ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ARISTOTLE UNINERSITY OF THESSALONIKI

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
FACULITY OF ENGINEERING

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
FACULITY OF SCIENCES

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΜΟΥΣΕΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ARISTOTLE NATURAL HISTORY MUSEUM OF THESSALONIKI

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Ο Υπολογιστής των Αντικυθήρων

The Antikythera Mechanism

Corpus operae I







ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ARISTOTLE UNINERSITY OF THESSALONIKI



ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
FACULITY OF ENGINEERING



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
FACULITY OF SCIENCES



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΜΟΥΣΕΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ARISTOTLE NATURAL HISTORY MUSEUM OF THESSALONIKI



ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Ο Υπολογιστής των Αντικυθήρων

The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

Διεύθυνση- Direction

ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΙΟΥ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗΣ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

JOHN HUGH SEIRADAKIS, Aristotle University of Thessaloniki

ISSN: 2241-9993

©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017



ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

Διεύθυνση- Direction

ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΙΟΥ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗΣ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

JOHN HUGH SEIRADAKIS, Aristotle University of Thessaloniki

ISSN: 2241-9993

©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures

Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

ISSN : 2241-9993
ISBN: 978-618-83020-0-6

Τίτλος : Στοά των Επιστημών - Επιστημονική Επιθεώρηση
Τόμος 1
Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Τεύχος Β
Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
Corpus operae I

Publication Name : Stoa of Sciences - Scientific Review
Volume 1
Hellenistic Astronomy and Mechanics
Issue B
The Antikythera Mechanism
Corpus operae I

Εκδότης : ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
Publisher : ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Copyright © ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Έτος : 2017, Θεσσαλονίκη
Year : 2017, Thessaloniki, Macedonia, Hellas

Web site : www.academy.edu.gr

Email : stoaofsciences@academy.edu.gr

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΜΟΥΣΕΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ARISTOTLE NATURAL HISTORY MUSEUM OF THESSALONIKI

Ο Υπολογιστής των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism
Corpus operae I

Επιστημονική - Συντονιστική Επιτροπή
Scientific - Coordination Committee

Πρόεδρος - Chairman

Σπυρίδων Παυλίδης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
Πρόεδρος του Αριστοτελείου Μουσείου Φυσικής Ιστορίας Θεσσαλονίκης
Spyridon Pavlides, Aristotle University of Thessaloniki,
President of the Aristotle Natural History Museum of Thessaloniki

Αναπληρωτής Πρόεδρος - Vice Chairman

Κωνσταντίνος Καρνασιώτης, Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών
Konstantinos Karnassiotis, Academy of Institutions and Cultures

Μέλη Συντονιστικής Επιτροπής - Members of Coordination Committee

Κωνσταντίνος Κατσάμπαλος, Κοσμήτωρ Πολυτεχνικής Σχολής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Konstantinos Katsampalos, Dean of the Faculty of Engineering, Aristotle University of Thessaloniki

Χαρίτων - Σαρλ Χιντήρογλου, Κοσμήτωρ Σχολής Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Chariton - Charles Chintiroglou, Dean of the Faculty of Sciences, Aristotle University of Thessaloniki

Ιωάννης Χιού Σειραδάκης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
John Hugh Seiradakis, Aristotle University of Thessaloniki

Αριστοτέλης Μέντζος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Aristotelis Mentzos, Aristotle University of Thessaloniki

Γιώργος Κοντογιώργης, Πάντειο Πανεπιστήμιο
Giorgos Kontogiorgis, Panteio University

Ελπίδα Χατζηδάκη, Αρχαιολόγος
Elpida Hadjidaki, Archaeologist

Δημήτριος Μητράκος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Dimitris Mitrakos, Aristotle University of Thessaloniki

Τηλέμαχος π. Γρηγόριος Σταμκόπουλος, Ανωτάτη Εκκλησιαστική Ακαδημία Θεσσαλονίκης
Tilemachos Fr. Grigorios Stamkopoulos, University Ecclesiastical Academy of Thessaloniki

Αναστάσιος Μαράς, Ελληνικό Ανοιχτό Πανεπιστήμιο
Anastasios Maras, Hellenic Open University

Μαρίνος Ιωαννίδης, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
Marinos Ioannides, Technological University of Cyprus

Συντονιστές Έργου - Coordinators

Ευλαμπία Στεργιάννη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Evlampia Stergianni, Aristotle University of Thessaloniki

Παναγιώτης Παπασπύρου, Φυσικός, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Panagiotis Papaspirou, Phisicist, National and Kapodistrian University of Athens

Ελευθερία Δρίγγα, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Eleutheria Drigga, Aristotle University of Thessaloniki

Μαρία - Ρεβέκκα Κυριακίδου, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Maria - Revekka Kyriakidou, Aristotle University of Thessaloniki

Σχεδιασμός και επιμέλεια έκδοσης - Design Issue and custody

Γεώργιος Ελ. Κούρταλης
Georgios El. Kourtalis

Ειδικός Σύμβουλος - Special Counselor

Μαριάνα Παγκάλου
Mariana Pagalos

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Ο Υπολογιστής των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism
Corpus operae I

Περιεχόμενα - Contents

Σημείωμα Εκδότη - Editorial

I. Ντοκιμαντέρ
Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο
Documentary
National Archaeological Museum

II. Ντοκιμαντέρ
Ιωάννης Μπιτσάκης- Hublot
Documentary
Yanis Bitsakis- Hublot

III. Ιωάννης Χιού Σειραδάκης - John Hugh Seiradakis
- The Antikythera Mechanism: From the bottom of the sea to the scrutiny of modern technology
- Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
- Η σχέση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων με την ΒΔ Ελλάδα και την Κέρκυρα

IV. Αλέξανδρος Τούρτας - Alexandros Tourtas
- Στοιχεία και ερμηνείες σχετικά με την εύρεση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Σημειώσεις για το μέλλον
  Data and interpretations on the discovery of the Antikythera Mechanism. Notes for the future
- Τεχνολογικές καινοτομίες στην υποβρύχια έρευνα του ναυαγίου των Αντικυθήρων
  Technological innovations applied in the underwater survey of the Antikythera shipwreck

V. Μάνος Ρουμελιώτης - Manos Roumeliotis
- Μοντελοποίηση και προσομοίωση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων
  Modeling and Simulation of the Antikythera Mechanism

- Animation
  The Antikythera Mechanism- Complete Design Simulation Ray traced with shadows
- Simulation
  The Antikythera Mechanism

VI. Ξενοφών Μουσάς - Xenophon Moussas
- Από τον Αλέξανδρο στον Αρχιμήδη και τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων
  From Alexander to Archimedes and the Antikythera Mechanism

VII. Ιωάννης Λυριτζής - Ioannis Liritzis
- Decoding the earliest "computer": the Antikythera Astrolabe. Science and technology in ancient Greece

VIII. Μαγδαληνή Αναστασίου - Magdalini Anastasiou
- The astronomical and technological prerequisites for the construction of the Antikythera Mechanism
- Διδακτορική διατριβή: Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων: Αστρονομία και Τεχνολογία στην Αρχαία Ελλάδα
- Προγραμματισμός και ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων: η ανάλυση του παραπήγματος
  Computer programming and the Antikythera Mechanism: the analysis of the parapegma

IX. Μαριάννα Ευσταθίου - Αλέξανδρος Μπασιακούλης - Marianna Efstathiou - Alexandros Basiakoulis
- The reconstuction of the Antikythera Mechanism
  Τρισδιάστατη σχεδίαση και κατασκευή πιστού λειτουργικού αντιγράφου του Μηχανισμού των Αντικυθήρων
- Ντοκιμαντέρ
  Μηχανισμός των Αντικυθήρων: Κατασκευή πιστού αντιγράφου
  Documentary
  The Antikyhtera Mechanism: Construction of precise replica
- Simulation of mechanism's gears

X. Μαγδαληνή Νικολή – Magdalini Nikoli
- The First Newspaper References to the Antikythera Shipwreck

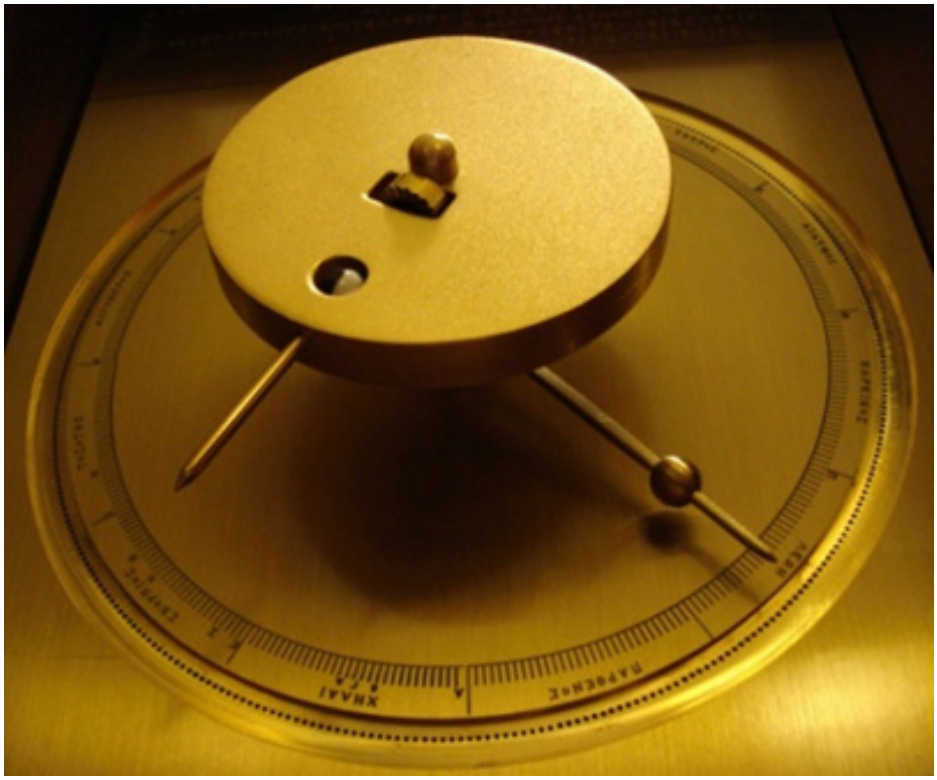
XI. Κυριάκος Ευσταθίου – Kyriakos Efstathiou
- Η ανακατασκευή του Μηχανισμού των Αντικυθήρων στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
  The reconstruction of the Antikythera Mechanism at the Aristotle University of Thessaloniki
- Documentary
  The Antikythera Mechanism- Design and Construction
- Animation
  The Antikythera Mechanism

XII. Διονύσιος Κριάρης - Dionysios Kriaris

- Διονύσιος Κριάρης - Οι Κατασκευές και τα Εργαλεία
  Dionysios Kriaris - The Constructions and the Tools

XIII. Αριστείδης Βούλαγαρης - Aristeidis Voulgaris

- Αριστείδης Βούλαγαρης - Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων- Λειτουργικό Μοντέλο
  Aristeidis Voulgaris - The Antikythera Mechanism- Functional Reconstruction Model



Ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΩΝ
Σημείωμα Εκδότη

Ο Υπολογιστής των Αντικυθήρων έχει χαρακτηρισθεί ως η επιτομή της αρχαίας ελληνικής Επιστήμης και Τεχνολογίας. Αποτελεί το κορυφαίο από τα διασωθέντα, τεχνολογικό επίτευγμα της Ελληνιστικής περιόδου. Ενσωματώνει τα Μαθηματικά, την Αστρονομία, τα Χρονολόγια των Ελλήνων, καθώς και πλήθος άλλων επιστημονικών στοιχείων. Αποτελεί τον πρώτο αναλογικό Υπολογιστή της ανθρωπότητας, ο οποίος λειτουργεί και παρέχει στοιχεία, όχι μόνο για το παρελθόν, αλλά κυρίως για το μέλλον. Θεωρητικά, δύναται να συνεχίζει την λειτουργία παροχής στοιχείων, όσο υφίσταται αυτό το δικό μας Σύμπαν και ως να αναλωθεί, *σβενύμμενον μέτρα*, κατά την ρήση του Ηρακλείτου ή σύμφωνα με την θεωρία του χάους, του Αναξιμάνδρου. Επομένως, ο αναλογικός Υπολογιστής των Αντικυθήρων, κατασκευασμένος περίπου το 200 π.Χ. εξακολουθεί να μας παρέχει κατά τρόπο αξιόπιστο τα δεδομένα του.

Το πολύπλοκο αυτό όργανο, δεν εμφανίζεται συμπτωματικά ή τυχαία στην Ιστορία της Επιστήμης. Παρουσιάζεται, κατά την στιγμή που έχει συντελεσθεί, μία ριζική μεταβολή του πολιτικού συστήματος στην Ασία και στις χώρες της Μεσογείου. Το προηγούμενο περσικό καθεστώς της απόλυτης δεσποτείας, με τα ασιανά αυτοκρατορικά και θεοκρατικά χαρακτηριστικά, έχει καταρρεύσει υπό τα πλήγματα του Αλεξάνδρου. Ένας νέος τρόπος διακυβέρνησης και Σκέψης αναδιατάσσει τις Κοινωνίες, με βάση το Ελληνικό Κοσμοσύστημα. Η Παιδεία, ο Πολιτισμός, η Ισονομία, η κατάργηση των φυλετικών διακρίσεων, η ανεξιθρησκεία, το δικαίωμα στην αυτοδιοικητική και δικαστική αυτονομία, η απόρριψη των λεηλατικών πολέμων και η επιδίωξη της ειρήνης, μέσω της ασκήσεως του εμπορίου, αποτελούν πλέον την κοινή συνείδηση. Το πνεύμα της ελληνικής Οικουμενικότητας, με όχημα την ελληνική γλώσσα και επίκεντρο την Αλεξάνδρεια, δημιουργεί μια νέα πολυ-πολιτισμική κοινωνία. Κατά την ιστορική εξέλιξή τους, οι ιδέες της Οικουμενικότητας διαμορφώνουν πολιτικά και το κράτος του Βυζαντίου, τραυματίζονται όμως από τον τρόπο της Δυτικής Αναγέννησης, μεταλλάσσονται με τον Διαφωτισμό και υποχωρούν, κατά την περίοδο της δημιουργίας των εθνικών κρατών.

Ο Υπολογιστής των Αντικυθήρων, αποτελεί απότοκο της τεράστιας εκρήξεως των Επιστημών και της Τεχνολογίας, που σημειώνεται κατά της Ελληνιστική περίοδο. Είναι η μετά τον Αλέξανδρο εποχή, κατά την οποία, ο πολίτης της πόλεως κράτους μεταβάλλεται κοινωνικά, πολιτικά και φιλοσοφικά στον πολίτη της Οικουμένης. Χαρακτηριστικό της περιόδου, είναι η διαρκής επιζήτηση της Γνώσης, ως αυτονόμου αξίας με κρίσιμες εν τούτοις πραγματολογικές προεκτάσεις. Δίκτυα ερευνητών, άλλοτε αυτονόμως και άλλοτε συνοδεύοντας εμπορικές ή στρατιωτικές αποστολές, καταγράφουν, πειραματίζονται, συστηματοποιούν και δομούν με επιστημονικές πραγματείες την Γνώση, η οποία, εν συνεχεία παροχετεύεται στην κοινωνία ως κοινό της κτήμα. Αυτή η επιδίωξη της Γνώσης ως αυτονόμου αξίας, αποτελεί την μεγάλη κληρονομιά του Αριστοτέλη, στην ανθρωπότητα. Παραλλήλως προς την ραγδαία ανάπτυξη της Επιστήμης και εξ αφορμής αυτής, σημειώνεται και η έκρηξη της Τεχνολογίας, που τα επιτεύγματά της βελτιώνουν τις συνθήκες ζωής της ανθρώπινης κοινωνίας. Ακόμα και τεχνολογικά επιτεύγματα που, όπως η χρήση του ατμού, παρέμειναν σε στάδιο διερευνήσεων και δεν έγινε κατορθωτό να τεθούν σε ευρεία εφαρμογή, εκ διαφόρων αιτίων, αλλά και λόγω της καταστροφικής σάρωσης που επέφερε στις ελληνικές πόλεις η ρωμαϊκή κατάκτηση, ανακαλύπτονται τότε.

Τίθεται βεβαίως ως ερώτημα, ποιο είναι εκείνο το ιδιαίτερο στοιχείο κατά την Ελληνιστική περίοδο, το οποίο πυροδότησε την έκρηξη της Επιστήμης και της Τεχνολογίας, μια έκρηξη στην οποία χρωστά τα πάντα ο σύγχρονος παγκόσμιος Πολιτισμός. Για λόγους επιστημονικής ακρίβειας, οφείλουμε να σημειώσουμε ότι, αυτό που συνέβη κατ' εκείνη την περίοδο, έχει μια βαθύτερη ρίζα στον Κυκλαδικό και στον Κρητομυκηναϊκό Πολιτισμό, που ως Κοινωνίες διαθέτουν τα ίδια χαρακτηριστικά, δηλαδή την έφεση προς την εξερεύνηση, προς την ανακάλυψη, καθώς και στην συγκέντρωση, συστηματοποίηση και κωδικοποίηση γνώσεων. Μέσα από μία σπειροειδή εξέλιξη, τα χαρακτηριστικά αυτά λαμβάνουν την μορφή που γνωρίζουμε, κατά την μετά Αλέξανδρον εποχή.

Καθοριστικό στοιχείο για να επέλθει η προαναφερθείσα έκρηξη, είναι το ίδιο το πολιτικό σύστημα. Για πρώτη φορά στην Ιστορία, έρχεται αυτό το ίδιο το Κράτος και χρηματοδοτεί την έρευνα, όπως επίσης χρηματοδοτεί την ανάπτυξη και διεύρυνση της Γνώσης, μέσω των τεραστίων Βιβλιοθηκών, που είναι ελεύθερα προσβάσιμες στον κάθε άνθρωπο. Παραλλήλως, το κράτος συνεχίζοντας την αντίληψη των Ελλήνων για την διακυβέρνηση, δεν ασκεί λεηλατική πολιτική στην περιφέρεια, για να πλουτίσει την πρωτεύουσα. Αντιθέτως, οι φορολογικές πρόσοδοι των επαρχιών χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των περιοχών, απ' όπου αντλήθηκαν. Κορυφαίο παράδειγμα του αναφερόμενου πολιτικού συστήματος, αποτελεί η Αίγυπτος των Πτολεμαίων. Αποτέλεσμα είναι, η δημιουργία πολλών και διαφόρων επιστημονικών παρατηρητηρίων στην περιφέρεια, όπως αστρονομικών, κλιματικών κ.α. Μέσα στην ατμόσφαιρα της Ελληνικής Οικουμένης, όπου το επικοινωνιακό και οικονομικό σύστημα καλείται να καλύψει τις ανάγκες μεγάλων αποστάσεων και συγχρόνως μεγάλων πληθυσμιακών οντοτήτων με ανθρωποκεντρικό υπόβαθρο, δημιουργείται ο Υπολογιστής των Αντικυθήρων, επομένως ενσωματώνει τα στοιχεία της Επιστήμης, της Τεχνολογίας, αλλά και του πολιτικού και οικονομικού συστήματος της εποχής της κατασκευής του. Επιπλέον όμως, το περίπλοκο αυτό όργανο αποτυπώνει και τα, κατά την ελληνική αντίληψη, ερωτηματικά για τα κοσμολογικά στοιχεία, του χρόνου, του χάους, του φωτός και του σύμπαντος. Τα στοιχεία αυτά διέπουν τους Ύμνους, τα Μυστήρια, την Μυθολογία, την Τραγωδία και αυτά ακριβώς είναι που, ως δομικά ερωτήματα κατευθύνουν την Φιλοσοφία και γενικότερα τον τρόπο ζωής, στο πλαίσιο της ελευθερίας θεών και ανθρώπων (κοινωνικό υποσυνείδητο) αλλά και στην αμφισβήτηση και απόρριψη των παραπάνω, από την αριστοτελική και μετα-αριστοτελική ορθολογική επιστήμη (επιστημονικοτεχνολογικό συνειδητό). Όλα αυτά, έχουν ως σημείο αναφοράς τον Υπολογιστή των Αντικυθήρων, ο οποίος παραλλήλως σχηματοποιεί την αντίληψη που είχαν οι Έλληνες για το θείο. Αποκαλούσαν τον Δία "παγκόσμιο νου" και "παγκόσμιο νόμο". Θεωρούσαν ότι, υπάρχει ένα, κατά την σημερινή ορολογία, λογισμικό, που μετρά, ελέγχει, επαναφέρει από τις αποκλίσεις και σταθεροποιεί τον μικρόκοσμο και τον μεγάκοσμο του Σύμπαντος.

Τίθεται ως ερώτημα, εάν ο αναλογικός Υπολογιστής των Αντικυθήρων, είναι μία ελληνική υπόθεση. Η απάντηση είναι κατηγορηματική, όχι. Το Ελληνιστικό είναι ευρύτερο του ελληνικού, γιατί, εμπεριέχοντας το τελευταίο, ομιλεί με όρους Οικουμένης, με όρους Κοσμόπολης. Όμως, ο καταλύτης είναι η σύνολη ελληνική σκέψη. Πολλοί παράγοντες συνετέλεσαν, ώστε αυτός ο λαός να πρωτοπορήσει στην συγκεκριμένη φάση της Ιστορίας, είτε εκείνοι που αναφέρει ο Ηρόδοτος για την κοινή καταγωγή, θρησκεία, γλώσσα και την διαμόρφωση κοινωνικής αντίληψης, είτε σύμφωνα με σύγχρονους ερευνητές, η ιδιοσυγκρασία τους, που ήταν εξίσου σημαντική με τα επιτεύγματά τους, την ροπή τους προς την περιπέτεια, τα ταξίδια, την μετανάστευση και αγάπη για την θάλασσα, την επαναστατικότητά τους στην αναζήτηση της τελειότητας, την εξαιρετικά πλούσια γλώσσα τους καθώς και το πάθος για την ζωή και τις απολαύσεις της.

Όλα αυτά τα φιλοσοφικά, πολιτικά, κοινωνικά, επιστημονικά και τεχνολογικά στοιχεία, ενσωματώνονται στον αναλογικό Υπολογιστή των Αντικυθήρων. Στην παγκόσμια επιστημονική βιβλιογραφία, υπάρχουν εξαιρετικές μελέτες, που αποτελούν εργαλείο για την κατανόηση της πορείας των κοινωνιών και της Επιστήμης, από τα Κυκλαδικά και Κρητομυκηναϊκά χρόνια ως και την περίοδο του Ελληνιστικού κόσμου, Λόγω χώρου, είναι αδύνατον να κάνουμε έστω και απλή απαρίθμηση. Θα περιοριστούμε κατά συνέπειαν, στην αναφορά μόνο του έργου του Καθηγητή Γιώργου Κοντογιώργη, "Το Ελληνικό Κοσμοσύστημα", στο οποίο εξετάζονται και τεκμηριώνονται οι συνθήκες, δια των οποίων οδηγούνται οι ελληνικές πόλεις-κράτη στην συγκρότηση της Ελληνικής Οικουμένης - της Κοσμόπολης, οπότε και κατασκευάζεται ο Υπολογιστής των Αντικυθήρων.

Χωρίς να έχει διερευνηθεί ακόμα το αστρονομικό γνωσιακό φορτίο του προομηρικού Κυκλαδικού και Κρητομυκηναϊκού κόσμου, ώστε να γνωρίζουμε πως συνέβαλε στην Ελληνιστική Αστρονομία, η γνώση που περιέχεται στον Μηχανισμό των Αντικυθήρων, δεν μας ξαφνιάζει. Ήταν γνωστή από τις παρατηρήσεις των Βαβυλωνίων και τη γεωμετρική επεξεργασία αυτών από Έλληνες αστρονόμους και μαθηματικούς. Η «κατ' Ίππαρχον πρώτη ανωμαλία της κινήσεως της Σελήνης», η «μέση επικίνησις του Ήλιου», τα «παραπήγματα» το ομαλώς ρέον ημερολόγιο που περιγράφει ο Γέμινος ο Ρόδιος με τους «εμβόλιμους μήνες» και τις «εξαιρέσιμες ημέρες» προσομοιώνονται στον Μηχανισμό των Αντικυθήρων, με θαυμαστό τρόπο. Αυτό, όμως, που μας ξαφνιάζει, είναι ο τρόπος με τον οποίο προσομοιώνονται και υλοποιούνται οι γνώσεις αυτές, με μεθόδους τεχνολογίας άγνωστες μέχρι τώρα, με την χρήση σκληρών μετάλλων και κοπτικών εργαλείων, για την κατασκευή οδοντωτών τροχών και πολύπλοκων αξόνων, εξαιρετικής ακρίβειας και τεχνοτροπίας.

Ποια ήταν η χρήση του Μηχανισμού και για ποιο λόγο κατασκευάστηκε; Η ανεύρεσή του σε ένα ναυάγιο, ενισχύει την πιθανότητα ναυτικής χρήσης για τον υπολογισμό του στίγματος του καραβιού. Όμως, εκτός από δύο ασύνδετες λέξεις στο εκτεταμένο κείμενο που συνοδεύει το Μηχανισμό (ΗΛΙΟΥ ΑΚΤΙΣ), τίποτα άλλο δεν μαρτυρεί χρήση ως όργανο ναυσιπλοΐας. Το εύρος των αστρονομικών γνώσεων που περιέχει, η έλλειψη στοχευμένης γνώσης και η ακρίβεια της κατασκευής, μας ωθούν στο συμπέρασμα ότι ίσως ήταν ένα εκπαιδευτικό όργανο για τη μελέτη του τότε γνωστού Σύμπαντος.

Όποια και αν ήταν η χρήση του, ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων ανοίγει ένα άνευ προηγουμένου παράθυρο στη μελέτη της πολυσύνθετης αστρονομικής γνώσης των αρχαίων Ελλήνων. Αποτελεί αδιαμφισβήτητη μαρτυρία για τις εξαιρετικές μαθηματικές, γεωμετρικές και τεχνολογικές δεξιότητες που κατείχαν. Ακόμη και στη σημερινή εποχή προηγμένης τεχνολογίας, στεκόμαστε με δέος μπροστά στο τεχνολογικό αυτό θαύμα και αναρωτιόμαστε ποια εφόδια κατείχε ο πολιτισμός που το επινόησε.

Το Corpus Operae I συντίθεται από άρθρα Ελλήνων ερευνητών, τα οποία έχουν κριθεί και δημοσιευθεί σε έγκριτα επιστημονικά περιοδικά. Το Corpus Operae II, θα εκδοθεί συντόμως με άρθρα επιστημόνων από τον διεθνή επιστημονικό χώρο.

Κωνσταντίνος Καρνασιώτης Ιωάννης Χιού Σειραδάκης Σπύρος Παυλίδης

THE ANTIKYTHERA MECHANISM
Editorial

The Antikythera Mechanism has been characterized as the epitome of ancient Greek Science and Technology. It belongs to the apical, among the saved, technological achievements of the Hellenistic era. It embodies Mathematics, Astronomy, the Greek Calendars, as well as a plethora of scientific elements. It is the first analog Computer in the history of humanity, functioning and providing data, not only for the past, but especially for the future. Theoretically, it can continue by its function the provision of data, as long as our Universe exists, and up to the Universe's exhaustion, the σβενύμμενον μέτρα, according to Heraclitus, or according to chaos theory, of Anaximander. Therefore, the analog Antikythera Mechanism computer, constructed around 200 BC, still continues to provide its data trustworthy.

This complicated instrument does not appear by accident or by chance in the History of Science. It appears at the moment of the realization of a radical change in the political system in Asia and the Mediterranean. The former Persian government system of absolute despotism, with its Asian imperial and theocratic characteristics, has been collapsed under the blows of Alexander the Great. A novel art of governance and Thought rearranges the Societies, based on the Greek Cosmosystem. Education, Culture, Egalitarianism, the abolishment of racial discriminations, freedom of religion, the right for self-governing and judicial autonomy, the rejection of the loot wars and the pursuit of peace, through the practice of commerce, constitute already the common conscience. The spirit of the Greek Oecumenism, having as its vehicle the Greek language and as its epicenter the city of Alexandria creates a new multicultural society. During their historical evolution, the ideas of Oecumene shape politically the Byzantine state as well, but get injured damaged by their way of perception from the Western European Renaissance, get altered with the advent of Enlightenment, and step back, during the era of the formation of the Nation States.

The Antikythera Mechanism is the emergent result of the vast explosion of the Sciences and of Technology, which takes place during the Hellenistic era. It is the era after Alexander the Great, in which, the citizen of the City-state changes socially, politically and philosophically into becoming the citizen of Oecumene. A characteristic of this era is the continuous pursuit for Knowledge, regarded as an autonomous value, with pragmatological extensions, nevertheless. Networks of researchers, either autonomously or by accompanying trade or military missions, record, experiment, systematize or structure, with scientific treatises, the body of Knowledge, which, in turn, instills into society as a common property. This pursuit of Knowledge becomes an autonomous value; it is the great legacy of Aristotle to humanity. In parallel with the radical development of Science, and due to it, the explosion of Technology also emerges, with its achievements improving the life conditions of the human society. Even technological achievements, such as the use of steam, which stayed on the research phase, without being broadly implemented, because of various reasons, and also because of the destructive sweep caused in the Greek cities by the Roman conquest, were discovered during that era.

There arises the question, about this special element of the Hellenistic era, responsible for triggering the explosion of Science and Technology, an explosion, to which the modern global Civilization owes everything. For reasons of scientific accuracy, we have to stress the fact that the phenomenon actualized during this era roots deeply in the Cycladic and Creto-mycenaean Civilizations, which,

as Societies, possess the same characteristics, that is the aptitude for exploration, for discovery, as well as for the collection, systematization and codification of knowledge. Through a spiral evolution, these characteristics take their familiar form, during the era succeeding Alexander the Great.

A decisive element for the befall of the aforementioned explosion, is the political system itself. For the first time in History, the State appears and finances research, as well as the development and the broadening of Knowledge, through the vast Libraries, freely accessible to everybody. In parallel, the state, continuing the Greek view about governance, does not exercise looting policies in the periphery, for enriching the capital. On the contrary, the tax revenue from the provinces is being used for the development of the areas of its collection. A brilliant example is Ptolemaic Egypt. The result is the creation of many and various scientific observatories in the periphery, such as astronomical, climatic, etc. Within the prevailing atmosphere of the Greek Oecumene, where the communication and economic system is called to cover the needs of large distances, and at the same time of large populations, with anthropocentric background, the Antikythera Mechanism is constructed, therefore it embodies elements of Science, of Technology, but also of the political and economic system of the era of its construction. Furthermore, this complex instrument reflects the, according to the Greek view, questions about the cosmological elements, time, chaos, and the Universe. These elements rule the Hymns, the Mysteries, Mythology, Tragedy, and these are exactly the structural questions guiding Philosophy, and the Forms of life, in general, in the context of the freedom of Gods and Man (social subconscious), and also in the questioning and the rejection of the former, by the Aristotelian and meta-Aristotelian rational science (scientific and technological conscious). All these, have as a point of reference the Antikythera Mechanism, which, in parallel, forms the view of the Greeks about the divine. They called Jupiter as the “universal mind” and the “universal law”. They considered that there exists one, as expressed in the modern terminology, software, which measures, controls, resets from their deviations, and stabilizes, the microcosm and the macrocosm.

There arises the question, whether the analogue Antikythera Mechanism, is a Greek issue. The answer is categorically negative. The Hellenistic is broader than the Greek, since, by embodying the former, speaks in terms of Oecumenism, in terms of the Cosmopolis. But, the core is the totality of the Greek thought. Many factors contributed, in order for the Greek people to pioneer in this particular era of History, either these mentioned by Herodotus, about their common origin, Religion, language, and the formation of their social concept, or these referring to their idiosyncrasy, according to modern researchers, which is equally crucial for their achievements, that is their tendency towards adventure, traveling, immigration, their love for the sea, their exceptionally rich language, and their passion for life and its delights.

All these philosophical, political, social, scientific and technological elements are embodied in the analog Antikythera Mechanism computer. In the scientific literature, worldwide, there exist exceptional studies, serving as tools for the understanding of the path for the societies and for Science, from the Cycladic and Creto-mycenaean eras up to the era of the Hellenistic world. Because of lack of space even a short enumeration is impossible. Therefore, we shall confine ourselves by citing only the work of Professor George Contogeorgis, “The Greek Cosmosystem”, in which the conditions, under which the Greek City-states are led to the composition of the Greek Oecumene - the Cosmopolis, are studied and demonstrated, that is the conditions responsible for the construction of the Antikythera Mechanism.

Since the astronomical cognitive wealth of the pre-Homeric Cycladic and Creto-mycenaean world remains still uninvestigated, in order for us to know how it contributed to Hellenistic Astronomy, the knowledge embodied in the Antikythera Mechanism is not a surprise. It was known from the Babylonian observations, and its geometrical processing by Greek astronomers and mathematicians. The "first anomaly of the lunar motion according to Hipparchus", "the mean solar time", the "parapegmata", the smoothly varying calendar described by Geminus of Rhodes, with its "intercalary months" and "excluded days", all of these are simulated in the Antikythera Mechanism, in an admirable way. On the other hand, what surprises us is the way of the simulation and realization of this knowledge, with technological methods still unknown, with the use of hard metals and cutting instruments, and the production of gears and complicated shafts, of exceptional accuracy and style.

What was the use of the Mechanism, and what is the reason of its construction? Its discovery in a shipwreck reinforces the possibility of nautical usage, and for the calculation of the ship's geographic location. But, except of two uncorrelated words in the extended text accompanying the Mechanism (ΗΛΙΟΥ ΑΚΤΙΣ), nothing else gives evidence for its use as a navigation instrument. The broad spectrum of astronomical knowledge it contains, the lack of targeted knowledge, and the accuracy of its construction, inspire us to conclude that it possibly served as an educational tool for the study of the then known Universe.

Whatever its use, the Antikythera Mechanism opens a unique window into the study of the sophisticated astronomical knowledge of the ancient Greeks. It is the indisputable evidence for their exceptional mathematical, geometrical and technological abilities. Even in the contemporary era of advanced technology, we stand in awe of this technological miracle and we ask ourselves what kind of assets possessed the civilization which invented it.

The Corpus Operae I is composed by articles in which Greek researchers have made major contributions and have been predominantly peer -reviewed and published in esteemed journals. The Corpus Operae II, shall be published in due course, composed by articles of scientists from the international scientific area.

Konstantinos Karnassiotis John-Hugh Seiradakis Spyros Pavlides

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

Διεύθυνση- Direction
ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΙΟΥ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗΣ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
JOHN HUGH SEIRADAKIS, Aristotle University of Thessaloniki

Ντοκυμανταίρ
Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο
Documentary
National Archaeological Museum

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

Ακαδημια Θεσμων και Πολιτισμων
Academy of Institutions and Cultures

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

Διεύθυνση- Direction
ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΙΟΥ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗΣ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
JOHN HUGH SEIRADAKIS, Aristotle University of Thessaloniki

Ντοκυμαντέρ
Γιάννη Μπιτσάκη- Hublot [ελ]
Documentary
Yanis Bitsakis- Hublot [en]

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

Ακαδημια Θεσμων και Πολιτισμων
Academy of Institutions and Cultures

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

Ιωάννης Χιού Σειραδάκης

John Hugh Seiradakis

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

PROCEEDINGS OF SCIENCE

THE ANTIKYTHERA MECHANISM: From the bottom of the sea to the scrutiny of modern technology

John H. Seiradakis[1]
Aristotle University
Department of Physics
Laboratory of Astronomy
GR-541 24, Thessaloniki, Greece
E-mail: jhs@physics.auth.gr

The Antikythera Mechanism is an ancient greek analogue astronomical computer. Using a handle, probably similar to a doorknob, the user could insert an input date on a dial in its *front* side. The calculations were made using a set of gears (at least 30), and the results were displayed on several scientific scales. It was used to calculate the diurnal and annual motion of the Sun, the Moon and (most probably) the planets among the stars. It put into practice the astronomical knowledge of ancient Greeks about the motion of these objects with astonishing accuracy, including eccentric gearing for the anomalous orbit of the Moon (first lunar anomaly). It could also predict eclipses of the Sun and the Moon from the Saros period, which has been found in one of its back scales. It calculated the dates of the Olympic Games (and the other major crown games that took place in ancient Greece). Finally it was equipped with extended Dorian inscriptions, often quoted as *User's Manual*. Its complexity and multiple functions indicate that it was not used for a single purpose. I strongly believe that its main use was for educational purposes. The Antikythera Mechanism was as important for the development of Technology, as the Parthenon for the development of Architecture. Taking into account the theoretical and technological knowledge required for the construction of the Mechanism, it can easily be ranked among the *Wonders of the Ancient World*.

1. The discovery



Figure 1: The island of Antikythera

The Antikythera Mechanism was found by chance close to the small island of Antikythera (between Crete and Peloponnese, Fig. 1) in April 1900 by sponge divers, who were stranded there, due to bad weather. A wealth of statues, statuettes, household goods, glassware and amphorae were brought to the surface during tough and brave marine excavations between November 1900 and September 1901.

From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients,
Kerastari, Greece
12-15 June 2012

[1] Speaker

Among the recovered artifacts was a strange bulk of material, broken, worn and calcified, with obvious signs of bronze. In the first scholarly description of the Antikythera shipwreck and its findings, the existence of the Mechanism was mentioned with the suggestion that it was an astronomical instrument [1]. The shipwreck was dated from between 84 and 67 BCE [2-6].

2. A short description

The Antikythera Mechanism was portable. Its size was not much larger than a present-day laptop computer (probably 32×20×10 cm). The main feature on the front side was a bronze dial with two concentric annuli (Fig. 2). The outer annulus was not fixed and bore the names of the twelve Egyptian months, inscribed with greek letters. It was divided into 365 (360 + 5 epagomenae) days. The inner annulus was fixed and bore the names of the 12 zodiac constellations (in greek). It had 360 divisions (360 degrees). In order to take into account leap years, every 4 years, the user could detach and rotate the outer annulus by one day. The back of the Mechanism had two independent spirals (upper and lower). It has been dated, by epigraphologists, around the second half of the 2nd century BCE (150 BCE – 100 BCE). About this time the great greek astronomer, Hipparchos, lived in Rhodes. He died there in 120 BCE.

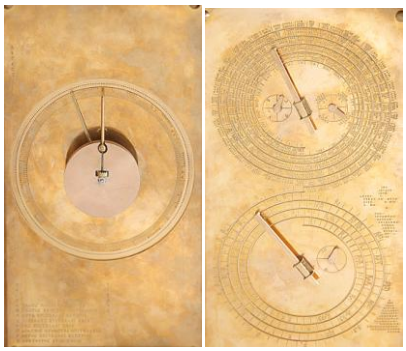


Figure 2: The front and back side of the Antikythera Mechanism.

3. Early studies

In 1929 Captain Ioannis Theophanidis attempted to create a model of the Antikythera Mechanism. This model was never finished. It has been exhibited in the *Antikythera Shipwreck* exhibition at the National Archaeological Museum [7].

The first scholar, who studied the function of the Mechanism extensively, was Derek de Solla-Price, an Englishman working at Yale University in the United States. With the help of Charalambos Karakalos, from the Research Centre Demokritos in Athens, he obtained gamma- and X-ray radiographs from the fragments, which revealed several gears, shafts, axles and letters. Price worked for over 30 years and eventually published an extensive account, "Gears from the Greeks" [8]. He declared that "the Antikythera Mechanism is tantalizing evidence that the ancients may have been much further advanced in machine building, and particularly in computer technology, than we think" [9].

M. Roumeliotis has produced several animations and simulations of the Antikythera Mechanism, freely available on the Internet [10].

The baton was taken by Michael Wright and Allan Bromley [11, 12]. Unfortunately, Alan Bromley died in 2002. However, Michael Wright published a series of papers, where he correctly postulated that the back dials of the Mechanism were spiral and that the upper dial was built to follow the Draconic lunar month. He also elaborated on the pin and slot mechanism (see

below) and proved its epicyclic function [13-15]. He made large strides toward the reconstruction of the Mechanism and produced superb bronze replicas.

4. Recent studies – Innovative techniques

In 2001, Mike Edmunds and Tony Freeth (Cardiff University), Xenophon Moussas and Yanis Bitsakis (University of Athens) and John Seiradakis (University of Thessaloniki) created the "*Antikythera Mechanism Research Group*". They received a grant from the *Leverhulme Foundation*, U.K. and the permission to undertake a new investigation from the Ministry of Culture of Greece. After the permission was granted, Eleni Magkou and Mary Zafeiropoulou (National Archaeological Museum) and Agamemnon Tselikas (Cultural Foundation of the National Bank of Greece) joined the team, which was soon supported by an international team of astronomers, archaeologists, mathematicians, physicists, chemists, computer engineers epigraphologists and papyrologists. In September and October 2005 they undertook a major new investigation of the Antikythera Mechanism, using an innovative and state of the art high power micro-focusing X-ray tomography [16], specially constructed by X-Tek Systems, UK and the Hewlett Packard, USA, PTM Dome techniqu3 [17]. In November 2006 the results of the investigation were announced during an international conference in Athens and published in the international journal Nature [18].

5. Astronomical phenomena calculated by the Antikythera Mechanism

The results of the new investigation were surprising and stunning! Using a handle that was driving a pointer, the user of the Mechanism could manually select a date of the year in the front dial. As this was done, a set of other pointers were driven by the gears of the Mechanism to show a variety of astronomical phenomena.

5.1 The front side

A very careful analysis of the gears' co-action revealed their use in calculating the exact (within a degree) position of the Sun and the Moon and probably the five known planets on the zodiac (the zone that contains the zodiac constellations) [19]. This position was shown by the pointers of the front dials. Simultaneously, a crown gear was driving a black and white coloured spherule, showing the current phase of the Moon.



Figure 3: One of the Saros "Glyphs" (Courtecy T. Malzbender)

5.2 The back side

With the help of the upper back dial, the user could read the position of the Moon within the Metonic cycle of 19 tropical years, which is almost exactly equal to 235 synodic (lunar) months. The Metonic cycle is almost equal to the least common multiple of the tropical year (365.2422 days) and the synodic month

(29.5306 days). The difference between the two periods (of 19 tropical years and 235 synodic months) is only 2 hours. This knowledge allowed the calculation of the exact day of full Moons, a very useful knowledge for agricultural or nautical activities 2000 years ago, when no …electricity was available! The accuracy of the position of the Moon was achieved by a pin-and-slot mechanism that reconstructed Hipparchus' *first anomaly of the Moon's motion* (due to its elliptical orbit around the Earth). This anomaly is, in fact, what we call today, Kepler's 2nd law! The basic pin-and-slot mechanism consisted of a gear with a pin, driving a similar (with the same numbers of teeth) gear with a slot. The axes of the two gears are slightly eccentric (by 1.1 mm). As the first gear rotates it drives the second gear, slower or faster (because the pin of the first gear is engaged – through the slot– either close to the centre or close to the periphery of the second gear) due to the eccentricity of their axes. The variable rotation speed of the second gear simulates the variations in the Moon's angular velocity, as seen from the Earth, to better than 1 part in 200 [20].

With the help of the lower back dial the user could predict eclipses. This dial contained the 223-month eclipse Saros cycle (of approximately 6585.3213 days, or nearly 18 years and 11 1/3 days). 223 months (one Saros cycle) after an eclipse, the Sun, Earth, and Moon return to approximately the same relative geometry, and a new, nearly identical, eclipse cycle begins. The Saros cycle was marked with the dates (month, day, hour) when a possible solar or lunar eclipse would occur. The markings (which had originally dubbed as "glyphs", before realizing their meaning) were engraved with symbols ("Η" – ΗΛΙΟΣ – for the Sun and "Σ" – ΣΕΛΗΝΗ – for the Moon, etc), Fig. 3. The fact that both letters, "Η" and "Σ", appear simultaneously in some glyphs, most probably means that the glyphs represent predictions of future eclipses and not records of past eclipses. M. Edmunds [21] has questioned the accuracy of the Saros period.

6. The Corinthian calendar

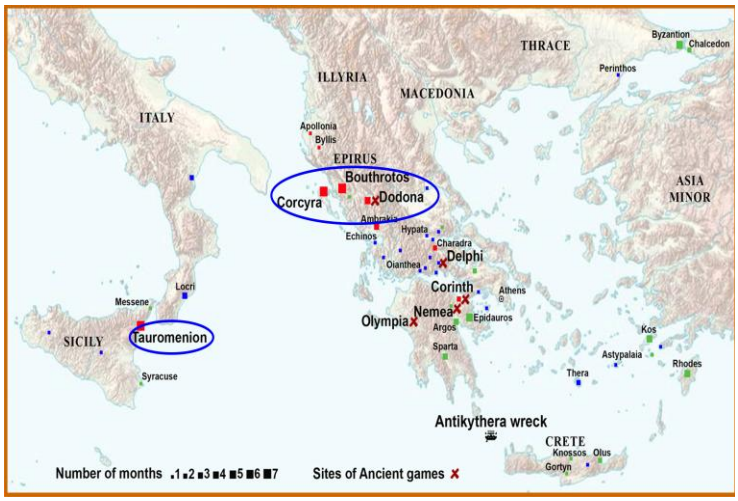


Figure 4: Map showing the location of greek cities with known calendars. The area of the squares is proportional to the percentage of coincidence with the Antikythera Mechanism's calendar (Courtesy M. Anastasiou)

The Metonic cycle (upper back dial) contained a full calendar (repeated 19 times). Comparing this calendar with the known calendars of ancient greek cities, it was found that it coincided with the calendars of the cities of Kerkyra, Bouthrotos and Dodona (in NW Greece) and Tauromenion (in Sicily), all of which are Corinthian colonies (Fig. 4 and Table I). No significant coincidence with the

survived calendars of other greek cities was found. Could this indicate that the Antikythera Mechanism was used (but not, necessarily, constructed) in NW Greece and Tauromenion?

TABLE I: Comparison of the Antikythera Mechanism calendar with the calendar of several ancient cities. Differences are marked with red letters.

Antikythera Mechanism	Kerkyra	Dodona	Bouthrotos	Tauromenion	Athens	Rhodes
ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ	ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ	ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ	ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ	ΙΤΩΝΙΟΣ	ΜΕΤΑΓΕΙΤΝΙΩΝ	ΚΑΡΝΕΙΟΣ
ΚΡΑΝΕΙΟΣ			ΚΡΑΝΕΙΟΣ	ΚΑΡΝΕΙΟΣ	ΒΟΗΔΡΟΜΙΩΝ	ΔΑΛΙΟΣ
ΛΑΝΟΤΡΟΠΙΟΣ		ΑΛΙΟΤΡΟΠΙΟΣ		ΛΑΝΟΤΡΟΣ	ΠΥΑΝΟΨΙΩΝ	ΘΕΣΜΟΦΟΡΙΟΣ
ΜΑΧΑΝΕΥΣ	ΜΑΧΑΝΕΥΣ	ΔΑΤΥΙΟΣ		ΑΠΟΛΛΩΝΙΟΣ	ΜΑΙΜΑΚΤΗΡΙΩΝ	ΔΙΟΣΘΥΟΣ
ΔΩΔΕΚΑΤΕΥΣ	ΔΩΔΕΚΑΤΕΥΣ			ΔΥΩ/ΟΔΕΚΑΤΕΥΣ	ΠΟΣΙΔΕΩΝ	ΘΕΥΔΑΙΣΙΟΣ
ΕΥΚΛΕΙΟΣ	ΕΥΚΛΕΙΟΣ		ΕΥΚΛΕΙΟΣ	ΕΥΚΛΕΙΟΣ	ΓΑΜΗΛΙΩΝ	ΠΕΛΑΓΕΙΤΝΙΟΣ
ΑΡΤΕΜΙΣΙΟΣ	ΑΡΤΕΜΙΤΙΟΣ			ΑΡΤΕΜΙΤ/ΣΙΟΣ	ΑΝΘΕΣΤΗΡΙΩΝ	ΒΑΔΡΟΜΙΟΣ
ΨΥΔΡΕΥΣ	ΨΥΔΡΕΥΣ		ΨΥΔΡΕΥΣ	ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ	ΕΛΑΦΗΒΟΛΙΩΝ	ΣΜΙΝΘΙΟΣ
ΓΑΜΕΛΙΟΣ		ΓΑΜΙΛΙΟΣ	ΓΑΜΙΛΙΟΣ	ΕΛΛΟΚΙΟΣ	ΜΟΥΝΥΧΙΩΝ	ΑΡΤΑΜΙΤΙΟΣ
ΑΓΡΙΑΝΙΟΣ			ΑΓΡΙΑΝΙΟΣ	ΔΑΜΑΤΡΙΟΣ	ΘΑΡΓΗΛΙΩΝ	ΑΓΡΙΑΝΙΟΣ
ΠΑΝΑΜΟΣ	ΠΑΝΑΜΟΣ	ΠΑΝΑΜΟΣ	ΠΑΝΑΜΟΣ	ΠΑΝΑΜΟΣ	ΣΚΙΡΟΦΟΡΙΩΝ	ΥΑΚΙΝΘΙΟΣ
ΑΠΕΛΛΑΙΟΣ		ΑΠΕΛΛΑΙΟΣ		ΑΠΕΛΛΑΙΟΣ	ΕΚΑΤΟΜΒΑΙΩΝ	ΠΑΝΑΜΟΣ
Coincidence	100%	86%	100%	58%	17%	33%

7. The Parapegma of the Antikythera Mechanism

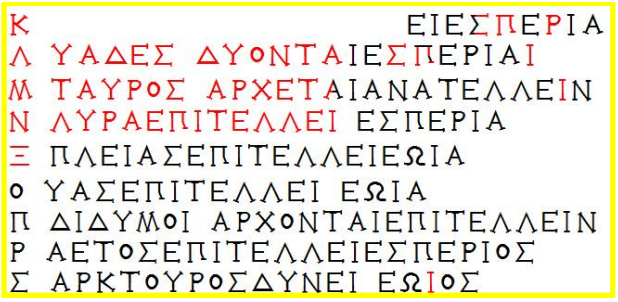


Figure 5. The parapegma of the Antikythera Mechanism

A small part of a parapegma, with six star events and three zodiac statements, is preserved on Fragment C of the Antikythera Mechanism (Fig. 5). The sequence of these events and statements depends on the geographical latitude, where they were observed. A thorough astronomical analysis reveals that the parapegma was best working for geographic latitudes between 33.3°N – 37.0°N. Several ancient greek cities lie within or immediately adjacent to this zone. Among these cities, Rhodes (latitude 36.4°N) and Syracuse (37.1°N) have often been suggested as places of origin and/or use of the Antikythera Mechanism . The northern cities in Epirus, Kerkyra (39.6°N), Dodona (39.5°), and Bouthrotos (39.7°), whose month names well match the luni-solar calendar of the Mechanism , seem not to be favored. Corinth (37.9°) as well as Tauromenion in Sicily (37.8°) lie just outside the

most likely zone. However, it should be stressed that (a) the limited preserved events and (b) the historical uncertainties do not allow a firm statement, about the geographic association of the Antikythera Mechanism, to be made but they rather point to a likely region instead. In order to test and verify the method of analysis, Ptolemy's parapegma for Clima 14 was analyzed, yielding a geographical latitude range 27.8°N – 31.5°N, in good agreement with the location where Ptolemy lived and observed [22].

8. The Olympic Games (and other crown games)

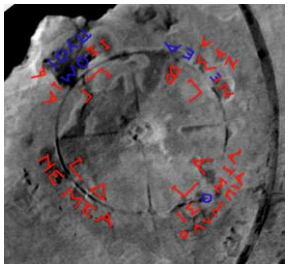


Figure 6: The Crown Games

It is interesting that besides the prediction of astronomical events, the Antikythera Mechanism, could determine, with the help of a subsidiary back dial, the dates of the Olympic games which took place during the first full Moon after the summer solstice. Not only the Olympic games but the crown games of Isthmia (Corinth), Nemea (Nemea), Pythia (Delphi), Naia (Dodona) (Fig. 6) were included in the subsidiary dial [23].

9. Inscriptions – the *User's manual*

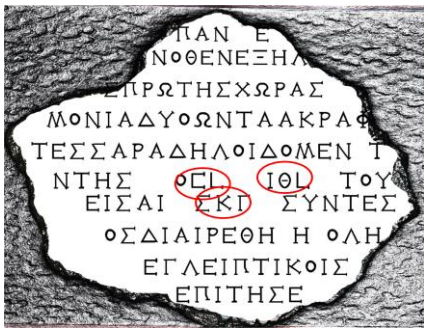


Figure 7: Fragment 19, reconstructed using the new True Type font. Note the Metonic and Saros inscriptions

The Antikythera Mechanism was a complicated instrument. Therefore it is not surprising that it was accompanied by extensive inscriptions, which are often quoted as *User's Manual*. New inscriptions that had not been read for more than 2000 years were revealed, mainly with the X-ray micro-focusing tomography. About 3000 letters have been deciphered up to now – 2012 (Fig. 7). They all fall into three broad categories: astronomical inscriptions, technical inscriptions and geographical inscriptions. Several astronomical terms have been read referring to the Sun, the Moon, the ecliptic, the Metonic and Saros cycles and other astronomical phenomena. The word "ΣΤΗΡΙΓΜΟΣ" (stationary point) is mentioned several times, obviously referring to planetary stationary points.



Figure 8. The Aristotle University of Thessaloniki bronze model. (a) Left The constructed model. (b) The gears inside the model.

10. The Aristotle University bronze model

A bronze model of the Antikythera Mechanism has been constructed [24] by the Aristotle University of Thessaloniki, Greece

team, lead by K. Efstathiou (Department of Mechanical Engineering). This model is a 1:1 reconstruction of the original mechanism (Fig. 8). A new true type font, an exact replica of the letters inscribed on the Mechanism, was created by M. Anastasiou (Department of Physics) which was used for reproducing all the inscriptions that have been read up to now.

11. Concluding remarks

According to the modern definition, the Antikythera Mechanism was a computer. The user could enter data (input), it used the data in order to calculate several astronomical and related phenomena (calculations) and the results were displayed on scientific scales (output). The calculations were performed by trains of cooperating gears that drove at least seven pointers, which showed the results quantitatively. It was an astronomical device. It could calculate the position of the Sun and the Moon and maybe the five known planets along the ecliptic (the zodiac constellations) and displayed the phases of the Moon. It was also a calendrical device incorporating the Metonic lunisolar cycle and a parapegma. It predicted eclipses, a result that would give social superiority to the owner. With it, the owner could determine the dates of the Crown Games (the most famous of which are the Olympic Games) achieving wide recognition among the ancient cities' archons. It demonstrated with outstanding and creative technological competence the astronomical wisdom and expertise of its era. Finally, it had extended instructions inscribed on its protective plates, describing the phenomena which it dealt with or offering technical notes about its use. It is obvious from the above that it was not built in order to serve a sole purpose. It was built for the development of knowledge. It was, most likely, an educational instrument, used for scholarly studies of the then known Cosmos.

The new investigation of the Antikythera Mechanism has created word-wide interest both among the scientific community and the public. Responding to the demand for updated and authoritative information, the Antikythera Mechanism Research Group has created a web site:

http://www.antikythera-mechanism.gr

where new results are posted, including answers to basic questions, articles, pictures, videos and other relevant information.

It is evident that the Antikythera Mechanism is a very important record of the ability of ancient Greeks to work with advanced technological problems, offering innovative solutions that, even with present day standards, we cannot fail to admire and respect.

Acknowledgements

It is a pleasure to thank the Antikythera Research Project group and the Director and personnel of the National Archaeological Museum of Athens. Without their research efforts and the safeguarding of the Antikythera fragments respectively, this work wouldn't have been initiated.

References

[1] Unknown author, *The findings of the Antikythera Wrec*k (in greek), Archaeological Ephemeris, 3rd Period, Issue 1 &2, p. 145–173, 1902.

[2] V.R. Grace , *The Commercial Amphoras*, in G.D. Weinberg et. al., The Antikythera Shipwreck Reconsidered, TAPhS, New Series, **55**/3, p. 5–17, 1965.

[3] P.C. Bol, *Die Skulpturen des Schiffsfundes von Antikythera*, MDAI (A) Beiheft **2**, p. 119–120, 1972.

[4] G.D. Weinberg , *The Glass Vessels*, in G. D. Weinberg et al., The Antikythera Shipwreck Reconsidered, TAPhS, New Series, **55**/3, p. 30–39, 1965.

[5] J.-Y. Cousteau (n. 4), H.E. Tzalas, *Bronze Statues from the Depths of the Sea*, in Great Moments in Greek Archaeology, Athens, p. 346, 2007.

[6] M. Jackson, New Jewellery Evidence from the Antikythera Shipwreck: A Stylistic and Chronological Analysis, BCH, **134**, p. 178–194, 2010.

[7] N. Kaltsas, E. Vlachogianni & P. Bouyia (eds), *The Antikythera Shipwreck*, National Archaeological Museum, Athens, 2012.

[8] D. de S. Price, *Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism-A calendar computer from ca. 80 BC*. Trans. Am. Phil. Soc., New Series, **64**, p. 1–70, 1974 (reprinted by Science History Publications, New York, 1975).

[9] D. de Solla-Price, *A History of Calculating Machines*, Micro IEEE, **4**, p.22–52, 1984

[10] M. Roumeliotis, *Simulation and Animation of the Antikythera Mechanism*, University of Macedonia, Thessaloniki, Greece, http://www.etl.uom.gr/mr/index.php?mypage=antikythera.

[11] A. G. Bromley, *Observations of the Antikythera Mechanism*, Antiquarian Horology, **18**, p. 641–652, 1990.

[12] M.T. Wright, A. G. Bromley, *Towards a New Reconstruction of the Antikythera Mechanism*, Proc. Conf. Extraordinary Machines and Structures in Antiquity. Ancient Olympia, p. 81–94, (ed. S.A. Paipetis, Peri Technon, Patras), 2003.

[13] M.T. Wright, Epicyclic Gearing and the Antikythera Mechanism, Antiquarian Horology, part 1, **27**, p. 270–279, 2003 and part 2, **29**, p. 51–63, 2005.

[14] M.T. Wright, *A Planetarium Display for the Antikythera Mechanism*, Horological Journal, **144,** p. 169–173, 2002.

[15] M.T. Wright, *The Antikythera Mechanism: a New Gearing Scheme*, Bulletin of the Scientific Instrument Society, no. **85** p. 2–7, 2005.

[16] A. Ramsey, *The latest techniques reveal the earliest technology – A new inspection of the Antikythera Mechanism*, Proceedings of the International Symposium on Digital industrial Radiology and Computed Tomography, June 25-27, Lyon, France, 2007.

[17] T. Malzbender, D. Gelb, H. Wolters, *Polynomial Texture Maps*, Hewlett-Packard Laboratories, http://www.hpl.hp.com/ptm .

[18] A. Freeth et al. *Decoding the ancient greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism*, Nature, **444**, p. 587–591, 2006.

[19] A. Freeth, A. Jones, *The Cosmos in the Antikythera Mechanism*, ISAW Papers, **4**, 2012

[20] E. Gourtsogiannis, *Hipparchus vs. Ptolemy and the Antikythera Mechanism: Pin-Slot Device models lunar motion*, Journal of Advances in Space Research **46**, 540–544 (2010).

[21] M.G. Edmunds, Journal for the History of Astronomy: **xlii**, p. 307-320, 2011

[22] M. Anastasiou et al. *The astronomical events of the parapegma inscribed on the Antikythera Mechanism*, J. Hist. Astronomy (accepted), 2012.

[23] A. Freeth et al, *Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism*, Nature, **454**, p. 614–617, 2008.

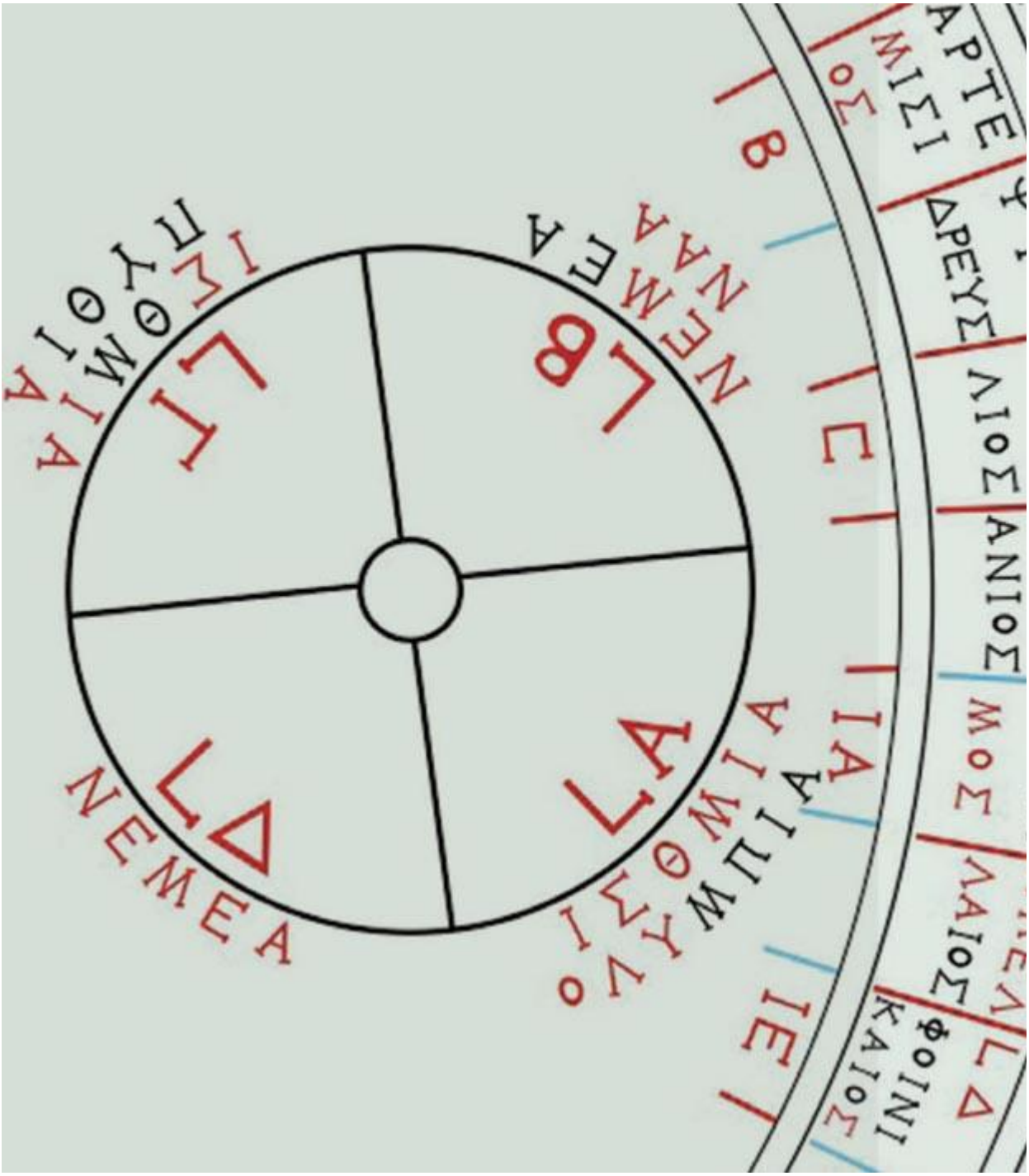
[24] K. Efstathiou, A. Basiakoulis, M. Efstathiou, M. Anastasiou, J.H. Seiradakis, *Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism*, Mechanism and Machine Theory, **52**, 219–231, 2012.

ΘΥΓΑΤΡΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ Ν. ΥΟΡΚΗΣ

αω | ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΟ ΔΕΛΤΙΟ ΤΕΥΧΟΣ 48 ΙΟΥΝΙΟΣ 2010

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων

Συνέντευξη του καθηγητή Ιωάννη Σειραδάκη στην Λήδα Μπουζάλη



Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων προσδιόριζε τις περιόδους κατά τις οποίες τελούνταν οι αρχαίοι στεφανίτες αγώνες (Ολυμπιακοί Αγώνες, Πύθια, Νέμεα, Ίσθμια)

Ένα αρχαίο ναυάγιο περίμενε σιωπηλό επί αιώνες στα βάθη της θάλασσας των Αντικυθήρων να ανακαλυφθεί από μια ομάδα σφουγγαράδων από την Σύμη την άνοιξη του 1900. Στα 50 μέτρα βάθος, οι σφουγγαράδες διέκριναν ένα μέρος από τον σκελετό ενός πλοίου, με όλο του το φορτίο. Ήταν μια ρωμαϊκή ολκάς μήκους 70μ. και πλάτους 25μ., η οποία ταξίδευε από την ανατολική Μεσόγειο προς την Ρώμη, φορτωμένη με θησαυρούς, αμφορείς και δεκάδες χάλκινα και μαρμάρινα αγάλματα. Η ανακάλυψη προκάλεσε ενθουσιασμό. Με την βοήθεια Ελλήνων αρχαιολόγων πραγματοποιήθηκε μια δύσκολη ενάλια ανασκαφή, που διήρκεσε έως το φθινόπωρο του 1901. Οκτώ μήνες αργότερα, στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο, ο αρχαιολόγος Βαλέριος Στάης διέκρινε ανάμεσα στα ασβεστοποιημένα κομμάτια σκουριασμένου μπρούντζου

ορισμένα θραύσματα που, κατά τα φαινόμενα, αποτελούσαν τμήματα ενός μηχανισμού.

Επρόκειτο για τον περίφημο Μηχανισμό των Αντικυθήρων, τον αρχαιότερο υπολογιστή στην ιστορία της ανθρωπότητας, ο οποίος εξακολουθεί να μας εκπλήσσει με την πολυπλοκότητα, την ακρίβεια και την υψηλή τεχνολογία του.

«Κατά την γνώμη μου, αποτελεί ένα από τα Θαύματα του Κόσμου», σημειώνει ο αστρονόμος Ιωάννης Σειραδάκης, καθηγητής στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και μέλος της ελληνοβρετανικής ακαδημαϊκής ομάδας που ασχολείται με τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων.



Ο καθηγητής Ιωάννης Σειραδάκης κατά την διάρκεια της διάλεξής του στο θυγατρικό Ίδρυμα Ωνάση στην Νέα Υόρκη

«Τα θραύσματα μας δίνουν μια σχετικά καλή εικόνα της αρχικής μορφής του μηχανισμού: αποτελείτο από ένα κουτί με "καντράν" στην εξωτερική του επιφάνεια, το οποίο περιείχε έναν μηχανισμό με οδοντωτούς τροχούς, δηλαδή τουλάχιστον 30 (πιθανώς 37) γρανάζια τοποθετημένα σε πολύπλοκη διάταξη. Δύο μπρούντζινες πλάκες στερεωμένες στο κουτί αποτελούσαν τα "πορτάκια" και προστάτευαν τον μηχανισμό, ο οποίος ήταν σε θέση να αναπαράγει αστρονομικά φαινόμενα με εξαιρετική ακρίβεια».

«Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων», εξηγεί ο καθηγητής Σειραδάκης, «είναι ένας υπολογιστής με την πλήρη σύγχρονη έννοια του όρου, δηλαδή δεχόταν δεδομένα (input), έκανε υπολογισμούς με βάση τα στοιχεία και παρουσίαζε το αποτέλεσμα σε επιστημονικές κλίμακες. Πρόκειται, μάλιστα, για έναν υπολογιστή πολύ μεγάλης ακριβείας, η οποία μας έχει αφήσει έκπληκτους».



Τα κύρια θραύσματα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων εκτίθενται στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο της Αθήνας

Ο μηχανισμός χρησιμοποιείτο για τον ημερολογιακό προσδιορισμό των εποχών της σποράς και της συγκομιδής, υπολόγιζε τις μελλοντικές εκλείψεις του Ηλίου και της Σελήνης, ενώ επιτελούσε επιπροσθέτως και κοινωνικό έργο, αφού προσδιόριζε τον χρόνο τέλεσης των Ολυμπιακών Αγώνων και, εν γένει, των στεφανιτών αγώνων, των αγώνων δηλαδή στους οποίους το έπαθλο ήταν ο κότινος και όχι κάποιο χρηματικό βραβείο: άλλοι τέτοιοι αγώνες ήταν τα Πύθια, τα Νέμεα και τα Ίσθμια, σε αντίθεση με τα Παναθήναια, που ήταν αγώνες «χρηματίτες». Επιπλέον, ο μηχανισμός συνοδευόταν από εγχειρίδιο χρήσης με τρεις χιλιάδες ελληνικούς χαρακτήρες, οι οποίοι βρίσκονται χαραγμένοι στο εμπρός και στο πίσω μέρος του, καθώς και στα δύο «πορτάκια» του. «Με βάση το είδος της ελληνικής γραφής, εκτιμάται πως ο Μηχανισμός χρονολογείται ανάμεσα στο 150 και το 100 π.Χ.», επισημαίνει ο Ιωάννης Σειραδάκης, «και μαρτυρεί πολλά για τις εκτενείς γνώσεις της ελληνικής αστρονομίας της εποχής εκείνης».

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων ανοίγει ένα μοναδικό παράθυρο στην ιστορία, επιτρέποντάς μας να δούμε συμπυκνωμένες τις αστρονομικές γνώσεις των αρχαίων Ελλήνων και, μέσω εκείνων, τις γνώσεις των αρχαίων Βαβυλωνίων. Επιπλέον, μαρτυρά τις εξαιρετικές μαθηματικές και μηχανολογικές γνώσεις των αρχαίων Ελλήνων.

«Γνωρίζαμε ότι οι αρχαίοι Έλληνες ήταν φημισμένοι φιλόσοφοι, ποιητές, αστρονόμοι. Δεν ξέραμε όμως ότι ήταν και σπουδαίοι τεχνολόγοι. Αυτό το σημείο μάς εξέπληξε», παρατηρεί ο καθηγητής Σειραδάκης. Αξίζει να σημειωθεί πως ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων είναι ανώτερος κάθε άλλου ωρολογιακού μηχανισμού παρόμοιας πολυπλοκότητας που κατασκευάστηκε τα επόμενα χίλια χρόνια.



Το μοντέλο του μηχανισμού που κατασκευάστηκε πρόσφατα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Φαίνεται το πίσω μέρος του, με τα «καντράν» που αναπαριστούν τον Μετωνικό κύκλο και τον κύκλο του Σάρου

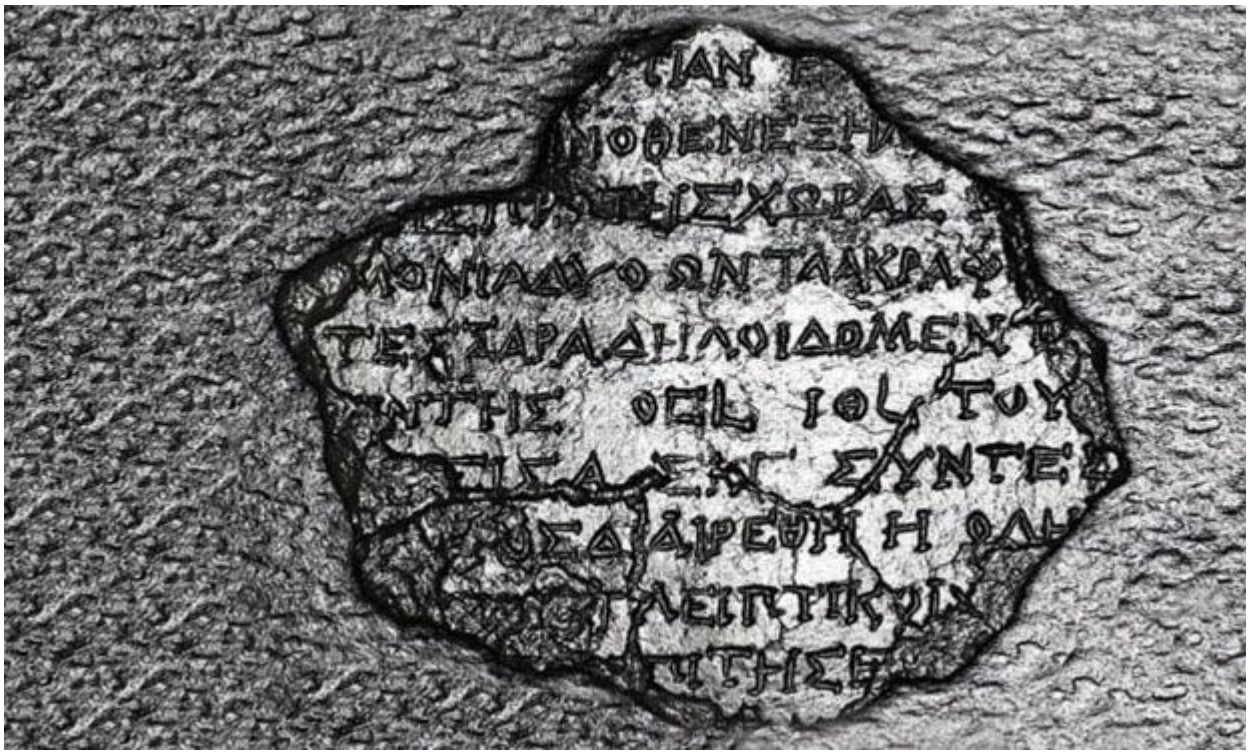
Η πρώτη αναφορά της σημασίας του ευρήματος γίνεται από τον Βαλέριο Στάη σε εφημερίδα του Μαΐου του 1902. Στην συνέχεια, ο αντιπλοίαρχος Ιωάννης Θεοφανίδης προσπαθεί να κατασκευάσει ένα αντίγραφο, χωρίς όμως να μπορέσει να το ολοκληρώσει. Στα μέσα του 20ού αιώνα, ο Derek de Solla Price πληροφορείται την ανακάλυψη του συστήματος οδοντωτών τροχών του 2ου αιώνα π.Χ., φτάνει αμέσως στην Ελλάδα και ξεκινά την μελέτη του, η οποία θα διαρκέσει 30 χρόνια. Το 1959, δημοσιεύει το περίφημο άρθρο του με τίτλο «Ένας Αρχαίος Ελληνικός Υπολογιστής».

Πρόσφατα, ηλεκτρονική αναπαράσταση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων σε υπολογιστή δημιούργησε ο Μάνος Ρουμελιώτης του Πανεπιστημίου Μακεδονίας, ενώ ο Alan Bromley και ο Michael Wright ερεύνησαν με ακτίνες Χ τα θραύσματα του Μηχανισμού και δημοσίευσαν αποκαλυπτικά άρθρα.

Το 2001, ξεκίνησε η εις βάθος μελέτη του Μηχανισμού, η οποία, το 2005, περιέλαβε και την χρήση καινοτόμων τεχνολογιών (απεικόνισης υψηλής ευκρίνειας, φωτογράφισης με φωτισμό από πολλά διαφορετικά σημεία και τριδιάστατης τομογραφίας) από ελληνοβρετανική ομάδα ερευνητών των πανεπιστημίων Αθηνών, Θεσσαλονίκης και Κάρντιφ. Η έρευνα τελεί υπό την αιγίδα του Υπουργείου Πολιτισμού και έχει χρηματοδοτηθεί από το Ίδρυμα Leverhulme. Η ομάδα αποτελείται από τον αστρονόμο Mike Edmunds και τον μαθηματικό Tony Freeth από το Πανεπιστήμιο του Κάρντιφ, τον αστρονόμο Ιωάννη Σειραδάκη από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, τον αστρονόμο Ξενοφώντα Μουσά και τον φυσικό και ειδικό στην ανάλυση ιστορικών αντικειμένων Γιάννη Μπιτσάκη, από το Πανεπιστήμιο Αθηνών. Μαζί τους συνεργάζονται η δρ Χημείας Ελένη Μάγκου και η αρχαιολόγος-μουσειολόγος Μαίρη Ζαφειροπούλου του Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου, με ομάδα συντηρητών, καθώς και ο φιλόλογος-παλαιογράφος Αγαμέμνων Τσελίκας από το Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης. Τέλος, καθοριστική είναι η συμβολή της ομάδας τεχνικών της Hewlett-Packard, με επικεφαλής

τον Tom Malzbender, που εφάρμοσε τον πρωτοποριακό μηχανισμό ψηφιακής απεικόνισης PTM Dome. Χάρις σε αυτή την μέθοδο, κατέστη δυνατή η εκπληκτική επανεμφάνιση σχεδόν σβησμένων κειμένων και στοιχείων της επιφάνειας του Μηχανισμού, τα οποία δεν ήταν διακριτά ακόμη και με τα καλύτερα συστήματα συμβατικής και ψηφιακής φωτογράφισης. Πολυμελής ομάδα της εταιρείας X-Tek μετέφερε στην Αθήνα τον Οκτώβριο του 2005 τον βάρους οκτώμισι τόνων τομογράφο της, τον γνωστό και ως Blade Runner, για να μελετήσει τον Μηχανισμό. Οι τριδιάστατες εικόνες που προέκυψαν όταν τα θραύσματα του αρχαίου Μηχανισμού εξετάστηκαν με τον υπερσύγχρονο τομογράφο αποκάλυψαν άγνωστες πτυχές του εσωτερικού του. Με αυτή την μέθοδο αποκαλύφθηκαν για πρώτη φορά επιγραφές, το πάχος των οποίων δεν ξεπερνά το ένα δέκατο του χιλιοστού. Προέκυψαν επίσης σημαντικά δεδομένα για την εσωτερική δομή με τα περίπλοκα γρανάζια και τους άξονες.

Οι ερευνητές κατόρθωσαν να «εισχωρήσουν» στο βάθος του Μηχανισμού, αποκαλύπτοντας την απίθανη για την εποχή του τεχνολογική εκζήτηση. Διαπίστωσαν ότι οι επιγραφές αναφέρονται σε κινήσεις του Ηλίου και της Σελήνης και ότι τα γρανάζια λειτουργούσαν με σκοπό την μηχανική αναπαράσταση της ελλειπτικής τροχιάς της Σελήνης στον ουρανό, σύμφωνα με την θεωρία του Ιππάρχου. Σημαντικό, στο σημείο αυτό, είναι το γεγονός ότι το ρωμαϊκό πλοίο εκτιμάται πως ναυάγησε γύρω στο 65 π.Χ. και, σύμφωνα με ορισμένες ενδείξεις, προερχόταν από την Ρόδο. Οι ερευνητές υποθέτουν ότι ο Ίππαρχος, ο οποίος έζησε στην Ρόδο, πιθανώς να συνέβαλε στον σχεδιασμό του Μηχανισμού.



Η τεχνική ψηφιακής απεικόνισης PTM της Hewlett Packard αποκάλυψε σβησμένες επιγραφές και λεπτομέρειες της επιφάνειας των θραυσμάτων του Μηχανισμού. Εδώ, το Θραύσμα 19, το οποίο περιέχει αστρονομικά δεδομένα

«Η έρευνα δεν έχει ολοκληρωθεί», παρατηρεί ο Ιωάννης Σειραδάκης. «Πολλά σημεία της λειτουργίας του Μηχανισμού παραμένουν ακόμη σκοτεινά, όπως γρανάζια, οπές και το εξάρτημα σε σχήμα σταυρού που βρέθηκε, τα οποία δεν γνωρίζουμε τι σκοπό εξυπηρετούσαν. Πιστεύω ότι ο Μηχανισμός στο επάνω μέρος του έφερε μια μικρογραφία του πλανητικού συστήματος, η οποία κινείτο δείχνοντας την πορεία των πλανητών στο στερέωμα».

Είναι ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων ο μοναδικός στο είδος του; Ο καθηγητής Σειραδάκης δεν αποκλείει το ενδεχόμενο να είχαν κατασκευαστεί και άλλοι παρόμοιοι μηχανισμοί από το ίδιο κρατέρωμα, δηλαδή ένα κράμα χαλκού και κασσίτερου. Όμως, το μέταλλο αυτό θεωρείτο πολύτιμο, γι' αυτό και το ανακύκλωναν (είναι γνωστό, για παράδειγμα, ότι ο Κολοσσός της Ρόδου, όπως και πολλά άλλα αγάλματα —με εξαίρεση τον Ηνίοχο— ήταν κατασκευασμένος από ανακυκλωμένη πρώτη ύλη). Επομένως, οι άλλοι μηχανισμοί έχουν ίσως καταστραφεί στην πορεία των χρόνων.

Μεγάλο μέρος της σύγχρονης τεχνολογίας, από τις ατμομηχανές έως τα ρομπότ, ανάγεται στα μηχανικά παιχνίδια, τα «αυτόματα», που άνθησαν τον 18ο αιώνα. Τα παιχνίδια εκείνα, με την σειρά τους, ξεπήδησαν μέσα από την τέχνη της ωρολογοποιίας. Και η τέχνη αυτή, όπως και πολλά άλλα επιτεύγματα του σύγχρονου κόσμου, φαίνεται πως έχει τις ρίζες της στην αρχαία Ελλάδα.

«Είναι φανερό», καταλήγει ο Ιωάννης Σειραδάκης, «πως ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων αποτελεί ένα πολύ σημαντικό τεκμήριο της ικανότητας των αρχαίων Ελλήνων να καταπιάνονται με προηγμένα τεχνολογικά προβλήματα και να βρίσκουν καινοτόμες λύσεις, οι οποίες ακόμη και με τους σημερινούς όρους δεν μπορούν παρά να προκαλούν τον θαυμασμό και τον σεβασμό μας».

Σημ.: Ο καθηγητής Ιωάννης Σειραδάκης και ο Tom Malzbender έδωσαν διάλεξη στο θυγατρικό Ίδρυμα Ωνάση στην Νέα Υόρκη, στις 25 Μαΐου 2010, σε συνεργασία με το Smithsonian Institution και το Κέντρο Διαστημικών Πτήσεων Goddard της N.A.S.A.

Η σχέση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων με τη ΒΔ Ελλάδα και την Κέρκυρα

Δημοσιεύθηκε στο περιοδικό «Image», Τεύχος 1, σελ. 10-13 (Απρ. 2015)

- Σειραδάκης Χιού Ιωάννης, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
  Seiradakis Hugh John, Physics Department, Aristotle University of Thessaloniki
  E-mail: jhs@astro.auth.gr
- Δρ. Αναστασίου Μαγδαληνή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Φυσικής, Τομέας Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα
  Dr. Anastasiou Magdalini, Aristotle University, Physics Department, Section of Astrophysics, Astronomy and Mechanics, Thessaloniki, Hellas
  E-mail: anastasiou@astro.auth.gr
- Κυριάκος Ευσταθίου, Καθηγητής του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
  Kyriakos Efstathiou, Professor, Department of Mechanical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki
  E-mail: efstathi@meng.auth.gr

ISSN: 2241-9993

Ο *Μηχανισμός των Αντικυθήρων* ήταν ένας αναλογικός υπολογιστής εκπληκτικής τεχνολογίας. Κατασκευάστηκε πριν από 2000 χρόνια και χρησιμοποιείτο για τον ακριβή υπολογισμό της θέσης του Ηλίου, της Σελήνης και, πιθανώς, των πλανητών, στον ουρανό. Υπολόγιζε τις φάσεις της Σελήνης, προέβλεπε εκλείψεις και προσδιόριζε την ημερομηνία τέλεσης των αρχαίων Στεφανιτών αγώνων. Οι αστρονομικοί υπολογισμοί που αναφέρθηκαν παραπάνω γινόντουσαν με μια σειρά 30 περίπου συνεργαζομένων οδοντωτών τροχών (γραναζιών). Είναι τόσο σημαντικός για την εξέλιξη της Τεχνολογίας, όσο και η Ακρόπολη για την εξέλιξη της Αρχιτεκτονικής. Παρόμοιος αρχαίος μηχανισμός δεν έχει βρεθεί μέχρι σήμερα. Έτσι εύλογα γεννάται το ερώτημα τι τεχνική υποδομή υπήρχε την εποχή που κατασκευάστηκε και τι απέγινε η γνώση και η τέχνη που περιείχε. Πάντως ένα είναι σίγουρο: Για την κατασκευή του πρέπει να συνεργάστηκαν δύο μεγαλοφυΐες: ένας άριστος γνώστης και ερευνητής της επιστήμης της Αστρονομίας και ένας ταλαντούχος τεχνίτης με πολύ καλές γνώσεις Μαθηματικών. Τα μέχρι στιγμής συμπεράσματα επιβεβαιώνουν ότι ο *Μηχανισμός των Αντικυθήρων* είναι ένα αστρονομικό όργανο, τόσο περίπλοκο που δεν είναι περίεργο ότι συνήθως αναφέρεται ως ο πρώτος (αναλογικός) υπολογιστής που κατασκευάστηκε ποτέ.



Εικόνα 1. Ο Έφηβος των Αντικυθήρων. Περίτεχνο μπρούτζινο άγαλμα που ανασύρθηκε από το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Αναπαριστά είτε τον Πάρι, ο οποίος προσφέρει το μήλο στη θεά Αφροδίτη είτε τον Περσέα, ο οποίος κρατά το κεφάλι της Μέδουσας. Το άγαλμα βρίσκεται στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο.

Ανακαλύφθηκε τυχαίως το 1900 στις ακτές των Αντικυθήρων από Συμιακούς σφουγγαράδες. Λίγους μήνες αργότερα η Αρχαιολογική Υπηρεσία ξεκίνησε μια σειρά συστηματικών ενάλιων ανασκαφών, κατά τη διάρκεια των οποίων ανασύρθηκαν σημαντικά ευρήματα, όπως για παρά-

ISSN: 2241-9993

δειγμα ο περίφημος *Έφηβος των Αντικυθήρων* (Εικόνα 1), πολλά από τα οποία εκτίθενται στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο στην Αθήνα. Ανάμεσά τους ήταν και ο ***Μηχανισμός των Αντικυθήρων***, ο οποίος, διαβρωμένος, κομματιασμένος και απολιθωμένος πλέον μετά από 2000 χρόνια στο βυθό της θάλασσας, έμελλε να αλλάξει τη γνώμη που είχαμε μέχρι σήμερα για τις τεχνολογικές ικανότητες των προγόνων μας.

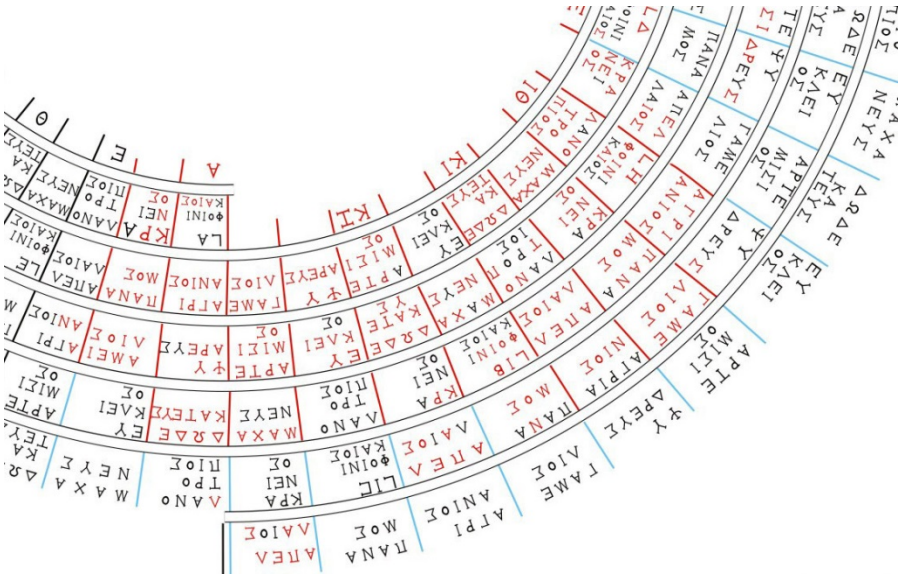
Για να διευκολύνει το χρήστη, ο κατασκευαστής είχε συμπεριλάβει και ένα εγχειρίδιο χρήσης. Στις εξωτερικές πλάκες και στο εσωτερικό του *Μηχανισμού* βρέθηκαν και διαβάστηκαν άγνωστα κείμενα χαμένα για πάνω από 2000 χρόνια! Μέχρι τώρα έχουν διαβαστεί περίπου 2500 εγχάρακτα γράμματα (Εικόνα 2), τα οποία, βεβαίως, σχηματίζουν λέξεις και προτάσεις, που αναφέρονται σε αστρονομικούς, γεωγραφικούς και τεχνικούς όρους. Το ύψος των περισσοτέρων γραμμάτων είναι μεταξύ 1.5 και 2.5 mm και είναι χαραγμένα από έναν καλλιγράφο. Όλες οι επιγραφές είναι γραμμένες με ελληνικούς χαρακτήρες. Από την τεχνοτροπία των επιγραφών, εξάγεται το συμπέρασμα ότι κατασκευάστηκε κατά το δεύτερο ήμισυ του 2^{ου} π.Χ. αιώνα (140 – 100 π.Χ.), ίσως στη Ρόδο, όπου την



Εικόνα 1. Αναπαράσταση τμήματος των επιγραφών από την εμπρόσθια μπρούτζινη πλάκα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Γίνεται αναφορά στην περιφορά του πλανήτη Αφροδίτη γύρω από τον Ήλιο. Η λέξη «ΣΤΗΡΙΓΜΟΣ», η οποία εμφανίζεται συχνά, αναφέρεται στη μέγιστη αποχή (γωνιώδη απόσταση) του πλανήτη από τον Ήλιο.

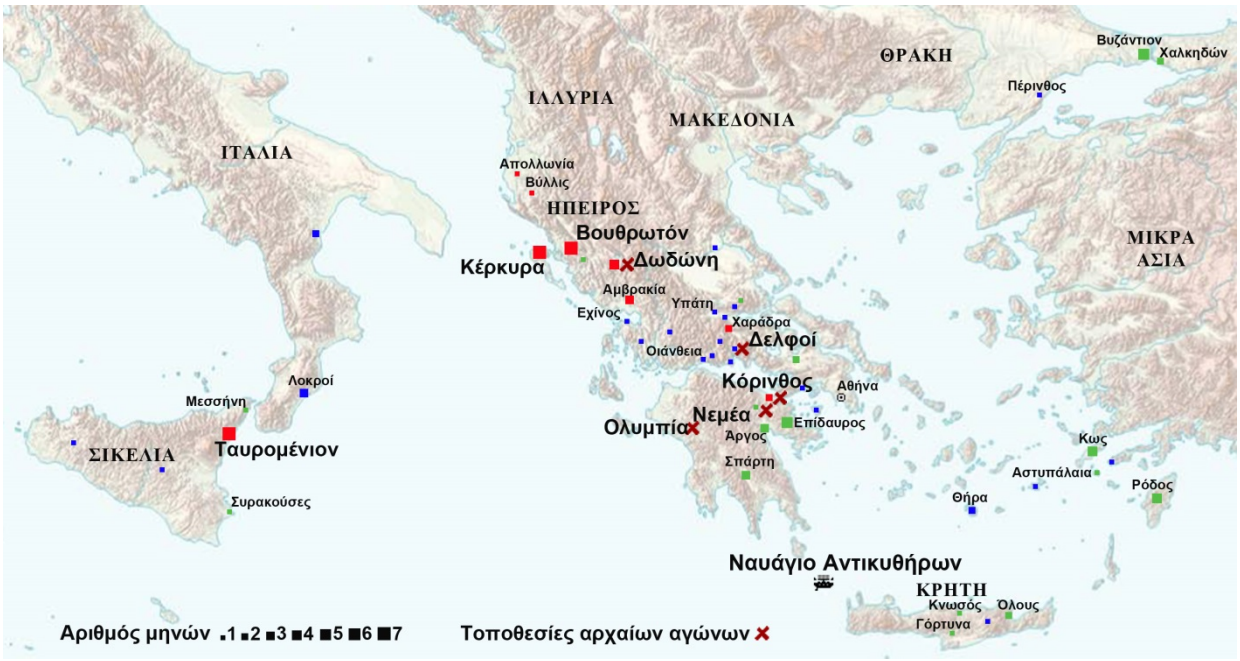
εποχή αυτή, άνθιζε η επιστήμη της Αστρονομίας. Στη Ρόδο πέθανε το 120 π.Χ. ο μεγαλύτερος αστρονόμος της αρχαιότητας, ο Ίππαρχος. Επομένως θα ανέμενε κανείς τα αρχαία ονόματα των δώδεκα μηνών που είναι χαραγμένα στην πάνω ελικοειδή σπείρα της πίσω πλευράς του Μηχανισμού (Εικόνα 3) να προέρχονται από την ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου.

Απροσδόκητα, όμως, προέρχονται από την περιοχή της δυτικής Ελλάδας (**Κέρκυρα,** Βουθρωτό, Δωδώνη) και της Σικελίας (Ταυρομέ-



Εικόνα 3. Τα αρχαία ονόματα των μηνών που είναι χαραγμένα στην πάνω κλίμακα της πίσω πλευράς του Μηχανισμού των Αντικυθήρων προέρχονται από αποικίες της Κορίνθου.

ISSN: 2241-9993



Εικόνα 4. Η κατανομή των ονομάτων των μηνών του Μηχανισμού των Αντικυθήρων στις αρχαίες ελληνικές πόλεις. Τα χρώματα αντικατοπτρίζουν την σπανιότητα των ονομάτων (*κόκκινο*: πολύ σπάνια ονόματα, *πράσινο*: όχι τόσο σπάνια και *κίτρινο*: κοινά ονόματα. Όσο πιο μεγάλο το μέγεθος του τετραγωνιδίου, τόσο πιο πολλοί μήνες του ημερολογίου της πόλης, έχουν βρεθεί και στο Μηχανισμό.

νιο), από αποικίες δηλαδή της Κορίνθου (Εικόνα 4). Η ανακάλυψη αυτή ανοίγει νέες προοπτικές όσον αφορά την προέλευση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων.

Τα ημερολόγια των αρχαίων ελληνικών πόλεων, ελάχιστα εκ των οποίων είναι πλήρη, διέφεραν μεταξύ τους τόσο στο όνομα των μηνών όσο και στη διαδοχική σειρά των μηνών. Τα αρχαία ελληνικά ονόματα των μηνών του ημερολογίου του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, ανήκουν στη Δωρική οικογένεια ημερολογίων των πόλεων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Στον Πίνακα Ι παρουσιάζονται τα ημερολόγια του Μηχανισμού, της Κέρκυρας, της Δωδώνης, του Βουθρωτού, του Ταυρομενίου, καθώς και τα πλήρη ημερολόγια των Αθηνών και της Ρόδου. Είναι προφανής η συνάφεια του ημερολογίου του Μηχανισμού με τα ημερολόγια των τριών πρώτων πόλεων και η έλλειψη αυτής με τα ημερολόγια των τελευταίων δύο πόλεων.

Πίνακας Ι: Το ημερολόγιο του Μηχανισμού των Αντικυθήρων και τα ημερολόγια μερικών Ελληνικών πόλεων

Μηχανισμός Αντικυθήρων	Κέρκυρα	Δωδώνη	Βουθρωτός	Ταυρομένιον	Αθήνα	Ρόδος
ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ	ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ	ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ	ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ	ΙΤΩΝΙΟΣ	ΜΕΤΑΓΕΙΤΝΙΩΝ	ΚΑΡΝΕΙΟΣ
ΚΡΑΝΕΙΟΣ			ΚΡΑΝΕΙΟΣ	ΚΑΡΝΕΙΟΣ	ΒΟΗΔΡΟΜΙΩΝ	ΔΑΛΙΟΣ
ΛΑΝΟΤΡΟΠΙΟΣ		ΑΛΙΟΤΡΟΠΙΟΣ		ΛΑΝΟΤΡΟΣ	ΠΥΑΝΟΨΙΩΝ	ΘΕΣΜΟΦΟΡΙΟΣ
ΜΑΧΑΝΕΥΣ	ΜΑΧΑΝΕΥΣ			ΑΠΟΛΛΩΝΙΟΣ	ΜΑΙΜΑΚΤΗΡΙΩΝ	ΔΙΟΣΘΥΟΣ
ΔΩΔΕΚΑΤΕΥΣ	ΔΩΔΕΚΑΤΕΥΣ			ΔΥΩ/ΟΔΕΚΑΤΕΥΣ	ΠΟΣΙΔΕΩΝ	ΘΕΥΔΑΙΣΙΟΣ
ΕΥΚΛΕΙΟΣ	ΕΥΚΛΕΙΟΣ		ΕΥΚΛΕΙΟΣ	ΕΥΚΛΕΙΟΣ	ΓΑΜΗΛΙΩΝ	ΠΕΔΑΓΕΙΤΝΙΟΣ
ΑΡΤΕΜΙΣΙΟΣ	ΑΡΤΕΜΙΤΙΟΣ			ΑΡΤΕΜΙΤ/ΣΙΟΣ	ΑΝΘΕΣΤΗΡΙΩΝ	ΒΑΔΡΟΜΙΟΣ
ΨΥΔΡΕΥΣ	ΨΥΔΡΕΥΣ		ΨΥΔΡΕΥΣ	ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ	ΕΛΑΦΗΒΟΛΙΩΝ	ΣΜΙΝΘΙΟΣ
ΓΑΜΕΛΙΟΣ		ΓΑΜΙΛΙΟΣ	ΓΑΜΙΛΙΟΣ	ΕΛΛΟΚΙΟΣ	ΜΟΥΝΥΧΙΩΝ	ΑΡΤΑΜΙΤΙΟΣ
ΑΓΡΙΑΝΙΟΣ			ΑΓΡΙΑΝΙΟΣ	ΔΑΜΑΤΡΙΟΣ	ΘΑΡΓΗΛΙΩΝ	ΑΓΡΙΑΝΙΟΣ
ΠΑΝΑΜΟΣ	ΠΑΝΑΜΟΣ	ΠΑΝΑΜΟΣ	ΠΑΝΑΜΟΣ	ΠΑΝΑΜΟΣ	ΣΚΙΡΟΦΟΡΙΩΝ	ΥΑΚΙΝΘΙΟΣ
ΑΠΕΛΛΑΙΟΣ		ΑΠΕΛΛΑΙΟΣ		ΑΠΕΛΛΑΙΟΣ	ΕΚΑΤΟΜΒΑΙΩΝ	ΠΑΝΑΜΟΣ
		ΔΑΤΥΙΟΣ				

ISSN: 2241-9993

Το Ταυρομένιο, το οποίο βρίσκεται στην ΒΑ Σικελία, ευρέθη συχνά υπό την επιρροή ή και κατοχή των Συρακουσών, όπου διέπρεψε ο γίγαντας των επιστημών και τεχνολογίας, Αρχιμήδης. Ο Αρχιμήδης φονεύθηκε κατά την άλωση των Συρακουσών το 212 π.Χ., έτσι δεν θα μπορούσε προσωπικά να επιβλέψει την κατασκευή του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Επί πλέον στην εποχή του δεν φαίνεται να ήταν γνωστή η θεωρία των επικύκλων, που περιέχει ο Μηχανισμός για την κίνηση του δείκτη της Σελήνης.

Η Κέρκυρα, το Βουθρωτό και η Δωδώνη δεν φημίζονταν για την τεχνολογική υποδομή τους. Όμως η αναφορά, μεταξύ των Στεφανιτών αγώνων (Ολυμπιακοί, Πύθια, Νέμεα, Ίσθμια) και των Ναϊων (τα Νάϊα διεξήγοντο στη Δωδώνη και αναβαθμίσθηκαν σε Στεφανίτες αγώνες από το βασιλιά Πύρρο), υποδεικνύει ότι η ιδιοκτησία και χρήση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων ίσως πρέπει να αναζητηθεί στη γενικευμένη περιοχή της ΒΔ Ελλάδας.

Περισσότερες πληροφορίες μπορεί να αντλήσει κανείς από την ιστοσελίδα:
http://www.antikythera-mechanism.gr, η οποία ανανεώνεται περιοδικά και περιλαμβάνει τελευταία νέα, απαντήσεις σε βασικά ερωτήματα, άρθρα, εικόνες, βίντεο και άλλες πληροφορίες.

ISSN: 2241-9993

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

Διεύθυνση- Direction
ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΙΟΥ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗΣ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
JOHN HUGH SEIRADAKIS, Aristotle University of Thessaloniki

Αλέξανδρος Τούρτας, et al.

Alexandros Tourtas, et al.

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

Στοιχεία και ερμηνείες σχετικά με την εύρεση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Σημειώσεις για το μέλλον

- Αλέξανδρος Τούρτας, Αρχαιολόγος, Υποψήφιος Διδάκτορας του Τμήματος Αρχιτεκτόνων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
  E-mail: alextourtas@gmail.com
- Δρ. Θεοτόκης Θεοδούλου, Αρχαιολόγος της Εφορείας Εναλίων Αρχαιοτήτων του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων
  E-mail: t_theotokis@hotmail.com
- Δρ. Δημήτριος Κουρκουμέλης, Αρχαιολόγος της Εφορείας Εναλίων Αρχαιοτήτων του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων
  E-mail: d.kourkoumelis@gmail.com
- Δρ. Brendan Foley, Αρχαιολόγος, Ειδικός ερευνητής του τμήματος Applied Ocean Physics & Engineering του Woods Hole Oceanographic Institution, USA
  E-mail: bfoley@whoi.edu
- Ιωάννης Χιού Σειραδάκης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
  E-mail: jhs@astro.auth.gr

ISSN: 2241-9993

Περίληψη
Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων αποτελεί ένα μοναδικό εύρημα. Η έρευνά του απασχολεί επιστήμονες προερχόμενους από ένα ευρύ φάσμα ειδικοτήτων και τα αποτελέσματά της φανερώνουν τον ανεπτυγμένο βαθμό της επιστημονικής εξέλιξης της εποχής, που κατασκευάστηκε ο Μηχανισμός, ξαναγράφοντας την ιστορία της τεχνολογίας. Μετά από έναν και πλέον αιώνα από την εύρεση του, αρχαιολόγοι επιστρέφουν στο χώρο του ναυαγίου, με σκοπό ανάμεσα σε άλλες αναζητήσεις να φέρουν νέα στοιχεία και στην έρευνα του Μηχανισμού. Στο παρόν κείμενο γίνεται η προσπάθεια, πριν ξεκινήσει η επικείμενη ανασκαφή, να συγκεντρωθούν όλα τα μέχρι στιγμής ανασκαφικά δεδομένα, που αφορούν τον Μηχανισμό και να παρουσιαστεί η σχετική βιβλιογραφία.

Abstract
For more than a century the research on the Antikythera Mechanism engaged scientists from a wide range of scientific disciplines searching for clues, in order to solve the mystery that this unique archaeological find poses. The results so far have been spectacular enough to re-write the History of Technology providing new aspects on the degree of technological sophistication and scientific development in the Hellenistic world. Nowadays, a new scientific research program hopes to shed new light on the study of the wreck with archaeologists retuning to the underwater site ready to conduct excavation using modern technology and new scientific methodological approaches. In order for this new endeavour to be scientifically solid, all the available data deriving from all previous expeditions, as well as the research of the finds in the National Archaeological Museum in Athens, were gathered and thoroughly studied. In this paper a collection of the archaeological data concerning the Mechanism is presented side by side with a reviewed presentation of the relevant bibliography aiming to unwind the net of information created by scholars from the 1900s to present day research publications. There are no direct archaeological sources (e.g. excavation journal, official archaeological report) describing the early 20th century expeditions, during which the Mechanism was found, rather than a collection of newspaper articles and the published memoires of individuals who took part in the enterprise. However, there are scientific postulations regarding the Mechanism quite early after the find was published in archaeological journals amongst other finds of the wreck in 1902-3. In the 1950s a new chapter in the study of the Mechanism opened when prof. Derek de Solla Price focused his attention on the exquisite find. His fundamental work “Gears from the Greeks” was published in 1974 and with it the story of Antikythera Mechanism reached scholars all around the world. Since then, plenty scientific endeavors have been publishing data or postulating theories about the origins and the function of the Mechanism. Each one of them has been reproducing the historical and archaeological data from previous works, either without further research or with a certain amount of uncertainty founded on the indirect sources of the historical accounts, thus creating a cloud of insecurity concerning the validity of the facts. As mentioned above, this paper presents all this information in an effort to clarify the archaeological context on the discovery of the Antikythera Mechanism.

Λέξεις-Κλειδιά: Μηχανισμός Αντικυθήρων, Ενάλια Αρχαιολογία

Keywords: Antikythera Mechanism, Maritime archaeology

ISSN: 2241-9993

1. Εισαγωγή

Στις αρχές του 20ου αιώνα, ξεκίνησε μία επιστημονική αναζήτηση κάπως διαφορετική από τις συνηθισμένες, για ένα αρχαιολογικό εύρημα, η ερμηνεία του οποίου ξεπέρασε τα όρια της αρχαιολογικής επιστήμης και μαγνήτισε σταδιακά ολοένα και περισσότερους ερευνητές από διάφορα πεδία, προκειμένου να λυθεί το μυστήριο, που το καλύπτει. Ο μηχανισμός, που ανέτρεπε τις μέχρι τότε «βεβαιότητες» για την εξέλιξη της τεχνολογίας, βρέθηκε θραυσμένος και διαβρωμένος, ανάμεσα σε εκατοντάδες άλλα αντικείμενα, που ανελκύσθηκαν από το βυθό της θάλασσας δίπλα στο μικρό νησί των Αντικυθήρων. Σταδιακά, η μοναδικότητα του ευρήματος άρχισε να αποκαλύπτεται και οι δυσκολίες της ερμηνείας του να προκαλούν έντονο επιστημονικό ενδιαφέρον. Έναν σχεδόν αιώνα μετά, η αναζήτηση συνεχίζεται και το εξαιρετικό εύρημα απέκτησε τη δική του ιστορία. Μια νέα ερευνητική προσπάθεια έχει ξεκινήσει από το 2012 και το ναυάγιο γίνεται πάλι αντικείμενο διερεύνησης και χώρος συστηματικής ανασκαφής[1]. Μέχρι σήμερα, διάφορα αντικείμενα έχουν εντοπιστεί και ανελκυστεί και η ελπίδα για την ανεύρεση νέων ευρημάτων, ανάμεσά τους και στοιχείων που αφορούν άμεσα ή έμμεσα το Μηχανισμό των Αντικυθήρων, αποτελεί σίγουρα ένα σημαντικό κίνητρο για την διαμόρφωση μίας προσεκτικής και τεκμηριωμένης αρχαιολογικής προσέγγισης.

Η ιστορία του Μηχανισμού των Αντικυθήρων περιλαμβάνει δύο βασικά κεφάλαια. Το πρώτο αφορά την κατασκευή, τη χρήση και την απώλειά του στους δύο πρώτους προχριστιανικούς αιώνες. Τα κύρια ερωτήματα αυτής της περιόδου συνεχίζουν να τροφοδοτούν την έρευνα και μέσω αυτής να πλουτίζουν την επιστημονική γνώση. Το δεύτερο ξεκινά δυο χιλιετίες αργότερα, με την εύρεση του ναυαγίου, που μετέφερε τον Μηχανισμό, και τον εντοπισμό του ανάμεσα στα ευρήματα της υποβρύχιας έρευνας.

Η δεύτερη αυτή περίοδος, η ερευνητική δηλαδή ιστορία του Μηχανισμού αποτελεί και το θέμα του παρόντος κειμένου. Πιο συγκεκριμένα, εστιάζει στο πεδίο της έρευνας των πρώτων χρόνων του 20ου αιώνα και τις συνθήκες της εύρεσης του Μηχανισμού. Η χρονική απόσταση, η απουσία επίσημης τεκμηρίωσης και η έμμεση παράδοση πληροφοριών καθιστούν την αναζήτηση των γεγονότων περίπλοκη. Στα εκατό και πλέον χρόνια που μεσολάβησαν σχηματίστηκε σταδιακά μια ιστορία γύρω από αυτά, βασισμένη πολλές φορές σε συμβάσεις ή υποθέσεις, οι οποίες στη συνέχεια αποκρυσταλλώθηκαν και αναπαράγονται ως δεδομένα. Σκοπός λοιπόν της παρούσας μελέτης είναι να προσεγγίσει με αναλυτικό τρόπο τις σχετικές μαρτυρίες και καταγραφές, που αφορούν την περίοδο της εύρεσης του Μηχανισμού, προσφέροντας μια συνολική ματιά στην εξέλιξη της ιστορίας και να ορίσει το ανασκαφικό πλαίσιο του ευρήματος. Με άλλα λόγια, γίνεται μια προσπάθεια να παρουσιαστεί το σύνολο της βιβλιογραφίας και να εντοπιστούν τα σημεία σύγκλισης (επιβεβαιώνοντας ίσως τα δεδομένα) ή απόκλισης (προκαλώντας μάλλον αμφιβολίες για την ορθότητά των κειμένων). Σε κάθε περίπτωση, η συγκέντρωση των πηγών και η παρουσίασή τους βοηθά τον καθένα να βγάλει τα δικά του συμπεράσματα και να πλάσει τη δική του εικόνα για τα γεγονότα της εποχής. Ταυτόχρονα, εκφράζονται ορισμένες σκέψεις σχετικά με τις ερμηνείες, που έχουν διατυπωθεί μέχρι σήμερα, με στόχο την καλύτερη κατανόηση του αρχαιολογικού πλαισίου, του οποίου η μελέτη αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή διεξαγωγή της σύγχρονης υποβρύχιας έρευνας.

Η βιβλιογραφία σχετικά με τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων είναι πλούσια. Ανάμεσα στα κείμενα, που την απαρτίζουν, βρίσκονται και άρθρα, τα οποία συγκεντρώνουν στοιχεία για την ερευνητική ιστορία του Μηχανισμού. Σε ό,τι αφορά την πρώιμη αυτή περίοδο της έρευνας, τα πιο πρό-

[1] Η σύγχρονη έρευνα στο ναυάγιο των Αντικυθήρων διεξάγεται από την Εφορεία Εναλίων Αρχαιοτήτων του Υπουργείου Πολιτισμού και Αθλητισμού σε συνεργασία με το ωκεανογραφικό ινστιτούτο Woods Hole, των Η.Π.Α. και με την αρωγή ειδικών συνεργατών και υποστηρικτών. Την επιτελική διεύθυνση έχει η προϊσταμένη της Εφορείας Δρ. Α. Σίμωσι, με επιστημονικούς υπευθύνους τους Δρ. Θεοτόκη Θεοδούλου και Δρ. Δημήτρη Κουρκουμέλη, ενώ από την πλευρά του Woods Hole Ocenaographic Institution επικεφαλής είναι ο αρχαιολόγος-τεχνολόγος Δρ. Brendan Foley (http://antikythera.whoi.edu/ [τελευταία επίσκεψη στις 05.02.2016]).

ISSN: 2241-9993

σφατα συνοδεύουν τον κατάλογο της μεγάλης περιοδικής έκθεσης «Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι Θησαυροί, ο Μηχανισμός» (Καλτσάς και συνερ. 2012), που διοργάνωσε το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο από τις 5 Απριλίου 2012 έως τις 29 Ιουνίου του 2014 (Τσιποπούλου και συνερ. 2012, 26-28; Προσκυνητοπούλου 2012, 228-229; Μάγκου 2012, 232-240; Ζαφειροπούλου 2012, 241-248), καθώς και τη σχετική έκδοση «Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Η τεχνολογία του πλοίου, του φορτίου, του Μηχανισμού» (Χριστοπούλου και συν. 2012), που ακολούθησε (Μπιτσάκης 2012, 94-103).

Πρόσφατο επίσης μπορεί να χαρακτηριστεί το βιβλίο της Jo Marchant, "Decoding the Heavens", που δημοσιεύθηκε το 2008 και εξιστορεί, με λογοτεχνικό βέβαια ύφος, αλλά και επιστημονικά ερείσματα, την πορεία του Μηχανισμού στο χρόνο[2].

Αναζητώντας πληροφορίες σε παλαιότερες πηγές ανακαλύπτει κανείς στοιχεία είτε άμεσα, με τη μελέτη κειμένων, που παρήγαν πρωτότυπη γνώση, είτε έμμεσα, από εισαγωγικά συνήθως κεφάλαια, που συγκεντρώνουν τα μέχρι τότε γνωστά ερευνητικά αποτελέσματα (Weinberg et al. 1965, 3-4; Throckmorton 1970, 113-168/ 1987, 14-20; Αναστασίου 2014, 10-12), ακόμα και από προσπάθειες μη ειδικών, όπως ο V. J. Kean (1995, 51-57) να δημοσιεύσουν τη δική τους «ιδιαίτερη» ερμηνεία στο μυστήριο.

Οπωσδήποτε, θεμελιώδες έργο στην έρευνα του Μηχανισμού αποτελεί το "*Gears from the Greeks*" του Derek de Solla Price (1974). Ιδιαίτερα στην ελληνική έκδοση του έργου του (Price 1995)[3], όπου και το περιεχόμενο έχει ανακατανεμηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να διαχωρίζονται τα ιστορικά στοιχεία από τις τεχνικές λεπτομέρειες, δίνεται μια εναργής εικόνα της έρευνας για το Μηχανισμό μέχρι και την εποχή σύνταξης του κειμένου[4].

---

[2] Σχετικά με το βιβλίο σημειώνονται δύο ακόμα δημοσιεύσεις. Η πρώτη είναι της ίδιας συγγραφέως και προηγείται της έκδοσης του (J. Marchant, *In search of lost time*. Nature 8(444) (2006), 534-538) και η δεύτερη έπεται (AMRP, *Decoding the Heavens by Jo Marchant. Comments* στο http://www.antikythera-mechanism.gr/system/files/Decoding-the-heavens-notes-and-comments.pdf [τελευταία επίσκεψη στις 03/04/2016]). Στην τελευταία, οι μελετητές προχωρούν σε μια κριτική της έκδοσης και εκφράζουν την άποψή τους σε συγκεκριμένα θέματα και διατυπώσεις. Βλ. επίσης Feke, J., *Review Author(s): Jo Marchant. Decoding the Heavens*. ISIS **101**(1) (2010), 261-262.

[3] Μεταφορά του έργου του Price (D. de Solla Price, *Gears from the Greeks. The Antikythera Mechanism: A Calendar Computer from ca. 80 BC*. Transactions of the American Philosophical Society 64(7), 1974/ Price, D. De Solla, *Γρανάζια από τους Έλληνες. Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων* (Ν. Α. Οικονόμου, Μτφ. / Θ. Ιωαννίδης, επιμ.) Θεσσαλονίκη 1995) στα ελληνικά έχει γίνει επίσης από τον Χ. Λάζο το 1994 (Χ. Λάζος, *Ο υπολογιστής των Αντικυθήρων. Μηχανισμοί με διαφορικό γρανάζι*, Αθήνα 1994), σε μια πιο ελεύθερη μορφή. Και τα δυο ελληνικά βιβλία μπορούν να χαρακτηριστούν ως «αντιδάνεια», υπό την έννοια, ότι μεταφέρουν πληροφορίες από τις ελληνικές πηγές, στις οποίες στηρίχθηκε ο Price, μέσα από το αγγλικό κείμενο.

[4] Στο παρόν κείμενο γίνεται η προσπάθεια να εντοπιστούν και να αποσαφηνιστούν διάφορες παρανοήσεις, που προέκυψαν από τη διαδικασία μεταγραφής των στοιχείων. Επί παραδείγματι, η μεταφορά των γεγονότων από το κείμενο του Σβορώνου (Ι.Ν. Σβορώνος, *Το εν Αθήναις Εθνικόν Μουσείον*, Αθήνα 1903), στο οποίο και βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά ο Price (1974, ο.π.,/1995, ο.π.) έχει μικρά λάθη, που οφείλονται στη μετάφραση. Χαρακτηριστικό είναι αυτό της σελ. 5 (σελ. 8 στην ελληνική έκδοση), όπου η λέξη οργυιά μεταφράζεται ως "ell" (πήχυς=0,42 μ.) και όχι, όπως θα έπρεπε, "fathom" (=1,8 μ.), με αποτέλεσμα να αλλάζει το βάθος του ναυαγίου. Η παρανόηση, προέκυψε προφανώς από το γεγονός, ότι ο Price βασίζεται στη γερμανική έκδοση του έργου του Σβορώνου, στην οποία έχει γίνει και το αρχικό λάθος (J. N. Svoronos, *Das Athener Nationalmuseum*, Athen 1908, 2). Επειδή μάλιστα οι 35 πήχεις (16 μ.) του φαίνονται λίγοι παραθέτει, ότι αυτή είναι η πληροφορία του Σβορώνου (1902, ο.π., 2/1908, ο.π., 2), η οποία - σημειωτέον εστί - επιβεβαιώνεται από άλλες σύγχρονες πηγές (Γ. Π. Βυζαντινός, *Εις τον βυθόν των Αντικυθήρων*. Παναθήναια Α' (1901), 226; Ε. Σ. Λυκούδης, *Αρχαιολογικοί θησαυροί των Αντικυθήρων. Ημερολόγιο αυτόπτου της ανελκύσεως*, Σελίδες (1920), 8, 12, 21, 29, 46) και από τον τύπο της εποχής, (Βλ. Σκριπ, αρ. φυλ. 1915, 14.12.1900, 3; Εμπρός, αρ. φυλ. 1514, 16.01.1901, 2; Το Άστυ, αρ. φυλ. 3686, 13.02.1901, 1). Τα 140 πόδια (42 μέτρα) στα οποία καταλήγει ο Price (1974, ο.π., 5/1995, ο.π., 8.) δεν δικαιολογούνται με κάποιο τρόπο στο κείμενο. Ίσως αυτό είναι ένα βάθος που φάνηκε λογικό στο μελετητή ή το εντόπισε σε κάποια πηγή, στην οποία όμως δε γίνεται αναφορά. Οι Weinberg et al. (G. D. Weinberg, V. R. Grace, G. R. Edwards, H. S. Robinson, P. Throckmorton, E. K. Ralph, *The Antikythera Shipwreck Reconsidered*. Transactions of the American Philosophical Society 55(3) (1965), 3, 46) τη δημοσίευση των οποίων συμ-

ISSN: 2241-9993

Ταξιδεύοντας χρονικά προς τα πίσω φτάνει κανείς μέσα από διάφορα σποραδικά κείμενα των δεκαετιών του 1920 και του 1930 στις «άμεσες» πηγές[5]. Κείμενα που γραφτήκαν κοντά στα γεγονότα, την πρώτη δηλαδή δεκαετία του 20ου αιώνα. Φυσικά, η εγγύτητα δεν αποτελεί από μόνη της και απόδειξη εγκυρότητας. Παρόλο που, για παράδειγμα, οι πληροφορίες, τις οποίες μεταφέρει, είναι πολλές φορές ανακριβείς, ο ημερήσιος τύπος αποτελεί τον καλύτερο χρονολογικό οδηγό, μια και η λογική της άμεσης δημοσίευσης σε συνδυασμό με την τακτικότητα της έκδοσης χαρίζουν στο είδος χρονική ακρίβεια. Συνεπώς, σε ό,τι αφορά τη χρονική αλληλουχία των γεγονότων, η αναζήτηση στις σελίδες των εφημερίδων, δύναται να αποδώσει ικανοποιητικές πληροφορίες. Επίσης, μέσα από τις σελίδες των εφημερίδων καταθέτουν τις απόψεις τους διάφοροι ειδικοί (Ι. Σβορώνος[6], Α. Κεραμόπουλος[7], Κ. Ράδος[8], Π. Ρεδιάδης[9], Α. Δαμβέργης[10], Θ. Θωμόπουλος[11] κ.α.) και μη[12] (Σ. Λυκούδης[13], Γ. Χρυσάφης[14] κ.α.). Σε αυτό το πλαίσιο εντάσσονται και κείμενα, όπως το ημερολόγιο του Σ. Λυκούδη, το οποίο εκδόθηκε το 1920[15] και αποτελεί κατ' ουσίαν μια συγκέντρωση των κειμένων του συγγραφέα, που δημοσιεύτηκαν το 1901 στον ημερήσιο και περιοδικό τύπο. Εντούτοις, περισσότερο τεκμηριωμένες πληροφορίες παρέχουν τα επιστημονικά κείμενα της εποχής. Ανάμεσά τους ξεχωρίζει η πρώτη επιστημονική δημοσίευση[16], που αναφέρεται εκτενώς στον Μηχανισμό (Σβορώνος 1903) και από την οποία άντλησαν πληροφορίες πολλοί μετέπειτα ερευνητές (βλ. Price 1974/1995; Τσιποπούλου και συνερ. 2012), η απάντηση του Βαλέριου Στάη (1905) στις ερμηνείες του παραπάνω κειμένου τρία χρόνια αργότερα, με ειδική αναφορά στο Μηχανισμό[17] και τέλος οι

βουλεύεται ο Price (1974, ο.π., 8) στο έργο τους αναφέρουν το βάθος των 180 ποδών. Τον ίδιο αριθμό αναφέρει αργότερα και ο Throckmorton (P. Throckmorton, *The Sea remembers: shipwrecks and archaeology from Homer's Greece to the rediscovery of the Titanic*, New York 1987, 15) και ο V. J. Kean (V. J. Kean, The ancient Greek computer from Rhodes known as the Antikythera Mechanism, Athens 1991, 54). Κατά τη μεταφορά του ο Χ. Λάζος (1994, ο.π., 23) διορθώνει το βάθος σε 60 μέτρα. Το βάθος της κύριας συγκέντρωσης των λειψάνων του ναυαγίου, όπως προκύπτει από τη σύγχρονη υποβρύχια έρευνα κυμαίνεται μεταξύ 45 και 55 μέτρων.

[5] Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθούν: α)η διπλωματική εργασία της Μ. Νικολή, *Οι πρώτες αναφορές στην ανακάλυψη του ναυαγίου και του Μηχανισμού των Αντικυθήρων*. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2012 από το http://search.lib.auth.gr/Record/ikee-129872 [τελευταία επίσκεψη στις 03.02.2016], και β) η διπλωματική εργασία της Β. Φράγκου, *Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων: ιστορική αναδρομή και αστρονομικές προεκτάσεις*. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2010 από το http://search.lib.auth.gr/Record/ikee-122865 [τελευταία επίσκεψη στις 03.02.2016], η οποία υπάρχει και στα αγγλικά στο http://www.astro.auth.gr/documents/diplomas/2010_Fragkou-Antikythera-en.pdf [τελευταία επίσκεψη στις 05.02.2016].

[6] Το Άστυ, αρ. φυλ. 3671, 28.01.1901, 1/ αρ. φυλ. 3674, 31.01.1901, 1/ αρ. φυλ. 3680, 06.02.1901, 1/ αρ. φυλ. 3704, 03.03.1901, 1/ αρ. φυλ. 3705, 04.03.1901, 2/ αρ. φυλ. 3724, 23.03.1901, 3/ αρ. φυλ. 3869, 16.08.1901, 2/ αρ. φυλ. 4148, 30.05.1902, 2.

[7] Νέον Άστυ, αρ. φυλ. 472, 31.03.1903, 1/ αρ. φυλ. 478, 06.04.1903, 1/ αρ. φυλ. 4581, 12.08.1903, 3.

[8] Εστία, αρ. φυλ 359, 26.02.1901, 1; Το Άστυ, αρ. φυλ. 4142, 24.05.1902, 1/ αρ. φυλ. 4147, 29.05.1902, 1.

[9] Το Άστυ, αρ. φυλ. 4148, 30.05.1902, 1/ αρ. φυλ. 4174, 23.06.1902, 2/ αρ. φυλ. 4175, 24.06.1902, 2.

[10] Το Άστυ, αρ. φυλ. 3677, 03.02.1901, 2.

[11] Ακρόπολις, αρ. φυλ. 12.10.1902, 3.

[12] Περί «ειδικών» και «μη ειδικών» βλ. Λυκούδης 1920, ο.π., 41, σημ. 1.

[13] Το Άστυ, αρ. φυλ. 3692, 19.02.1901, 1/ αρ. φυλ. 3694, 21.02.1901, 1/ αρ. φυλ. 3858, 05.08.1901, 1/ αρ. φυλ. 3859, 06.08.1901, 1/ αρ. φυλ. 3860, 07.08.1901, 2/ αρ. φυλ. 3861, 08.08.1901, 2; Εστία, αρ. φυλ. 355, 22.03.1901, 1.

[14] Εστία, αρ. φυλ. 255, 11.11.1900, 2.

[15] Η έκδοση πρέπει να επαναλήφθηκε και το 1921, καθώς υπάρχουν και αντίτυπα με αυτή τη χρονολογία στην πρώτη σελίδα.

[16] Προηγείται η αναφορά του ευρήματος στην Αρχαιολογική Εφημερίδα του 1902 (*Τα ευρήματα του ναυαγίου των Αντικυθήρων*. Αρχαιολογική Εφημερίς 1902, 170-172; Ρ. Προσκυνητοπούλου, *Η ιστορία της μελέτης του Μηχανισμού των Αντικυθήρων* στο Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο Μηχανισμός, Αθήνα 2012, 229, σημ. 7).

[17] Το κείμενο του Β. Στάη (*Τα εξ Αντικυθήρων ευρήματα. Χρονολογία, προέλευσις, χαλκούς έφηβος,* Αθήνα 1905) δεν παρέχει ουσιαστικά στοιχεία για την εύρεση του Μηχανισμού. Ασχολείται αποκλειστικά με τη χρονολόγηση του ευρή-

ISSN: 2241-9993

διαδοχικές ειδικές δημοσιεύσεις ερευνητών, όπως οι Κ. Ράδος (1910, Rados 1905), Π. Ρεδιάδης (1903[α]; 1910)[18], A. Rehm (1907)[19], Ι. Θεοφανίδης (1929, Théofanidis 1934), που ασχολήθηκαν ενδελεχώς με τον Μηχανισμό στα πρώτα χρόνια μετά την εύρεση (Προσκυνητοπούλου 2012, 228-229).

Η δομή του κειμένου βασίζεται στην παρουσίαση και την ερμηνεία τριών βασικών συνόλων δεδομένων. Το πρώτο αφορά πληροφορίες για το χώρο, στον οποίο βρέθηκε ο Μηχανισμός, το δεύτερο την αναγνώριση του ευρήματος και το τρίτο την ανέλκυση του αντικειμένου.

ματος. Ωστόσο, περιέχεται μια σημαντική λεπτομέρεια σχετικά με τον καθαρισμό του θραύσματος 19 (Στάης 1905, ο.π., 22, σημ. 1), ο οποίος οδήγησε στην ανάγνωση του κειμένου προσφέροντας σημαντικά στοιχεία για την κατανόηση της λειτουργίας του οργάνου (Ζαφειροπούλου2012, ο.π., 241).

[18] Την ίδια χρονιά ο Π. Ρεδιάδης (*Ο αστρολάβος των Αντικυθήρων,* Παναθήναια Ζ' (1903[β]), 188-89) δημοσιεύει ένα συνοπτικό κείμενο στο περιοδικό Παναθήναια.

[19] Στη συγκεκριμένη δημοσίευση ο Rehm κάνει κριτική στο έργο των Ι. Σβορώνου και Π. Ρεδιάδη (*Ο εξ Αντικυθήρων αστρολάβος* στο Ι. Ν. Σβορώνος (επιμ.)*Το εν Αθήναις Εθνικόν Μουσείον*,. Αθήνα 1903(α), 44-52). Δεν αναφέρεται σε ιστορικά στοιχεία γύρω από το ναυάγιο. Εδώ αναφέρεται ως μέρος της γενικότερης βιβλιογραφίας σχετικά με το Μηχανισμό. Ουσιαστικές για τη μελέτη του Μηχανισμού είναι οι ανέκδοτες σημειώσεις (Notizbuch), που κράτησε ο Rhem, όταν εξέτασε το αντικείμενο στην Αθήνα και βρίσκονται σήμερα στη Bayerische Staatsbibliothek στο Μόναχο (A. Rehm, *Meteorologische Instrumente der Alten* (unpublished manuscript).
Bayerische Staatsbibliothek, Rehmiana III, (1905) όπως αναφέρεται στο T. Freeth, *Building the Cosmos in the Antikythera Mechanism* in Proceedings of the meeting "From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients" (Antikythera & SKA). 12-15 June 2012. Kerastari, Greece. 2012, 4). Σύμφωνα με τους Κ. Ράδο (*Περί τον θησαυρόν των Αντικυθήρων : Αστρολάβος, αναφορικά ωρολόγια, μηχανικά δρομόμετρα, "σφαίραι" ή πλανετάρια. - Υποβρύχιαι ανασκαλεύσεις προς ανεύρεσιν αρχαιοτήτων*, Ναυτικαί και Αρχαιολογικαί Σελίδες, Αθήνα 1910, 1, σημ. 1) και Π. Ρεδιάδη (*Το εξ Αντικυθήρων Αστρολάβον,* Αρχαιολογική Εφημερίς 1910, 158) την άποψη του Rehm για τον Μηχανισμό μεταφέρει και στηρίζει ο G. Karo στη συνεδρίαση της Γερμανικής Αρχαιολογικής σχολής την 6[η] Δεκεμβρίου 1906.

ISSN: 2241-9993



Εικόνα 1. Το νησί των Αντικυθήρων βρίσκεται στη θαλάσσια δίοδο μεταξύ Κρήτης και ηπειρωτικής Ελλάδας.

2. Το ναυάγιο

Η ανακάλυψη του ναυαγίου των Αντικυθήρων είναι από μόνη της μια πολύ ενδιαφέρουσα ιστορία[20]. Την άνοιξη του 1900, δύο πλοιάρια σφουγγαράδων από τη Σύμη (ΑΕ 1902, 145; Σβορώνος 1903, 1; Price 1974, 5/1995, 7; Marchant 2008, 10) αναγκάστηκε λόγω κακοκαιρίας να σταθμεύσει για λίγες μέρες στο μικρό νησί των Αντικυθήρων[21].

Σε μία από τις καταδύσεις, που πραγματοποιήθηκαν στη βορειοανατολική πλευρά του νησιού, ανακαλύφθηκε συμπωματικά ο χώρος του ναυαγίου[22]. Τον Νοέμβριο του ίδιου χρόνου[23], ο επικεφαλής της ομάδας των σφουγγαράδων καπετάνιος Δ. Κοντός[24] μεταβαίνει στην Αθήνα, όπου συναντάται με τον Υπουργό των Εκκλησιαστικών και Δημόσιας Εκπαίδευσης, Σπυρίδωνα Στάη για να τον ενημερώσει σχετικά με το ναυάγιο.

Παρά τις αρχικές αντιρρήσεις, σε σύντομο χρονικό διάστημα διοργανώνεται μία πρωτόγνωρη

[20] Σχετικά με την ιστορία της εύρεσης του ναυαγίου βλ. ΑΕ 1902, ο.π., 145-149; Σβορώνος 1903, ο.π., 1-14; G. Karo, *Art salvaged from the Sea*, Archaeology 1(4), (1948), 179-185; Price 1974, ο.π., 5-9/ 1995, ο.π. 7-15; Throckmorton 1987, ο.π.; Λάζος 1994, ο.π., 23-29; Kean 1995, ο.π., 51-56; Μ. Τσιποπούλου, Μ. Αντωνίου & Σ. Μασουρίδη, *Οι έρευνες των ετών 1900-1901* στο Ν. Καλτσάς, Ε. Βλαχογιάννη & Π. Μπούγια (επιμ.) Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο Μηχανισμός, Αθήνα 2012, 18-31; Γ. Κουτσουφλάκης, *Στο βυθό των Αντικυθήρων* στο Κ. Δαμιανίδης (επιμ.) Ναυς. Πλοία και Ναυπηγική στον ελληνικό κόσμο, Αθήνα 2014, 170-171.

[21] Υπάρχει διχογνωμία σχετικά με την πορεία των σφουγγαράδων. Η μία άποψη αναφέρει πορεία προς τις ακτές της Βόρειας Αφρικής, ενώ η δεύτερη επιστροφή από αυτές (Σβορώνος 1903, ο.π. 1-2; Karo 1948, ο.π., 180; Price 1974, ο.π., 5./1995, ο.π., 7). Πρβλ. J. Marchant, Decoding the Heavens, London 2008, 10, 14, σημ. 1; AMRP, ο.π., 1. Επίσης σε ορισμένες πηγές αλλάζει και η χρονική περίοδος της εύρεσης. Βλ. ΑΕ 1902, ο.π., 145, όπου τοποθετείται στα τέλη του 1900 και Throckmorton 1987, ο.π., 14, όπου αναφέρεται ως πιθανός μήνας ο Οκτώβριος του 1900. Αυτή η αλλαγή βασίζεται στο συνηθισμένο πρόγραμμα των Συμιακών σφουγγαράδων της εποχής, το οποίο επέβαλε την αναχώρηση το Πάσχα και την επιστροφή το φθινόπωρο. (*Σφουγγάρι και Σφουγγαράδες*, "Επτά Ημέρες" της εφημερίδας *Καθημερινή*, 13-9-1998). Συνεπώς, εάν η ανακάλυψη έγινε στην επιστροφή, είναι λογικότερο να έγινε μετά το καλοκαίρι. Ο Σ. Λυκούδης (1950, *Ο περίφημος Θησαυρός της Νήσου των Αντικυθήρων*, 563) σε ένα κείμενο που δημοσιεύθηκε σε συνέχειες στην Επιθεώρηση «Ηλιος», αναφέρει μία ιστορία σχετικά με την εύρεση του ναυαγίου, που τοποθετείται χρονικά τις ημέρες του Πάσχα. Πιο συγκεκριμένα περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο αναφέρθηκε για πρώτη φορά η εύρεση του ναυαγίου με οπτικό τηλέγραφο την ημέρα εορτασμού της Ζωοδόχου Πηγής (Παρασκευή της Διακαινησίμου). Ωστόσο, σύμφωνα με την ιστορία του Σ. Λυκούδη, η αναφορά θεωρήθηκε αναληθής και παραβλέφθηκε. Η πλέον συνδυαστική ερμηνεία τοποθετεί την ανακάλυψη το Πάσχα του 1900, στο δρόμο προς την Β. Αφρική και την επιστροφή στο σημείο του ναυαγίου στις αρχές του Φθινοπώρου, πριν οι σφουγγαράδες επιστρέψουν στη Σύμη και εν συνεχεία αναφέρουν το εύρημα τους στην Αθήνα το Νοέμβριο του 1900.

[22] ο.π., σημ. 20.

[23] Οι πηγές αναφέρουν ως ημερομηνία συνάντησης την 6η Νοεμβρίου (Σβορώνος 1903, ο.π., 2; Price 1974, ο.π., 8/ 1995, ο.π., 11; Marchant 2008, ο.π., 15; Τσιποπούλου και συνερ. 2012, ο.π., 18). Σχετική αλληλογραφία της 7ης Νοεμβρίου 1900, περιλαμβάνει τόσο την επιστολή του Δ. Κοντού προς τον Γενικό Έφορο Αρχαιοτήτων, όσο και την απάντηση του ίδιου του υπουργού (Τσιποπούλου 2012, ο.π., εικ.1-2).

[24] Συνοδευόμενος από τον δύτη Ηλία Σταδιάτη (Price 1974, ο. π., 8/ 1995, 11) και τον καθηγητή Αρχαιολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών, Α. Οικονόμου (Σβορώνος 1903, ο.π., 2; Προσκυνητοπούλου 2012, ο.π., 228, σημ. 2), ο οποίος καταγόταν επίσης από τη Σύμη.

ISSN: 2241-9993

για την εποχή επιχείρηση ανέλκυσης (εικ. 2), που διήρκησε δέκα περίπου μήνες[25]. Παρόλο που δεν έλειψαν οι δυσκολίες εξαιτίας κυρίως των δύσκολων καιρικών συνθηκών, του μεγάλου βάθους και της δεδομένης για την εποχή απειρίας σε θέματα υποβρύχιας αρχαιολογίας, η έρευνα προσέφερε εξαιρετικής σημασίας αρχαιολογικά ευρήματα[26].
Το ιδιαίτερο φορτίο του πλοίου περιελάμβανε εκτός από τα συνήθη[27] ευρήματα, όπως οι εμπορικοί αμφορείς, ένα σύνολο πολύτιμων αντικειμένων. Ανάμεσά τους έργα πλαστικής, λίθινα και μπρούτζινα αγάλματα, εξαιρετικής ποιότητας γυάλινα σκεύη, κεραμικά αγγεία πολυτελείας, κοσμήματα κ.α. Τα ευρήματα μεταφέρθηκαν στον Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο (ΑΕ 1902, 149; Σβορώνος 1903, 8), όπου παραμένουν μέχρι σήμερα[28] (εικ. 3).



Εικόνα 2. Από τις επιχειρήσεις των ετών 1900-1901 (Τσιποπούλου και συνερ. 2012, εικ. 5)

[25] Η έναρξη των επιχειρήσεων στα Αντικύθηρα τοποθετείται στις 24 Νοεμβρίου 1900. Η πρώτη φάση κράτησε ως τις 30 Σεπτεμβρίου 1901 (Σβορώνος 1903, ο.π., 14; Τσιποπούλου και συνεργ. 2012, ο.π., 19, 22). Ο υπουργός παρήγγειλε τη διακοπή των εργασιών σε τηλεγράφημα της 25ης Σεπτεμβρίου 1901 (Εστία, αρ. φυλ. 209, 26.09.1901, 3) και οι δύτες επέστρεψαν την 1η Οκτωβρίου 1901 (Εμπρός, αρ. φυλ. 1771, 02.10.1901, 2). Τη μεγάλη κινητοποίηση των ετών 1900-1901 ακολούθησε μία μικρότερη επιχείρηση το 1905 (Εστία, αρ. φυλ. 4269, 22/12/1905, 2).
[26] Η συνολικότερη μέχρι τώρα εικόνα για τα ευρήματα του ναυαγίου των Αντικυθήρων προσφέρεται στο Ν. Καλτσάς, Ε. Βλαχογιάννη & Π. Μπούγια (επιμ.) Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο Μηχανισμός, Αθήνα 2012.
[27] «Συνήθη», όπως προκύπτει από τις μεταγενέστερες υποβρύχιες αρχαιολογικές έρευνες. Στις αρχές του 20ου αιώνα, δεν υπήρχαν δεδομένα σχετικά με τα αρχαία ναυάγια. Κατ' αναλογία βέβαια με τα ευρήματα των χερσαίων ανασκαφών θα μπορούσε κανείς να αναγνωρίσει τη μοναδικότητα του φορτίου.
[28] Ο Μηχανισμός ως σύνολο αναφέρεται στους καταλόγους του E.A.M. με τον κωδικό Χ 15087 (Y. Bitsakis, *The Antikythera Mechanism* in Christopoulou, A., Gadolou, A. & Bouyia, P. (eds.) / Fowler, M. A. (transl.), The Antikythera Shipwreck. The technology of the ship, the cargo, the mechanism. Athens 2012, 97).

ISSN: 2241-9993



Εικόνα 3.Τα ευρήματα του ναυαγίου των Αντικυθήρων στο αίθριο του Εθνικού αρχαιολογικού Μουσείου
(H. List, Licht über Hellas (Aufnahmen aus Griechenland zw. 1937-1941), München 1953)

Δυστυχώς τα λιγοστά στοιχεία που υπάρχουν από τις καταδύσεις των ετών 1900-1901 δεν επιτρέπουν τη σύγκριση με τα αντίστοιχα της σύγχρονης έρευνας, ώστε να προκύψουν με κάποιο τρόπο ενδείξεις σχετικά με τη συγκεκριμένη θέση εύρεσης του Μηχανισμού. Θεωρητικά, ο Μηχανισμός θα βρισκόταν σε κοντινή απόσταση από το σωρό των αγαλμάτων και των υπόλοιπων αντικειμένων, που ανελκύστηκαν. Από τη στιγμή που δεν ήταν εμφανής η αρχαιολογική του αξία, πιθανώς ανελκύστηκε μαζί με άλλα μη αναγνωρίσιμα τεμάχια. Η κακή κατάσταση στην οποία βρέθηκε (βλ. εικ. 4), σε συνδυασμό με το παχύ στρώμα οξείδωσης και επικαθίσεων συνηγορεί στην άποψη ότι έμεινε για μεγάλο χρονικό διάστημα εκτεθειμένος (και όχι θαμμένος στην άμμο) (Ρεδιάδης 1903, 45).

ISSN: 2241-9993



Εικόνα 4. Το θραύσμα Α φωνογραφημένο από τον Albert Rehm (Bayerische Staatsbibliothek, Rehmiana III, 1905)

ISSN: 2241-9993

3. Αναγνώριση του ευρήματος

Ο Μηχανισμός ανελκύστηκε κατά τη διάρκεια των επιχειρήσεων των αρχών του 20ου αιώνα. Οι μαρτυρίες που αφορούν τόσο την ανέλκυση, όσο και την αναγνώριση του ευρήματος ποικίλουν.

Η πιο γνωστή ιστορία σχετικά με τον εντοπισμό του Μηχανισμού δεν εξελίχθηκε στα Αντικύθηρα, αλλά στην Αθήνα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο Σπυρίδων Στάης διατελούσε Υπουργός Εκκλησιαστικών και Δημόσιας Εκπαίδευσης, την εποχή της ανακάλυψης του ναυαγίου. Σε αυτόν ανέφερε την εύρεση ο Δ. Κοντός και κατά πάσα πιθανότητα η επιλογή της διεξαγωγής μίας τέτοιου μεγέθους επιχείρησης, σε μια δύσκολη οικονομικά εποχή για το ελληνικό κράτος[29] (Τσιποπούλου 2012, 18), και η αμεσότητα με την οποία κινήθηκαν οι διαδικασίες οφείλονται στο ζωηρό ενδιαφέρον του υπουργού[30].

Σύμφωνα με τα δημοσιεύματα της εποχής ο Σ. Στάης επισκεπτόταν καθημερινά το Μουσείο, κάποιες μέρες και δύο φορές και επιθεωρούσε τις αρχαιότητες (Εστία, αρ. φυλ. 47, 17.04.1901, 4). Ο ίδιος άλλωστε, διέταξε τη δημιουργία ειδικής αίθουσας, που ετοιμάστηκε στο Μουσείο για να δεχθεί τα ευρήματα των Αντικυθήρων (Εμπρός, αρ. φυλ. 1528, 30.01.1901, 2/ αρ. φυλ. 1719, 11.08.1901, 3) και την οποία επιμελήθηκε προσωπικά (Σκριπ, αρ. φυλ. 1983, 24.02.1901, 1). Οι επισκέψεις αυτές συνεχίστηκαν και μετά τη λήξη της υπουργικής του θητείας. Σε μία από αυτές[31] (20 Μαΐου 1902), ευρισκόμενος στην αίθουσα που φυλασσόταν το άγαλμα του Εφήβου εντόπισε μεταξύ άλλων κάποια μεταλλικά τεμάχια, στα οποία ήταν ορατά τα τμήματα ενός τροχού με οδοντωτή εξωτερική πλευρά. Στη συνέχεια, κατόρθωσε να συναρμολογήσει τα κομμάτια, ώστε να φανεί ολόκληρος ο τροχός. Τότε παρατήρησε, ότι υπήρχε επιγραφή στην πίσω πλευρά, η οποία όμως ήταν δύσκολο να αναγνωσθεί (Σκριπ, αρ. φυλ. 2428, 21.05.1902, 4; Το Άστυ, αρ. φυλ. 4139, 21.05.1902, 1; Τσιποπούλου και συνερ. 2012, 26-28, σημ. 83; Ζαφειροπούλου 2012, 241, σημ. 1)[32].

Σε μία παραλλαγή της ιστορίας, τη στιγμή της ανακάλυψης (η οποία τοποθετείται αυτή τη φορά στις 18 Μαΐου 1902[33]), τον τέως υπουργό συνόδευε ο Έφορος Αρχαιοτήτων Γαβριήλ Βυζαντινός (Εστία, αρ. φυλ. 82, 22.05.1902, 4; Νέον Άστυ, αρ. φυλ. 162, 22.05.1902; Το Άστυ, αρ. φυλ. 4141, 23.05.1902, 1; Προσκυνητοπούλου 2012, 228, σημ. 2).Από τις πληροφορίες, που δημοσιεύθηκαν στον τύπο σχετικά με την ανακάλυψη, προκύπτει, ότι εντοπίστηκαν τρία θραύσματα[34] καλυμμένα από στρώμα οξειδίων χαλκού και άλλων ξένων ουσιών. Ήταν εμφανείς οδοντωτοί τροχοί «*επ' αλλήλων εξαρτώμενοι*», καθώς επίσης και μακρά επιγραφή (Το Άστυ, αρ. φυλ. 4139, 21.05.1902, 1;

[29] Στις αρχές του 20ου αιώνα το κράτος υποφέρει ακόμα από τις οικονομικές συνέπειες των πολεμικών επιχειρήσεων του 1897. Ο Ελληνοτουρκικός Πόλεμος του 1897 ή «πόλεμος των τριάντα ημερών» ή, όπως έμεινε γνωστός στην Ελλάδα, «Μαύρο '97» ή «Ατυχής πόλεμος», ήταν ο πόλεμος μεταξύ της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας και του Βασιλείου της Ελλάδας, ως απόρροια της τότε έκβασης του «Κρητικού προβλήματος» και κατέληξε σε διεθνή οικονομικό έλεγχο της Ελλάδας. Βλ. Ι. Μιχαηλίδης, *Ο ατυχής πόλεμος του 1897*, Έρευνες, εφημερίδα Καθημερινή, 28.01.2016 (http://www.kathimerini.gr/815952/gallery/epikairothta/ereynes/o-atyxhs-polemos--toy-1897).

[30] Οι Τσιποπούλου και συνερ. (2012, ο.π., 18) τονίζουν επίσης το ρόλο του πατριωτικού αισθήματος και της αυταπάρνησης που έδειξαν οι δύτες. Αμφιβολίες σχετικά με τις ευγενείς προθέσεις των σπογγαλιέων εξέφρασε ο Throckmorton (1987, ο.π., 16), στηριζόμενος στη μη ύπαρξη μολύβδινων αγκυρών από το ναυάγιο. Κατά τη γνώμη του αυτό αποτελούσε ένδειξη, ότι οι δύτες χρησιμοποίησαν το μολύβι από τις άγκυρες, που βρήκαν στο ναυάγιο, για να φτιάξουν καταδυτικά βάρη. Συνεπώς, δεν είχαν ηθικές αναστολές, που να τους εμποδίσουν να πραγματοποιήσουν και άλλες ατασθαλίες. Η σύγχρονη υποβρύχια έρευνα έχει ήδη εντοπίσει στην ευρύτερη περιοχή του ναυαγίου 4 άγκυρες και έχει ανελκύσει τις 2 από αυτές, αντικρούοντας de facto το επιχείρημα του Throckmorton. Βλ. σχετικά Foley – Theodoulou, 2015. *Return to Antikythera*, στην ημερίδα: *Βουτιά στα Περασμένα. Σαράντα χρόνια υποβρύχιας αρχαιολογικής έρευνας (1976-2014)*. 3 Μαρτ. 2015. Αθήνα (υπό έκδοση). Βλ. επίσης Δελτίο Τύπου έρευνας 2015: http://www.yppo.gr/2/g22.jsp?obj_id=62633 [τελευταία επίσκεψη στις 25-9-15].

[31] Στην οποία "*συνοδευόταν από τη σύζυγο και τη γυναικαδελφή του δεσποινίδα Βουγά*" (Σκριπ, αρ. φυλ. 2428, 21.05.1902, 4; Το Άστυ, αρ. φυλ. 4139, 21.05.1902, 1).

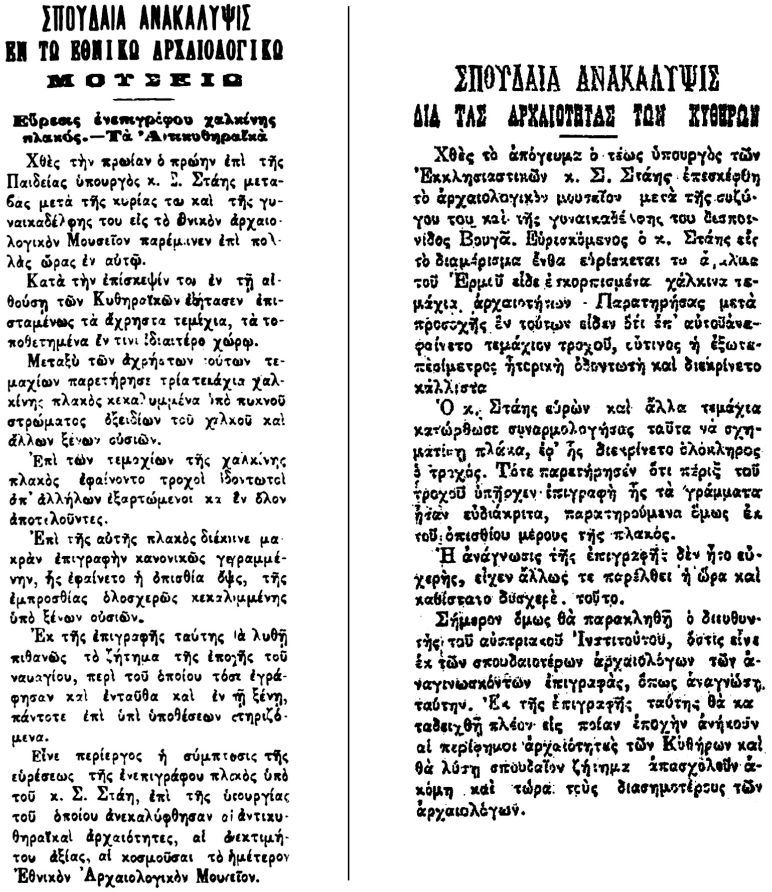
[32] Την ανακάλυψη επιβεβαιώνει και ο Π. Ρεδιάδης (1903β, ο.π. 188).

[33] Ο Price (1974, ο.π., 9/1995, ο.π., 15) μεταφέρει λανθασμένα την ημερομηνία ως 17.05.1902.

[34] Επίσης επιβεβαιώνεται από τον Π. Ρεδιάδη (1903β, 188).

ISSN: 2241-9993

Ζαφειροπούλου 2012, 241, σημ. 1). Στο άρθρο της εφημερίδας Σκριπ (αρ. φυλ. 2428, 21.05.1902, 4), παρατίθενται λεπτομέρειες, όπως το ότι, αφού ο Σ. Στάης συναρμολόγησε τα κομμάτια διακρινόταν ολόκληρος ο τροχός ή ότι η επιγραφή βρισκόταν πέριξ του τροχού, οι οποίες αν και επισφαλείς μπορούν να βοηθήσουν στην αναγνώριση των θραυσμάτων. Το θραύσμα A είναι το μεγαλύτερο και περιέχει ολόκληρο οδοντωτό τροχό (Ρεδιάδης 1903α, 45), αν και δεν υφίσταται θέμα συγκόλλησης, καθώς είναι αυτούσιος, ενώ οι επιγραφές σε κυκλική διάταξη είναι ευδιάκριτες σήμερα στα θραύσματα B και C. Η ανάγνωση των πρώτων επιγραφών από τους Ι. Σβορώνο και A. Wilhelm (Το Άστυ, αρ. φυλ. 4141, 23.05.1902, 1) υποδεικνύει εναργώς το θραύσμα B (Ρεδιάδης 1903α, 46; Θεοφανίδης 1929, 98; Ζαφειροπούλου 2012, 241) (εικ. 6). Δεν γίνεται όμως αναφορά στα γράμματα γύρω από τους «ομόκεντρους»[35] κύκλους της πίσω πλευράς. Το θραύσμα C φαίνεται να αποκάλυψε τις επιγραφές ύστερα από τον καθαρισμό του (Price 1974, 26, εικ. 18/1995, 77, εικ. 25-26). Οι επιγραφές, που διέκρινε ο Σβορώνος και αναφέρει ο Ρεδιάδης (1903, 46), αφορούν πιθανόν το παράπηγμα (σήμερα θραύσματα C1 και C2). Σε κάθε περίπτωση, το θραύσμα D αποκλείεται, καθώς δεν έχει επιγραφές, παρά μόνο γράμματα στο εσωτερικό, τα οποία έγιναν ορατά με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας, πολύ αργότερα (Ζαφειροπούλου 2012, 242). Τα υπόλοιπα θραύσματα (E, F και G) εντοπίστηκαν σε μεταγενέστερες περιόδους της έρευνας (Ζαφειροπούλου 2012, 242-243).



ΣΠΟΥΔΑΙΑ ΑΝΑΚΑΛΥΨΙΣ
ΕΝ ΤΩ ΕΘΝΙΚΩ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩ
ΜΟΥΣΕΙΩ

Εὑρεσις ἐνεπιγράφου χαλκίνης πλακός.—Τὰ Ἀντικυθηραϊκά

Χθὲς τὴν πρωΐαν ὁ πρώην ἐπὶ τῆς Παιδείας ὑπουργὸς κ. Σ. Στάης μεταβας μετὰ τῆς κυρίας του καὶ τῆς γυναικαδέλφης του εἰς τὸ Ἐθνικὸν ἀρχαιολογικὸν Μουσεῖον παρέμεινεν ἐπὶ πολλὰς ὥρας ἐν αὐτῷ.

Κατὰ τὴν ἐπίσκεψίν του ἐν τῇ αἰθούσῃ τῶν Κυθηροτικῶν εὑρήτασεν ἐπισταμένως τὰ ἄχρηστα τεμάχια, τὰ τοποθετημένα ἐν τινι ἰδιαιτέρῳ χώρῳ.

Μεταξὺ τῶν ἀχρήστων οὐτων τεμαχίων παρετήρησε τρία τεμάχια χαλκίνης πλακὸς κεκαλυμμένα ὑπὸ πυκνοῦ στρώματος ὀξειδίων τοῦ χαλκοῦ καὶ ἄλλων ξένων οὐσιῶν.

Ἐπὶ τῶν τεμαχίων τῆς χαλκίνης πλακὸς ἐφαίνοντο τροχοὶ ὀδοντωτοὶ ὁπ' ἀλλήλων ἐξαρτώμενοι κ ἐν ὅλον ἀποτελοῦντες.

Ἐπὶ τῆς αὐτῆς πλακὸς διέκινε μακρὰν ἐπιγραφὴν κανονικῶς γεγραμμένην, ἧς ἐφαίνετο ἡ ὀπισθία ὄψις, τῆς ἐμπροσθίας ὁλοσχερῶς κεκαλυμμένης ὑπὸ ξένων οὐσιῶν.

Ἐκ τῆς ἐπιγραφῆς ταύτης ἰσως λυθῇ πιθανῶς τὸ ζήτημα τῆς ἐποχῆς τοῦ ναυαγίου, περὶ τοῦ ὁποίου τόσα ἐγράφησαν καὶ ἐνταῦθα καὶ ἐν τῇ ξένῃ, πάντοτε ἐπὶ ὑπὶ ὑποθέσεων στηριζόμενα.

Εἶνε περίεργος ἡ σύμπτωσις τῆς εὑρέσεως τῆς ἐνεπιγράφου πλακὸς ὑπὸ τοῦ κ. Σ. Στάη, ἐπὶ τῆς ὑπουργίας τοῦ ὁποίου ἀνεκαλύφθησαν οἱ ἀντικυθηραϊκαὶ ἀρχαιότητες, αἱ ἀκτιμήτου ἀξίας, αἱ κοσμοῦσαι τὸ ἡμέτερον Ἐθνικὸν Ἀρχαιολογικὸν Μουσεῖον.

ΣΠΟΥΔΑΙΑ ΑΝΑΚΑΛΥΨΙΣ
ΔΙΑ ΤΑΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΥΘΗΡΩΝ

Χθὲς τὸ ἀπόγευμα ὁ τέως ὑπουργὸς τῶν Ἐκκλησιαστικῶν κ. Σ. Στάης ἐπεσκέφθη τὸ ἀρχαιολογικὸν μουσεῖον μετὰ τῆς συζύγου του καὶ τῆς γυναικαδέλφης του δεσποινίδος Βουγᾶ. Εὑρισκόμενος ὁ κ. Στάης εἰς τὸ διαμέρισμα ἔνθα εὑρίσκεται τὰ ἀγάλματα τοῦ Ἑρμοῦ εἶδε ἐκπορισμένα χάλκινα τεμάχια ἀρχαιοτήτων. Παρατηρήσας μετὰ προσοχῆς ἐν τούτων εἶδεν ὅτι ἐπ' αὐτοῦ ἀνεφαίνετο τεμάχιον τροχοῦ, οὗτινος ἡ ἐξωτερικὴ περιφέρεια ἦτο ρικὴ ὀδοντωτὴ καὶ διακρίνετο κάλλιστα.

Ὁ κ. Στάης εὑρὼν καὶ ἄλλα τεμάχια κατώρθωσε συναρμολογήσας ταῦτα νὰ σχηματίσῃ πλάκα, ἐφ' ἧς διεκρίνετο ὁλόκληρος ὁ τροχός. Τότε παρετήρησεν ὅτι πέριξ τοῦ τροχοῦ ὑπῆρχεν ἐπιγραφὴ ἧς τὰ γράμματα ἦσαν εὐδιάκριτα, παρατηρούμενα ὅμως ἐκ τοῦ ὀπισθίου μέρους τῆς πλακός.

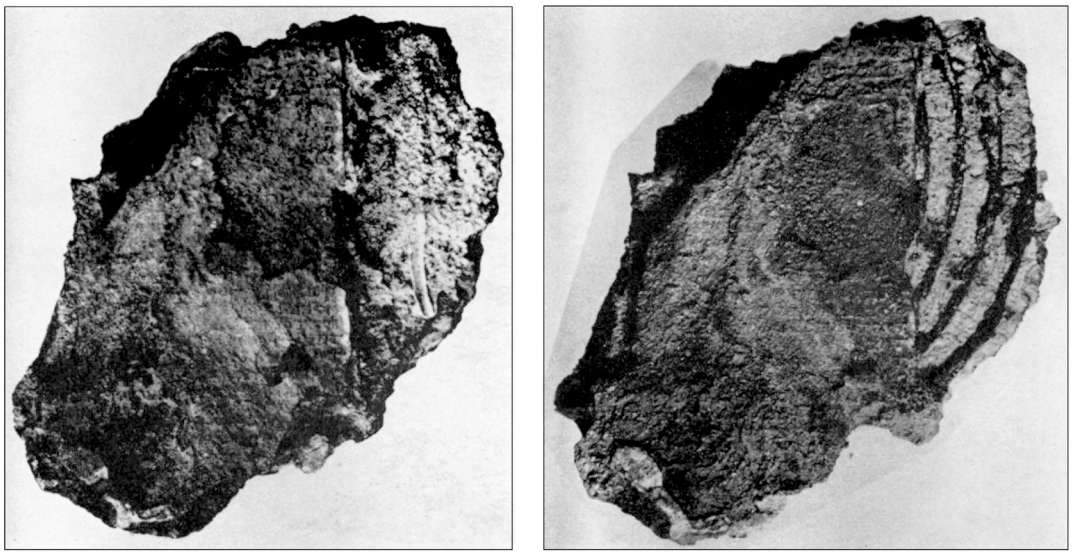
Ἡ ἀνάγνωσις τῆς ἐπιγραφῆς δὲν ἦτο εὐχερὴς, εἶχεν ἄλλως τε περέλθει ἡ ὥρα καὶ καθίστατο δύσχερὲ. τοῦτο.

Σήμερον ὅμως θὰ παρακληθῇ ὁ διευθυντὴς τοῦ αὐστριακοῦ Ἰνστιτούτου, ὅστις εἶνε ἐκ τῶν σπουδαιοτέρων ἀρχαιολόγων τῶν ἀναγινωσκόντων ἐπιγραφάς, ὅπως ἀναγνώσῃ ταύτην. Ἐκ τῆς ἐπιγραφῆς ταύτης θὰ καταδειχθῇ πλέον εἰς ποίαν ἐποχὴν ἀνήκουν αἱ περίφημοι ἀρχαιότητες τῶν Κυθήρων καὶ θὰ λύσῃ σπουδαῖον ζήτημα ἀπασχολοῦν ἀκόμη καὶ τώρα τοὺς διασημοτέρους τῶν ἀρχαιολόγων.

Εικόνα 5. Τα δημοσιεύματα της 21ης Μαΐου 1902, που αναφέρουν την ανακάλυψη του ευρήματος (Αριστερά: Σκριπ, αρ. φυλ. 2428, 21.05.1902, 4. Δεξιά: Το Άστυ, αρ. φυλ. 4139, 21.05.1902, 1).

[35] Οι αυλακώσεις ερμηνεύθηκαν αρχικά ως τμήματα ομόκεντρων κύκλων. Πρώτος ο M. T. Wright (*Epicyclic Gearing and the Atnikythera Mechanism, Part 2*, Antiquarian Horology, 29 (2), (2005), 51-63.) πρότεινε την ύπαρξη σπειρών (ΟΜΜΑ, *Λειτουργίες και ομοιώματα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων* στο Ν. Καλτσάς, Ε. Βλαχογιάννη & Π. Μπούγια (επιμ.) Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο Μηχανισμός. Αθήνα 2012, 266).

ISSN: 2241-9993



Εικόνα 6. Το θραύσμα Β, πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) τη συντήρησή του (Price 1974, εικ. 17)

Στην πρώτη εργασία του σχετικά με τον Μηχανισμό ο Price (1959, 62) αναφέρει ότι ήταν ο Βαλέριος Στάης, που εντόπισε το θραύσμα ανάμεσα στα αντικείμενα του Μουσείου. Ο Price εξηγεί και την καθυστέρηση των μηνών, που πέρασαν από την ανέλκυση μέχρι την αναγνώριση. Θεωρεί ότι τα αναγνωρίσιμα στοιχεία του Μηχανισμού ήταν κρυμμένα ανάμεσα στις ξύλινες πλάκες, που απέμεναν από το κουτί του Μηχανισμού και όταν αυτές αφυδατώθηκαν και συρρικνώθηκαν[36], εμφανίστηκε το εσωτερικό (Price 1959, 62/ 1974, 10/1995, 17). Δεδομένου ότι στα κείμενα του Price εντοπίζονται και άλλες μικρές ανακρίβειες[37], η αλλαγή ενός αρχικού γράμματος από Σ [*πυρίδων*] σε Β [*αλέριος*] δε φαίνεται καθόλου απίθανη. Η απόσταση άλλωστε, που χωρίζει τον Price από τις πηγές, που αναφέρουν το όνομα του Σπυρίδωνα Στάη, λειτουργεί οπωσδήποτε ενισχυτικά για την εγκυρότητα των τελευταίων.

Η J. Marchant (2008, 36-37) μεταφέρει μια παρόμοια ιστορία με αυτή του Price (1959, 62). Δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα στην αλλοίωση, που υφίστανται τα μέταλλα, εξηγώντας τη σχετική διαδικασία και υποθέτει, ότι για αρκετούς μήνες το αντικείμενο έμεινε εκτεθειμένο στην ανοικτή αυλή του Μουσείου, χωρίς να γίνει αντιληπτό. Κάποια στιγμή η εξωτερική επιφάνεια του μετάλλου είχε καταστραφεί κι ένας (ανώνυμος) εργάτης του Μουσείου παρατήρησε την ιδιαιτερότητα, που παρουσίαζε η θραυσμένη μάζα και το ανέφερε στον διευθυντή Βαλέριο Στάη[38]. Στις πιθανές αιτίες για την κακή κατάσταση των θραυσμάτων αναφέρει τόσο την θεωρία του Price (1959, 62), σχετικά με την αφυδάτωση και παραμόρφωση του ξύλου[39], όσο και το σενάριο, κάποιος από τους υπαλλήλους του Μουσείου να χτύπησε το κομμάτι με σφυρί προσπαθώντας να δει τι υπάρχει στο εσωτερικό.

[36] Όταν ένα ξύλο παραμένει για αρκετό χρονικό διάστημα στο νερό, σταδιακά το νερό αντικαθιστά ορισμένα συστατικά του ξύλου. Όσο το ξύλο παραμένει υγρό διατηρεί τον όγκο και το σχήμα του. Όταν εκτεθεί όμως στον αέρα και στεγνώσει, έχει την τάση να συρρικνώνεται και να παραμορφώνεται. Βλ. D. L. Hamilton, *Methods of Conserving Archaeological Material from Underwater Sites*. Conservation Files: ANTH 605, Conservation of Cultural Resources I. Nautical Archaeology Program, Texas A&M University, 1998. (http://nautarch.tamu.edu/CRL/conservationmanual/ [τελευταία επίσκεψη στις 10/05/2016]) . Παρόμοια εξήγηση παραθέτει και ο Price (1974, ο.π., 10/1995, ο.π., 17).
[37] Βλ. παραπάνω, σημ. 4.
[38] Για τη συγκεκριμένη ιστορία δεν υπάρχει παραπομπή στο κείμενο της Marchant.
[39] Την πιθανότητα αυτή αναφέρει στο κείμενό της και η Μ. Ζαφειροπούλου (2012, ο.π., 241-242).

ISSN: 2241-9993

Με μια πρώτη εκτίμηση, πρέπει μάλλον να αποκλειστεί το ενδεχόμενο να ήταν ο Βαλέριος Στάης[40], ο ευρών το Μηχανισμό. Στο κείμενο της δημοσίευσης των ευρημάτων του ιδίου το 1905, δε γίνεται καμία αναφορά στο περιστατικό, γεγονός που οφείλεται είτε στην ταπεινότητα του συγγραφέα, είτε στην ανακρίβεια του αρχικού ισχυρισμού του Price.

Ο ίδιος ο Price (1974, 9) στη βασική του εργασία το 1974, αναφέρεται στον Στάη ως πρώην υπουργό. Χωρίς να αναφέρεται ρητά στο κείμενο, ότι μιλά πλέον για τον Σ. Στάη και όχι για τον Β. Στάη, φαίνεται ότι ανακάλυψε τα σχετικά άρθρα των εφημερίδων (Εστία, αρ. φυλ. 82, 22.05.1902, 4; Το Άστυ, αρ. φυλ. 4141, 23.05.1902, 1), διαπίστωσε το λάθος και το διόρθωσε. Ωστόσο, χωρίς να γίνεται εμφανές ότι μιλά για άλλο Στάη, μελετητές όπως η Marchant (2008, 37) ή πρωτύτερα ο P. Throckmorton (1970, 153/ 1987, 18), ήταν εύλογο να παρασυρθούν και να θεωρήσουν, ότι αναφέρεται στο ίδιο πρόσωπο. Επίσης, μεταφέρεται λάθος η ημερομηνία της εύρεσης, που προκύπτει από τα άρθρα, και αντί για 18 γράφει στο κείμενο 17 Μαΐου 1902[41].

Ωστόσο, υπάρχει μία περίπτωση αυτή η οκτάμηνη περίοδος σιωπής να μην ισχύει. Η πρώτη επιστημονική δημοσίευση[42] για τον Μηχανισμό γίνεται τον Φεβρουάριο (sic) [43] του 1902, στον κατάλογο των ευρημάτων από τα Αντικύθηρα, που δημοσιεύθηκε στην Αρχαιολογική Εφημερίδα (1902, 170-172). Σε αυτήν αναφέρεται η ύπαρξη τροχών, που προσομοιάζουν ωρολογιακούς μηχανισμούς, ξύλινου περιβλήματος, επιγραφών και δημοσιεύεται η πρώτη φωτογραφία[44] (ΑΕ 1902, εικ. 14). Επισημαίνεται η δυσκολία του να προκύψει πλήρης ερμηνεία των επιγραφών, ωστόσο διατυπώνεται ήδη η πρόταση, οι επιγραφές να αποτελούν εγχειρίδιο χρήσης του «*μηχανήματος, όπερ πιθανώτατα ήτο αστρονομικόν*» (ΑΕ 1902, 172; Μπιτσάκης 2012, 98). Με βάση τη μορφή των γραμμάτων προτείνεται η χρονολόγηση του ευρήματος, η οποία «*δύσκολον είνε να καταβιβασθώσι και μέχρι των μέσων του 1ου π.Χ. αιώνος*» (ΑΕ 1902, 172). Τέλος, τονίζεται για άλλη μια φορά η κακή κατάσταση διατήρησης και το δύσκολο έργο του καθαρισμού.

Το ζήτημα που γεννάται είναι προφανές. Εάν η αρχική αναγνώριση του ευρήματος γίνεται το Μάιο του 1902, πώς είναι δυνατόν να υπάρχει η καταχώρηση στην ΑΕ ήδη από τον Φεβρουάριο; Οι δυνατές απαντήσεις είναι δύο: είτε δεν ισχύει η αναγνώριση του Μαΐου, καθώς οι αρχαιολόγοι που συνέταξαν το άρθρο[45] αναφέρονται ξεκάθαρα στο εύρημα πριν από αυτήν, είτε δεν ισχύει η ημερομηνία έκδοσης, που αναφέρεται στο τέλος του κειμένου (εικ. 7).

---

[40] Ο οποίος σημειωτέον, ανέλαβε την επίβλεψη των επιχειρήσεων του 1905 στα Αντικύθηρα ως Έφορος Αρχαιοτήτων (Εστία, αρ. φυλ. 4231, 14.11.1905, 3).

[41] Και στα δύο άρθρα υπάρχει η αναφορά, ότι «η ανακάλυψη έγινε το περασμένο Σάββατο». Με δεδομένο ότι τα φύλλα είναι της Τετάρτης, 22 Μαΐου 1902 (Εστία) και Πέμπτης, 23 Μαΐου 1902 (Το Άστυ), βγαίνει το συμπέρασμα ότι πρόκειται για το Σάββατο 18 Μαΐου 1902.

[42] Στις λίγες επιστημονικές δημοσιεύσεις σχετικά με το ναυάγιο, που προηγούνται (*Ανακοίνωσις. Περί των εκ της παρά τα Αντικύθηρα Θαλάσσης αγαλμάτων* , ΠΑΕ 1900, (1901), 95-102; P. Kabbadias, *The recent finds off Cythera*, The Journal of Hellenic Studies, 21 (1901), 205-208; P. Cavvadias, *Statues Rendues Par La Mer,* Revue des Études Grecques XIV (57) (1901), 122–26), δεν γίνεται αναφορά στο εύρημα. Για τη βιβλιογραφία σχετικά με το ναυάγιο μέχρι το 1903 βλ. Σβορώνος 1903, ο.π., 15-17.

[43] Στο τέλος του άρθρου της ΑΕ επισημαίνεται η έκδοση του κειμένου στις 15 Φεβρουαρίου.

[44] Παρόλο που ο Στάης εντόπισε «*τρία τεμάχια χάλκινης πλακός κεκαλυμμένα υπό πυκνού στρώματος οξειδίων του χαλκού και άλλων ξένων ουσιών*» (Το Άστυ, αρ. φυλ. 4139, 21.05.1902, 1; Ζαφειροπούλου 2012, 241, σημ. 1), στη φωτογραφία της δημοσίευσης εμφανίζεται μόνο το θραύσμα Β. Η φωτογραφία ελήφθη πριν την ολοκλήρωση της διαδικασίας καθαρισμού και συντήρησης του ευρήματος, όπως διαφαίνεται από τη μετέπειτα σύγκριση των εικόνων του Price (1974, ο.π., 25, εικ. 17 a-b). Η επιλογή δικαιολογείται στο κείμενο, καθώς έγινε διότι – αν και δυσδιάκριτα στη φωτογραφία - στο θραύσμα αυτό ήταν εμφανή τα γράμματα των επιγραφών (ΑΕ 1902, ο.π., 172).

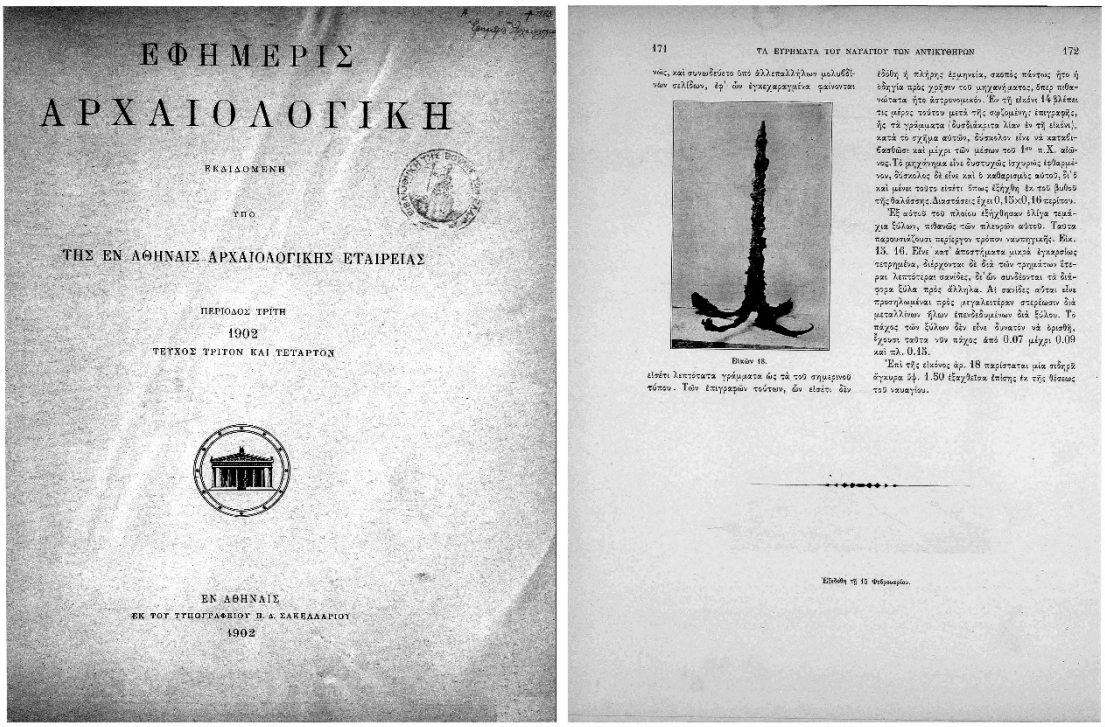
[45] Σύμφωνα με το Σβορώνο (1903, ο.π., 16) το κείμενο της ΑΕ 1902 είναι των: Β. Στάη, Χ. Τσούντα και Κ. Κουρουνιώτη, υπό την επίβλεψη του γενικού εφόρου Π. Καββαδία. Στο άρθρο των Weinberg et al. (1965, ο.π., 3, σημ. 2) επισημαίνεται, ότι η ταυτότητα των συντακτών δεν είναι γνωστή, πέρα από αυτή του Κ. Κουρουνιώτη, ο οποίος επιμελήθηκε τη δημοσίευση της κεραμικής.

ISSN: 2241-9993

Στην πρώτη περίπτωση, το λάθος είναι εύκολο να αποδοθεί τόσο στη μη έγκυρη πληροφόρηση του τύπου, όσο και σε πολιτικές σκοπιμότητες[46], καθώς αποτελεί ακόμα μία περίπτωση, όπου ηρωοποιείται ο Σ. Στάης[47]. Ωστόσο, μοιάζει απίθανο οι αρχαιολόγοι που εμπλέκονται στην ιστορία να αποσιώπησαν το γεγονός[48], ότι γνώριζαν το εύρημα πριν την αναγνώρισή του από τον υπουργό[49]. Η πολιτική επιρροή του Σ. Στάη, αποδεικνύεται σε πολλές περιπτώσεις ισχυρή[50], αλλά μια εκδοχή της ιστορίας, στην οποία επέβαλλε ή απέσπασε τη συνενοχή των αρχαιολόγων είναι αρκετά τολμηρή.
Στη δεύτερη περίπτωση, πρόκειται μάλλον για μια ασυνέπεια στην έκδοση της Αρχαιολογικής Εφημερίδας. Η χρονολογία έκδοσης αναφέρεται σαφώς στην πρώτη σελίδα της έκδοσης και είναι το 1902. Στο τέλος του κειμένου (ΑΕ 1902, 172) σημειώνεται η φράση «*εξεδόθη τη 15η Φεβρουαρίου*», χωρίς να ακολουθεί χρονολογία. Συνεπώς, η υπόθεση ότι πρόκειται για το έτος 1902 είναι εύλογη. Συνήθως, τα προβλήματα που προκύπτουν στη βιβλιογραφία με την έκδοση σειρών πρακτικών, προκύπτουν από το γεγονός ότι πολλές φορές η έκδοση ενός τόμου πραγματοποιείται σε μεταγενέστερη χρονολογία, από αυτή των περιεχομένων του τόμου. Έτσι τα πρακτικά π.χ. της Αρχαιολογικής Εταιρίας του 1900, εκδίδονται το 1901, του 1901 το 1902 κ.ο.κ. Δημιουργείται δηλαδή μία ασυνέπεια, η οποία επιτρέπει σε ορισμένες περιπτώσεις «σχήματα πρωθύστερα». Σχετικό είναι το παράδειγμα, που παραθέτει η Β. Φράγκου (2010, 20-21), στο οποίο το κείμενο του Γ. Νικολαΐδη (1904) για το άγαλμα του Εφήβου, ενώ φέρει ημερομηνία συγγραφής 5 Ιανουαρίου 1904, δημοσιεύεται στην Αρχαιολογική Εφημερίδα του 1903. Ενώ όμως στα στοιχεία εκδόσεως άλλων περιοδικών εκδόσεων γίνεται εμφανής η διαφορά, σημειώνεται δηλαδή στις πρώτες σελίδες η διαφορετική χρονολογία έκδοσης, στην Αρχαιολογική Εφημερίδα δε φαίνεται να συμβαίνει αυτό. Εξ ου και το πρόβλημα χρονολόγησης του κειμένου. Συνεπώς, η χρονολογία εκδόσεως στις πρώτες σελίδες της ΑΕ είναι, αν μη τι άλλο, επισφαλής. Ίσως λοιπόν, κατ' αντιστοιχία με το άρθρο του Νικολαΐδη, το κείμενο της 15ης Φεβρουαρίου να εκδόθηκε το 1903.

[46] Παρομοίως, η Β. Φράγκου (ο.π., 2010, 28-29) επισημαίνει, ότι ίσως σχεδιάστηκε για λόγους δημοσίων σχέσεων.
[47] Αντίστοιχα, ο Σ. Στάης ήταν αυτός, που έσωσε ένα από τα ευρήματα, τον «Ηρακλή», αλλά και άνοιξε το δρόμο για πολλά ακόμα, δείχνοντας εγρήγορση, φαντασία και διορατικότητα κατά τη διάρκεια της επίσκεψής του στα Αντικύθηρα, τον Φεβρουάριο του 1901 (Εστία, αρ. φυλ. 353, 20.02.1901, 3; Λυκούδης 1920, ο.π., 21-22; Σβορώνος 1903, ο.π., 9; Throckmorton 1987,ο.π., 18). Ο Ε. Λυκούδης (1920, ο.π., 5) περιγράφει μιλώντας για τον υπουργό, έναν αποφασιστικό χαρακτήρα, όταν στις διάφορες δυσκολίες που προέκυψαν καθώς έπλεαν προς τα Αντικύθηρα τον Φεβρουάριο του 1901, ο Σ. Στάης φέρεται να λέγει: «*chi dura vin*ci!» (sic). Επίσης, ο Σ. Στάης φέρεται να αναγνώρισε και τμήμα μίας κεφαλής λέοντος, που μέχρι τότε θεωρούταν τμήμα κοσμήματος του πλοίου (Το Άστυ, αρ. φυλ. 3674, 31.01.1901, 2). Όλα τα παραπάνω παραδείγματα σκιαγραφούν μία «ηρωική» προσωπικότητα, που όχι μόνο προστατεύει τις αρχαιότητες, αλλά και συμμετέχει ενεργά στην αρχαιολογική έρευνα.
[48] Ο Σβορώνος επί παραδείγματι, δημοσιεύει συχνά τις ιδέες του στις εφημερίδες και σε κάποιες περιπτώσεις δε διστάζει να διορθώσει «εσφαλμένες» κατά την άποψή του ειδήσεις. Βλ. Το Άστυ, αρ. φυλ. 4148, 30.05.1902,2.
[49] Ακόμα και αν ισχύει η φράση του Λυκούδη (1921, ο.π., 27): «*…φιλοξενούνται προσωρινώς εις τας αιθούσας του υπουργείου της Παιδείας με το αυστηρότερο ινκόγνιτο*…».
[50] Βλ. παραπάνω σελ. 13.

ISSN: 2241-9993


ΕΦΗΜΕΡΙΣ

ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΗ

ΕΚΔΙΔΟΜΕΝΗ

ΥΠΟ

ΤΗΣ ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΤΡΙΤΗ

1902

ΤΕΥΧΟΣ ΤΡΙΤΟΝ ΚΑΙ ΤΕΤΑΡΤΟΝ

ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ

ΕΚ ΤΟΥ ΤΥΠΟΓΡΑΦΕΙΟΥ Π. Δ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ

1902

171 ΤΑ ΕΥΡΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΝΑΥΑΓΙΟΥ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΩΝ 172

Εἰκών 18.

Ἐδόθη τῇ 15 Φεβρουαρίου.

Εικόνα 7. Η πρώτη σελίδα της αρχαιολογικής Εφημερίδας του 1902 με τη χρονολογία έκδοσης και η τελευταία σελίδα του άρθρου για τα ευρήματα του Ναυαγίου των Αντικυθήρων, όπου δηλώνεται η ημερομηνία έκδοσης του.

ISSN: 2241-9993

4. Η ανέλκυση

Σχετικά με την ανέλκυση των θραυσμάτων του Μηχανισμού, οι πληροφορίες είναι λιγοστές. Δυστυχώς, δεν υπάρχει επίσημο ανασκαφικό ημερολόγιο. Επίσης, το γεγονός ότι η αναγνώριση του αντικειμένου δεν έγινε άμεσα είναι ο λόγος που δεν υπάρχουν ούτε άμεσες ή έμμεσες αναφορές στον τύπο.

Η Ρ. Προσκυνητοπούλου (2012, 228) αναφέρει την ανέλκυση του Μηχανισμού το 1901, χωρίς ωστόσο να παραπέμπει σε κάποια πηγή [51]. Με βάση την πρόταση που ακολουθεί, ότι δηλαδή το εύρημα έμεινε από τη μέρα της ανέλκυσής του περίπου 8 μήνες στο Μουσείο, πριν εντοπιστεί, η ανέλκυσή του τοποθετείται από τη συντάκτρια κάποια στιγμή στις αρχές του φθινοπώρου του 1901. Βέβαια, είναι πιθανότερο να εννοείται από το πέρας των επιχειρήσεων στα τέλη Σεπτεμβρίου 1901, όπως αναφέρει και ο Price (1974, 9/1995, 15), και όχι από την ανέλκυση. Παρομοίως, στον ίδιο τόμο, η Μ. Ζαφειροπούλου (2012, 241) τοποθετεί λίγο πιο συγκριμένα την εύρεση προς το τέλος των δεκάμηνων επιχειρήσεων των ετών 1900-1901, χωρίς όμως και πάλι να δίνεται κάποια περαιτέρω πληροφορία για το πώς προκύπτει αυτός ο χρονικός προσδιορισμός. Και σε αυτή την περίπτωση, επισημαίνεται η οκτάμηνη παραμονή στο μουσείο, πριν την αναγνώριση.

Η άποψη ότι ο Μηχανισμός ανελκύστηκε κάποια στιγμή το 1901 είναι ιδιαίτερα πιθανή, αν δεχθεί κανείς ότι τις πρώτες εβδομάδες της έρευνας (24/11-31/12/1900) οι δύτες ήταν απασχολημένοι με τα ορατά και εύκολα αποσπώμενα αντικείμενα και δε θα έδειχναν ενδιαφέρον για ένα δυσδιάκριτό εύρημα. Ωστόσο, σε διάφορα δημοσιεύματα του 1900 αναφέρονται τηλεγραφήματα από το χώρο των επιχειρήσεων, τα οποία πληροφορούν για ανελκύσεις χάλκινων τεμαχίων (Σκριπ, αρ. φυλ. 1915, 14.12.1900, 3) ακόμα και ασήμαντων αντικειμένων (Εστία, αρ. φυλ. 28, 11.12.1900, 3) ή αντικειμένων, που έχουν μετατραπεί σε άμορφους όγκους (Σκριπ, αρ. φυλ. 1910, 09.12.1900, 2). Χωρίς μια ξεκάθαρη αναφορά είναι δύσκολο να αποκλειστεί το ενδεχόμενο να ανελκύστηκαν τα θραύσματα σε αυτό το πρώτο διάστημα. Ακολουθώντας την παραπάνω λογική, τη σταδιακή αύξηση δηλαδή του ενδιαφέροντος των δυτών και σε άλλα ευρήματα, εκτός από τα αναγνωρίσιμα, κατά τη διάρκεια των εργασιών, μπορεί κανείς να υποστηρίξει ότι ένα αντικείμενο, με τη μορφή που είχε ο Μηχανισμός, ανελκύσθηκε προς το τέλος των επιχειρήσεων. Όπως όμως, αναφέρθηκε παραπάνω, αυτός ο τρόπος σκέψης είναι επισφαλής ακόμα και για τις πρώτες καταδύσεις, πόσο δε μάλλον για ολόκληρη την περίοδο των δέκα μηνών.

Από τη στιγμή που δε διαφαίνεται κάποια λογική επιλογής των προς ανέλκυση ευρημάτων, με βάση το μέγεθος ή την κατάσταση διατήρησης, ο προσδιορισμός της χρονικής στιγμής της ανέλκυση των θραυσμάτων του Μηχανισμού, θα μπορούσε να βασιστεί στη θέση εύρεσης τους μέσα στο γενικότερο χώρο του ναυαγίου. Με δεδομένη τη σύντομη διάρκεια παραμονής στο χώρο (ΑΕ 1902, 148; Σβορώνος 1903, 3, 12; Λυκούδης 1920, 12), ο δύτες δεν είχαν την πολυτέλεια να ερευνήσουν ενδελεχώς την περιοχή. Κάθε λεπτό ήταν πολύτιμο και χρησιμοποιούταν στο έπακρο. Σε περίπτωση που η θέση αυτή βρισκόταν σε εγγύτητα με τη συγκέντρωση των εντυπωσιακών ευρημάτων των πρώτων μηνών, πιθανότατα τα θραύσματα ανελκύστηκαν μαζί τους, διαφορετικά, η ανέλκυσή τους πρέπει όντως να τοποθετηθεί προς το τέλος των επιχειρήσεων, όταν οι δύτες απογοητευμένοι, που δε μπορούσαν να αποσπάσουν άλλα ευρήματα από το βραχώδες συσσωμάτωμα (Το Άστυ αρ. φυλ. 3896, 12.09.1901, 2; Λυκούδης 1920, 26), επέκτειναν την έρευνά τους στην ευρύτερη περιοχή.

Παρόλο, που εκτός από ημερολόγιο, δεν υπάρχει και σχέδιο του χώρου των εργασιών από αυτή την περίοδο[52], η εύρεση της θέσης ίσως προκύψει κάποια στιγμή μέσα από τη μελέτη των ευρημάτων

[51] Η παραπομπή στο τέλος της περιόδου, που αναφέρεται στο κείμενο του Ι. Θεοφανίδη (*Το εύρημα των Αντικυθήρων,* Μεγάλη Στρατιωτική και Ναυτική Εγκυκλοπαίδεια 1929, 97), αφορά προφανώς την περιγραφή των θραυσμάτων και όχι τον χρόνο εύρεσης, αφού ο Θεοφανίδης τοποθετεί την ανέλκυση τους το 1902.

[52] «*Οι δύται διηγούνται εις ημάς περιεργότατα και ακατάληπτα περί του πυθμένος*» (Λυκούδης 1920, ο.π., 9). Ένα από τα πλεονεκτήματα της σύγχρονης έρευνας είναι ότι επιτρέπει στους αρχαιολόγους άμεση επαφή με το χώρο του ναυαγίου,

ISSN: 2241-9993

σε συνδυασμό με τη σύγχρονη υποβρύχια έρευνα. Εκμεταλλευόμενοι τις κατακτήσεις της σύγχρονης επιστήμης, όπως τη λογική που εμπνέει το χωροχρονικό συνεχές, ίσως καταφέρουμε να ορίσουμε τελικά τις τέσσερις διαστάσεις του ευρήματος στο ανασκαφικό του πλαίσιο.

Αναλύοντας παλαιότερες πηγές, σημαντικές πληροφορίες παρέχει ο αξιωματικός του ναυτικού, Ι. Θεοφανίδης[53] (1929), ο οποίος περιγράφει τη στιγμή της ανέλκυσης του αντικειμένου. Ειδικότερα, κάνει λόγο για την κακή κατάσταση διατήρησης του ευρήματος εξαιτίας της "*μακροχρόνιας επιρροής του θαλασσίου ύδατος*»[54], την απώλεια των επιγραφών και προχωρά σε κάποιες θεωρίες για τη διαδικασία παραμόρφωσής των θραυσμάτων, τα οποία κατά τη γνώμη του συνεθλίβησαν υπό το βάρος των λίθινων αγαλμάτων (Θεοφανίδης 1929, 97). Επίσης, αναφέρει, πως οι δύτες πριν την ανέλκυση, λόγω της μεγάλης φθοράς και της παραμόρφωσης, έσπασαν κομμάτια του αντικειμένου, προκειμένου να εξακριβώσουν ότι πρόκειται πράγματι για αρχαιολογικό εύρημα. Κατά την άποψη του οι δύτες αναγνώρισαν ότι επρόκειτο περί μηχανήματος και το απέστειλαν στην επιφάνεια (Θεοφανίδης 1929, 97; Price 1974, 9/1995, 16). Η λεπτομέρεια αυτή έρχεται βέβαια σε αντίθεση με την ιστορία, που θέλει τον υπουργό Σ. Στάη να είναι αυτός, που αναγνώρισε πρώτος το Μηχανισμό, για αυτό το λόγο και ο Θεοφανίδης (1929, 97, σημ. 3) σημειώνει στην υποσημείωση, ότι στην πραγματικότητα η αναγνώριση από το Σ. Στάη, ήταν η δεύτερη φορά, που ο Μηχανισμός αναγνωρίστηκε, αλλά και που σώθηκε λίγο πριν την απώλεια. Διότι, όπως αναφέρεται σε άλλο σημείο του κειμένου, αφότου ανελκύσθηκε το αντικείμενο στο πλοίο *Μυκάλη*, το οποίο συμμετείχε στις επιχειρήσεις, ένας υπαξιωματικός το θεώρησε κομμάτι βράχου και ετοιμάστηκε να το ρίξει ξανά στο νερό. Κατά τύχη ένας αξιωματικός, ο Π. Ρεδιάδης[55], εντόπισε ένα τμήμα μετάλλου, που εξείχε από το συσσωμάτωμα, και τον σταμάτησε (Θεοφανίδης 1929, 83, σημ. 6).

Η μαρτυρία του Ι. Θεοφανίδη ωστόσο, σχετικά με τα γεγονότα των αρχών του αιώνα είναι επισφαλής. Τόσο η χρονική απόσταση, όσο και η αμηχανία, που προκαλούν ορισμένες ανακρίβειες στα στοιχεία που παραθέτει[56], επιβάλλουν κάποια επιφυλακτικότητα στην προσέγγισή τους. Η πιθανό-

σε αντίθεση με το παρελθόν, όπου η τεκμηρίωση στηρίχθηκε στις περιγραφές των δυτών. Το 1976, παρόλο που η ανασκαφή διενεργήθηκε από μη αρχαιολόγους, ο Λ. Κολώνας καταδύθηκε με το βαθυσκάφος *Soucoupe*, με τον J.Y. Cousteau και είδε ο ίδιος το χώρο του ναυαγίου, γεγονός που βοήθησε πολύ στην κατανόηση των περιγραφών (Λ. Κολώνας, *Ημερολόγιο έρευνας Αντικυθήρων 1976*, Αρχείο Εφορείας Εναλίων Αρχαιοτήτων, 1976, 14-15; του ιδίου, *Οι έρευνες του 1976* στο Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο Μηχανισμός. Αθήνα 2012, 34). Στις έρευνες που ξεκίνησαν το 2012, συμμετέχουν πλέον καταδυόμενοι αρχαιολόγοι (Θ. Θεοδούλου, B. Foley, A. Τούρτας και D. Conlin), οι οποίοι διενεργούν και την υποβρύχια ανασκαφή.

[53] Ο ναύαρχος Ι. Θεοφανίδης, δισέγγονος του Θ. Κολοκοτρώνη, ήταν ο πρώτος που κατασκεύασε μηχανικό ομοίωμα του Μηχανισμού (Γ. Μπιτσάκης (επιμ.), *Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων. Περιήγηση στην Αστρονομία και την Τεχνολογία της εποχής του*, Αθήνα 2010, 19).

[54] Αντίστοιχη είναι και η περιγραφή του Π. Ρεδιάδη (*Ο εξ Αντικυθήρων αστρολάβος* στο Ι. Ν. Σβορώνος (επιμ.)*Το εν Αθήναις Εθνικόν Μουσείον*,. Αθήνα 1903(α), 44).

[55] Ο Π. Ρεδιάδης (Υποναύαρχος το 1929, που εκδίδεται το κείμενο του Θεοφανίδη) είναι πιθανότατα ο ίδιος Περικλής Δ. Ρεδιάδης, που μελέτησε το Μηχανισμό. Ο συντάκτης, ενώ αναφέρει το όνομα του μελετητή Ρεδιάδη στην αμέσως επόμενη υποσημείωση, δε νιώθει την ανάγκη να επισημάνει τη διαφορά. Συνεπώς , είναι εύλογο να υποθέσει κανείς ότι μιλά για το ίδιο πρόσωπο. Το 1903 ο Π. Ρεδιάδης, καθηγητής Γεωδαισίας και Υδρογραφίας στη Βασιλική Ναυτική Σχολή, έχει το βαθμό του ανθυποπλοιάρχου, συνεπώς δεν αποκλείεται να υπηρετεί σε ένα από τα πλοία. Ο ίδιος δεν αναφέρει σε κανένα από τα κείμενά του κάποια παρόμοια ιστορία ή την εμπλοκή του γενικότερα στις επιχειρήσεις των ετών 1900-1901 (Ρεδιάδης 1903^{α}, ο.π., 1903^{β}, ο.π., 1910, ο.π.). Στο κείμενο όμως του Σβορώνου (1903, ο.π., 81-82) και συγκεκριμένα στον επίλογο παρατίθεται η άποψη του κυβερνήτη της *Μυκάλης* αντιπλοιάρχου (Λυκούδης 1920, 5) Θ. Θεοχάρη σχετικά με την πορεία του πλοίου που ναυάγησε στα Αντικύθηρα, την οποία όπως αναφέρει ο Σβορώνος «*ευαρεστήθη να μοι πέμψη [...] διά του πληρέστατα συμφωνούντος αυτώ ανθυποπλοιάρχου του Β.Ν. και συνεργάτου ημών κ. Π. Ρεδιάδου*». Τέλος, η σημ. 2 της σελίδας 44 του ίδιου κειμένου είναι αυτή, που στην ουσία επιβεβαιώνει την ταυτότητα των δύο προσώπων, αφού δηλώνεται ξεκάθαρα, ότι ο μελετητής Ρεδιάδης μετέβη πεντάκις στα Αντικύθηρα επί της *Μυκάλης*, στην οποία επέβαινε ως αξιωματικός και παρακολούθησε τις επιχειρήσεις.

[56] όπως για παράδειγμα η δήλωση ότι το ναυάγιο βρέθηκε το 1902 από Καλύμνιους σφουγγαράδες (Θεοφανίδης 1929, ο.π., 83, 97).

ISSN: 2241-9993

τητα μάλιστα ο Μηχανισμός να είχε αναγνωριστεί από τους δύτες ή από κάποιον αξιωματικό του ναυτικού και παρόλα αυτά να έμεινε παραγκωνισμένος για τους επόμενους αρκετούς μήνες από τους αρχαιολόγους δε γίνεται εύκολα δεκτή (Price 1974, 9). Από τα παραπάνω, το πιο πιθανό γεγονός είναι η θραύση του αντικειμένου από τους δύτες στο βυθό, προκειμένου να διαπιστωθεί η ιδιότητά του. Εάν πραγματικά συνέβη αυτό, τότε οι δύτες μάλλον ανέλκυσαν τα μεγαλύτερα από τα θραύσματα, αφήνοντας πίσω υπολείμματα, όπως αναφέρει και ο Θεοφανίδης (1929, 97).

Επίσης, υπάρχει μια αναφορά στην εφημερίδα Άστυ (αρ. φυλ. 3846) της 24ης Ιουλίου 1901, που αφορά την ανεύρεση μίας ενεπίγραφης πλακός, της οποίας όμως τα γράμματα δεν ήταν δυνατόν να αναγνωσθούν (Αναστασίου 2014, 12, σημ. 2), και η οποία θα μπορούσε να σχετιστεί με τον Μηχανισμό. Ωστόσο, σε δημοσίευμα της εφημερίδας Σκριπ (αρ. φυλ. 2142) της ίδιας ημερομηνίας, γίνεται αναφορά στο ίδιο εύρημα, αυτή τη φορά συνοδευόμενο όμως από το επίθετο «μαρμάρινη». Καθώς δεν υπάρχει ενεπίγραφη μαρμάρινη πλάκα ανάμεσα στα δημοσιευμένα ευρήματα του ναυαγίου (ούτε κάποια επιγραφή που να σχετίζεται με τα μαρμάρινα έργα γλυπτικής του φορτίου)[57], ίσως το δημοσίευμα της Σκριπ, να είναι απλά ανακριβές και ο Μηχανισμός πραγματικά να ανελκύστηκε τον Ιούλιο του 1901.

Είναι πολύ δύσκολο να απαντηθεί το ερώτημα, αν ο Μηχανισμός ανελκύστηκε ως ένα κομμάτι και έσπασε στη συνέχεια ή ανελκύστηκε εξαρχής τμηματικά.

Το σύνολο των θραυσμάτων στο Ε.Α.Μ. αριθμεί σήμερα 82 κομμάτια. Από αυτά τα 7 είναι μεγάλου μεγέθους και ονομάζονται με τα πρώτα επτά γράμματα του λατινικού αλφαβήτου (A-F) και τα υπόλοιπα 75 με τον αντίστοιχο αύξοντα αριθμό (Μάγκου 2012, 232; Μπιτσάκης 2012, 97).

Η συζήτηση περί ανέλκυσης ενός ή περισσοτέρων θραυσμάτων περιλαμβάνει στο παρόν κείμενο τις εξής παραδοχές: Πρώτον, δεν αφορά προφανώς τα ελαχίστου μεγέθους θραύσματα του συνόλου, τα οποία ήταν πρακτικά αδύνατο να συγκεντρώσουν κατά τη διάρκεια της κατάδυσής τους οι δύτες το 1900-1901[58]. Τα θραύσματα αυτά προήλθαν κατά πάσα πιθανότητα από αποκολλήσεις κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Δεύτερον, όπως εκτιμάται από τη μέχρι τώρα έρευνα, τα υπάρχοντα τμήματα του Μηχανισμού δεν επαρκούν, ώστε να θεωρηθεί πλήρες το αντικείμενο, με οποιαδήποτε συναρμογή. Είναι δεδομένο, ότι λείπουν σημαντικά τμήματα του αρχικού αντικειμένου. Αυτό προκύπτει τόσο από τη μελέτη των επιγραφών, όσο και από τις προσπάθειας ερμηνείας της μηχανικής λειτουργίας του. Στις επιγραφές του Μηχανισμού έχουν βρεθεί τα ονόματα των πέντε γνωστών από την αρχαιότητα πλανητών, καθώς, επίσης και η λέξη «ΚΟΣΜΟΣ». Αυτό θεωρήθηκε από μερικούς ερευνητές ως ένδειξη ύπαρξης συστήματος γραναζιών και δεικτών για ένα πλήρες πλανητικό σύστημα (ΚΟΣΜΟΣ), το οποίο, καταλάμβανε το εξωτερικό τμήμα του Μηχανισμού και πιθανώς καταστράφηκε κατά το ναυάγιο ή λόγω κάποιας σεισμικής κατολίσθησης αργότερα (Wright 2002, Evans, Carman & Thorndike 2010, Freeth 2012, Freeth and Jones 2012). Επίσης, είναι εμφανές ότι πέρα από τα μεταλλικά μέρη, υπήρχαν ξύλινα, πιθανότατα μέρος της επένδυσης του Μηχανισμού, εκ των οποίων μία ελάχιστη ποσότητα και ίχνη έχουν διατηρηθεί[59]. Τρίτον, με βάση τη γνώση της χημικής σύνθεσης των θραυσμάτων, τη γενικότερη κατάσταση διατήρησης των ευρημάτων του ναυαγίου και του υποβρύχιου περιβάλλοντος στο χώρο του ναυαγίου, δε θεωρείται

[57] βλ. ΑΕ 1902, ο.π.; Σβορώνος 1903, ο.π.; Στάης 1905, ο.π.; Βλαχογιάννη 2012, ο.π.

[58] Όπως αναφέρεται στο κείμενο της Αρχαιολογικής Εφημερίδας (1902, 148), «*η έρευνα του βυθού δεν εγένετο τελεία και […] δύνανται εισέτι να κρύπτωνται υπό την ιλύν και άλλα αντικείμενα*». Κατά τη διάρκεια της ανασκαφής του 1976, είναι πιθανότερο να μπορούσε ένα μικρό κομμάτι να συλλεχθεί είτε από τους δύτες, είτε μέσω του αναρροφητήρα (airlift/seucese). Ωστόσο, δεν υπάρχει καμία τέτοια αναφορά στο ημερολόγιο της ανασκαφής (Κολώνας 1976, ο.π.).

[59] Στα θραύσματα A και F (Μάγκου 2012, ο.π., 234).

ISSN: 2241-9993

πιθανή η οριστική απώλεια των εναπομεινάντων θραυσμάτων λόγω φθοράς[60], με εξαίρεση τα τμήματα της ξύλινης επένδυσης, τα οποία είναι πιθανόν να χάθηκαν οριστικά[61].

Τρεις πιθανές θεωρίες μπορούν να εξηγήσουν την ύπαρξη θραυσμάτων. Η πρώτη αφορά τη θραύση στο περιβάλλον του μουσείου, η δεύτερη κατά τη διάρκεια της ανέλκυσης και η τρίτη κατά τη διαδικασία της δημιουργίας της υποβρύχιας αρχαιολογικής θέσης (site formation process[62]).

Σε περίπτωση που ισχύει η θεωρία του Price (1959, 62) και το ξύλινο κουτί παραμορφώθηκε (βλ. παραπάνω, σελ. 16), συμπαρασύροντας με τις διάφορες τάσεις, που αναπτύχθηκαν, τμήματα, τα οποία τελικά αποσπάστηκαν (Ζαφειροπούλου 2012, 241-242), θα ήταν φυσικό να κρατηθούν τα θραύσματα μαζί. Για παράδειγμα, σε φωτογραφία[63] του 1903, πριν ολοκληρωθεί η συντήρηση, φαίνεται ο Μηχανισμός σε 4 κομμάτια (A-D) (Σβορώνος 1903, πιν. 3; Ζαφειροπούλου 2012, 242, σημ. 3). Είναι αρκετά πιθανό τα τέσσερα αυτά κομμάτια να αποτελούσαν ένα σύνολο, το οποίο έσπασε στο μουσείο και γι' αυτό τα κομμάτια κρατήθηκαν μαζί. Ο Price (1974, 13-14, εικ. 6/1995, 71, εικ. 21) σημειώνει τη φυσικότητα των συνδέσεων μεταξύ των θραυσμάτων, ως απόδειξη[64]. Επίσης, με αυτό τον τρόπο, εξηγείται κατά τον Price το γεγονός ότι παρόλη την έντονη έρευνα, που υπήρχε γύρω από το ναυάγιο και τα ευρήματά του[65], για οκτώ τουλάχιστον μήνες, κανείς δεν παρατήρησε το ιδιαίτερο αυτό εύρημα. Μόνον, όταν έσπασε και έγινε εμφανές το εσωτερικό του συσσωματώματος, αναγνωρίστηκε ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων (Price 1974, 9/1995, 15).

Από την άλλη, οι πληροφορίες που φέρουν τον Σ. Στάη να εντοπίζει αρχικά 3 μόνο θραύσματα του Μηχανισμού (Το Άστυ, αρ. φυλ. 4139, 21.05.1902, 1; Ζαφειροπούλου 2012, 241, σημ. 1), η εμφάνιση νέων θραυσμάτων σταδιακά[66], όπως ο εντοπισμός του θραύσματος Ε το 1976(Ζαφειροπούλου

[60] Ο Price (1974, ο.π. 10/1995, ο.π., 17), αντίθετα, θεωρεί ότι οι γωνίες και μέρος της εξωτερικής επιφανείας έχουν χαθεί. Βέβαια με αυτό τον τρόπο δεν αναφέρει ξεκάθαρα αν πιστεύει ότι όλο το υπόλοιπο τμήμα έχει χαθεί, αλλά από το ύφος της γραφής υποθέτει ο αναγνώστης, ότι δεν περιμένει άλλα θραύσματα από το βυθό.

[61] Η διατήρηση ξύλινων αντικειμένων, όπως τμημάτων του πλοίου (Weinberg et al., ο.π., 1965, 40-48; Π. Μπούγια, *Το πλοίο* στο Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο Μηχανισμός. Αθήνα 2012, 36-49) καθιστά τη διατήρηση της ξύλινης επένδυσης δυνατή, αν και το διαφορετικό μέγεθος πιθανόν να αποτελεί καθοριστικό παράγοντα και τα μικρά κομμάτια του μηχανισμού να μην εμφανίζουν την ίδια αντοχή με αυτά του πλοίου.

[62] Βλ. K. Muckelroy *Systematic Approach to the Investigation of Scattered Wreck Sites*, International Journal of Nautical Archaeology 4(2), (1975), 173–90; του ιδίου, *The Integration of Historical and Archaeological Data Concerning an Historic Wreck Site: The 'Kennemerland*, World Archaeology 7(3), (1976), 280-290; M. Gibbs, *Cultural Site Formation Processes in Maritime Archaeology: Disaster Response, Salvage and Muckelroy 30 Years on*, International Journal of Nautical Archaeology 35(1), (2006), 4-19; C. Martin, *Wreck-Site Formation Processes* in Ford, B., Hamilton, D. L. & Catsambis, A., (eds), The Oxford Handbook of Maritime Archaeology, Oxford 2011, 46-67; L. Batista-Goulard *A Methodology for Studying Shipwreck Formation Processes* in P.Krištuf, D. Novák, P. Tóth & D. Vokounová Franzeová, (eds), Student Archaeology in Europe 2014. Conference Proccedings of the Student Session of the 19th Annual Meeting of the European Association of Archaeologist in Pilsen and 5th Student Conference "The Landscape in the Past, the Past in the Landscape", Pilsen 2014, 20–25.

[63] Η πρώτη φωτογράφηση έλαβε χώρα σχεδόν αμέσως μετά την αναγνώριση (Το Άστυ, αρ. φυλ. 147, 29.05.1902, 1). Ωστόσο, δεν κατέστη δυνατό να βρεθεί αυτή η φωτογραφία. Η πρώτη φωτογραφία, που δημοσιεύεται, είναι αυτή της ΑΕ 1902 (165-166, εικ. 14), βλ. παραπάνω, σημ. 44.

[64] Αν και το θραύσμα D δε φαίνεται να έχει την ίδια ισχυρή σύνδεση που έχουν τα άλλα τρία μεταξύ τους (Price 1974,ο.π., 13-16/1995, ο.π., 71-81). Μέχρι πρότινος θεωρούταν αινιγματικό (Μ. Αναστασίου, *Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων : Αστρονομία και Τεχνολογία στην Αρχαία Ελλάδα*. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2014, 13). Σύγχρονες μελέτες ερμηνεύουν τη λειτουργία των μερών του θραύσματος ως μέρος του μηχανισμού απεικόνισης της εξίσωσης του χρόνου (Αναστασίου 2014, ο.π., 125-128) .

[65] Για μια επισκόπηση της δημοσιογραφικής κάλυψης των επιχειρήσεων και των ερευνών 1900-1902 βλ. Νικολή 2012, ο.π.

[66] Από τα 75 μικρά θραύσματα, 15 αναγνωρίστηκαν αμέσως μετά την ανακάλυψη, ενώ τα υπόλοιπα 60 (μερικά εκ των οποίων ενδέχεται να μην ανήκουν στον Μηχανισμό) αναγνωρίστηκαν το 2005 (Μάγκου 2012, ο.π., 234).

ISSN: 2241-9993

2012, 242) ή το 1988 (Μάγκου 2012, 232)[67] και του θραύσματος F το 2005 (Ζαφειροπούλου 2012, 242), αποδυναμώνουν τη θεωρία ο Μηχανισμός να ανελκύστηκε ενιαίος. Κανείς βέβαια, δε μπορεί να αποκλείσει την πιθανότητα στα 100 και πλέον χρόνια αποθήκευσης, με ταραγμένες περιόδους και αλλεπάλληλες μετακινήσεις, το σύνολο να διαχωρίστηκε.

Η σκέψη, που πηγάζει από αναφορές των αρχαιολόγων της εποχής (Karo 1948, 181), ότι οι δύτες δεν έσπαγαν αντικείμενα[68], καθώς κατάφεραν να ανελκύσουν ακέραια γυάλινα αγγεία (Price, 1974, 10/ 1995, 16-17; Μ. Ζαφειροπούλου 2012, 241) δεν αποτελεί σθεναρό επιχείρημα. Αποφεύγοντας όλη την ιστορία, που προέκυψε στον τύπο της εποχής περί θραύσεων (ενδεικτικά βλ. Εμπρός, αρ. φυλ. 1515, 17.01.1901,1; Εστία, αρ. φυλ. 321, 18.01.1901, 3/ αρ. φυλ. 322, 19.01.1901,1; Σκριπ, αρ. φυλ. 1947, 18.01.1901, 2; Σβορώνος 1903, 2, 5-6) και χωρίς να μειώνεται η ικανότητα ή η θέληση των δυτών, υπήρξαν σίγουρα σε μια τόσο δύσκολη επιχείρηση ανέλκυσης θραύσεις ή αποκολλήσεις τμημάτων, ιδιαίτερα, όταν η κατάσταση διατήρησης ήταν τόσο κακή[69], όσο αυτή, που περιγράφεται για τα θραύσματα του Μηχανισμού[70]. Σε κάποιες περιπτώσεις η θραύση θα μπορούσε να είναι και συνειδητή, όπως αναφέρει ο Ι. Θεοφανίδης (1929, 97)[71]. Συνεπώς, η πιθανότητα αυτή αν και μικρή δε μπορεί να αποκλειστεί.

[67] Οι δύο ερευνήτριες τοποθετούν χρονικά σε διαφορετικές χρονολογίες την αναγνώριση, συγκλίνουν παρόλα αυτά στο όνομα του αρχαιολόγου που το εντόπισε, Πέτρου Καλλιγά (Μάγκου 2012, ο.π., 232; Ζαφειροπούλου 2012, ο.π., 242).

[68] Ο ίδιος ο Σβορώνος(1903, ο.π., 2, 5-6) που μιλάει γενικά επαινετικά για τους δύτες καταθέτει στο κείμενό του τη μαρτυρία των δυτών, ότι έσπασαν το χέρι, όταν βρήκαν το ναυάγιο, γιατί είχε γίνει ένα σώμα με το βράχο και αργότερα, ότι έσπασαν την κεφαλή αγάλματος από τον κορμό, τον οποίο ανέσυραν στη συνέχεια.

[69] «*…ωστε να θραύηται και εις την ελαχίστην βία…*» (Σβορώνος 1903, ο.π., 44)

[70] Η δυσκολία των υποβρύχιων εργασιών επισημαίνεται διαρκώς, σε όλα σχεδόν τα κείμενα (Σβορώνος 1903, ο.π., 7,12; Λυκούδης 1920, ο.π., 8, 12, 25, 46, 48; Karo 1948, ο.π., 180-181; Throckmorton 1987, 16; Marchant 2008, ο.π., 26). Με βάση τη σημερινή γνώση, την επιστημονική και τεχνολογική εξέλιξη στο χώρο της κατάδυσης και την εμπειρία της κατάδυσης στο χώρο του ναυαγίου, οι συνθήκες εργασίας των δυτών κρίνονται από επικίνδυνες έως και ηρωικές. Οι δύτες αυτοί εργάζονταν σε μεγάλο βάθος, με ακατάλληλο για τα σημερινά δεδομένα εξοπλισμό. Η στολή που φορούσαν ήταν βαριά, δύσκαμπτη και σε πολλές περιπτώσεις λάθος μέγεθος, μια και ήταν κοινή για όλους. Ήταν αναγκασμένοι να βλέπουν μέσα από τα στενά φινιστρίνια του σκαφάνδρου (εικ. 8), χωρίς τεχνητό φωτισμό, σε μεγάλο βάθος και το κυριότερο ανέπνεαν με δυσκολία ατμοσφαιρικό αέρα, το άζωτο του οποίου έχει λόγω αύξησης της μερικής πίεσης ναρκωτικές ιδιότητες (Throckmorton 1987, ο.π., 17; Marchant 2008, ο.π., 20). Οι περισσότεροι αναδύονταν ημιθανείς (Εστία, αρ. φυλ. 345, 12.02.1901, 3; Σβορώνος, ο.π., 7; Λυκούδης 1920, ο.π., 10; Marchant 2008, ο.π., 24), ενώ κατά τη διάρκεια των επιχειρήσεων υπήρξε ένας θάνατος (Σβορώνος 1903, ο.π., 11, 13; Λυκούδης 1920, ο.π., 48) και δύο περιπτώσεις βαρέων συμπτωμάτων της «νόσου των δυτών» (Λυκούδης 1920, ο.π., 48; Marchant 2008, ο.π., 26). Ο Κ. Ράδος (*Περί τον θησαυρόν των Αντικυθήρων : Αστρολάβος, αναφορικά ωρολόγια, μηχανικά δρομόμετρα, "σφαίραι" ή πλανετάρια. - Υποβρύχιαι ανασκαλεύσεις προς ανεύρεσιν αρχαιοτήτων*, Ναυτικαί και Αρχαιολογικαί Σελίδες, Αθήνα 1910, 37; C. N. Rados, *Sur Les Trouvailles Astronomiques d'Anticythère* in Comptes rendus du Congrès international d'archéologie, 1re session, Athènes 1905, sous la présidence de S.A.R. le Prince Royal des Hellènes, président de la Société archéologique. 1re Session, 7-13 Avril, Athènes. Athènes 1905, 256-257) κατακρίνει στην επιλογή να χρησιμοποιηθούν δύτες με σκάφανδρο και προτείνει τη χρήση καταδυτικού κώδωνα. Τέλος, η απόφαση της επιτροπής, που συνεκλήθη για να εξετάσει τα σπασίματα του Εφήβου, αναφέρει «*ασήμαντες αποκολλήσεις οφειλόμενες στο εύθριπτον και εύθραυστον του αλλοιωθέντος ένεκα της επιδράσεως του θαλασσίου ύδατος κράματος*» (Σβορώνος, ο.π., 6). Οι *ασήμαντες αποκολλήσεις* σε ένα αντικείμενο των διαστάσεων και του τύπου του Εφήβου, πιθανόν να μην είναι καθόλου ασήμαντες σε ένα πολύ μικρότερο αντικείμενο, όπως ο Μηχανισμός.

[71] Πρέπει να αναλογιστεί κανείς το γεγονός ότι οι εργασίες στο βυθό γινόταν χωρίς την επίβλεψη αρχαιολόγου και οι δύτες είχαν είτε τον αγνό ενθουσιασμό, είτε την υστεροβουλία να ανασύρουν όσο γίνεται περισσότερα ευρήματα, ώστε να αυξηθεί η αμοιβή τους. Επίσης, την εποχή στην οποία αναφερόμαστε η αρχαιολογική επιστήμη δεν έχει ακόμα ξεπεράσει τις θησαυροθηρικές της καταβολές, συνεπώς η απώλεια πληροφορίας δε θεωρείται τίμημα στην αναζήτηση ενός εντυπωσιακού ευρήματος. Συνεπώς η θραύση μιας άμορφης μάζας με την ελπίδα να κρύβεται μέσα της ένα χρυσό κόσμημα ή κάτι αντίστοιχο δε θα πρέπει να θεωρείται απίθανη.

ISSN: 2241-9993



Εικόνα 8. Καταδυτική στολή παρόμοια με αυτή, που χρησιμοποιούσαν οι δύτες το 1900 στο Ναυτικό Μουσείο Σύμης (Αρχείο Ι. Σειραδάκη)

Επίσης, με βάση τις δύο τελευταίες παραδοχές (βλ. παραπάνω σελ. 25-26) υπάρχει η ισχυρή πιθανότητα η θραύση του Μηχανισμού να έγινε πριν από την εύρεση του από τους δύτες, είτε τη στιγμή του ναυαγίου, είτε αργότερα κατά τη διάρκεια μεταβολών (μηχανικής ή χημικής φύσεως) στα 2.000 περίπου χρόνια που έμεινε στο βυθό[72]. Οπωσδήποτε, αυτό συνέβη για τα υπόλοιπα τμήματα του Μηχανισμού. Διαφορετικά, είτε χάθηκαν στη μεταφορά ή περιμένουν στις αποθήκες του Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου. Επίσης, η μη λειτουργική θέση τμημάτων, όπως στην περίπτωση του θραύσματος C, όπου ο κεντρικός δίσκος της εμπρόσθιας όψης, ο οποίος φέρει και το μηχανισμό του δείκτη της Σελήνης, έχει κολλήσει έκκεντρα στο ζωδιακό κύκλο και την κλίμακα των μηνών (Μάγκου 2012, 233, εικ. 5), υποδεικνύει θραύση και συσσωμάτωση κατά τη διάρκεια παραμονής στο βυθό. Σε κάθε περίπτωση, η τμηματική ανέλκυση των θραυσμάτων δεν αποκλείει την πιθανότητα κάποια από αυτά, όντως να τεμαχίστηκαν μέσα από τη διαδικασία, που αναφέρουν ο Price και οι υπόλοιποι μελετητές. Συνεπώς, ένας συνδυασμός των δύο θεωριών εξηγεί με λιγότερες αντιρρήσεις τη σημερινή κατάσταση διατήρησης.
Όλα τα παραπάνω δεν αποτελούν μέρος μιας ερμηνευτικής παλινωδίας· περισσότερο αποδεικνύουν τη δυσκολία εξαγωγής συμπερασμάτων σχετικά με το χρόνο θραύσης του αντικειμένου. Άλλωστε 82 θραύσματα για ένα αντικείμενο δεν είναι και λίγα. Ένας συνδυασμός θραύσεων λοιπόν, πριν και μετά την ανέλκυση δείχνει αυτή τη στιγμή να αποτελεί την πιθανότερη ερμηνεία.
Οι απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα, αφορούν άμεσα τις αναζητήσεις της σύγχρονης έρευνας. Η κατανόηση της διαδικασίας μέσα από την οποία ανελκύστηκε ο Μηχανισμός, αποτελεί πολύτιμο οδηγό για τη διατύπωση υποθέσεων εργασίας σχετικά με τη διασπορά των εναπομεινάντων θραυσμάτων στο χώρο του ναυαγίου. Επίσης η σκιαγράφηση της ανασκαφικής εικόνας θα βοηθήσει στην αναγνώριση τους, αλλά και στην επιλογή του τρόπου διαχείρισης του ευαίσθητου αυτού υλικού.

[72] Βλ. Λυκούδης 1920, ο.π., 47.

ISSN: 2241-9993

Συμπεράσματα

Ενώ μία προσπάθεια παράθεσης των δεδομένων της έρευνας σχετικά με τη μορφή, τη λειτουργία και το σκοπό του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, είναι σχετικά εύκολο να τεκμηριωθεί, καθώς αφορά επιστημονικά κείμενα, οι συνθήκες της εύρεσης, ως ερευνητικό αντικείμενο σε μια αρχαιολογική προσέγγιση του ανασκαφικού πλαισίου, μεταφέρουν τον ερευνητή σε μια λιγότερο σταθερή επιφάνεια μελέτης.

Σε μια εποχή, που η υποβρύχια αρχαιολογία κάνει τα πρώτα της βήματα, η τεκμηρίωση των εργασιών είναι ελλιπής και οι πηγές που υπάρχουν, είναι σε πολλές περιπτώσεις είτε στο πλαίσιο της ειδησεογραφίας, είτε λογοτεχνικού ύφους και αρκετά απομακρυσμένες χρονικά από τα γεγονότα. Τις περισσότερες φορές τα στοιχεία μεταφέρονται σχεδόν αυτόματα από το ένα κείμενο στο άλλο.

Είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον να αναγνωρίζει κανείς μέσα στην αλληλουχία των κειμένων, τη μετάδοση πληροφοριών από τον έναν ερευνητή στον επόμενο. Αν βγαίνει κάποιο συμπέρασμα από αυτή την στεμματολογική[73] προσέγγιση των κειμένων, που αφορούν την εύρεση του ναυαγίου, είναι σίγουρα η διαπίστωση ότι το κείμενο από το οποίο πηγάζουν οι περισσότερες πληροφορίες στη βιβλιογραφία είναι αυτό του Σβορώνου, του 1903[74]. Το γεγονός αυτό οφείλεται αφενός στο ότι αποτελεί μια συνολική προσέγγιση, όπου περιέχονται συγκεντρωμένες πληροφορίες για διάφορες πτυχές του θέματος και αφετέρου στην επιλογή του Price να βασιστεί στο Σβορώνο[75] μεταφέροντας έτσι τις πληροφορίες του στη νέα εποχή της έρευνας, που αυτή τη φορά περιελάμβανε πολύ περισσότερους ερευνητές και εξελίχθηκε, όπως και συνεχίζει να εξελίσσεται, πλέον σε παγκόσμιο επίπεδο. Ο Price δε βασίστηκε στην ελληνική αλλά στη γερμανική έκδοση του κειμένου, καθώς απέφυγε γενικά την ελληνόγλωσση βιβλιογραφία[76]. Καθώς το έργο του Price έχει χαρακτηριστεί η αφετηρία οποιασδήποτε σοβαρής έρευνας για το Μηχανισμό των Αντικυθήρων (OMMA 2012, 256) αποτέλεσε το μέσο διάχυσης των στοιχείων του Σβορώνου στο σύνολο σχεδόν της βιβλιογραφίας.

Σε ό,τι αφορά το χρόνο εύρεσης των θραυσμάτων του Μηχανισμού, τα υπάρχοντα στοιχεία δεν είναι αρκετά για να ορίσουν τη στιγμή που εντοπίστηκαν και ανελκύστηκαν τα θραύσματα στα Αντικύθηρα. Η έλλειψη ανασκαφικού ημερολογίου σε συνδυασμό με τη δυσκολία αναγνώρισης του ευρήματος δεν άφησαν κανένα ίχνος για να προταθούν κάποιες τεκμηριωμένες ερμηνείες. Όσα έχουν ειπωθεί σχετικά πρέπει να χαρακτηριστούν υποθέσεις εργασίας. Αντίθετα, η αναγνώριση του ευρήματος στο Μουσείο φαίνεται να έγινε, όπως μαρτυρεί ο ημερήσιος τύπος, το Μάιο του 1902 από τον πρώην υπουργό Σπυρίδωνα Στάη. Είναι πολύ πιθανό, της αναγνώρισης αυτής να προηγή-

[73] Noun. *Stemmatology / stemmatics* - the humanistic discipline that attempts to reconstruct the transmission of a text (especially a text in manuscript form) on the basis of relations between the various surviving manuscripts (sometimes using cladistic analysis). Από τη διεύθυνση: http://www.thefreedictionary.com/stemmatology [τελευταία επίσκεψη 31.01.2016].

[74] Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί η προσπάθεια που έγινε από το Σβορώνο (1903, 15-17) να συγκεντρωθεί το σύνολο των πηγών μέχρι το 1903. Η σημασία του έργου του Σβορώνου σε αυτό το κομμάτι της έρευνας είναι πολύτιμη και γιατί ο ίδιος βρίσκεται πολύ κοντά στα γεγονότα και γιατί όλα του σχεδόν τα στοιχεία προκύπτουν μέσα από σοβαρή έρευνα. Για λόγους, που δεν αναφέρει, η A. Hermann (*Reviewed Work(s): Die Skulpturen Des Schiffsfundes von Antikythera by Peter Cornelis Bol*, American Journal of Archaeology 77(4), (1973), 452) χαρακτηρίζει το έργο του Σβορώνου "…the only systematic publication […] early and often misleading".

[75] Πριν τον Price και ο G. Karo (1948, ο.π.) βασίζεται στην ιστορία του Σβορώνου για το άρθρο του "Art salvaged from the sea", αν και όπως φαίνεται από τη βιβλιογραφία, έχει ακόμα υπόψη του το έργο του Β. Στάη (1905, ο.π.) και την ΑΕ (1902, ο.π.). Όπως και ο Price (βλ. παραπάνω, σημ. 4), ο Karo (1948, ο.π., 180) μεταφέρει λανθασμένα το βάθος, το οποίο στο δικό του κείμενο γίνεται αντίστοιχα 9 οργυιές (16 περίπου μέτρα).

[76] Παρομοίως προτίμησε τη γαλλική έκδοση του έργου του Θεοφανίδη (J. Théofanidis, « Sur l'instrument en cuivre, dont des fragments se trouvent au Musée archéologique d'Athènes et qui fut retiré du fond de la mer d'Anticythère en 1902 », Πρακτικά της Ακαδημίας Αθηνών 9, 1934, 140-149).

ISSN: 2241-9993

θηκε κάποια θραύση, είτε συνειδητή[77], είτε τυχαία, με αποτέλεσμα να γίνουν ορατά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ευρήματος.

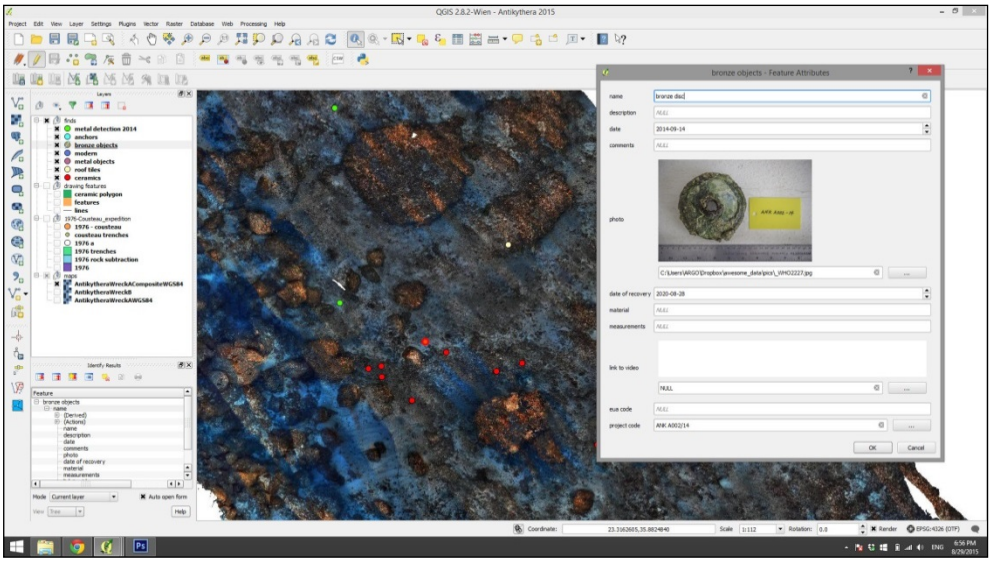
Σχετικά με το ερώτημα, αν τα γνωστά θραύσματα ανελκύστηκαν ως ένα τμήμα και κομματιάστηκαν στη συνέχεια ή εντοπίστηκαν εξ αρχής τεμαχισμένα και πάλι η έλλειψη καταλόγων ή σχετικών αρχαιολογικών κειμένων από το χώρο της ανασκαφής δεν επιτρέπει τεκμηριωμένες θεωρίες, αλλά υποθέσεις. Από όσα αναφέρθηκαν ενδελεχέστερα παραπάνω και από τη σχετική εμπειρία υποβρύχιων ανασκαφικών ερευνών προκύπτει ένας συνδυασμός. Σίγουρα υπήρξαν κάποια στιγμή θραύσεις στο χώρο του ναυαγίου. Γι' αυτό το λόγο δεν ανελκύσθηκε το σύνολο του Μηχανισμού. Με βεβαιότητα μπορεί κανείς επίσης να υποστηρίξει ότι θραύσεις συντελέστηκαν και στην επιφάνεια, διότι τα μικρά θραύσματα δε θα μπορούσαν να έχουν ανελκυστεί διαφορετικά. Συνεπώς το ερώτημα περιορίζεται στο αν τα μεγάλα θραύσματα του Μηχανισμού ανελκύστηκαν ως ένα κομμάτι ή περισσότερα. Το πιθανότερο είναι τα τμήματα με την καλύτερη συναρμογή, όπως για παράδειγμα τα A,B και C[78], να αποτελούσαν ένα κομμάτι, που έσπασε στο μουσείο, ενώ άλλα, όπως το F, να ανελκύστηκαν χωριστά και γι' αυτό να εντοπίστηκαν πολύ αργότερα. Με αυτό τον τρόπο εξηγείται και το γεγονός ότι έμεινε απαρατήρητο για ένα τόσο μεγάλο χρονικό διάστημα. Σε ό,τι αφορά το ερώτημα, αν οι δύτες έσπασαν κομμάτια στην ανέλκυση, δεν υπάρχει σαφής απάντηση, επίσης. Το μόνο, που μπορεί να ειπωθεί στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι τα λόγια του G. Karo (1948, 181): "*we owe a debt of gratitude to the divers for having carefully collected what must have seemed to them insignificant bits of metal*".

Τέλος, ένας σχεδόν αιώνας έρευνας δε στάθηκε αρκετός για να λυθεί το αρχαιολογικό μυστήριο του Μηχανισμού. Αναζητήσεις που αφορούν βασικά στοιχεία, όπως η ταυτότητα του κατασκευαστή, ο σκοπός κατασκευής, η ακριβής χρονολόγηση κ.α. δυσεπίλυτα ερωτήματα παραμένουν αναπάντητα. Ωστόσο, η γνώση, που άθροισε η ερευνητική αυτή η προσπάθεια και αφορά τη λειτουργία και τεχνικά χαρακτηριστικά του Μηχανισμού, προσφέρει σημαντικές ενδείξεις και βοηθά στο σχεδιασμό της αρχαιολογικής διαδικασίας. Η άποψη για παράδειγμα που έχει διαμορφωθεί πλέον και άφορά τη μη χρήση του οργάνου στη ναυσιπλοΐα, αλλά το καθιστά μέρος του φορτίου, ίσως βοηθήσει στον εντοπισμό της θέσης του στο χώρο του ναυαγίου. Οι μέχρι τώρα υποβρύχιες έρευνες δεν κατέστησαν δυνατό να οριστεί η διασπορά των αντικειμένων του πλοίου στο χώρο του ναυαγίου. Οι σύγχρονες μέθοδοι αποτύπωσης και τεκμηρίωσης, που χρησιμοποιούνται ωστόσο, σε συνδυασμό με τη μελέτη των στοιχείων από τις προηγούμενες προσπάθειες, έχουν σκοπό να οδηγήσουν σε τέτοιου είδους ερμηνευτικά συμπεράσματα.

[77] Θα μπορούσε να αποτελεί μέρος ενός μη καταγεγραμμένου πρόχειρου καθαρισμού, όπως επισημαίνει και ο Price (1974, ο.π.,10/1995, ο.π. 18).

[78] Η καλή συναρμογή στην οποία αναφέρεται και ο Price (1974, ο.π., 13-18/1995, ο.π., 71-77) για να αποδείξει την ενότητα του συνόλου προέκυψε ύστερα από τον καθαρισμό των θραυσμάτων. Ίσως στην κατάσταση που ανελκύστηκαν να μην ταίριαζαν τόσο καλά, γεγονός που θα υποδείκνυε θραύση πριν την ανέλκυση.

ISSN: 2241-9993



Εικόνα 9. Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφορίων (GIS), που σχεδιάστηκε για τη σύγχρονη έρευνα του Ναυαγίου των Αντικυθήρων, περιέχει όχι μόνο τα δεδομένα της παρούσης έρευνας, αλλά εμπεριέχει πληροφορίες από τις παρελθούσες έρευνες των αρχών του 20^{ου} αιώνα και των ετών 1953 και 1976 με σκοπό το συνδυασμό των δεδομένων και τη σκιαγράφηση του ανασκαφικού πλαισίου διαχρονικά (©EEA, WHOI, ΑΜΚΕ Αργώ)

ISSN: 2241-9993

Επίλογος

Συνεπώς, η αναζήτηση πληροφοριών σχετικά με τις συνθήκες εύρεσης του Μηχανισμού έχει μια καθαρά πρακτική αξία. Καθώς, η υποβρύχια έρευνα συνεχίζεται και αρχαιολόγοι ανασκάπτουν ξανά το χώρο του ναυαγίου, είναι απαραίτητη για την κατανόηση του ανασκαφικού χώρου και για την πιθανή αναγνώριση, είτε νέων θραυσμάτων, είτε της θέσης από την οποία ανελκύσθηκε το εύρημα. Καθώς είναι επιβεβαιωμένο, ότι τα υπάρχοντα θραύσματα αποτελούν μέρος μόνο του αρχικού αντικειμένου, το υπόλοιπο πρέπει να αναζητηθεί είτε στις αποθήκες του Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου, είτε στο χώρο του ναυαγίου. Και στις δύο περιπτώσεις, η «ανασκαφή» είναι εξαιρετικά δύσκολη. Τα αποτελέσματα όμως, όπως δείχνει το παρελθόν, είναι πάντοτε επάξια της αναζήτησης.

> *«Αλλά τα συμπεράσματα της μελέτης ημών ας διαψεύση ή ας επικυρώση η μέλλουσα του βυθού έρευνα ή των σοφών η μελέτη…»*
> Σβορώνος 1903, 86



Εικόνα 10. Από τη σύγχρονη υποβρύχια έρευνα στο Ναυάγιο των Αντικυθήρων (©ΕΕΑ, WHOI, ΑΜΚΕ Αργώ)

ISSN: 2241-9993

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση
Ανακοίνωσις. Περί των εκ της παρά τα Αντικύθηρα Θαλάσσης αγαλμάτων , ΠΑΕ 1900, (1901), 95-102.
Αναστασίου, Μ., *Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων : Αστρονομία και Τεχνολογία στην Αρχαία Ελλάδα*. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2014.
Βυζαντινός, Γ. Π., *Εις τον βυθόν των Αντικυθήρων*. Παναθήναια Α' (1901), 225-227.
Ζαφειροπούλου, Μ., *Παλαιά και νέα θραύσματα του μηχανισμού των Αντικυθήρων και επιγραφές* στο Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός. Αθήνα 2012, 241-248.
Θεοφανίδης, Ι., *Το εύρημα των Αντικυθήρων,* Μεγάλη Στρατιωτική και Ναυτική Εγκυκλοπαίδεια 1929, 97-104.
Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π., (επιμ.), *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*. Αθήνα 2012.
Κολώνας, Λ., *Ημερολόγιο έρευνας Αντικυθήρων 1976*, Αρχείο Εφορείας Εναλίων Αρχαιοτήτων, 1976.
Κολώνας, Λ., *Οι έρευνες του 1976* στο Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός. Αθήνα 2012, 32-34.
Λάζος, Χ., *Ο υπολογιστής των Αντικυθήρων. Μηχανισμοί με διαφορικό γρανάζι*, Αθήνα 1994.
Λυκούδης, Ε. Σ., "Οι Αρχαιολογικοί Θησαυροί των Αντικυθήρων. Ημερολόγιο αυτόπτου της ανελκύσεως". *Σελίδες*, Αθήνα, 1920, σελ. 3-31.
Λυκούδης, Σ. Ε., "Ο Περίφημος Θησαυρός της νήσου των Αντικυθήρων. Αρχαιολογικά Σημειώματα, *Ήλιος*, τεύχη 343 (σελ.482), 345, (σελ. 563), 347 (σελ. 626), Αθήνα, 1950.
Κουτσουφλάκης, Γ., *Στο βυθό των Αντικυθήρων* στο Δαμιανίδης, Κ., (επιμ.) Ναυς. Πλοία και Ναυπηγική στον ελληνικό κόσμο, Αθήνα 2014, 170-171.
Μάγκου, Ε., *Αρχαιομετρικές έρευνες του Μηχανισμού των Αντικυθήρων στη διάρκεια του ενός αιώνα από την ανέλκυσή του* στο Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός. Αθήνα 2012, 228-231.
Μιχαηλίδης, Ι*., Ο ατυχής πόλεμος του 1897*, Έρευνες, εφημερίδα Καθημερινή, 28.01.2016. http://www.kathimerini.gr/815952/gallery/epikairothta/ereynes/o-atyxhs-polemos--toy-1897 [τελευταία επίσκεψη 02.02.2016].
Μπιτσάκης, Γ. (επιμ.), *Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων. Περιήγηση στην Αστρονομία και την Τεχνολογία της εποχής του*, Αθήνα 2010, 19
Μπιτσάκης, Γ., *Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων* στο Χριστοπούλου, Α., Γκαδόλου, Α. & Μπούγια, Π., (επιμ.), Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Η τεχνολογία του πλοίου, του φορτίου, του μηχανισμού. Αθήνα 2012, 94-103.
Μπούγια, Π, *Το πλοίο* στο Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός. Αθήνα 2012, 36-49.
Νικολή, Μ., *Οι πρώτες αναφορές στην ανακάλυψη του ναυαγίου και του Μηχανισμού των Αντικυθήρων*. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2012 από το http://search.lib.auth.gr/Record/ikee-129872 [τελευταία επίσκεψη στις 03.02.2016].
Νικολαΐδης Κρης, Γ.. *Άγαλμα λίθινον εξ Αντικυθήρων*, Αρχαιολογική Εφημερίς 1903, (1904), 201–6.

ISSN: 2241-9993

ΟΜΜΑ, *Λειτουργίες και ομοιώματα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων* στο Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός. Αθήνα 2012, 256-272.
Price, D. De Solla, *Γρανάζια από τους Έλληνες. Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων* (Ν. Α. Οικονόμου, Μτφ. / Θ. Ιωαννίδης, επιμ.), Θεσσαλονίκη 1995 (Αρχική έκδοση στα αγγλικά, 1974).
Προσκυνητοπούλου, Ρ., *Η ιστορία της μελέτης του Μηχανισμού των Αντικυθήρων* στο Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός. Αθήνα 2012, 228-231.
Ράδος, Κ., *Περί τον θησαυρόν των Αντικυθήρων : Αστρολάβος, αναφορικά ωρολόγια, μηχανικά δρομόμετρα, "σφαίραι" ή πλανετάρια. - Υποβρύχιαι ανασκαλεύσεις προς ανεύρεσιν αρχαιοτήτων*, Ναυτικαί και Αρχαιολογικαί Σελίδες, Αθήνα 1910.
Ρεδιάδης, Π., *Ο εξ Αντικυθήρων αστρολάβος* στο Ι. Ν. Σβορώνος (επιμ.)*Το εν Αθήναις Εθνικόν Μουσείον*,. Αθήνα 1903(α), 44-52.
Ρεδιάδης, Π., *Ο αστρολάβος των Αντικυθήρων,* Παναθήναια Ζ' 1903(β), 188-89.
Ρεδιάδης, Π. *Το εξ Αντικυθήρων Αστρολάβον,* Αρχαιολογική Εφημερίς 1910, 157-172.
Σβορώνος, Ι.Ν., *Το εν Αθήναις Εθνικόν Μουσείον*, Αθήνα 1903.
Στάης, Β., *Τα εξ Αντικυθήρων ευρήματα. Χρονολογία, προέλευσις, χαλκούς έφηβος,* Αθήνα 1905.
Σφουγγάρι και Σφουγγαράδες, "Επτά Ημέρες" της εφημερίδας Καθημερινή, 13-9-1998.
Τα ευρήματα του ναυαγίου των Αντικυθήρων, Αρχαιολογική Εφημερίς 1902, 145-172.
Τσιποπούλου, Μ., Αντωνίου, Μ. & Μασουρίδη, Σ., *Οι έρευνες των ετών 1900-1901* στο Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός, Αθήνα 2012, 18-31 .
Φράγκου, Β., *Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων: ιστορική αναδρομή και αστρονομικές προεκτάσεις*. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2010 από το http://search.lib.auth.gr/Record/ikee-122865 [τελευταία επίσκεψη στις 03.02.2016], η οποία υπάρχει και στα αγγλικά στο http://www.astro.auth.gr/documents/diplomas/2010_Fragkou-Antikythera-en.pdf [τελευταία επίσκεψη στις 05.02.2016].
Χριστοπούλου, Α., Γκαδόλου, Α. & Μπούγια, Π., (επιμ.), *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Η τεχνολογία του πλοίου, του φορτίου, του μηχανισμού.* Αθήνα 2012.

Ξενόγλωσση

Antikythera Mechanism Research Project, *Decoding the Heavens by Jo Marchant. Comments* στο http://www.antikythera-mechanism.gr/system/files/Decoding-the-heavens-notes-and-comments.pdf [τελευταία επίσκεψη στις 03/04/2016]
Batista-Goulart, L., *A Methodology for Studying Ahipwreck Formation Processes* in Krištuf, P., Novák, D., Tóth, P. & Vokounová Franzeová, D., (eds), Student Archaeology in Europe 2014. Conference Proccedings of the Student Session of the 19th Annual Meeting of the European Association of Archaeologist in Pilsen and 5th Student Conference "The Landscape in the Past, the Past in the Landscape", Pilsen 2014, 20–25.
Bitsakis, Y. *The Antikythera Mechanism* in Christopoulou, A., Gadolou, A. & Bouyia, P. (eds) / Fowler, M. A. (transl.), The Antikythera Shipwreck. The technology of the ship, the cargo, the mechanism. Athens 2012, 94-103.
Cavvadias, P., *Statues Rendues Par La Mer,* Revue des Études Grecques **XIV** (57) (1901), 122–26
Evans, J., Carman, C. C. & Thorndike, A. S., *Solar anomaly and planetary displays on the Antikythera mechanism*, Journal for the History of Astronomy **41**, 1-39 (2010).

ISSN: 2241-9993

Feke, J., *Review Author(s): Jo Marchant. Decoding the Heavens*. ISIS **101**(1) (2010), 261-262.
Fragkou, V., *The Antikythera Mechanism. Historical Reference and Astronomical Extensions*. Bachelor Thesis. Department of Physics. Aristotle university of Thessaloniki. Retrieved from http://www.astro.auth.gr/documents/diplomas/2010_Fragkou-Antikythera-en.pdf [last visited on 10.02.2016].
Freeth, T., *Building the Cosmos in the Antikythera Mechanism* in Proceedings of the meeting "From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients" (Antikythera & SKA). 12-15 June 2012. Kerastari, Greece. (2012), 1-16.
Freeth T. & Jones A., *The Cosmos in the Antikythera Mechanism*, ISAW Papers **4** (2012).
Gibbs, M., *Cultural Site Formation Processes in Maritime Archaeology: Disaster Response, Salvage and Muckelroy 30 Years on*, International Journal of Nautical Archaeology **35**(1), (2006), 4-19.
Hamilton, D. L., *Methods of Conserving Archaeological Material from Underwater Sites*. Conservation Files: ANTH 605, Conservation of Cultural Resources I. Nautical Archaeology Program, Texas A&M University. 1998. Retrieved from http://nautarch.tamu.edu/CRL/conservationmanual/ [last visited on 02.02.2016].
Herrmann, A., *Reviewed Work(s): Die Skulpturen Des Schiffsfundes von Antikythera by Peter Cornelis Bol*, American Journal of Archaeology **77**(4), (1973), 451–53.
Kabbadias, P., *The recent finds off Cythera*, The Journal of Hellenic Studies **21** (1901), 205-208
Karo, G., *Art salvaged from the Sea*, Archaeology **1**(4), (1948), 179-185.
Kean, V. J., *The ancient Greek computer from Rhodes known as the Antikythera Mechanism*, Athens 1995.
Marchant, J., *In search of lost time*. Nature **8**(444), (2006), 534-538.
Marchant, J., *Decoding the Heavens. Solving the mystery of the world's first computer*. London 2008.
Martin, C., Wreck-Site Formation Processes in Ford, B., Hamilton, D. L. & Catsambis, A., (eds), The Oxford Handbook of Maritime Archaeology, Oxford 2011, 46-67.
Muckelroy, K., A Systematic Approach to the Investigation of Scattered Wreck Sites, International Journal of Nautical Archaeology **4**(2), (1975), 173–90.
Muckelroy, K., *The Integration of Historical and Archaeological Data Concerning an Historic Wreck Site: The 'Kennemerland*, World Archaeology **7**(3), (1976), 280-290.
Price, D. De Solla, *An Ancient Greek Computer*, Scientific American **201**(6), (1959), 60–67.
Price, D. De Solla, *Gears from the Greeks. The Antikythera Mechanism: A Calendar Computer from Ca. 80 BC*, Transactions of the American Philosophical Society **64**(7), (1974), σελ. 1-70.
Rados, C. N., *Sur Les Trouvailles Astronomiques d'Anticythère* in Comptes rendus du Congrès international d'archéologie, 1re session, Athènes 1905, sous la présidence de S.A.R. le Prince Royal des Hellènes, président de la Société archéologique. 1re Session, 7-13 Avril, Athènes, Athènes 1905, 256-258.
Svoronos, J. N., *Das Athener Nationalmuseum*, Athen 1908.
Rehm, A., *P. Rediadis, Der Astrolabos von Antikythera.* Berliner Philologische Wochenschrift 15, (1907), 467-470.
Théofanidis, J., *Sur L'instrument En Cuivre, Dont Des Fragments Se Trouvent Au Musée Archéologique d'Athènes et Qui Fut Retiré Du Fond de La Mer d'Anticythère En 1902*, Πρακτικά της Ακαδημίας Αθηνών **9**, (1934):140–49.
Throckmorton, P. *Shipwrecks and Archaeology. The unharvested Sea*. Boston 1970, 113-168.
Throckmorton, P. *The Sea remembers: shipwrecks and archaeology from Homer's Greece to the rediscovery of the Titanic*, New York 1987, 14-20.
Weinberg, G. D., Grace, V. R., Edwards, G. R., Robinson, H. S., Throckmorton, P., Ralph, E. K., *The Antikythera Shipwreck Reconsidered.* Transactions of the American Philosophical Society **55**(3), (1965), 3-48.

ISSN: 2241-9993

Wright, M.T. *A Planetarium Display for the Antikythera Mechanism*. Horological Journal **144** (5)(2002), 169-173, **144**(6) (2002), 193.
Wright, M. T., *Epicyclic Gearing and the Atnikythera Mechanism, Part 2*, Antiquarian Horology **29** (2), (2005), 51-63.

Εφημερίδες
Ακρόπολις
Εμπρός
Εστία
Νέον Άστυ
Σκριπ
Το Άστυ

Συντομογραφίες
ΑΕ: Αρχαιολογική Εφημερίς
AMPR: Antikythera Mechanism Research Project
ΟΜΜΑ: Ομάδα Μελέτης του Μηχανισμού των Αντικυθήρων
ΠΑΕ: Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρίας

ISSN: 2241-9993

Data and interpretations on the discovery of the Antikythera Mechanism. Notes for the future

- Alexandros Tourtas, Archaeologist, Ph.D. Candidate Aristotle University of Thessaloniki
  E-mail: alextourtas@gmail.com
- Dr. Theotokis Theodoulou, Archaeologist, Ephorate of Underwater Antiquities
  E-mail: t_theotokis@hotmail.com
- Dr. Dimitris Kourkoumelis, Archaeologist, Ephorate of Underwater Antiquities
  E-mail: d.kourkoumelis@gmail.com
- Dr. Brendan Foley, Archaeologist, Woods Hole Oceanographic Institution, USA
  E-mail: bfoley@whoi.edu
- John Hugh Seiradakis, Aristotle University of Thessaloniki
  E-mail: jhs@astro.auth.gr

ISSN: 2241-9993

Περίληψη
Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων αποτελεί ένα μοναδικό εύρημα. Η έρευνά του απασχολεί επιστήμονες προερχόμενους από ένα ευρύ φάσμα ειδικοτήτων και τα αποτελέσματά της φανερώνουν τον ανεπτυγμένο βαθμό της επιστημονικής εξέλιξης της εποχής, που κατασκευάστηκε ο Μηχανισμός, ξαναγράφοντας την ιστορία της τεχνολογίας. Μετά από έναν και πλέον αιώνα από την εύρεση του, αρχαιολόγοι επιστρέφουν στο χώρο του ναυαγίου, με σκοπό ανάμεσα σε άλλες αναζητήσεις να φέρουν νέα στοιχεία και στην έρευνα του Μηχανισμού. Στο παρόν κείμενο γίνεται η προσπάθεια, πριν ξεκινήσει η επικείμενη ανασκαφή, να συγκεντρωθούν όλα τα μέχρι στιγμής ανασκαφικά δεδομένα, που αφορούν τον Μηχανισμό και να παρουσιαστεί η σχετική βιβλιογραφία.

Abstract
For more than a century the research on the Antikythera Mechanism engaged scientists from a wide range of scientific disciplines searching for clues, in order to solve the mystery that this unique archaeological find poses. The results so far have been spectacular enough to re-write the History of Technology providing new aspects on the degree of technological sophistication and scientific development in the Hellenistic world. Nowadays, a new scientific research program hopes to shed new light on the study of the wreck with archaeologists retuning to the underwater site ready to conduct excavation using modern technology and new scientific methodological approaches. In order for this new endeavour to be scientifically solid, all the available data deriving from all previous expeditions, as well as the research of the finds in the National Archaeological Museum in Athens, were gathered and thoroughly studied. In this paper a collection of the archaeological data concerning the Mechanism is presented side by side with a reviewed presentation of the relevant bibliography aiming to unwind the net of information created by scholars from the 1900s to present day research publications. There are no direct archaeological sources (e.g. excavation journal, official archaeological report) describing the early 20th century expeditions, during which the Mechanism was found, rather than a collection of newspaper articles and the published memoires of individuals who took part in the enterprise. However, there are scientific postulations regarding the Mechanism quite early after the find was published in archaeological journals amongst other finds of the wreck in 1902-3. In the 1950s a new chapter in the study of the Mechanism opened when prof. Derek de Solla Price focused his attention on the exquisite find. His fundamental work "Gears from the Greeks" was published in 1974 and with it the story of Antikythera Mechanism reached scholars all around the world. Since then, plenty scientific endeavors have been publishing data or postulating theories about the origins and the function of the Mechanism. Each one of them has been reproducing the historical and archaeological data from previous works, either without further research or with a certain amount of uncertainty founded on the indirect sources of the historical accounts, thus creating a cloud of insecurity concerning the validity of the facts. As mentioned above, this paper presents all this information in an effort to clarify the archaeological context on the discovery of the Antikythera Mechanism.

Λέξεις-Κλειδιά: Μηχανισμός Αντικυθήρων, Ενάλια Αρχαιολογία

Keywords: Antikythera Mechanism, Maritime archaeology

1. Introduction

In the beginning of the 20th century commenced a most unusual scientific research. Focused on a most peculiar archaeological find, the importance of which exceeded the boundaries of archaeology, it gradually attracted researchers from various fields, in an effort to solve a mystery. The "Mechanism" that overturned all the "certainties" about the development of ancient technology was found in pieces, between hundreds of other objects that were recovered from the bottom of the sea, off the small island of Antikythera. Gradually, the unique nature of this find was revealed and the challenges of its interpretation caused big scientific interest. Nowadays, almost a century later, the research still goes on and the unique find acquired its own history. A new scientific endeavour started in 2012 and the shipwreck became once again a place of research and systematic excavation[1]. Till now, several objects have been found and recovered from the seabed and the hope to find more artifacts, -amongst them probably some that are related either directly or indirectly with the Mechanism- remains a strong scientific motive.

The story of the Antikythera Mechanism contains two basic chapters. The first one is about the way the artifact created, used and finally got lost in the wreckage during the 2nd -1st c. BCE. The second chapter begins two thousand years later, with the discovery of the shipwreck that was carrying the Mechanism and its recovery among other finds during the salvage operations in 1900-1901.

This second chapter is the topic of the current essay. More specifically, it focuses on the research field during the first years of the 20th century and the conditions under which the Mechanism was found. The time distance, the absence of scientific documentation at the time of the events and the indirect nature of the relevant information make the handling of the data complicated. During these hundred years of research, a storyline was gradually twined around it, consisting of preliminary assumptions and interpretations of the facts that were in later stages reproduced as "real" facts. The purpose of this study is to carefully analyze the relevant information and locate references that concern the recovery and identification of the Mechanism, in order to offer an overview in the development of its history, and to try to define its archaeological context. In other words, it is an attempt to locate either convergence (verifying the facts) or divergence (causing doubt for the validity of the data). In any case, the presentation of all the available sources allows researchers to reach their own conclusions and make their own interpretation of the facts. At the same time, some thoughts are being expressed by the author regarding the interpretations that have been postulated until today, aiming to the better understanding of the archaeological context, the study of which is a basic feature of the contemporary underwater research.

The bibliography regarding the Antikythera Mechanism is rich. Amongst the relevant studies one can find valuable data about the research history of the Mechanism. Regarding this early period of the research, the most recent articles on the subject are included in the exhibition catalogue "The Antikythera shipwreck. The ship, the Treasures, the Mechanism" (Kaltsas et al. 2012), that was organized by the National Archaeological Museum from the 5th of April 2012 until the 29th of June 2014 (Tsipopoulou et al. 2012, 26-28; Proskynitopoulou 2012, 228-229; Magou 2012, 232-240; Zafeiropoulou 2012, 241-248), and in the relevant edition "The Antikythera shipwreck. The technology of the ship, the cargo of the Mechanism" (Christopoulou et al. 2012), that followed (Bitsakis 2012, 94-103).

[1] The contemporary research of the Antikythera shipwreck is being conducted by the Ephorate of Underwater Antiquities (EUA, Ministry of Sport and Cultural Affairs) with the collaboration of Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI, USA) and the support of several other researchers and organizations. Director of the project is the Ephorate's chair, Dr. A Simosi, while scientific supervisors onsite are EUA archaeologists Dr. Theotokis Theodoulous and Dr. Dimitris Kourkoumelis. WHOI's prime investigator is archaeologist Dr. Brendan Foley (htttp://antikythera.whoi.edu/ [Last accessed on 05.02.2016]).

ISSN: 2241-9993

As recent bibliography can be also considered Jo Marchant's book "Decoding the Heavens", that was published in 2008 and narrates the story of the Mechanism. Even though the book is written in a literature style it is based on solid scientific research[2].

Looking for information in older sources, one can find references either directly from the study of scholarly texts producing original data about the Mechanism, or indirectly from introductive chapters in scientific work that sums up the history of research up to the point of publication (see Weinberg et. al. 1965, 3-4; Throckmorton 1970, 113-168/ 1987, 14-20; Anastasiou 2014, 10-12), even by authors of a less scholarly background, like Kean (1995, 51-57), who attempt to postulate their own "explanation" of the mystery.

Definitely, fundamental in the research of the Mechanism should be considered the work of Derek de Solla Price (1974) "Gears from the Greeks". In particular, the Greek edition of Price's work (1995)[3], where the contents have been put in such a way, so that the historical data are separated from the technical details, provide a clear picture of the research for the Mechanism until the time of the publication[4].

Travelling backwards in time through different texts, one can locate during the 1920s and 1930s sporadic references in the sources[5]. There are a few texts that were written close to the events, in the first decade of the 20th century. However, the information they give should not be considered accurate solely based on time proximity. Contemporary press is probably the best chronological guide. Furthermore, the pages of the contemporary newspapers provide opinions coming from specialists (I. Svoronos[6], A. Keramopoulos[7], K. Rados[8], P.Rediades[9], A. Damberges[10], T. Thomopoulos [11] et

[2] Regarding this book one can refer to the following: An article by the same author preceding the book (Marchant 2006) and a commentary note that followed it by the AMRP (2009). In the latter, the scholars comment on various features of Marchant's book and offer their scientific interpretation. See also Feke 2010, 261-262.

[3] Apart from the official translation (Price 1995), there is also C. Lazos' book (1994), where the author is practically translating Price's publication (1974) along with some original commentary. Both Greek books can be considered as "re-borrowing" data considering that they provide information from the original Greek sources, on which Price was based writing the original 1974 English text.

[4] In the present text an attempt is being made to identify and clarify different misunderstandings that occurred during the procedure of transferring the data from one language to another. For instance, the transfer of the events from Svoronos' text (1903), on which Price was based exclusively (1974) has various small mistakes, due to erroneous translation. In page 5 for example, the word "οργυιά" is translated "ell" (cubit=0.42cm) and not "fathom" as it should have been, having as a result the depth of the shipwreck to change. The misunderstanding can be explained from the fact that Price is based on the German edition of Svoronos' study, in which the initial translation mistake was done (Svoronos 1908, 2). Because the 35 cubits (16m) did not seemed deep enough to Price, he cares to mention that this information comes from Svoronos (1902, 2/1908, 2) and is probably not correct. It should also be noted that this erroneous depth is verified by other contemporary authors (Βυζαντινός 1901, 226; Λυκούδης 1920, 8, 12, 21, 29, 46) as well as by the Greek press (see ΣΚΡΙΠ no. 1915, 14.12.1900, 3; ΕΜΠΡΟΣ no. 1514, 16.01.1901, 2; ΑΣΤΥ no. 3686, 13.02.1901, 1). Price concludes that the depth of the wreck is 140 feet (42 meters) (1974, 5) without justifying his conclusion or referring to a relevant source. Maybe this is a depth that seemed appropriate to the scholar or he come across to it in a source that he doesn't care to mention. Price does refer to Weinberg *et al*. (1965), who are nevertheless providing a depth of 180 feet (55 meters). The same depth is mentioned by Throckmorton (1987, 15) and Kean (1991, 54). Lazos (1994, 23) corrects the depth in his study to 60 meters. The depth of the main archaeological concentration of the shipwreck was proved to be between 45 and 55 meters by the recent underwater operations.

[5] See Νικολή 2012 and Fragou 2010.

[6] ΑΣΤΥ, no. 3671, 28.01.1901, 1/no. 3674, 31.01.1901, 1/no. 3680, 06.02.1901, 1/no. 3704, 03.03.1901, 1/no. 3705, 04.03.1901, 2/no. 3724, 23.03.1901, 3/no. 3869, 16.08.1901, 2/no. 4148, 30.05.1902, 2.

[7]NEON ΑΣΤΥ, no. 472, 31.03.1903, 1/no. 478, 06.04.1903, 1/no. 4581, 12.08.1903, 3.

[8]ΕΣΤΙΑ, no. 359, 26.02.1901, 1; ΑΣΤΥ, no. 4142, 24.05.1902, 1/no. 4147, 29.05.1902, 1.

[9]ΑΣΤΥ, no. 4148, 30.05.1902, 1/no. 4174, 23.06.1902, 2/no. 4175, 24.06.1902, 2.

[10]ΑΣΤΥ, no. 3677, 03.02.1901, 2.

[11]ΑΚΡΟΠΟΛΙΣ, no. 12.10.1902, 3.

ISSN: 2241-9993

al.) and some non-specialists[12] (S. Lycoudes[13], G. Chrysaphes[14], et al.) about the newly found site and its artifacts. In this context, there are texts like S. Lycoudes' diary that was published in 1920[15] and comprises a collection of the author's articles that were published in daily and weekly press. However, more accurate details are contained in the scientific studies of the period. Amongst them is the first scientific report,[16] referring to the Mechanism (Σβορώνος 1903) from which many future researchers derived information (see Price 1974/1995; Tsipopoulou et al. 2012), the reply of Valerios Stais (Στάης 1905) in the arguments of the above study three years later, with a special mention in the Mechanism[17] and finally the consecutive special publications of researchers like K. Rados (1905; Ράδος 1910), P. Rediades (Ρεδιάδης 1903a/ 1910)[18], A. Rehm (1907)[19] and I. Theophanidis (1929/1934) during the early years after his discovery that discussed in detailed the Mechanism (Proskynitopoulou 2012, 228-229).

The structure of this study is based on the presentation and interpretation of the three basic features. The first chapter discusses information about the site, where the Mechanism was founded, the second one about the identification of the find and the third one provides information and some thoughts about the recovery of the artifact from the seabed.

[12] Regarding "specialists" and "non-specialists", see Λυκούδης 1920, 41, cit. 1.
[13] ΑΣΤΥ, no. 3692, 1.02.1901.1/no. 3694, 21.02.101, 1/no. 3858, 05.08.1901, 1/no. 3859, 06.08.1901, 1/no. 3860, 07.08.1901, 2/no. 3861, 08.08.1901; ΕΣΤΙΑ, no. 355, 22.03.1901, 1.
[14] ΕΣΤΙΑ, no. 255, 11.11.1900, 2.
[15] The book was probably republished in 1921, since there are copies with this date on the first page.
[16] Prior to that is the mention of the find in the AE (1902). See also (Proskynitopoulou 2012, 229, cit. 7).
[17] Stais' text (1905) does not offer specific details about the dating of the finds. However, it includes important information regarding the cleaning of fragment 19 (Στάης 1905, 22, cit. 1) which lead to the reading of the text offering important details for the understanding of the device's function (Zafeiropoulou 2012, 241).
[18] The same year P. Rediadis (1903b, 188-89) publishes a short article in the journal "Panathinaia" as well.
[19] In this text Rhem discusses Svoronos' and Rediades' (Ρεδιάδης 1903a, 44-52) interpretation. There are no historical details included. It is just noted here as part of the wider bibliography about the Mechanism. Important however are the unpublished notes (Notizbuch) that Rehm kept, when he examined the device in Athens and are kept today in the Bayerishe Staatsbibliothek at Munich (A. Rehm Meteorologische Instrumente der Alten (unpublished manuscript). Bayerishe Staatbibliothek, Rehmiana III, (1905) as mentioned in Freeth 2012, 4). According to Rados (Ράδος 1910, 1, cit. 1) and Rediades (Ρεδιάδης 1910, 158) G. Karo was the one who postulated Rehm's interpretation in the meeting of the German Archaeological School on the 6th of December 1906.

ISSN: 2241-9993



Fig. 1.The island of Antikythera is located in the sea passage between Crete and mainland Greece

2. The shipwreck

The discovery of the Antikythera shipwreck is by itself a very interesting story[20]. In 1900, two small boats carrying sponge fishermen from the island of Symi (AE 1902, 145; Σβορώνος 1903, 1; Price 1974, 5; Marchant 2008, 10) due to bad weather, were forced to spend a few days on the island of Antikythera[21].

Accidentally, during one of the dives around the island, they discovered the shipwreck[22]. In November of the same year,[23] the captain of the crew, D. Kontos[24], traveled to Athens, where he met with the minister of Religious Affairs and Public Education, Spyridon Stais, in order to inform him about the shipwreck.

Immediately, a salvage operation was organized (picture 2) that lasted approximately ten months[25]. Despite the difficulties due to severe weather conditions, the depth of the wreck and the lack of experience in underwater archaeological operations, the salvage operation yielded a

[20] Regarding the story of the discovery, see also AE 1902, 145-149; Σβορώνος 1903, 1-14; Karo 1948, 179-185; Price 1974, 5-9; Throckmorton 1987; Lazos 1994, 23-29; Kean 1995, 51-56; Tsitopoulou *et al*. 2012, 18-31; Koutsouflakis 2014, 170-171.

[21] There is a debate regarding the sponge fishermen's route. Some scholars mention a route towards the coast of North Africa, while other argue that they were on their way back (Σβορώνος 190, 1-2; Karo 1948, 180; Price 1974, 5). See also Marchant 2008, 10, 14, cit. 1; AMRP 2009, 1. Moreover, there is some controversy regarding the date of the discovery. In most texts (see above, cit. 20) the discovery is placed in the spring of 1900. However, in AE (1902, 145) the discovery is dated at the end of 1900, while in Throckmorton (1987, 14) October 1900 is noted as the most probable month. This is based on the regular routine of sponge fishermen from Symi, at the time. According to their schedule, they were leaving the island after Easter and they were returning in the autumn (*Σφουγγάρι και Σφουγγαράδες*, "Επτά Ημέρες" newspaper *Καθημερινή* [Kathimerini], 13-9-1998). Thus, if the discovery took place during their return, it is more probable to have happened in the autumn. S. Lycoudes (Λυκούδης 1950) yields a story regarding the discovery of the shipwreck dated close to Easter time in 1900. More specifically, he describes the way that the discovery was announced for the first time using an optical telegraph on the day of "Ζωοδόχος Πηγή" (celebrated on Friday after Easter in the Orthodox calendar). However, the message was considered untruthful and was dismissed. The most plausible theory, puts the discovery of the wreck around Easter 1900 while the sponge divers were on the way to the coasts of North Africa. After a few months, they returned to Antikythera in the beginning of the fall, on their way back to Symi, where they decided to report their discovery in Athens.

[22]See above, cit. 20.

[23] The meeting took place on the 6th of November (Σβορώνος 1903, 2; Price 1974, 8; Marchant 2008, 15; Tsipopoulou *et al*. 2012, 18). Official correspondence on November 7, 1900, includes a letter from D. Kontos to the General Ephor of Antiquities reporting the discovery and the minister's response (Tsipopoulou *et al.* 2012, fig. 1-2).

[24] Accompanied by diver E. Stadiates (Price 1974, 8) and Professor of Archaeology in the University of Athens, A. Oikonomou (Σβορώνος 1903, 2; Proskynitopoulou 2012, 288. cit. 2), who descended from the island of Symi.

[25] The operations started on November 24, 1900. The first phase lasted until September 30, 1901 (Σβορώνος 1903, 14; Tsipopoulou *et al.* 2012, 19, 22). The minister ordered the operations to be adjourned with a telegram on the 25th of September 1901 (ΕΣΤΙΑ no. 209 26.09.1901, 3) and the divers returned to Piraeus on the 1st of October 1901 (ΕΜΠΡΟΣ no. 1771, 02.10.1901, 2). The extended operations in 1900-1901 were followed by a smaller scale expedition in 1905 (ΕΣΤΙΑ, no. 4269, 22/12/1905, 2).

ISSN: 2241-9993

group of impressive archaeological finds[26].
Along the usual[27] finds, like amphorae, the unique cargo of the ship contained a substantial amount of valuable objects. Amongst them, marble and bronze sculptures, glass objects of unique quality, luxury ceramic vases, jewelry etc. The finds were transported to the National Archaeological Museum (AE 1902, 149; Σβορώνος 1903, 8) where they are kept and exhibited until today (picture 3)[28].

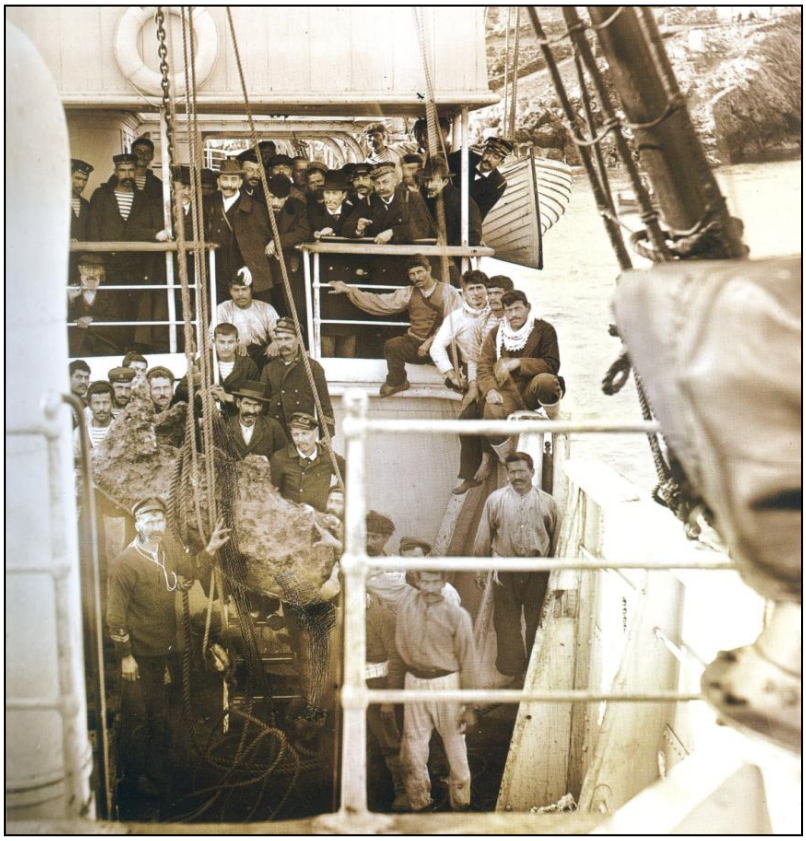


Fig. 2.The crew that took part in the operations in 1900-1901 (Tsitopoulou et al. 2012, fig. 5)

[26] See Kaltsas *et al.* 2012.
[27] The adjective "usual" derives from today's data, where amphorae are the most common find. In the beginning of the 20th century there were just a few shipwrecks studied to compare with. In any case, compared to finds from land excavations, one could easily recognize the uniqueness of the shipwreck's cargo.
[28] The Mechanism is catalogued in the inventory of the National Archaeological Museum with the reference code X 15087 (Bitsakis, 2012, 97).

ISSN: 2241-9993



Fig. 3. The finds from the Antikythera shipwreck in the atrium of National Archaeological Museum
(H. List, "Licht über Hellas. Aufnahmen aus Griechenland zw. 1937-1941", München 1953)

Unfortunately, the few details that we have from the dives of the years 1900-1901, do not allow comparisons with the data from the recent underwater research, in order to postulate theories about the location of the Mechanism. Theoretically, the Mechanism was in proximity with the pile of sculptures and the rest of the objects that were recovered. Since its archaeological value was not obvious at first, it was probably recovered along with other non-recognizable items, due to its material. The bad condition in which it was found (picture 4) lead scholars to the conclusion that it remained uncovered on the sea floor for a substantial period of time (Rediadis 1903, 45).

ISSN: 2241-9993



Fig. 4. Fragment “A” photographed by Albert Rehm (Bayerische Staatsbibliothek, Rehmiana III, 1905)

ISSN: 2241-9993

3. The identification

The Mechanism was recovered during the diving operations in the beginning of the 20th century. The testimonies regarding the recovery of the device and its identification vary.

The most well-known story regarding the identification of the Mechanism did not take place on Antikythera, but in Athens. As mentioned above, Spyridon Stais was the Minister of Religious Affairs and Public Education, at the time of the discovery. Kontos reported the discovery to him and the choice to conduct such an extensive (and expensive) operation, in a financially difficult period for the Greek state[29] (Tsipopoulou et al. 2012, 18) derived amongst other things from the minister's intense interest on the shipwreck[30].

According to the press, Stais was paying daily visits to the museum, sometimes even twice a day, in order to inspect the finds (ΕΣΤΙΑ, no. 47, 17.04.1901, 4). He also ordered for a special hall to be created in the Museum, the construction of which he supervised himself (ΣΚΡΙΠ no. 1983, 24.02.1901, 1), in order to accommodate the finds from the shipwreck (ΕΜΠΡΟΣ, no. 1528, 30.01.1901, 22/no. 1719, 11.08.1901, 3). These visits were continued even after he left the minister's position.

In one of those visits[31] (on May 20, 1902), while being in the room that housed the statue of the Ephebos, he noted some metal parts, which resembled parts of a toothed wheel. Then, he managed to assemble the pieces for the entire wheel to be revealed. Afterwards, he observed that there was an inscription on the back side, although it was difficult to make out the letters (ΣΚΡΙΠ, no. 2428, 21.05.1902, 4; ΑΣΤΥ, no. 4139, 21.05.1902, 1; Tsipopoulou et al. 2012, 26-28, cit. 83; Zafeiropoulou 2012, 241, cit. 1)[32]. In another version of the story, on the moment of his discovery (which is placed on May 18, 1902[33]), the former minister was accompanied by G. Byzantinos, Ephor of Antiquities (ΕΣΤΙΑ, no. 82, 22/05/1902, 4; NEON ASTY, no. 162, 22/5/1902; Άστυ, no. 4141, 23/05/1902, 1; Proskynitopoulou 2012, 228, cit. 2).

From information published in the press it seems that the minister identified three fragments[34] covered by a layer of copper oxide and other foreign substances. Three toothed wheels were visible, as well as a long inscription (ΑΣΤΥ, no. 4139, 21/05/1902, 1; Zafeiropoulou 2012, 241, cit. 1). An article in the newspaper ΣΚΡΙΠ (no. 2428, 05.21.1902, 4), provides further details such as the fact that the inscription was inscribed around the wheel, which although doubtful, can help identify the fragments. Fragment A is the largest one and contains the largest gear (Ρεδιάδης 1903, 45). Inscriptions of a circular shape are now visible on fragments B and C. Svoronos and Wilhelm were the first to interpret the inscriptions (ΑΣΤΥ, no. 4141, 23.5.1902, 1). Their interpretation clearly indi-

[29] In the beginning of the 20th century, the Greek state was still suffering the consequences of the war in 1897. The Greek-Turkish war of 1897 ("war of thirty days") or as was known in Greece "Black 97" or "Unfortunate War" was the conflict between the Ottoman Empire and the Kingdom of Greece, as a result of the "Cretan problem". The war resulted in the international financial control of Greece. See Michaelides 2016.

[30] Tsipopoulou *et al*. (2012, 18) denotes the patriotic sentiment and the self-denial that the divers showed, emphasizing on the discovery's "national value" as being the major motivation for the operation. Throckmorton (1987, 16) on the other hand, expressed doubts regarding the good intentions of the sponge divers, based on the fact that no lead anchors were found on the shipwreck. According to his opinion, this was a sign that the divers used the lead from the anchors they found, in order to create diving weights. Consequently, he believes that they did not have any ethical scruples to stop them for either looting or damaging the site. Recent underwater research yielded 4 lead anchors from the wreck proving the Throckmorton's argument invalid. See Ministry of Culture's press release 2015: http://www.yppo.gr/2/g.22jsp?obj_id=6233 [Last accessed on 25-9-15].

[31] He was accompanied by his wife and his sister-in-law, Miss Vouga (ΣΚΡΙΠ, no. 2428, 21.5.1902, 4; ΑΣΤΥ, no. 4139, 21.5.1902, 1).

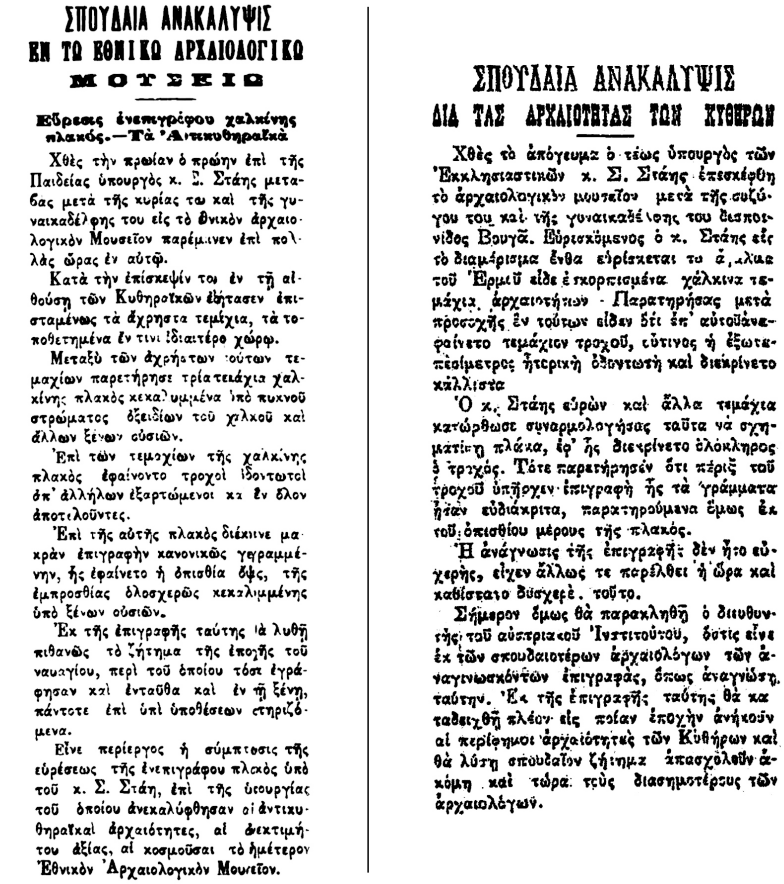
[32] The discovery mentioned her is also confirmed by P. Rediadis (1903b, 188)

[33] Price (1974, 9) puts wrongly the identification on 17.05.1902.

[34] Also confirmed by P. Rediadis (Ρεδιάδης 1903b, 188).

ISSN: 2241-9993

cates fragment B (Ρεδιάδης 1903, 46; Theofanidis 1929, 98; Zafeiropoulou 2012, 241) (picture 6). However, there is no mention to the letters around the "concentric"[35] circles on the back side. Fragment C revealed its inscriptions after it has been cleaned a few years later (Price 1974, 26, fig. 18). The inscriptions read by Svoronos and mentioned by Rediadis (1903, 46) possibly refer to the "parapegma" (today fragments C1 and C2) .In any case, fragment D is excluded, because it has no inscriptions on the outside surfaces. Only recently a couple of letters were seen on a gear inside the fragment, with the help of modern technology (Zafeiropoulou 2012, 242). The remaining large fragments (E, F and G) were detected much later (Zafeiropoulou 2012, 242-243).



ΣΠΟΥΔΑΙΑ ΑΝΑΚΑΛΥΨΙΣ
ΕΝ ΤΩ ΕΘΝΙΚΩ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩ
ΜΟΥΣΕΙΩ

Εὕρεσις ἐνεπιγράφου χαλκίνης πλακός.—Τὰ Ἀντικυθηραϊκά

Χθὲς τὴν πρωΐαν ὁ πρώην ἐπὶ τῆς Παιδείας ὑπουργὸς κ. Σ. Στάης μεταβας μετὰ τῆς κυρίας του καὶ τῆς γυναικαδέλφης του εἰς τὸ Ἐθνικὸν ἀρχαιολογικὸν Μουσεῖον παρέμεινεν ἐπὶ πολλὰς ὥρας ἐν αὐτῷ.

Κατὰ τὴν ἐπίσκεψίν του ἐν τῇ αἰθούσῃ τῶν Κυθηροϊκῶν εὑρήτασεν ἐπισταμένως τὰ ἄχρηστα τεμάχια, τὰ τοποθετημένα ἐν τινι ἰδιαιτέρῳ χώρῳ.

Μεταξὺ τῶν ἀχρήστων οὐτων τεμαχίων παρετήρησε τρία τειάχια χαλκίνης πλακὸς κεκαλυμμένα ὑπὸ πυκνοῦ στρώματος ἐξειδίων τοῦ χλκοῦ καὶ ἄλλων ξένων οὐσιῶν.

Ἐπὶ τῶν τεμαχίων τῆς χαλκίνης πλακὸς ἐφαίνοντο τροχοὶ ἰδοντωτοὶ ὁπ' ἀλλήλων ἐξαρτώμενοι κα ἓν ὅλον ἀποτελοῦντες.

Ἐπὶ τῆς αὐτῆς πλακὸς διέκινε μακρὰν ἐπιγραφὴν κανονικῶς γεγραμμένην, ἧς ἐφαίνετο ἡ ὀπισθία ὄψις, τῆς ἐμπροσθίας ὁλοσχερῶς κεκαλυμμένης ὑπὸ ξένων οὐσιῶν.

Ἐκ τῆς ἐπιγραφῆς ταύτης ἰᾶ λυθῇ πιθανῶς τὸ ζήτημα τῆς ἐποχῆς τοῦ ναυαγίου, περὶ τοῦ ὁποίου τόσα ἐγράφησαν καὶ ἐνταῦθα καὶ ἐν τῇ ξένῃ, πάντοτε ἐπὶ ὑπὶ ὑποθέσεων στηριζόμενα.

Εἶνε περίεργος ἡ σύμπτωσις τῆς εὑρέσεως τῆς ἐνεπιγράφου πλακὸς ὑπὸ τοῦ κ. Σ. Στάη, ἐπὶ τῆς ὑπουργίας τοῦ ὁποίου ἀνεκαλύφθησαν οἱ ἀντικυθηραϊκαὶ ἀρχαιότητες, αἱ ἀνεκτιμήτου ἀξίας, αἱ κοσμοῦσαι τὸ ἡμέτερον Ἐθνικὸν Ἀρχαιολογικὸν Μουσεῖον.

ΣΠΟΥΔΑΙΑ ΑΝΑΚΑΛΥΨΙΣ
ΔΙΑ ΤΑΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΥΘΗΡΩΝ

Χθὲς τὸ ἀπόγευμα ὁ τέως ὑπουργὸς τῶν Ἐκκλησιαστικῶν κ. Σ. Στάης ἐπεσκέφθη τὸ ἀρχαιολογικὸν μουσεῖον μετὰ τῆς συζύγου του καὶ τῆς γυναικαδέλφης του δεσποινίδος Βουγᾶ. Εὑρισκόμενος ὁ κ. Στάης εἰς τὸ διαμέρισμα ἔνθα εὑρίσκεται τὰ ἀγάλματα τοῦ Ἑρμοῦ εἶδε σκορπισμένα χάλκινα τεμάχια ἀρχαιοτήτων. Παρατηρήσας μετὰ προσοχῆς ἐν τούτων εἶδεν ὅτι ἐπ' αὐτοῦ ἀνεφαίνετο τεμάχιον τροχοῦ, οὗτινος ἡ ἐξωτερικὴ περιφέρεια ἦτο ρικὴ ὀδοντωτὴ καὶ διακρίνετο κάλλιστα.

Ὁ κ. Στάης εὑρὼν καὶ ἄλλα τεμάχια κατώρθωσε συναρμολογήσας ταῦτα νὰ σχηματίσῃ πλάκα, ἐφ' ἧς διεκρίνετο ὁλόκληρος ὁ τροχός. Τότε παρετήρησεν ὅτι περὶξ τοῦ τροχοῦ ὑπῆρχεν ἐπιγραφὴ ἧς τὰ γράμματα ἦσαν εὐδιάκριτα, παρατηρούμενα ὅμως ἐκ τοῦ ὀπισθίου μέρους τῆς πλακός.

Ἡ ἀνάγνωσις τῆς ἐπιγραφῆς δὲν ἦτο εὐχερὴς, εἶχεν ἄλλως τε παρέλθει ἡ ὥρα καὶ καθίστατο δυσχερὲς τοῦτο.

Σήμερον ὅμως θὰ παρακληθῇ ὁ διευθυντὴς τοῦ αὐστριακοῦ Ἰνστιτούτου, ὅστις εἶνε ἐκ τῶν σπουδαιοτέρων ἀρχαιολόγων τῶν ἀναγινωσκόντων ἐπιγραφάς, ὅπως ἀναγνώσῃ ταύτην. Ἐκ τῆς ἐπιγραφῆς ταύτης θὰ καταδειχθῇ πλέον εἰς ποίαν ἐποχὴν ἀνήκουν αἱ περίφημοι ἀρχαιότητες τῶν Κυθήρων καὶ θὰ λύσῃ σπουδαῖον ζήτημα ἀπασχολοῦν ἀκόμη καὶ τώρα τοὺς διασημοτέρους τῶν ἀρχαιολόγων.

Fig. 5. Newspaper articles reporting the identification of the Mechanism
(left: ΣΚΡΙΠ. no. 2428, 21.05.1902, 4/ right: ΑΣΤΥ, no. 4139, 21.05.1902, 1

[35] The grooves on the back side were initially interpreted as parts of concentric circles. M. T. Wright (2005, 51-63) was the first, who proposed the existence of helices instead of concentric circles (AMRP 2012, 266).

ISSN: 2241-9993

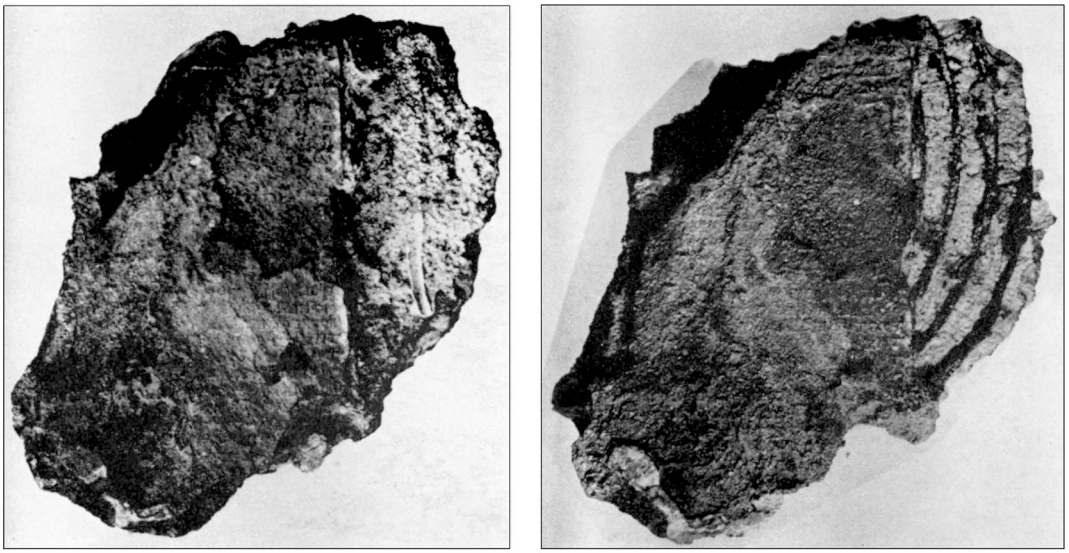


Fig. 6. Fragment B prior (left) and after (right) its preservation (Price 1974, fig. 17)

In his first publication on the subject Price (1959, 62) states that it was Valerios Stais, who identified the fragment among the other finds in the Museum. He provides also some explanation about the months of delay that passed between the artifact's recovery and its identification. More precisely, he argues that all identifiable elements of the Mechanism were hidden between the wooden panels, which had survived from the Mechanism's wooden frame and it was only when those wooden parts were dehydrated and shrunk[36] that the insides of the object appeared (Price 1959, 62/1974, 10/1995, 17). Given the fact that Price's texts contain small inaccuracies[37] changing the first letter of the name from S [pyridon] to V [alerios] does not seem unlikely at all. Also the fact, that Price writes his manuscript almost half a century later is part of the problem that lead to these inaccuracies.

J. Marchant (2008, 36-37) narrates a similar story. She, on the other hand, focuses on the deterioration procedures that occur to metals and assumes that since the artifact was exposed for several months in the open courtyard of the museum, the outer surface of the metal was eventually dissolved and an (anonymous) museum employee noticed the peculiar object and showed it to the Director of the Museum, Valerios Stais[38]. The author points out that it is also possible, someone of the museum employees to have hit the corroded object with a hammer trying to see what was inside.

It seems that the scenario of Valerios Stais[39] being the one, who found the Mechanism is not probable. Fact is that in his publication in 1905, V. Stais makes no reference to the incident.

Price himself (1974, 9) in his main work in 1974, refers to Stais as a former minister. Without explicitly mentioning in the text that he refers to S. Stais instead of V. Stais, it seems he had discovered the relevant newspaper articles (ΕΣΤΙΑ, no. 82, 05/22/1902, 4; ΑΣΤΥ, no. 4141, 23.5.1902, 1) realized his mistake and amended it. However, scholars like Marchant (2008, 37) or previously P.

[36] Price's theory (1974, 10) is based on the fact that when wood remains for a long period of time in a wet environment, water is gradually replacing some of its components. As long as it remains wet, it maintains its size and its shape. However, when exposed to air, it dries and tends to shrink and deform. See Hamilton 1998.
[37] See above, cit. 4.
[38] There is no reference/citation to the source of this version of the story in Marchant's book.
[39] Valerios Stais supervised the small scale expedition on Antikythera in 1905 as Ephor of Antiquities (ΕΣΤΙΑ, no. 4231, 14.11.1905, 3).

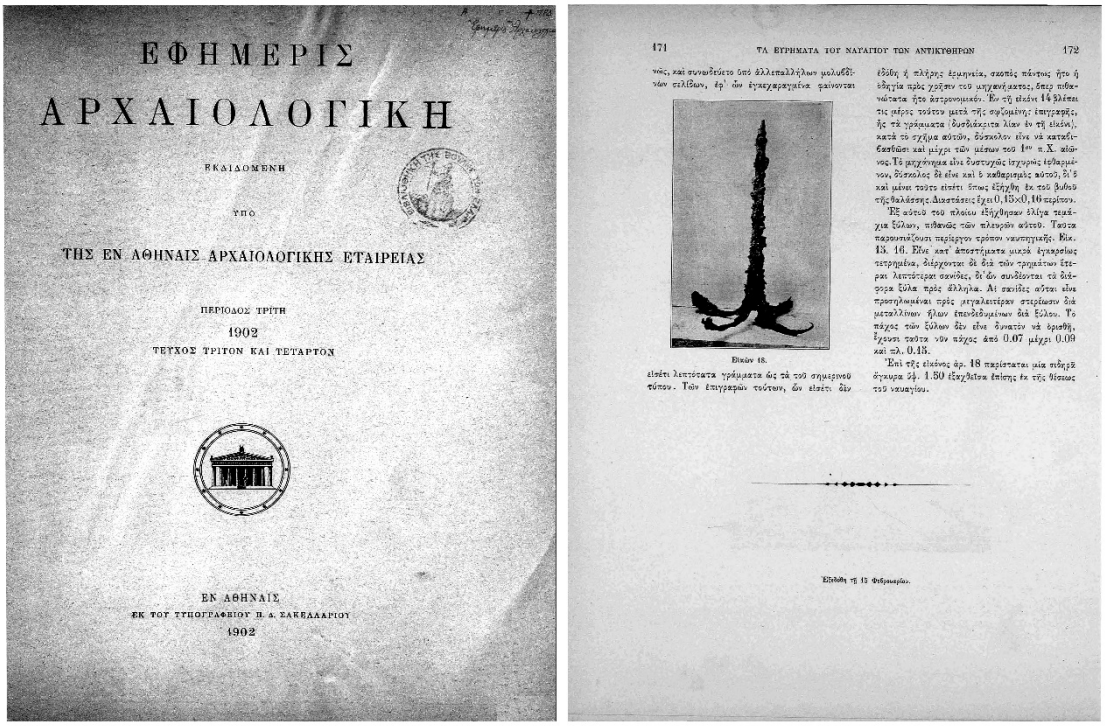
ISSN: 2241-9993

Throckmorton (1970, 153/1987, 18), were reasonably mislead to believe that he was referring to the same person. He also misplaced the date of the event to May 17, 1902[40] instead of the 18th.
However, there is a possibility this eight-month period of the artifact siting in the museum, waiting to be identified never occurred. The first scientific publication[41] about the Mechanism was made in February (sic)[42] 1902 in the "Archaeologike Ephimeris" [Archaeological Review] (1902, 170-172). It includes a description of the Mechanism's features, states that it seems to be a clock mechanism, mentions the wooden parts and the inscriptions and provides a photograph[43] of one of the fragments (AE 1902, fig. 14). There is, also, an interesting note about the inscriptions stating that although difficult to read, they are probably part of a user's manual for the mechanism (AE 1902, 172; Bitsakis 2012, 98). The dating of the mechanism is based on the form of the letters roughly to the 1st c. BCE (AE 1902, 172). Once more, it is noted that the artifact is in bad condition and poses conservation challenges.
The issue that rises is obvious. If the first identification of the find was made in May 1902, how is it possible a publication to exist in AE dated back in February? There are two possible answers: Either, the identification event as described in the newspapers never happened and the archaeologists who wrote the article[44] refer to an already known find or the publication date, as mentioned at the end of the text, is false (picture 7).
In the first case, the mistake is easy to be attributed either to inaccurate information published in press, or to political motives[45], as it appears to be one more opportunity for S. Stais to promote his public image and be presented as a hero[46]. However, it seems improbable for the archaeologists that took part in this research, to have avoided mentioning the fact[47] that they knew about the artifact before its identification by the minister[48]. The political influence of Stais, seems in many cases powerful[49]. However, a version of the story in which the minister either forced or conspired with the archaeologists to conceal the discovery would be farfetched.

[40] Both articles state that "the discovery was made last Saturday", thus it can be concluded that it happened on Saturday, 18 May 1902.
[41] In the few scientific publications regarding the shipwreck that were published earlier, there is no mention of the Mechanism (ΠΑΕ 1901; Kabbadias 1901; Cavvadias 1901). See also Σβορώνος 1903, 15-17.
[42] At the end of the article there is a line stating that it was published on the 15th of February.
[43] Although Stais, found three bronze pieces (ΑΣΤΥ. no. 4139, 21.05.1902, 1; Zafeiropoulou 2012, 241, cit. 1), in the photo appears only fragment B. The photo was taken before conservation, as it can be seen from the later comparison of the photos of Price (1974, Op. cit. 25, photo 17a-b) The choice, as justified in the text, was made based on the fact that the letter of the inscriptions were more obvious on fragment B (AE 1902, 172), even they were not very clear in the photo.
[44] According to Σβορώνος (1903, 16), the text in AE 1902 was written by V. Stais, Ch. Tsountas and K. Kourouniotis, under the supervision of the general Ephor, P. Cavvadias. Weinberg *et al*. (1965, 3, cit. 2) mention that the identity of the authors is not known, except from K. Kourouniotis, who edited the publication of the ceramic finds.
[45] Fragou (2010, 28-29) argues as well that the event could have been orchestrated for publicity reasons.
[46] S. Stais, was the one who not only saved one of the finds, a marble oversized statue of "Hercules", but he also indicated ways to find more showing vigilance, imagination and insightfulness during his visit to Antikythera, in February 1901 (ΕΣΤΙΑ, no. 353. 20.02.1901,3; Λυκούδης 1920, 21-22; Σβορώνος 1903, 9; Throckmorton 1987, 18). E. Lykoudis (Λυκούδης 1920, 5) describes the minister to be a decisive character referring to his attitude towards adversity. Also S. Stais seemed to have recognized a marble lion head fragment which until then was considered to be part of the ship (ΑΣΤΥ, no. 2674, 31.01.1901, 2). All these incidents outline a heroic personality that not only protects antiquities, but also takes active part in the archaeological research.
[47] Svoronos, for instance, often used to publish his ideas in newspapers and in some cases he did not hesitate to criticize other scholars' ideas as "wrong" (see ΑΣΤΥ no. 4148, 30.05.1902, 2). The idea of scholars like him to have concealed the find seems improbable.
[48] Even if Lykoudis' statement is correct (1921, 27) "… the finds are stored temporarily and secretly in the rooms of the ministry of Education incognito…", the scholars would have known about it.
[49] See above, p. 12.

ISSN: 2241-9993

In the second case, there seems to be an inaccuracy of the AE publication date. The date of the publication as typed on the front page of the edition is 1902. At the end of the text (AE 1902, 172), the phrase "εξεδόθη τη 15^{η} Φεβρουαρίου" [published on 15 February] is typed. Subsequently, it is logical to assume that the article was published in February 1902. Usually, problems of this kind occur in scientific journals, due to the fact that the publication of a volume delays long enough, so that time discrepancies are created. For instance, the proceedings of the Archaeological Society of 1900, are published on 1901, the proceedings of 1901 are published on 1902 etc. A certain inconsistency appears creating misunderstandings. Similar is the example provided by Fragou (2010, 20-21). The text of G. Nikolaidis (1904) about the statue of the Ephebos, although it states that it was written on the 5th of January 1904, it was published on the AE 1903. Therefore, there is a problem in dating the text. Apparently, the publication date in the first pages of AE 1902 is arguable. Maybe, like with Nikolaidis' article, the text about the Antikythera finds was published on February 15, 1903.


ΕΦΗΜΕΡΙΣ
ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΗ
ΕΚΔΙΔΟΜΕΝΗ
ΥΠΟ
ΤΗΣ ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΤΡΙΤΗ
1902
ΤΕΥΧΟΣ ΤΡΙΤΟΝ ΚΑΙ ΤΕΤΑΡΤΟΝ
ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ
ΕΚ ΤΟΥ ΤΥΠΟΓΡΑΦΕΙΟΥ Π. Δ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ
1902

171 ΤΑ ΕΥΡΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΝΑΥΑΓΙΟΥ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΩΝ 172

Εἰκὼν 18.

Ἐδόθη τῇ 15 Φεβρουαρίου.

Fig. 7. The first page of the AE 1902 with the year of publication and the last page of the article about the finds of the Antikythera shipwreck stating the date of its publication

ISSN: 2241-9993

4. The recovery

Regarding the recovery of the Mechanism, there is limited information. Unfortunately, there is no official journal of the salvage operations. Furthermore, the fact that the Mechanism was not instantly recognized, means that there are no direct or indirect mentions of it in the press.

R. Proskynitopoulou (2012, 228) places the recovery of the Mechanism in 1901, without giving a specific argument on that choice[50]. In the following sentence the author states that the find stayed in the museum for eight months before it was identified, which places the recovery sometime in the beginning of autumn 1901. Of course, it is more plausible that the author counted these eight months from the completion of the salvage operations at the end of September 1901 (Price 1974, 9) rather than from the recovery date. In the same volume, M. Zafeiropoulou (2012, 241) dates the recovery, more specifically at the end of the ten-month operation period at the year 1900-1901, once more without giving specific arguments or references to the fact.

The idea that the Mechanism was recovered in 1901 is very probable, if we accept that during the first weeks (24.11- 31.12.1900) of the salvage operation the divers were occupied with recovering the most visible and easily removable pieces, and they wouldn't show any interest in any unidentifiable objects. However, in 1900's telegraphs, from the area of the research, there are mentions of finds made out of bronze (ΣΚΡΙΠ, no. 1915, 14.12.1900, 3) as well as "less valuable" objects (ΕΣΤΙΑ no.28, 11.12.1900, 3) or objects that have been transformed in amorphous pieces (ΣΚΡΙΠ no. 1910 09.12.1900, 2). Without a clear mention to the artifact, it is difficult to know whether pieces of the Mechanism were recovered during this period. If the above argument is true, meaning that divers were moving from easily identifiable artifacts to less certain finds in terms of significance, then the fragment containing the Mechanism was probably recovered towards the end of the operations since it was unidentifiable. However, as it was mentioned above this way of thinking is unsound.

Since it is difficult to find a pattern in the order that the finds were recovered, dating the exact moment of the recovery of the Mechanism, could be based on the position of the fragments on the wreck site. Taking into consideration that the divers had limited time on site (AE 1902, 148; Σβορώνος 1903, 3, 12; Λυκούδης 1920, 12) they did not have the luxury to survey the area in detail. Every minute on the site was crucial. Thus, if the Mechanism was located in proximity with the impressive finds that were recovered during the first months, it is most probable that the fragments were salvaged quite early, otherwise their recovery has to be dated at the end of the operations, when the divers disappointed that they could not retrieve any more pieces of sculpture from the rocks extend their operations to a broader area (Άστυ, no. 3896, 12.09.1901, 2; Λυκούδης 1920, 26).

Not only there is no official journal, but there is not also a plan of the area where the operations took place[51]. Therefore, the tracking of the exact location of the finds can only be made known from the study of other sources, in combination with the data from the ongoing underwater research.

[50] The footnote at the end of the sentence refers to the text of I. Théofanidis (1929, 97) concerning the description of the fragments and not the date, since Théofanidis places the recovery in 1902.

[51] One of the benefits deriving from the use of advanced diving technology in the recent underwater research operations is that it allows archaeologists to access the site directly. In the past, archaeologists had to count on the descriptions of the divers to form an impression about the site. In 1976, even though the underwater research was carried out by non-archeologists; L. Kolonas dived the site in a submersible vessel called Soucoupe, along with J. Y. Cousteau and studied the area of the shipwreck himself, in order to better understand the diver's descriptions (Kolonas 1976, 14 -15/ 2012, 34) In the operations that started at 2012, the underwater research - excavation is carried out by archaeologists (T. Theodoulou, B. Foley, A. Tourtas and D. Colin) who dive the site.

ISSN: 2241-9993

Analyzing older sources, one can find important information in an article written by Navy officer I. Théofanidis[52] (1929), in which he describes the moment of the recovery. He refers to the object's bad preservation due to its extended stay in the water[53]. He also postulates some theories about the deterioration of the fragments. According to his opinion the fragments were shattered under the weight of the stone sculptures (Théofanidis 1929, 97). He also mentions that before the recovery, the divers broke some pieces of the object in order to make sure that it was in fact a valuable archaeological find. As soon as they realized that it was some kind of mechanism they brought it up (Théofanidis 1929, 97; Price 1974, 9). However, this detail, contradicts the already known story, in which minister Stais, is the one who first recognized the Mechanism. Nevertheless, Théofanidis (1929, 97, cit. 3) argues that the identification by S. Stais, was in fact the second one. He also mentions an incident aboard the ship "Μυκάλη", which was taking part in the operations. Someone from the crew, considered it as a piece of a rock and moved to throw it back in the water. It was out of pure luck, that an officer, P. Rediades [54] noticed a part of metal that was projecting from the mass and stopped him (Théofanidis 1929, 83, cit. 6).

However, Theofanidis' testimony about the events seems to be unsafe. He writes almost 30 years after the events took place and his text contains certain inaccuracies[55]. The theory that the Mechanism has been recognized either by the divers or by a Navy officer on Antikythera and was nevertheless still neglected by archaeologists for the next several months, cannot easily be accepted (Price 1974, 9). From the aforementioned, the most likely event to have really happened is the breaking of the object by divers on the seabed in order to determine its status. If this really happened, then the divers probably recovered the largest parts of the fragments leaving behind the smaller ones, as described by Theofanidis (1929, 97).

There is also a report published in the newspaper Άστυ (no. 3846) on the 24th of July 1901, relating to the discovery of an inscribed slab, the letters of which were not readable (Anastasiou 2014, 12, cit. 2), and which could be associated with the Mechanism. However, a report in the newspaper ΣΚΡΙΠ (no. 2142) of the same date refers to the same find but this time accompanied by the adjective "marble". Since there are no marble inscribed slabs, amongst the published finds of the shipwreck (not even an inscription that is connected with the marble sculptures of the cargo)[56], maybe the ΣΚΡΙΠ article was just inaccurate and the Mechanism was actually recovered in July 1901.

The question if the Mechanism was pulled out as a single piece and broke in pieces later or was originally recovered in pieces is very difficult to be answered.

Today there are 82 fragments of the Mechanism in the National Archaeological Museum; 7 large size pieces named after the first seven letters of the Latin alphabet (A-F) and 75 smaller ones with consecutive identification numbers (Magou 2012, 232; Bitsakis 2012, 97).

The debate about the recovery of the Mechanism in either one large piece or more pieces is based in the current essay on the following: Firstly, it obviously does not refer to the smaller fragments that

[52] Navy admiral, I. Théofanidis, was the first to create a mechanical model of the Mechanism (Bitsakis 2010, 19).
[53] Similar is the description of Rediadis (1903a, 44).
[54] P. Rediadis (Vice-Admiral in 1929, when Theofanidis' text is published) is probably the same P. D. Rediadis that studied the Mechanism. The author, even though he mentions the name of Rediadis, in the next footnote, does not feel the need to clarify. Therefore, it is reasonable to assume that he refers to the same person. In 1903, P. Rediadis was Professor at the Royal Nautical School and it is possible that prior to that he had been serving as second captain in one of the ships that took part in the expeditions at Antikythera. If that's true, he does not mention any of it in his texts (Rediadis 1903a, 1903b, 1910). In Svoronos' (Σβορώνος1903, 81-82) and Lykoudis' (Λυκούδης 1920, 5) texts is clearly stated that the scholar P. Rediadis sailed five time at Antikythera and was present during the salvage operations.
[55] As for example the statement that the shipwreck has been found in 1902 by sponge fishermen from Kalymnos (Theophanidis 1929, 83, 97).
[56] See AE 1902, Σβορώνος 1903, Στάης 1905, Vlachogianni 2012.

ISSN: 2241-9993

would have been impossible to be gathered by the divers in 1900-1901[57]. These fragments were cre-created from detachments that happened during storage. Secondly, all the known fragments are not enough in order for the Mechanism to be considered complete, with any kind of assembly. It is a well-accepted fact that important parts of the original Mechanism are missing. This conclusion is drawn by the study of the inscriptions, as well as from the attempt to understand its mechanical functions. Among the inscriptions of the Mechanism scholars have detected the names of five planets known from antiquity and the word "ΚΟΣΜΟΣ" [cosmos]. Some researchers considered this as evidence of a lost gear system, which would indicate the movement of all the planets (ΚΟΣΜΟΣ) and was probably destroyed during the shipwreck or due to an earthquake that occurred later (Wright 2002, Evans, Carman &Thorndike 2010, Freeth 2012, Freeth and Jones 2012). Moreover, it is obvious that apart from the metal parts, the Mechanism had wooden parts, probably as part of a case, out of which only traces have survived[58]. Thirdly, based on the chemical composition and the general preservation of the fragments and the underwater environment in the area of the shipwreck, it is most probable that the remaining fragments have not been dissolved[59] excluding the wooden ones, which are probably lost forever[60].

There are three working theories regarding the fragments. The first one assumes that the artifact was shattered in the museum, the second during its recovery, while the third is based on site formation process[61].

Provided that Price's theory (1959, 62) is valid and the wooden casing was deformed (see above, p. 15) creating tensions that could eventually break weak pats of the fragments (Zafeiropoulou 2012, 241-242) it would be expected for all the fragments to have remained together. For instance, in the 1903 photograph[62], before restoration is completed, the Mechanism consists of 4 fragments (A-D) (Σβορώνος 1903, tab. 3; Zafeiropoulou 2012, 242, cit. 3). It is possible these four fragments derived from a single piece that broke inside the museum, thus the pieces were kept together. Price (1974, 13-14, fig. 6) denotes the natural way they fit together as proof[63]. This is also, according to Price, the reason why the unique find was lying unnoticed in the Museum for such a long period of time[64] and nobody had noticed it. It was only when it broke into pieces that the fragments were identified (Price 1974, 9).

[57] As it is mentioned in the text of AE 1902, 148: "*the underwater research is not completed [...] there is a chance that there are more object beneath the sand of the seabed*". During the operations in 1976, it was possible, a smaller piece to have been recovered by the divers through the airlift (seucese). However, there is not mention of such a find in the excavation journal (Kolonas 1976).

[58] On fragments A and F (Magou 2012, 234).

[59]On the contrary, Price (1974, 10) argues that the corners and part of the external structure would not have survived. Even though he does not state clearly that the rest of the Mechanism is lost, he implies that we should not expect more fragments to be found on the seabed.

[60]The preservation of other wooden objects from the site, like parts of the ship (Weinberg *et al*. 1965, 40-48; Bouyia 2012, 36-49) indicate that preservation of the wooden parts is possible. However, size is probably a crucial factor and small parts of the mechanism would not be as resilient as the ship's features.

[61]See. Muckelroy 1975, 173–90/ 1976, 280-290; Gibbs 2006, 4-19; Martin 2011, 46-67; Batista-Goulard 2014, 20–25.

[62]The first photographs were taken shortly after identification (ΑΣΤΥ, no. 147, 29.05.1902, 1). However, it was not possible to locate these photographs. The first photograph that has been published is the one in AE 1902 (165-166, fig. 14). See above, cit. 43.

[63]Fragment D, does not seem to have a clear link as the other three have between them (Price 1974, 13-16). Until recently, it was considered enigmatic (Anastasiou 2014, 13). Today, it is considered to be part of the gear assembly depicting the "equation of time" (Anastasiou 2014, 125-128).

[64]For an overview of the press coverage during the 1900-1902 operations, see Νικολή 2012.

ISSN: 2241-9993

On the other hand, the information that S. Stais found only 3 parts of the Mechanism (ΑΣΤΥ no. 4139, 21.05.1902, 1; Zafeiropoulou 2012, 241, cit. 1), the gradual appearance of new fragments[65], the discovery of fragment E in 1976 (Zafeiropoulou 2012, 242) or 1988 (Magou 2012, 232)[66] and fragment F in 2005 (Zafeiropoulou 2012, 242) weakens the possibility that the Mechanism was recovered in one piece. Of course, no one can dismiss the probability that while the Mechanism was stored in the Museum, it might have been moved, separated from its original box and divided into smaller groups of fragments.

The argument, that divers did not break objects[67] (Karo, 1948, 181), based on the fact that they managed to salvage intact glass vessels (Price, 1974, 10; M. Zafeiropoulou 2012, 241) should be reexamined. Apart from the reports about the fragmentation of artifacts (indicatively see ΕΜΠΡΟΣ no. 1515, 17.01.1901,1; ΕΣΤΙΑ, no. 321, 18/01/1901, 3 / no. 322 , 19.01.1901,1; ΣΚΡΙΠ, no. 1947, 01.18.1901, 2; Σβορώνος 1903, 2, 5-6) and with no intention to challenge the ability or the willingness of the divers, it is hard to believe that during such a challenging operation there were neither breaks nor detachment of parts, particularly since, the preservation was in a bad state[68], as noted by many and as one could detect by examining the fragments of the Mechanism[69]. In some cases the fracture could even be conscious as I. Theofanidis describes (1929, 97)[70]. Therefore, this possibility, although small, cannot be excluded.

[65]Out of the 75 smaller fragments, only 15 were recognized instantly after the identification. The rest were identified in later periods until 2005 (Magou 2012, 234).

[66]The two scholars provide different dates for the identification. They however agree in the name of the archaeologist who found it, Petros Kalligas (Magou 2012, 232; Zafeiropoulou 2012, 242).

[67] Though Svoronos (Σβορώνος 1903, 2, 5-6) praises the work of the divers, he also remarks in his text that in some cases the divers broke pieces that were attached to the rock and that they detached a statue's head from its torso, in order to retrieve it.

[68] «*…so that they would break with minimum force applied on them…*» (Σβορώνος 1903, 44)

[69] The difficulty of working underwater is stressed out in nearly all the texts (Σβορώνος 1903, 7.12; Λυκούδης 1920, 8, 12, 25, 46, 48; Karo 1948, 180-181; Throckmorton 1987, 16; Marchant 2008, 26). Based on the current scientific and technological developments on the field of diving and the experience of diving in the area of shipwreck, one could argue that the working conditions under which the sponge divers were carrying out their tasks was not only uncomfortable but very dangerous as well. They were working at a great depth with inappropriate equipment compered to today's standards. The suit they wore was heavy, stiff and in many cases the wrong size, since they were all using the same diving dress. They were forced to watch through the narrow portholes of the diving helmet (picture 8), without artificial light and most importantly breathing air; the nitrogen contained in air has narcotic characteristics in great depths (Throckmorton 1987, 17; Marchant 2008, 20). Most of the divers emerged half dead (ΕΣΤΙΑ, no. 345, 02/12/1901, 3; Σβορώνος, 7; Λυκούδης 1920, 10; Marchant 2008, 24) and one of them actually died of the "bends" (Σβορώνος 1903, 11, 13; Λυκούδης 1920, 48). There were also two cases of divers who were heavily injured. (Λυκούδης 1920, 48; Marchant 2008, 26). K. Rados (1905, 256-257; Ράδος1910, 37) criticized the diving method and suggested the use of a diving bell instead. In any case, the decision of the Committee, which was convened to determine whether the fractures of the Ephebos were old or caused by the divers concluded that only minor detachments were to be attributed to the divers (Σβορώνος 1903, 6). Minor detachments to an object of the size and the type of the Ephebos, are probably negligible. However, if the same thing happened to a much smaller object, such as the Mechanism, the loss could have been substantial.

[70] We should also consider the fact that the underwater operation was being conducted without archaeological supervision. The divers were motivated either by pure excitement, or the ulterior motive to retrieve as much finds as possible, in order to increase their payment. At the beginning of the 20th century archaeological science is still not fully developed, thus documentation procedures are not considered to be as significant as the yield of impressive finds. Therefore, the breakage of an amorphous mass in the hope of it hiding inside a gold necklace or something similar should not be considered unlikely.

ISSN: 2241-9993



Fig. 8. Diving suit similar to the one used by the divers in 1900 at the Naval Museum of Symi (I. Seiradakis' personal archive)

Moreover, it is more probable that the breaking of the Mechanism happened prior to its discovery, either during the wreckage event or it was caused by site formation procedures (mechanical or chemical) during the 2,000 years period that it stayed on the seabed[71]. Certainly, this is the case regarding the segments of the Mechanism still on-site. Otherwise, either they would have been lost during transportation or they are still waiting for us somewhere in the storage rooms of the National Archaeological Museum. Moreover, the position of certain features as in the case of fragment C, in which the central disc of the front surface bearing the mechanism of the moon indicator and is stuck in the zodiac and the months scale (Magou 2012, 233, fig. 5) indicates fragmentations and agglomeration, procedures that could easily have taken place during the stay on the seabed. Finally, the fragmentary recovery of the Mechanism does not exclude the possibility that some of them actually broke the way Price and other scholars describe after their recovery on the surface. Therefore, a combination of those two theories can easily explain the current state of preservation and seems to be the most probable.

All the above scenarios are not part of an interpretative tergiversation; they just demonstrate the difficulty to draw conclusions about the time of the artifact's fragmenting. After all, explaining how the 82 fragments were created is a challenging question.

The aforementioned questions are part of the modern investigation's objectives as well. Understanding the procedure through which the Mechanism was found and recovered, is a valuable guide in order to formulate working theories regarding the dispersion of the remaining fragments in the area of the shipwreck. In addition, outlining the archaeological context will help not only identify those fragments, but will also indicate ways to handle and analyze this sensitive material.

[71] See Λυκούδης 1920, 47.

ISSN: 2241-9993

Conclusions

While an attempt to present the scientific results of the research regarding the function and the use of the Antikythera Mechanism is relatively easy to make, since there are various scientific papers to draw material from, a similar endeavour regarding the condition under which the Mechanism was found proves to be much more difficult and tricky.

In an era that underwater archaeology takes its first steps as a discipline, documentation is not accurate and the existing sources are mostly deriving either from the press or literature sources. Moreover, most of the times sources are quiet distant from the actual events or information is being transcribed from one text to another without being questioned.

It is very interesting to follow the data thread from one text to another and locate the original sources. If a conclusion can be drawn from this stemmatic[72] approach of the texts, it is certainly that the biggest amount of information derives from Svoronos (Σβορώνος 1903)[73]. This is probably due to the fact that he adopts a generic approach, gathering information about several aspects of the topic from various sources, Moreover, when Price chose to base his narration on Svoronos[74], he diffused this information into the new era of research, to a wider audience of scholars on a global scale. It should be noted though that his work was not based on the Greek version of Svoronos' publication rather than in the German edition of the text, since he was avoiding Greek bibliography[75], hence there are minor discrepancies. Price's work is still considered to be fundamental regarding the Antikythera Mechanism (AMRP 2012, 256).

Concerning the date of the discovery of the Mechanism, the information we have is not enough in order to specify the exact date, when the fragments were found and recovered. The fact that we do not have an official account of the salvage operations does not allow much space for argumentation rather than just hints for speculation. All that has been written so far should be considered as working theories. On the contrary the identification of the object at the Museum seems more likely to have happened, as described by the press, on May 1902 by minister Spyridon Stais. It is possible that some sort of breakage that took place, intentionally[76] or not, revealed the artifact special features and lead to its identification.

Regarding the question, if the known fragments were recovered in one piece and were broken down later or were found in pieces from the start, once more, the lack of proper archaeological documentation does not allow any secure conclusions. Regarding all the aforementioned data in combination with the data from the recent underwater excavation one can assume that both theories have specs of truth. Certainly, there were breakages prior to recovery. That is why the whole Mechanism was not recovered. Nevertheless breakages happened also afterwards yielding the smaller fragments that could not have been recovered from the site. Therefore, the question remains just for the large fragments of the mechanism. The most probable answer is that the parts with the best fit, like for instance parts A, B and C, are most likely to be from a piece that broke in the museum. That also

[72] Noun. *Stemmatology / stemmatics* - the humanistic discipline that attempts to reconstruct the transmission of a text (especially a text in manuscript form) on the basis of relations between the various surviving manuscripts (sometimes using cladistic analysis). Avaliable at: http://www.thefreedictionary.com/stemmatology [Accessed 31.01.2016].

[73] Svoronos attempted (Σβορώνος 1903, 15-17) to gather all the available sources until 1903. Svoronos work, is valuable, not only because he writes in proximity to the events, but also because all his references come as result of serious scientific research. For reasons not mentioned A. Hermann (1973, 452) refers to Svoronos' work as "…the only systematic publication […] early and often misleading".

[74] Karo (1948) used Svoronos story for his article "Arts salvaged from the sea". Nevertheless, he was familiar with V. Stais' work (1905) and AE (1902). Like Price (see above, cit. 4), Karo (1948, 180) provides an erroneous depth of 9 fathoms (16 m).

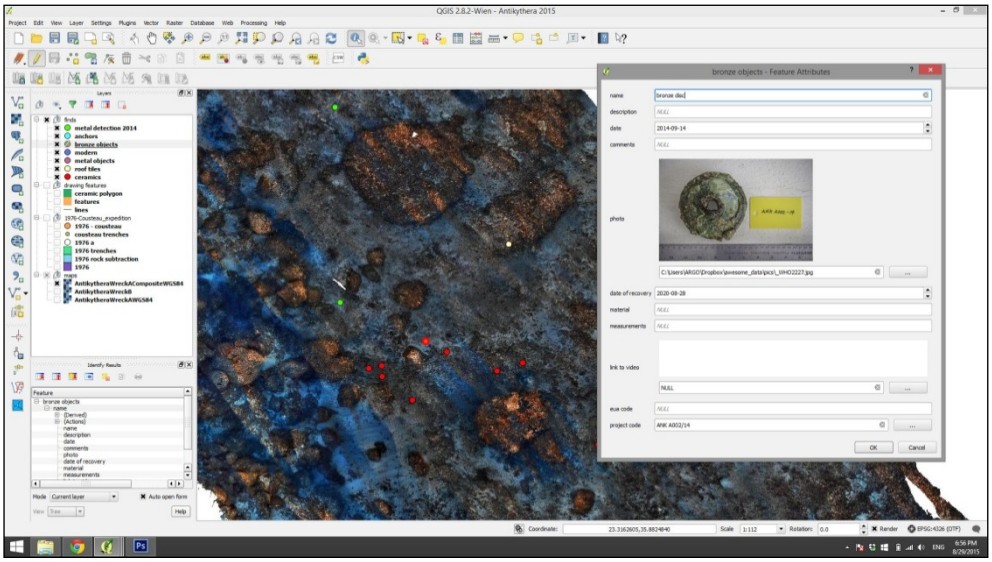
[75] He also used Théofanidis article in French (1934, 140-149).

[76] As Price mentions it could be a part of a non-recorded fast cleaning procedure (Price 1974, 10).

ISSN: 2241-9993

explains why it remained unnoticed for such a long period of time. However, other parts, like F, were salvaged separately and that is probably the reason they were identified much later. Regarding the question whether the divers broke parts during recovery or not, there is no clear answer as well. At least, as G. Karo (1948, 181) states: "we owe a debt of gratitude to the divers for having carefully collected what must have seemed to them insignificant bits of metal".

Concluding, it seems that a whole century of archaeological research was not enough in order to solve the mystery of the Mechanism. Questions referring to its basic features, like the identity of its constructor, the exact dating etc. remain unanswered. However, the knowledge gained regarding the function and the technical characteristics of the Mechanism, offers important indications helping us plan the next steps of the archaeological research. For instance, the fact that scholars agree that it was not an object used in navigation rather than part of the cargo, could help us locate its original place on the shipwreck. So far, data are not enough to establish patterns of dispersion to the site. However using advanced methodology we have managed to create an accurate map of the site, where we plot old and new data, which might lead to new archaeological interpretations.



Picture 9. The Geographic Information System (GIS), designed for the ongoing archaeological project, contains data not only from the recent expeditions but from the previous ones as well, in order to formulate the archaeological context in its entirety (© EUA, WHOI, NGO ARGO)

ISSN: 2241-9993

Epilogue

Summarizing, the research regarding the discovery of the Mechanism, has a practical value as well. While the underwater research goes on and archaeologists are still excavating the area of the shipwreck, data regarding the position of the known Mechanism fragments could provide important information for the location and identification of new fragments. Since it is attested that the existing fragments are only part of the original object, the rest of the Mechanism should be found either in the storages of the National Archaeological Museum, or on the shipwreck site. In both cases, research is very difficult. Nevertheless, the result, as past endeavours testify, is always worth the effort.

> «Αλλά τα συμπεράσματα της μελέτης ημών ας διαψεύση ή ας επικυρώση η μέλλουσα του βυθού έρευνα ή των σοφών η μελέτη…»
> [But, these conclusion should be verified either by the future underwater research or the study of the scholars…]
> (Σβορώνος 1903, 86)



Fig. 10. From the recent underwater research on the Antikythera shipwreck (©EEA, WHOI, NGO ARGO)

ISSN: 2241-9993

Bibliography

English

AMPR (2012). "Functions and models of the Antikythera Mechanism" in Kaltsas, N., Vlachogianni, E. & Bouyia, P. (eds.) The Antikythera Shipwreck. The ship, the treasure, the Mechanism. Athens: 256-272.

AMPR (2009). "Decoding the Heavens by Jo Marchant. Comments". Retrieved from http://www.antikythera-mechanism.gr/system/files/Decoding-the-heavens-notes-and-comments.pdf [last visited on 03.04.2016].

Batista-Goulart, L. (2014). "A Methodology for Studying Shipwreck Formation Processes" in Krištuf, P., Novák, D., Tóth, P. & Vokounová Franzeová, D. (eds.), Student Archaeology in Europe 2014. Conference Proceedings of the Student Session of the 19th Annual Meeting of the European Association of Archaeologist in Pilsen and 5th Student Conference "The Landscape in the Past, the Past in the Landscape", Pilsen: 20–25.

Bitsakis, Y. (ed.) (2010). The Antikythera Mechanism within the Astronomy and Technology of its Time, Athens.

Bitsakis, Y. (2012). "The Antikythera Mechanism" in Christopoulou, A., Gadolou, A. & Bouyia, P. (eds.) / Fowler, M. A. (transl.) The Antikythera Shipwreck. The technology of the ship, the cargo, the mechanism. Athens: 94-103.

Bouyia, P. (2012). "The ship" in Kaltsas, N., Vlachogianni, E. & Bouyia, P. (eds.) (2012). The Antikythera Shipwreck. The ship, the treasure, the Mechanism. Athens: 94-103.

Christopoulou, A., Gadolou, A. & Bouyia, P. (eds.) (2012)/ Fowler, M. A. (transl.) The Antikythera Shipwreck. The technology of the ship, the cargo, the mechanism. Athens.

Evans, J., Carman, C. C. & Thorndike, A. S. (2010). "Solar anomaly and planetary displays on the Antikythera mechanism", Journal for the History of Astronomy 41: 1-39.

Feke, J. (2010). "Review Author(s): Jo Marchant. Decoding the Heavens", ISIS 101(1): 261-262.

Fragkou, V. (2010). The Antikythera Mechanism. Historical Reference and Astronomical Extensions. Bachelor Thesis. Department of Physics. Aristotle university of Thessaloniki. Retrieved from http://www.astro.auth.gr/documents/diplomas/2010_Fragkou-Antikythera-eno_pdf [last visited on 10.10.2016].

Freeth, T. (2012). "Building the Cosmos in the Antikythera Mechanism" in Proceedings of the meeting "From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients" (Antikythera & SKA). 12-15 June 2012. Kerastari, Greece: 1-16.

Freeth T. & Jones A. (2012). The Cosmos in the Antikythera Mechanism, ISAW Papers 4. Retrieved from http://dlib.nyu.edu/awdl/isaw/isaw-papers/4/ [last visited on 29.10.2016].

Gibbs, M. (2006). "Cultural Site Formation Processes in Maritime Archaeology: Disaster Response, Salvage and Muckelroy 30 Years on", International Journal of Nautical Archaeology 35(1): 4-19.

Hamilton, D. L. (1998). Methods of Conserving Archaeological Material from Underwater Sites. Conservation Files: ANTH 605, Conservation of Cultural Resources I. Nautical Archaeology Program, Texas A&M University. Retrieved from http://nautarch.tamu.edu/CRL/conservationmanual/ [last visited on 29.10.2016].

Herrmann, A. (1973). "Reviewed Work(s): Die Skulpturen Des Schiffsfundes von Antikythera by Peter Cornelis Bol", American Journal of Archaeology 77(4): 451–453.

Kabbadias, P. (1901). "The recent finds off Cythera", The Journal of Hellenic Studies 21: 205-208.

Kaltsas, N., Vlachogianni, E. & Bouyia, P. (eds.) (2012). The Antikythera Shipwreck. The ship, the treasure, the Mechanism. Athens.

ISSN: 2241-9993

Karo, G. (1948). "Art salvaged from the Sea", Archaeology 1(4): 179-185.
Kean, V. J. (1995). The ancient Greek computer from Rhodes known as the Antikythera Mechanism, Athens.
Kolonas, L. (2012). "The 1976 Investigations" in Kaltsas, N., Vlachogianni, E. & Bouyia, P. (eds.) (2012). The Antikythera Shipwreck. The ship, the treasure, the Mechanism. Athens: 32-34.
Magou, E. (2012). "Archaeometric Research of the Antikythera Mechanism during the century following its recovery" in Kaltsas, N., Vlachogianni, E. & Bouyia, P. (eds.) (2012). The Antikythera Shipwreck. The ship, the treasure, the Mechanism. Athens: 228-231.
Marchant, J. (2006). "In search of lost time". Nature 8(444): 534-538.
Marchant, J. (2008). Decoding the Heavens. Solving the mystery of the world's first computer. London.
Martin, C. (2011). "Wreck-Site Formation Processes" in Ford, B., Hamilton, D. L. & Catsambis, A. (eds.), The Oxford Handbook of Maritime Archaeology, Oxford: 46-67.
Muckelroy, K. (1975). "A Systematic Approach to the Investigation of Scattered Wreck Sites", International Journal of Nautical Archaeology 4(2): 173–90.
Muckelroy, K. (1976). "The Integration of Historical and Archaeological Data Concerning an Historic Wreck Site: The 'Kennemerland", World Archaeology 7(3): 280-290.
Price, D. De Solla (1959). "An Ancient Greek Computer", Scientific American 201(6): 60–67.
Price, D. De Solla, (1974). "Gears from the Greeks. The Antikythera Mechanism: A Calendar Computer from Ca. 80 BC", Transactions of the American Philosophical Society 64(7): 1-70.
Proskynitopoulou, R. (2012). "The history of the study of the Antikythera Mechanism" in Kaltsas, N., Vlachogianni, E. & Bouyia, P. (eds.) (2012). The Antikythera Shipwreck. The ship, the treasure, the Mechanism. Athens: 28-231.
Throckmorton, P. (1970). Shipwrecks and Archaeology. The unharvested Sea. Boston.
Throckmorton, P. (1987). The Sea remembers: shipwrecks and archaeology from Homer's Greece to the rediscovery of the Titanic, New York.
Tsipopoulou, M., Antoniou, M. & Massouridi, S. (2012). "The 1900-1901 investigations" in Kaltsas, N., Vlachogianni, E. & Bouyia, P. (eds.), The Antikythera Shipwreck. The ship, the treasure, the Mechanism. Athens: 18-31.
Vlachogianni, E. (2012). "Sculpture" in Kaltsas, N., Vlachogianni, E. & Bouyia, P. (eds.), The Antikythera Shipwreck. The ship, the treasure, the Mechanism. Athens: 62-115.
Weinberg, G. D., Grace, V. R., Edwards, G. R., Robinson, H. S., Throckmorton, P., Ralph, E. K. (1965). "The Antikythera Shipwreck Reconsidered", Transactions of the American Philosophical Society 55(3): 3-48.
Wright, M.T. (2002). "A Planetarium Display for the Antikythera Mechanism", Horological Journal 144(5): 169-173/ 144(6): 193.
Wright, M. T. (2005). "Epicyclic Gearing and the Antikythera Mechanism, Part 2", Antiquarian Horology 29(2): 51-63.
Zafeiropoulou, M. (2012). "Old and new fragments of the Antikythera Mechanism and its inscriptions" in Kaltsas, N., Vlachogianni, E. & Bouyia, P. (eds.) (2012). The Antikythera Shipwreck. The ship, the treasure, the Mechanism. Athens: 241-248.

Greek

"Ανακοίνωσις. Περί των εκ της παρά τα Αντικύθηρα Θαλάσσης αγαλμάτων", ΠΑΕ 1900, (1901): 95-102.

ISSN: 2241-9993

Αναστασίου, Μ. (2014). Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων : Αστρονομία και Τεχνολογία στην Αρχαία Ελλάδα. PhD Thesis, Department of Physics. Aristotle university of Thessaloniki.
Βυζαντινός, Γ. Π. (1901). "Εις τον βυθόν των Αντικυθήρων", Παναθήναια Α': 225-227.
Θεοφανίδης, Ι. (1929). "Το εύρημα των Αντικυθήρων", Μεγάλη Στρατιωτική και Ναυτική Εγκυκλοπαίδεια : 97-104.
Κολώνας, Λ. (1976). Ημερολόγιο έρευνας Αντικυθήρων 1976, Αρχείο Εφορείας Εναλίων Αρχαιοτήτων.
Λάζος, Χ., (1994). Ο υπολογιστής των Αντικυθήρων. Μηχανισμοί με διαφορικό γρανάζι, Αθήνα.
Λυκούδης, Ε. Σ. (1920). "Οι Αρχαιολογικοί Θησαυροί των Αντικυθήρων. Ημερολόγιο αυτόπτου της ανελκύσεως". Σελίδες : 3-31.
Λυκούδης, Σ. Ε. (1950). "Ο Περίφημος Θησαυρός της νήσου των Αντικυθήρων", Αρχαιολογικά Σημειώματα, Ήλιος, 343: 482/ 345: 563/ 347: 626.
Κουτσουφλάκης, Γ. (2014). "Στο βυθό των Αντικυθήρων" in Δαμιανίδης, Κ., (ed.) Ναυς. Πλοία και Ναυπηγική στον ελληνικό κόσμο, Αθήνα: 170-171.
Μιχαηλίδης, Ι. (2016), "Ο ατυχής πόλεμος του 1897", Έρευνες, newspaper Καθημερινή [Kathimerini], 28.01.2016. Retrieved from http://www.kathimerini.gr/815952/gallery/epikairothta/ereynes/o-atyxhs-polemos--toy-1897 [last visited on 02.02.2016].
Νικολή, Μ. (2012). Οι πρώτες αναφορές στην ανακάλυψη του ναυαγίου και του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Bachelor Thesis. Department of Physics. Aristotle university of Thessaloniki. Retrieved from http://search.lib.auth.gr/Record/ikee-129872 [last visited on 03.02.2016].
Νικολαΐδης Κρης, Γ. (1904). "Άγαλμα λίθινον εξ Αντικυθήρων", Αρχαιολογική Εφημερίς 1903: 201–206.
Price, D. DeSolla (1995). Γρανάζια από τους Έλληνες. Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων (N. A. Οικονόμου, trans. / Θ. Ιωαννίδης, ed.), Θεσσαλονίκη (Original English version, 1974).
Ράδος, Κ. (1910). Περί τον θησαυρόν των Αντικυθήρων : Αστρολάβος, αναφορικά ωρολόγια, μηχανικά δρομόμετρα, "σφαίραι" ή πλανετάρια. - Υποβρύχιαι ανασκαλεύσεις προς ανεύρεσιν αρχαιοτήτων. Ναυτικαί και Αρχαιολογικαί Σελίδες, Αθήνα.
Ρεδιάδης, Π. (1903a). "Ο εξ Αντικυθήρων αστρολάβος" in Σβορώνος, Ι. Ν. (ed.) Το εν Αθήναις Εθνικόν Μουσείον, Αθήνα: 44-52.
Ρεδιάδης, Π. (1903b). "Ο αστρολάβος των Αντικυθήρων", Παναθήναια Ζ': 188-89.
Ρεδιάδης, Π. (1910). "Το εξ Αντικυθήρων Αστρολάβον", ΑΕ : 157-172.
Σβορώνος, Ι.Ν. (1903). Το εν Αθήναις Εθνικόν Μουσείον, Αθήνα.
Στάης, Β. (1905). Τα εξ Αντικυθήρων ευρήματα. Χρονολογία, προέλευσις, χαλκούς έφηβος, Αθήνα.
"Σφουγγάρι και Σφουγγαράδες", "Επτά Ημέρες", newspaper Καθημερινή [Kathimerini], 13.09.1998.
"Τα ευρήματα του ναυαγίου των Αντικυθήρων", ΑΕ 1902: 145-172.

French

Cavvadias, P. (1901). "Statues Rendues Par La Mer", Revue des Études Grecques XIV(57): 122–126.
Rados, C. N. (1905). "Sur Les Trouvailles Astronomiques d'Anticythère" in Comptes rendus du Congrès international d'archéologie, 1re session, Athènes 1905, sous la présidence de S.A.R. le Prince Royal des Hellènes, président de la Société archéologique. 1re Session, 7-13 Avril, Athènes, Athènes: 256-258.

ISSN: 2241-9993

Théofanidis, J. (1934). "Sur L'instrument En Cuivre, Dont Des Fragments Se Trouvent Au Musée Archéologique d'Athènes et Qui Fut Retiré Du Fond de La Mer d'Anticythère En 1902", Πρακτικά της Ακαδημίας Αθηνών 9:140–149.

German
Svoronos, J. N. (1908). Das Athener Nationalmuseum, Athen.
Rehm, A. (1907). "P. Rediadis Der Astrolabos von Antikythera", Berliner Philologische Wochenschrift 15: 467-470.

Newspapers
ΑΚΡΟΠΟΛΙΣ [Acropolis]
ΑΣΤΥ [Asty]
ΕΜΠΡΟΣ [Empros]
ΕΣΤΙΑ [Hestia]
ΝΕΟΝ ΑΣΤΥ [Neon Asty]
ΣΚΡΙΠ [Scrip]

Abbreviations
AE: Archaeologike Ephemeris (Archaeological Newspaper/ Review)
AMPR: Antikythera Mechanism Research Project
ΠΑΕ: Proceedings of the Athenian Archaeological Society

ISSN: 2241-9993

Τεχνολογικές καινοτομίες στην υποβρύχια έρευνα του ναυαγίου των Αντικυθήρων

Εισήγηση για το Β' Συμπόσιο
«Νέες Τεχνολογίες στην Υπηρεσία της Αρχαιογνωστικής Έρευνας», 2015

- Αλέξανδρος Τούρτας, Αρχαιολόγος, Υποψήφιος Διδάκτορας του Τμήματος Αρχιτεκτόνων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
  E-mail: alextourtas@gmail.com
- Δρ. Θεοτόκης Θεοδούλου, Αρχαιολόγος της Εφορείας Εναλίων Αρχαιοτήτων του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων
  E-mail: t_theotokis@hotmail.com
- Δρ. Δημήτριος Κουρκουμέλης, Αρχαιολόγος της Εφορείας Εναλίων Αρχαιοτήτων του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων
  E-mail: d.kourkoumelis@gmail.com
- Δρ. Brendan Foley, Αρχαιολόγος, Ειδικός ερευνητής του τμήματος Applied Ocean Physics & Engineering του Woods Hole Oceanographic Institution, USA
  E-mail: bfoley@whoi.edu

ISSN: 2241-9993

Περίληψη

Το ναυάγιο των Αντικυθήρων αποτελεί μια ιδιαίτερη και πολύ ενδιαφέρουσα περίπτωση εφαρμογής της τεχνολογίας στην υπηρεσία της αρχαιολογικής έρευνας. Η μακρά πορεία της μελέτης του στο χρόνο, από το 1900 που εντοπίστηκε έως και σήμερα, οι προκλήσεις του υποβρύχιου περιβάλλοντος και το εύρος της αρχαιολογικής πληροφορίας που χαρακτηρίζει τα ευρήματά του, το καθιστούν μία μοναδική ευκαιρία για την εφαρμογή και εξέλιξη τεχνολογιών αρχαιογνωστικής έρευνας.

Η έρευνα του ναυαγίου των Αντικυθήρων εκτείνεται χρονικά σε μία περίοδο 100 και πλέον χρόνων με σημαντικότερους σταθμούς την ανακάλυψη του ναυαγίου την άνοιξη του 1900 και την επιχείρηση ανέλκυσης των αρχαιοτήτων την περίοδο 1900 -1902, την επιστροφή στο χώρο του ναυαγίου από την καταδυτική ομάδα του J. Y. Cousteau, αρχικά στη δεκαετία του 1950 και στη συνέχεια το 1976 στο πλαίσιο συνεργατικής έρευνας με Έλληνες αρχαιολόγους, και τέλος τη σύγχρονη έρευνα, που διενεργείται από το 2012 μέχρι και σήμερα, από την Εφορεία Εναλίων Αρχαιοτήτων του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων σε συνεργασία με το ωκεανογραφικό ινστιτούτο Woods Hole, των Η.Π.Α. και με την αρωγή ειδικών συνεργατών και υποστηρικτών. Φυσικά, στο ενδιάμεσο αυτών των επί τόπου ερευνητικών προσπαθειών, αναπτύχθηκε η έρευνα που αφορά τα ανελκυσθέντα ευρήματα, όπως το πλήθος των λίθινων και χάλκινων αγαλμάτων, την κεραμική, το πλοίο, τα ιδιαίτερα εντυπωσιακά γυάλινα αγγεία, τα κοσμήματα, τα ανθρώπινα κατάλοιπα και ιδιαίτερα το μοναδικό εύρημα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων.

Στο παρόν κείμενο παρουσιάζονται διαχρονικά οι καινοτόμες τεχνολογίες που δοκιμάστηκαν στην έρευνα του ναυαγίου των Αντικυθήρων, είτε αφορούν τη δυνατότητα προσέγγισης του ναυαγίου από τους ερευνητές στο βυθό, είτε την εξαγωγή πληροφοριών και την τεκμηρίωση της αρχαιολογικής διαδικασίας μέσω μηχανικών συστημάτων.

Χαρακτηριστικά είναι τα παραδείγματα της χρήσης καταδυτικών συσκευών στην υπηρεσία της υποβρύχιας αρχαιολογικής έρευνας, όπως το σκάφανδρο στις επιχειρήσεις των αρχών του 20ου αιώνα, η συσκευή αυτόνομης κατάδυσης από την ομάδα του πλοιάρχου Cousteau, καθώς επίσης η συσκευή κλειστού κυκλώματος και η στολή ατμοσφαιρικής πίεσης (atmospheric diving suit) που χρησιμοποιήθηκαν στις πιο πρόσφατες έρευνες.

Ομοίως, η εξέλιξη του εξοπλισμού υποβρύχιας φωτογραφίας από τον καθηγητή του MIT, H. Edgerton, που συμμετείχε στην ομάδα του Cousteau, η δημιουργία φωτο-μωσαϊκών και η τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου του ναυαγίου, με τη βοήθεια ρομποτικών μέσων, που παρήγαγε η έρευνα του 2014, αποτελούν καινοτόμες τεχνικές οι οποίες εφαρμόσθηκαν στην έρευνα του ναυαγίου των Αντικυθήρων.

Τέλος, μια πληθώρα ειδικών και περίπλοκων τεχνικών, πρωτοποριακών για την εποχή τους αφορά τη μελέτη των ευρημάτων. Ήδη από τα πρώτα χρόνια της μελέτης, αμέσως μετά την ανέλκυση, έγιναν ειδικές χημικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό των κραμάτων χαλκού, απαραίτητες για το σχεδιασμό της συντήρησης των αγαλμάτων. Οι αρχαιομετρικές έρευνες συνεχίστηκαν και διευρύνθηκαν, όπως για παράδειγμα στη χρονολόγηση των οργανικών ευρημάτων του πλοίου με τη χρήση C14. Ιδιαίτερα στη μελέτη του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, παρατηρεί κανείς την εξέλιξη της αρχαιογνωστικής έρευνας μέσα από τις πολύπλοκες τεχνολογίες αποτύπωσης τόσο του εξωτερικού, όσο και του εσωτερικού των θραυσμάτων.

Το μέλλον επιφυλάσσει και άλλα ευρήματα, όπως αντίστοιχα και νέα ερωτήματα, στους ερευνητές του ναυαγίου. Η αρχαιογνωστική τεχνολογία στάθηκε ως τώρα, και σίγουρα θα αποτελέσει και στη συνέχεια, πολύτιμο σύμμαχο στην προσπάθεια της αρχαιολογικής ερμηνείας αυτού του σημαντικού αρχαιολογικού συνόλου.

ISSN: 2241-9993

Abstract

The Antikythera Wreck represents a unique example of implementation and development of technological methods and systems aiding archaeological research. Since 1900, when the wreck was discovered, the challenges posed by the underwater environment and the variety of archaeological data hidden in the multifarious artifacts has been yielding great opportunities for technological innovation.

Research on the Antikythera Wreck spreads over a century, covering a wide range of questions. Milestones in this long history are the discovery of the wreck in 1900 and the subsequent salvage operations, the exploration of the site by Ct Cousteau's team in the 1950s and in 1976 in collaboration with Greek archaeologists and finally the most recent research project "Return to Antikythera", carried out since 2012 by the Ephorate of Underwater Antiquities of the Hellenic Ministry of Culture, Education and Religious Affairs, supported by Woods Hole Oceanographic Institution and a number of collaborators and sponsors. Of course, during the intervals of the aforementioned in situ operations, research on the finds of the wreck that were recovered from the site, such as the many statues, marble or bronze, ceramics, parts of the ship, impressive glassware, jewelry, human remains and especially the Antikythera Mechanism, developed immensely.

In this text we present the major technological novelties that had been tested in the underwater study of the Antikythera Wreck, whether they are concerning methods of approaching the site in order to excavate and recover artifacts or documentation and extraction of archaeological information using advanced methodologies and systems.

One can easily consider as most distinguished examples of this technological innovation in underwater survey, the utilization of the diving suit in the 1900s, Cousteau's Self Contained Underwater Breathing Apparatus used during his team expeditions and the Closed Circuit Rebreather, as well as the Atmospheric Diving Suit deployed in the recent project in 2014 on Antikythera.

Similarly, the development of underwater photographic equipment by MIT professor H. Edgerton, who took part in Cousteau's missions on Antikythera, the creation of photo-mosaics and the 3D mapping of the site using Autonomous Underwater Vehicles created during 2014 expedition are mere samples of the technological innovations applied in the study of the site.

Finally, a vast number of specialized pioneering techniques were used in the study of the finds. From the first moment, immediately after the recovery, the importance of the finds dictated the most delicate treatment of the valuable antiquities. For example, the alloys of the bronze statues were chemically examined, in order to plan their conservation techniques. During the long study of the assemblage, more examinations were executed e.g. carbon dating of the ship's hull. Especially in the study of the Antikythera mechanism one can follow the evolution of archaeometric technologies through various implementations trying to analyze both the exterior and the interior of the fragments.

Future withholds more finds - and respectively new questions - to the wreck's researchers. Technology has provided and will continue to provide the means to unravel the mystery and lead us to more stable interpretations concerning this valuable archaeological assemblage.

Λέξεις-Κλειδιά: Ναυάγιο Αντικυθήρων, Ενάλια Αρχαιολογία, Τεχνολογία

Keywords: Antikythera Shipwreck, Maritime archaeology, Technology

1. Εισαγωγή

Το ναυάγιο των Αντικυθήρων είναι ένα από τα πιο γνωστά αρχαιολογικά σύνολα στην ιστορία της ενάλιας αρχαιολογίας. Για περισσότερο από έναν αιώνα, από την ανακάλυψή του το 1900 μέχρι σήμερα, έπαιξε έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη του επιστημονικού αυτού κλάδου, όχι μόνο στην Ελλάδα, αλλά σε διεθνές επίπεδο.

Το ναυάγιο των Αντικυθήρων αποτελεί μια ιδιαίτερη και πολύ ενδιαφέρουσα περίπτωση εφαρμογής της τεχνολογίας στην υπηρεσία της αρχαιολογικής έρευνας. Η μακρά πορεία της μελέτης του στο χρόνο, από το 1900 που εντοπίστηκε έως και σήμερα, οι προκλήσεις του υποβρύχιου περιβάλλοντος, ιδιαίτερα εξαιτίας του μεγάλου βάθους και το εύρος της αρχαιολογικής πληροφορίας, που χαρακτηρίζει τα ευρήματά του, το καθιστούν μία μοναδική ευκαιρία για την εφαρμογή και εξέλιξη τεχνολογιών αρχαιογνωστικής έρευνας.

Η έρευνα του ναυαγίου των Αντικυθήρων εκτείνεται χρονικά σε μία περίοδο 100 και πλέον χρόνων με σημαντικότερους σταθμούς την ανακάλυψη του ναυαγίου το 1900 και την επιχείρηση ανέλκυσης των αρχαιοτήτων την περίοδο 1900 -1901, την επιστροφή στο χώρο του ναυαγίου από την καταδυτική ομάδα του J. Y. Cousteau, αρχικά στη δεκαετία του 1950 και στη συνέχεια το 1976 στο πλαίσιο συνεργατικής έρευνας με Έλληνες αρχαιολόγους, και τέλος τη σύγχρονη έρευνα, που διενεργείται από το 2012 μέχρι και σήμερα, από την Εφορεία Εναλίων Αρχαιοτήτων του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων σε συνεργασία με το ωκεανογραφικό ινστιτούτο Woods Hole, των Η.Π.Α. και με την αρωγή ειδικών συνεργατών και υποστηρικτών. Φυσικά, στο ενδιάμεσο αυτών των επί τόπου ερευνητικών προσπαθειών, αναπτύχθηκε η έρευνα, που αφορά τα ανελκυσθέντα ευρήματα, όπως το πλήθος των λίθινων και χάλκινων αγαλμάτων, την κεραμική, το πλοίο, τα ιδιαίτερα εντυπωσιακά γυάλινα αγγεία, τα κοσμήματα, τα ανθρώπινα κατάλοιπα και το μοναδικό εύρημα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων.

Ο σκοπός αυτής της σύντομης παρουσίασης είναι να φωτίσει τις τεχνολογικές πτυχές της υποβρύχιας έρευνας μέσω των μεθόδων που εφαρμόστηκαν με έμφαση σε αυτές, που εξελίχθηκαν και δοκιμάστηκαν στη διάρκειά της.

Η δομή του κειμένου στηρίζεται σε δύο βασικές σκέψεις. Η πρώτη διαχωρίζει τα δεδομένα σε δύο γενικές κατηγορίες: κατάδυση και τεκμηρίωση. Η καταδυτική τεχνολογία έχει αλλάξει ριζικά μέσα στα χρόνια, που καλύπτει το χρονικό φάσμα της έρευνας. Πολλές καινοτόμες καταδυτικές τεχνολογίες και μεθοδολογίες δοκιμάστηκαν σε αρχαιολογικό πλαίσιο για πρώτη φορά στα Αντικύθηρα. Η διαδικασία μιας επαρκούς και αποτελεσματικής τεκμηρίωσης στο υποβρύχιο περιβάλλον αποτελούσε πάντα μια ερευνητική πρόκληση. Και σε αυτόν τον τομέα, οι τεχνικές που εφαρμόστηκαν στη μελέτη του ναυαγίου των Αντικυθήρων ανήκουν στις πλέον σύγχρονες και πρωτοποριακές, ιδωμένες βέβαια στον χρονικό ορίζοντα της εκάστοτε αποστολής. Η δεύτερη σκέψη πάνω στη οποία διαμορφώνεται το παρόν κείμενο είναι η επιλογή να παρουσιαστούν τα δεδομένα με μια γραμμική χρονική αλληλουχία, ώστε να γίνει εύληπτη η διαδικασία της εξέλιξης, από το 1900 μέχρι και το 2015.

Οι τεχνολογίες που επιλέγονται ως παραδείγματα καινοτομίας αφορούν είτε την πρώτη εφαρμογή μιας τεχνικής στην υποβρύχια έρευνα, είτε μια μεθοδολογία, η οποία δοκιμάζεται για πρώτη φορά στην Ελλάδα. Σε κάθε περίπτωση αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα της εξέλιξης, που παρουσιάζει η ελληνική υποβρύχια αρχαιολογία.

1.1. Ερευνητικό πεδίο - βιβλιογραφία

Μέχρι σήμερα το ναυάγιο των Αντικυθήρων, έχει ερευνηθεί ενδελεχώς, σε ό,τι αφορά τα ευρήματα, που ανελκύσθηκαν στη διάρκεια των ερευνών. Οι πρώτες μάλιστα επιστημονικές δημοσιεύσεις ξεκινούν ήδη από τις αρχές του 20ου αιώνα, λίγα χρόνια μετά την ανακάλυψη και την πρώτη διαδικασία ανέλκυσης. Το βάρος του ενδιαφέροντος επικεντρώνεται στα «πολύτιμα» ευρήματα, κυρίως

ISSN: 2241-9993

τα αγάλματα και ιδιαίτερα στα 'χάλκινα'. Σε αυτές τις δημοσιεύσεις βρίσκει κανείς τις πρώτες προσπάθειες ερμηνείας του αρχαιολογικού συνόλου και διάφορες υποθέσεις εργασίας για το ταξίδι του πλοίου και τις συνθήκες του ναυαγίου. Μετά από κάποιο διάστημα όμως, το ενδιαφέρον προσανατολίζεται σε μια άλλη κατεύθυνση. Ο περίφημος μηχανισμός των Αντικυθήρων κι η μελέτη του θα δώσουν σημαντική ώθηση στην παραγωγή βιβλιογραφίας για το ναυάγιο. Η επιστροφή στο ναυάγιο από την ομάδα του Cousteau το 1976 προκάλεσε νέο ενδιαφέρον και αποκάλυψε το χώρο του ναυαγίου στο ευρύ κοινό, δίνοντας ταυτόχρονα νέα στοιχεία στους ερευνητές. Τέλος, η μεγάλη περιοδική έκθεση «*Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι Θησαυροί, ο Μηχανισμός*», που διοργάνωσε το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο από τις 5 Απριλίου 2012 έως τις 29 Ιουνίου του 2014 έφερε ξανά στο προσκήνιο το αρχαιολογικό αυτό σύνολο, προσελκύοντας μάλιστα εντυπωσιακό αριθμό επισκεπτών. Στο πλαίσιο τεκμηρίωσής των εκθεμάτων μελετήθηκαν ενδελεχώς πολλά από τα εντυπωσιακά ευρήματα του ναυαγίου και τα αποτελέσματα δημοσιεύτηκαν στον οδηγό της έκθεσης (Καλτσάς και συνεργ. 2012). Τα δεδομένα, που παρουσιάζονται σε αυτό το κείμενο προκύπτουν, είτε μέσα από τη μελέτη αυτών των δημοσιεύσεων, όταν αφορούν παρελθούσες έρευνες, είτε από την εμπειρία και τη γνώση των συντακτών του μέσα από τη συμμετοχή τους στη σύγχρονη έρευνα.

2. Η ιστορία της υποβρύχιας έρευνας στο ναυάγιο των Αντικυθήρων.

2.1. Η ανακάλυψη και οι πρώτες επιχειρήσεις (1900-1901)

Ήταν λίγο πριν το Πάσχα του 1900, όταν ο καπετάνιος Δημήτριος Κοντός και το πλήρωμα του έφτασαν στα Αντικύθηρα (ΑΕ 1902, σελ. 145; Σβορώνος 1903, σελ. 1; Price 1974, σελ. 5/1995, σελ. 7; Marchant 2008, σελ. 10). Εξαιτίας μιας συνηθισμένης για την περιοχή κακοκαιρίας, αναγκάστηκαν να περάσουν μερικές μέρες στα Αντικύθηρα.



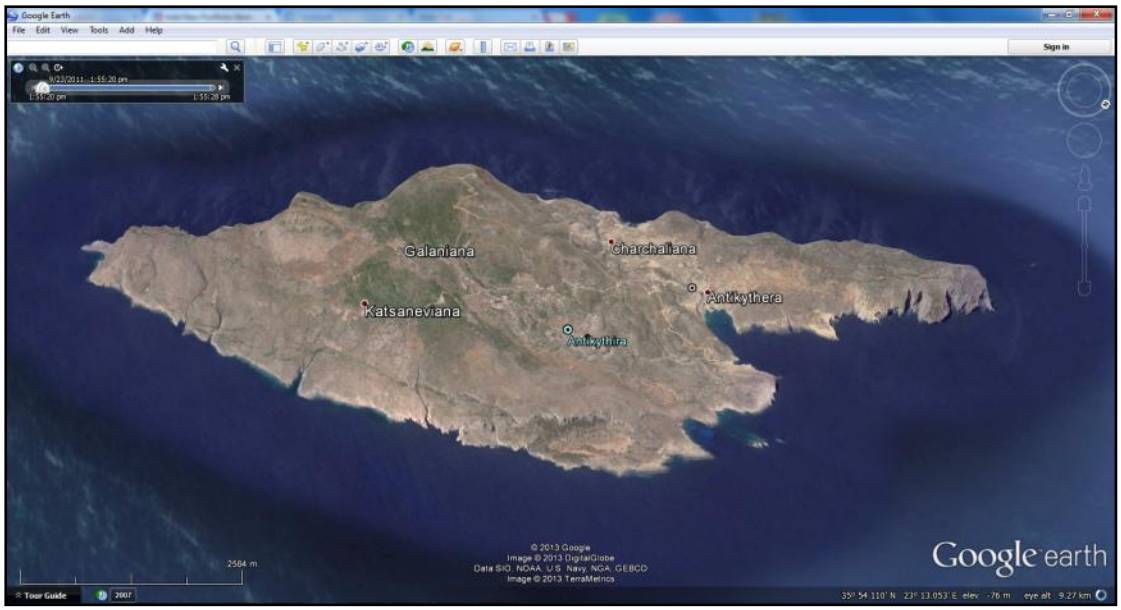
Εικόνα 1. Τοποθεσία

Τα Αντικύθηρα είναι ένα πολύ μικρό νησί στη θαλάσσια περιοχή ανάμεσα στην Κρήτη και την ηπειρωτική Ελλάδα, το πέρασμα από το Αιγαίο και τη Μαύρη Θάλασσα προς τη δύση. "*A shard of stone in the surrounding sea"* , [*ένα πέτρινο θραύσμα στην θάλασσα*], όπως το αποκάλεσε ο Cous-

ISSN: 2241-9993

teau, όταν πέταξε για πρώτη φορά πάνω από τα Αντικύθηρα για να επιθεωρήσει την περιοχή διεξαγωγής της αποστολής του (Cousteau 1980, 06:07).

Οι συμιακοί δύτες, που θέλησαν να εκμεταλλευτούν το χρόνο τους βουτώντας στην περιοχή, αντίκρυσαν έναν σωρό από αρχαιολογικά αντικείμενα στο βυθό, σε βάθος μεταξύ 45 και 60 μέτρων, με χάλκινα και λίθινα αγάλματα (ΠΑΕ 1900, σελ. 95-102; Kabbadias 1901; Λυκούδης 1920; Weinberg et al. 1965; Βλαχογιάννη 2012). Στις 6 Νοεμβρίου (Εστία 1900, 23 Νοε; ΣΚΡΙΠ 1900, 23 Νοε; Σβορώνος 1903, σελ. 2; Price 1974, σελ. 8/ 1995, σελ. 11) ο καπετάνιος μεταβαίνει στην Αθήνα, όπου συναντά τον υπουργό των Εκκλησιαστικών και Δημόσιας Εκπαίδευσης, Σπυρίδωνα Στάη για να τον ενημερώσει σχετικά με το ναυάγιο που είχε βρει.



Εικόνα 2. Γεωμορφολογία των Αντικυθήρων (©Google Earth)

Η αντίδραση της ελληνικής κυβέρνησης ήταν άμεση. Μέσα σε μερικές μέρες από τη συνάντηση, το μεταγωγικό σκάφος *Μυκάλη* μετέφερε τον καθηγητή αρχαιολογίας Α. Οικονόμου στα Αντικύθηρα, συνοδευόμενο από τον Κοντό και το πλήρωμά του σε δύο μικρότερα επιχειρησιακά σκάφη. Έφτασαν στο σημείο στις 24 Νοεμβρίου 1900 (Σβορώνος 1903, σελ. 2).

Παρόλο που οι καιρικές συνθήκες ήταν αντίξοες, η επιχείρηση της ναυαγιαιρεσίας συνεχίστηκε μέσα στο χειμώνα. Οι δύτες καταδύονταν συνεχώς φέρνοντας τα ευρήματα το ένα πίσω από το άλλο στην επιφάνεια.

Μέχρι τα Χριστούγεννα του 1900 πολλά εντυπωσιακά αντικείμενα είχαν ανελκυστεί: μαρμάρινα αγάλματα, κυρίως ανδριάντες και άλογα, ένα χάλκινο ξίφος, μια χάλκινη λύρα, ένας κολοσσιαίος μαρμάρινος ταύρος και θραύσματα από τη μεταλλική διακόσμηση επίπλων (Σβορώνος 1903, σελ. 4).

Η ανταπόκριση του κοινού στα νέα της ανακάλυψης ήταν ένθερμη. Πλήθη συνέρρεαν με σκοπό να δουν τους θησαυρούς του ένδοξου παρελθόντος, ενώ την ίδια στιγμή οι εφημερίδες ακολουθούσαν καθημερινά την εξέλιξη των επιχειρήσεων.

ISSN: 2241-9993



Εικόνα 3. Η καταδυτική ομάδα του 1900 (Σβορώνος 1903, σελ. 1).

Όσο περνούσε ο χρόνος, ο αριθμός και η σημαντικότητα των ευρημάτων μειωνόταν, ώσπου οι υπεύθυνοι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι «δεν υπάρχουν πλέον σημαντικά ευρήματα στο βυθό» (ΙΑΑΥ χωρίς Αριθ. Πρωτ., 31 Ιουλίου 1901; Σβορώνος 1903, σελ. 13). Οι μεγάλες δυσκολίες οδήγησαν στον τερματισμό της επιχείρησης, παρόλο που υπήρχαν κάποιοι, που εξακολουθούσαν να πιστεύουν, ότι παρέμεναν και άλλα ευρήματα στο χώρο του ναυαγίου (Λυκούδης 1920, σελ. 26). Ο καπετάνιος Κοντός από τη μεριά του ήταν σίγουρος για αυτό. Έτσι, ζητά τον Αύγουστο να του επιτραπεί να συνεχίσει τις εργασίες μέχρι το τέλος Οκτωβρίου (ΙΑΑΥ Αριθ. Πρωτ. 13883/1-8-1901). Ο Υπουργός εξέδωσε νέα άδεια και οι εργασίες συνεχίστηκαν μέχρι το τέλος του Σεπτέμβρη (ΙΑΑΥ Αριθ. Πρωτ. 13883/1-8-1901; ΣΚΡΙΠ 1901, 25 Σεπ).

Παρά τις δυσκολίες η επιχείρηση ολοκληρώθηκε επιτυχώς. Τα ευρήματα μεταφέρθηκαν στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο. Ανάμεσά τους ο Έφηβος και ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων, τα δύο πιο γνωστά ευρήματα του ναυαγίου.

Τα χρόνια πέρασαν και ο θόρυβος γύρω από το ναυάγιο κόπασε. Απόμεινε ο απόηχος του δέους για τα πανέμορφα αγάλματα και το μυστήριο σχετικά με τον Μηχανισμό.

ISSN: 2241-9993



Εικόνα 4. Οι συντελεστές της επιχείρησης στο Μυκάλη (Καλτσάς και συνερ. 2010, σελ. 25, εικ. 5)

2.2. Οι αποστολές του Cousteau (1953-1976)

Τον Αύγουστο του 1953 ο Cousteau με το θρυλικό σκάφος *Calypso* και τους πρωτοπόρους δύτες του κατευθύνονται στην Δήλο σε αναζήτηση του Ρωμαίου εμπόρου Μάρκου Σέστιου, τη σφραγίδα του οποίου εντόπισαν στο ναυάγιο του Grand Congloue. Μαζί τους ταξιδεύει και ο καθηγητής του MIT Harold Edgerton, εφευρέτης των υποβρύχιων ηλεκτρονικών φλας, και βασικός ερευνητής στην εξέλιξη των ηχοβολιστικών συστημάτων (sonar). Από το αρχείο του Edgerton (1953) και το βιβλίο του δύτη-ερασιτέχνη αρχαιολόγου Frédéric Dumas "*Trente cièles sous la mer*", που ήταν επίσης στην ομάδα πληροφορούμαστε ότι κάνουν την πρώτη στάση τους στα Αντικύθηρα (Dumas 1976). Οι Αντικυθήριοι ψαράδες, παιδιά των αυτοπτών μαρτύρων ή και αυτόπτες οι ίδιοι, της ανέλκυσης του 1900, τους υποδεικνύουν τη θέση του ναυαγίου. Εντοπίζουν την περιοχή, όπου ο βυθός είναι διάσπαρτος από σπασμένα κεραμικά όστρακα. Με μια φορητή συσκευή αναρρόφησης κάνουν μικρές τομές. Σε μία από αυτές, την τελευταία, αποκαλύπτουν τμήματα σανίδων από το κέλυφος του αρχαίου πλοίου. Λίγο νοτιότερα εντοπίζουν ένα σωρό με αμφορείς να γειτονεύει με τα

ISSN: 2241-9993

μολύβδινα στοιχεία μιας ρωμαϊκής άγκυρας. Στόχος του ταξιδιού τους είναι όμως είναι η Δήλος, στην οποία κατευθύνονται μετά τη τριήμερη στάση τους στα Αντικύθηρα.



Εικόνα 5. Από την αποστολή του 1953 (©MIT)

Το 1976 το ελληνικό κράτος ζήτησε από τον Cousteau να ερευνήσει και να κινηματογραφήσει διάφορες ενάλιες αρχαιολογικές θέσεις (Κολώνας 2012, σελ. 32). Η έρευνα στο ναυάγιο των Αντικυθήρων άρχισε στις 12 Ιουνίου 1976 και τελείωσε το Νοέμβριο της ίδιας χρονιάς. Όπως και το 1900 ο καιρός δε βοήθησε και η επιχείρηση διακόπηκε πολλές φορές. Η ομάδα του Cousteau επαναντόπισε το ναυάγιο. Από την πρώτη κιόλας βουτιά οι δύτες Falco και Giacoletto εντόπισαν το χώρο του ναυαγίου, όπου ήταν ορατά θραύσματα αγγείων και λίγα ξύλα (σανίδες). Το Καλυψώ αγκυροβόλησε ακριβώς πάνω από τη θέση του ναυαγίου. Περιγράφει γλαφυρά ο επιβλέπων αρχαιολόγος του Υπουργείου Πολιτισμού και Επιστημών, Λάζαρος Κολώνας:

Το Καλυψώ ώρα 08.30 αγκυροβόλησε στη Β. πλευρά του νησιού και στο σημείο όπου απ' τη πρώτη φάση εντοπίσθηκε το ναυάγιο. Η κατάσταση της θάλασσας πολύ καλή αλλά το τοπίο απέναντί μας άγριο. Έτσι όταν η θάλασσα αγριέψει αδελφώνεται με το τοπίο και σκορπούν παντού το φόβο. Λ. Κολώνας (1976, σελ. 7)



Εικόνα 6. Από την αποστολή του 1976 (©Αρχείο Λ. Τσαβλίρη)

ISSN: 2241-9993



Εικόνα 7. A. Facco, J.Y. Cousteau, Λ. Κολωνάς, Αντικύθηρα 1976 (Καλτσάς και συνερ. 2010, σελ. 33, εικ. 2)

Αφού κράτησαν σημειώσεις για την κατάσταση του ναυαγίου και φωτογράφησαν τον χώρο, προχώρησαν στην ανασκαφή. Το χώρο της ανασκαφής επιθεώρησε μάλιστα και ο ίδιος ο Λ. Κολώνας μέσα από το βαθυσκάφος Soucoupe. Επίσης, στην ομάδα των δυτών του Cousteau προστέθηκαν και Έλληνες δύτες από το νεοσύστατο Ινστιτούτο Εναλίων Αρχαιολογικών Ερευνών. Η κατάδυση γινόταν εκ περιτροπής με μεγάλα διαστήματα αποσυμπίεσης. Με τη βοήθεια ενός αναρροφητήρα (seceuse) ανέσκαψαν μια περιορισμένη περιοχή, η οποία ωστόσο έκρυβε εντυπωσιακά ευρήματα. Ανάμεσά τους κομμάτια ξύλου, θραύσματα καρφιών, όστρακα - κυρίως οξυπύθμενων αμφορέων - και πλήθος μολύβδινων ελασμάτων, που προφανώς χρησίμευαν για την επένδυση της εξωτερικής επιφάνειάς του πλοίου, ένα ζευγάρι ελληνιστικών χάλκινων αγαλματιδίων, χρυσά και ασημένια κοσμήματα, γυάλινα αγγεία και άλλα κομμάτια του αρχαίου φορτίου (Κολώνας 1976, σελ. 21; Τσιτσοπούλου και συνερ. 2012, σελ. 34). Ανάμεσα στα σημαντικότερα ευρήματα της έρευνας του 1976 ήταν τα 36 αργυρά και περισσότερα από 40 χάλκινα νομίσματα, τα οποία βοήθησαν ιδιαίτερα στο χρονολογικό προσδιορισμό του ναυαγίου (Τσέλεκας 2012).

Όλες οι εργασίες γύρω απ' την έρευνα συνοδεύονταν πάντοτε από κινηματογράφηση. Το αποτέλεσμα της κινηματογράφησης κυκλοφόρησε το 1980 με τη μορφή ενός ντοκιμαντέρ μίας περίπου ώρας με τον τίτλο "The Cousteau Odyssey: Diving for Roman Plunder", σε παραγωγή του W. Scott και με αφηγήτρια τη Μελίνα Μερκούρη.

Το 1976 είναι για την ελληνική υποβρύχια αρχαιολογία μία πολύ σημαντική χρονιά και για έναν ακόμα λόγο. Τη χρονιά αυτή ιδρύεται η Εφορεία Εναλίων Αρχαιοτήτων, ο επίσημος κρατικός φορέας διεξαγωγής υποβρύχιας αρχαιολογικής έρευνας. Ο πρώτος έφορος Γ. Παπαθανασόπουλος, ο οποίος είχε ούτως ή άλλως τη γενική εποπτεία των επιχειρήσεων του Καλυψώ στην Ελλάδα, επισκέφθηκε την αποστολή στα Αντικύθηρα και είχε άμεση ενημέρωση για την πορεία και τα αποτελέσματα της ανασκαφής. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο Λ. Τσαβλίρης, ένας από του Έλληνες δύτες που πήραν μέρος στην έρευνα, σε συνέντευξή του στους συντάκτες του παρόντος κειμένου, σε αυτό το πρώιμο στάδιο «… εμείς ήμασταν η Εναλίων. Εγώ και ο Βασίλης (Βιτάλης). Ήταν ο

ISSN: 2241-9993

Παπαθανοσόπουλος… και εμείς είμασταν το χέρι της Εναλίων…» (Τσαβλίρης 2014, 15'). Κατά μία έννοια λοιπόν, η έρευνα στα Αντικύθηρα είναι και η πρώτη έρευνα της Εφορείας.

2.3. Σύγχρονη Έρευνα (2012-2015)

Η σύγχρονη έρευνα στο ναυάγιο των Αντικυθήρων διεξάγεται από την Εφορεία Εναλίων Αρχαιοτήτων του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων σε συνεργασία με το ωκεανογραφικό ινστιτούτο Woods Hole, των Η.Π.Α. και με την αρωγή ειδικών συνεργατών και υποστηρικτών. Την επιτελική διεύθυνση έχει η προϊσταμένη της Εφορείας Α. Σίμωσι, με επιστημονικούς υπευθύνους τους Θεοτόκη Θεοδούλου και Δημήτρη Κουρκουμέλη, ενώ από την πλευρά του Woods Hole Ocenaographic Institution επικεφαλής είναι ο αρχαιολόγος-τεχνολόγος Brendan Foley.



Εικόνα 8. Αντικύθηρα 2014 (©ΕΕΑ, WHOI, ΑΡΓΩ)

Το πρόγραμμα «Επιστροφή στα Αντικύθηρα» (http://antikythera.whoi.edu/) ξεκίνησε το 2012, όταν τα μέλη της αποστολής βρέθηκαν στα Αντικύθηρα στο πλαίσιο έρευνας για αρχαία ναυάγια. Κατά τη διάρκεια των τριών εβδομάδων παραμονής στο νησί εντοπίστηκε στην ανατολική ακτή το «ναυάγιο των Αντικυθήρων». Για την ακρίβεια εντοπίστηκε μια περιοχή νότια της θέσης, που ανασκάφηκε από τον Cousteau το 1976, με παρόμοια όμως ευρήματα. Το 2013, η ομάδα επέστρεψε στα Αντικύθηρα κάνοντας σάρωση της ευρύτερης περιοχής με ηχοβολιστικά συστήματα και εντοπίζοντας με κατάδυση την περιοχή δράσης της αποστολής του 1976. Το εάν πρόκειται για το ίδιο ναυάγιο και στις δύο θέσεις, αποτελεί ερώτημα που καλείται να απαντήσει η έρευνα στην εξέλιξή της. Πρόκειται για μία εκτεταμένη αρχαιολογική θέση, η οποία πιθανότατα κρύβει πολλά ακόμα ευρήματα κάτω από τα ιζήματα του πυθμένα.

Με αυτό και πολλά ακόμα ερευνητικά ερωτήματα, που θέτει η σύγχρονη υποβρύχια αρχαιολογική έρευνα, αναπτύσσεται πλέον το πλαίσιο της αποστολής που αδειοδοτήθηκε για τα επόμενα 5 χρόνια από το ελληνικό κράτος.

ISSN: 2241-9993

Σημαντικό ερευνητικό πλεονέκτημα αποτελεί και για την παρούσα ερευνητική προσπάθεια η δυνατότητα χρήσης των πλέον εξελιγμένων τεχνολογιών τόσο στο επίπεδο της πρόσβασης στο δύσκολο λόγω βάθους υποβρύχιο αρχαιολογικό χώρο, όσο και στο επίπεδο της απαιτητικής τεκμηρίωσης, που επιτάσσει η σημαντικότητα του ναυαγίου και η σύγχρονη μεθοδολογία.
Κατά τη διάρκεια της αποστολής του 2014, ξεκίνησε η αποτύπωση του χώρου με τη βοήθεια ηχοβολιστικών συστημάτων και φωτογραμμετρικών μεθόδων και τη συμβολή της ομάδας αυτόνομων υποβρυχίων οχημάτων του Πανεπιστημίου του Sydney, με επικεφαλής τους O. Pizarro και S. Williams. Η αποτύπωση θα συνεχιστεί και στην επικείμενη αποστολή, το καλοκαίρι του 2015.
Οι καταδύσεις στο χώρο του ναυαγίου αποκάλυψαν επίσης την ύπαρξη αρχαιολογικού υλικού, το οποίο παραμένει στον πυθμένα. Η ανεύρεση ενός χάλκινου δόρατος, πιθανότατα μέρους από ένα χάλκινο γλυπτό, ενός δακτυλίου από τον εξαρτισμό του πλοίου και μεταλλικών θραυσμάτων από τη διακόσμηση μιας κλίνης, που όπως είναι γνωστό από τις προηγούμενες αποστολές υπήρχαν στο πλοίο (Παλαιοκρασσά 2012, σελ. 125), υποδεικνύει την ύπαρξη και άλλων αντικειμένων στο χώρο του ναυαγίου.
Μεγάλη πρόκληση μάλιστα για τη φετινή αποστολή θα είναι και η διεξαγωγή επιστημονικής ανασκαφής. Το μεγάλο βάθος του ναυαγίου αποτελεί μία προβληματική παράμετρο, η οποία όμως μπορεί να ξεπεραστεί μέσα από τη γνώση και εφαρμογή των σύγχρονων καταδυτικών μεθόδων και τεχνολογιών σχετικά με την υποβρύχια έρευνα.



Εικόνα 9. Αντικύθηρα 2014. Το χάλκινο δόρυ (©EEA, WHOI, ΑΡΓΩ)

Σε κάθε περίπτωση, οι αναμονές από αυτή την έρευνα είναι μεγάλες και σε ό,τι αφορά τα ευρήματα, αλλά και στην προώθηση της υποβρύχιας έρευνας στο ναυάγιο και στην Ελλάδα γενικότερα.

ISSN: 2241-9993

3. Κατάδυση

Μέσα από τη σύγκριση των αποστολών στα Αντικύθηρα βλέπει κανείς καθαρά την εξέλιξη στον τομέα της κατάδυσης. Κάθε αποστολή κατάφερε να διευρύνει τα όρια της υποβρύχιας αρχαιολογικής έρευνας με το δικό της τρόπο. Η πρώτη έρευνα, το 1900, αποτέλεσε στην πραγματικότητα την πρώτη αποτελεσματική προσπάθεια ανέλκυσης αρχαιοτήτων από το βυθό, που ανέλαβε ποτέ συντεταγμένο κράτος. Το μεγάλο βάθος του ναυαγίου αποτελεί μέχρι και σήμερα πρόκληση στο σχεδιασμό και τη διεκπεραίωση των καταδυτικών εργασιών. Η πορεία από τις πρώτες εκείνες καταδύσεις του 1900 μέχρι και σήμερα ήταν εξελικτική τόσο στον τομέα της ασφάλειας των δυτών, όσο και της αποτελεσματικότητας. Οι χρόνοι παραμονής μεγάλωσαν και οι πιθανότητες ατυχήματος μειώθηκαν αντιστρόφως ανάλογα. Όπως και το 1900, τόσο η έρευνα του 1976, όσο και η σύγχρονη έρευνα μπορούν να καυχώνται ότι εκμεταλλεύτηκαν στο έπακρο τις καινοτόμες καταδυτικές πρακτικές της εποχής τους στην υπηρεσία της υποβρύχιας αρχαιολογίας. Χαρακτηριστικό είναι βέβαια το γεγονός ότι κοιτάζοντας το παρελθόν, οι δύτες αναγνωρίζουν με δέος το θάρρος των προκατόχων τους και τις ιδιαίτερα δύσκολες συνθήκες στις οποίες καταδύονταν. Με τα σύγχρονα δεδομένα ακόμα και οι καταδύσεις του 1976, πόσο δε μάλλον αυτές του 1900, φαντάζουν παράτολμες και επικίνδυνες με βάση τη γνώση, που υπάρχει σήμερα σχετικά με τη φυσιολογία και τη μεθοδολογία της κατάδυσης.

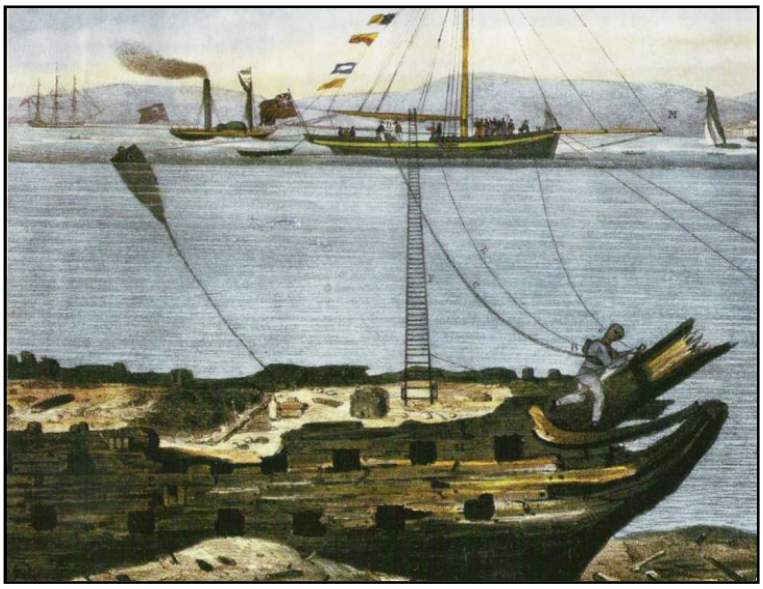
3.1. 1900 - 1901

> *"Με την υελίνην διόπτραν παρακολουθούμε τας εν τω βυθώ εργασίας. Πρηνής εν αυτώ ο σκαφανδροφόρος δύτης φαίνεται ως μυθικόν θαλάσσιον τέρας εναγκαλιζόμενον εν πτώμα. Το άγαλμα προσεδέθη, η θάλασσα εκόχαλασε και η μετάλλινη κεφαλή του δύτου με τους κρυστάλλινους τερατώδης οφθαλμούς επεφάνη."*

Ε. Λυκούδης (1920, σελ. 9)

Η κατάδυση με σκοπό την ανεύρεση σφουγγαριών έχει μια μακρά παράδοση στην Ελλάδα. Ιδιαίτερα τα νησιά της Καλύμνου και της Σύμης ήταν περήφανα για τους σφουγγαράδες τους.

Στο λυκαυγές του 20ου αιώνα ο κόσμος κινείται πλέον με τη δύναμη του ατμού και της βιομηχανικής επανάστασης. Η «άνοδος» των μηχανών σε συνδυασμό με την εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης δημιουργεί ένα δυναμικό περιβάλλον, όπου τίποτα δε θεωρείται αδύνατο. Η ανθρωπότητα ετοιμάζεται να κατακτήσει τους ουρανούς και στη θάλασσα έχουν ήδη αρχίσει να αποκαλύπτονται πολύτιμα μυστικά, που κρύβονταν κάτω από την επιφάνεια.



Εικόνα 10. Υποβρύχιες εργασίες με τη χρήση σκαφάνδρου (Blot 1996, σελ. 20)

Όπως και σήμερα η εξέλιξη της τεχνολογίας στηρίχθηκε στην εμπορική της εκμετάλλευση. Η σπογγαλιεία άλλαξε για πάντα με την ανακάλυψη του σκάφανδρου, που επέτρεψε στους δύτες να περνούν ώρα στο βυθό χωρίς να ανησυχούν για την παροχή του αέρα. Χάρη σε μια βαλβίδα στο μεταλλικό κράνος, ο δύτης φορά τη στολή και αναπνέει αέρα, που στέλνει μια αντλία από την επιφάνεια. Οι οικονομικές προεκτάσεις αυτής της δυνατότητας ήταν τεράστιες.

ISSN: 2241-9993

Φυσικά τα Αντικύθηρα δεν ήταν το πρώτο παράδειγμα χρήσης αυτής της τεχνολογίας στην ανέλκυση αντικειμένων από το βυθό. Το σκάφανδρο δοκιμάστηκε σε διάφορες ναυαγιαιρεσίες μέχρι τότε, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση του Mary Rose στην Αγγλία, από τους αδερφούς Deane (Bevan 1996; Blot 1996). Ωστόσο, τα Αντικύθηρα ήταν η πρώτη επιτυχημένη εφαρμογή της καταδυτικής αυτής τεχνολογίας στο πλαίσιο μιας οργανωμένης «αρχαιολογικής» έρευνας.
Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η κατάδυση σε μεγάλο βάθος έχει συνέπειες στην ανθρώπινη φυσιολογία. Ο οργανισμός είναι συνηθισμένος να λειτουργεί σε πίεση μίας ατμόσφαιρας. Η κατάδυση σε βάθος υποχρεώνει τον οργανισμό σε υδροστατική πίεση μεγαλύτερη από αυτή της επιφανείας, ανάλογη με το βάθος. Σε αυτή την περίπτωση το σώμα δεσμεύει σε μεγαλύτερη ποσότητα το άζωτο, που περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Και παρόλο που το άζωτο είναι αδρανές αέριο, η συγκέντρωση του στους ιστούς με μεγάλη πίεση δημιουργεί επιπλοκές (Somers 1995, σελ. 20-24) . Για αυτό το λόγο υπάρχουν περιορισμοί τόσο στη διάρκεια παραμονής σε συγκεκριμένο βάθος, αλλά και στο ρυθμό ανάδυσης του δύτη. Μία πέρα από τα όρια παραμονή σε ένα μεγάλο βάθος ή μία γρήγορη ανάδυση, που δεν επιτρέπει στον οργανισμό την ομαλή απελευθέρωση του αερίου, το οποίο βρίσκεται πεπιεσμένο στους ιστούς, προκαλεί αυτό που ονομάζεται στην καταδυτική ορολογία «νόσος των δυτών».



Εικόνα 11. Προετοιμασία δύτη στα Αντικύθηρα (1900-1901©ΙΑΑΥ)

Οι δύτες από τη Σύμη καταδύονταν μέχρι το βάθος των 32 – 38 οργιών (περίπου 60 -70 μέτρα), όπου παρέμεναν 5 περίπου λεπτά, προσθέτοντας 3 λεπτά για τη διαδρομή από και προς την επιφάνεια (Σβορώνος 1903, σελ. 3; Λυκούδης 1920, σελ. 10, 46). Πραγματοποιούσαν αρκετές επαναληπτικές καταδύσεις καθημερινά (Σβορώνος 1903, σελ. 5) και αντιμετώπιζαν δυσμενείς καιρικές συνθήκες (Λυκούδης 1920, σελ. 10). Πέρα από όλα αυτά, φτάνοντας στο βυθό, έπρεπε να κινηθούν μέσα στην άκαμπτη στολή, να κάνουν απαιτητική δουλειά, να μεταφέρουν βαριά αντικείμενα (Εστία 1901, 19 Ιαν) και όλα αυτά αναπνέοντας ατμοσφαιρικό αέρα, που σήμερα γνωρίζουμε τις

ISSN: 2241-9993

ναρκωτικές του ιδιότητες σε αυτό το βάθος (Sommers 1995, σελ. 22-24; U.S. Navy Diving Manual 2008, σελ. 7, 40). Η κόπωση ήταν αναμενόμενη και προφανής.

Ο καιρός ήταν πολύ δύσκολος και ο κίνδυνος ατυχήματος πολύ μεγάλος. Υπήρξαν περιστατικά «νόσου των δυτών» και δυστυχώς ένα από αυτά θανάσιμο. Τον Απρίλιο του 1901, ο δύτης Γεώργιος Κρητικός αναδύθηκε πολύ γρήγορα και πέθανε εξαιτίας εμφάνισης της «νόσου». Δύο ακόμα δύτες παρέλυσαν από τη «νόσο» μέχρι το Σεπτέμβριο του 1901, οπότε και σταμάτησαν οι καταδύσεις (Σβορώνος 1903, σελ. 13; Τσιτσοπούλου και συνεργ. 2012, σελ. 23).

Ήταν η πρώτη φορά που μια επιχείρηση τέτοιου μεγέθους πραγματοποιούταν για αρχαιολογικούς σκοπούς και σε τόσο μεγάλο βάθος (Λυκούδης 1920, σελ. 18).

Οι εργασίες κράτησαν για περισσότερο από ένα χρόνο και το μεγαλύτερο διάστημα κάτω από αντίξοες συνθήκες. Οι δύτες υπέφεραν από τη «νόσο», τα συνοδευτικά πλοία δυσκολευόντουσαν στην ανέλκυση των βαρέων αντικειμένων και τα διάφορα προβλήματα δεν ήταν λίγα. Με τον καιρό και καθώς τα επιφανειακά ευρήματα ανελκύονταν, γινόταν όλο και πιο δύσκολη η απόσπαση των κατώτερων στρωμάτων του αρχαιολογικού υλικού.

Κάποια στιγμή οι υπεύθυνοι αναζήτησαν άλλες λύσεις από το εξωτερικό. Τότε προτάθηκε η ιδέα της ανασκαφής, η οποία βέβαια σε αυτό το βάθος είναι ακόμα και σήμερα πολύ δύσκολη (Εμπρός, Σφαίρα 1901, 3 Φεβ). Μια ακόμα πρόταση που έγινε αφορούσε τη χρήση ενός «κρυστάλλινου καταδυτικού κώδωνα» και μεγάλα φώτα, που θα φώτιζαν το χώρο. Το πιο μεγαλόπνοο σχέδιο όμως, πρότεινε τη δημιουργία ενός φράγματος γύρω από το ναυάγιο και την αφαίρεση των υδάτων στο εσωτερικό με αντλίες, ώστε να ελευθερωθεί ο χώρος και να ανασκαφεί, όπως στην ξηρά (Εμπρός, Σφαίρα 1901, 5 Φεβ). Ο Ιταλός εφευρέτης Pino πρότεινε την κατασκευή ενός υποβρυχίου, που θα μετέφερε δύο επιβάτες μέχρι το βάθος των 150 μέτρων και θα έλυνε προβλήματα στη διαδικασία της ανέλκυσης. Επιπλέον, το ελληνικό κράτος θα μπορούσε να το χρησιμοποιήσει και σε μελλοντικές επιχειρήσεις (Εστία 1902, 19 Νοε). Από τα παραπάνω καμία πρόταση δεν εφαρμόστηκε τελικά, ωστόσο είναι όλες ενδεικτικές του κλίματος που δημιουργούσε η τεχνολογική εξέλιξη της εποχής και των δυνατοτήτων, που προσέφερε.

Η επιτυχία της επιχείρησης ανέλκυσης και τα εντυπωσιακά ευρήματα αποτέλεσαν το συμβολικό και εναρκτήριο λάκτισμα για την ανάπτυξη της υποβρύχιας αρχαιολογίας.

3.2. 1953 - 1976



Εικόνα 12. Jacques-Yves Cousteau & Emile Gagnan (πηγή: https://www.force-e.com/scuba-training/)

Το 1943 δύο Γάλλοι, ο γνωστός πλοίαρχος Jaques Yves Cousteau και ο μηχανικός Émile Gagnan, κατασκευάζουν την πρώτη αυτόνομη υποβρύχια αναπνευστική συσκευή με την επωνυμία *Aqua - Lung* (Cousteau 1953).

Η βασική λειτουργία της αυτόνομης αναπνευστικής συσκευής είναι απλή. Μία φιάλη από ισχυρό υλικό (σίδηρος ή αλουμίνιο) γεμίζει με αέρα υπό πίεση. Η φιάλη αυτή αποτελεί την πηγή αέρα του δύτη στο νερό. Η μεγάλη πίεση του αερίου στη φιάλη (200-300 bar) μετατρέπεται σε μία μικρότερη πίεση, την οποία μπορεί να αναπνεύ-

ISSN: 2241-9993

σει ο δύτης με ευκολία μέσω μιας συσκευής που ονομάζεται «*ρυθμιστής*». Η πρώτη μορφή αυτής της συσκευής λοιπόν, η οποία σήμερα έχει εξελιχθεί σε πολλούς και διάφορους τύπους, είναι η γνωστή *Agua-Lung* των Cousteau – Gangan.

Η ανακάλυψη αυτή στην ουσία μετέτρεψε την επίσκεψη στο βυθό από μία δαπανηρή και δύσκολη διαδικασία σε μια δραστηριότητα αναψυχής. Η απλότητα του συστήματος, το μικρό (σε σχέση με το σκάφανδρο) μέγεθός του και η αυτονομία του (δεν υπήρχε ανάγκη για αντλία μια και ο δύτης κουβαλούσε μαζί του την πηγή αέρα) έδωσε τεράστια ώθηση στην καταδυτική δραστηριότητα.

Σε αυτό το πλαίσιο ο Cousteau κι η ομάδα του άρχισαν να συνεργάζονται με διάφορους επιστήμονες της θάλασσας, ανάμεσά τους και αρχαιολόγους, που ενδιαφέρονταν για το υποβρύχιο πολιτισμικό απόθεμα.

Η πρώτη ουσιαστική αρχαιολογική ανασκαφή του Cousteau ξεκίνησε το 1952 στο ναυάγιο του Grand Congloue σε συνεργασία με τον αρχαιολόγο Fernand Benoit. Την επόμενη χρονιά ο Cousteau επισκέπτεται τα Αντικύθηρα σε αναζήτηση του γνωστού ναυαγίου.

Το 1976 η ομάδα του Cousteau επιστρέφει πλέον επίσημα στο ναυάγιο και σε συνεργασία με τον Έλληνα αρχαιολόγο Λ. Κολώνα οργανώνουν την υποβρύχια έρευνα.

«*Σε τόσο βάθος όλα γίνονται με ταχύτητα, διότι οι δύτες δεν μπορούν να παραμείνουν περισσότερο από 10 λεπτά, προκειμένου να μην υποφέρουν από τα συμπτώματα της νόσου των δυτών*» αναφέρει ο Κολώνας στο ημερολόγιό του (1976, σελ. 9). Ωστόσο, οι σκληροτράχηλοι δύτες της ομάδας του Cousteau, αλλά και οι ενθουσιώδεις Έλληνες δύτες Τσαβλίρης, Βιτάλης, Γάρας, κ.α. διεκπεραίωναν τις απαιτητικές καταδύσεις, παρακάμπτοντας το φόβο των επιπλοκών. «*Καταδυόμασταν δύο φορές τη μέρα. Μία το πρωί 20 λεπτά με τους γαλλικούς πίνακες, αποσυμπίεση στα 6 μέτρα για 3 – 4 λεπτά και μετά στα 3, μία ώρα και κάτι, […] στην καρίνα του Καλυψώ. Και μία το απόγευμα 15 λεπτά […] Αυτό ήταν το πρόγραμμα, έξι μέρες τη βδομάδα*» περιγράφει ο Λευτέρης Τσαβλίρης (2014, 32’). Εδώ αξίζει να σημειώσει κανείς, ότι εκτός από τους Έλληνες δύτες, οι υπόλοιποι πραγματοποιούσαν ατομικές καταδύσεις (solo diving), πρακτική που πλέον αποφεύγεται σχεδόν καθολικά στην κατάδυση, λόγω της μεγάλης επικινδυνότητάς της.



Εικόνα 13. Αποσυμπίεση στην καρίνα του Calypso (©αρχείο Λ. Τσαβλίρη)

ISSN: 2241-9993

Στο κατάστρωμα του *Calypso* υπήρχε θάλαμος αποσυμπίεσης (Cousteau 1980). Η συσκευή αυτή αποτελείται –σε μια απλή περιγραφή - από ένα σφραγισμένο χώρο, στον οποίο με τη βοήθεια μιας αντλίας μπορεί να αυξήσει κανείς την ατμοσφαιρική πίεση, προσομοιάζοντας με αυτό τον τρόπο την αυξημένη υδροστατική πίεση, στην οποία βρίσκεται ο οργανισμός κατά τη διάρκεια μιας κατάδυσης σε βάθος. Με αυτό τον τρόπο, αν κάποιος από της δύτες δεν ολοκληρώσει τη διαδικασία αποσυμπίεσης μέσα στο νερό, μπορεί να τη συνεχίσει στην επιφάνεια μέσα στον θάλαμο. Έτσι μειώνονται τα συμπτώματα της νόσου σε περίπτωση καταδυτικού ατυχήματος.
Η ύπαρξη θαλάμου αποσυμπίεσης σε απόσταση ασφαλείας, αποτελεί πλέον απαραίτητη προϋπόθεση για τη διεξαγωγή οποιασδήποτε απαιτητικής επαγγελματικής - επιστημονικής κατάδυσης. Σε αυτό το πρώιμο στάδιο η ύπαρξη θαλάμου πάνω στο κατάστρωμα του *Calypso* ήταν μια φοβερή καινοτομία. Δεν πρέπει να ξεχνά κανείς άλλωστε ότι ο Cousteau και η ομάδα του ήταν πρωτοπόροι, άνθρωποι που για πρώτη φορά καθιέρωσαν πολλά από τα «*εκ των ων ουκ άνευ*» της σύγχρονης κατάδυσης.
Επειδή το βάθος ήταν πολύ μεγάλο (52 -54 μ.) και η παραμονή στο βυθό των δυτών πολύ μικρή λόγω υψηλών πιέσεων (10΄-15΄) από την αρχή της έρευνας του ναυαγίου αποφασίσθηκε η χρησιμοποίηση της *Soucoupe* . Η *Soucoupe*, ένα μικρό υποβρύχιο χωρητικότητας δύο ατόμων, είχε την ικανότητα να παραμένει πολλές ώρες στο βυθό και με ένα σύστημα να εκτοξεύει υπό πίεση νερό, κάνοντας μικρές ανασκαφικές τομές στο βυθό. Επίσης, το μικρό υποβρύχιο είχε μία αρπάγη, με την οποία μπορούσε να πιάσει και να ανελκύσει αντικείμενα. Με τη *Soucoupe* καταδύθηκαν τόσο ο Cousteau και δύτες της ομάδας του, όσο και ο Έλληνας επιβλέπων αρχαιολόγος Λάζαρος Κολώνας.



Εικόνα 14. Το βαθυσκάφος Soucoupe (©Cousteau archives)

ISSN: 2241-9993

3.3. 2012 - 2015

Η σημαντικότερη καινοτομία της καινούριας αποστολής στη έρευνα του ναυαγίου των Αντικυθήρων είναι η εξής: για πρώτη φορά από το 1900, την έρευνα στο ναυάγιο διεξάγουν οι ίδιοι οι αρχαιολόγοι, που αποκτούν πλέον με τη βοήθεια της σύγχρονης καταδυτικής τεχνολογίας ασφαλή και αποτελεσματική πρόσβαση σε αυτό. Αντί λοιπόν, η υποβρύχια έρευνα να διεξάγεται από ριψοκίνδυνους δύτες, που ανελκύουν τα αντικείμενα και αναφέρουν τις εργασίες τους σε αρχαιολόγους στο κατάστρωμα του σκάφους, οι αρχαιολόγοι έχουν πλέον προσωπική επαφή με τον χώρο της έρευνας και τη διεξάγουν σε ένα μεγάλο βαθμό οι ίδιοι.



Εικόνες 15-16. Αρχαιολογικές εργασίες. Αντικύθηρα 2012 -14 (©ΕΕΑ, WHOI, ΑΡΓΩ)

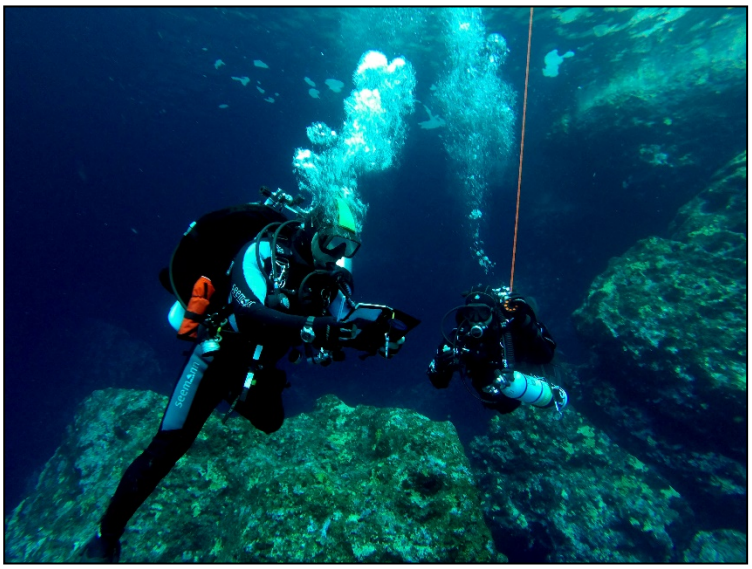
Οι καταδυόμενοι αρχαιολόγοι βέβαια στο Ναυάγιο των Αντικυθήρων δεν είναι οι πρώτοι δύτες-αρχαιολόγοι. Ήδη από το 1959, ο πρώτος Έλληνας αρχαιολόγος – δύτης, Ν. Γιαλούρης, βουτούσε ερευνώντας τα ποντισμένα κατάλοιπα της αρχαίας Φειάς στην Πελοπόννησο (Θεοδούλου 2011, σελ. 21). Ωστόσο, αν και η υποβρύχια έρευνα στην Ελλάδα έχει κάνει πολύ σημαντικά βήματα και έχει να επιδείξει σημαντικές έρευνες, η έρευνα στα Αντικύθηρα είναι η πρώτη, που θα φέρει αρχαιολόγους σε πλήρη ανασκαφική διαδικασία σε τόσο μεγάλο βάθος.

Προκειμένου να μειωθούν στο ελάχιστο οι κίνδυνοι καταδυτικού ατυχήματος, αλλά και να αυξηθεί στο μέγιστο η αποτελεσματικότητα της έρευνας χρησιμοποιούνται σύγχρονες καταδυτικές τεχνολογίες και μεθοδολογίες. Οι πιο σημαντικές είναι η χρήση εξειδικευμένων μιγμάτων αερίων (Trimix – Enriched Air Nitrox), οι συσκευές κλειστού κυκλώματος (Rebreather) και η στολή μίας ατμόσφαιρας (Exosuit).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η υψηλή υδροστατική πίεση έχει ως αποτέλεσμα τη μη ομαλή συνδιαλλαγή των αερίων στο ανθρώπινο σώμα (Brubakk 2003, σελ. 800). Σε μεγάλο βάθος το αδρανές άζωτο εμφανίζει ναρκωτικές ιδιότητες, ενώ το οξυγόνο γίνεται τοξικό αέριο. Προκειμένου να αποφευχθεί αυτός ο κίνδυνος, στο αναπνεύσιμο μίγμα του δύτη, προστίθεται ένα μέρος από ένα άλλο αδρανές αέριο, το ήλιο, με αποτέλεσμα τη μείωση τόσο του ποσοστού του αζώτου, όσο και του οξυγόνου. Προκύπτει δηλαδή ένα μίγμα τριών αερίων, που στην καταδυτική ορολογία ονομάζεται Trimix (TMX).

Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της αποσυμπίεσης, της αποβολής δηλαδή των πεπιεσμένων αερίων από τους ιστούς στο τέλος της καταδυτικής εργασίας, το μίγμα που χρησιμοποιείται (με την ονομασία Enriched Air Nitrox) περιέχει ατμοσφαιρικό αέρα, ο οποίος εμπλουτίζεται με το ασφαλές για το αντίστοιχο βάθος ποσοστό οξυγόνου, ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία.

ISSN: 2241-9993



Εικόνα 17. Κατά τη διάρκεια της αποσυμπίεσης. Αντικύθηρα 2014 (©ΕΕΑ, WHOI, ΑΡΓΩ)

Με αυτό τον τρόπο η κατάδυση γίνεται πιο ασφαλής, αλλά και πιο αποτελεσματική, αφού ο δύτης δεν υποφέρει από τη νάρκωση του αζώτου. Ενδεικτικό είναι να σκεφτεί κανείς, ότι οι δύτες του 1900 βουτούσαν με ατμοσφαιρικό αέρα, που έφτανε με δυσκολία στο μεγάλο βάθος του ναυαγίου, είχε ναρκωτικές ιδιότητες και έβλεπαν μέσα από το μικρό φινιστρίνι του σκαφάνδρου πραγματοποιώντας απαιτητικές υποβρύχιες εργασίες. Η εξέλιξη από τότε μέχρι σήμερα είναι πολύ σημαντική και κάνει τη δουλειά στο βυθό πολύ πιο εύκολη και ασφαλή.

Η τεχνολογία των μικτών αερίων είναι εδώ και χρόνια γνωστή στην τεχνική κατάδυση και εφαρμόζεται σε πολλές καταδυτικές εργασίες, όπως και σε ορισμένες αρχαιολογικές έρευνες σε διεθνές επίπεδο. Ωστόσο, η έρευνα στα Αντικύθηρα αποτελεί την πρώτη εφαρμογή της σύγχρονης μεθοδολογίας αυτού του επιπέδου σε ελληνική έρευνα.

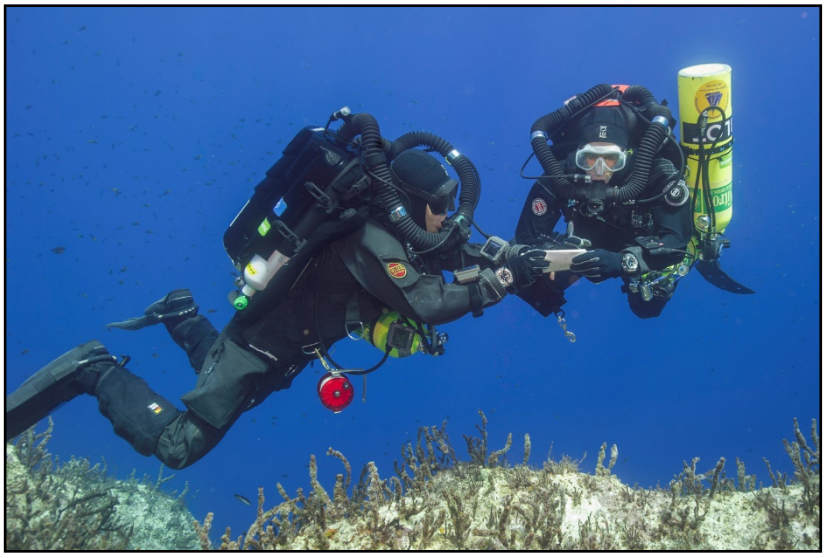
Η τεχνολογία του κλειστού κυκλώματος χρησιμοποιείται εδώ και δεκαετίες από υποβρύχιες στρατιωτικές ομάδες, αλλά και επαγγελματίες δύτες. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία αυτή έχει εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό και αποτελεί αυτή τη στιγμή το επόμενο μεγάλο βήμα στην κατάδυση (Richardson και συνεργ. 1996).

Η βασική αρχή του κλειστού κυκλώματος στηρίζεται στο γεγονός ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του αέρα, που αναπνέει ένας άνθρωπος, εκπνέεται ανεκμετάλλευτο ξανά στην ατμόσφαιρα. Πιο συγκεκριμένα, από μία ανθρώπινη ανάσα, που περιέχει χονδρικά 79% το αδρανές αέριο άζωτο και 21% οξυγόνο, ο οργανισμός δεσμεύει μόνο το 6-7% του οξυγόνου, το χρησιμοποιεί για τις καύσεις του και αποβάλλει το ίδιο ποσοστό σε παραγόμενο διοξείδιο του άνθρακα. Στο ανοικτό κύκλωμα, την αυτόνομη δηλαδή συσκευή κατάδυσης των Cousteau - Gangan, που περιγράφηκε παραπάνω, η αναπνοή γίνεται όπως και στην επιφάνεια και ο εκπνεόμενος αέρας διαφεύγει με τη μορφή φυσαλίδων. Σε ένα κλειστό αναπνευστικό κύκλωμα, ο εκπνεόμενος αέρας επαναχρησιμοποιείται δίνοντας τη δυνατότητα πλήρους εκμετάλλευσης του περιεχομένου οξυγόνου. Τα προβλήματα που πρέπει να λύσει αυτό το σύστημα είναι δύο. Το πρώτο είναι ότι πρέπει να αντικαταστήσει το οξυγόνο, που καίγεται, και το δεύτερο, ότι πρέπει να αποβάλλει με κάποιο τρόπο το διοξείδιο του άνθρακα, που είναι δηλητηριώδες. Ξεκινώντας από το τελευταίο, τη λύση δίνει ο χημικός απορροφητής, μία ουσία, που αντιδρά χημικά με το διοξείδιο και το δεσμεύει εντελώς. Έτσι όλες οι συσκευές έχουν ένα κάνιστρο με τη συγκεκριμένη ουσία, που επιτελεί αυτή την εργασία. Σχετικά με το πρώτο πρόβλημα, η παροχή του οξυγόνου είναι και αυτή, που διαχωρίζει πλέον τα συστήματα κλειστού κυκλώματος σε τρεις βασικές κατηγορίες. Η πρώτη, είναι τα απλά συστήματα χειροκίνητης παροχής, όπως οι στρατιωτικές συσκευές, στα οποία ο δύτης προσθέτει οξυγόνο, όταν ο όγκος του αερίου μειωθεί δραματικά, εξαιτίας της απορρόφησης του διοξειδίου. Η δεύτερη κατηγορία είναι υβριδική, ανάμεσα στο κλειστό και ανοιχτό κύκλωμα (εξ ου και η ονομασία ημίκλειστο) και απλά παρέχει διαρκώς στο κύκλωμα μια σταθερή ποσότητα εμπλουτισμένου με οξυγόνο αέρα, πολλαπλασιάζοντας με αυτό τον τρόπο τη δυνατότητα μιας αναπνοής, και κάθε τόσο απελευθερώνει το περισσευούμενο αέριο. Τα δύο παραπάνω συστήματα όμως έχουν περιορισμό βάθους, διότι η περιεκτικότη-

ISSN: 2241-9993

τα του μίγματος σε οξυγόνο δεν μπορεί να μειωθεί πέρα από ένα συγκεκριμένο όριο, ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της τοξικότητάς του σε μεγάλες πιέσεις. Η πιο εξελιγμένη μορφή rebreather είναι το τελείως κλειστό κύκλωμα, στο οποίο γίνεται μίξη ενός διαλύτη (μίγμα με παρουσία αδρανών αερίων) και οξυγόνου. Η μίξη γίνεται είτε ηλεκτρονικά, είτε χειροκίνητα. Με τον τρόπο αυτό όχι μόνο επιτυγχάνεται η κατάδυση με τη χρήση του μικρότερου δυνατού όγκου αερίου, αλλά και ταυτόχρονα η χρήση του κατάλληλου μίγματος για το εκάστοτε βάθος. Με άλλα λόγια, το σύστημα αυτό ενσωματώνει στη λειτουργία του όλη τη σύγχρονη καταδυτική γνώση και μεθοδολογία.





Εικόνες 18-19. Συσκευή κλειστού Κυκλώματος στα Αντικύθηρα (©ΕΕΑ, WHOI, ΑΡΓΩ)

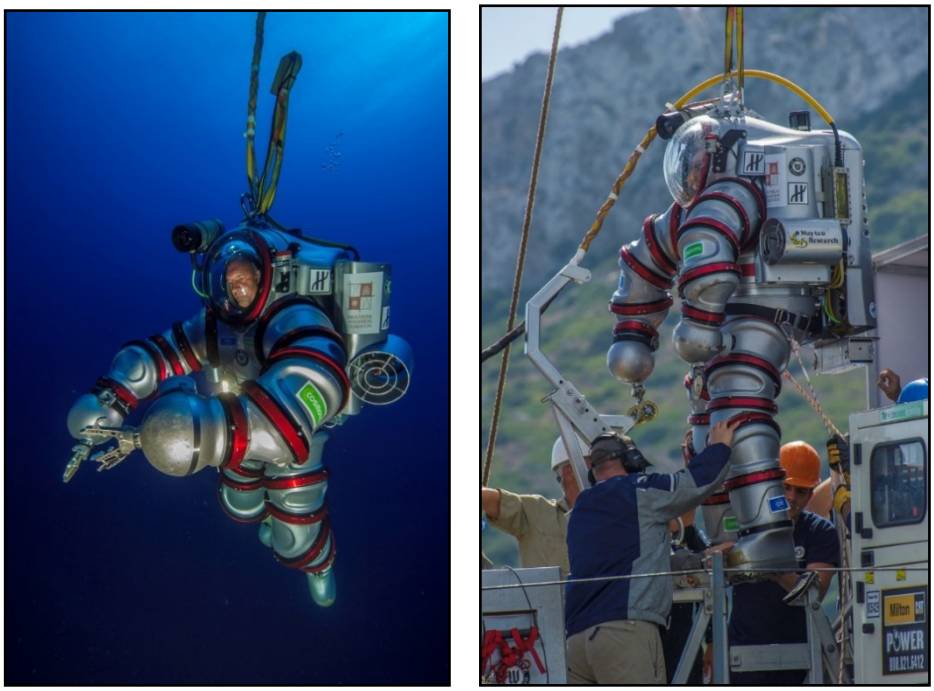
Η χρήση κλειστού κυκλώματος από την ερευνητική ομάδα των Αντικυθήρων στην υποβρύχια έρευνα της Κρήτης το 2011 και τον επόμενο χρόνο στα Αντικύθηρα, ήταν η πρώτη εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας στην υποβρύχια αρχαιολογική έρευνα στην Ελλάδα. Κλειστά κυκλώματα χρησιμοποιούνται περιορισμένα και σε άλλες έρευνες στον κόσμο, η έρευνα των Αντικυθήρων αποτελεί παρόλα αυτά πρωτοπόρο παράδειγμα στην μεθοδολογία της χρήσης τους από αρχαιολόγους σε συστηματικές έρευνες παγκοσμίως.

Το πιο σύγχρονο καταδυτικό δεδομένο στο χώρο της ελληνικής υποβρύχιας αρχαιολογικής έρευνας προέκυψε στα Αντικύθηρα το καλοκαίρι του 2014. Για πρώτη φορά, η υποβρύχια αρχαιολογική έρευνα στην Ελλάδα συμπεριέλαβε στα εργαλεία της ένα σύστημα, που αντιμετωπίζει τα προβλήματα της κατάδυσης ριζικά. Εν ολίγοις, η στολή μίας ατμόσφαιρας μεταφέρει το δύτη σε μεγάλα βάθη, διατηρώντας όμως στο εσωτερικό της πίεση μίας ατμόσφαιρας, άρα αποφεύγοντας οποιαδήποτε από τις επιπτώσεις της υδροστατικής πίεσης στη φυσιολογία του. Στο σύστημα Exosuit, που δοκιμάστηκε το φθινόπωρο του 2014 στα Αντικύθηρα, ο αναπνεύσιμος αέρας προκύπτει μέσα από μια διαδικασία ανακύκλωσης, όπως αυτή που περιγράφηκε παραπάνω στην παρουσίαση του κλειστού κυκλώματος και χρησιμοποιείται στα υποβρύχια και τα βαθυσκάφη. Θα μπορούσε δηλαδή να αποκαλέσει κανείς τη στολή αυτή ένα ατομικό υποβρύχιο.

Η λειτουργία του συστήματος απαιτεί τρία άτομα. Ο χειριστής βρίσκεται μέσα στη στολή και αποτελεί το βασικό χρήστη. Με τη βοήθεια μικρών προωθητηρίων συσκευών (προπέλες) χειρίζεται την κίνηση της στολής μέσα στο νερό, προς όλες τις κατευθύνσεις. Στις απολήξεις των χεριών μπορούν να τοποθετηθούν διάφορα εργαλεία, συνήθως λαβίδες, που ανοιγοκλείνει με μηχανικό τρόπο ο χειριστής από το εσωτερικό. Στο εσωτερικό του κράνους υπάρχουν ενδείξεις σχετικά με το βάθος και την πίεση των αερίων, ενώ εξωτερικά υπάρχει κάμερα. Από τη στολή ξεκινά ένα καλώδιο προς την

ISSN: 2241-9993

επιφάνεια. Εκεί υπάρχει ένα δεύτερο άτομο, που είναι φορτισμένο με την ασφάλεια του ίδιου του καλωδίου. Μέσα από το καλώδιο περνά η οπτική ίνα, που μεταφέρει την εικόνα από την κάμερα, και οι ενδοεπικοινωνίες. Στην άλλη άκρη αυτού του καλωδίου βρίσκεται ο επόπτης, ο οποίος παρακολουθεί την κάμερα, επικοινωνεί με τον χειριστή και έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει τη στολή σαν τηλεκατευθυνόμενο όχημα και να τη φέρει στην επιφάνεια, εάν κριθεί σκόπιμο.
Το βασικό λοιπόν πλεονέκτημα αυτού του συστήματος, το οποίο μπορεί να καταδυθεί σε βάθος 1000 ποδών, ήτοι 330 μέτρων και έχει αυτονομία 48 ωρών, είναι πως μπορεί κανείς να καταδυθεί πρακτικά όσες φορές θέλει και για όσο θέλει στο χώρο της έρευνας. Στην ουσία το σύστημα αυτό είναι ακόμα μια υβριδική τεχνολογία, αφού εξελίσσει την ιδέα της χρήσης του βαθυσκάφους, όπως η Soucoupe, το 1976, με ένα πιο σύγχρονο και πιο εύκολο στη χρήση σύστημα, που προσομοιάζει την κίνηση ενός δύτη. Αντίστοιχα, το βασικό μειονέκτημα της στολής είναι πως, παρόλο που μπορεί να κινηθεί ο δύτης με πολύ μεγαλύτερη ευκολία από ότι με ένα άκαμπτο βαθυσκάφος, αυτή παραμένει αρκετά δύσκολη στην κίνηση για να μπορεί κανείς να εκτελέσει ευαίσθητες εργασίες.



Εικόνες 20-21. Η στολή μίας ατμόσφαιρας Exosuit (©ΕΕΑ, WHOI, ΑΡΓΩ)

Το βασικό ζητούμενο της χρήσης αυτού του συστήματος στην έρευνα των Αντικυθήρων είναι να δοκιμάσει τρόπους, ώστε η στολή να γίνει όσο το δυνατόν αποδοτικότερη, και μέσα από τη χρήση της να εκμεταλλευτεί τα πολύ σημαντικά της πλεονεκτήματα, ανοίγοντας νέους δρόμους στη υποβρύχια έρευνα.

4. Τεκμηρίωση

Όπως αναφέρει και ο K. Muckelroy στο θεμελιώδες έργο του για την ενάλια αρχαιολογία, «*ο πρωταρχικός στόχος της έρευνας είναι ο ανθρώπινος παράγων και όχι τα πλοία, τα φορτία κτλ.* » (1978, σελ. 4). Παραφράζοντας μάλιστα μια φράση του Sir M. Wheeler (1954, σελ. 13) επεξηγεί: «*οι ενάλιοι αρχαιολόγοι δεν φέρνουν στην επιφάνεια πράγματα, αλλά ανθρώπους*» (Muckelroy 1978, σελ. 4). Προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός, ο ερευνητής πρέπει να συγκεντρώσει όσο περισσότερα στοιχεία μπορεί, ώστε οι ερμηνείες του να είναι βασισμένες σε στέρεο έδαφος. Σε αυτή την

ISSN: 2241-9993

πολύτιμη διαδικασία η τεχνολογία αποτελεί ένα νευραλγικής σημασίας παράγοντα, ο οποίος μπορεί να πολλαπλασιάσει τις δυνατότητες συλλογής και επεξεργασίας των πληροφοριών. Επίσης, διευκολύνει την διατύπωση και τον έλεγχο εργασιακών υποθέσεων, την παραγωγή ερμηνειών και την μεταφορά τους στην επιστημονική κοινότητα, αλλά και το ευρύτερο κοινό.

4.1. 1900

Η αλήθεια είναι ότι σε αυτό το πρώιμο στάδιο της αρχαιολογικής έρευνας η ίδια η ιδέα της αρχαιολογικής τεκμηρίωσης είναι καινοτόμος. Με άλλα λόγια η αρχαιολογική σκέψη της εποχής δεν έδινε σε καμία περίπτωση τη σημασία, που δίνει η σημερινή αρχαιολογία στο κομμάτι της τεκμηρίωσης. Υπό αυτή την οπτική γωνία, το γεγονός ότι για πρώτη φορά η ναυαγιαιρεσία γίνεται με οργανωμένο τρόπο, υπό την επίβλεψη αρχαιολόγων και με μεγάλη φροντίδα για τη μεταχείριση των αρχαιοτήτων, ύστερα από την ανέλκυση, είναι ένα τεράστιο βήμα στην καθιέρωση της υποβρύχιας αρχαιολογίας. Παρά την αυτονόητη για την εποχή μη «συστηματική» τήρηση ημερολογίου, αρκετά στοιχεία τεκμηρίωσης της επιχείρησης υπάρχουν στα γραπτά κείμενα των αυτοπτών μαρτύρων, όπως των Εμμανουήλ και Στυλιανού Λυκούδη (1920 και 1950 αντίστοιχα).

4.2. 1953-1976

Οι αποστολές του Cousteau και ιδιαίτερα η ανασκαφή του 1976 με το πλήρωμα του *Calypso* προήγαγε σημαντικά την υποβρύχια έρευνα σε πάρα πολλούς τομείς. Πρώτα από όλα, σε ό,τι αφορά την κοινωνικοποίηση της πληροφορίας στο ευρύ κοινό. Η διαδικασία της τεκμηρίωσης σε ένα πρώτο επίπεδο, ιδωμένη μέσα από μια επιστημονική ματιά, αφορά μόνο τους ερευνητές. Αν αναλογιστεί κανείς όμως ολόκληρη τη διαδικασία παραγωγής της επιστημονικής γνώσης, γίνεται αντιληπτό ότι αυτή δε σταματά μόνο στη συλλογή και την επεξεργασία της αρχαιολογικής πληροφορίας. Ο λόγος ύπαρξης της σύγχρονης αρχαιολογίας είναι η προσπάθεια ερμηνείας φαινομένων του παρελθόντος με σκοπό την διάχυση αυτής της πληροφορίας στον κοινωνικό ιστό. Η συμβολή της αποστολής του 1976 σε αυτό το επίπεδο ήταν καθοριστική. Τόσο η επιστημονική τεκμηρίωση, όσο και κυρίως η επιτυχημένη παρουσίαση του υλικού και της αρχαιολογικής διαδικασίας μέσα από φωτογραφίες και video, έφερε το κοινό σε επαφή με το ναυάγιο των Αντικυθήρων, το ιστορικό του πλαίσιο, αλλά και την υποβρύχια αρχαιολογία ως επιστημονικό κλάδο.



Εικόνα 22. Αντικύθηρα 1976. Κινηματογράφηση (©Αρχείο Λ. Τσαβλίρη)

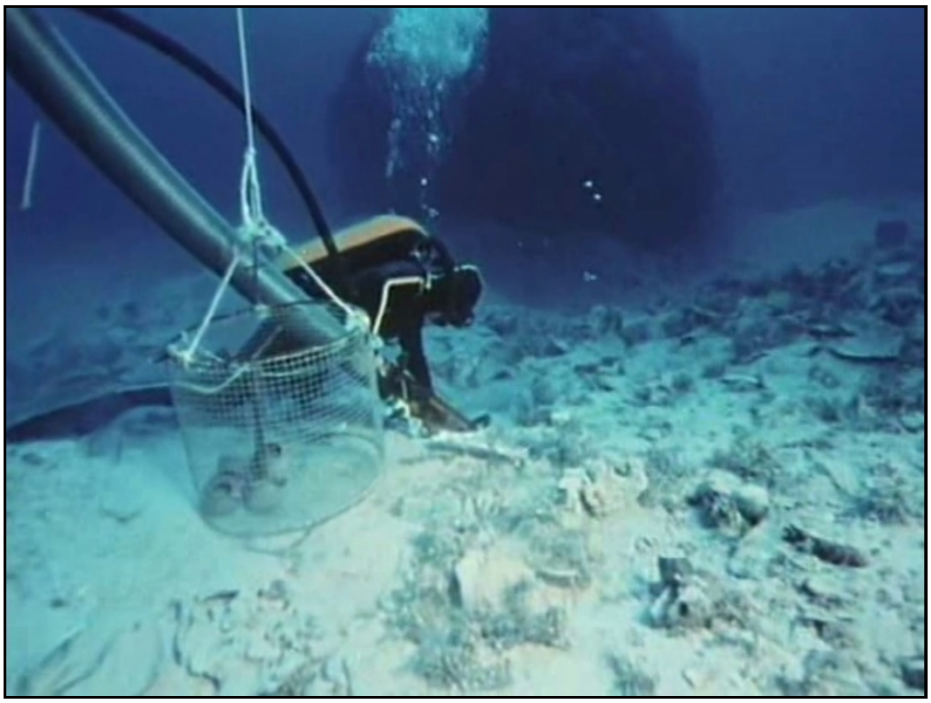
ISSN: 2241-9993

Συνεπώς, προσπαθώντας κανείς να απαριθμήσει τις τεχνολογικές και μεθοδολογικές καινοτομίες της αποστολής πρέπει να αναφερθεί στην υποβρύχια φωτογράφηση και κινηματογράφηση της έρευνας και την παρουσίασή της. Η χρήση των τεχνολογικών δυνατοτήτων του πιο σύγχρονου για την εποχή ερευνητικού σκάφους, βοήθησε σε πολύ σημαντικό βαθμό και σε αυτή την περίπτωση. Η παρουσίαση του αρχαιολογικού έργου έγινε μέσα από έναν ευκρινή και ελκυστικό τρόπο. Πέρα από όλα αυτά, οι αποστολές του Cousteau προσέφεραν σημαντικά και στη συλλογή πληροφοριών, που αφορούν την πιο εξειδικευμένη αρχαιογνωστική έρευνα.

Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα χρήσης αυτής της τεχνολογίας αφορούν την παραγωγή φωτογραφιών και φωτομωσαϊκών, τη σύλληψη εικόνων video και την παραγωγή ταινιών, τη χρήση ηχοβολιστικών συστημάτων κ.α.

Πρωτοπόρος στην υποβρύχια φωτογράφηση, ο Harold Edgerton βρισκόταν, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στην *Calypso* κατά την πρώτη επίσκεψη στο χώρο του Ναυαγίου το 1953. Σύμφωνα με πληροφορίες από το αρχείο του, πραγματοποιήθηκαν τότε υποβρύχιες φωτογραφικές λήψεις και στις δύο θέσεις (Edgerton 1953). Αντιμετώπισαν όμως αρκετά προβλήματα στεγανότητας και άρα λειτουργίας των φωτογραφικών μηχανών. Μάλιστα, η υποβρύχια φωτογράφηση, η οποία δεν περιλαμβανόταν στην άδειά έρευνας, που είχαν από το ελληνικό κράτος, τους κόστισε την «απέλασή» τους από το νησί. Κατά τη διάρκεια καταδύσεων το 2014, βρέθηκε το μεταλλικό σπείρωμα ενός από τους λαμπτήρες, που χρησιμοποιήθηκαν σε κάποια από τις αποστολές, το οποίο έσπασε και έμεινε στο βυθό για 40 περίπου χρόνια, ως τεκμήριο των εργασιών της ομάδας του Cousteau και του Edgerton.

Πριν αρχίσει οποιαδήποτε έρευνα του ναυαγίου το 1976 συμφωνήσαν ο Λ. Κολώνας με τον Cousteau να φωτογραφηθεί και να γίνει ένα φωτομωσαϊκό, πάνω στο οποίο θα προγραμματίζονταν οι εργασίες της έρευνας (Κολώνας 1976, σελ. 9). Η φωτογράφηση στο βυθό έγινε από τρεις δύτες. Οι δύο δύτες κρατούσαν τεντωμένο ένα κάνναβο που είναι διηρημένος με μαύρη μονωτική ταινία ανά ένα μέτρο. Το συνολικό μήκος του καννάβου ήταν 10μ. Ο τρίτος δύτης έπλεε ψηλότερα σε τέτοιο ύψος, που να μπορεί με τη φωτογραφική μηχανή αφ' ενός να βλέπει καθαρά την περιοχή, που θα φωτογράφιζε, αφ' ετέρου και ολόκληρο το μήκος του καννάβου. Η μετακίνηση του καννάβου γινόταν ανά 5μ. Η φωτογράφηση, αν και πολύ δύσκολη στην εκτέλεσή της, κάλυψε μια απόσταση 40Χ10μ. Το σχήμα του φωτομωσαϊκού ήταν ακανόνιστο, γιατί σε τόσο βάθος όλα γίνονταν με ταχύτητα. Μετά την ανάδυση των δυτών εμφανίζονταν τα αρνητικά και άρχιζε η προσαρμογή των φωτογραφιών, η οποία ήταν ιδιαίτερα δύσκολη λόγω του φαινομένου της παράλλαξης (το οποίο οφείλεται στη διαφορετική γωνία λήψης).



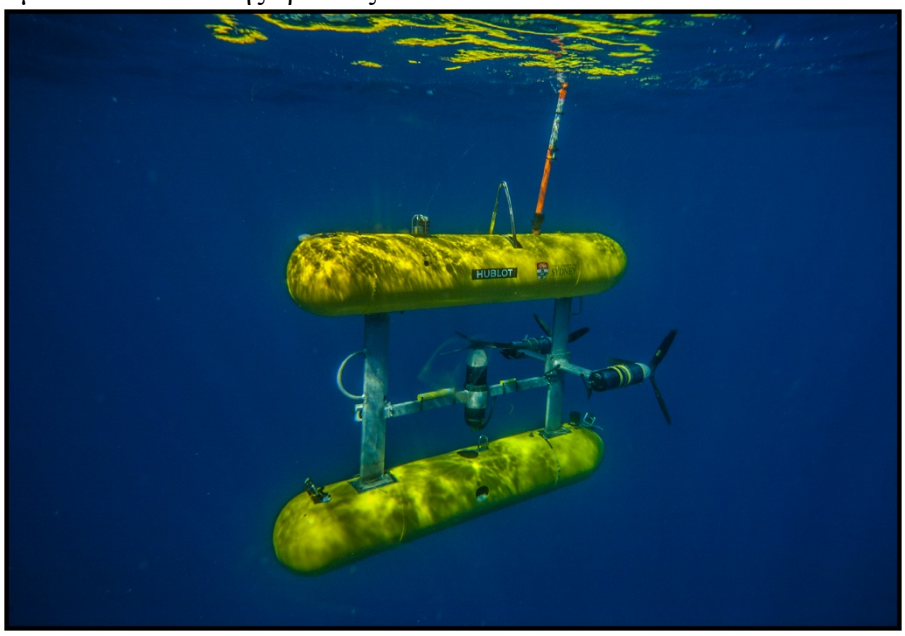
Εικόνα 23. Αντικύθηρα 1976. Στιγμιότυπο από το ντοκιμαντέρ του 1980 (Cousteau 1980)

ISSN: 2241-9993

4.3. 2012-2015

Σε ό,τι αφορά τη σύγχρονη έρευνα, οι τεχνολογίες τεκμηρίωσης, που χρησιμοποιούνται είναι δοκιμασμένες μέθοδοι αποτύπωσης και καταγραφής της αρχαιολογικής πληροφορίας. Ωστόσο, στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας, η οποία είναι ακόμα στην αρχή της, γίνεται μια μεγάλη προσπάθεια, τόσο να εξελιχθούν οι τεχνολογίες αυτές, όσο και να δοκιμαστούν νέα πρωτοποριακά συστήματα.

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο πρέπει να ενταχθεί η διαδικασία χαρτογράφησης της ευρύτερης περιοχής του ναυαγίου με τη χρήση συστημάτων τρισδιάστατης φωτογραμμετρίας και ηχοβολιστικών συστημάτων. Με τη χρήση ηχοβολιστικών συστημάτων (σαρωτής πλευρικής σάρωσης [side scan sonar] και πολυδεσμικός σαρωτής [multibeam]) σαρώθηκε ολόκληρη η νοτιοδυτική ακτή του νησιού και αποδόθηκε τρισδιάστατα η μορφολογία του πυθμένα. Στη συνέχεια έγινε η αποτύπωση της περιοχής του ναυαγίου και συγκεκριμένα το σημείο ανασκαφής του 1976 με τρισδιάστατη φωτογραμμετρία. Η φωτογραμμετρία αποτελεί μια ιδιαίτερα δημοφιλή πλέον διαδικασία αποτύπωσης και οι δυνατότητες ακρίβειας και ταχύτητας επεκτείνονται διαρκώς. Με αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκε ο χάρτης της περιοχής του ναυαγίου, ο οποίος και χρησιμοποιήθηκε για τη σχεδίαση των επομένων σταδίων της έρευνας.



Εικόνα 24. Αυτόνομο Υποβρύχιο Όχημα στα Αντικύθηρα. 2014 (©ΕΕΑ, WHOI, ΑΡΓΩ)

Το ιδιαίτερο στην περίπτωση της σύγχρονης έρευνας των Αντικυθήρων είναι το γεγονός ότι πολλά από τα απαραίτητα όργανα για την διαδικασία της χαρτογράφησης είναι τοποθετημένα σε ένα Αυτόνομο Υποβρύχιο Όχημα (Autonomous Underwater Vehicle). Το όχημα αυτό δηλαδή προγραμματίζεται από πριν και δεν χρειάζεται χειριστή κατά τη διάρκεια της πλεύσης του. Αφού γίνουν οι απαραίτητες ρυθμίσεις και δοθούν τα στοιχεία της διαδρομής, το όχημα ξεκινά και διεκπεραιώνει την εντεταλμένη πορεία και συλλογή δεδομένων αυτόνομα. Στη συνέχεια, τα στοιχεία που συνέλεξε μεταφορτώνονται σε Η/Υ και γίνεται η επεξεργασία τους.

Με τρισδιάστατο τρόπο γίνεται πλέον και η τεκμηρίωση των κινητών ευρημάτων. Χρησιμοποιώντας σύγχρονα συστήματα δημιουργίας τρισδιάστατων απεικονίσεων μέσα από φωτογραφίες, δημιουργούνται ψηφιακά ομοιώματα των κινητών ευρημάτων, με πολλές δυνατότητες επεξεργασίας της μορφής, της υφής και άλλων χαρακτηριστικών τους.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία, καθώς και τα ψηφιοποιημένα στοιχεία παλαιότερων ερευνών ενσωματώνονται σε ένα Γεω-Πληροφορικό Σύστημα (Geographic Information System), αρκετά συνηθισμένο πλέον σε ολοένα και περισσότερες έρευνες, λόγω της ευκολίας πρόσβασης, που παρέχει σε όλες τις ερευνητικές πληροφορίες. Στην περίπτωση μιας αρχαιολογικής έρευνας, πάνω σε ένα ή περισσότερα υπόβαθρα χωρικής αποτύπωσης σημειώνονται οι θέσεις των ευρημάτων και με εύκο-

ISSN: 2241-9993

λο τρόπο μπορεί κανείς να έχει πρόσβαση άμεσα στις πληροφορίες του καθενός από αυτά μέσα σε ένα ψηφιακό περιβάλλον συνδέσμων, που επικοινωνούν τους διαφορετικούς τύπους πληροφορίας

Επίλογος

Η έρευνα στα Αντικύθηρα έχει την τύχη να συγκεντρώνει το ιδιαίτερο ενδιαφέρον τόσο των ειδικών, όσο και του κοινού. Από την πρώτη μέρα, ως και σήμερα. Το γεγονός αυτό, που οφείλεται πιθανώς στα εντυπωσιακά του ευρήματα, στο μυστήριο που περικλείει το Μηχανισμό, αλλά και στην έντονη κοινωνική του διάσταση, ως ένα από τα πλέον συνυφασμένα με την εθνική αφηγηματική αρχαιολογικά σύνολα, έδωσε την ευκαιρία σε όλες τις αποστολές να συγκεντρώσουν τόσο το ενδιαφέρον, όσο και τις απαραίτητες πηγές για να υποστηρίξουν πρωτοποριακές ερευνητικές προσπάθειες.

Στις περισσότερες περιπτώσεις ο καινοτόμος χαρακτήρας των τεχνολογιών, που χρησιμοποιήθηκαν στην υποβρύχια έρευνα του ναυαγίου, αφορά όχι τόσο το γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά γενικά, αλλά συγκεκριμένα στο πλαίσιο μιας αρχαιολογικής έρευνας. Οι περισσότερες από τις τεχνολογίες που παρουσιάστηκαν αποτελούν ακόμα και σήμερα τεχνολογίες, που εξελίσσονται στο πλαίσιο άλλων επιστημονικών κλάδων, που είναι πιο άμεσα συνδεδεμένοι με τον τομέα της εμπορικής εφαρμογής τους και κατά συνέπεια δαπανούν μεγαλύτερα ποσά στην έρευνα και την εξέλιξή τους. Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται δημιουργική σκέψη και υπομονή για να μπορέσει κανείς να ενσωματώσει αυτές τις τεχνολογικές δυνατότητες με αποτελεσματικό τρόπο στην αρχαιολογική έρευνα. Από ό,τι φαίνεται η έρευνα στο ναυάγιο των Αντικυθήρων έχει να επιδείξει πολλά επιτυχημένα παραδείγματα, που αφορούν αυτή τη διαδικασία.

Μια άλλη πτυχή αυτής της σκέψης, που πρέπει να διευκρινιστεί, είναι και το γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις οι τεχνικές αυτές έχουν δοκιμαστεί και στο παρελθόν περιορισμένα και σε άλλα μέρη του κόσμου σε αρχαιολογικές έρευνες, αλλά είναι η πρώτη φορά που αποτελούν μέρος της μεθοδολογίας σε μία έρευνα στο αρχαιολογικό περιβάλλον της Ελλάδας.

Οι προοπτικές της συνέχισης της έρευνας στα Αντικύθηρα είναι πολύ σημαντικές. Από τη μία γιατί το αρχαιολογικό υλικό, που κρύβεται στο βυθό, θα συμπληρώσει τις γνώσεις μας για το ναυάγιο και την εποχή του και από την άλλη, γιατί ακόμα και σήμερα η έρευνα στα Αντικύθηρα αποτελεί πεδίο εξέλιξης της τεχνολογίας και της μεθοδολογίας τη υποβρύχιας έρευνας στην Ελλάδα και τον κόσμο. Εις αναμονή λοιπόν νέων δεδομένων και στα δύο πεδία…

ISSN: 2241-9993

Βιβλιογραφία

"Ανακοίνωσις. Περί των εκ της παρά τα Αντικύθηρα Θαλάσσης αγαλμάτων", *ΠΑΕ* 1900, (1901), 95-102.
Acott, C., "Oxygen toxicity: A brief history of oxygen in diving". *South Pacific Underwater Medicine Society Journal* 29 (3), 1999.
Bevan, J., *The Infernal Diver: the lives of John and Charles Deane, their invention of the diving helmet, and its first application to salvage, treasure hunting, civil engineering and military uses*. London, 1996.
Brubakk, A. O., *Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving*, 5th Rev ed. United States: Saunders Ltd., 2003.
Blot, J. Y.. Underwater Archaeology. Exploring the World beneath the Sea, (transl. Alexandra Campbell), London: Thames & Hudson Ltd (1996[2]) (πρώτη έκδοση στα γαλλικά το 1995).
Cederland, C., *The Old Wrecks of the Baltic Sea.* BAR International Series No. 186. BAR, Oxford, 1983.
Cousteau J. Y. & Dumas, F., *Le Monde du silence*, Éditions de Paris: Paris, 1953.
Cousteau, J. Y., *The Cousteau Odyssey: Diving for Roman Plunder* (video), παραγωγή: W. Scott, αφηγήτρια: Μελίνα Μερκούρη, 1980.
Dumas, F., (translated by Facey, P.A.), 30 Centuries Under the Sea, Crown Publishers: New York, 1976, σελ. 48-60.
Edgerton, H.E., *Harold Eugene Edgerton. Papers, 1899-1990*, MIT Library, Box 31, MC 25, Ref No: 3 9080 03220 5869.
Θεοδούλου, Θ., "Συνοπτική αναδρομή στην υποβρύχια αρχαιολογική έρευνα στην Ελλάδα", *Αριάδνη,* Ρέθυμνο, 2011, σελ. 13-84.
Kabbadias, P., "The Recent Finds off Cythera", *The Journal of Hellenic Studies*, 21, 1901, σελ. 205-208.
Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*. Αθήνα 2012.
Κολώνας, Λ., *Ημερολόγιο Έρευνας Αντικυθήρων, ΥΠΠΕ - Cousteau*, Αρχείο Εφορείας Εναλίων Αρχαιοτήτων, 1976.
Κολώνας, Λ., "Οι έρευνες του 1976". Στο: Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*. Αθήνα 2012, σελ. 32-34.
Λυκούδης, Ε. Σ., "Οι Αρχαιολογικοί Θησαυροί των Αντικυθήρων. Ημερολόγιο αυτόπτου της ανελκύσεως". *Σελίδες*, Αθήνα, 1920, σελ. 3-31.
Λυκούδης, Σ. Ε., "Ο Περίφημος Θησαυρός της νήσου των Αντικυθήρων. Αρχαιολογικά Σημειώματα, *Ήλιος*, τεύχη 343 (σελ.482), 345, (σελ. 563), 347 (σελ. 626), Αθήνα, 1950.
Marchant, J., *Decoding the Heavens. Solving the mystery of the world's first computer.* London, 2008.
Muckelroy, K., *Maritime Archaeology*. Cambridge, 1978.
Παλαιοκρασσά, Ν., "Μεταλλικά μικροαντικείμενα και σκεύη", Στο: Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*. Αθήνα 2012, σελ. 116-131.
Price, D. De Solla, "Gears from the Greeks. The Antikythera Mechanism: A Calendar Computer from Ca. 80 BC", *Transactions of the American Philosophical Society* 64(7), (1974), σελ. 1-70.
Price, D. De Solla, *Γρανάζια από τους Έλληνες. Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων* (Ν. Α. Οικονόμου, Μτφ. / Θ. Ιωαννίδης, επιμ.), Θεσσαλονίκη 1995 (Αρχική έκδοση στα αγγλικά, 1974).
Ρεδιάδης, Π. Δ., "Ο εξ Αντικυθήρων Αστρολάβος". Στο: Σβορώνος, Ι. Ν., (επιμ.) 1903. *Το εν Αθήναις Εθνικό Μουσείον*. Αθήνα, 1903, σελ. 44-52.

ISSN: 2241-9993

Richardson, D., Menduno, M., Shreeves, K. (eds). "Proceedings of Rebreather Forum 2.0", *Diving Science and Technology Workshop*, 1996, σελ. 286.
Σβορώνος, Ι. Ν., *Το εν Αθήναις Εθνικό Μουσείον*. Αθήνα, 1903, σελ. 1-86.
Somers, L.H, *Εκπαιδευτικό Εγχειρίδιο για καταδύσεις προχωρημένου NITROX της IANTD*, 1995.
Τα ευρήματα του ναυαγίου των Αντικυθήρων, ΑΕ 1902, σελ. 145-172.
Τσαβλίρης, Λ., *Συνέντευξη στους Θ. Θεοδούλου και Α. Τούρτα* (ηχητικό), Κύθηρα, 5 Οκτ 2014.
Τσέλεκας, Π., "Τα νομίσματα". Στο: Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*. Αθήνα 2012, σελ. 216-219.
Τσιποπούλου, Μ., Αντωνίου, Μ. and Μασουρίδη, Σ., "Οι έρευνες των ετών 1900-1901". Στο: Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*. Αθήνα 2012, σελ. 18-31.
U.S. Navy Diving Manual, Revision 6, 15 April 2008.
Βλαχογιάννη, Ε. "Τα γλυπτά". Στο: Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*. Αθήνα 2012, σελ. 62-115.
Weinberg, G. D., Grace, V. R., Edwards, G. R., Robinson, H. S., Throckmorton, P., Ralph, E. K., "The Antikythera Shipwreck Reconsidered". *Transactions of the American Philosophical Society* 55(3), (1965), 3-48.
Wheeler, R. E. M., *Archaeology from the Earth*. Oxford, 1954

Εφημερίδες
Ακρόπολις
Εμπρός
Εστία
ΣΚΡΙΠ
Σφαίρα

Συντομογραφίες
ΑΕ = Αρχαιολογική Εφημερίς
ΙΑΑΕ = Ιστορικό Αρχείο Αρχαιολογικής Υπηρεσίας
ΠΑΕ = Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρίας

ISSN: 2241-9993

Technological innovations applied in the underwater survey of the Antikythera shipwreck

Conference Presentation for the B' Symposium
"New Technologies in Service to Our Knowledge of Antiquity", 2015

- Alexandros Tourtas, Archaeologist, Ph.D. Candidate Aristotle University of Thessaloniki
  E-mail: alextourtas@gmail.com
- Dr. Theotokis Theodoulou, Archaeologist, Ephorate of Underwater Antiquities
  E-mail: t_theotokis@hotmail.com
- Dr. Dimitris Kourkoumelis, Archaeologist, Ephorate of Underwater Antiquities
  E-mail: d.kourkoumelis@gmail.com
- Dr. Brendan Foley, Archaeologist, Woods Hole Oceanographic Institution, USA
  E-mail: bfoley@whoi.edu

ISSN: 2241-9993

Περίληψη

Το ναυάγιο των Αντικυθήρων αποτελεί μια ιδιαίτερη και πολύ ενδιαφέρουσα περίπτωση εφαρμογής της τεχνολογίας στην υπηρεσία της αρχαιολογικής έρευνας. Η μακρά πορεία της μελέτης του στο χρόνο, από το 1900 που εντοπίστηκε έως και σήμερα, οι προκλήσεις του υποβρύχιου περιβάλλοντος και το εύρος της αρχαιολογικής πληροφορίας που χαρακτηρίζει τα ευρήματά του, το καθιστούν μία μοναδική ευκαιρία για την εφαρμογή και εξέλιξη τεχνολογιών αρχαιογνωστικής έρευνας.

Η έρευνα του ναυαγίου των Αντικυθήρων εκτείνεται χρονικά σε μία περίοδο 100 και πλέον χρόνων με σημαντικότερους σταθμούς την ανακάλυψη του ναυαγίου την άνοιξη του 1900 και την επιχείρηση ανέλκυσης των αρχαιοτήτων την περίοδο 1900 -1902, την επιστροφή στο χώρο του ναυαγίου από την καταδυτική ομάδα του J. Y. Cousteau, αρχικά στη δεκαετία του 1950 και στη συνέχεια το 1976 στο πλαίσιο συνεργατικής έρευνας με Έλληνες αρχαιολόγους, και τέλος τη σύγχρονη έρευνα, που διενεργείται από το 2012 μέχρι και σήμερα, από την Εφορεία Εναλίων Αρχαιοτήτων του Υπουργείου Πολιτισμού, Παιδείας και Θρησκευμάτων σε συνεργασία με το ωκεανογραφικό ινστιτούτο Woods Hole, των Η.Π.Α. και με την αρωγή ειδικών συνεργατών και υποστηρικτών. Φυσικά, στο ενδιάμεσο αυτών των επί τόπου ερευνητικών προσπαθειών, αναπτύχθηκε η έρευνα που αφορά τα ανελκυσθέντα ευρήματα, όπως το πλήθος των λίθινων και χάλκινων αγαλμάτων, την κεραμική, το πλοίο, τα ιδιαίτερα εντυπωσιακά γυάλινα αγγεία, τα κοσμήματα, τα ανθρώπινα κατάλοιπα και ιδιαίτερα το μοναδικό εύρημα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων.

Στο παρόν κείμενο παρουσιάζονται διαχρονικά οι καινοτόμες τεχνολογίες που δοκιμάστηκαν στην έρευνα του ναυαγίου των Αντικυθήρων, είτε αφορούν τη δυνατότητα προσέγγισης του ναυαγίου από τους ερευνητές στο βυθό, είτε την εξαγωγή πληροφοριών και την τεκμηρίωση της αρχαιολογικής διαδικασίας μέσω μηχανικών συστημάτων.

Χαρακτηριστικά είναι τα παραδείγματα της χρήσης καταδυτικών συσκευών στην υπηρεσία της υποβρύχιας αρχαιολογικής έρευνας, όπως το σκάφανδρο στις επιχειρήσεις των αρχών του 20ου αιώνα, η συσκευή αυτόνομης κατάδυσης από την ομάδα του πλοιάρχου Cousteau, καθώς επίσης η συσκευή κλειστού κυκλώματος και η στολή ατμοσφαιρικής πίεσης (atmospheric diving suit) που χρησιμοποιήθηκαν στις πιο πρόσφατες έρευνες.

Ομοίως, η εξέλιξη του εξοπλισμού υποβρύχιας φωτογραφίας από τον καθηγητή του MIT, H. Edgerton, που συμμετείχε στην ομάδα του Cousteau, η δημιουργία φωτο-μωσαϊκών και η τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου του ναυαγίου, με τη βοήθεια ρομποτικών μέσων, που παρήγαγε η έρευνα του 2014, αποτελούν καινοτόμες τεχνικές οι οποίες εφαρμόσθηκαν στην έρευνα του ναυαγίου των Αντικυθήρων.

Τέλος, μια πληθώρα ειδικών και περίπλοκων τεχνικών, πρωτοποριακών για την εποχή τους αφορά τη μελέτη των ευρημάτων. Ήδη από τα πρώτα χρόνια της μελέτης, αμέσως μετά την ανέλκυση, έγιναν ειδικές χημικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό των κραμάτων χαλκού, απαραίτητες για το σχεδιασμό της συντήρησης των αγαλμάτων. Οι αρχαιομετρικές έρευνες συνεχίστηκαν και διευρύνθηκαν, όπως για παράδειγμα στη χρονολόγηση των οργανικών ευρημάτων του πλοίου με τη χρήση C14. Ιδιαίτερα στη μελέτη του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, παρατηρεί κανείς την εξέλιξη της αρχαιογνωστικής έρευνας μέσα από τις πολύπλοκες τεχνολογίες αποτύπωσης τόσο του εξωτερικού, όσο και του εσωτερικού των θραυσμάτων.

Το μέλλον επιφυλάσσει και άλλα ευρήματα, όπως αντίστοιχα και νέα ερωτήματα, στους ερευνητές του ναυαγίου. Η αρχαιογνωστική τεχνολογία στάθηκε ως τώρα, και σίγουρα θα αποτελέσει και στη συνέχεια, πολύτιμο σύμμαχο στην προσπάθεια της αρχαιολογικής ερμηνείας αυτού του σημαντικού αρχαιολογικού συνόλου.

ISSN: 2241-9993

Abstract
The Antikythera Wreck represents a unique example of implementation and development of technological methods and systems aiding archaeological research. Since 1900, when the wreck was discovered, the challenges posed by the underwater environment and the variety of archaeological data hidden in the multifarious artifacts has been yielding great opportunities for technological innovation.
Research on the Antikythera Wreck spreads over a century, covering a wide range of questions. Milestones in this long history are the discovery of the wreck in 1900 and the subsequent salvage operations, the exploration of the site by Ct Cousteau's team in the 1950s and in 1976 in collaboration with Greek archaeologists and finally the most recent research project "Return to Antikythera", carried out since 2012 by the Ephorate of Underwater Antiquities of the Hellenic Ministry of Culture, Education and Religious Affairs, supported by Woods Hole Oceanographic Institution and a number of collaborators and sponsors. Of course, during the intervals of the aforementioned in situ operations, research on the finds of the wreck that were recovered from the site, such as the many statues, marble or bronze, ceramics, parts of the ship, impressive glassware, jewelry, human remains and especially the Antikythera Mechanism, developed immensely.
In this text we present the major technological novelties that had been tested in the underwater study of the Antikythera Wreck, whether they are concerning methods of approaching the site in order to excavate and recover artifacts or documentation and extraction of archaeological information using advanced methodologies and systems.
One can easily consider as most distinguished examples of this technological innovation in underwater survey, the utilization of the diving suit in the 1900s, Cousteau's Self Contained Underwater Breathing Apparatus used during his team expeditions and the Closed Circuit Rebreather, as well as the Atmospheric Diving Suit deployed in the recent project in 2014 on Antikythera.
Similarly, the development of underwater photographic equipment by MIT professor H. Edgerton, who took part in Cousteau's missions on Antikythera, the creation of photo-mosaics and the 3D mapping of the site using Autonomous Underwater Vehicles created during 2014 expedition are mere samples of the technological innovations applied in the study of the site.
Finally, a vast number of specialized pioneering techniques were used in the study of the finds. From the first moment, immediately after the recovery, the importance of the finds dictated the most delicate treatment of the valuable antiquities. For example, the alloys of the bronze statues were chemically examined, in order to plan their conservation techniques. During the long study of the assemblage, more examinations were executed e.g. carbon dating of the ship's hull. Especially in the study of the Antikythera mechanism one can follow the evolution of archaeometric technologies through various implementations trying to analyze both the exterior and the interior of the fragments.
Future withholds more finds - and respectively new questions - to the wreck's researchers. Technology has provided and will continue to provide the means to unravel the mystery and lead us to more stable interpretations concerning this valuable archaeological assemblage.

Λέξεις-Κλειδιά: Ναυάγιο Αντικυθήρων, Ενάλια Αρχαιολογία, Τεχνολογία

Keywords: Antikythera Shipwreck, Maritime archaeology, Technology

1. Introduction

The Antikythera Shipwreck is one of the most famous archaeological ensembles in the history of maritime archaeology. For more than a century, since its discovery in 1900, it has played an important role in the development of the discipline, not only in Greece, but also at an international level.

The Antikythera Shipwreck represents a unique example of implementation and development of technological methods and systems aiding archaeological research. Since 1900, the challenges posed by the underwater environment and the variety of archaeological data hidden in the multifarious artefacts yielded great opportunities for technological innovation.

Research on the Antikythera Shipwreck spreads over a century, covering a wide range of questions. Milestones in this long history are: a) the discovery of the wreck in 1900 and the subsequent salvage operations, b) the exploration of the site by Ct. Cousteau's team in the 1950s and in 1976, in collaboration with Greek archaeologists, and finally c) the most recent research project "Return to Antikythera", which has been carried out since 2012 by the Ephorate of Underwater Antiquities of the Hellenic Ministry of Culture, Education and Religious Affairs, supported by Woods Hole Oceanographic Institution and a number of collaborators and sponsors. Of course, during the intervals of the aforementioned *in situ* operations, research on the finds of the wreck that were recovered from the site, such as the many statues, marble or bronze, ceramics, parts of the ship, impressive glassware, jewelry, human remains and especially the Antikythera Mechanism, developed immensely.

The purpose of this short presentation is to highlight the technological methods that were applied in the underwater survey of the Antikythera Shipwreck and particularly the ones that were uniquely developed and tested in this research endeavour.

The text is structured following two lines of thought. The first one divides the facts into two major categories: diving and documentation. Diving technology has been crucially changed through the years and most of the newly developed equipment has been tested within the context of maritime archaeology in the survey of the Antikythera Shipwreck. The task of providing efficient documentation of underwater archaeological sites has always been a challenge in underwater archaeology. Once again innovated technics were tested in the survey of the wreck amongst the most efficient contemporary methods of each expedition. Which bring us to the second structural element of the text. In order to present the evolution of technology in a most coherent way, a linear timeline is followed, from the discovery in 1900 to the most recent survey in 2015.

The technologies described in it have been chosen due to their innovative nature as examples of first implementation in underwater research either on a global scale or locally, in Greece. In either case, they are showing the great development of methodology in Greek underwater archaeology during the last 115 years.

1.1. Scholarly context

Up till now, the Antikythera wreck has been meticulously studied as an archaeological find on several occasions from the date of its discovery to the present day. The earliest archaeological publications concerning the valuable cargo were published in the early 20th century. These publications focus on the "valuable" items, mostly the statues and especially the bronze ones. In them one can find the first attempts to interpret the site and make assumptions about the ship's trip and the wreckage conditions. In time though, the attention of researchers shifted to the notorious Antikythera Mechanism and the production of publications was raised significantly. Cousteau's expeditions boosted interest in the Antikythera shipwreck by revealing the site to the public through images and video, while providing researchers with new data. Moreover, the recent exhibition in the National Archaeological Museum in Athens "*The Antikythera Shipwreck. The ship, the treasures, the Mechanism*"

ISSN: 2241-9993

was a great success by bringing once more audiences closer to the story of the site. During the preparation of the exhibition a new scrutinized study of the finds was carried out. The results were published in the exhibition's guide (Kaltsas et al. 2012). The data from previous expeditions presented in the current text derive from the study of these publications, whereas the data concerning the contemporary "Return to Antikythera" project are presented through the personal experience and knowledge of the authors.

2. The story of the underwater research on the Antikythera shipwreck.

2.1. The discovery and the first operations (1900-1901)

It was just before Easter in 1900 when captain Kontos and his crew reached Antikythera (AE 1902, p. 2; Σβορώνος 1903, p. 1; Price 1974, p. 5; Marchant 2008, p. 10). Due to the notoriously bad weather at cape Malea, they had to spend a few days on Antikythera.



Figure 1. Location.

Antikythera is a very small island in the maritime passage between mainland Greece and Crete, from the Aegean and the Black Sea towards the West. During his reconnaissance flight above Antikythera in 1976 Cousteau described it as: "*A shard of stone in the surrounding sea"* (Cousteau 1908, 06:07).

The divers decided to go to the lee side and dive to seek for sponges in the vicinity. They came across a mound of artefacts, which was spread in an area between 45 and 60 m. and comprised bronze and marble works of art (ΠΑΕ 1900, pp. 95-102; Kabbadias, 1901; Λυκούδης 1920; Weinberg et al. 1965; Vlachogianni 2012). On November 6th (Εστία 1900, 23 Nov; ΣΚΡΙΠ 1900, 23 Nov; Σβορώνος 1903, p. 29; Price 1974, p. 8) the captain met with the minister of Ecclesiastic Affairs and Public Education, Spyridon Stais, in Athens to inform him about the wreck he had found.

ISSN: 2241-9993

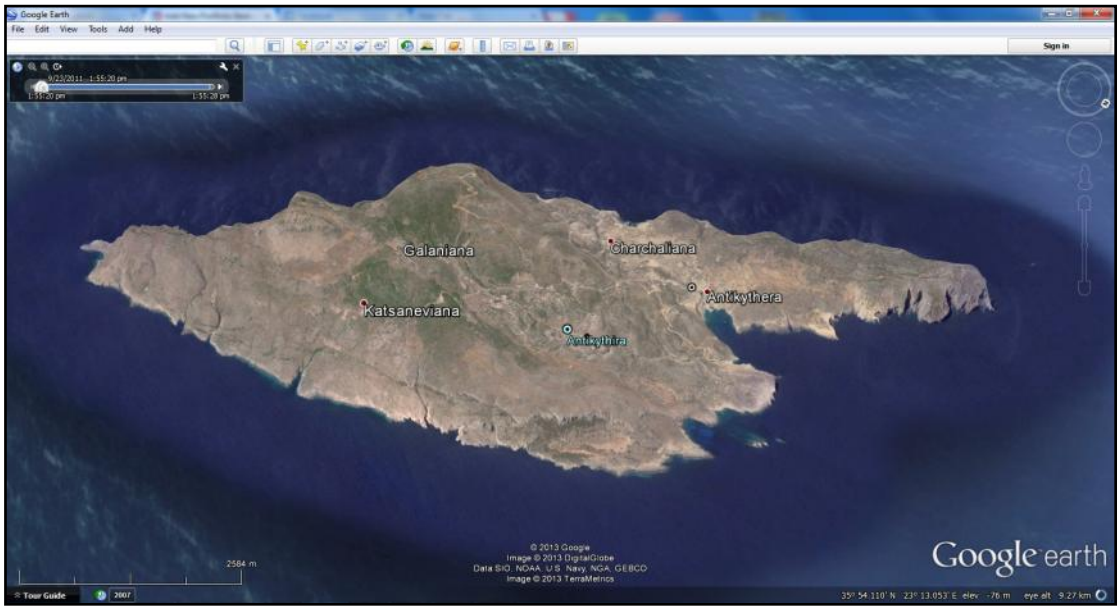


Figure 2. Geomorphology of Antikythera (©Google Earth)

The reaction of the Greek government was rapid. Within a few days, a navy transport ship called *Mykale* took professor of archaeology, A. Oikonomou to Antikythera, accompanied by Kontos and his crew, in their two small operation boats. They all arrived on the site on the 24th of November 1900 (Σβορώνος 1903, p. 2).

Despite the heavy weather conditions, the salvage operation continued throughout the winter. The divers were descending continuously recovering find after find with extra care.

By Christmas 1900 more impressive artefacts had been salvaged: marble statues, mostly of men and horses, a bronze sword, a bronze lyre, a colossal marble bull and various fragments of bronze fu rniture ornamentation (Σβορώνος 1903, p. 4).

The public impact of the news of the discovery was immense. Crowds flocked to see the treasures from their nation's past, while the newspapers reported on every detail of the operations.



Figure 3. The Divers on the spot (Σβορώνος 1903, p. 1)

ISSN: 2241-9993

As time passed the number and importance of the finds decreased and a conclusion was made that "no valuable objects remain on the seabed" (HAAC without Prot. No., 31 July 1901; Σβορώνος 1903, p. 13). The great difficulties forced the officials to end the salvage operation, even though there were some amongst them, who still held a strong belief that more artefacts were yet hidden under the seabed (Λυκούδης 1920, p. 26). Captain Kontos on his behalf was certain about it. That's why on August he reapplies for a permission to dive and continue his search until the end of October (HAAC Prot. No. 13883/1-8-1901). The minister issued a new permit the same day and operations continued until the end of September (HAAC Prot. No. 13883/1-8-1901; ΣΚΡΙΠ 1901, 25 Sep.).

Whatever the negative aspects of the operation were, it was a successful endeavour. A great success actually and that is how it was treated by almost everyone. The finds were transferred to the National Archaeological Museum in Athens. Amongst them, the Antikythera Youth and the Mechanism, the two most recognizable finds of the wreck.

The years passed and eventually the noise around the discovery was reduced to sounds of wonder about the glorious beauty of the statues and the mysterious secrets that are hidden within the gears of the Mechanism.



Figure 4. The crew and the officials aboard the Mykale (Kaltsas et al. 2012, p. 25, fig. 5)

ISSN: 2241-9993

2.2. Cousteau's epeditions (1953-1976)

In August 1953 Cousteau and his team were sailing towards the island of Delos, in quest of the Roman trader *Marcus Sestius*, the stamp of whom they have found in the Grand Conglue Shipwreck excavation the year before. Aboard the ship was also MIT professor, Harold "Doc" Edgerton, a pioneer inventor in underwater flash photography and remote sensing. Edgerton archives in MIT and F. Dumas' (one of Cousteau's chief divers) book "*Trente ciècles sous la mer*", provide direct information about the expedition (Edgerton 1953, Dumas 1976). Their first stop was Antikythera. The local fishermen, most of them children of the ones who witnessed the 1900-1901 operations, lead them to the site. Underwater, they located an area full of broken amphorae. With a small dredging device they made several small trenches. In one of them they discover pieces of wood from the ship's hull. A little bit more to the South they found a mound of amphorae and an adjacent area with lead features from a roman anchor. Their primary objective though was going to Delos, thus they departed without spending more than three days on Antikythera.



Figure 5. Antikythera 1953 (©MIT)

In 1976 the Greek state asked Jacques-Yves Cousteau to investigate and film several maritime archaeological sites (Kolonas 2012, p. 32). The Ankikythera shipwreck's investigation began on June 12, 1976 and ended in November of the same year. Once more, like back in the 1900s, the weather was not helpful throughout the project and work was interrupted several times. Cousteau's team found the site. As soon as they dived Falco and Giacoletto located the shipwreck, in an area where pottery shards and a few wooden planks were visible. The *Calypso* moored directly above it. Lazaros Kolonas the Greek archaeologist who supervised the mission describes vividly:

The Calypso at 08.30 moored at the N. side of the island above the area, where the site has already been located. The weather conditions are very good, but the landscape across the coast is wild. Thus, when the sea becomes rough, it makes a perfect match with the scenery, spreading fear around…

L. Kolonas (Κολώνας 1976, p. 7)



Figure 6. Antikythera 1976 (©Tsavliris archive)

ISSN: 2241-9993



Figure 7. A. Facco, J.Y. Cousteau, L. Kolonas, Antikythera 1976 (Kaltsas et al. 2012, p. 33, fig. 2)

After taking notes of the shipwreck's condition, they photographed it in detail. L. Kolonas inspected the wreck site himself inside the submergible vehicle *Soucoupe*. Additional to Cousteau's dive team several Greek divers from the newly founded Hellenic Institute of Maritime Archaeology joined the dives. The research was carried out by a succession of divers following decompression techniques. With the assistance of a dredge/airlift (called the *seceuse*) they excavated only a limited area of the site, which nevertheless yielded exquisite finds. Numerous objects were retrieved. Among the finds were wooden planks from the hull, nails, pottery sherds, mainly form amphorae, pieces of the ship's lead sheathing, a pair of Hellenistic bronze statuettes, which were intact, gold and silver jewelry, glassware etc. part of the ancient ship's precious cargo (Κολώνας 1976, p. 21; Kolonas 2012, p. 34). Some of the most important finds of the 1976 expedition were the bronze and silver coins, which helped significantly in the process of dating the wreck (Tselekas 2102).

All the procedures were continuously filmed. The result was an hour long documentary called "The Cousteau Odyssey: Diving for Roman Plunder", produced by W. Scott and narrated by M. Merkouri, which was released in 1980 (Cousteau 1980).

1976 is a keystone date for Greek maritime archaeology for one additional reason. During that year, the Ephorate of Underwater Antiquities, the official agency for maritime archaeology affairs, was founded in Athens. The first director G. Papathanasopoulos, who had the overall supervision of the *Calypso* expeditions in Greece, visited Antikythera and was informed directly about the course of action and the results of the mission. L. Tsavliris, one of the Greek divers who took part in the Antikythera expedition, states that in this early stage "…WE were the Ephorate. Me and Vasilis (Vitalis). There was Papathanosopoulos [the head]…and we were the "hands" of the Ephorate…" (Τσαβλίρης 2014, 15'). In a way, this expedition was the first one under the auspices of the Ephorate of Underwater Antiquities.

ISSN: 2241-9993

2.3. Contemporary research (2012-2015)

Contemporary research in the underwater site of the Antikythera Shipwreck is being conducted by the Hellenic Ministry of Culture, Education and Religious Affairs, through the Ephorate of Underwater Antiquities, in collaboration with Woods Hole Oceanographic Institution, from the U.S.A. and with the support of many specialized partners and sponsors. The project is being directed by the director of the EUA, A. Simossi, while scientific officers on site are EUA's T. Theodoulou and D. Kourkoumelis. B. Foley leads on behalf of WHOI.



Figure 8. Antikythera 2014 (©EEA, WHOI, ARGO)

The "Return to Antikythera project" started in 2012, when the team members were carrying out another research program around Antikythera looking for ancient wrecks. During the three week stay on Antikythera the team was circumnavigating the island when, while searching the eastern coast, located the Antikythera Shipwreck area (see more @ http://antikythera.whoi.edu/). Actually, it was an area a little bit to the south of the 1976 working site, with similar finds. In 2013 the team returned to Antikythera performing remote sensing techniques, in order to investigate the wider area. Whether the two areas of interest comprise a unique archaeological site or two separate wrecks is a question at hand. Hopefully, the forthcoming research will provide a definitive answer.

Challenging questions posed by modern archaeological research are forming the objectives of the forthcoming five year planned phase of the project, which has recently been approved by the Greek State.

Modern technologies provide a substantial advantage to the project. Advanced technological methods facilitate access to the site, while offering at the same time various possibilities in the indispensable task of documenting the valuable information in the most efficient way.

During the 2014 expedition, began the mapping of the 1976 excavation site, using sonars and photogrammetric methods. This part of the program is being carried out in collaboration with O. Pizzaro and S. Williams from the University of Sydney. The procedure will be continued in 2015.

ISSN: 2241-9993



Figure 9. Antikythera 2014. The bronze spear (©EEA, WHOI, ARGO)

Figure 9. Antikythera 2014. The bronze spear (©EEA, WHOI, ARGO).

Diving the site yielded archaeological finds, which were lying on the seabed, under a thin layer of sand. A bronze spear, probably part of a bronze statue, a ring from the ship's rigging, and metal fragments from the ornamentation of a bed, similar to the ones we already know were on the ship (Palaiokrassa 2012, p. 125), indicate the existence of several more artefacts, which still remain deeper in the sediment.
In any case, expectations are great, both in terms of finding more interesting artefacts and promoting underwater research in general.

3. Diving

Studying the diving procedures in the Antikythera expeditions, one car clearly see the development of diving technology throughout the century. Every mission has managed to expand the limits of underwater archaeology in various ways. The first expedition in 1900, was actually the first effective archaeological salvage operation performed by a modern state. The site's great depth is still a challenge in planning and executing diving operations. The development from those first dives in 1900 to today's technical diving was immense, concerning both safety and efficiency. Dive time increased, while the possibility of accidents decreased. Like in 1900, the 1976 mission, whereas the contemporary expeditions can boast that have been utilizing the most innovative and progressed diving equipment and methodology of their time. It is however intriguing to think that looking into the past, divers are acknowledging the courage and the skills of their predecessors. With today's standards, the 1976 dives, and of course the dives in 1900, seem reckless and dangerous. Nevertheless, these divers were the best of their kind.

ISSN: 2241-9993

3.1. 1900 - 1901

With the glass diopter we watch the underwater operations on the seabed. Facedown, the diver with his diving suit and helmet looks like a mythical creature hugging a corps. The statue was tied, the sea seethed and the metallic head of the diver with its crystal monstrous eyes appeared.

E. Lykoudis (Λυκούδης 1920, p. 9)

Sponge diving has a very long tradition in the Aegean and especially the islands of Kalymnos and Symi were very proud of their diving communities.

In the twilight of the 20th century the world was being moved by the steam power of the industrial revolution. The "rise" of the machines combined with the rapid evolution of scientific knowledge created a dynamic environment in which everything seemed possible. Man was about to conquer the skies and the sea had already revealed some of the secrets held beneath the surface.

Like today, research and development has always been moved primarily by commercial factors. The same thing happened with diving technology by the end of the 19th century. The sponge diving industry changed forever when a diving helmet fitted to a watertight canvas suit allowed divers to spent time in the bottom without having to worry about breathing. Thanks to a valve in the helmet, a diver wearing the suit could breathe air fed through a hose from a compressor on a boat above. The potential economic benefits from sponge diving were huge.

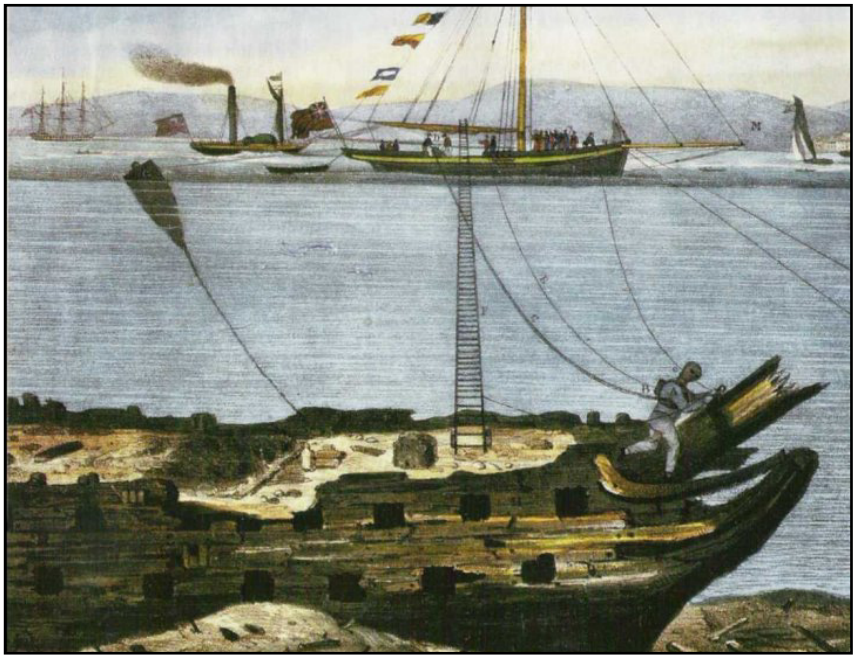


Figure 10. Salvage operation using a diving suit (Blot 1996, p. 20)

Of course, Antikythera was not the first operation utilizing the new diving technology for the recovery of artefacts. The diving suit had been used for salvaging wrecks before, like in the case of the *Mary Rose* salvaged by the Deane brothers in 1836 (Bevan 1996; Blot 1996). Nevertheless, Antikythera was one of the first successful "underwater archaeological" projects.

At this point, one has to understand the fact that diving in depth has consequences to human biology. The body is used to exchange gases with the environment in a certain pressure. Diving increases the pressure proportionally. In this case, the body absorbs more Nitrogen, a gas found in atmospheric air. Although Nitrogen is an inert gas, when pressurized it concentrates in the human tissues and becomes harmful (Somers 1995, σελ. 20-24). Thus, there are limitations to the amount of time a

ISSN: 2241-9993

diver can spent underwater and the time needed for a safe ascent to the surface. Longer dives or faster ascents, which do not give the necessary time to the body, in order to release the gas properly, lead to "Decompression Sickness", also known as the "bends".



Figure 11. Preparing for diving at Antikythera (©HAAC)

The divers from Symi had to descent down to a depth of 32 -38 fathoms (c. 60 -70 meters), where they remained for up to five minutes, requiring an extra three minutes for descending and ascending (Σβορώνος 1903, p. 3; Λυκούδης 1920, p. 10, 46). They had to dive several times a day (Σβορώνος 1903, p. 5) and face the adverse weather conditions (Λυκούδης 1920, p. 10). Besides that, reaching the seabed they had to move around in the inconvenient diving suit, work hard, move heavy objects (Εστία 1901, 19 Jan) breathing atmospheric air, which we now know has various toxic or narcotic effects at this pressure (Sommers 1995, p. 22-24; U.S. Navy Diving Manual 2008, p. 7, 40). At the end of 1901 the effects of the physical strains were obvious.

The weather was very bad most of the time and the diving danger was grave. In any case their efforts were remarkable. There were bends though and unfortunately a lethal incident. In April 1901, diver George Kritikos, surfaced too fast and died of the "bends". Two more divers were seriously paralyzed until September 1901, when the operation was suspended (Σβορώνος 1903, p. 13; Tsitsopoulou et al., 2012, p. 23).

It was the first time that such an enormous operation would take place. Never before had an archaeological operation been tried at that depth (Λυκούδης 1920, p. 18).

The salvage operations lasted for more than a year and most of the time the work was being conducted under adverse conditions. The weather was bad most of the time and the divers were exhausted after diving continuously at a great depth for such a long period. The equipment was insufficiently evolved for such a demanding operation and accidents kept on happening pretty often. The divers suffered from bends, the ships couldn't lift the heavy marble statues and the problems were

ISSN: 2241-9993

more than enough. Moreover, since the first superficial layer of artefacts was retrieved the recovery of the deeper buried material was becoming harder and harder.
At some point the officials asked for advice from abroad. The idea of an underwater excavation dredge was proposed (Εμπρός, Σφαίρα 1901, 3 Feb). Another suggestion was made regarding a "crystal diving bell" and huge lights that would lit up the site. One of the most ambitious plans was suggesting to build a wall from the surface down to the bottom and dredge the water out in order to free the site for traditional excavation (Εμπρός, Εστία, ΣΚΡΙΠ, Σφαίρα 1901, 5 Feb). The Italian inventor Pino proposed the construction of a submarine that would carry two passengers down to 150 m. and would supposedly solve all the operational problems of the salvaging. Moreover, the Greek state could use it to find other wrecks in the future (Εστία 1902, 19 Nov). From the above suggestions none actually came to implementation. Nevertheless, they are all indicative of the technological evolution during this period and the possibilities it could provide.
The success of the salvage operation and the impressive artefacts gave maritime archaeology a big boost in the beginning of the new century.

3.2. 1953 - 1976

In 1943 two Frenchmen, famous Ct. Jaques-Yves Cousteau and engineer Émile Gagnan, designed and constructed the first Self-Contained Underwater Breathing Apparatus (SCUBA) under the commercial name *Aqua - Lung* (Cousteau 1953).
The basic function of SCUBA is quite simple. A tank made by a solid material, such as iron or aluminum, is filled with air under pressure. This great pressure (200-300 bar) is being converted to a breathable one by a device called "the regulator". The first version of this device, which now comes in numerous variations, is the *Aqua – Lung* by Cousteau & Gangan.



Figure 12. Jacques-Yves Cousteau & Emile Gagnan
(source: https://www.force-e.com/scuba-training/)

This invention transformed diving. From an expensive and demanding procedure, it became a recreational activity. The simplicity of the system, its small size (compared to the diving suit) and its independence (there was no need for a surface supply), gave a big boost in diving.

ISSN: 2241-9993

Cousteau and his team began to collaborate with various scientists interested in the sea. Amongst them there were archaeologists, who wanted to access the vast underwater archaeological record. Cousteau's first complete underwater excavation was in 1952 at the site of Grand Conglue, with archaeologist Fernard Benoit. Next year, Cousteau visits Antikythera in search of the famous wreck. In 1976 Cousteau and his team return to Antikythera, this time after the official request of the Greek state to conduct an underwater survey.

"*In that depth everything is being done with tremendous speed, since the divers cannot stay longer than 10 minutes, in order to avoid the symptoms of decompression sickness*" narrates Kolonas in his journal (Κολώνας 1976, p. 9). However, Cousteau's tough divers and the enthusiastic young Greek divers Tsavliris, Vitalis, Garas et al. carried out the tasks, overriding the fear of getting sick. "*We were diving twice a day. One dive in the morning for 20 min. according to the French dive tables, decompressing at 6 m. for 3-4 min. and then a little bit more than an hour at 3 m. […] under the keel of the Calypso. And one dive in the afternoon for 15 min. […] That was the schedule, six days a week*" says L. Tsavliris (2014, 32'). Another noteworthy fact is that the French divers were performing *solo* dives (diving alone, without a diving buddy), which is today commonly avoided, due to the risks involved.



Figure 13. Decompressing under the keel of the Calypso (©Tsavliris arcive)

Aboard the deck of the *Calypso* a decompression chamber was available (Cousteau 1980). The device comprise - in a simple description- an airtight chamber, in which the air pressure can be increased using a pump, in order to simulate the equivalent hydrostatic pressure under which the body was during the dive. That way, a diver can be re-pressurized on the surface, in case the decompression procedure was not completed and treat the symptoms of decompression sickness, in case of a diving accident.

Having a decompression chamber in a safe distance is today a prerequisite in any demanding commercial – scientific dive plan. In this early stage of diving, having a decompression chamber on

ISSN: 2241-9993

board was a tremendous innovation. One should not forget that this team were pioneers, divers that were establishing many of the "*sine qua non*" features of modern diving.
Lastly, due to the difficulties caused by the great depth of the site, since the beginning of the mission, a great deal of investigation was made with the Human Occupied Vehicle *Soucoupe*. It is a small submersible vehicle that can carry two passengers. It can stay underwater for a significant amount of time, make use of a water pump to move the sediment and make small trenches, and has an artificial "hand" that can grab items for recovery. Cousteau, certain members of his team and Kolonas inspected the site using the *Soucoupe.*



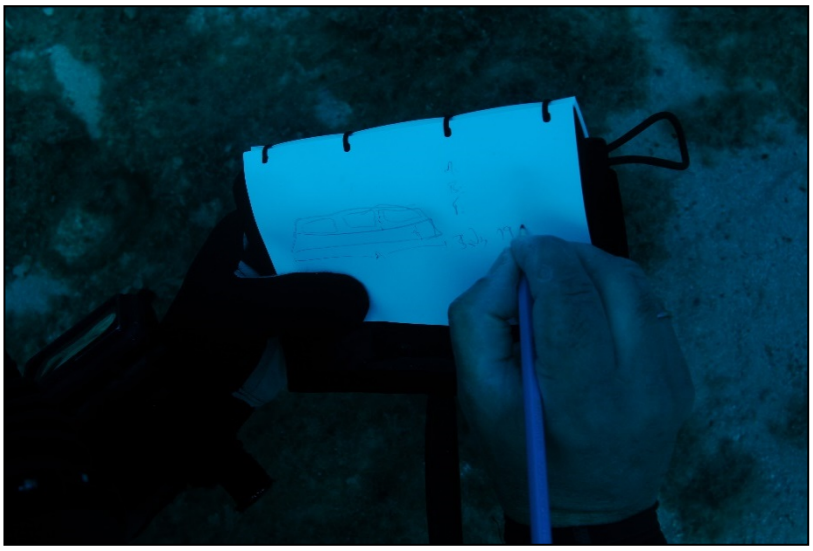
Figure 14. The Soucoupe (©Cousteau archive)

ISSN: 2241-9993

3.3. 2012 - 2015

The most important innovation of the current project at Antikythera comparing to the ones in the past, is the fact that for the first time since 1900, the archaeological research on site is being carried out by the archaeologists themselves. Modern diving technology offers safe access to the site. Instead of having commercial divers recovering the objects and describing their tasks afterwards on deck, archaeologists have a personal view of the site and perform their study without intermediaries.





Figures 15-16. Archaeological tasks. Antikythera 2012 (©EEA, WHOI, ARGO)

Since, 1959, when the first Greek diving archaeologist N. Yalouris was diving in order to locate the remnants of ancient Pheia, in the Katakolo bay (Θεοδούλου 2011, p. 21), underwater archaeology in Greece has taken many steps forward. Many underwater surveys and excavations have been conducted. However, the one in Antikythera is going to be the deeper operation so far.

In order to minimize the dangers and maximize performance newly developed diving techniques are being implemented. Among the most important ones are the use of mixed gases (Trimix – Enriched Air Nitrox), Closed Circuit Rebreathers and the Atmospheric Diving Suit *Exosuit*.

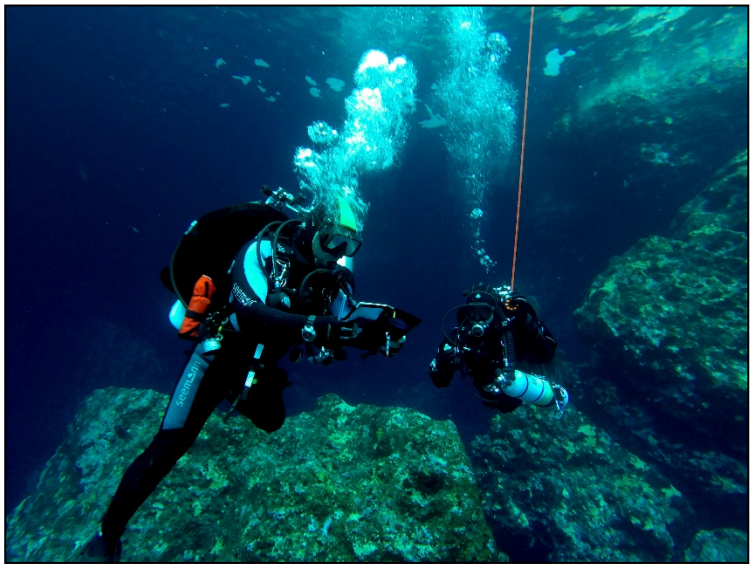


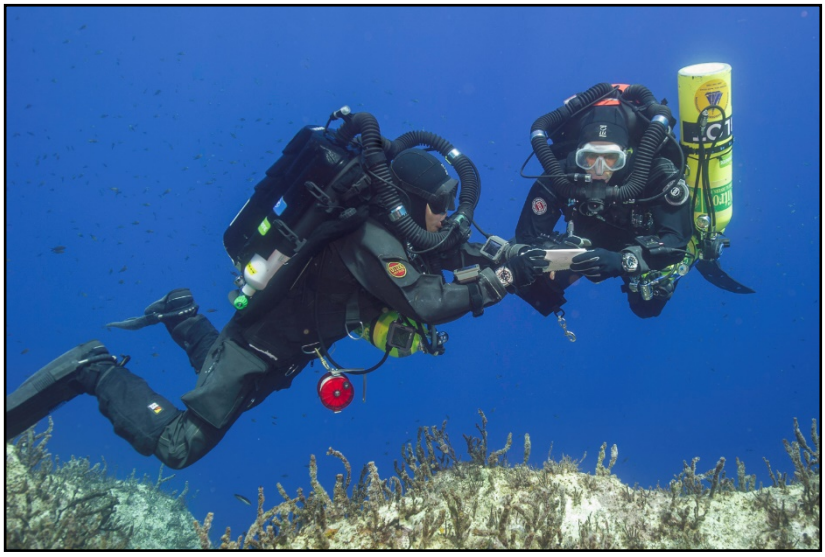
Figure 17. Decompression.
Antikythera 2014 (©EEA, WHOI, ARGO)

As mentioned afore, high pressure causes dysfunctional gas exchange in the body (Brubakk 2003, p. 800). Moreover, in high pressure the inert gas Nitrogen has narcotic effect, while Oxygen becomes toxic. Trying to avoid such dangerous effects, another inert gas, Helium, is added to the breathable gas in the diver's tank. As a result the amount of Nitrogen and Oxygen is decreased, allowing the diver to proceed to deeper dives. The new mixture contains three gases and thus the name Trimix (TMX).

ISSN: 2241-9993

On the other hand, while decompressing it is essential to breathe as less inert gas as possible. That is why the decompression mixture is enriched with Oxygen, up to 100% depending on the depth. This breathing gas is called Enriched Air Nitrox in diving terminology.
With mixed gases diving becomes much safer and more efficient, since the diver avoids Nitrogen narcosis. One should keep in mind that the 1900 divers were diving breathing atmospheric air, heavily through a thin hose, looking through a small opening in the diving helmet and performing demanding underwater tasks. The evolution in diving since then is impressive and makes working underwater much easier.
Mixed gases are being used in technical diving for a long time now and are essential parts in the methodology of various commercial operations, as well as to selected archaeological projects around the world. However, the Antikythera project is the first one to use diving procedures of this kind in Greece.
The idea of Closed Circuit Rebreathers is not as "fresh" as one might think. For several decades now, the system has been used by the military and professional divers. Nevertheless, during the last decade this technology has been significantly advanced and is considered to be the future in diving (Richardson et al. 1996).





Figures 18-19. Closed circuit Rebreather diving at Antikythera (©EEA, WHOI, ARGO)

The key principle of a rebreather is based on the fact that most of the oxygen contained in a breath is being exhaled unused back into the atmosphere. In other words, each human breath contains roughly 79% Nitrogen and 21% Oxygen. Out of this 21% the body uses only 1/3, and produces the equivalent amount of Carbon Dioxide. In an Open Circuit diving system breathing is being performed the same way it is performed regularly on the surface. The exhaled air travels towards the surface in the form of bubbles. Using a rebreather the diver re-breathes the same volume of air again and again. Now, there are two major problems. One is that each breath contains fewer amount of Oxygen. The second is that the produced CO_2, a poisonous gas, remains in the breathing cycle, since it is not exhaled properly. Starting from the latter, all rebreathers use some kind of chemical absorber to eliminate the gas. Usually there is a canister filled with absorbent and all exhaled gases run through this CO_2 "trap". Concerning the first problem there are different types of solutions. The oldest one is the "military" type rebreather in which the diver adds Oxygen manually when the volume is critically reduced due to the CO_2 absorption. The second type is a hybrid between open and closed circuit, thus called semi-closed. In this case, there is a constant flow of enriched air into the

ISSN: 2241-9993

circuit and occasionally the system releases excess air. The two aforementioned systems have depth limitations, due to the fact that they cannot reduce the oxygen percentage enough, to overcome toxicity problems. The most advanced type is the fully closed rebreather. This system uses two gas sources (a diluent that contains inert gases and oxygen) in order to create a breathable mix. The procedure is electronically controlled, but can be also performed manually. This way, not only is less volume of gas consumed, but the diver also breathes the best possible mix for his/her current depth. In other words this system incorporates the modern diving knowledge and methodology.
Closed Circuit Rebreather diving for archaeological purposes in Greece was firstly tested during the 2011 Crete and 2012 Antikythera project by the same team. Similar systems are being used in a limited number of archaeological projects around the world. The Antikythera project remains though an example of pioneering use of CCR in underwater archaeology worldwide.
The most impressing innovation in the area of underwater survey in Greece is undoubtedly the use of the ADS *Exosuit.* In the summer of 2014 the Atmospheric Diving Suit made its debut in the underwater survey in Antikythera. This system copes with diving problems radically. In brief, an ADS allows diving in great depths by keeping the pressure inside the suit stable to 1 atmosphere. Thus, the body experiences no stress due to hydrostatic pressure and hyperbaric injuries are not possible anymore. With *Exosuit* there is no need for surface air supply. The air is filtered like in a closed circuit rebreather loop, the same way it is described above, and in an HOV submergible. In a way, the *Exosuit* is a personal submarine.
The system requires three people to work. The *pilot* is the one inside the suit. He/She is the primary user. With small thrusting devices the pilot can move in the water in all directions. At the end of the arms there are tools that can be controlled from the inside of the suit. Inside the helmet, there are several gauges informing the pilot. On the top of the helmet, there is camera feeding images to the surface. The data are being transferred through an umbilical cord. This tether line contains also intercoms. A *tender* is responsible for looking after the tether line. At the other end of the line sits the *controller*. He/She checks out if everything is working properly and has the capability to drive the suit as a Remotely Operated Vehicle and bring it to the surface, in case of emergency.



Figures 20-21. Atmospheric Diving Suit. Exosuit (©EEA, WHOI, ARGO)

The primary advantage of the ADS system is that it can carry a diver in 1000 ft (c. 330 m.) of water and stay there for up to 48 hours. And this procedure can be performed as many times as the user wants. So, an archaeologist can theoretically visit the site whenever is required and for as long as it takes to perform the task at hand. In essence, this systems combines the idea of using an HOV and a diver. However, the basic disadvantage of the suit is that even though it is more flexible than an HOV or earlier ADS versions, it still is quite bulky for delicate archaeological tasks.

ISSN: 2241-9993

The use of the *Exosuit* in Antikythera aims at testing this system and develop a methodology of using it in archaeological procedures, in order to make it as efficient as possible, opening a new chapter in underwater survey.

4. Documentation

As K. Muckelroy states in his fundamental work on maritime archaeology, "*the primary object of study is the human factor and not the ships, the cargoes etc.*" (1978, p. 4) and paraphrasing Sir M. Wheeler (1954, p. 13) "*maritime archaeologists bring up to the surface, not things, but people*" (Muckelroy 1978, p. 4). In order to do so nonetheless, one has to acquire as many data as possible so that interpretations can be based on solid ground. In this valuable process technology plays a neuralgic role. It can multiply the capability of data gathering and process. Furthermore, it facilitates the postulation and testing of scientific theory, the production of interpretations and the communication within the scientific community, as well as with the public.

4.1. 1900

It is a fact that at this early stage of archaeological research, documentation itself is an innovative notion. In other words, archaeological thought at the time was not nearly enough interested in documentation as it is by today's standards. Under this scope, the fact that for the first time a salvage operation is being conducted in an organized manner and under the supervision of archaeologists is a huge step. Moreover, the aftercare of the finds shows an intensive effort for a more responsible and scientific treatment of the archaeological record. Lastly, even though there are no "systematic" journals of the operations, there are a lot of information concealed in the texts of the scholarly people who took part in the operations, like Emmanouil (Λυκούδης 1920) and Stylianos Lykoydis (Λυκούδης 1950).

4.2. 1953-1976

The Cousteau expeditions, especially the one in 1976, boosted the development of underwater archaeology in many fields. First of all, it promoted significantly the communication of the discipline with the public. Documenting a site is not only valuable to the scientific community. The process of acquiring data and trying to form interpretations is just one half of the archaeological procedure. The ultimate receiver of scientific knowledge is the public. Modern archaeology sets an objective in the study of



Figure 22. Antikythera 1976. Filming (©Tsavliris arcive)

ISSN: 2241-9993

the past, in order to diffuse this information to the social web. Cousteau's work in Antikythera was emblematic. The documentation process and most importantly the refined presentation of the archaeological record and procedures through vivid images and video, intrigued the public to find out more about the wreck and underwater archaeology.

That is the reason why, while talking about the technological innovations of the Cousteau expedition, one should not forget referring to underwater photography, video and presentation. The use of the most advanced research vessel of her time, RV *Calypso*, with commodities, such as having her own helicopter onboard, provided the means for unique approaches in this field. However, this is not the only service that Coustea's expedition offered to underwater archaeology. During the missions, the amount of data gathered were very helpful in the understanding of the site and the procedures followed promoted underwater archaeological research practices.

Some of the most indicative examples are the capture and production of photographs, photomosaics, videography, production of documentary films etc.

Harold Edgerton was a pioneer in underwater photography. While he was traveling on the *Calypso*, he developed new underwater photographic flashing systems, which he tested in various occasions. According to his notes, which are held in the MIT archives, the dive team took photos of the site, when they visited in 1953 (Edgerton 1953). They had though, to cope with various technical problems because the equipment was still not "waterproof" enough. An additional problem was that their permit did not include photography and as soon as the local authorities found out, they forbid them to work on the site. During a dive in 2014, the metallic part of a light bulb was found on the wreck site, probably belonging to one of Edgerton flashes.

At the beginning of the 1976 mission Cousteau and Kolonas agreed that before any action was taken, they would create a photomosaic of the area, in order to be used as a map, on which they could plan the operation. The procedure was carried out by three divers. Two of them were holding a grid, signed every meter with a black tape. The overall length of the grid was 10 m. The third diver was moving higher in a distance that he could see the area to be photographed, through the lens, and the grid at the same time. After the area of the grid was covered they kept moving the grid 5 m. at a time. That way the team covered an area 40x10 m. The shape of the photomosaic was irregular, because the task was performed rapidly due to diving limitations. After the dive they developed the films and started stitching the photographs, a task most difficult because of the parallax effect (caused by the different shooting angles).

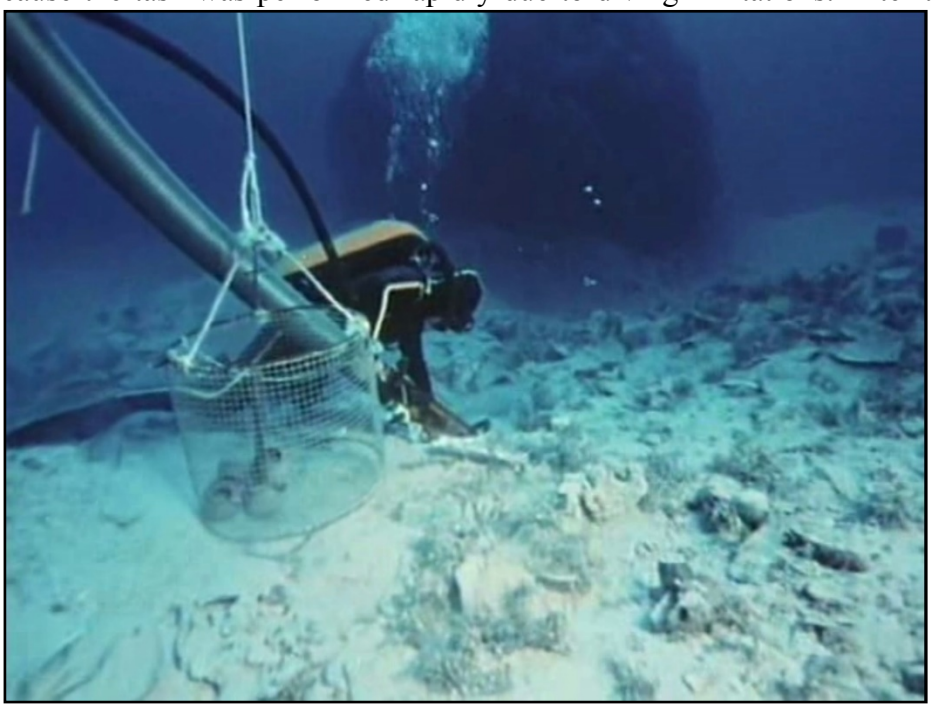


Figure 23. Screengrab from the documentary film (Cousteau 1980)

ISSN: 2241-9993

4.3. 2012-2015

Concerning modern research one could say that the technologies applied are well tested methods of documentation and recording of an archaeological site. However, within the frame of the contemporary research that is still at an early stage, a great deal of brainstorming occurs, in order to develop the current methods and test new innovative systems.

In order to map the site and its surrounding area several mapping systems have been used. A large area of the NE side of the island was scanned with sonars (Side Scan Sonar and Multibeam Echosounder) and a 3d bathometric map was created. Subsequently, the area of the 1976 excavation was documented using 3d photogrammetry. This method is very popular nowadays and the precision it can provide is increasing constantly, while the time needed to perform the task is decreasing.

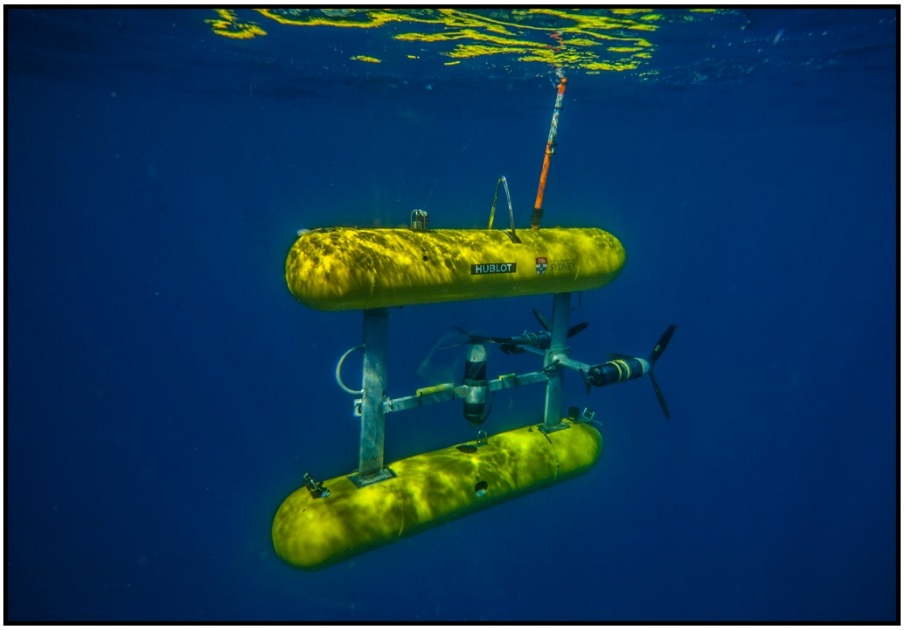


Figure 24. Autonomous Underwater Vehicle at Antikythera. 2014 (©EEA, WHOI, ARGO)

What makes the Antikythera implementation special is the fact that some of the technologies mentioned above were performed by an Autonomous Underwater Vehicle. This submergible device is being programmed to conclude its tasks underwater without the need of an operator. After the course is set, the vehicle navigates itself, carries out the programmed tasks and returns to a specified point for collection. The gathered data are then downloaded to any compatible digital device.

Almost in the same way, using photogrammetry, the team documents mobile finds. Using 3d photo mesh software, digital replicas of the finds are being created, capturing the shape, the colors, the texture and the volume of the finds.

All the data, as well as digitized data from previous expeditions are fed to a Geographic Information System, a data managing software that is quite common in today's archaeological research. Using maps and topographical drawings as a background the user inputs data connecting them to a certain place on the map. These data can be either photographs, video, texts, notes, tables etc. That way a researcher can search this digital environment and easily find data about a specific area, an artifact, a group of artefacts etc. through their digital inner connection.

ISSN: 2241-9993

Epilogue

The researchers of Antikythera were fortunate enough to have access to special resources, because of the great interest that the site creates both to the scientific community and the public. This interest derives certainly from the impressive finds and probably from the strong connection of the site to the national narrative. In any case, the above facts offered unique opportunities to promote the study of the site and develop the discipline's methodologies at the same time.

In most cases, the innovative character of the technologies used in the underwater research of the wreck lies not on the fact that they are used for the first time in general, rather than on the fact that they are being used in archaeological research. Most of these technologies are being developed, even today, in other fields of research that have more "industrial" implementations, thus higher budget concerning research and development. In any case, it takes creative thought and patience to transform these methodologies into efficient archaeological survey techniques. Apparently, the study of the Antikythera shipwreck provides many successful examples concerning this procedure.

Another aspect that needs to be cleared as well, is that in some cases these techniques have been limitedly used in archaeological research in other parts of the world, but definitely not in Greek underwater archaeology.

The prospects of future endeavours in Antikythera are great, because the archaeological record that still lies on the wreck site will strengthen our knowledge of the ship's history and her era. Moreover, as has already been shown, the Antikythera Shipwreck is still a project, where new technologies and methodologies are tested and developed promoting underwater archaeology. Let us see what will come up next…

ISSN: 2241-9993

Bibliography

"Ανακοίνωσις. Περί των εκ της παρά τα Αντικύθηρα Θαλάσσης αγαλμάτων", *ΠΑΕ* 1900, (1901), 95-102.
Acott, C., "Oxygen toxicity: A brief history of oxygen in diving". *South Pacific Underwater Medicine Society Journal* 29 (3), 1999.
Bevan, J., *The Infernal Diver: the lives of John and Charles Deane, their invention of the diving helmet, and its first application to salvage, treasure hunting, civil engineering and military uses*. London, 1996.
Brubakk, A. O., *Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving*, 5th Rev ed. United States: Saunders Ltd., 2003.
Blot, J. Y.. Underwater Archaeology. Exploring the World beneath the Sea, (transl. Alexandra Campbell), London: Thames & Hudson Ltd (1996[2]) (πρώτη έκδοση στα γαλλικά το 1995).
Cederland, C., *The Old Wrecks of the Baltic Sea.* BAR International Series No. 186. BAR, Oxford, 1983.
Cousteau J. Y. & Dumas, F., *Le Monde du silence*, Éditions de Paris: Paris, 1953.
Cousteau, J. Y., *The Cousteau Odyssey: Diving for Roman Plunder* (video), παραγωγή: W. Scott, αφηγήτρια: Μελίνα Μερκούρη, 1980.
Dumas, F., (translated by Facey, P.A.), 30 Centuries Under the Sea, Crown Publishers: New York, 1976, σελ. 48-60.
Edgerton, H.E., *Harold Eugene Edgerton. Papers, 1899-1990*, MIT Library, Box 31, MC 25, Ref No: 3 9080 03220 5869.
Θεοδούλου, Θ., "Συνοπτική αναδρομή στην υποβρύχια αρχαιολογική έρευνα στην Ελλάδα", *Αριάδνη,* Ρέθυμνο, 2011, σελ. 13-84.
Kabbadias, P., "The Recent Finds off Cythera", *The Journal of Hellenic Studies*, 21, 1901, σελ. 205-208.
Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*. Αθήνα 2012.
Κολώνας, Λ., *Ημερολόγιο Έρευνας Αντικυθήρων, ΥΠΠΕ - Cousteau*, Αρχείο Εφορείας Εναλίων Αρχαιοτήτων, 1976.
Κολώνας, Λ., "Οι έρευνες του 1976". Στο: Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*. Αθήνα 2012, σελ. 32-34.
Λυκούδης, Ε. Σ., "Οι Αρχαιολογικοί Θησαυροί των Αντικυθήρων. Ημερολόγιο αυτόπτου της ανελκύσεως". *Σελίδες*, Αθήνα, 1920, σελ. 3-31.
Λυκούδης, Σ. Ε., "Ο Περίφημος Θησαυρός της νήσου των Αντικυθήρων. Αρχαιολογικά Σημειώματα, *Ήλιος*, τεύχη 343 (σελ.482), 345, (σελ. 563), 347 (σελ. 626), Αθήνα, 1950.
Marchant, J., *Decoding the Heavens. Solving the mystery of the world's first computer.* London, 2008.
Muckelroy, K., *Maritime Archaeology*. Cambridge, 1978.
Παλαιοκρασσά, Ν., "Μεταλλικά μικροαντικείμενα και σκεύη", Στο: Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*. Αθήνα 2012, σελ. 116-131.
Price, D. De Solla, "Gears from the Greeks. The Antikythera Mechanism: A Calendar Computer from Ca. 80 BC", *Transactions of the American Philosophical Society* 64(7), (1974), σελ. 1-70.
Price, D. De Solla, *Γρανάζια από τους Έλληνες. Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων* (Ν. Α. Οικονόμου, Μτφ. / Θ. Ιωαννίδης, επιμ.), Θεσσαλονίκη 1995 (Αρχική έκδοση στα αγγλικά, 1974).
Ρεδιάδης, Π. Δ., "Ο εξ Αντικυθήρων Αστρολάβος". Στο: Σβορώνος, Ι. Ν., (επιμ.) 1903. *Το εν Αθήναις Εθνικό Μουσείον*. Αθήνα, 1903, σελ. 44-52.

ISSN: 2241-9993

Richardson, D., Menduno, M., Shreeves, K. (eds). "Proceedings of Rebreather Forum 2.0", *Diving Science and Technology Workshop*, 1996, σελ. 286.
Σβορώνος, Ι. Ν., *Το εν Αθήναις Εθνικό Μουσείον*. Αθήνα, 1903, σελ. 1-86.
Somers, L.H, *Εκπαιδευτικό Εγχειρίδιο για καταδύσεις προχωρημένου NITPOX της IANTD*, 1995.
Τα ευρήματα του ναυαγίου των Αντικυθήρων, ΑΕ 1902, σελ. 145-172.
Τσαβλίρης, Λ., *Συνέντευξη στους Θ. Θεοδούλου και Α. Τούρτα* (ηχητικό), Κύθηρα, 5 Οκτ 2014.
Τσέλεκας, Π., "Τα νομίσματα". Στο: Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*. Αθήνα 2012, σελ. 216-219.
Τσιποπούλου, Μ., Αντωνίου, Μ. and Μασουρίδη, Σ., "Οι έρευνες των ετών 1900-1901". Στο: Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*. Αθήνα 2012, σελ. 18-31.
U.S. Navy Diving Manual, Revision 6, 15 April 2008.
Βλαχογιάννη, Ε. "Τα γλυπτά". Στο: Καλτσάς, Ν., Βλαχογιάννη, Ε. & Μπούγια, Π. (επιμ.) *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων. Το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*. Αθήνα 2012, σελ. 62-115.
Weinberg, G. D., Grace, V. R., Edwards, G. R., Robinson, H. S., Throckmorton, P., Ralph, E. K., "The Antikythera Shipwreck Reconsidered". *Transactions of the American Philosophical Society* 55(3), (1965), 3-48.
Wheeler, R. E. M., *Archaeology from the Earth*. Oxford, 1954

Newspapers

Ακρόπολις [Acropolis]
Εμπρός [Ebros]
Εστία [Estia]
ΣΚΡΙΠ [SKRIP]
Σφαίρα [Sphaera]

Abbreviations

ΑΕ = Αρχαιολογική Εφημερίς [Archaeologike Ephimeris]
HAAC = Historical Archive of the Archaeological Service
ΠΑΕ = Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρίας [Proceedings of the Archaeological Society in Athens]

Ακαδημια Θεσμων και Πολιτισμων
Academy of Institutions and Cultures

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

Διεύθυνση- Direction
ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΙΟΥ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗΣ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
JOHN HUGH SEIRADAKIS, Aristotle University of Thessaloniki

Μάνος Ρουμελιώτης

Manos Roumeliotis

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

ΣΥΜΠΟΣΙΟ
ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ
ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΟΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

SYMPOSIUM
NEW TECHNOLOGIES IN SERVICE
TO OUR KNOWLEDGE OF ANTIQUITY

Μοντελοποίηση και προσομοίωση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων

ΜΑΝΟΣ ΡΟΥΜΕΛΙΩΤΗΣ, Καθηγητής του Τμήματος Εφαρμοσμένης Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Μακεδονίας
E-mail: manos@uom.gr

Μοντελοποίηση και προσομοίωση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων

ΜΑΝΟΣ ΡΟΥΜΕΛΙΩΤΗΣ

Περίληψη

Από την ημέρα της ανακάλυψης του, οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην μελέτη του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Από τις ραδιογραφίες του Δρα. Καρακάλου, μέχρι την μελέτη των συγχρόνων αξονικών τοπογραφιών, η καταπληκτική αυτή συσκευή έχει καταστεί πεδίο εφαρμογής πλείστων νέων τεχνολογιών. Η μοντελοποίηση και προσομοίωση με ηλεκτρονικό υπολογιστή ήταν μία από τις πρώτες τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση και μελέτη του μηχανισμού, έχοντας ως παράλληλο αποτέλεσμα μια μεγάλη αύξηση του επιστημονικού ενδιαφέροντος για την λειτουργία του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι προσομοιώσεις και τα υπολογιστικά μοντέλα μπορούν γρήγορα και εύκολα να διαδοθούν μέσω του διαδιχτύου. Ως εργαλείο επαλήθευσης, η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο μιας σχεδίασης πριν να κατασκευασθεί στην πράξη η μηχανή, ή για την ανάλυση μιας υπάρχουσας μηχανής. Στην περίπτωση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων αντιμετωπίζουμε ένα απολύτως αιτιοκρατικό σύστημα, η λειτουργία του οποίου δεν είναι γνωστή στην εντέλεια, προερχόμενη μόνο από τα μέρη του μηχανισμού που έχουν ανευρεθεί και μελετηθεί. Επειδή πολλοί επιστήμονες θεωρούν ότι η συσκευή είναι ο πρώτος φορητός υπολογιστής που κατασκευάστηκε ποτέ, είναι απολύτως κατάλληλο να χρησιμοποιήσου- με προσομοίωση σε έναν σύγχρονο υπολογιστή για να επικυρώσουμε τη λειτουργική περιγραφή της μηχανής, αλλά και για να εκτιμήσουμε την πιθανή λειτουργία των τμημάτων που λείπουν. Από τον εντοπισμό σφαλμάτων στα σχέδια του Derek de Solla Price, την κατανόηση του τρόπου υλοποίησης των παρατηρήσεων του Ιππάρχου για την τροχιά της Σελήνης, μέχρι και τον ακριβή υπολογισμό των ανοχών που απαιτούνται για την κατασκευή ενός φυσικού μοντέλου, η προσομοίωση του μηχανισμού έχει αποδειχθεί πολύτιμη. Η προσομοίωση με ηλεκτρονικό υπολογιστή έχει το πρόσθετο πλεονέκτημα της ταχύτατης επαλήθευσης μιας πλειάδας υποθέσεων, όπως στην περίπτωση ενός μέχρι σήμερα μη πλήρως αναγνωρισμένου θραύσματος, το οποίο μπορεί να αποτελούσε μέρος ενός ουρανίου θόλου παρατήρησης. Συγκρινόμενη με τα φυσικά μοντέλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για επίδειξη, ένα μοντέλο προσομοίωσης μπορεί εύκολα να βαθμονομηθεί σε ακριβείς ημερομηνίες με την υπολογισμένη «περιστροφή» των γραναζιών του μηχανισμού στην απαιτούμενη χρονική στιγμή. Τότε, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό αστρικών φαινομένων σύμφωνα με την αρχική σχεδίαση του μηχανισμού, χωρίς την ανάγκη πολύπλοκων ρυθμίσεων.

Νέες Τεχνολογίες στην Υπηρεσία της Αρχαιογνωστικής Έρευνας
14 Δεκεμβρίου 2013
Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

1. Εισαγωγή

Τα πρώτα μοντέλα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων που κατασκευάστηκαν ποτέ, ήταν φυσικά μοντέλα και κατασκευάσθηκαν με βάση τις ανακαλύψεις του Derek de Solla Price. Ο Derek de Solla Price μελέτησε τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων για 25 χρόνια, κατά τη διάρκεια των οποίων δημοσίευσε τα περίφημα άρθρα του το 1959 4] και το 1974 5]. Αν και πολλοί ερευνητές πριν από τον Price παρουσίασαν υποθέσεις για τον μηχανισμό, ήταν ο Price που κατάφερε με επιμέλεια και επιμονή να μετρήσει τα δοντάκια κάθε γραναζιού βασισμένος στις ραδιογραφίες του δρα. Καρακάλου, και να δώσει την πρώτη λεπτομερή περιγραφή της λειτουργίας του μηχανισμού. Σήμερα, με βάση τις νεώτερες ανακαλύψεις του Έργου του Μηχανισμού των Αντικυθήρων 2], γνωρίζουμε ότι κάποιες από τις εικασίες του, όπως το διαφορικό σύμπλεγμα, είναι ανακριβείς. Παρόλα αυτά, ο Price έβαλε τα στερεά θεμέλια πάνω στα οποία βασίσθηκε οποιαδήποτε μετέπειτα έρευνα στον μηχανισμό.

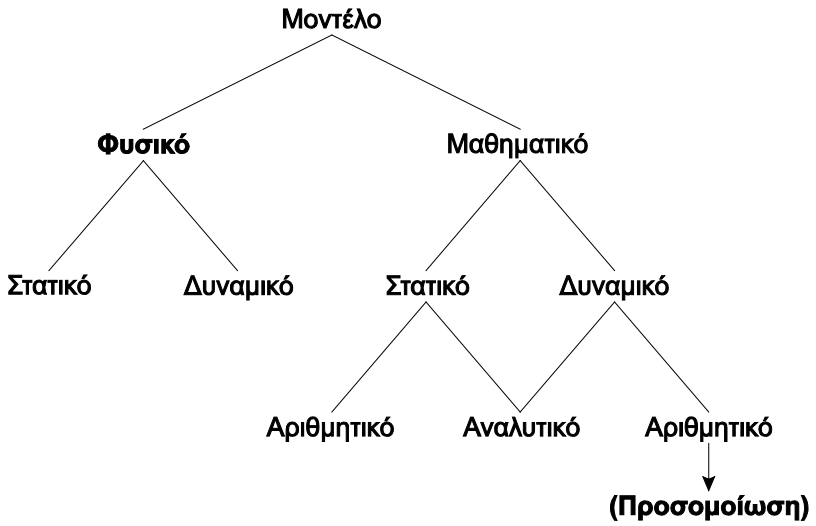
Ο Price φαίνεται στο Σχήμα 1 αριστερά μαζί με το φυσικό μοντέλο που κατασκεύασε. Ούτε το δικό του μοντέλο, ούτε τα περισσότερα μοντέλα που κατασκευάστηκαν από τότε λειτουργεί άψογα. Αυτό αποδίδεται κυρίως στο γεγονός ότι οι εδράσεις των αξόνων των γραναζιών δεν μπορούν να αναγνωρισθούν ευκρινώς στα ραδιογραφήματα ή στις αξονικές τομογραφίες. Ως επακόλουθο, και για να είναι δυνατόν να επιδειχθούν καλύτερα τα εσωτερικά γρανάζια, οι περισσότερες ανακατασκευές χάνουν τις πλάκες στήριξης λιγότερο στιβαρές από όσο θα έπρεπε 1]. Η μόνη, μέχρι σήμερα, φυσική ανακατασκευή που λειτουργεί άψογα είναι αυτή που κατασκευάσθηκε από τον Michael Wright 11], αλλά αυτή απομακρύνεται λίγο από την αρχική σχεδίαση προσθέτοντας μερικές ακόμη πλάκες. Το μοντέλο του Wright φαίνεται στο Σχήμα 1 στα δεξιά. Άλλα πιο πρόσφατα λειτουργικά φυσικά μοντέλα επιδεικνύουν μόνο τις λειτουργίες του μηχανισμού χωρίς να αποτελούν ακριβείς ανακατασκευές.



Σχήμα 1: Φυσικά μοντέλα του μηχανισμού, του Price (αριστερά) και του Wright (δεξιά).

Αν και φυσικά μοντέλα κατασκευάσθηκαν σχετικά νωρίς κατά τη μελέτη του μηχανισμού, τα μοντέλα προσομοίωσης έπρεπε να περιμένουν την εξέλιξη τόσο του υλικού όσο και των εργαλείων λογισμικού πριν αρχίσουν να εμφανίζονται. Η πρώτη προσομοίωση με υπολογιστή αναπτύχθηκε από τον Robert Morris 3], ο οποίος χρησιμοποίησε έναν μεταγλωττιστή λογικών διαγραμμάτων για να δημιουργήσει μια έκδοση κινουμένων σχεδίων των γραναζιών του μηχανισμού για ένα σύστημα διανυσματικών γραφικών. Το μοντέλο αυτό ήταν καθαρά πειραματικό και όχι μια πραγματική προσομοίωση του μηχανισμού, επειδή την εποχή της ανάπτυξής του (γύρω στο 1980), τα γραφικά τερματικά δεν ήταν ευρέως διαθέσιμα.

Το παρόν άρθρο εξετάζει την ακριβή μοντελοποίηση, προσομοιώσεις και εμψυχώσεις (animations) του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Η μελέτη που παρουσιάζεται λαμβάνει υπ όψιν της τον σκοπό, το εύρος, την διαθεσιμότητα, και την προσβασιμότητα των μοντέλων, για να αποδείξει ότι οι προσομοιώσεις παρέχουν ένα πολύτιμο εργαλείο στην κατανόηση της λειτουργίας του μηχανισμού καθώς και την διάχυση των αποτελεσμάτων της έρευνας.



Σχήμα 2: Ταξινόμηση των μοντέλων.

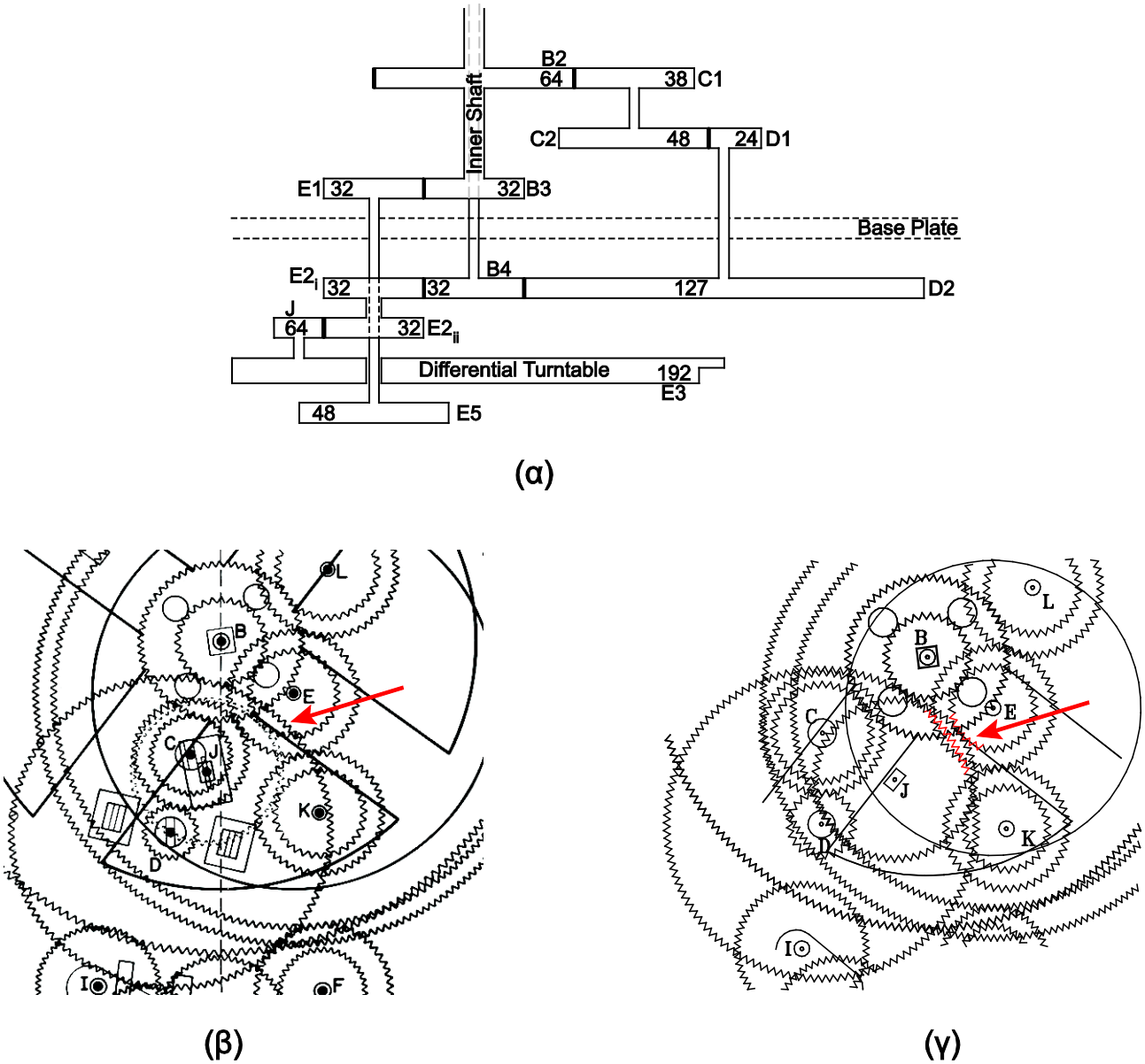
1.1.Μοντελοποίηση και Προσομοίωση

Η μοντελοποίηση αναφέρεται στην δημιουργία μιας αναπαράστασης ενός συστήματος ή φαινομένου. Μπορεί ακόμη να αναφέρεται στην ολότητα της πληροφορίας που έχουμε συγκεντρώσει για την μελέτη ενός συστήματος. Τα μοντέλα είναι είτε φυσικά είτε μαθηματικά και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με την ταξινόμηση που δίνεται στο Σχήμα 2 7]. Τόσο τα φυσικά όσο και τα μαθηματικά μοντέλα υποδιαιρούνται σε στατικά και δυναμικά ανάλογα με το αν αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου ή όχι. Κατόπιν, τα μαθηματικά μοντέλα υποδιαιρούνται περαιτέρω σε αναλυτικά και αριθμητικά μοντέλα ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι αναλυτικών εξισώσεων που να τα περιγράφουν. Όπως φαίνεται στο Σχήμα, η προσομοίωση χρησιμοποιείται κυρίως για αριθμητικά, δυναμικά, μαθηματικά μοντέλα.

Με βάση αυτή των ταξινόμηση μοντέλων, θα ήταν ίσως πιο κατάλληλο να κατασκευάσουμε ένα φυσικό μοντέλο για ένα αιτιοκρατικό μηχανικό σύστημα όπως ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων, παρά μια προσομοίωση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Παρόλα αυτά, η παραπάνω ταξινόμηση αναφέρεται μόνο στην ανάλυση ή σύνθεση ενός συστήματος και όχι σε άλλες χρήσεις των μοντέλων,

όπως η εκπαίδευση, όπου χρησιμοποιούνται για να επιδείξουν τις πολύπλοκες λειτουργίες ενός συστήματος διαμέσου απ ευθείας οπτικοποίησης. Αυτός είναι ο λόγος, για τον οποίο συχνά βλέπουμε κινούμενα σχέδια και μοντέλα προσομοίωσης από κινητήρες, μηχανές, και συσκευές.

Επιπλέον, όπως θα αποδειχθεί στις επόμενες παραγράφους, εκτός από την προφανή εκπαιδευτική της αξία, η προσομοίωση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων με ηλεκτρονικό υπολογιστή έχει συνεισφέρει σημαντικά στην επικύρωση των μαθηματικών μοντέλων και υποθέσεων, τον εντοπισμό σφαλμάτων στις φυσικές σχεδιάσεις, και την επαλήθευση των λειτουργικών περιγραφών.

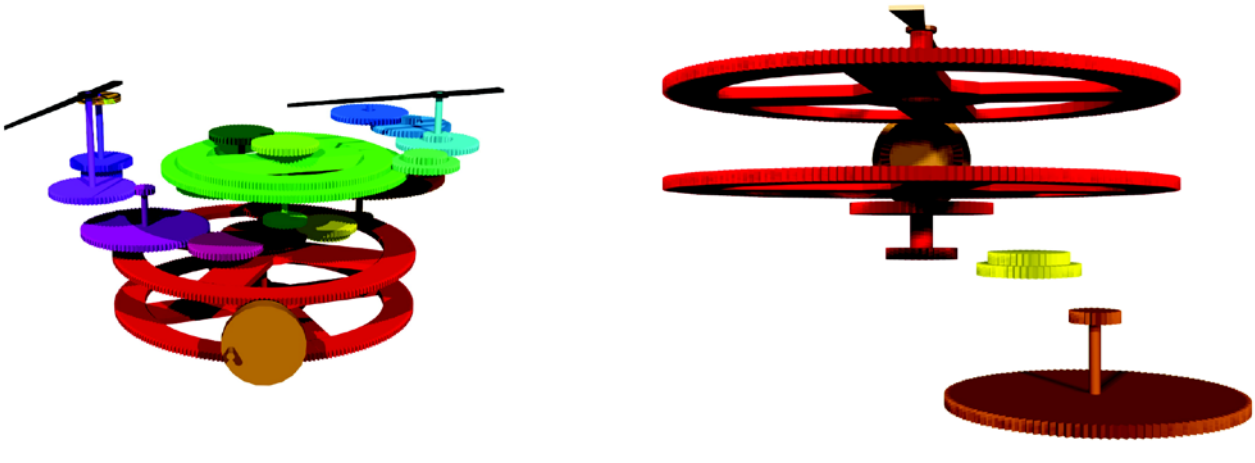


Σχήμα 3: Επανυπολογισμός των θέσεων των γραναζιών του Price.
(α) Μέρος του σχεδίου διατομής,
(β) Μέρος του διαγράμματος όψεως του Price,
(γ) Επανατοποθέτηση των γραναζιών.

2. Επαλήθευση των συμπερασμάτων του Price

Η λειτουργική περιγραφή του Μηχανισμού των Αντικυθήρων όπως εξήχθη από την μελέτη του de Solla Price περιελάμβανε λεπτομερή σχέδια του μηχανισμού. Για την επαλήθευση αυτών των σχεδίων και για να οπτικοποιήσουμε την λειτουργία του μηχανισμού, προσπαθήσαμε να δημιουργήσουμε το πρώτο πλήρως λειτουργικό μοντέλο υπολογιστή του μηχανισμού. Η μετατροπή των σχημάτων σε σχεδίαση υποβοηθούμενη από υπολογιστή (CAD) απεκάλυψε ένα σφάλμα στα σχέδια, όπως φαίνεται παραστατικά στο Σχήμα 3.

Το επάνω σχεδιάγραμμα (Σχήμα 3(α)) είναι μέρος του διαγράμματος τομής όπως δόθηκε από τον Morris στο 3]. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα αυτό, το γρανάζι E2i εμπλέκει το γρανάζι B4, το



(α) (β)

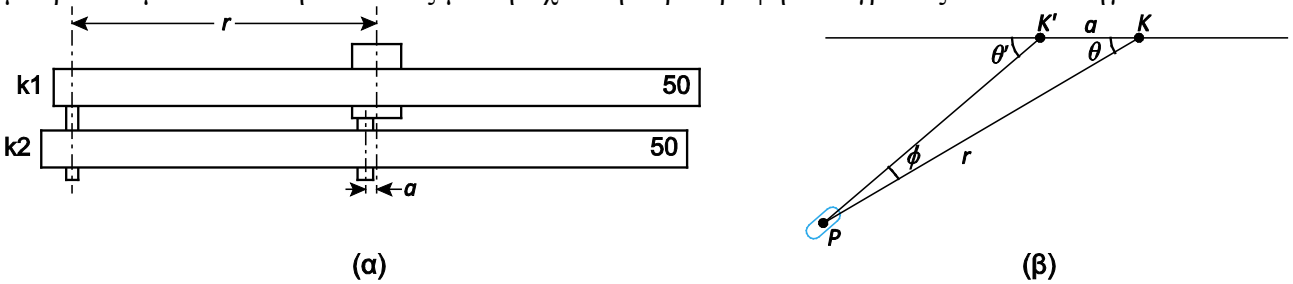
Σχήμα 4: Δύο πλαίσια των αρχικών κινουμένων εικόνων. (α) Ένα πλαίσιο που δείχνει το διαφορικό γρανάζι στο πάνω μέρος. (β) Ένα πλαίσιο που δείχνει την συναρμολόγηση του μηχανισμού με τα γρανάζια να τοποθετούνται στη σωστή τους θέση.

οποίο εμπλέκει το γρανάζι D2. Επομένως, τα γρανάζια E2i, B4, και D2 είναι στο ίδιο επίπεδο. Όμως, στο διάγραμμα όψεως που φαίνεται στο Σχήμα 3(β), τα γρανάζια E2i και D2 επικαλύπτονται στο σημείο που υποδεικνύεται με το κόκκινο βέλος. Καθώς αυτό δεν είναι δυνατόν, η σχεδίαση διορθώθηκε για το μοντέλο προσομοίωσης με υπολογιστή, μεταβάλλοντας ελαφρά την θέση των αξόνων των γραναζιών. Στο τελικό μοντέλο, τα γρανάζια έχουν αρκετό ελεύθερο διάκενο όπως φαίνεται στο Σχήμα 3(γ) με το κόκκινο βέλος και τα κόκκινα δόντια των γραναζιών.

Με βάση τα τροποποιημένα διαγράμματα, δημιουργήθηκαν από υπολογιστή τα πρώτα κινούμενα σχέδια του μηχανισμού το 1998 9] και δημοσιεύθηκαν σε ένα πολυμεσικό CD 8]. Οι κινούμενες αυτές εικόνες (animations) χρησιμοποιούσαν ψευδοχρώματα για τα γρανάζια, έτσι ώστε η λειτουργία του μηχανισμού να γίνει πιο κατανοητή. Δύο πλαίσια αυτών των κινουμένων εικόνων δίνονται στο Σχήμα 4.

Εκτός της στατικής αναπαράστασης των διαστάσεων του μοντέλου, τα μοντέλα προσομοίωσης του Μηχανισμού των Αντικυθήρων με υπολογιστή απαιτούν τον ακριβή προσδιορισμό είτε των εξισώσεων περιστροφής για τα διάφορα μέρη (κυρίως γρανάζια) ή την παραγωγή δεδομένων μετατόπισης κάθε κινουμένου μέρους με μεγάλη ακρίβεια. Καθώς αυτές οι προ- διαγραφές βασίζονται σε φυσικές μετρήσεις του μηχανισμού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επαλήθευση των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί. Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε την μοντελοποίηση προσομοίωσης της σειράς γραναζιών του Ιππάρχου 2]. Η περιστροφή του γραναζιού k1 (αυτού που φέρει τον πίρο)

μπορεί να μοντελοποιηθεί απλώς με τη σχετική περιστροφή των γραναζιών που οδηγούν το k1. Η



Σχήμα 5: Υπολογισμός της σχετικής γωνίας του γραναζιού του Ιππάρχου με την σχισμή.

περιστροφή όμως του γραναζιού k2 είναι μάλλον πολύπλοκη. Ο καλύτερος τρόπος να την μοντελοποιήσουμε για την προσομοίωση είναι να υπολογίσουμε την γωνία περιστροφής του γραναζιού k2 σε σχέση με την γωνία περιστροφής του γραναζιού k1. Στο Σχήμα 5 φαίνεται το διάγραμμα τομής των γραναζιών k1 και k2 (Σχήμα 5(α)) και ο υπολογισμός της γωνίας θ' ως συνάρτηση της γωνίας θ

Για το τρίγωνο που φαίνεται στο Σχήμα 5(β), K είναι το κέντρο του γραναζιού k1, K′ είναι το κέντρο του γραναζιού k2, και P είναι ο πίρος που είναι προσαρμοσμένος στο γρανάζι k1. Επομένως, οι πλευρές KK′ και KP του τριγώνου έχουν σταθερό μήκος (a και r αντιστοίχως), ενώ η πλευρά K′P είναι μεταβλητή, εξαρτώμενη από τη θέση του πίρου μέσα στη σχισμή. Ο νόμος του ημιτόνου καθορίζει ότι:

$$\frac{r}{\sin(180-\theta')}=\frac{\alpha}{sin\phi}\Longrightarrow sin\phi=\frac{\alpha}{r}\sin(180-\theta')=\frac{\alpha}{r}\sin(180-\theta-\phi),$$

Χρησιμοποιώντας τον τύπο του αθροίσματος γωνιών

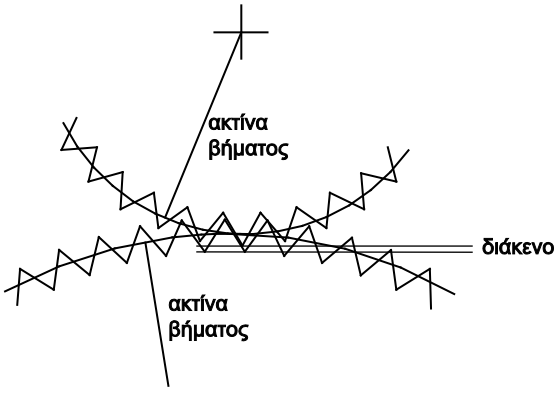
$$sin\phi\left(1+\frac{\alpha}{r}\cos(180-\theta)\right)=\frac{\alpha}{r}\sin(180-\theta)\,cos\phi$$

και θέτοντας

$$x=1+\frac{\alpha}{r}\cos(180-\theta),\text{και } y=\frac{\alpha}{r}\sin(180-\theta)$$

παίρνουμε

$$sin^2\phi x^2=y^2(1-sin^2\phi),$$



Σχήμα 6: Παράμετροι των γραναζιών.

από το οποίο παίρνουμε τελικά

$$sin\phi = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}, \text{ή } \phi = \arcsin\left(\frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right),$$

Επειδή $\theta' = \theta + \phi$ η σχέση της θ'με την θείναι

$$\theta' = \theta + \arcsin\left(\frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right).$$

Επομένως, κατά την προσομοίωση της περιστροφής των διαφόρων γραναζιών, η θέση του γραναζιού k2, που ορίζεται από την γωνία θ′ μπορεί να υπολογισθεί από την θέση του γραναζιού k1 που ορίζεται από την γωνία θ.

Μια άλλη χρήση της μοντελοποίησης προσομοίωσης για την επαλήθευση της λειτουργίας του μηχανισμού είναι ο υπολογισμός των παραμέτρων των γραναζιών. Τόσο οι παλιές ραδιογραφίες, όσο και οι σύγχρονες αξονικές τομογραφίες έδειξαν ότι τα δοντάκια των γραναζιών του Μηχανισμού των Αντικυθήρων είναι τριγωνικά. Αυτή η γεωμετρία των δοντιών είναι ευκολότερη στην κατασκευή, ειδικά με τα εργαλεία που ήταν διαθέσιμα εκείνη την εποχή, αλλά η λιγότερο κατάλληλη για ομαλή εμπλοκή. Ο λόγος φαίνεται καθαρά στο Σχήμα 6. Αν η απόσταση των κέντρων των γραναζιών είναι τέτοια ώστε η κορυφή ενός δοντιού να πέφτει πολύ κοντά στην κοιλάδα ανάμεσα στα δόντια, τότε τα γρανάζια δεν μπορούν να περιστραφούν γιατί ο κορυφή χτυπάει επάνω στην πλευρά του απέναντι δοντιού.

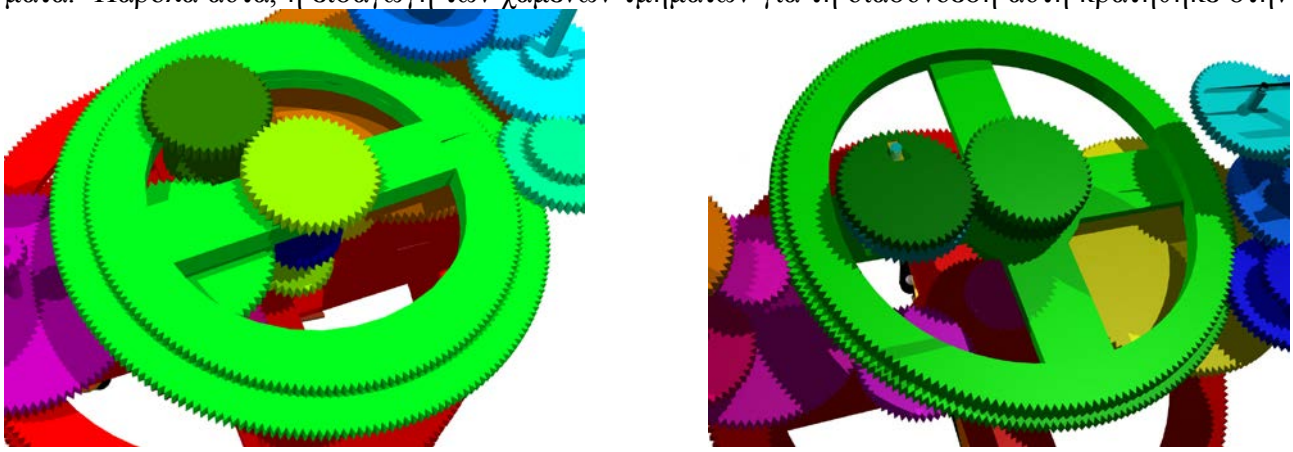
Ανάλογα την πραγματική εσωτερική (στις κοιλάδες) και εξωτερική (στις κορυφές των δοντιών) διαμέτρους των γραναζιών, αυτό που χρειάζεται να υπολογισθεί είναι η αχτίνα βήματος κάθε γραναζιού. Η αχτίνα βήματος ορίζεται ως η αχτίνα στην οποία δύο κύλινδροι θα κυλίονταν ο ένα πάνω στον άλλο, αν τα γρανάζια είχαν αντικατασταθεί από εφαπτόμενους κυλίνδρους. Λαμβάνοντας υπ όψιν ότι οι κύλινδροι δεν μπορούν να ολισθαίνουν καθόλου, ο λόγος βήματος είναι ίσος με το λόγο των γραναζιών, ο οποίο φυσικά είναι ίσος με τον λόγο του αριθμού των δοντιών τους. Επομένως, μία από τις αχτίνες βήματος, η άλλη εξάγεται απ ευθείας. Αν το διάκενο, που ορίζεται ως η απόσταση ανάμεσα στην κορυφή ενός δοντιού από την κοιλάδα που είναι απέναντι, είναι μικρό, η περιστροφή δεν είναι δυνατή όπως επεξηγήθηκε παραπάνω. Αν το διάκενο είναι πολύ μεγάλο, τότε είναι ανεπαρκής η ροπή που μεταφέρεται ανάμεσα στα γρανάζια, έχοντας ως αποτέλεσμα την δύσκολη ή αδύνατη λειτουργία μια μεγάλης αλυσίδας γραναζιών. Αυτός είναι πιθανότατα ο λόγος, για τον οποίο τα περισσότερα από τα φυσικά μοντέλα που είναι ακριβείς ανακατασκευές του Μηχανισμού των Αντικυθήρων δεν λειτουργούν ομαλά ή ακόμη και καθόλου. Από την άλλη πλευρά, τα μοντέλα προσομοίωσης με υπολογιστή μπορούν να λειτουργούν ομαλά λόγω του ακριβούς υπολογισμού του διακένου ανάμεσα σε κάθε ζεύγος εμπλεκομένων γραναζιών.

Οι αξονικές τομογραφίες που έγιναν από το ερευνητικό έργο του Μηχανισμού των Αντικυθήρων αντέκρουσαν την ιδέα του Price για το διαφορικό γρανάζι. Εκτός του ότι ήταν μια πολύ πολύπλοκη αλυσίδα γραναζιών για μια σχετικά απλή εξαγωγή της περιστροφής της σελήνης, δεν είχε λάβει υπ όψιν της τη σχισμή στο γρανάζι K2 και το γεγονός ότι ένα τόσο μεγάλο γρανάζι όπως το E3 θα έπρεπε να περιστρέφεται με πολύ μεγάλη ταχύτητα, απαιτών- τας υπερβολική δύναμη στην κορώνα οδήγησης. Οι αξονικές τομογραφίες απεκάλυψαν ότι η πολύπλοκη αλυσίδα γραναζιών που υποτίθεται ότι οδηγούσε το διαφορικό γρανάζι μοντελοποιεί στην πραγματικότητα τις σεληνιακές ανω-

μαλίες που υπολόγισε ο Ίππαρχος. Μα βάση τα δεδομένα αυτά, η μοντελοποίηση με ηλεκτρονικό υπολογιστή προσαρμόσθηκε εύκολα όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.

3. Μοντελοποίηση για Έλεγχο Υποθέσεων

Επειδή ο κύριος λόγος ανάπτυξης των προσομοιώσεων και κινουμένων εικόνων του Μηχανισμού των Αντικυθήρων ήταν η επικύρωση και επαλήθευση των μετρήσεων που έγιναν είτε από τον de Solla Price είτε τη πιο πρόσφατη έρευνα, προσπαθήσαμε να αποφύγουμε την συμπερίληψη οποιωνδήποτε χαμένων τμημάτων του μηχανισμού. Αυτό ήταν πάντοτε δυνατόν να επιτευχθεί, επειδή η λειτουργία ορισμένων μερών δεν μπορεί να επιδειχθεί χωρίς τη διασύνδεσή τους με άλλα τμήματα. Παρόλα αυτά, η εισαγωγή των χαμένων τμημάτων για τη διασύνδεση αυτή κρατήθηκε στην



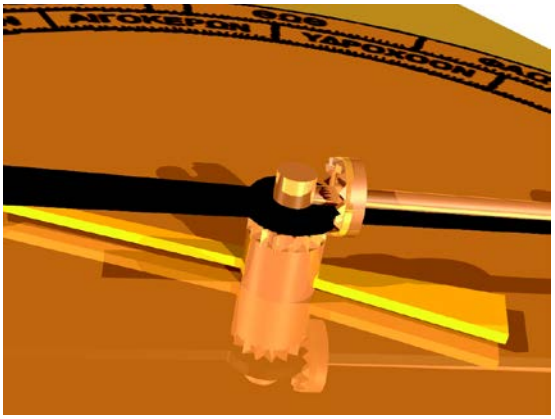
(α) (β)

Σχήμα 7: Αντικατάσταση του διαφορικού γραναζιού. (α) Το διαφορικό γρανάζι του Price (β) Τα γρανάζια του Ιππάρχου στο νέο μοντέλο.

απλούστερη δυνατή μορφή για δύο λόγους: α) ο μηχανισμός είναι πολύ περίτεχνος και καλαίσθητος, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο τεχνίτης που τον κατασκεύασε θα ακολουθούσε την απλούστερη δυνατή λύση για κάθε πρόβλημα σχεδίασης που αντιμετώπιζε, β) μια πολύπλοκη λύση μπορεί αναπόφευκτα να περιελάμβανε κάποια γνώση μηχανικής που δεν ήταν διαθέσιμη κατά την εποχή της ανάπτυξης του μηχανισμού.

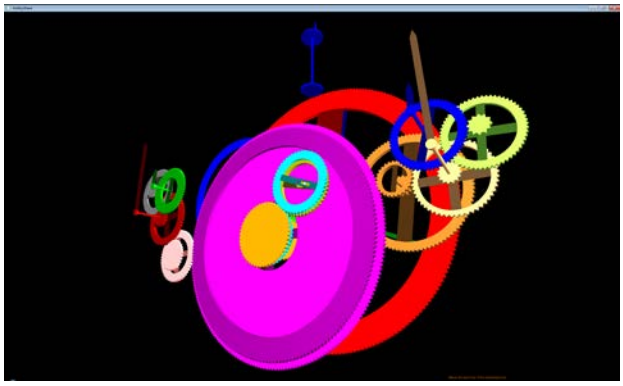
Αυτή η επιμονή στην απλοποίηση των χαμένων τμημάτων μας ανάγκασε να περιλάβουμε μικρές ανακρίβειες στην απόδοση της προσομοίωσης, αντί να περιλάβουμε πολύπλοκες αλυσίδες γραναζιών. Το γεγονός αυτό φαίνεται καθαρά από την απόδοση της προσαρμογής του δείχτη της σελήνης στον άξονά του, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8. Μόνο η κορώνα που φαίνεται στο σχήμα έχει αναγνωρισθεί στα υπάρχοντα θραύσματα του μηχανισμού. Το μικρό γρανάζι στον άξονα του δείχτη του ηλίου δεν έχει βρεθεί. Το πρόβλημα είναι ότι η κορώνα στην πραγματικότητα είναι στραμμένη προς την αντίθετη κατεύθυνση. Αυτό θα απαιτούσε την συμπερίληψη τουλάχιστον 3 ακόμη γραναζιών και ενός υποπλαισίου που να τα υποστηρίζει, για να μετατραπεί η οριζόντια περιστροφή των δύο δειχτών σε σχετικά κατακόρυφη περιστροφή του σφαιριδίου της σελήνης, το οποίο απεικονίζει τις φάσεις της σελήνης.

Η λύση που περιλαμβάνεται στα μοντέλα προσομοίωσης είναι εξαιρετικά απλή και κομψή, ακολουθώντας την φιλοσοφία του μηχανισμού, ακόμη και αν δεν αντιστοιχεί στα διαθέσιμα θραύσματα του μηχανισμού.



Σχήμα 8: Απόδοση της προσαρμογής του δείχτη της σελήνης.

4. Προσομοιώσεις για λεπτομερή μελέτη και επαλήθευση της λειτουργίας



(α)



(β)

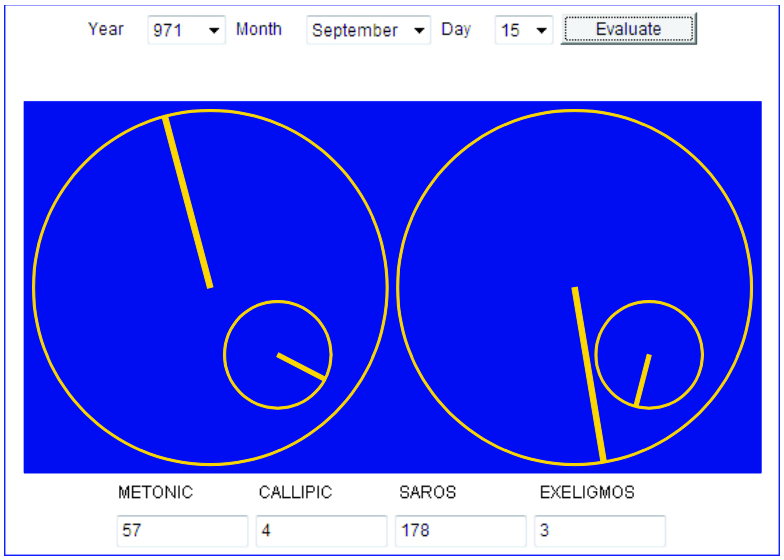
Σχήμα 9: Προσομοίωση του μηχανισμού. (α) Πίσω όψη, όπου φαίνονται τα γρανάζια του Ιππάρχου. (β) «ζουμάρισμα» για έλεγχο του διακένου των γραναζιών

Η μοντελοποίηση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων που παρουσιάστηκε μέχρι τώρα παρήγαγε μια σειρά κινουμένων εικόνων (animations, που επιδεικνύουν την λειτουργία του μηχανισμού με διαφόρους τρόπους. Για μια πιο επακριβή μελέτη της λειτουργίας, όμως, αναπτύχθηκαν ορισμένες αλληλεπιδραστικές προσομοιώσεις. Το πρώτο σύνολο προσομοιώσεων δίνει στον χρήστη πλήρη έλεγχο του μοντέλου, έτσι ώστε να μπορεί αυτός να «εισέλθει» εντός του μηχανισμού, καθώς και να περιστρέψει και να μετακινήσει το μοντέλο, έτσι ώστε να το εξετάσει από κάθε δυνατή οπτική γωνία. Καθώς το μοντέλο περιγράφεται διανυσματικά, η λεπτομέρεια δεν χάνεται ανεξάρτητα από την απόσταση θέασης. Επομένως, μπορεί να εξετάσει κανείς μικρές λεπτομέρειες των γραναζιών, για να προσδιορίσει την ακριβή εμπλοκή τους, τυχόν ασυμφωνίες στην κίνησή τους ή τυχόν προβλήματα με την απόδοση. Σε οποιαδήποτε θέση θέασης, ο χρήστης μπορεί να προσομοιώσει την περιστροφή της κορώνας, βάζοντας έτσι τον μηχανισμό σε κίνηση και παρατηρώντας την λειτουργία του. Οι προσομοιώσεις του Μηχανισμού των Αντικυθήρων είναι ανεβασμένες στην ίδια ιστοσελίδα με τις κινούμενες εικόνες [9], με δυνατότητα ελεύθερης πρόσβασης. Δύο πλαίσια της προσομοίωσης φαίνονται στο Σχήμα 10.

Εκτός από την προφανή αξία τους για επιστημονική έρευνα, οι προσομοιώσεις αποτελούν επίσης ένα εκπαιδευτικό εργαλείο για την επίδειξη της λειτουργίας του μηχανισμού σε μουσεία και εκδόσεις. Για παράδειγμα, οι προσομοιώσεις του μηχανισμού έχουν χρησιμοποιηθεί σε μια έκθεση με

τον τίτλο ”Gods, Myths, and Mortals: Discover Ancient Greece” που φιλοξενήθηκε από το Children’s Museum of Manhattan το 2007-2008, αλλά και σε πολλές άλλες. επίσης, μια σύνθετη εικόνα των κινουμένων σχεδίων εμφανίσθηκε στο εξώφυλλο του engine 10], ενός περιοδικού για την διδασκαλία Αγγλικών σε Γερμανούς μηχανικούς!

Όσο ακριβείς και να είναι οι προσομοιώσεις που παρουσιάσθηκαν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της ακριβείας των υπολογισμών του μηχανισμού σε μακρόχρονες περιόδους. Για τον λόγο αυτό, κατασκευάσθηκε ένα πιο αφηρημένο μοντέλο προσομοίωσης του μηχανισμού, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον γρήγορη «λειτουργία» του μηχανισμού μέχρι να φθάσει σε μια συγκεκριμένη ημερομηνία. Ο χρήστης εισάγει την ημερομηνία αυτή και ο προσομοιωτής υπολογίζει την θέση των τεσσάρων κύκλων που υπολογίζονται από τον μηχανισμό των Αντικυθήρων, και συγκεκριμένα τον Μετωνικό και Καλλιπικό κύκλους, τον κύκλο Σάρος, και τον Εξελιγμό. Ο υπολογισμός δεν γίνεται με την επίλυση εξισώσεων, αλλά με την «περιστροφή» των γραναζιών του μηχανισμού όσες φορές απαιτείται για να φθάσει αυτός στην ημερομηνία που έχει προσδιορισθεί από τον χρήστη. Κατόπιν «διαβάζονται» οι οπίσθιες διαβαθμισμένες πλάκες του μηχανισμού. Ένας τέτοιος προσομοιωμένος υπολογισμός δίνεται στο Σχήμα 10.



Σχήμα 10: Προσομοίωση για τον υπολογισμό των διαφόρων κύκλων.

5. Συμπεράσματα

Το άρθρο αυτό κατέδειξε πως η μοντελοποίηση και προσομοίωση με ηλεκτρονικό υπολογιστή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση και επικύρωση αρχαίων αντικειμένων, και συγκεκριμένα, του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επαληθεύσει τις εκτιμηθείσες παραμέτρους του μηχανισμού και να επικυρώσει διάφορες υποθέσεις για την σχεδίαση του μηχανισμού. Συγκρινόμενη με την κατασκευή φυσικών μοντέλων, η μοντελοποίηση με υπολογιστή έχει το σαφές πλεονέκτημα της ταχείας και ακριβούς εκτίμησης μιας λειτουργικής περιγραφής. Επιπλέον, τα μοντέλα προσομοίωσης με υπολογιστή, έχοντας τη δυνατότητα της διανομής μέσω του διαδιχτύου, προσφέρουν ευρεία ενημέρωση, αυξάνοντας σημαντικά την εκτίμηση της Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας. Τέλος, η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξομοίωση συγκεκριμένων πλευρών της λειτουργίας του μηχανισμού, δίνοντάς μας την δυνατότητα να τον «χρησιμοποιούμε» ακόμη και σήμερα.

Αναφορές

[1] K. Efstathiou, A. Basiakoulis, M. Efstathiou, M. Anastasiou, J.H. Seiradakis, ”Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism,” Mechanism and Machine Theory, Volume 52, June 2012, Pages 219-231.

[2] T. Freeth, Y. Bitsakis, X. Moussas, J. Seiradakis, A. Tselikas, H. Mangou, M. Zafeiropoulou, R. Hadland, D. Bate, A. Ramsey, M. Allen, A. Crawley, P. Hockley, T. Malzbender, D. Gelb, W. Ambrisco, and M. Edmunds, ”Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism,” Nature, Vol. 444, No 11, November 2006, pp. 587-591.

[3] R.I. Morris, ”Derek de Solla Price and the Antikythera Mechanism: an Appreciation,” IEEE Micro, Vol. 4, No 1, February 1984, pp. 15-21.

[4] D. de Solla Price, ”An ancient Greek computer,” Scientific American, Vol. 201, June 1959, pp.60-67.

[5] D. de Solla Price, ”Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism - A Calendar Computer from ca. 80 B,” Transactions of the American Philosophical Society, Vol. 64, Part 7 (new series), Nov. 1974.

[6] D. de Solla Price, ”The Productivity of Research Scientists,” 1975 Yearbook of Science and the Future, Encyclopaedia Britannica, Inc., Chicago, 1975, pp. 409-421.

[7] Μ. Ρουμελιώτης, Σ. Σουραβλάς, Τεχνικές Προσομοίωσης, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, Ελλάς, 2012.

[8] M. Roumeliotis, Antikythera mechanism, Multimedia CD (in Greek, English and Ger man), Technology Museum of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece, 2000.

[9] M. Roumeliotis, ”Simulation and Animation of the Antikythera Mechanism,” Web 2012<http://www.etl.uom.gr/mr/index.php?mypage=antikythera>.

[10] W. Rybczynski, ”A Greek Time Machine,” Engine, March 2005, pp. 58-61.

[11] M.T. Wright, A.G. Bromley, ”Current Work on the Antikythera Mechanism, ” Proceedings of the Conf. Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία, Thessaloniki, 4-7 September 1997, pp. 19-25.

ΣΥΜΠΟΣΙΟ
ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ
ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΟΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

SYMPOSIUM
NEW TECHNOLOGIES IN SERVICE
TO OUR KNOWLEDGE OF ANTIQUITY

Modeling and Simulation of the Antikythera Mechanism

MANOS ROUMELIOTIS, Professor, Department of Applied Informatics, University of Macedonia, Thessaloniki. Hellas
E-mail: manos@uom.gr

Modeling and Simulation of the Antikythera Mechanism

MANOS ROUMELIOTIS

Abstract

Technological advances have played a major role in the study of the Antikythera mechanism since the day of its discovery. From the radiographs performed by Dr. Karakalos, until the study of modern day Computer Aided Tomographies, this amazing device has been the application field of numerous new technologies. Computer modeling and simulation was one of the first techniques used for the analysis and study of the mechanism, and they were responsible for the sharp increase in scientific interest for its operation. This is attributed to the fact that simulations and computer models can be rapidly and easily distributed through the Internet. As a verification tool computer simulation can be used for the verification of a design be- fore the machine is actually built, or the analysis of an existing machine. In the case of the Antikythera Mechanism we are faced with a completely deterministic system whose operation is not known in its entirety, derived only by the parts of the mechanism that have been found and studied. Since it is considered by many to be the first portable computer ever built, it is very appropriate to use a modern date computer simulation for validating the functional description of the machine, as well as estimating the possible operation of missing parts. From identifying errors in Derek de Solla Price's drawings, to understanding the implementation of the Hipparchos lunar orbit observations, to calculating the exact tolerances required for the construction of a physical model, the simulation of the mechanism has been proven invaluable. Computer simulation has the additional advantage of being able to quickly verify a multitude of hypotheses as in the case of an as yet unidentified fragment that may have been part of a celestial observation display. Compared with a physical model that can only be used for demonstrating purposes, a simulation model can be easily calibrated to exact dates by computationally "turning" the gears of the mechanism to the required time. Then, it can be used for calculating astronomical phenomena in accordance to the mechanism's original design, without the need for cumbersome adjustments.

New Technologies in Service to our Knowledge of Antiquity
14 December 2013
Thessaloniki, Greece

1. Introduction

The first models of the Antikythera Mechanism ever built were physical models and they were built based on the findings of Derek de Solla Price. Derek de Solla Price studied the Antikythera mechanism for 25 years during which he published his papers of 1959 [4] and 1974 [5]. Although quite a few researchers before Price presented various hypotheses about the mechanism, it was Price who was able to meticulously count the teeth of each gear based on the radiographs of Dr. Karakalos, and give the first detailed description of the mechanism's operation. Today, based on the newer finding of the Antikythera Research Project [2], we know that some of his conjecturers, like the differential turntable, are incorrect. Nevertheless, Price built the solid foundation on which any further research on the mechanism is based.

Price is shown in Figure 1 on the left with the physical model he built. Neither his model, nor most of the physical models that were created subsequently operate flawlessly. This is mainly attributed to the fact that most of the gears' bearings cannot be clearly distinguished in the radiographs or computer aided tomographies and, to be able to clearly display the inner gears, most reconstructions make the mounting plates less robust than they should be [1]. The only, until now, physical reconstruction that operates flawlessly is the one made by Michael Wright [11] but it slightly deviates from the original design by adding some mounting plates. Wright's model is shown in Figure 1 on the right. Other more recent operational physical models demonstrate only the functions of the mechanism, without being accurate reconstructions.

Although physical models were built early in the study of the mechanism, simulation models had to wait for the advancement in both computer hardware and software tools before they started to emerge. The first computer simulation was developed by Robert Morris [3]. He used a block diagram compiler to create an animated version of the mechanism's gears for a vector graphics system. This was an experimental model and not a real simulation of the mechanism, since at the time of its development (around 1980), graphics terminals were not readily available.



Figure 1: Physical Models of the mechanism, Price's (left) and Wright's (right).

This paper examines accurate computer modeling, simulations and animations of the Antikythera mechanism. The study takes into account purpose, scope, availability, and accessibility of the models, to demonstrate that simulations provide an invaluable tool for understanding the mechanism's operation and for the dissemination of the research's results.

1.1.Modeling and Simulation

Modeling refers to the creation of a representation of a system or phenomenon. It may even refer to the complete amount of information we have collected for the study of a system. Models are either physical or mathematical and can be classified according to the taxonomy shown in Figure 2 [7].

Both physical and mathematical models are subdivided into static and dynamic depending on whether they change in time or not. Then, mathematical models are further subdivided into analytical and arithmetic models depending on whether there exist analytical equations to describe them or not. As shown in this figure, simulation is mainly used for arithmetic, dynamic, mathematical models.

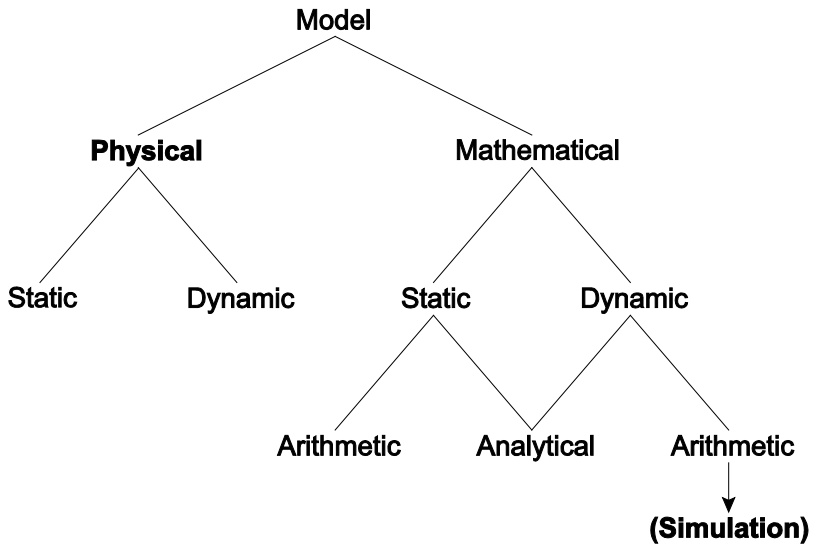


Figure 2: Classification of models.

Based on the models' taxonomy, it would seem more appropriate to build a physical model for a deterministic mechanical system like the Antikythera Mechanism, rather than a computer simulation. However, the classification refers only to system analysis or synthesis and not to other uses of models, like education, where they are used to demonstrate the complex operation of a system through direct visualization. This is the reason we frequently see animation and simulation models of engines, machines, and devices.

In addition, as will be shown in the following paragraphs, apart from its obvious educational value, computer simulation of the Antikythera Mechanism has contributed quite a lot, mainly to the validation of the mathematical models and hypotheses, the identification of errors in the physical designs, and the verification of operational descriptions.

2. Verification of Price's conjectures

The functional description of the Antikythera mechanism as derived from the study by de Solla Price included detailed drawings of the mechanism. To verify these drawings and visualize the operation of the mechanism we tried to create the first completely operational computer model of the mechanism. The transformation of the drawings into computer aided design revealed a error in the drawings as demonstrated in Figure 3.

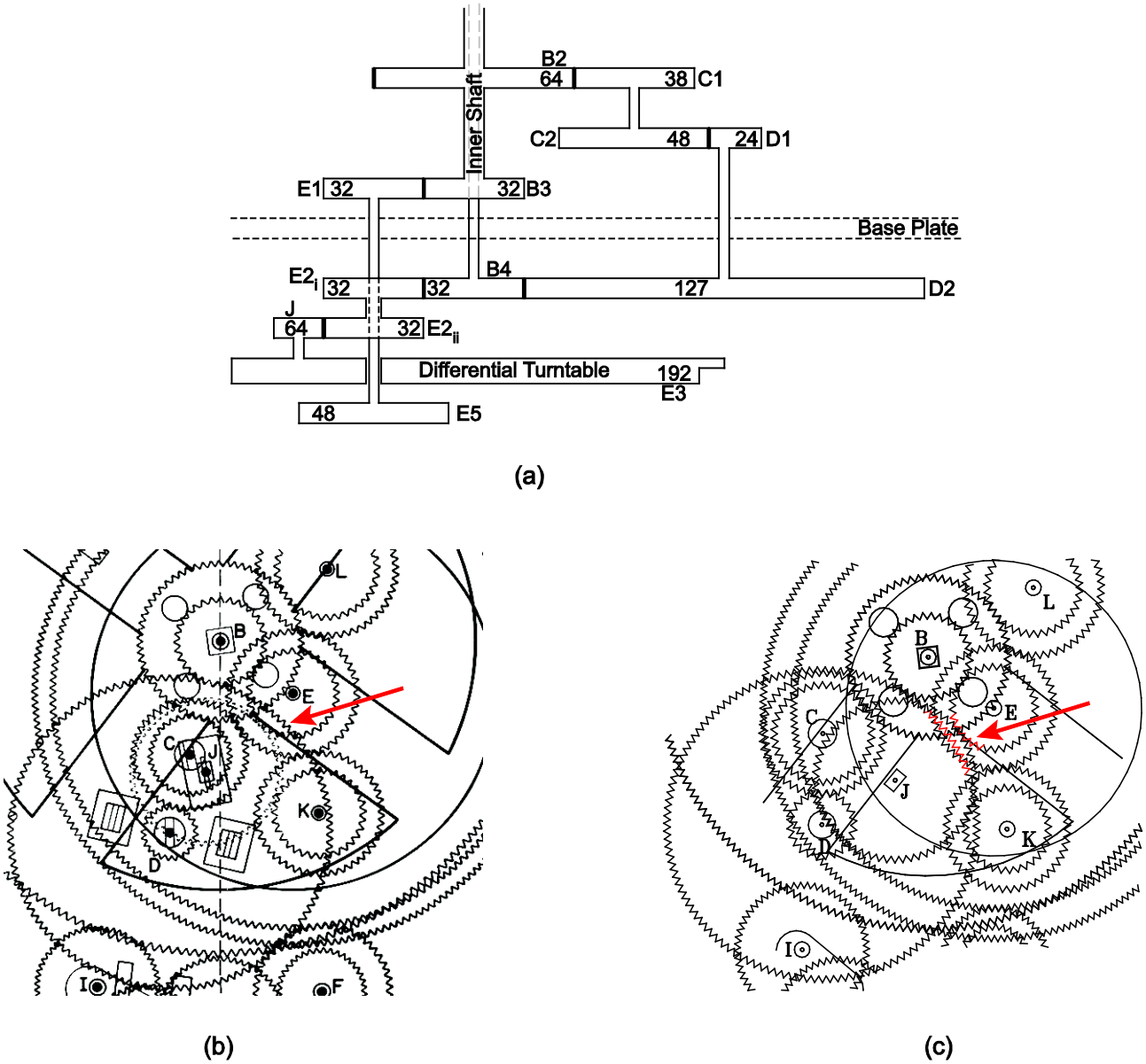


Figure 3: Recalculation of Price's gear positions.
(a) Part of the sectional diagram.
(b) Part of Price's planar view,
(c) Repositioning of the gears.

The drawing on the top (Figure 3(a)) is part of the sectional diagram as given by Morris in [3]. As can be seen, gear E2i engages gear B4 which engages gear D2. It follows that gears E2i. B4, and D2 are on the same plane. However, in the planar diagram shown in Figure 3(b), gears E2i and D2

overlap at the position pointed by the red arrow. As this cannot possibly be the case, the design was corrected for the computer simulation model, by slightly modifying the position of the gears' axes. In the final model, the gears have quite some clearance as shown in Figure 3(c) by the red arrow and the red gear teeth.

Based on the modified drawings, the first computer generated animations of the mecha- nism was created in 1998 [9] and published in a multimedia CD [8]. These animations used pseudocolors for the gears, to make the operation of the mechanism more comprehensible. Two frames of these animations are shown in Figure 4.

In addition to static representation of the model's dimensions, computer simulation models of the Antikythera Mechanism require the accurate specification of either rotation equations for the various parts (mainly gears), or the generation of accurate positional data for each subpart. As these specifications are based on the physical measurements of the mechanism, they can be used to verify the obtained data. As an example, consider the simulation modeling of the Hipparchos gear train [2]. The rotation of gear k1 (the one with the pin) can be modeled simply be the relative rotation of the gears driving k1. However, the rotation of gear k2 is rather complicated. The best way to model it for the simulation, is to calculate the rotational angle of gear k2 relative to the rotational angle of gear k1. Figure 5 shows the sectional diagram of gears k1 and k2 (Figure 5(a)) and the calculation of angle θ' as a function of angle θ.

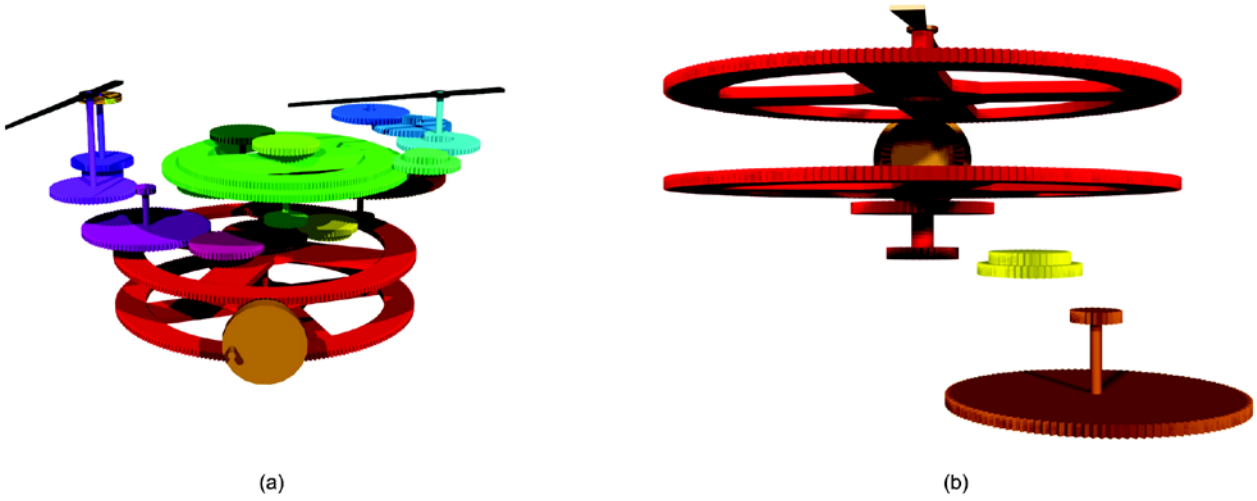


Figure 4: Two frames from the original animations. (a) A frame showing the differential gear at the top. (b) A frame showing the assembly of the mechanism by the gears falling into place.

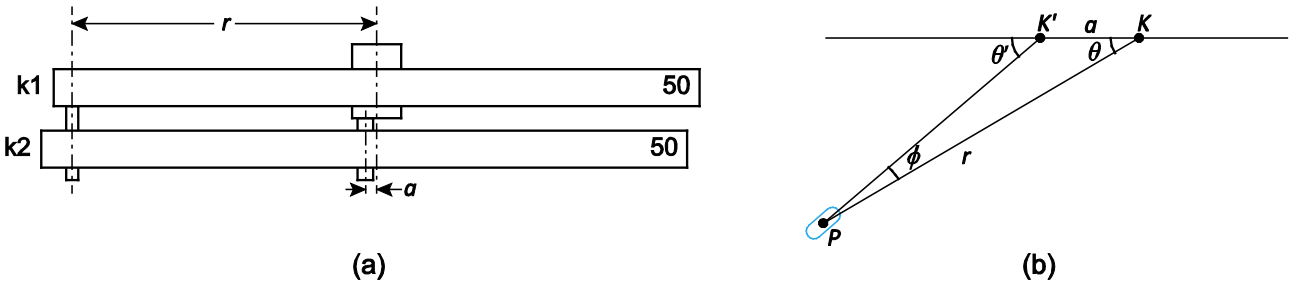


Figure 5: Calculation of the relative angle of the slotted Hipparchos gear.

For the triangle shown in Figure 5(b), K is the center of gear k1, K′ is the center of gear k2, and P is the pin attached to gear k1. Thus, sides KK′ and KP of the triangle are of constant length (a and r respectively), while side K′P is variable, depending on the position of the pin inside the slot. The sine law states that:

$$\frac{r}{\sin(180-\theta')}=\frac{\alpha}{sin\phi}\Longrightarrow sin\phi=\frac{\alpha}{r}\sin(180-\theta')=\frac{\alpha}{r}\sin(180-\theta-\phi),$$

Using the sum of angles formula

$$sin\phi\left(1+\frac{\alpha}{r}\cos(180-\theta)\right)=\frac{\alpha}{r}\sin(180-\theta)\,cos\phi$$

and setting

$$x=1+\frac{\alpha}{r}\cos(180-\theta),\text{και } y=\frac{\alpha}{r}\sin(180-\theta)$$

we get

$$sin^2\phi x^2=y^2(1-sin^2\phi),$$

from which we finally get

$$sin\phi=\frac{y}{\sqrt{x^2+y^2}},\text{ή } \phi=\arcsin\left(\frac{y}{\sqrt{x^2+y^2}}\right),$$

Since $\theta'=\theta+\phi$ the relation of θ' and θ is

$$\theta'=\theta+\arcsin\left(\frac{y}{\sqrt{x^2+y^2}}\right).$$

Thus, in simulating the rotation of the various gears, the position of gear k2, as defined by angle θ' can be computed by the position of gear k1 as defined by angle θ.

Another use of simulation modeling for verification of the mechanism's operation is the computation of the gear parameters. Both the old radiographs and the modern tomographies showed that the teeth of the Antikythera mechanism's gears were triangular. This teeth geometry is the easiest to manufacture, especially with the tools available at the time, but the least appropriate for smooth interlocking. The reason is clearly shown in Figure 6. If the distance of the gear centers is such that the tip of a tooth falls very close to the land between the teeth, then the gears cannot rotate because the tip hits the side of the opposite tooth.

Depending on the actual inner (at the lands) and outer (at the teeth) diameters of the gears, what needs to be computed is the pitch radius of each gear. The pitch radius is defined as the radius at which two cylinders would roll on each other, assuming that the gears are replaced by touching cyl-

inders. Taking into account that the cylinders cannot slide at all, the pitch ratio is exactly equal to the gear ratio. Thus, by specifying one of the pitch radii, the other one can be directly derived. If the clearance, defined as the distance between one tooth's tip from the opposite land, is too small, rotation is not possible as explained before. If the clearance is too large, then there is inadequate transfer of torque between the gears, resulting in a difficult or impossible operation of a long gear train. This is probably the reason that most of the physical models that are accurate reconstructions of the Antikythera Mechanism, do not operate smoothly if at all. On the other hand, computer simulation models can operate smoothly due to the precise calculation of the clearance between each pair of interlocking gears.

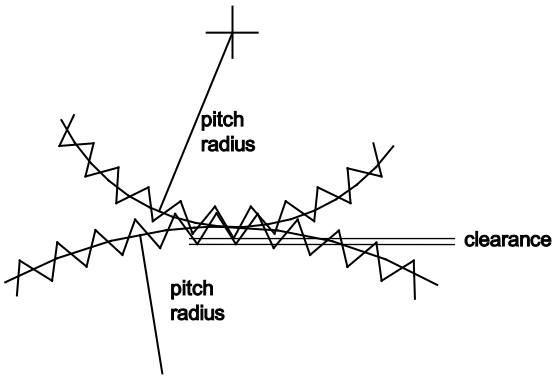


Figure 6: Gear parameters.

The computer aided tomographies performed by the Antikythera research project contradicted Price's placement of a differential gear. Apart from being a very complicated gear-train for a relatively simple derivation it did not account for the slotted K2 gear and fact that such a large gear like E3 would have to turn at a very fast speed, requiring excessive force on the driving crown. The CAT scans revealed that the complicated gear-train which was assumed to drive the differential gear, is in fact the modeling if Hipparchos' lunar anomalies computation. Based on those facts, the computer modeling was very easily adjusted as shown in Figure 7.

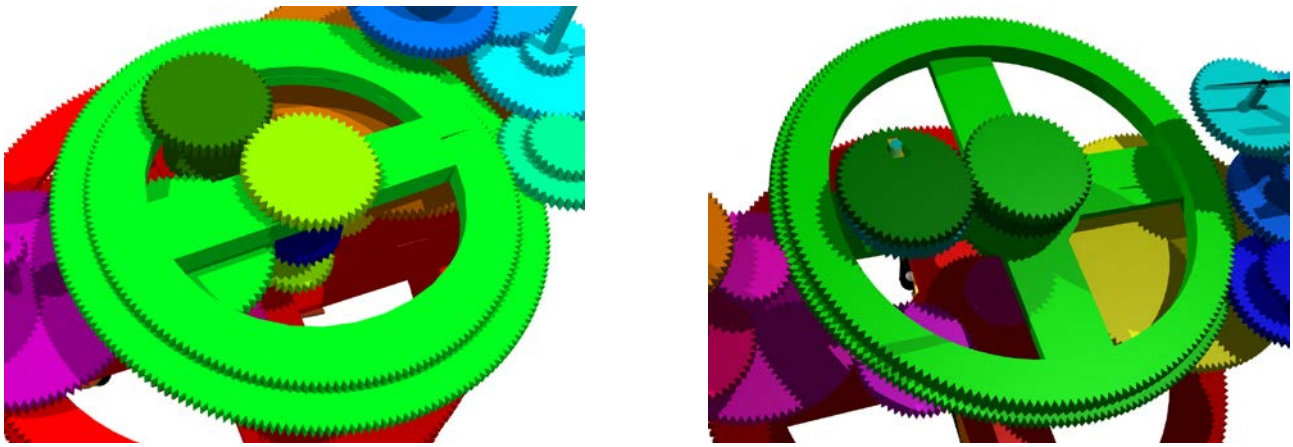


Figure 7: Replacement of the differential gear. (a) Price's differential gear (b) Hipparchos' gears in the new model.

3. Modeling for Hypothesis Testing

Since the main purpose of developing the simulations and animations of the Antikythera Mechanism was the validation and verification of the measurements obtained by either de Solla Price or the newer research, we tried to avoid the inclusion of any missing parts of the mechanism. This was not always possible, because the operation of some parts cannot be demonstrated without showing their interconnection to other parts. However, the insertion of missing parts for the interconnection was kept to the simplest form possible for two reasons: a) the mechanism is very elaborate and elegant, which implies that its craftsman would have gone to the simplest solution possible for any design problem he faced, b) a complicated solution may inadvertently include some engineering knowledge that was not available at the time of the mechanism's development.

This insistence for simplification of the missing parts forced us to include inaccuracies to the simulation rendering, instead of including complicated gear trains. This is illustrated by the rendering of the moon pointer's mounting on its axis, as shown in Figure 8. Only the crown shown in the figure was identified in the existing fragments of the mechanism. The small gear on the sun pointer's axis was not found. The problem is that the crown is, in reality, facing the other way around. This would require the inclusion of at least 3 more gears and a subframe to support them, in order to convert the horizontal rotation of the two pointers into the relative vertical rotation of the moon's sphere that depicts the moon's phases.

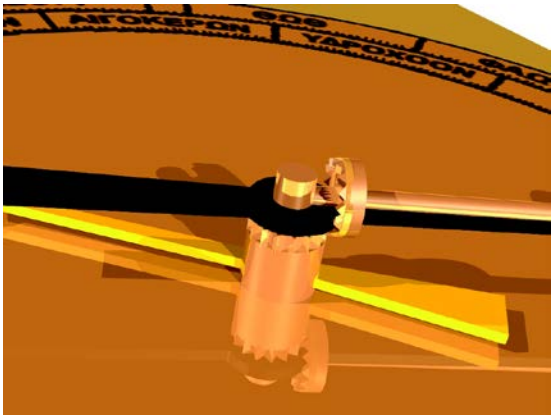
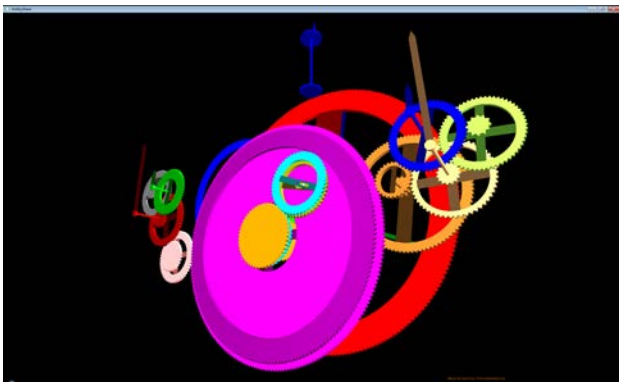


Figure 8: Rendering of the moon pointer mounting.

The solution included in the simulation models is extremely simple and elegant, fol- lowing the philosophy of the mechanism, even though is does not exactly correspond to the available fragments of the mechanism.

4. Simulations for detailed study and operation verification



(α)



(β)

Figure 9: Simulation of the mechanism. (a) View from the back, showing the Hipparchos gears. (b) ”Zooming-in” to check clearance of the gears.

The modeling of the Antikythera Mechanism presented so far produced a series of animations, which demonstrated the operation of the mechanism in various ways. However, to more precisely study the operation, a number of actual simulations was developed. The first set of simulations give the user complete control of the model, so that the user can zoom in, rotate and move the model, in order to examine it from every possible angle. Since the model is described by vectors, the detail is present regardless of the amount of zoom applied. Therefore, minute details of the gearing can me examined to determine the exact meshing of the gears, any discrepancies in their movement, or any problems with the rendering. At any given position, the user can simulate the turning of the crown, thus putting the mechanism in motion and observing its operation. The simulations of the Antikythera Mechanism are posted on the same site [9], again being freely downloadable. Two frames of the simulation are shown in Figure 10.

In addition to their obvious value for scientific research, the simulations are also an educational tool to demonstrate the mechanism’s operation in museums or publications. For example, the simulations have been used at an exhibition entitled ”Gods, Myths, and Mortals: Discover Ancient Greece” hosted by the The Children’s Museum of Manhattan in 2007-2008. Also, a composite picture of the animation appeared on the cover of engine [10] a magazine for teaching English to German engineers!

These simulations cannot be used to check the accuracy of the mechanism’s calculations over o long period of time. For this reason, a more abstract simulation model of the mechanism was constructed, that can be used to rapidly ”operate” the mechanism until it reaches a certain date. The user enters the date and the simulator computes the position of the four cycles calculated by the Antikythera mechanism, namely the Metonic, Callipic, Saros, and Exeligmos cycles. The computation is not performed by solving equations, but by ”turning” the gears of the mechanism as many times as required to reach the date set by the user, and then ”reading” the back dials of the mechanism. Such a simulated computation is shown in Figure 10.

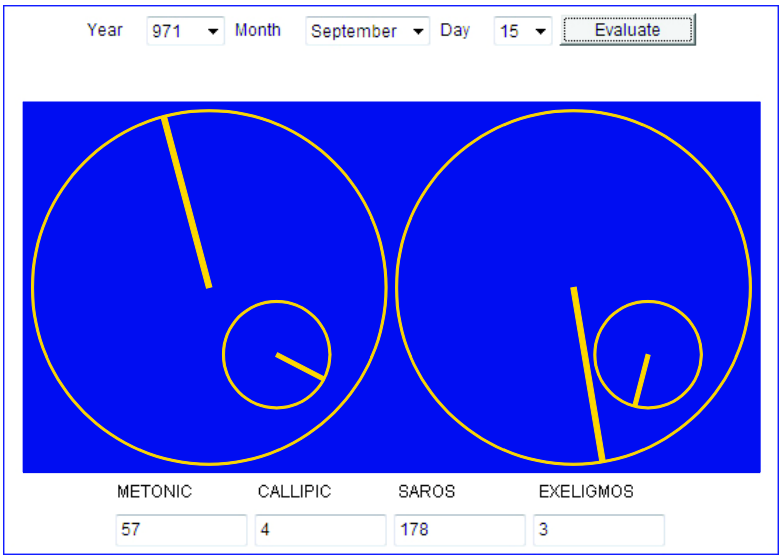


Figure 10: Simulation to compute the various astronomical cycles.

5. Conclusions

This paper demonstrated how computer modeling and simulation can be used to analyze and verify ancient artifacts, and in particular, the Antikythera Mechanism. Simulation can be used to verify the estimated parameters of the mechanism and validate various hypotheses about the mechanism's design. Compared to the creation of physical models, computer modeling has the distinctive advantage of accurate and rapid evaluation of functional descriptions. Also, computer simulation models, being easily distributed, provide widespread awareness, greatly enhancing the appreciation of Ancient Greek technology. Finally, simulation can be used to emulate certain aspects of the mechanism's operation, giving us the opportunity to "use" it even today.

References

[1] K. Efstathiou, A. Basiakoulis, M. Efstathiou, M. Anastasiou, J.H. Seiradakis, ”De- termination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism,” Mechanism and Machine Theory, Volume 52, June 2012, Pages 219-231.

[2] T. Freeth, Y. Bitsakis, X. Moussas, J. Seiradakis, A. Tselikas, H. Mangou, M. Zafeiropou- lou, R. Hadland, D. Bate, A. Ramsey, M. Allen, A. Crawley, P. Hock- ley, T. Malzbender, D. Gelb, W. Ambrisco, and M. Edmunds, ”Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism,” Nature, Vol. 444, No 11, November 2006, pp. 587-591.

[3] R.I. Morris, ”Derek de Solla Price and the Antikythera Mechanism: an Appreciation,” IEEE Mi- cro, Vol. 4, No 1, February 1984, pp. 15-21.

[4] D. de Solla Price, ”An ancient Greek computer,” Scientific American, Vol. 201, June 1959, pp.60-67.

[5] D. de Solla Price, ”Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism - A Calendar Computer from ca. 80 B,” Transactions of the American Philoshophical Society, Vol. 64, Part 7 (new series), Nov. 1974.

[6] D. de Solla Price, ”The Productivity of Research Scientists,” 1975 Yearbook of Science and the Future, Encyclopaedia Britannica, Inc., Chicago, 1975, pp. 409-421.

[7] M. Roumeliotis, S. Souravlas, Τεχνικές Προσομοίωσης; (in Greek), Tziola Publishers, Thessa- loniki, Greece, 2012.

[8] M. Roumeliotis, Antikythera mechanism, Multimedia CD (in Greek, English and Ger- man), Technology Museum of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece, 2000.

[9] M. Roumeliotis, ”Simulation and Animation of the Antikythera Mechanism,” Web 2012 <http://www.etl.uom.gr/mr/index.php?mypage=antikythera>.

[10] W. Rybczynski, ”A Greek Time Machine,” Engine, March 2005, pp. 58-61.

[11] M.T. Wright, A.G. Bromley, ”Current Work on the Antikythera Mechanism, ” Pro- ceedings of the Conf. Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία (Ancient Greek Technology), Thessaloniki, 4-7 September 1997, pp. 19-25.

Animation

The Antikythera Mechanism-
Complete Design Simulation Ray traced with shadows

ISSN: 2241-9993

Simulation
The Antikythera Mechanism

ISSN: 2241-9993

Ακαδημια Θεσμων και Πολιτισμων
Academy of Institutions and Cultures

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

Διεύθυνση- Direction
ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΙΟΥ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗΣ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
JOHN HUGH SEIRADAKIS, Aristotle University of Thessaloniki

Ξενοφών Μουσάς

Xenophon Moussas

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

Από τον Αλέξανδρο στον Αρχιμήδη και τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων

ΞΕΝΟΦΩΝ ΜΟΥΣΑΣ, Καθηγητής Φυσικής του Διαστήματος, Διευθυντής του Πανεπιστημιακού Αστεροσκοπείου του Πανεπιστημίου Αθηνών, Διευθυντής του Εργαστηρίου Αστροφυσικής, του Τμήματος Φυσικής, του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Ελλάς
Email: xmoussas@phys.uoa.gr

Εισαγωγή

Σε αυτό το άρθρο επιχειρείται μια παρουσίαση της συμβολής του Μεγαλέξανδρου στην ανάπτυξη του παγκόσμιου πολιτισμού και ειδικότερα η συμβολή του στην εξέλιξη των επιστημών.

Η Ελλάδα και ο Ελληνικός χώρος κατέχει σημαντική θέση στην παγκόσμια κονίστρα από την παλαιολιθική εποχή, όπως έδειξαν πρόσφατες μελέτες που δείχνουν ότι στο Αιγαίο έχουμε συχνή χρήση πλωτών μέσων και ναυσιπλοΐα από το 130000 με 100000 π.Χ., όπως αποδεικνύουν μελέτες που ανακάλυψαν σχετικά πρόσφατα μόνιμες εγκαταστάσεις ανθρώπων πολύ νωρίτερα από ότι αναμενόταν από την αντίληψη που έχουμε για ανάπτυξη πολιτισμού από προγόνους του ανθρώπου[1].

Το πολυσχιδές του εδάφους, τα πολλά σχετικά μικρά νησιά, παρέχουν καταφύγιο από τα μεγάλα αιλουροειδή και τις αρκούδες που κυριαρχούν κατά μεγάλες περιόδους στην ηπειρωτική Ελλάδα και δυσκολεύουν την ανάπτυξη και εξάπλωση των προγόνων του ανθρώπου. Αντιθέτως τα νησιά αποτελούν ιδανικά καταφύγια επειδή οι επικίνδυνοι θηρευτές, τα μεγάλα αιλουροειδή και οι αρκούδες, δεν έχουν αρκετό ζωτικό χώρο για να επιζήσουν και να αναπτυχθούν και να απειλούν τους ανθρώπους, οι οποίοι πλέουν το Αιγαίο και ζουν στις νήσους από την 15η χιλιετία π.Χ., πριν την νεολιθική εποχή.[2]

Ο πολιτισμός γεννιέται στην προσπάθεια του Ανθρώπου να επιζήσει σε ένα δύσκολο, συχνά επικίνδυνο περιβάλλον, με πάγους ή άγρια θηρία ή στις ερήμους. Η Ελλάδα, το πολυσχιδές του εδάφους, να νησιά, τα βουνά, οι μικρές απομονωμένες κοιλάδες, που διαμορφώνει τελικά και τους Έλληνες, οδηγεί βαθμιαία στην ανάπτυξη μικρών κοινωνιών όπου σε κάποιες από τις οποίες φαίνεται ότι υπάρχει ένα είδος κοινοβουλίου, όπως φαίνεται από το κοινοβούλιο της Λήμνου ή την «αυλή» της Κνωσού, όπου φαίνεται ότι πολλοί κάθονται για μεγάλο χρονικό διάστημα για να συζητήσουν και να εκφράσουν τη γνώμη τους ή και να ψηφίσουν έστω και αν τελικά την απόφαση λαμβάνει κάποιος άρχοντας. Σε αυτές τις συνθήκες οι άνθρωποι μαθαίνουν να εκφράζονται, να αποφασίζουν από κοινού, να έχουν νέες ιδέες, να πείθουν, να διαλέγονται. Η Αγορά και η διαλεκτική, η «μαιευτική» και η επιστήμη γεννιούνται προς όφελος της ανθρωπότητας. Φυσικά τα ταξίδια των Ελλήνων στη διάρκεια των οποίων γνωρίζουν άλλους πολιτισμούς τους ανοίγουν τα μάτια και το μυαλό, όπως μας λέει και ο αρχαιότερος των συγγραφέων, Όμηρος [*πολλῶν δ΄ ἀνθρώπων ἴδεν ἄστεα καὶ νόον ἔγνω*, ο Οδυσσέας].

[1] Thomas F. Strasser, Eleni Panagopoulou, Curtis N. Runnels, Priscilla M. Murray, Nicholas Thompson, Panayiotis Karkanas, Floyd W. McCoy and Karl W. Wegmann, *STONE AGE SEAFARING IN THE MEDITERRANEAN: Evidence from the Plakias Region for Lower Palaeolithic and Mesolithic Habitation of Crete*, THesperia: The Journal of the American School of Classical Studies at Athens, 79, 145-190, 2010).
Thomas F. Strasser, Curtis Runnels, Karl Wegmann, Eleni Panagopoulou, Floyd Mccoy, Chad Digregorio, Panagiotis Karkanas, Nick Thompson, *Dating Palaeolithic sites in southwestern Crete, Greece*, ,Journal of Quaternary Science, 26, 553–560, 2011
The Early and Middle Pleistocene Archaeological Record of Greece: Current ...
Vangelis Tourloukis, Leiden University Press, 2011. Πρέπει να προσθέσω ότι αμφισβειτείται από ορισμένους ότι η Κρήτη ήταν νησί πριν να ανοίξουν οι Πύλες του Ηρακλέους (το Γρβαλτάρ).

[2] N. Laskaris, A. Sampson, F. Mavridis,I. Liritzis, *Late Pleistocene/Early Holocene seafaring in the Aegean: new obsidian hydration dates with the SIMS-SS method*, Journal of Archaeological Science, 38, 2475–2479, 2011

Αστρονομία μητέρα του Πολιτισμού

Η αιτιοκρατία, η αντίληψη ότι υπάρχουν νόμοι της Φύσης που κυβερνούν όλα τα φαινόμενα που συμβαίνουν στο Γη και τον Κόσμο, τα μαθηματικά, η Φυσική Φιλοσοφία και γενικότερα η Φιλοσοφία που άλλαξε τον Κόσμο μας και οδήγησε στον Πολιτισμό, γεννήθηκαν με την Αστρονομία. Άνθρωπος, άλλωστε σύμφωνα με κάποια ετυμολογία είναι αυτό το ον που ατενίζοντας τον έναστρο ουρανό, θαυμάζοντάς τον από απλό έμβιο όν γίνεται άνθρωπος[3].

Ασφαλώς χιλιετίες πριν από την ανάπτυξη της *αγοράς* , όπου οι άνθρωποι επικοινωνούν, συζητούν και επιχειρηματολογούν, πολύ πριν την ανάπτυξη της διαλεκτικής, οι πρόγονοι του ανθρώπου (όπως και αν τους ονομάζουμε) ατενίζουν τον ουρανό, κάθε ξάστερη νύκτα, και με τον καιρό, μέρα με την μέρα και νύκτα με την νύκτα, διαπιστώνουν την κυκλική κίνηση των απλανών αστέρων, αναγνωρίζουν τους πλανήτες που έχουν σημαντικότερο ρόλο στον Κοσμικό χορό, μελετούν την κίνηση της Σελήνης και την περίεργη μεταβολή του φωτεινού τμήματός της που καθορίζει πότε μπορεί κανείς να κυνηγήσει και να ψαρέψει, τον Ήλιο που είναι κυρίαρχος της ζωής μας σε αυτό τον πλανήτη με τις εναλλαγές των εποχών και το ημερονύκτιο.

Βαθμιαία από τον κοσμικό χορό των ουρανίων σωμάτων αντιλαμβάνονται την *αρμονία των σφαιρών* του Πυθαγόρα, που την μουσική τους δεν ακούμε, αλλά αντιλαμβανόμαστε με τα μαθηματικά, αφού τελικά (και πολύ σωστά) όλα είναι μαθηματικά κατά τους Πυθαγορίους, με τα οποία αποκλειστικά περιγράφεται η φύση και ο Κόσμος, δηλαδή αποκλειστικά μέσω των νόμων της φυσικής. Φυσικά τότε προσπαθούσαν να κατανοήσουν και να αναπαράγουν τα φυσικά φαινόμενα με τους τότε γνωστούς νόμους της φυσικής, όπως τους αντιλαμβάνονταν τότε. Για παράδειγμα οι νόμοι της φυσικής για την πρόβλεψη των εκλείψεων ήταν οι γνωστές περιοδικότητες των εκλείψεων, οι Σάροι, τις οποίες χρησιμοποιούμε και σήμερα.

Η αστρονομία είναι καθοριστική για την δημιουργία του πολιτισμού, την γέννησή του και την εξέλιξή του. Ο άνθρωπος προοδεύει καθώς οδηγείται στην ανάπτυξη αστρονομικών μοντέλων. Αρχίζει κυρίως με την δημιουργία ακριβών ημερολογίων που είναι απαραίτητα για την λειτουργία της κοινωνίας, ακόμη και αν αυτή δεν είναι οργανωμένη. Ο σωστός χρόνος καθορισμού της σποράς και άλλων αγροτικών εργασιών είναι κεφαλαιώδους σημασίας για τις κοινωνίες των ανθρώπων και η χρήση ακριβών ημερολογίων απαιτεί σωστές παρατηρήσεις των κινήσεων του Ηλίου και της Σελήνης. Η Σελήνη με την πολύπλοκη τροχιά της και συνοδική περίοδο, δηλαδή περίοδο σχετικά με τη Γη και τον Ήλιο, η οποία είναι περίπου 29,5 ημέρες οδηγεί αναγκαστικά σε πολύπλοκα μαθηματικά και αναγκάζει τον άνθρωπο να τα αναπτύξει. Δεν είναι υπερβολή να πούμε ότι όλος ο ανθρώπινος πολιτισμός δημιουργήθηκε επειδή η διάρκεια του έτους δεν είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της διάρκειας του σεληνιακού συνοδικού μήνα. Αν δηλαδή τύχαινε το έτος να είναι 350 ημέρες και ο μήνας 35 ημέρες ή 70 ή 10 ημέρες δεν θα χρειάζονταν πολύπλοκα μαθηματικά. Η φύση είναι συχνά απλή, αλλά πολύ συχνότερα πολύπλοκη. Η Σελήνη έχει πολύπλοκη κίνηση διότι η θέση του επιπέδου κίνησής της γύρω από την Γη αλλάζει περιοδικά κατά +- 5^o περίπου με αποτέλεσμα οι εκλείψεις του Ηλίου και της Σελήνης και οι φάσεις επανεμφάνισης της Σελήνης στον ουρανό να έχουν διάφορες περιοδικότητες και ως εκ τούτου να απαιτούνται πολύπλοκα μαθηματικά για την πρόβλεψή τους.

Αρκετά πολύπλοκες είναι και οι κινήσεις των πλανητών, ειδικά όπως τις βλέπουμε από την Γη η οποία κινείται γύρω από τον Ήλιο με άλλη ταχύτητα από αυτήν που κινούνται οι άλλοι πλανήτες, πόσο μάλλον που ο καθένας τους έχει διαφορετική γωνιακή και γραμμική ταχύτητα. Οι αρχαίοι αστρονόμοι ανακαλύπτουν τις πολύπλοκες περιοδικότητες καθώς μετρήσεις των θέσεων των πλανητών συσσωρεύονται από παρατηρήσεις που γίνονται στη διάρκεια αιώνων. Διότι για να ανακαλύψεις περιοδικότητες χρειάζεσαι παρατηρήσεις πολλαπλάσιας διάρκειας και για μεγάλης διάρκειας περιοδικότητες της τάξης των 18, 19, 54 και 76 ετών χρειάζεσαι παρατηρήσεις αιώνων, που κάποιες από αυτές αρχίζουν από την προϊστορική εποχή.

Από αυτή την πολύχρονη αλληλεπίδραση του ανθρώπου με τον ουρανό, με τα άστρα, τον Ήλιο, την Σελήνη

[3] Ασφαλώς γνωρίζω την ετυμολογία που θέλει η λέξη άνθρωπος να προέρχεται από την λέξη άνδρας και σημαίνει ότι είναι αυτό το ον που μοιάζει με άνδρα, αλλά δεν την δέχομαι διότι είναι σεξιστική, και δεν νομίζω ότι υπάρχει κυρία που θα δεχόταν ότι μοιάζει με άνδρα, αλλά πώς θα μπορούσε να υπάρχει μια λέξη που αναφέρεται στον άνδρα και να σημαίνει ότι μοιάζει με άνδρα, άρα δεν είναι άνδρας, διότι αν είναι δεν μπορούμε να πούμε ότι μοιάζει μα άνδρα.

και τους πλανήτες, έχουμε την ανάπτυξη νέων οργάνων μέτρησης, που δίνουν την δυνατότητα πολλών και πολύ καλύτερων μετρήσεων, που μετά από μελέτη οδηγούν στην ανάπτυξη όλο και ακριβέστερων αστρονομικών μοντέλων που επιχειρούν να περιγράψουν την φύση με ακρίβεια. Η γέννηση της αντίληψης ότι υπάρχουν νόμοι της φύσης και αιτιοκρατία οφείλεται συνεπώς στην μελέτη της κίνησης του Ήλιου και της Σελήνης, στην αρμονία των άστρων και των πλανητών και οδηγεί στην ανάπτυξη των επιστημών.

Από τα μαθηματικά μοντέλα των Ελλήνων κατά τη διάρκεια των αιώνων μας επιτρέπεται να γνωρίζουμε τις αντιλήψεις τους σχετικά με την ερμηνεία του Κόσμου με την φυσική φιλοσοφία, δηλαδή με τις επιστήμες και τα μαθηματικά.

Η αστρονομία έδωσε πολλούς καρπούς, από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα, αυτή οδήγησε στους νόμους της Φυσικής με τον Κέπλερ και τον Νεύτωνα και σήμερα συνεχίζει με απίστευτη επιτυχία. Ασφαλώς δεν θα είχαμε την σύγχρονη τεχνολογία χωρίς την διαστημική εποχή. Τα τελευταία 55 έτη της διαστημικής εποχής που άρχισε με τον Σπούτνικ (4η Οκτωβρίου 1957) η πρόοδος της ανθρωπότητας είναι αλματώδης σε όλα τα πεδία. Ο σημερινός πολιτισμός μας βασίζεται στην αρχαία Ελληνική παράδοση της φιλοσοφίας και ειδικότερα στην φυσική φιλοσοφία και την παράδοση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων που αποτελεί την *Επιτομή του Ελληνικού πολιτισμού*, αφού η σύλληψη και η κατασκευή του απαιτεί εφαρμογή όλων των συνιστωσών της Ελληνικής φιλοσοφίας. Περικλείει την αντίληψη των Νόμων της Φύσης που βλέπουμε στους ορφικούς Ύμνου[4], την αιτιοκρατία, την αντίληψη των Πυθαγορείων ότι οι φυσικοί νόμοι εκφράζονται με ακρίβεια μόνο με μαθηματικά, περιέχει όλη την *Φυσική Φιλοσοφία*, που επιτρέπει στον Άνθρωπο να κατανοήσει την Φύση, να ερμηνεύσει και ακόμη να προβλέπει ορισμένα φυσικά φαινόμενα, ακόμη και πολύπλοκα, όπως αυτά της κίνησης των ουρανίων σωμάτων, αρχικά να τα εκφράζει με μαθηματικά μοντέλα και στη συνέχεια να τα αναπαριστά πιστά με γρανάζια[5].

Αλέξανδρος, Βαβυλών και Αίγυπτος

Ο Μεγαλέξανδρος όπου πήγε στις εκστρατείες του και στην Ελληνική αυτοκρατορία που ίδρυσε, είχε μαζί του ως συμβούλους επιστήμονες που τους συμβουλευόταν σε πολλά[6]. Αυτοί οι επιστήμονες συνέλλεγαν επιστημονικές πληροφορίες σχετικά με κάθε τι. Συνέλλεγαν γεωγραφικά στοιχεία, για να κάνουν καλούς χάρτες, πληροφορίες για φυτά και τα ζώα, παλαιά αστρονομικά δεδομένα μεταξύ των οποίων μπορούμε να υποθέσουμε ότι ήταν κατάλογοι εκλείψεων, θέσεις των πλανητών να τους αιώνες, πληροφορίες για ημερολόγια. Όλες αυτές τις πολύτιμες πληροφορίες τις καταγράφουν και τις στέλνουν πίσω στην Ελλάδα.

Αυτή η επιστημονική διαδικασία συνεχίζεται από τους διαδόχους του και μετά τον θάνατό του, και δημιουργείται μια παγκόσμια επιστημονική παράδοση προς όφελος των επιστημών και του πολιτισμού. Η κοινή πλέον γλώσσα των επιστημών, που γίνεται η Ελληνική, συμβάλλει στην ευκολότερη ανάπτυξη των επιστημών στον γνωστό τότε κόσμο που είναι πλέον Ελληνικός και έτσι γεννιέται αυτό που ονομάσθηκε Ελληνιστικός πολιτισμός, διότι ίσως ενοχλούσε ο όρος Ελληνικός. Η Αίγυπτος συνεισφέρει ασφαλώς με τις γνώσεις της, αλλά και με ένα απροσδόκητο τρόπο. Η γραφειοκρατία στην τεράστια αυτή χώρα την οποία ο Αλέξανδρος απελευθερώνει από τους σκληρούς δυνάστες της τους Πέρσες, είναι, παραδόξως, ένας παράγοντας που οδήγησε σε πρόοδο. Η Ελληνο-Αιγυπτιακή γραφειοκρατία, που απαιτεί καταγραφή όλων των προϊόντων που διακινούνται στα λιμάνια και κυρίως στην Αλεξάνδρεια απαιτεί τεράστιο αριθμό ατόμων που να μπορών να γράφουν και να κάνουν μαθηματικές πράξεις για να πληρώνονται οι φόροι. Για να εκπαιδευτούν αυτά τα άτομα απαιτούνται πολλοί δάσκαλοι και σχολεία. Η εκπαίδευση οδηγεί κάποια προικισμένα άτομα να μορφώνονται πολύ καλά και να γίνονται επιστήμονες. Οι βασιλείς αντιλαμβάνονται

[4] Papathanasiou, 1978, *Cosmolocical and Cosmogonical Notions in Greece during the 2dn millenium BC,* PhD Thesis, University of Athens.

[5] Αξιοσημείωτο είναι ότι η κίνηση της Σελήνης στον Μηχανισμό των Αντικυθήρων αναπαράγεται αρκετά πιστά με χρήση καλών προσεγγίσεων και των τριών νόμων του Κέπλερ.

[6] Κουτσούκος, Μάριος, Ο Μέγας Αλέξανδρος και γεωπονική επιστήμη - Η επιστημονική πτυχή της εκστρατείας στην Ανατολή, 112 σελ. Εκδ.Οίκ. Σταμούλης Αντ. ISBN 960-8353-78-5, ISBN-13 978-960-8353-78-7, Αθήνα, 2005,
Engels Donald W., *Alexander the Great and the Logistics of the Macedonian Army*, University of California Press, pp194, 1980

περισσότερο την χρησιμότητα των σχολείων και των σχολών, δηλαδή των πανεπιστημίων εκείνης της εποχής. Γεννιούνται το Μουσείο και η Βιβλιοθήκη της Αλεξάνδρειας, η οποία τροφοδοτείται με αντίγραφο κάθε βιβλίου που υπάρχει σε διερχόμενο πλοίο. Η επιστήμη βασίζεται πλέον στην παγκόσμια κληρονομιά του Μεγαλέξανδρου και η Αλεξάνδρεια είναι το κέντρο της για αιώνες.

Η κληρονομιά του Αρχιμήδη

Συγχρόνως δημιουργείται στις Συρακούσες ένα κέντρο επιστημών όταν ο Διονύσιος αποφασίζει και ιδρύει ένα κέντρο ανάπτυξης πολεμικής αρχικά τεχνολογίας μαζεύοντας επιστήμονες, μηχανικούς, τεχνικούς, τεχνίτες για να φτιάχνει καλύτερες πολεμικές μηχανές, καταπέλτες, πολιορκητικές μηχανές, πλοία κ.α. εφαρμογές και συγχρόνως αναγκαστικά αναπτύσσονται και οι επιστήμες. Ο Αρχιμήδης αναπτύσσεται εκεί. Ο πατέρας του, Φειδίας, είναι αστρονόμος και ασφαλώς και μαθηματικός και πανεπιστήμων. Ο Αρχιμήδης προικίζεται από τον πατέρα του με όλες τις γνώσεις και έτσι γίνεται ο μέγιστος των μαθηματικών. Ο Αρχιμήδης βέβαια δεν είναι μόνο μαθητής του πατέρα του. Πηγαίνει στην μεγάλη Μητρόπολη, την Αλεξάνδρεια όπου ασφαλώς εκπαιδεύεται και γίνεται μεγαλοφυία. Ο Αρχιμήδης αναπτύσσει και τεχνικές εφαρμογές, στρατιωτικές, όπως αυτές που του επέτρεψαν να κρατήσει ελεύθερη την πατρίδα του, τις Συρακούσες, απωθώντας με διάφορες εφευρέσεις τους πολιορκητές Ρωμαίους για καιρό, σχεδόν μόνος του. Ανάμεσα στα άλλα ξέρουμε από περιγραφές ότι φτιάχνει και ρολόγια και δυο *Σφαίρες* δηλαδή μηχανικά σύμπαντα. Αξίζει να αναφέρουμε ότι αιώνες αργότερα ο Ήρων μας δίνει τον ορισμό του μηχανικού ότι είναι αυτός που [όπως ο Αρχιμήδης] μπορεί να κατασκευάσει ένα μηχανικό σύμπαν. Ο Αρχιμήδης έχει σχολή και μαθητές που θητεύουν και έτσι οι γνώσεις του πηγαίνουν σε άλλους επιστήμονες που εκπαιδεύει επάξια, όπως φαίνεται με την μελέτη μας του Μηχανισμού των Αντικυθήρων του οποίου η κατασκευή εκτιμούμε με υπολογισμούς ότι βασίζεται στις μετρήσεις του Αρχιμήδη και των μαθητών του που συνεχίζουν το έργο του για τρεις τουλάχιστον δεκαετίες.

Τα μυστικά του Μηχανισμού

Τι μυστικά μπορεί να έχει ένα μηχάνημα; γιατί να ενδιαφέρεται κανείς να μελετήσει ένα μηχάνημα; Τι μπορεί να αποδώσει μια μελέτη ενός ξεχασμένου από πολλούς μηχανισμού, έστω και αν αυτό έχει ένα παράξενο όνομα, όπως *Μηχανισμός των Αντικυθήρων ή Αστρολάβος των Αντικυθήρων,* που ήταν το όνομα που είχε όταν ήμουν παιδί και τον θαύμαζα στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο, κοντά στο σπίτι μας που συνήθιζα και συνηθίζω να πηγαίνω Κυριακές μεσημέρι να θαυμάζω τα αρχαίους θησαυρούς, ή *Σφαίρα* [κατά Αρχιμήδη], ή *Πλανητάριο,* ή *Πίνακα* και *Πινακίδιο, (*που εκτιμώ ότι είναι και το πλέον πιθανό*)* ή ακόμη και *Πυξίδα* όπως ονομάζουν παρόμοια μηχανήματα στα οποία αναφέρονται αρχαίοι συγγραφείς. Το ενδιαφέρον και η αγάπη που είχα για αυτό το μηχάνημα αποδείχθηκε πολύ αποδοτική, όπως κάθε αγάπη, γιατί η αγάπη πάντοτε ανταποδίδει πολλαπλάσια άδολα, προς όφελος όλων. Η μελέτη του μηχανισμού απέδωσε προς όφελος της Ελλάδας, της ανθρωπότητας, της ελληνικής και παγκόσμιας ιστορίας, της ιστορίας της αστρονομίας, των μαθηματικών, της τεχνολογίας, της μεταλλουργίας, της χημείας, της μηχανικής και της φυσικής, της μετεωρολογίας και της κλιματολογίας, ακόμη και της αστροφυσικής και της γλωσσολογίας, όσο και αν αυτό φαίνεται παράξενο ή και απίθανο.

Η μελέτη του Μηχανισμό που διεξάγεται από την επιστημονική ομάδα μας στο Πανεπιστήμιο Αθηνών βασίζεται στις τομογραφίες που κάναμε με τον Τομογράφο με το περίεργο όνομα *BladeRunner* που σχεδίασε και κατασκεύασε με τους συνεργάτες του ο Roger Hadland, τότε ιδιοκτήτης της εταιρείας υψηλής τεχνολογίας X-tek Systems, που φέραμε από την Βρετανία, συνολικού βάρους 12 τόνων ειδικά σχεδιασμένο να διαπερνά γύρω στα 12 με 15 εκατοστά χαλκού. Αυτή η διεισδυτική ικανότητα ήταν απαραίτητη ιδιότητα που απαιτούσαμε από ένα τομογράφο, ώστε να μπορεί να αναδείξει τα μυστικά του μεγαλύτερου αρχαίου μυστηρίου.

Μια σημαντικότατη έκπληξη αποτελεί η ανάγνωση των ωρών, μηνών και ετών των εκλείψεων σε μια ελικοειδή κλίμακα των εκλείψεων 223 μηνών, του Σάρου, που με χρήση ενός γράμματος τριπλασιάζεται σε διάρκεια και γίνεται η περίοδος του Εξελιγμού διάρκειας 54 ετών περίπου. Μεγαλύτερη ήταν η έκπληξη που είχαμε όταν ο κ. Γ. Χένριξον, αστρονόμος ειδικός στις αρχαίες εκλείψεις, με βασισμένος στην ανάγνωση των ωρών, μηνών και ετών των αρχαίων εκλείψεων του Μηχανισμού, οι οποίες καλύπτουν μια χρονική περίοδο

ενός *Εξελιγμού*, δηλαδή περιόδου 54 ετών και ενός μηνός, υπολογίστε πού θα μπορούσαν αν είχαν γίνει οι παρατηρήσεις. Τεράστια ήταν η έκλειψή μου ότι όλες έχουν παρατηρηθεί στην Σικελία και ειδικότερα όλες σχεδόν στις Συρακούσες και μια στο Ταυρομένιο και ακόμη μεγαλύτερη έκπληξη πως το 1/3 παρατηρήθηκαν την εποχή του Αρχιμήδη και οι υπόλοιπες σε μια περίοδο τριάντα περίπου ετών μετά τον φόνο του Αρχιμήδη.

Αυτή η ανακάλυψη είναι πρώτου μεγέθους αστρονομική ανακάλυψη, διότι αποδεικνύει ότι η υπογραφή του μεγαλύτερου επιστήμονα όλων των εποχών, αποδεικνύει ότι ο Αρχιμήδης ήταν αστρονόμος. Ξέραμε ότι είχε φτιάξει δυο αστρονομικά μηχανήματα, το πλανητάριο και την μηχανική, πιθανότατα αυτόματη, ουράνια σφαίρα, αλλά αυτό δεν αποδεικνύει ότι ήταν αστρονόμος, αλλά ότι είχε τουλάχιστον φτιάξει ένα δυο αστρονομικά αυτόματα για να δείξει την δεξιοτεχνία του.

Η παγκόσμια κληρονομιά

Χωρίς το παγκόσμιο Ελληνικό κράτος του Αλεξάνδρου και χωρίς την προσωπική συμβολή του, μέσω των επιστημόνων συμβούλων του μέγιστου των μαθητών του Αριστοτέλη, δεν θα μπορούσε να έχει υπάρξει η σημερινή επιστήμη και ο σημερινός πολιτισμός. Οι επιστήμες από την εποχή του Ερατοσθένη, του Ευκλείδη και του Αρχιμήδη αναπτύσσονται στον παγκόσμιο καμβά που έχει κατασκευάσει η Ελληνική Κοσμοκρατωρία του Μεγαλέξανδρου και χωρίς αυτή πρέπει να τονίσουμε ότι δεν θα μπορούσε αν είχε αναπτυχθεί η επιστήμη όπως την ξέρουμε σήμερα. Ίσως να είχε γεννηθεί κάτι άλλο. Ο σημερινός κόσμος βασίζεται στις ανακαλύψεις των Ελλήνων επιστημόνων που ανθούν όπως και οι επιστήμες στην Αλεξάνδρεια, τις Συρακούσες, την Ρόδο, την Σελεύκεια, και όλο τον Κόσμο του Αλεξάνδρου. Τα bits και τα bytes του υπολογιστή σας, του φορητού τηλεφώνου σας, έχουν περάσει από την Αλεξάνδρεια και τις Συρακούσες και την Ρόδο και την Σελεύκεια και οι ρίζες τους πάνε στον Μεγαλέξανδρο. Πολλές από τις νεότερες ανακαλύψεις στηρίζονται στους ώμους γιγάντων που, όπως μας λέει χαρακτηριστικά, ο Νεύτων στηρίχθηκε και αυτός. Ανάμεσα σε αυτούς είναι και οι τεράστιοι ώμοι του Αλεξάνδρου. Ο παγκόσμιος πολιτισμός, που είναι σε μεγάλο βαθμό Ελληνικός πολιτισμός και Ευρωπαϊκός πολιτισμός, βασίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στον Αλέξανδρο και την παγκόσμια κληρονομιά του.

Βιβλιογραφία

Berthelot, M. (1888). *Collection des Anciens Alchimistes Grecs*, Steinheil, Paris, http://www.rexresearch.com/alchemy5/berthelo.htm http://remacle.org/bloodwolf/alchimie/table.htm

Betegh, Gábor (2004). *The Derveni Papyrus: Cosmology, Theology and Interpretation*, Cambridge University Press,

Bromley A.G. (1986). *Notes on the Antikythera Mechanism*, Centaurus, vol. 29, pp. 5-27.

Bromley A.G. (1990a). *The Antikythera Mechanism*, Horological Journal, vol. 132, pp. 412-415.

Bromley A.G. (1990b). *The Antikythera Mechanism: A Reconstruction*, Horological Journals July 1990, pp. 28-31.

Bromley A.G. (1990c). *Observations of the Antikythera Mechanism*, Antiquarian Horology, No.6, vol. 18, Summer 1990, pp. 641-652.

Chondros, Thomas G., 2009, *The Development of Machine Design as a Science from Classical Times to Modern Era,* in H.-S. Yan, M. Ceccarelli (eds.), *International Symposium on History of Machines and Mechanisms*, DOI 10.1007/978-1-4020-9485-9_5, Springer Science+Business Media B.V.

Devevey, F., A. Rousseau, C. Vernou, P. Cauderlier, & C. Magister (2008). *The Astral Disc of Chevroches*, Cosmology Across Cultures, SEAC 2008, Granada, http://www.iac.es/congreso/cac2008/pages/view_abstract.php?aid=7

Devevey, F. (2009). *The zodiacal curved disc of Chevroches*, IAU–UNESCO Symposium 260, The Role of Astronomy in Society and Culture, 19 – 23 January 2009, UNESCO Headquarters, Paris, France, http://iaus260.obspm.fr

Engels Donald W., *Alexander the Great and the Logistics of the Macedonian Army*, University of California

Press, pp194, 1980
Freeth, T., Bitsakis, Y., Moussas, X., Seiradakis, J.H., Tselikas, A., Mangou, H., Zafeiropoulou, M., Hadland, R., Bate, D., Ramsey, A., Allen, M., Crawley, A., Hockley, P., Malzbender, T., Gelb, D., Ambrisco, W. & Edmunds, M.G. (2006). Nature 444, 587.
Freeth, T., Jones, A., Steele, J.M. & Bitsakis, Y. (2008). Nature 454, 614.
Freeth, T. (2009). *Decoding an Ancient Computer,* Scientific American 301 (6): 76–83.
Gibbon, Edward, (2009). *The Decline and Fall of the Roman Empire*, CRW Publishing Limited, Cirencester, United Kingdom.
Henriksson, Goran (2009). *Ten solar eclipses show that the Antikythera Mechanism was constructed for use on Sicily,* The European Society for Astronomy in Culture 17th Annual Meeting, SEAC 2009. Alexandria Library, Alexandria, Egypt.
Gourtsoyannis, E. (2010). *Hipparchus vs. Ptolemy and the Antikythera Mechanism: Pin–Slot device models lunar motions,* Advances in Space research, doi:10.1016/j.asr.2009.08.030, in press.
Karkanas, Panagiotis, Nick Thompson, *Dating Palaeolithic sites in southwestern Crete, Greece*, ,Journal of Quaternary Science, 26, 553–560, 2011
Κουτσούκος, Μάριος, Ο Μέγας Αλέξανδρος και γεωπονική επιστήμη - Η επιστημονική πτυχή της εκστρατείας στην Ανατολή, 112 σελ. Εκδ.Οίκ. Σταμούλης Αντ. ISBN 960-8353-78-5, ISBN-13 978-960-8353-78-7, Αθήνα, 2005
Laks André and Most, Glenn W. (editors) (1997). *Studies on the Derveni papyrus*, Oxford University Press, Great Clarendon Street, Oxford
Laskaris, N., A. Sampson, F. Mavridis,I. Liritzis, *Late Pleistocene/Early Holocene seafaring in the Aegean: new obsidian hydration dates with the SIMS-SS method*, Journal of Archaeological Science, 38, 2475–2479, 2011
Marchant, Jo, (2008). *Decoding the Heavens: Solving the Mystery of the World's First Computer,* Arrow Books Ltd
Malzbender, T., D. Gelb, H. Wolters., (2001). *Polynomial texture maps*, in: SIGGRAPH 2001, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM Press/ACM SIGGRAPH, , pp. 519–528.
Moussas, X., Seiradakis, J., Freeth, T., Edmunds, M., Bitsakis, Y., Babasides, G., Ioannidis-Vamvakas, D., Fasoulopoulos, G., Daniels, E. & Kriaris, D. (2007), *Communicating Astronomy to the Public,* IAU Commission 55 conference, *2007*(Athens).
http://www.communicatingastronomy.org/cap2007/abstracts.html
Moussas, X. *Antikythera Mechanism,PINAX, the first computer,* Hellenic Physical Society, Athens, Greece, 2011. 2012 (2nd ed.)
Neugebauer, O., (1975). *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, Springer, Berlin.
Orphic Hymns, The: Text, Translation and Notes by A. Athanassakis, 1988,
http://www.sacred-texts.com/cla/hoo/ http://remacle.org/bloodwolf/poetes/falc/orphee/hymnes.htm
Papathanasiou, 1978, *Cosmolocical and Cosmogonical Notions in Greece during the 2dn millenium BC,* PhD Thesis, University of Athens.
Papathanassiou, Maria K. (2010). *Reflections on the antikythera mechanism inscriptions*, Advances in Space Research, doi: DOI: 10.1016/j.asr.2009.10.021
Price Derek J. De Solla, (1955), Clockwork before the Clock, Horological Journal, pp. 811-813, December 1995, pp. 31-34 and January 1956, pp.31-34.
Price, D. de Solla, (1974). *Gears from the Greeks. The Antikythera mechanism – A calendar computer from ca. 80 BC*, vol. 64, Part 7. Transactions of the American Philosophical Society, NS, Philadelphia.
Rados, C. (1905). *Comptes Rendues* International Archaeological Congress in Athens: pp. 256-258
Rados, C. (1910). *On the Antikythera Treasure, astrolabe, anaphoric clock, hodometers,* Book, Athens.
Rediadis P. (1903). *Der Astrolabos von Antikythera,* Das Athener Nationalmuseum.
Rehm, A. (1907). Philologische Wochenschrijt: cols. 467-470.
Svoronos, J.N. (1903) *Die Funde, von Antikythera,* Das Athener Nationalmuseum
Svoronos, J. N. (1907). Das Athener Nationalmuseum
Stamatis, E. (1974). *Archimedes works* (in Greek), TEE publishing house, Athens.
Theofanidis, J. (1934), *Sur l'instrument en cuivre, dont des fragments se trouvent au Musee Archeologique d'Athenes et qui fut retire du fond de la mer d'Anticythere en 1902*, Praktika tes Akademias Athenon 9: pp. 140-149.
Thomas F. Strasser, Eleni Panagopoulou, Curtis N. Runnels, Priscilla M. Murray, Nicholas Thompson,

Panayiotis Karkanas, Floyd W. McCoy and Karl W. Wegmann, *STONE AGE SEAFARING IN THE MEDITERRANEAN: Evidence from the Plakias Region for Lower Palaeolithic and Mesolithic Habitation of Crete*, Hesperia: The Journal of the American School of Classical Studies at Athens, 79, 145-190, 2010).

Thomas F. Strasser, Curtis Runnels, Karl Wegmann, Eleni Panagopoulou, Floyd Mccoy, Chad Digregorio, Tourloukis, Vangelis, *The Early and Middle Pleistocene Archaeological Record of Greece*: Current, Leiden University Press, 2011.

Wright, M.T. (2002), *A planetarium display for the Antikythera mechanism*, Horological Journal 144 (5 and 6) pp. 169–173 193.

Wright, M.T. (2003), *Epicyclic gearing and the antikythera mechanism,* Part I, Antiquarian Horology 27 (3) pp. 270–279

Wright, M.T. (2005a). *The Antikythera mechanism: a new gearing scheme*, Bulletin of the Scientific Instrument Society 85, pp. 2–7.

Wright, M.T. (2005b). *Epicyclic gearing and the Antikythera mechanism*, Part II, Antiquarian Horology 29 (1), pp. 51–63.

Wright, M.T. (2005c). *Counting months and years: the upper back dial of the Antikythera mechanism*, Bulletin of the Scientific Instrument Society (87), pp. 8–13.

Wright, M.T. (2006a). *The Antikythera mechanism and the early history of the moon-phase display*, Antiquarian Horology 29 (3) (2006), pp. 319–329.

Wright, M.T. (2006b). *Understanding the Antikythera mechanism*. In: Proceedings Second International Conference on Ancient Greek Technology, Technical Chamber of Greece, Athens, pp. 49–60,

Wright, M.T., Bromley, A.G., Magkou, E. *Simple X-Ray Tomography and the Antikythera Mechanism*, PACT 45 (1995). In: Proceedings of the Conference Archaeometry in South-Eastern Europe, pp. 531–543, April 1991.

Zafeiropoulou M., Mitropoulos, P. (2009) *The Antikythera shipwreck, the treasure and the fragments of the Mechanism,* XXIII International Congress of History of Science and Technology, Ideas and Instruments in Social Context, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary.

From Alexander to Archimedes and the Antikythera Mechanism

XENOPHON MOUSSAS, Professor in Space Physics, Director of the Observatory of the University of Athens, Director of Astrophysics Laboratory, Department of Physics, National and Kapodistrian University of Athens. Hellas
Email: xmoussas@phys.uoa.gr

Introduction

In this article we attempt to present the contribution of Alexander the Great to the development of the world culture and in particular his contribution to the advancement of science and philosophy.

Greece and the Helenic World holds an important position in the global arena of civilization since the Paleolithic era. It is shown by recent studies that in the Aegean Sea boats were frequently used and that navigation flourished from 130000 to 100000 BC. The evidence of this is based on studies on newly discovered permanent human settlements, much earlier than expected, and these confirm the notion that the Hellenic culture was developed by our human ancestors, already from the early phases of human civilization.

The diversity of soil on the many small islands provides shelter from the felines and bears that dominated for large periods in the mainland of Greece, and hindered the growth and spread of our human ancestors. Instead, the islands are ideal shelters, because dangerous predators, felines and bears, do not have enough breathing space to survive, breed, and threaten humans, who sail to the Aegean islands and inhabit them in the 15th millennium B.C., before the Neolithic era.

The civilization and culture are born within man's attempt to survive in a difficult, and often dangerous, natural environment, within ice – covered territories or deserts, inhabited by wild beasts. In Greece, the diverse soil in islands, in mountains, or small isolated valleys, allowed gradually to our Hellenic ancestors to proceed to the formation and the development of small communities, in some of which there seems to exist a kind of "parliament", as shown by the "parliament of Lemnos" or the "yard" of Knossos. In these cases it seems that the majority of the members of the community are sitting for long periods of time in a predescribed place to discuss their problems and express their opinions, or to vote, even though the decision ultimately is taken a ruler. Within these institutions, people learn to express themselves, to decide together about their problems, to develop new ideas, to persuade, to converse. The Agora and Dialectics, the "midwife" of Socrates, are born, and science develops to the benefit of these cultures, and ultimately for humanity. Naturally, the Greeks travel around the known world, and during their expeditions or travels come in contact with other cultures, open their eyes and minds, as it is already said in the ancient writers, as it is stated for example in Homer [*πολλῶν δ΄ ἀνθρώπων ἴδεν ἄστεα καὶ νόον ἔγνω*, he [Ulysses] knew many cities and way of thinking of many people, Odyssey].

Astronomy: Mother of Civilization

The determinism, the notion that there are laws of nature that govern all the phenomena occurring in Earth and Cosmos, mathematics, natural philosophy and general philosophy that changed our world and resulted in Culture, were born within the framework of Astronomy. Man is after all, according to an etymology, the being that by gazing the starry sky and admiring its wonders, tries to understand the Cosmos, and from a simple living creature he becomes a human being.

Certainly, millennia before the development of the Agora, where people communicate, discuss and argue, long before the development of the Dialectic Method, the ancestors of man (if we can call them by this name) look to the sky, a starry night after the other, and within time, day by day, and night by night, note the circular motion of the fixed stars. They also recognize the planets, and that they play a greater and more complex role in the cosmic dance of the celestial bodies, they study the movement of the Moon and the strange change in its the bright part (phase or age of the Moon), which determines the times for hunting and fishing, and the motion of the Sun, which dominates our lives on this planet by the alternation of the seasons and by the continuous change from day to night.

Gradually, the cosmic dance of the celestial bodies enables humans to perceive the Harmony of the Spheres of Pythagoras, that is the cosmic music we do not hear, but we can understand by Mathematics. Eventually (and quite rightly) Pythagoras and his followers understand that all are expressed in mathematical forms, which uniquely describes nature and the world, and that nature can be understood only through the laws of physics. Naturally, after this great conception, they try to understand, replicate and even in some case predict natural phenomena, based on the knowledge of the then known laws of physics, as perceived within their era. For example, the laws of physics to predict eclipses were known, and expressed as the periodicities of eclipses, for example the Saros cycle, which we still use today.

Astronomy has played a very crucial role for the creation of civilization, its birth and evolution. Man progresses, and this progress leads to the development of astronomical models. This enterprise starts mainly by creating accurate calendars that are necessary for the functioning of society, even if the society is not well developed or sufficiently organized. The right date for determining the time for seeding, and other agricultural operations, is of paramount importance to the human societies, and the use of accurate calendars requires correct observations of the motions of the Sun and Moon for very long periods. It also requires accurate recording of the observations and the deduction of appropriate laws, that is the periodicities which lead to the development of calendars. The Moon's orbit exhibits a complex and conciliar (synodic) period, the period of its revolution around the Earth with respect to the Sun, which is about 29.5 days, and necessitates a knowledge of advanced mathematics for its study. This problem – solving causes humans to develop. We do not exaggerate to say that all human civilization developed because the solar year is not an integer multiple of the duration of the synodic lunar month. If this were the case, and the year lasted for 350 days and 35 months, or 70 days or 10 days, this would not need the use of complicated Mathematics, and humanity could have developed at a slower pace. We are lucky that Nature is often simple, but very often quiet complicated. The moon exhibits a complex motion because the position of the plane of its orbit around the Earth changes periodically, by oscillating 5 degrees up and down off the plane of the ecliptic. The phases of the Moon (age of the Moon) reappear the same on the sky, with a different periodicity than the one of the eclipses, therefore they require the use of complex mathematics for the prediction of an eclipse and the place on Earth where it appears, where and whenever it is visible. The prediction of the eclipses urged humanity to develop science and Mathematics.

The movements of the planets are also quite complex, especially as viewed from Earth, which moves around the Sun with a different speed than the other planets. This issue becomes even more complicated, especially since every planet has a different angular and linear velocity. The ancient Astronomers discover complex periodicities, as the measurements of the positions of the planets accumulate from observations made over centuries. In order to discover periodicities they need multiple submissions for length, and long periodicities of the order of 18, 19, 54 and 76 years old, and also require astronomical observations and commentary, lasting for centuries, with some of them dating already from the prehistoric era.

From this extensive human interaction with the sky, the stars, the Sun, Moon and the planets, humans develop new instrumentation, allowing much more and much accurate measurements, which lead to the development of increasingly accurate astronomical models, whose aim is to describe nature in a more precise manner. The birth of the idea that there are laws of nature, therefore the notion of determinism in nature, is being developed due to the study of the movements of the Sun and Moon, the harmony within the motions of the stars and the planets, and leads ultimately to the development of science, philosophy, logic and civilization.

From the mathematical models developed by the Greeks, over the centuries of their history, we can know their perceptions regarding the interpretation of the natural world by the introduction of philosophy, and namely the sciences and Mathematics.

Astronomy has offered many fruits, from antiquity until our age, has led to the laws of physics discovered by Kepler and Newton, and continues today its longstanding evolution with incredible success, and for the benefit of humanity. Certainly, we would not possess the wonders of modern technology without the Space age. In the last 55 years of Space age, starting with the Sputnik mission (4th October 1957), the progress of humanity is booming in all fields. Today, our culture is based on the ancient Greek tradition of philosophy, and especially Natural philosophy. The tradition of the Antikythera Mechanism epitomizes all great aspects of the Hellenic civilization, since the design and construction of the Antikyhtera Mechanism requires the implementation of all components of Greek philosophy, that thrived only because of the establishment and development of the empire of Alexander the

Great, in whose bosom science, and philosophy in general, flourished.

Alexander, Babylon and Egypt

Alexander the Great, on his expedition and establishment of the Hellenic empire, was always escorted, as advisers, scientists and philosophers, who counseled them in all matters. These scientists collected scientific information for everything. They collected geographical data, in order to design good maps, information about plants and animals, old astronomical data and tables, among which we can assume the existence of lists for the eclipses and the planetary positions for centuries, as well as information on calendars. All this valuable information was recorded and sent back to Greece.

This scientific process continued by his successors after his death, and created a global scientific tradition for the benefit of science and human civilization. The Greek language becomes the common language of science and philosophy, and this facilitates the further development of the sciences and Mathematics. This is the era when the Hellenistic civilization is born. Egypt and its civilization has certainly contributed not only with her knowledge, but also in an unexpected way. The bureaucracy in this huge country, which Alexander releases from their cruel oppression of the Persians, becomes paradoxically one important factor that leads to progress. The Greek-Egyptian bureaucracy, whose function requires the registration of all products traded in the ports, and mainly in Alexandria, requires a huge number of people that are able to write "perform the math" to pay the taxes. To train all these people requires a vast amount of teachers and schools. This education system permits eventually to some individuals to be well educated, and to become scientists and philosophers. Many successors of Alexander perceive the usefulness of schools, namely the universities of that time. In this way, the Museum and the Library of Alexandria are born both as a concept, but also as buildings. The Library becomes very rich, as it is supplied with a copy of every book that exists on every ship that comes to anchor the port of Alexandria. The science is now based on the world heritage of Alexander the Great, and the city of Alexandria becomes the center of philosophy, and science, and Mathematics for centuries. This is the contribution of Alexander the Great to the global civilization.

The Legacy of Archimedes

Great advancements in technology and science have been achieved, to an extend, in Sicily at the time of Dionysius *I* or Dionysius the Elder (430 BC to 367 BC), tyrant of Syracuse (405 BC to 367 BC), who insisted to obtain the best military machinery, and established at Syracuse a science center. Dionysius decided and developed a center for establishing the development of martial technology, originally picking scientists, engineers, technicians, and artisans in order to design and construct the best war machines, catapults, siege engines, ships, and many similar applications. Thus, he simultaneously contributed to the development of the Physical and Applied sciences. Archimedes, much later, developed its own work in a rich city, where technology and science were already known for centuries. His father, Phidias, was an astronomer and mathematician, and probably run a philosophical school. Archimedes is endowed by his father with all this knowledge, thus a gifted genious becomes eventually the greatest of all mathematicians. Archimedes, of course, is not only a student of his father. He visits the "great Cathedral of Science and Philosophy", the city of Alexandria. He stays there probably for a short period, and is trained in such a way, so that he eventually becomes a well educated genius. Archimedes develops many technical applications, as we know from literature sources. His military technical applications have become legendary, as these allowed him to keep free his homeland, Syracuse. With his various and monumental inventions he keeps the Romans besiegers away from seizing the gates of Syracuse for a long period. Among other, we know that he designs and constructs mechanical clocks and two Spheres, that is two mechanical universes. It is worth mentioning that centuries later Heron gives us the definition of engineer as a person that [as Archimedes] can construct a mechanical universe. Based on our studies (the place and the time period where the eclipses are mentioned in the Antikythera Mechanism and have been observed using clocks) Archimedes runs a philosophical school [University], educating students, and his knowledge passes on to other worthy scientists which he educates. As it is shown by our study of the Antikythera Mechanism, its construction is based on measurements of Archimedes and his disciples, who continue his work for at least three decades centered around his death. This proves that Archimedes performed astronomical calculations using instruments and clocks, and his students continued this type of scientific reserch for long, and finally provided their measurements to another Greek scientist, an astronomer, somewhere around the Aegean, who constructs the Mechanism, which both predicts eclipses and is a mechanical cosmos.

Secrets of the Antikythera Mechanism

What secrets can a machine have; Why anybody would care to study an old artifact? What conclusions can yield a study of a mechanism forgotten by many, even though it carries a weird name, the "Antikythera Mechanism"? The first name of Antikythera's Mechanism was "Antikythera's Astrolabe", back then when I was a kid and used to admire it in the National Archaeological Museum. The instrument barries similarities to the Sphere of Archimedes, also called planetarium, or Table (Pinax) by other ancient authors. The interest and love I had for this machine proved very effective, like any love, as love always retaliates. The study of the mechanism gave fruits for Greece, Humanity, the Hellenic and World history, the history of Astronomy, of Mathematics, Technology, Metallurgy, Chemistry, Engineering and Physics, Meteorology and Climatology, and even Astrophysics and Linguistics.

The study of the mechanism, performed by our scientific team at the University, is based on tomographies we took with a specially built machine, bearing the strange name "*BladeRunner*", and which was designed and built by Roger Hadland and his colleagues, then owner of the high-tech X-tek Systems (now Nikon Metrologies). This is a huge and heavy machine we brought from the UK, with total weight of 12 tons, and designed to penetrate within about 12 cm of copper. This invasive ability was an essential property demanded of a scanner who can reveal the secrets of this very ancient mystery.

A major surprise came by is reading the hours, months and years of eclipses in a spiral scale of 223 months of the Saros cycle, and of the 54 years period of the Exeligmos cycle. Even greater was our surprise, when Dr. G. Henriksson, an astronomer expert in ancient eclipses, and based on our readings of the hours, months and years of the ancient eclipses, computed the exact time, and mainly the place, where the observations have been performed, and which enabled the construction of the Antikythera Mechanism. Our surprise was enormous when we realized that all that the eclipses have been observed in Sicily, Syracuse, and we were even more surprised that several of these eclipese were observed at the time of Archimedes, while the rest of them was observed over a period of about thirty years after the tragic death of Archimedes by Roman soldiers.

This discovery is a great astronomical discovery, because it shows that the signature of the greatest scientists of all times, Archimedes, is on the Mechanism, and proves that Archimedes was an astronomer, and also run a philosophical school. We know, from ancient sources, that he constructed two astronomical instruments, a mechanical planetarium, and probably an automatic celestial sphere.

The World Heritage

Without the Hellenic world of Alexander, the greatest of all disciples of Aristotle, and without his personal contribution through his scientific advisers, modern science and today's civilization could not have existed. Sciences at the time of Eratosthenes, Euclid and Archimedes developed on the global canvas built by Alexander the Great's Hellenic World State. Without its existence, we have to stress the fact that science, as we know it today, could scarcely have been developed. Perhaps, its form would have been different fro the one we recognize today.

Today's world is based on the discoveries of Greek scientists that flourished within the sciences in Alexandria, Syracuse, Rhodes, Seleucia, and the world of Alexander. The bits and bytes of your computer, or of your portable phone, have passed through Alexandria, and Syracuse, and Rhodes, and Seleucia, having as their roots Alexander's the Great contributions, and the Mechanism of Antikythera. Many of the newer discoveries rest on the shoulders of giants who, as Newton says, relied too. Among these are the huge shoulders of Alexander. The Universal culture, which is largely the Greek culture, and the European culture, is based heavily on Alexander and his world heritage.

Bibliography

Berthelot, M. (1888). *Collection des Anciens Alchimistes Grecs*, Steinheil, Paris, http://www.rexresearch.com/alchemy5/berthelo.htm http://remacle.org/bloodwolf/alchimie/table.htm

Betegh, Gábor (2004). *The Derveni Papyrus: Cosmology, Theology and Interpretation*, Cambridge University Press,

Bromley A.G. (1986). *Notes on the Antikythera Mechanism*, Centaurus, vol. 29, pp. 5-27.

Bromley A.G. (1990a). *The Antikythera Mechanism*, Horological Journal, vol. 132, pp. 412-415.

Bromley A.G. (1990b). *The Antikythera Mechanism: A Reconstruction*, Horological Journals July 1990, pp. 28-31.

Bromley A.G. (1990c). *Observations of the Antikythera Mechanism*, Antiquarian Horology, No.6, vol. 18, Summer 1990, pp. 641-652.

Chondros, Thomas G., 2009, *The Development of Machine Design as a Science from Classical Times to Modern Era*, in H.-S. Yan, M. Ceccarelli (eds.), *International Symposium on History of Machines and Mechanisms*, DOI 10.1007/978-1-4020-9485-9_5, Springer Science+Business Media B.V.

Devevey, F., A. Rousseau, C. Vernou, P. Cauderlier, & C. Magister (2008). *The Astral Disc of Chevroches*, Cosmology Across Cultures, SEAC 2008, Granada, http://www.iac.es/congreso/cac2008/pages/view_abstract.php?aid=7

Devevey, F. (2009). *The zodiacal curved disc of Chevroches*, IAU–UNESCO Symposium 260, The Role of Astronomy in Society and Culture, 19 – 23 January 2009, UNESCO Headquarters, Paris, France, http://iaus260.obspm.fr

Efstathiou, K. A. Basiakoulis, M. Efstathiou, M. Anastasiou, J.H. Seiradakis, Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism Mechanism and Machine Theory, 52, 219-231, 2012

Engels Donald W., *Alexander the Great and the Logistics of the Macedonian Army*, University of California Press, pp194, 1980

Freeth, T., Bitsakis, Y., Moussas, X., Seiradakis, J.H., Tselikas, A., Mangou, H., Zafeiropoulou, M., Hadland, R., Bate, D., Ramsey, A., Allen, M., Crawley, A., Hockley, P., Malzbender, T., Gelb, D., Ambrisco, W. & Edmunds, M.G. (2006). Nature 444, 587.

Freeth, T., Jones, A., Steele, J.M. & Bitsakis, Y. (2008). Nature 454, 614.

Freeth, T. (2009). *Decoding an Ancient Computer*, Scientific American 301 (6): 76–83.

Gibbon, Edward, (2009). *The Decline and Fall of the Roman Empire*, CRW Publishing Limited, Cirencester, United Kingdom.

Henriksson, Goran (2009). *Ten solar eclipses show that the Antikythera Mechanism was constructed for use on Sicily*, The European Society for Astronomy in Culture 17th Annual Meeting, SEAC 2009. Alexandria Library, Alexandria, Egypt.

Gourtsoyannis, E. (2010). *Hipparchus vs. Ptolemy and the Antikythera Mechanism: Pin–Slot device models lunar motions*, Advances in Space research, doi:10.1016/j.asr.2009.08.030, in press.

Karkanas, Panagiotis, Nick Thompson, *Dating Palaeolithic sites in southwestern Crete, Greece*, ,Journal of Quaternary Science, 26, 553–560, 2011

Κουτσούκος, Μάριος, Ο Μέγας Αλέξανδρος και γεωπονική επιστήμη - Η επιστημονική πτυχή της εκστρατείας στην Ανατολή, 112 σελ. Εκδ.Οίκ. Σταμούλης Αντ. ISBN 960-8353-78-5, ISBN-13 978-960-8353-78-7, Αθήνα, 2005

Laks André and Most, Glenn W. (editors) (1997). *Studies on the Derveni papyrus*, Oxford University Press, Great Clarendon Street, Oxford

Laskaris, N., A. Sampson, F. Mavridis,I. Liritzis, *Late Pleistocene/Early Holocene seafaring in the Aegean: new obsidian hydration dates with the SIMS-SS method*, Journal of Archaeological Science, 38, 2475–2479, 2011

Marchant, Jo, (2008). *Decoding the Heavens: Solving the Mystery of the World's First Computer*, Arrow Books Ltd

Malzbender, T., D. Gelb, H. Wolters., (2001). *Polynomial texture maps*, in: SIGGRAPH 2001, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM Press/ACM SIGGRAPH, , pp. 519–528.

Moussas, X., Seiradakis, J., Freeth, T., Edmunds, M., Bitsakis, Y., Babasides, G., Ioannidis-Vamvakas, D., Fasoulopoulos, G., Daniels, E. & Kriaris, D. (2007), *Communicating Astronomy to the Public*, IAU Commission 55 conference, *2007* (Athens). http://www.communicatingastronomy.org/cap2007/abstracts.html

Moussas Xenophon, The Antikythera Mechanism,in Adapting Historical Knowledge Production to the Classroom, Editors: P. V. Kokkotas, K. S Malamitsa, A. A. Rizaki, SensePublishers, ISBN: 978-94-6091-349-5, pp 113-128, 2010 Moussas, X. *Antikythera Mechanism,PINAX, the first computer*, Hellenic Physical Society, Athens, Greece, 2011. 2012 (2nd ed.)

Neugebauer, O., (1975). *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, Springer, Berlin.

Orphic Hymns, The: Text, Translation and Notes by A. Athanassakis, 1988, http://www.sacred-texts.com/cla/hoo/ http://remacle.org/bloodwolf/poetes/falc/orphee/hymnes.htm

Papathanasiou, 1978, *Cosmolocical and Cosmogonical Notions in Greece during the 2dn millenium BC*, PhD Thesis, University of Athens.

Papathanassiou, Maria K. (2010). *Reflections on the antikythera mechanism inscriptions*, Advances in Space Research, doi: DOI: 10.1016/j.asr.2009.10.021

Price Derek J. De Solla, (1955), Clockwork before the Clock, Horological Journal, pp. 811-813, December 1995, pp. 31-34 and January 1956, pp.31-34.

Price, D. de Solla, (1974). *Gears from the Greeks. The Antikythera mechanism – A calendar computer from ca. 80 BC*, vol. 64, Part 7. Transactions of the American Philosophical Society, NS, Philadelphia.

Rados, C. (1905). *Comptes Rendues* International Archaeological Congress in Athens: pp. 256-258

Rados, C. (1910). *On the Antikythera Treasure, astrolabe, anaphoric clock, hodometers*, Book, Athens.

Rediadis P. (1903). *Der Astrolabos von Antikythera*, Das Athener Nationalmuseum.

Rehm, A. (1907). Philologische Wochenschrijt: cols. 467-470.

Svoronos, J.N. (1903) *Die Funde, von Antikythera*, Das Athener Nationalmuseum

Svoronos, J. N. (1907). Das Athener Nationalmuseum

Stamatis, E. (1974). *Archimedes works* (in Greek), TEE publishing house, Athens.

Theofanidis, J. (1934), *Sur l'instrument en cuivre, dont des fragments se trouvent au Musee Archeologique d'Athenes et qui fut retire du fond de la mer d'Anticythere en 1902*, Praktika tes Akademias Athenon 9: pp. 140-149.

Thomas F. Strasser, Eleni Panagopoulou, Curtis N. Runnels, Priscilla M. Murray, Nicholas Thompson, Panayiotis Karkanas, Floyd W. McCoy and Karl W. Wegmann, *STONE AGE SEAFARING IN THE MEDITERRANEAN: Evidence from the Plakias Region for Lower Palaeolithic and Mesolithic Habitation of Crete*, Hesperia: The Journal of the American School of Classical Studies at Athens, 79, 145-190, 2010).

Thomas F. Strasser, Curtis Runnels, Karl Wegmann, Eleni Panagopoulou, Floyd Mccoy, Chad Digregorio, Tourloukis, Vangelis, *The Early and Middle Pleistocene Archaeological Record of Greece*: Current, Leiden University Press, 2011.

Wright, M.T. (2002), *A planetarium display for the Antikythera mechanism*, Horological Journal 144 (5 and 6) pp. 169–173 193.

Wright, M.T. (2003), *Epicyclic gearing and the antikythera mechanism*, Part I, Antiquarian Horology 27 (3) pp. 270–279

Wright, M.T. (2005a). *The Antikythera mechanism: a new gearing scheme*, Bulletin of the Scientific Instrument Society 85, pp. 2–7.

Wright, M.T. (2005b). *Epicyclic gearing and the Antikythera mechanism*, Part II, Antiquarian Horology 29 (1), pp. 51–63.

Wright, M.T. (2005c). *Counting months and years: the upper back dial of the Antikythera mechanism*, Bulletin of the Scientific Instrument Society (87), pp. 8–13.

Wright, M.T. (2006a). *The Antikythera mechanism and the early history of the moon-phase display*, Antiquarian Horology 29 (3) (2006), pp. 319–329.

Wright, M.T. (2006b). *Understanding the Antikythera mechanism*. In: Proceedings Second International Conference on Ancient Greek Technology, Technical Chamber of Greece, Athens, pp. 49–60,

Wright, M.T., Bromley, A.G., Magkou, E. *Simple X-Ray Tomography and the Antikythera Mechanism*, PACT 45 (1995). In: Proceedings of the Conference Archaeometry in South-Eastern Europe, pp. 531–543, April 1991.

Zafeiropoulou M., Mitropoulos, P. (2009) *The Antikythera shipwreck, the treasure and the fragments of the Mechanism,* XXIII International Congress of History of Science and Technology, Ideas and Instruments in Social Context, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary.

Ακαδημια Θεσμων και Πολιτισμων
Academy of Institutions and Cultures

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

Ακαδημια Θεσμων και Πολιτισμων
Academy of Institutions and Cultures

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

Διεύθυνση- Direction
ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΙΟΥ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗΣ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
JOHN HUGH SEIRADAKIS, Aristotle University of Thessaloniki

Ιωάννης Λυριτζής

Ioannis Liritzis

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

Mediterranean Archaeology and Archaeometry, Vol. 6, No 2, pp. 6-8
Copyright © 2006 MAA
Printed in Greece. All rights reserved

BREAKING NEWS

Decoding the earliest "computer": the Antikythera astrolabe. Science and technology in ancient Greece

Ioannis Liritzis
Editor-in-Chief

The Antikythera mechanism is a complex mechanical device found in a wreck off the island of Kythera. After several research efforts scientists finally decoded this early 'computer' bringing in new information concerning ancient Greek technological advancements in astronomy, that could be seen as of the greatest discoveries of our era.

The chronicle

In the Easter of 1900, just off the tiny island of Antikythera in the Aegean Sea, sponge-fishers from Simi found by chance a very important ancient shipwreck dated to 2nd to the early 1st century B.C. The plethora of objects included bronze fragments of furniture, marble and bronze statues and statuettes, pottery, luxury glass and silver vases, wooden parts of the ship and other. Of the most important find was a corroded bronze mechanism embedded to calcareous cemented matter caused by the seawater. The mechanism was associated to the School of Poseidonius of Rhodes and dated c.87 B.C. The mechanism is a four piece fragmentary, fragile and partly missing calculating device with geared wheels, display scales and Greek inscriptions, displayed at the National Archaeological Museum in Athens.

Early research (1902-1934) was made by Svoronos, Stais, Rados, Rediadis, Theophanides and even attempted a reconstruction.

Later research (1953-1974) was applied by mechanical engineer in collaboration with Karakalos (1973) who applied industrial X-ray radiography and recovered revolutionary structural data and 30 geared wheels. Dr Derek de Solla Price made a second model (two replicas) (Price, 1974). Since then, several other models were made by Roumeliotis, Freeth (2002 a, b), Casselman and Lysozyme.

The third research phase (1990 till today) was studied by computer scientists (Bromley and Gardner) as well as mechanical engineer Michael Wright, Greenwich Museum, London. The film images were taken by the laborious X-ray linear tomography. A replica was made by Michael Wright upgrading earlier model by Price producing eventually modifications till this year.

The last research effort (2005 till today) the mechanism was studied by the Antikythera Mechanism Research Project researchers from a consortium of public and private establishments led by Mike Edmunds University of Cardiff and included Universities of Athens and Thessaloniki, The National Archaeological Museum Athens, the Center for History and Palaeography, Cultural Foundation of the National Bank of Greece, X-Tek Systems, and Hewlett-Packard. They applied a powerful microfocus X-ray computer assisted tomography (CAT) using reflectance imaging to enhance surface details. The first results were announced in this week issue of the international scientific journal of *Nature* and at the same time during the 2-day international conference (30th Nov to 1st Dec., in Athens) where the present information is retrieved from (Deconding the Antikythera Mechnism, Abstract Book). The results are indeed exciting and enabled new detailed 3D reconstruction of the internal structure of the Antikythera Mechanism using a total of one terabyte of CAT data and the surface polynomial mapping images. (Fig. 1)



Fig.1 slices from the X-ray CAT showing the inner structure of fragment A and an invisible text inside fragment E (not in scale) (Abstract Book, p.20)

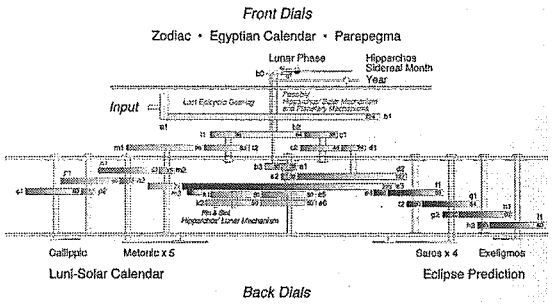


Fig.2 The gearing system showing the new reconstruction by the recent discoveries from the CAT X-ray technology and reflectance imaging (Abstract Book, p.33)

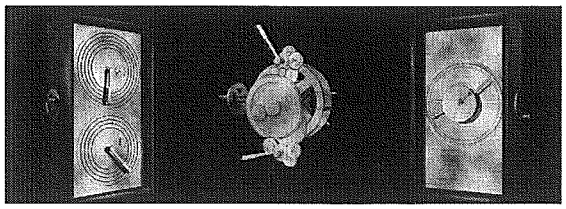


Fig.3 a) 3D models of the back dials, the back gears and the front dial, based on the recent data (Abstract Book, p.6)

The results

Every single gear in the corroded mechanism is revealed, studied, mapped with all the details possible, accurate teeth count estimations, axial positions, and gear interrelations. Back dials were in the form of spiral. New inscriptions, completely unknown until now and sealed for 21 centuries inside this ancient computer by corrosion and the calcification have been read, the "user manual" has been decoded. All these new data provided intriguing new information about the use of its astronomical device.

The device is rich with astronomical elements; 1) eclipse predictions, 2) zodiac, 3) Egyptian calendar, 4) luni-solar calendar, 5) 19-year Metonic cycle, 6) Callippic subsidiary dial, 7) a triple Saros or Exeligmos dial, 8) inscriptions in Greek, 9) glyphs (astronomical symbols in the dials), 10) time periods of 19, 76, 18+ and 54+ years were identified (Heath, 1913, Dicks, 1970).

The lower back dials are a Saros/Exeligmos system which strongly suggests that it was implemented by a fixed-axis train including a gear with 223 teeth (Fig.2).

The CAT supports the new idea that the epicyclic system at the back of the Mechanism exploits the pin-and slot mechanism discovered by M.T.Wright an extraordinary mechanical realization of Hipparchos' Lunar Theory. The new data are of paramount importance and offer a complete reconstruction of the gearing mechanism (Fig.3).

The text from inscriptions include terms like αποκαταστασις (recovery), διάστημα (interval), στηριγμός (prop), περαίωσις (completion), χρυσούν σφαιρίον (golden sphere), ηλιος (sun), names of planets Hermes, Venus, verbs like προσάγειν (bring forward), επέτεινεν (spread), προσήει (permitted to approach), numbers like 265, 340, 130, all providing a more concrete view about the possibility of displaying distances between planets at a given moment.

Discussion and implications

Early Greeks were particularly able to develop theories for nature according which the phenomena were subjected to rational and invariable rules. The example of ancient Greeks is a strong argument supporting the view which considers science as the spear of human intellect (Cardwell, 1994). We now have a clearer view on the influence of mechanical models on the Greek view of the Universe. Surely such a complex device is the result of gradual development of astronomical observation and mechanics, going back to Archemides, Pythagoras, Hesiod, the Minoans and the Myceneans (Blomberg & Henriksson, 1996). It is even suggested that observations were made by using magnified lenses (in a cane), as those found in excavations

and dated from Late Mycenean to Hellenistic times and depicted in 4th century black on red vase.

The ancient Greek astronomy was in a highest point than thought from available evidence, although textual reports refer to mechanical devices such as the automata and early astrolabe (Hill, 1996)).The group of inscriptions is extremely interesting in terms of astronomy, technology, geography and even linguistics, for example the name of Spain (ΙΣΠΑΝΙΑ, ISPANIA) appears for the first time.

References

Abstract Book (2006) In *Deconding the Antikythera Mechanism, Science and technology in ancient Greece.* International Conference, 30/11 to 1/12 2006, Athens, Abstract Book, p.37

Blomberg.M and Nenriksson.G (1996) Minos Eneoros: archaeoastronomical light on the priestly role of the king in Crete. *Acta Universitatis Upsaliensis Boreas* 24, Religion and Power in the ancient Greek World, 27-38.

Cardwell.D (1994) *The Fontana History of Technology*, Harper Collins Publishers Ltd,

Dicks.D.R (1970) *Early Greek astronomy to Aristotle.* Thames & Hudson Editions, London.

Freeth.T (2002a) The Antikythera mechanism: challenging the Classic research. *Mediterranean Archaeology & Archaeometry*, vol.2, No.1, 21-35.

Freeth,T (2002b) The Antikythera mechanism: is it Posidonius orrery? *Mediterranean Archaeology & Archaeometry*, vol.2, No.2, 45-58.

Heath.T.L (1913) *Aristarchus of Samos: The ancient Copernicus.* Clarendon Press, Oxford.

Hill, D (1996) *A history of engineering in classical and medieval times*, London, New York.

Price Derek de Solla (1974) *Gears from the Greeks.* Transactions of the American Philosophical Society, New Series, Vol. 64, Part 7.

Ακαδημια Θεσμων και Πολιτισμων
Academy of Institutions and Cultures

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

Διεύθυνση- Direction
ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΙΟΥ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗΣ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
JOHN HUGH SEIRADAKIS, Aristotle University of Thessaloniki

Μαγδαληνή Αναστασίου et al.

Magdalini Anastasiou et al.

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ

ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Οὐκ ἐμοῦ, ἀλλὰ τοῦ λόγου ἀκούσαντας ὁμολογεῖν σοφόν ἐστιν ἓν πάντα εἶναι.
Ηράκλειτος (απόσπασμα Β 50- Diels, H. , Walther, K., Die Fragmente der Vorsokratiker, Weidmannsche Buchhandlung, Berlin, 1903).

It is wise for those who hear, not me, but the universal Reason, to confess that all things are one.
Heraclitus (fragment 1 – edit. Patrick, G. T. W., The Fragments of the Work of Heraclitus of Ephesus on Nature, translated from the Greek text of Bywater, Baltimore: N. Murray, 1889).

Στοά των Επιστημών - Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences - Scientific Review

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Β΄ ΤΕΥΧΟΣ - Β΄ ISUUE

Αστρονομικά όργανα - Astronomical models

The astronomical and technological prerequisites for the construction of the Antikythera Mechanism

Dr MAGDALINI ANASTASIOU, Aristotle University of Thessaloniki, Physics Department, Section of Astrophysics, Astronomy and Mechanics

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2015 * THESSALONIKI 2015

ISSN : 2241-9993

ISSN : **2241-9993**

Τίτλος : Στοά των Επιστημών - Επιστημονική Επιθεώρηση
Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Β΄ ΤΕΥΧΟΣ - Αστρονομικά όργανα

Publication Name : Stoa of Sciences - Scientific Review
Hellenistic Astronomy and Mechanics
B΄ ISSUE - Astronomical instruments

Εκδότης : ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
Publisher : ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Copyright © ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Έτος : 2015, Θεσσαλονίκη
Year : 2015, Thessaloniki, Macedonia Hellas

Web site : www.academy.edu.gr

Email : stoaofsciences@academy.edu.gr

Σχεδιασμός και επιμέλεια έκδοσης : Γεώργιος Ελ. Κούρταλης

Design Issue and custody : Georgios El. Kourtalis

The astronomical and technological prerequisites for the construction of the Antikythera Mechanism

Anastasiou Magdalini

Abstract

The Antikythera Mechanism is an extraordinary ancient geared device that was constructed most possibly around 150 – 100 B.C. Considering the astronomical background that was required for its construction, each of the astronomical displays of the Mechanism is examined separately in aspect of when it was conceived. The technological context of ancient geared devices and of celestial spheres at the time of the construction of the Mechanism is also investigated. Although at the time of the discovery of the Mechanism in an ancient shipwreck in A.D. 1901, the technological background of such a machine seemed to have been missing, a deeper study of the ancient Greek technology shows that during the Hellenistic period all technological prerequisites existed for the creation of the Antikythera Mechanism.

Introduction

The Antikythera Mechanism, the unique ancient Greek astronomical machine of around the 2nd century B.C., is nowadays preserved in 7 large fragments and 75 smaller ones (Freeth *et al.* 2006). The examination of these fragments showed that the front and rear face of the Mechanism had a very complex structure, with lots of scales, pointers and inscriptions. These surfaces were protected by front and back wooden doors, on the inner side of which there were bronze plates with large sections of text (Figure 1). On the one side of the case, there was a crank through which most probably the user could set into motion all the gears and pointers of the Mechanism (Roumeliotis 1999). In this way, the Antikythera Mechanism calculated the exact position of the Sun, the Moon and possibly the planets in the sky (Wright 2007, Evans *et al.* 2010, Carman *et al.* 2012, Freeth and Jones 2012), displayed the phases of the Moon, predicted eclipses and determined the date of the ancient crown games (Freeth *et al.* 2008). Apart from the explanatory inscriptions, it had a 19-year civil calendar as well as a calendar of astronomical events.





Fig. 1: Photos of the model of the Antikythera Mechanism of the Aristotle University (v2.1) that was built in 2011 (Efstathiou *et al.* 2011) and is the most recently built model of the Mechanism incorporating all the, up to then, verified results of the research of the Mechanism

ISSN: 2241-9993

Astronomical approach of the Antikythera Mechanism

The front face of the Antikythera Mechanism (Figure 2) was basically composed of two concentric scales that were located at the centre of the plate (Price 1974). From this double scale, the inner one displayed the signs of the zodiac (ΠΑΡΘΕΝΟΣ, ΧΗΛΑΙ, etc). Each of the 12 zodiac constellations was divided into 30 degrees, thus this scale had a total of 360 subdivisions. The zodiac is the apparent path of the Sun on the sky during a solar year and so the zodiac scale is essentially identical with the solar year. The artificial zodiac signs of 30° were already in use in Babylonia by the end of the 6th century B.C. (Evans 1998). In ancient Greek astronomy there seems to be no evidence of a complete zodiac until the end of the 5th century B.C. when the first parapegmata were composed dividing the solar year into zodiac signs.

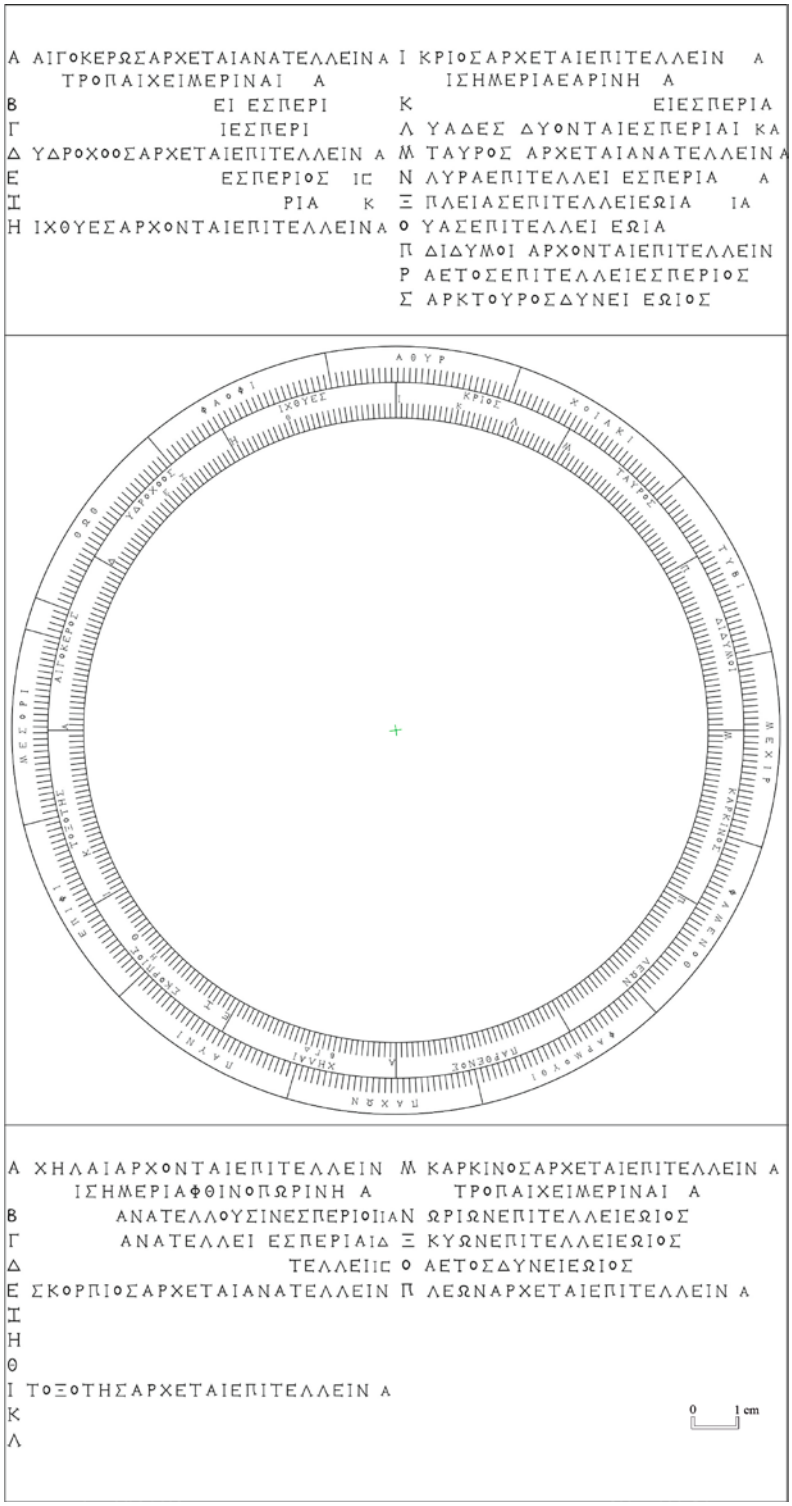


Fig. 2: Representation of the front face of the Antikythera Mechanism

The outer scale displayed the months of the Egyptian calendar (ΠΑΧΩΝ, ΠΑΥΝΙ, etc.), written in Greek. Each of the 12 Egyptian months had 30 days while at the end of the calendar there were also 5 extra "epagomenai" days, thus this scale had a total of 365 subdivisions. Because the length of the Egyptian calendar was 365 days rather than 365 ¼ which is the length of the solar year, the Egyptian calendar retrogressed by 1 day every 4 solar years. This characteristic of the Egyptian calendar was remarkably reproduced on the Antikythera Mechanism. The outer scale of the Egyptian calendar was constructed to be removable while beneath it 365 small holes were drilled (Figure 3). Every 4 years the user could just lift the outer scale and simply rotate it by 1 hole. In 238 B.C. Ptolemaios III attempted, with no success, to reform the Egyp-

ISSN: 2241-9993

tian calendar but it was Augustus who finally modified the calendar in 23/22 B.C. by inserting a 6th extra epagomenal day every 4 years. The modified calendar though was not uniformly nor immediately accepted in Egypt and the old and the new calendar were used simultaneously.

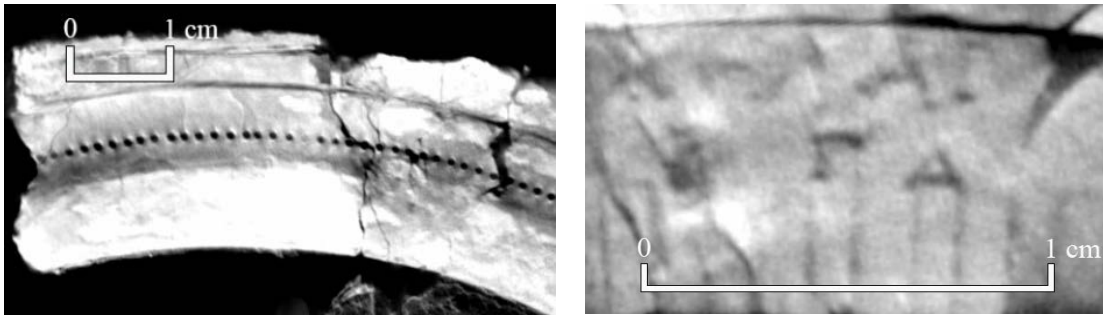


Fig. 3: CT slices from Fragment C of the Antikythera Mechanism. *Left*: A part of the 365 holes that have been created beneath the scale of the Egyptian calendar can be seen. *Right*: Capital parapegma letters, read at the zodiac sign of Libra

On the zodiac dial, above some of the scale divisions of each zodiac sign, small capital letters that follow the sequence of the letters of the Greek alphabet (A, B, Γ, etc.) can be read (Figure 3). The same sequence is also found on some lines of text that describe astronomical phenomena and were inscribed most probably in quarters above and below the zodiac dial (Freeth and Jones 2012). At the beginning of each line there was a separate letter of the Greek alphabet. These 'index letters' almost certainly corresponded to the small capital letters found on the zodiac dial, thus forming a 'parapegma'. The term parapegma was used by the ancient Greeks to describe a calendar of astronomical and usually also of meteorological events. The astronomical events are events that take place periodically, once every year, and refer to the first and last appearances of stars or constellations at sunrise or sunset (star events) (Anastasiou *et al.* 2013). Due to the stability of these star events over time, they were widely used in ancient Greece to assist agricultural or nautical activities through the year, e.g. the morning rising of the Pleiades signaled the wheat harvest and the beginning of summer weather while the morning rising of Arcturus the beginning of autumn. The parapegmata certainly served as a supplement to the rather chaotic civil calendars.

The parapegmata were an important part of both early Greek and early Babylonian astronomy. In Babylonia the star calendar was a bit older. In Greece it was systematized by the 5th century B.C. Although one may consider the parapegma as prescientific (a list of parapegma star events could be made simply by observations over the course of a year), an important early goal of Greek astronomy was to understand these cycles of appearances and disappearances of the fixed stars. Autolycus' work "On Risings and Settings" (320 B.C.) is devoted to this subject, mentioning no star name and providing a theory for explaining the phenomena (Evans 1998).

The back face of the Antikythera Mechanism (Figure 4) was covered almost entirely by two spirals, the Metonic spiral and the Saros spiral, within each of which at least one subsidiary scale was positioned. There were also additional inscriptions next to the spirals.

ISSN: 2241-9993

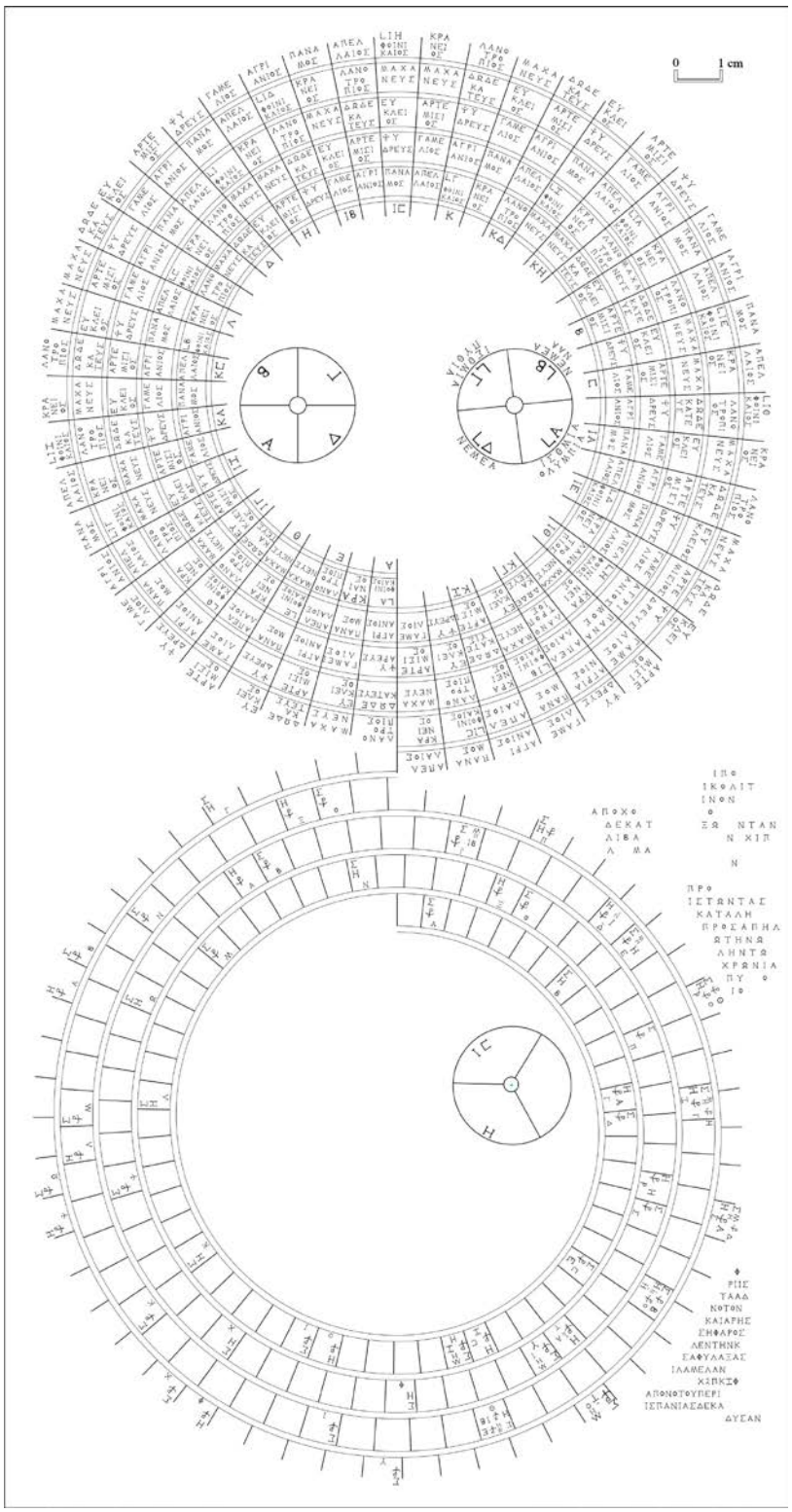


Fig. 4: Representation of the back face of the Antikythera Mechanism

The upper back dial had 235 divisions in a 5-turn spiral and represented a 19-year calendar known as the Metonic cycle. This cycle was a luni-solar calendar reconciling remarkably well the solar year with the lunar months.

As the solar year has a duration of about 365 ¼ days and the lunar month a duration of about 29.5, two problems had to be faced in antiquity: a. How many lunar months should have a solar year? 12 or 13 months? b. How many days should have a lunar month? 29 or 30 days? So all luni-solar calendars contain two features. The first feature is that the calendar year contains sometimes 12 months and sometimes 13 months. The Metonic cycle was equivalent to 12 years of 12 lunar months and 7 years of 13 lunar months. The total amount of months of the Metonic cycle was 235 and that's why the spiral had 235 divisions (each division representing a lunar month). The 13th extra month is called intercalary. The second feature is that due to the duration of 29.53 days of the lunar month, the months alternate between 29 and 30 days long. For the Metonic cycle, if all 235 months had 30 days, then in 19 years there would be: 235 × 30 = 7050 days. But the 19 solar years should have: 19 × 365.25 = 6939.75 days ≈ 6940 days. So 7050-6940 = 110 days should be excluded, i.e. 110 months should have 29 days. Dividing 7050/110 = 64, every 64th day was indeed excluded! The excluded days to be skipped were marked by the numbers around the inside of the spiral.

ISSN: 2241-9993

The Metonic cycle is named after Meton, the Greek mathematician and astronomer of the 5th century B.C. who introduced the 19-year cycle at Athens in 432 B.C. The same cycle had also been discovered earlier in Babylonia and so it is not known whether Meton actually calculated it independently or learned it from the Babylonians.

At the 235 divisions, the ancient names of 12 months were inscribed and the whole calendar has been preserved (PHOINIKAIOS, KRANEIOS, LANOTROPIOS, MACHANEUS, DODEKATEUS, EUKLEIOS, ARTEMISIOS, PSYDREUS, GAMEILIOS, AGRIANIOS, PANAMOS, APELLAIOS) (Freeth *et al*. 2008). MACHANEUS (ΜΑΧΑΝΕΥΣ) was most probably the name of the intercalary month of the whole calendar. We are lucky to have the whole Antikythera calendar preserved. Most ancient Greek cities had their own calendars, which differed in the names of the months, the month and season that the year started and the way the intercalary months were inserted. Most of these calendars are known nowadays very fragmentarily, usually from inscriptions that just happen to mention a month name. None of the survived calendars matches 100% the calendar of the Antikythera Mechanism. The majority of common months have been found at Northwestern Greece and Sicily, showing that the names of the months of the Antikythera calendar are of Corinthian origin (from Corinth or one of its colonies). The names of all months that have been preserved in the Northwestern calendars of Corcyra (8 months), Bouthroto (7 months) and Dodona (6 months) coincide totally (with the exception of 1 month in the calendar of Dodona) with the names of the months in the Metonic calendar of the Mechanism while from the 12 months preserved in the calendar of the Sicilian city of Tauromenion only 7 coincide respectively.

Inside the Metonic dial, a smaller subsidiary scale has been found that indicated when the ancient Greek crown games were taking place. The scale was circumferentially marked with the names of the games OLYMPIA, PYTHIA, ISTHMIA, NEMEA and NAA (Freeth *et al*. 2008), while inside each quadrant inscriptions marked the 4 years of the Olympic cycle. Based though on the reading of the number 76 in one of the inscriptions, inside the upper dial there might have also been a second subsidiary dial, providing the correction of omitting 1 day after 4 Metonic cycles (76 years). This correction was proposed by Callippus, the Greek astronomer of the 4th century B.C. For this reason this 76-year calendar is known as Callippic cycle. Year 1 of the first Callippic cycle began with the summer solstice of 330 B.C.

Before the discovery of the Antikythera Mechanism, it was widely believed that the Greeks never actually adopted neither the Metonic nor the Callippic calendar to regulate their civil calendars (that were considered pretty much chaotic). Rather these two calendars were educational or scientific calendars used only by astronomers. However, as the Corinthian calendars of the upper dial of the Antikythera Mechanism were associated with the Metonic and possibly the Callippic cycle, it seems nowadays more likely that these cycles were actually used in the Greek cities, at least at the time of the construction of the Antikythera Mechanism.

The lower back dial had 223 divisions in a 4-turn spiral and displayed the Saros cycle, a periodicity of repetition of solar and lunar eclipses. The 223 divisions represented again 223 lunar months (~ 18 solar years). The divisions predicting eclipses were marked with inscriptions (glyphs) that described the type (solar or lunar) and time of eclipse to occur on that month. The Saros cycle was first attested in Babylonian material. The careful records of eclipses of the Babylonians were already arranged in 18-year groups from around 800 B.C. (Evans 1998).

In the empty space inside the lower back dial, there was a smaller circular scale divided in 3 sections (of 120°). This small dial displayed the Exeligmos cycle which is a triple Saros

ISSN: 2241-9993

cycle. As the Saros cycle is a period of about 6.585 ⅓ days, the ⅓ day means that after 223 lunar months all eclipses are shifted by about 8 hours (or by about 120° in longitude). The Exeligmos cycle on the Mechanism showed whether there should be additions of 8 hours (120°) or 16 hours (240°) to the inscribed eclipse times of the Saros cells. The Exeligmos 54-year eclipse cycle was known to the Greeks and is described by Geminus (*Introduction to the Phenomena* (XVIII), 1st century B.C.) and Ptolemy (*Almagest* (IV, 2), 2nd century A.D.).

All astronomical knowledge displayed on the Antikythera Mechanism that has been described so far is well known knowledge that had been acquired by the end of the 4th century B.C., with the exception perhaps of the Exeligmos cycle. It was the motion of the Sun and Moon, the motion displayed by two pointers of the double front scale, that required the development of a proper geometrical theory. For the prediction of the motions of these two celestial bodies, there was need for pure scientific knowledge. The 4th century B.C. ancient Greek astronomy had a long way to go in order to reach a satisfactory solar and lunar theory in the 2nd century B.C. Critical steps in this way was the development of Greek philosophy that made astronomers more interested in understanding the fundamental causes of things and explaining the celestial phenomena, the rise of Greek geometry and its application to the problems of astronomy (that led e.g. to the calculation of the sizes and distances of the Moon and the Sun and the measurement of the size of the Earth) and the development of trigonometry that made computations much easier.

In the 2nd century B.C. Hipparchus developed his solar and lunar theory that not just explained the physical phenomena but also allowed the quantitative calculation of the position of these celestial bodies at any date (Evans 1998). Two models (proven equivalent by Apollonius of Perga) were accepted: the deferent and epicycle model and the eccentric model. Hipparchus' solar theory (Figure 5) stated that, according to the deferent and epicycle model, the Sun moves at a uniform speed on an epicycle while the centre of the epicycle moves at a uniform speed around a deferent circle centered on Earth while according to the eccentric model, the Sun moves at a uniform speed on a circle that does not have the Earth at the center. The motion of the Moon is more complicated. Hipparchus' lunar theory stated that, according to the deferent and epicycle model, the Moon orbits the epicycle at the rate of the anomalistic month and the centre of the epicycle moves around the Earth at the rate of the sidereal month while according to the eccentric model, the Moon rotates at the rate of the mean sidereal month about an eccentre that moves around the Earth at the rate of the anomalistic month.

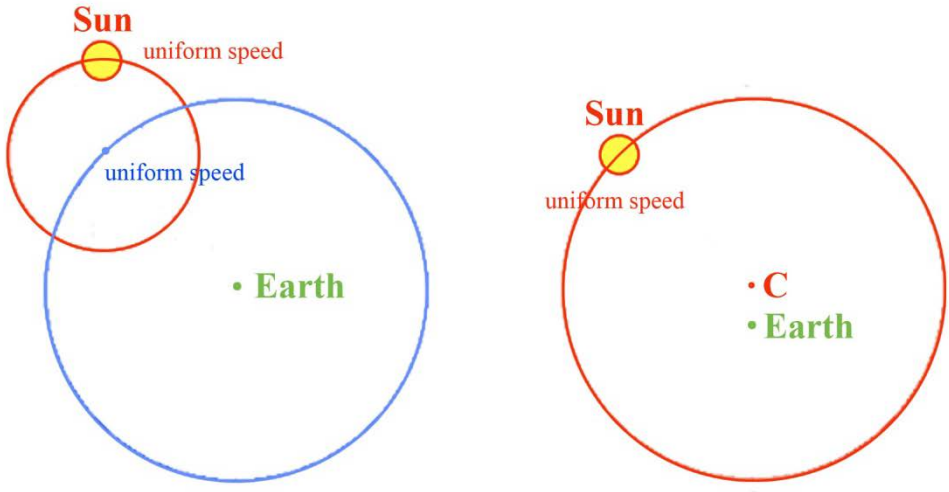


Fig. 5: Schematics of Hipparchus' solar theory
Left: The deferent and epicycle model
Right: The eccentric model

ISSN: 2241-9993

At the front concentric scales of the Antikythera Mechanism, the preserved gearing shows that at least 2 pointers displayed the position of the mean Sun (thus the solar year on the outer Egyptian calendar scale) and the position of the Moon on the inner zodiac scale. Most likely though, a 3rd pointer that displayed the true motion of the Sun could have existed, as it is indicated by the precision in the motion of the Moon. Also, based on the inscriptions of the Mechanism, there could have been 5 more pointers for all the known in antiquity planets. So, a total of 8 pointers could have existed at the double front scale.

From all these pointers, nowadays, only a part of the Moon pointer is preserved. The evidence shows that most probably the Moon pointer was provided at its end with a small spherule colored half black and half white. So, apart from simulating the motion of the Moon in the sky, this pointer also rotated around its longitudinal axis displaying thus the phases of the Moon.

Furthermore, one of the most striking results of the research after 2005 as well as perhaps the most remarkable feature of the Mechanism is the fact that the Moon pointer was adjusted to show the eccentric motion – not a simplified circular one – of the Moon around the Earth. The correction to the true motion of the Moon was achieved by an elaborate pin and slot mechanism of two gears (k1 and k2 in Figure 6), mounted on another rotating gear (e3). The gear k1 had a pin on its face that engaged with a slot on the gear k2 and the two gears turned on slightly different axes. Thus, while k1 rotated around its centre K at the constant rate of the sidereal month, k2 rotated around K΄ at the rate of the sidereal month plus a variation between slightly faster and slightly slower. At the same time, as k1 and k2 were mounted on e3, K΄ rotated at the rate of the anomalistic month around the center E. This is a remarkable mechanical realization of the eccentric lunar theory that Hipparchus developed at the 2nd century B.C. (Freeth *et al*. 2006)!

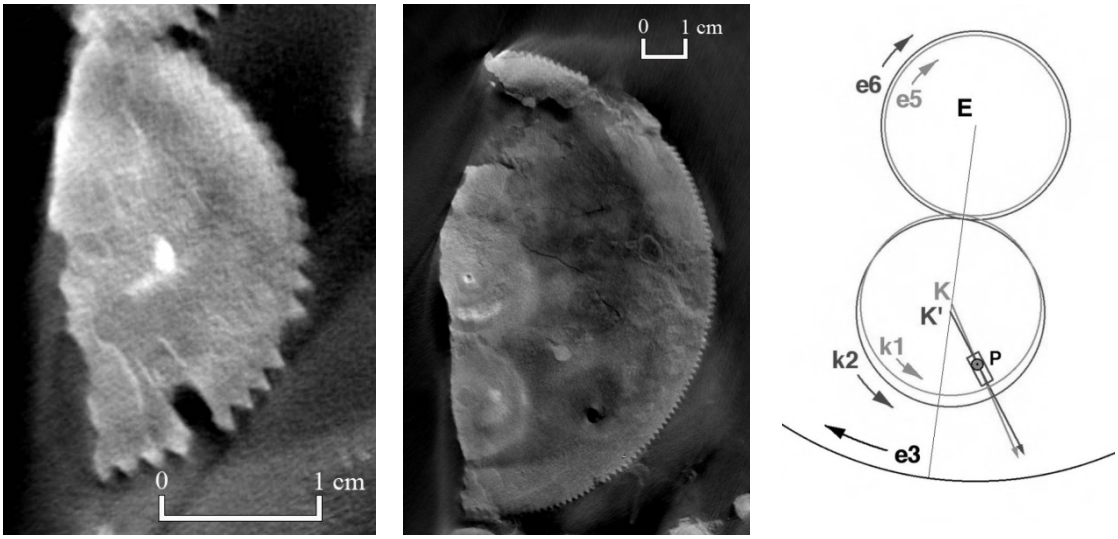


Fig. 6: *Left*: CT slice of Fragment A showing the gear k2 that bears the slot. Inside the slot the pin can be seen *Middle*: CT slice of Fragment A showing the gear e3 on which the gear train e5-k1-k2-e6 is mounted *Right*: Schematics of the pin and slot mechanism mounted on gear e3 (Freeth *et al*. 2006)

The style of the letters of the inscriptions of the Mechanism indicates a date for its construction at the second half of the 2nd century BC and the beginning of the 1st century BC, with an uncertainty of about one generation (50 years). The astronomical knowledge that the An-

ISSN: 2241-9993

tikythera Mechanism incorporates, described in the above section, is thus in total agreement with the astronomical knowledge that existed at the time of its construction.

Technological approach of the Antikythera Mechanism

As far as Engineering and Technology is concerned, the discovery of the Antikythera Mechanism was surprising as until very recently small attention had been given to the technological abilities of the ancient Greek civilization. However during the Hellenistic period which coincides with the apogee of the ancient Greek technology, all prerequisites existed for the construction of the Antikythera Mechanism (Tasios 2012):

i. ‘‘alloys’’ (bronzes) were well known for centuries

ii. the knowledge of the operation of gearwheel sets had already been founded in the 4th century B.C. possibly by Aristotle in his work *Mechanics* (848a). Aristotle wrote about wheels using friction between smooth surfaces to transmit motion.

iii. the knowledge of the operation of gearwheel sets had also already found practical application in the hydraulic clock of Ctesibius (285–222 B.C.) (Figure 7)

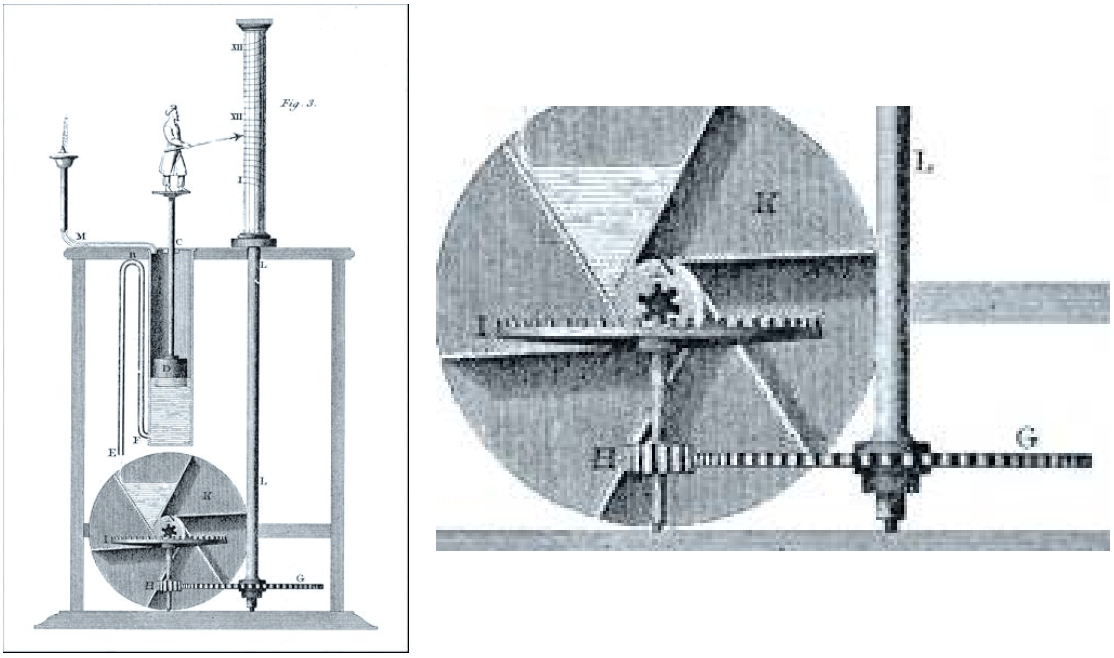


Fig. 7: *Left*: An early 19th-century illustration of Ctesibius's hydraulic clock. Image from: http://en.wikipedia.org/wiki/Water_clock *Right*: Detail of the left picture. The gearing system of the clock can be seen

iv. there was a subdivision of mathematics devoted to model the heavens called Sphairopoiia (Evans 1998). Sphairopoiia included:

- the construction of celestial globes. Although none has survived so far, they must have been fairly common as Geminus mentions such spheres several times and Ptolemy describes how to build one. Images of celestial spheres have also been preserved in coins, murals and statues (Figure 8). Perhaps the first was constructed by Thales (6th century B.C.) and by the time of Plato (4th century B.C.) they must have been fairly common. A celestial globe could have been solid or it could have been composed of just a few rings or bands, thus it was

ISSN: 2241-9993

an armillary sphere. Armillary spheres were common teaching tools in Greek antiquity but they could also function as an instrument of observation (e.g. for the measurement of the celestial coordinates of stars or planets). With a celestial globe or armillary sphere, a variety of astronomical events could be reproduced (the risings and settings of stars, the annual solar cycle, etc.) supplementing real observation in the teaching of astronomy.

- the construction of models of the planetary system, i.e. mechanical calculating devices intended to replicate the motion of the Sun, Moon and planets. Perhaps the first was constructed by Eudoxus. Archimedes and Posidonius definitely made such models of the heavens.



Fig. 8: *Left*: Hipparchus in front of a celestial globe, as depicted on a coin from Roman Bithynia. Image from Evans (1998). *Right*: Detail of 'The Farnese Atlas' statue, the 2nd-century Roman marble copy of a Hellenistic sculpture of Atlas bearing a celestial sphere on his shoulders. Image from: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atlante_farnese,_II_sec.,_6374,_02.JPG

v.There were two branches of astronomy devoted to concrete constructions (Evans 1998): gnomonics (the making of sundials) and dioptrics (the design and use of sighting instruments).

vi. Hipparchus had most probably invented stereographic projection (one way of mapping a sphere onto a flat surface) and so the first astrolabes were constructed.

Consequently, the Antikythera Mechanism was a reasonably foreseeable artifact of the Hellenistic period.

Yet there are some technological advances of the Mechanism that surprise until today:

i. The very large number of gears used: 30 gears have been preserved and at least 8 more are needed for the basic functions of the Mechanism that were described above.

ii. The very small size of some gears (2 gears with diameter of 8mm!)

iii. The very large number of teeth of some gears that could even contain an odd number (e.g. 223 teeth)

iv. The very complex axles and shafts that even today are difficult to construct. Axle e is a double axis (Figure 9).

ISSN: 2241-9993

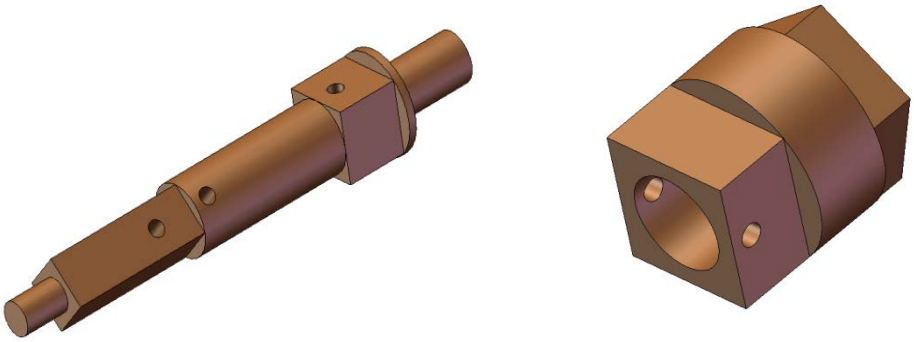


Fig. 9: *Left*: Representation of the shaft e_{in}. *Right*: Representation of the shaft e_{out}. The representations were made by Prof. Efstathiou K., Basiakoulis A. and Efstathiou M., Department of Mechanical Engineering, Aristotle University

v. The 365 little holes that were drilled beneath the scale of the Egyptian calendar on the front side of the Mechanism.

vi. The brilliantly designed mechanism of the pointers (Figure 10) of the back dial spirals that transferred the motion of the axis to the pointer allowing it at the same time to freely move so as to follow the gap between the windings of the spiral (Anastasiou *et al*. 2014).

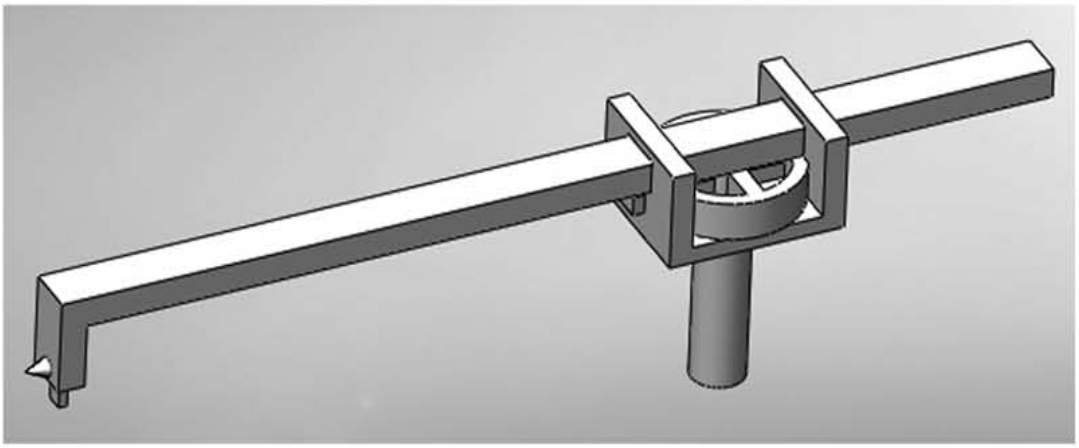


Fig. 10: Reconstruction of the pointer mechanism of the Metonic dial of the Antikythera Mechanism (Anastasiou *et al*. 2014)

vii. The design of both the Metonic and the Saros spiral as Half Circles Spirals, drawn from two different centres and the proper drawing of the cell divisions so that they all pointed to the pointer centre in order for the eccentricity, that would otherwise had been produced, to be avoided (Anastasiou *et al*. 2014).

viii. The incredible pin and slot mechanism that is mounted on another gear.

Considering all the above, **the Antikythera Mechanism is undoubtedly a landmark in the history of technology**. With the Antikythera Mechanism, the ancient Greek technology reached an incredible high degree of technical sophistication.

ISSN: 2241-9993

Conclusions

The astronomical knowledge that is displayed on the Antikythera Mechanism is in total agreement with the astronomical background of the period of its construction. The zodiac dial, the retrogressing Egyptian calendar, the parapegma, the Metonic calendar, the possible Callippic calendar and the Saros dial represent astronomical knowledge that was conquered quite earlier while the movement of the pointer of the Moon is a remarkable mechanical realization of the Hipparchus' eccentric lunar theory. The examination of the technological context leads to a similar conclusion. At the Hellenistic period of the apogee of the ancient technology, all prerequisites existed for the construction of the Antikythera Mechanism. Yet, had the Mechanism not been found, no one would have imagined the high level of technical sophistication that the ancient Greek technology reached.

ISSN: 2241-9993

References

Anastasiou M., Seiradakis J.H., Carman C.C. and Efstathiou K. (2014), "The Antikythera Mechanism: The construction of the Metonic pointer and the back plate spirals", *Journal for the History of Astronomy*, **45**, No. 4, 418-441.

Anastasiou M., Seiradakis J.H., Evans J., Drougou S. and Efstathiou K. (2013), "The astronomical events of the parapegma of the Antikythera Mechanism", *Journal for the History of Astronomy,* **44**, No. 2, 173-86.

Carman C. C., Thorndike A. S. and Evans J. (2012), "On the pin-and-slot device of the Antikythera Mechanism, with a new application to the superior planets", *Journal for the History of Astronomy*, **43**, No. 1, 93-116

Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M., Boutbaras P. and Seiradakis J.H. (2011), "Construction of an operational model of the Antikythera Mechanism in real dimensions", Proceedings of the meeting: *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011, 493-508.

Evans J. and Berggren J. L. (2006), *Geminos's Introduction to the Phenomena*, Princeton.

Evans J. (1998), *The history and practice of ancient astronomy*, New York.

Evans J., Carman C. C. and Thorndike A. S. (2010), "Solar anomaly and planetary displays in the Antikythera Mechanism", *Journal for the History of Astronomy*, **41**, No. 1, 1-39.

Freeth T., Bitsakis Y., Moussas X., Seiradakis J. H., Tselikas A., Mangou H., Zafeiropoulou M., Hadland R., Bate D., Ramsey A., Allen M., Crawley A., Hockley P., Malzbender T., Gelb D., Ambrisco W. and Edmunds M. G. (2006), "Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism", *Nature*, **444**, 587–91. For this paper there is substantial "Supplementary information" available at:
http://www.nature.com/nature/journal/v444/n7119/suppinfo/nature05357.html

Freeth T., Jones A., Steele J. M. and Bitsakis Y. (2008), "Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism", *Nature*, **454**, 614–17. For this paper there is substantial "Supplementary information" available at:
http://www.nature.com/nature/journal/v454/n7204/suppinfo/nature07130.html

Freeth T. and Jones A. (2012), "The Cosmos in the Antikythera Mechanism", *ISAW Papers*, **4**.Price D. de S. (1974), "Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism – A calendar computer from ca. 80 B.C.", *Transactions of the American Philosophical Society*, New Series, **64**, No 7, 1-70 (reprinted New York, 1975).

Roumeliotis M., (1999) "Simulation and Animation of the Antikythera Mechanism," Available at: http://www.etl.uom.gr/mr/index.php?mypage=antikythera

Tasios T. (2012), "The Hellenistic culmination of technology", in *The Antikythera Shipwreck: The technology of the ship, the cargo, the Mechanism*, A. Christopoulou, A. Gadolou και P. Bouyia (eds.), 14-25, National Archaeological Museum.

Toomer G. J. (1984), *Ptolemy's Almagest*, London.

Wright M. T. (2007), "The Antikythera Mechanism reconsidered", *Interdisciplinary science reviews*, **32**, No. 1, 27–43.

Acknowledgements

The author acknowledges the cooperation of the Antikythera Mechanism Research Project and the National Archaeological Museum in Athens. All CT slices are copyright of the Antikythera Mechanism Research Project.

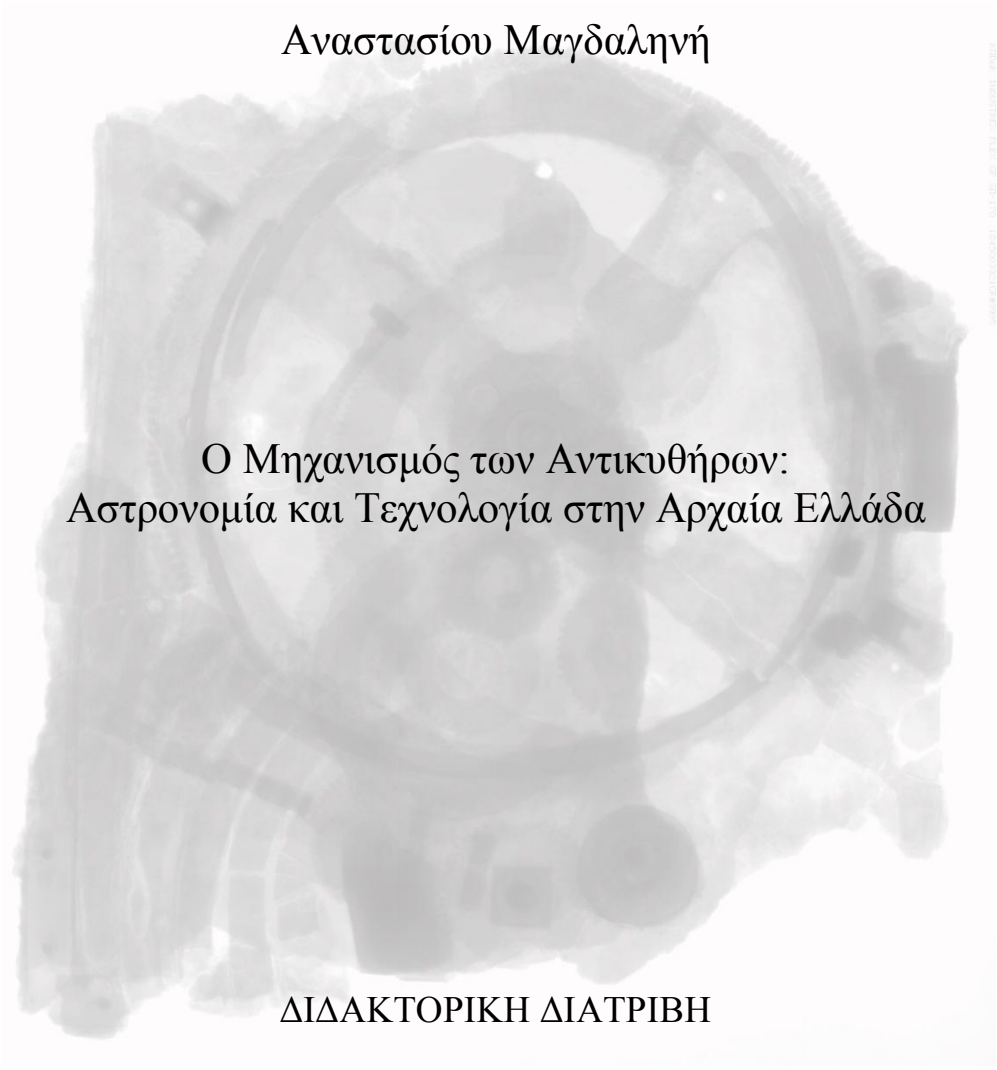
ISSN: 2241-9993

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗΣ, ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Αναστασίου Μαγδαληνή



Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων: Αστρονομία και Τεχνολογία στην Αρχαία Ελλάδα

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Τριμελής συμβουλευτική επιτροπή:

Ιωάννης-Χιού Σειραδάκης (Καθηγητής – Επιβλέπων)
Κυριάκος Ευσταθίου (Καθηγητής)
Στέλλα Δρούγου (Ομότιμη Καθηγήτρια)

Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2014

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων:
Αστρονομία και Τεχνολογία στην Αρχαία Ελλάδα

Αναστασίου Μαγδαληνή

Διδακτορική Διατριβή

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Φυσικής
της Σχολής θετικών Επιστημών
του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Ημερομηνία προφορικής εξέτασης: 05/06/2014

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Σειραδάκης Ιωάννης-Χιού
Καθηγητής Τμήματος Φυσικής Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης – Επιβλέπων

Δρούγου Στέλλα
Ομότιμη Καθηγήτρια Τμήματος Ιστορίας και Αρχαιολογίας Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης – Μέλος τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής

Ευσταθίου Κυριάκος
Καθηγητής Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης – Μέλος τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής

Μουσάς Ξενοφών
Καθηγητής Τμήματος Φυσικής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Πλειώνης Εμμανουήλ
Καθηγητής Τμήματος Φυσικής Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Πολάτογλου Χαρίτων
Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Φυσικής Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Ρουμελιώτης Εμμανουήλ
Καθηγητής Τμήματος Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής Πανεπιστημίου Μακεδονίας

Περιεχόμενα

Πρόλογος 6

Ευχαριστίες 8

1. **Εισαγωγή** 10
   - **1.1 Η ανεύρεση του Μηχανισμού** 10
   - **1.2 Η περιγραφή του Μηχανισμού** 12
     - **1.2.1 Η μπροστινή πλάκα του Μηχανισμού** 16
     - **1.2.2 Η πίσω πλάκα του Μηχανισμού** 25
       - **1.2.2.1 Η επάνω σπείρα της πίσω πλάκας** 27
       - **1.2.2.2 Η κάτω σπείρα της πίσω πλάκας** 31
     - **1.2.3 Η μπροστινή πόρτα του Μηχανισμού** 34
     - **1.2.4 Η πίσω πόρτα του Μηχανισμού** 37
   - **1.3 Η κατασκευή του Μηχανισμού** 39

2. **Κατασκευαστικά μέρη του Μηχανισμού** 42
   - **2.1 Οι δείκτες της πίσω πλάκας** 42
     - **2.1.1 Ο δείκτης της επάνω σπείρας και ο μηχανισμός στήριξης και κίνησής του** 42
     - **2.1.2 Ο δείκτης της επάνω σπείρας και η επιγραφή περιγραφής του** 46
     - **2.1.3 Η ακρίβεια της ένδειξης του δείκτη της επάνω σπείρας** 47
   - **2.2 Οι σπείρες** 49
     - **2.2.1 Η κατασκευή των σπειρών** 49
       - **2.2.1.1 Η μέθοδος της ανάλυσης** 50
       - **2.2.1.2 Αποτελέσματα – Η σπείρα του Μέτωνα** 51
       - **2.2.1.3 Αποτελέσματα – Η σπείρα του Σάρος** 55
     - **2.2.2 Οι υποδιαιρέσεις των σπειρών** 57
       - **2.2.2.1 Η χάραξη των υποδιαιρέσεων** 57
       - **2.2.2.2 Διερεύνηση των σπειρών με βάση τα κέντρα και τις υποδιαιρέσεις** 58
         - **2.2.2.2.1 Αποτελέσματα – Η σπείρα του Μέτωνα** 59
         - **2.2.2.2.2 Αποτελέσματα – Η σπείρα του Σάρος** 61

2.2.2.3 Διερεύνηση της σπείρας του Σάρος με βάση τις υποδιαιρέσεις 62
2.2.2.3.1 Ανάλυση χρησιμοποιώντας το θραύσμα F 62
Α. *Το κέντρο των περιελίξεων* 63
Β. *Το κέντρο των διαχωριστικών γραμμών των υποδιαιρέσεων* 64
Γ. *Η απόσταση των δύο υπολογισμένων τύπων κέντρων – Συμπεράσματα* 66
Δ. *Γραφική επιβεβαίωση* 67
2.2.2.3.2 Ανάλυση χρησιμοποιώντας το θραύσμα E 69
2.2.2.4 Το μήκος των τόξων των υποδιαιρέσεων 70
2.3 Μέτρηση των αξονικών αποστάσεων 72
2.4 Συμπεράσματα 74

3. Οι επιγραφές της πίσω πλάκας 76
3.1 Η σπείρα του Μέτωνα 76
3.1.1 Νέες επιγραφές – Ο εμβόλιμος μήνας 77
3.1.2 Το ημερολόγιο 80
3.2 Η σπείρα του Σάρος – Νέες επιγραφές 84
3.3 Συμπεράσματα 84

4. Το παράπηγμα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων 86
4.1 Τα αστρονομικά γεγονότα 89
4.2 Η μέθοδος υπολογισμού των φαινόμενων αστρικών γεγονότων 91
4.3 Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν 95
4.3.1 Η ατμοσφαιρική διάθλαση 95
4.3.2 Η ατμοσφαιρική απορρόφηση 95
4.3.2.1 Ο γενικός τύπος για την ατμοσφαιρική απορρόφηση 95
4.3.2.2 Οι αναλυτικοί τύποι του Schaefer (1993) για την ατμοσφαιρική απορρόφηση κοντά στον ορίζοντα 96
4.3.3 Οι αστέρες και οι αστερισμοί που χρησιμοποιήθηκαν 97
4.4 Αποτελέσματα 99
4.4.1 Η σειρά των αστρικών γεγονότων 99
4.4.2 Η κατανομή των αστρικών γεγονότων ως προς τους ζωδιακούς αστερισμούς 102
4.5 Συμπεράσματα – Η γεωγραφική εξάρτηση 103

4.6 Η πιθανότητα παρατήρησης των αστέρων **104**
4.7 Αληθινά ή φαινόμενα αστρικά γεγονότα **104**
4.8 Άλλα παραπήγματα **106**
4.8.1 Το παράπηγμα του Πτολεμαίου **106**
4.8.2 Τα παραπήγματα του Ευκτήμονα και του Εύδοξου **114**
4.9 Συμπεράσματα **117**

5. Η εξίσωση του χρόνου την εποχή του Μηχανισμού **119**
5.1 Θεωρητική μελέτη της εξίσωσης του χρόνου την εποχή του Μηχανισμού **120**
5.2 Σύγκριση με την εξίσωση του χρόνου του Πτολεμαίου **124**
5.3 Ενδείξεις ενσωμάτωσης της εξίσωσης του χρόνου στον Μηχανισμό **125**
5.4 Συμπεράσματα **127**

6. Κατασκευή ομοιωμάτων του Μηχανισμού **129**
6.1 Το ομοίωμα του 2008 **129**
6.2 Το ομοίωμα του 2011 **131**
6.3 Η γραμματοσειρά του Μηχανισμού **133**

7. Σύνοψη **135**

Δημοσιεύσεις **138**
Ανακοινώσεις σε διεθνή συνέδρια **140**
Συμμετοχές **141**
Άλλες σχετικές δραστηριότητες **142**

Βιβλιογραφία **144**

Πρόλογος

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων αποτελεί ένα μοναδικό αρχαιολογικό αντικείμενο το οποίο μαρτυρά αφενός το επίπεδο των αστρονομικών γνώσεων που υπήρχε γύρω στο 150 π.Χ. και αφετέρου ένα επίπεδο αρχαίας μηχανικής και τεχνολογίας για το οποίο δεν υπήρχε σχεδόν καμία υποψία. Στο πλαίσιο της διατριβής αυτής, μελετήθηκαν διάφορα τμήματα του Μηχανισμού που είτε δεν είχαν ερευνηθεί καθόλου είτε είχαν ερευνηθεί αλλά η επανεξέτασή τους έδωσε διαφορετικά αποτελέσματα.

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγή στον Μηχανισμό και στα όσα είναι γνωστά σήμερα για αυτόν. Η πρωτότυπη έρευνα που διεξάχθηκε στο πλαίσιο αυτής της διατριβής παρουσιάζεται στα Κεφάλαια 2 – 5 ενώ στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα μοντέλα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων τα οποία κατασκευάστηκαν με τη βοήθεια μετρήσεων κατά τη διάρκεια της διδακτορικής αυτής διατριβής.

Πιο αναλυτικά, στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται αρχικά η δομή του δείκτη της σπείρας του Μέτωνα κι ο μηχανισμός στήριξης και κίνησής του. Ο δείκτης αποδεικνύεται ότι είναι ελεύθερος να ολισθαίνει στο σημείο σύνδεσης με τον άξονά του (κι όχι σταθερά συνδεδεμένος εκεί και εκτατός στο άλλο άκρο όπως είχε προηγουμένως δημοσιευτεί). Η μετάδοση της κίνησης σε αυτόν γίνεται μέσω ενός πολύ έξυπνα σχεδιασμένου μηχανισμού στήριξής του, η δομή του οποίου επιβεβαιώνεται από τον ίδιο τον Μηχανισμό και την επιγραφή περιγραφής του. Στο ίδιο κεφάλαιο μελετάται ο τρόπος κατασκευής των σπειρών και τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι και οι δύο σπείρες σχεδιάστηκαν ως σπείρες ημικυκλίων με διαφορετικά κέντρα (όπως υποστήριζαν ήδη 2 προηγούμενες εργασίες). Η ανεπιθύμητη εκκεντρότητα στην ανάγνωση των ενδείξεων του δείκτη για εκείνο το ημικύκλιο της σπείρας το οποίο δεν έχει σχεδιαστεί από το κέντρο του δείκτη αποδεικνύεται (με τρεις διαφορετικές αναλύσεις) ότι αποφεύγεται επιδέξια από τον μηχανικό με την κατάλληλη σχεδίαση των διαχωριστικών γραμμών των υποδιαιρέσεων. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται ορισμένες από τις νέες αναγνώσεις γραμμάτων που έγιναν και που σχετίζονται με την ταυτοποίηση του εμβόλιμου μήνα του ημερολογίου της σπείρας του Μέτωνα. Για το ημερολόγιο αυτό, κατασκευάστηκε επίσης ένας χάρτης που συγκρίνει τους μήνες του Μηχανισμού με τους γνωστούς έως σήμερα μήνες των αρχαίων ελληνικών πόλεων και εντοπίζονται 3 πιθανές περιοχές ως τόποι χρήσης του Μηχανισμού. Οι αναγνώσεις της σπείρας του Σάρος αύξησαν κατά 1 τον αριθμό των υποδιαιρέσεών του με εγχάρακτα σύμβολα. Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται μια πολύ εκτεταμένη αστρονομική μελέτη του παραπήγματος του Μηχανισμού. Για την μελέτη αυτή δημιουργήθηκε από την αρχή νέο πρόγραμμα υπολογισμού των ημερομηνιών των αστρικών γεγονότων των παραπηγμάτων, το οποίο εφαρμόστηκε και στο παράπηγμα του Πτολεμαίου με πολύ καλά αποτελέσματα. Από την ανάλυση προέκυψε ένα πιθανό εύρος γεωγραφικών πλατών

όπου χρησιμοποιούνταν το παράπηγμα του Μηχανισμού. Στο Κεφάλαιο 5 τέλος έγινε μια αστρονομική μελέτη της μορφής της εξίσωσης του χρόνου για την εποχή του Μηχανισμού καθώς ήταν μια γνώση που πρέπει να ήταν ήδη γνωστή τότε και επομένως να είχε αποτυπωθεί και στον Μηχανισμό. Η δομή του αινιγματικού θραύσματος D μελετάται και τα πρώτα αποτελέσματα δείχνουν καλό συσχετισμό με την καμπύλη της εξίσωσης.

Ευχαριστίες

Τη βάση της έρευνας (της διατριβής) αποτέλεσαν τα νέα δεδομένα που ελήφθησαν το φθινόπωρο του 2005, δηλαδή οι τομογραφίες σε ακτίνες Χ και οι ψηφιακές απεικονίσεις της επιφάνειας των θραυσμάτων του Μηχανισμού με την τεχνική PTM. Οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο τόσο για τον ιδιαίτερα ισχυρό επεξεργαστικά υπολογιστή και το πρόγραμμα επεξεργασίας δεδομένων VG Studio Max που αγοράστηκαν με δαπάνες του πανεπιστημίου για την εκπόνηση της διατριβής αυτής, εργαλεία τα οποία κατέστησαν δυνατή την επεξεργασία και χρήση των τομογραφιών, όσο και για τη χορήγηση της υποτροφίας με την οποία στήριξε τη διατριβή αυτή (για την οποία ευχαριστώ και ειδικά το Τμήμα Σπουδών για την άριστη συνεργασία μας).

Τίποτα από τα παραπάνω βεβαίως δεν θα είχε πραγματοποιηθεί χωρίς τη συμβολή του επιβλέποντα κ. Ι.Χ. Σειραδάκη τον οποίο δεν έχω λόγια να ευχαριστήσω. Η εμπιστοσύνη που μου έδειξε από την αρχή της εκπόνησης της διατριβής ήταν συγκινητική, εμπιστοσύνη την οποία δεν έχασε την ευκαιρία να δείξει και σε κάθε μία από τις πολυάριθμες παρουσιάσεις που έχει κάνει για τον Μηχανισμό. Η καθοδήγησή του υπήρξε πολύτιμη, η διάθεση συνεργασίας μόνιμη ακόμη και σε ημέρες με πολύ φόρτο εργασίας για εκείνον, η αγάπη του για τον Μηχανισμό και την έρευνα καταλυτική. Τον ευχαριστώ θερμά για την πολύωρη καθημερινή επαφή και για την προτεραιότητα που έθετε πάντοτε σε θέματα της διατριβής. Η άδεια που διαθέτει από το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο για τη μελέτη των θραυσμάτων του Μηχανισμού, άδεια που απέκτησε με την επιστημονική του καταξίωση, έθεσε τα θεμέλια της διατριβής αυτής ενώ η χαρισματική και ευγενική του προσωπικότητα άνοιξε το δρόμο για πολλές συνεργασίες.

Ευχαριστώ επίσης θερμά και τα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, την καθηγήτρια κα. Σ. Δρούγου για τις αρχαιολογικές της γνώσεις, την εμπειρία της και τη συμβουλή της σε αρχαιολογικά θέματα που προέκυψαν αλλά και για την όλη υποστήριξή της και τον καθηγητή Κ. Ευσταθίου για την συνεργασία και υποστήριξή του, τη διάθεση να μας εξηγήσει μηχανολογικές έννοιες αλλά και να κατανοήσει τις αστρονομικές καθώς και τον ατελείωτο χρόνο που διέθεσε στην προσπάθεια να κατασκευαστούν τα μοντέλα. Η συνεργασία των τριών ειδικοτήτων υπήρξε μοναδική εμπειρία από την οποία διδάχτηκα πολλά.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω επίσης και στους συνεργάτες του εξωτερικού: J. Evans (University of Puget Sound), T. Freeth (Images First Ltd), A. Jones (Institute for the Study of the Ancient World, New York University), P. Iversen (Department of Classics, Case Western Reserve University), M. Edmunds (Cardiff University) και C. Carlos Carman (Universidad Nacional de Quilmes/CONICET) για την πολύτιμη συνεργασία μας κατά τη διάρκεια της διατριβής αυτής. Ευχαριστώ επίσης τον Δ. Παπαδόπουλο (Τμήμα Φυσικής, ΑΠΘ), τον Μ. Ρουμελιώτη (Τμήμα Εφαρμοσμένης

Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας), τον Ξ. Μουσά (Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών), την Μ. Ζαφειροπούλου (Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο), το υπόλοιπο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της ερευνητικής ομάδας Antikythera Mechanism Research Project. Όλες οι τομογραφίες που εμφανίζονται στη διατριβή αυτή ανήκουν στην πνευματική ιδιοκτησία αυτής της ομάδας.

Ευχαριστώ τέλος τους (τότε) φοιτητές του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Θ. Ζαχαροπούλου, Π. Μπουτμπάρα, Μ. Ευσταθίου και Α. Μπασιακούλη με τους οποίους συνεργαστήκαμε πολύ εποικοδομητικά κατά τη διάρκεια των διπλωματικών τους εργασιών και την κατασκευή των μοντέλων του Μηχανισμού. Για την κατασκευή εργάστηκε κι ο τεχνικός του Αστεροσκοπείου του Α.Π.Θ. κ. Ε. Τσορλίνης, τον οποίο ευχαριστώ για τον χρόνο που διέθεσε και το ενδιαφέρον με το οποίο ασχολήθηκε. Θα ήθελα τέλος να ευχαριστήσω και όλα τα μέλη του Τομέα Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής του Α.Π.Θ. για την ωραία συνεργασία μας όλα τα έτη της διατριβής.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή ίσως όμως να μην είχε πραγματοποιηθεί χωρίς την αμείωτη συμπαράσταση και την ενθάρρυνση από το σύζυγό μου, τους γονείς μου και τον αδερφό μου. Τους ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου για όλη τη βοήθεια που μου προσέφεραν και για τη συνεχή στήριξή τους. Ευχαριστώ τέλος το νεογέννητο αγοράκι μου για τα τόσο γλυκά χαμόγελα που μου χαρίζει.

Αναστασίου Μαγδαληνή

Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2014

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων αποτελεί ένα μοναδικό αρχαιολογικό αντικείμενο, πολύ υψηλής − για την εποχή του αλλά και για τους επόμενους τουλάχιστον 10 αιώνες − τεχνολογίας, το οποίο κατασκευάστηκε πιθανότατα το 150-100 π.Χ. Οι ενδείξεις και οι πληροφορίες που παρείχε στον χρήστη του είναι πολυάριθμες. Οι ενδείξεις αυτές ήταν αποτέλεσμα σύνθετων αστρονομικών γνώσεων και υπολογισμών που στην πράξη γίνονταν μέσα από συνδυασμούς οδοντωτών τροχών και έτσι δικαίως ο Μηχανισμός έχει χαρακτηριστεί ως ο πρώτος υπολογιστής της αρχαιότητας. Οι αστρονομικές γνώσεις που αντικατοπτρίζονται πάνω στον Μηχανισμό είναι οι αστρονομικές γνώσεις της εποχής της κατασκευής του. Αυτό που μαγεύει στον Μηχανισμό είναι η ίδια η τεχνολογική του σύλληψη, η μετάδοση της κίνησης μέσα από τη χρήση εξαιρετικά μεγάλου αριθμού οδοντωτών τροχών, η εφευρετικότητα μηχανικών μερών για την απόδοση των σύνθετων αστρονομικών φαινομένων, η πολυπλοκότητα των διαφόρων μηχανικών μερών του και η τελειότητα της κατασκευής του. Η τελειότητα αυτή εύλογα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο Μηχανισμός αποτελεί το αποτέλεσμα συνεχούς εξέλιξης μηχανισμών με την προσθήκη ολοένα επιπλέον λειτουργιών, διαδικασία που πιθανότατα να διήρκεσε ίσως κι έναν αιώνα. Η μη εύρεση άλλων μηχανισμών πιθανότατα ερμηνεύεται από το ίδιο το υλικό της κατασκευής τους κι από την εύκολη ανακύκλωση των μετάλλων για την κατασκευή άλλων αντικειμένων. Το ίδιο το ναυάγιο, κατά το οποίο σχεδόν καταστράφηκε και εξαφανίστηκε ο Μηχανισμός (ένα μεγάλο τμήμα του λείπει ενώ το ίδιο το αντικείμενο διασώζεται σε 82 θραύσματα), στην ουσία τον διέσωσε ταυτόχρονα ως το μοναδικό μέχρι στιγμής μάρτυρα του υψηλότατου βαθμού της αρχαίας ελληνικής τεχνολογίας.

1.1 Η ανεύρεση του Μηχανισμού

Το ναυάγιο του αρχαίου πλοίου το οποίο μετέφερε τον Μηχανισμό εντοπίστηκε τυχαίως το 1900 στις ακτές των Αντικυθήρων από Συμιακούς σφουγγαράδες όταν κατά τη διάρκεια παραμονής τους στο νησί λόγω τρικυμίας αποφάσισαν να βουτήξουν στην περιοχή (Price 1974, Τσιποπούλου κ.ά. 2012). Λίγους μήνες αργότερα η Αρχαιολογική Υπηρεσία, με την υποστήριξη του Βασιλικού ναυτικού και σε συνεργασία με τους δύτες από τη Σύμη, ξεκίνησε μια σειρά συστηματικών ενάλιων ανασκαφών, για την ανέλκυση του φορτίου του ναυαγίου. Οι συνθήκες της ανασκαφής αποδείχθηκαν εξαιρετικά δύσκολες λόγω της κακοκαιρίας, της αδυναμίας των δυτών να παραμείνουν στο μεγάλο βάθος του ναυαγίου για αρκετό χρονικό διάστημα και του μεγάλου βάρους των αντικειμένων. Οι δύτες έπρεπε να καταδυθούν

σε βάθος περίπου 50 m με τον υποτυπώδη καταδυτικό εξοπλισμό της εποχής. Για την ανάδυση και την κατάδυσή τους χρειάζονταν 3 λεπτά ενώ για την παραμονή τους στο βυθό διέθεταν το πολύ 5 λεπτά. Η επιτυχία της ανασκαφής οφείλεται αναμφισβήτητα στον ηρωισμό της ομάδας των δυτών. Δυστυχώς, κατά τη διάρκεια της όλης επιχείρησης, ο δύτης Γεώργιος Κρητικός έχασε τη ζωή του ενώ άλλοι δύο έμειναν μόνιμα παράλυτοι.

Η ανασκαφή διήρκησε περίπου 10 μήνες, από τις 24/11/1900 έως τα τέλη Σεπτέμβρη 1901 (Νικολή Μ. 2012) και κατά τη διάρκειά της ήρθαν στην επιφάνεια σημαντικότατα ευρήματα. Από το πλουσιότατο αυτό ναυάγιο ανασύρθηκαν εντυπωσιακά χάλκινα και μαρμάρινα γλυπτά, ξύλινα ανάκλιντρα με μπρούτζινα επιθήματα, χάλκινα αγγεία, χρυσά κοσμήματα και αργυρά σκεύη, γυάλινα αγγεία, αμφορείς, λάγυνοι, ερυθροβαφή και άλλα κεραμικά σκεύη. Στα πολύτιμα ευρήματα του ναυαγίου ανήκουν και κάποια μοναδικά θραύσματα με γρανάζια και αρχαίες ελληνικές επιγραφές, τα θραύσματα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων.

Το αρχαίο ναυάγιο πήρε άδεια να διερευνήσει το 1976 εκ νέου ο Jacques Yves Cousteau. Η ανασκαφή διήρκησε από τις 12/06/1976 έως τις 20/11/1976 (Κολώνας 2012) και έφερε στην επιφάνεια χάλκινα, χρυσά, ασημένια, μαρμάρινα και γυάλινα αντικείμενα. Ιδιαίτερης σημασίας αποδείχτηκε η εύρεση αργυρών και χάλκινων νομισμάτων καθώς με τη βοήθειά τους χρονολογήθηκε το ναυάγιο.

Η ασφαλέστερη χρονολογική ένδειξη για το ναυάγιο προέρχεται από τα αργυρά κιστοφορικά τετράδραχμα της Περγάμου και με βάση τα νομίσματα αυτά το ναυάγιο τοποθετείται χρονικά μεταξύ 76-60 π.Χ. (Τσελέκας 2012)[1]. Η χρονολόγηση αυτή υποστηρίζεται κι από δύο χάλκινα νομίσματα της Εφέσου.

Η παραπάνω χρονολόγηση βρίσκεται εκτός των χρονικών ορίων που έθεσαν οι ραδιοχρονολογήσεις άνθρακα 14 τμημάτων ξύλου του πλοίου που έγιναν τη δεκαετία του 1960. Πιο συγκεκριμένα, οι ραδιοχρονολογήσεις προσδιόριζαν ως χρόνο κοπής των ξύλων για την κατασκευή του πλοίου περίπου το 220π.Χ. ±43 έτη (Ralph 1965) ή περίπου το 155 π.Χ. ±42 έτη (Stuckenrath 1966). Το πρόβλημα λύθηκε πρόσφατα από τον Andrew Wilson, ο οποίος χρησιμοποιώντας σύγχρονες καμπύλες βαθμονόμησης, πολύ πιο ακριβείς σε σχέση με αυτές της δεκαετίας του 1950 ή του 1960, έδωσε ως πιθανότερο διάστημα κατασκευής του πλοίου (84% πιθανότητα) το χρονικό διάστημα μεταξύ 211 – 40 π.Χ. (Prof Andrew Wilson, Oxford University, προσωπική επικοινωνία με τη διαμεσολάβηση του Prof Mike Edmunds).

Από το πλοίο (Μπούγια 2012) σώζονται λίγα μόνο τμήματα, κυρίως τμήματα ξύλου, ήλοι, αντίβαρα, ζεύγος βολίδων μέτρησης βάθους και ανίχνευσης του βυθού και κεραμίδες κορινθιακού τύπου από πιθανό στεγασμένο χώρο στο κατάστρωμα του πλοίου. Το πλοίο κατατάσσεται ως φορτηγό πλοίο (ολκάς), πιθανότατα μήκους 30m και πλάτους 10m (Throckmorton 1964). Η χωρητικότητά του έχει εκτιμηθεί σε περίπου 300 τόνους. Το πλούσιο φορτίο του κατά πάσα πιθανότητα προορίζονταν για την αγορά της Ιταλίας. Ως προς το αρχικό λιμάνι αναχώρησης του πλοίου, έχουν

[1] Η κεραμική επίσης είναι του 1ου αι. π.Χ. με ελάχιστα ευρήματα να χρονολογούνται πιθανόν και λίγο νωρίτερα (τέλη 2ου αι. π.Χ.).

προταθεί πολλά γεωγραφικά σημεία, με το λιμάνι της Δήλου, της Εφέσου ή της Περγάμου (Μπούγια 2012, Καλτσάς 2012) ως τους επικρατέστερους τόπους αρχικής φόρτωσης του σκάφους.

Το φορτίο του ναυαγίου, όπως ήταν φυσικό, υπέστη τις συνέπειες της παραμονής του για περίπου δύο χιλιετίες στο βυθό της θάλασσας. Την πιο μεγάλη φθορά έχουν υποστεί τα μαρμάρινα αγάλματα τα οποία έρχονταν σε άμεση επαφή με το νερό της θάλασσας χωρίς να είναι καλυμμένα από λάσπη ή άμμο. Η φθορά είναι τόσο μεγάλη ώστε αρχικά οι δύτες νόμιζαν ότι επρόκειτο για βράχους. Αλλά και τα υπόλοιπα αντικείμενα υπέστησαν φθορές και τα ίδια τα θραύσματα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων είναι πλέον εξαιρετικά εύθραυστα.

Η ακριβής ημερομηνία ανέλκυσης του Μηχανισμού δεν είναι ξεκάθαρα γνωστή, φαίνεται όμως ότι δημοσίευμα στην εφημερίδα Άστυ στις 24/07/1901[2] ότι βρέθηκε «ενεπίγραφος πλαξ» αφορά πιθανότατα την εύρεση του Μηχανισμού καθώς δεν έχουν ανελκυσθεί άλλες ενεπίγραφες πλάκες από το ναυάγιο. Η πρώτη ξεκάθαρη αναφορά έγινε σχεδόν έναν χρόνο αργότερα όταν δημοσιεύτηκε στον τύπο της εποχής ότι στις 20 Μαΐου του 1902 ο πρώην Υπουργός Παιδείας Σπυρίδων Στάης (Φράγκου 2010, Nikoli and Seiradakis 2012), κατά τη διάρκεια επίσκεψής του στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο, πρώτος παρατήρησε τα μυστηριώδη αυτά θραύσματα τα οποία έφεραν γρανάζια αλλά και επιγραφές στα αρχαία ελληνικά.

Η ερμηνεία του αντικειμένου δεν υπήρξε εύκολη κι η αναγνώριση κάποιων λειτουργιών του δεν ήρθε παρά αρκετές δεκαετίες αργότερα, κάποιες κι έναν αιώνα μετά. Κανείς δεν μπορούσε να φανταστεί τη σημασία του αρχαίου αυτού ευρήματος.

1.2 Η περιγραφή του Μηχανισμού

Από τη στιγμή της ανακάλυψής του, ο Μηχανισμός προσέλκυσε το ενδιαφέρον πολλών σημαντικών ερευνητών. Ως αντικείμενο απολιθωμένο και πολύ εύθραυστο, χρειάστηκε τη συνδρομή και την εξέλιξη της τεχνολογίας για την εις βάθος μελέτη του. Η χρήση ακτίνων Χ αποδείχθηκε κλειδί στη μελέτη του εσωτερικού του, τόσο κατά την έρευνα του D. de Solla Price ο οποίος τη δεκαετία του 1970, με τη συνεργασία και βοήθεια του Χ. Καράκαλου, πήρε τις πρώτες ακτινογραφίες του Μηχανισμού, ακτινογραφίες οι οποίες αποκάλυψαν τη δομή και τις σχέσεις των οδοντωτών τροχών, όσο και τον Οκτώβριο του 2005 όταν όλα τα θραύσματα του Μηχανισμού σαρώθηκαν από τον πρωτοπόρο τομογράφο ακτίνων Χ Bladerunner (βάρους 8 τόνων, μεγίστης τάσεως 450kV και διακριτικής ικανότητας ενός εικοστού του χιλιοστού) της βρετανική εταιρείας X-Tek (X-Tek Systems Ltd. 2006). Ο αριθμός των τομογραφιών για καθένα από τα μεγάλα θραύσματα κυμαίνεται μεταξύ 1500-3000 και η ανάλυση των τομογραφιών είναι της τάξεως των μερικών δεκάδων μικρομέτρων. Παράλληλα δημιουργήθηκε ειδικό software, το CT-Pro, το οποίο χρησιμοποιεί τις τομογραφίες και ανασυνθέτει το κάθε θραύσμα ως ένα τρισδιάστατο αρχείο. Χάρη στα αρχεία αυτά, έγινε ορατό με πρωτοφανή λεπτομέρεια το εσωτερικό

[2] Το δημοσίευμα αυτό βρέθηκε από τον κ.Σειραδάκη κατά τη διάρκεια έρευνάς του σε εφημερίδες της εποχής εκείνης.

όλων των θραυσμάτων και αποκαλύφθηκαν οι οδοντωτοί τροχοί, οι άξονες καθώς και οι επιγραφές οι οποίες είναι κρυμμένες πίσω από τα απολιθώματα και τις ασβεστοποιήσεις της επιφάνειας των θραυσμάτων. Στη χρήση των αρχείων αυτών ουσιαστικά βασίστηκε η μετά το 2005 έρευνα του Μηχανισμού, έρευνα που οδήγησε πολύ σύντομα, το 2006 και το 2008, σε δύο δημοσιεύσεις στο περιοδικό Nature (Freeth *et al*. 2006, Freeth *et al*. 2008). Πολύ χρήσιμο εργαλείο επίσης, για την μελέτη λεπτομερειών της επιφάνειας των θραυσμάτων, αποτελούν οι ψηφιακές απεικονίσεις της επιφάνειας των θραυσμάτων του Μηχανισμού με την τεχνική PTM, δεδομένα που ελήφθησαν από την εταιρεία Hewlett-Packard, επίσης το 2005 (Malzbender, T. and Gelb, D. 2006). Τα θραύσματα φωτογραφήθηκαν φωτιζόμενα από 50 διαφορετικές διευθύνσεις ενώ παράλληλα δημιουργήθηκε ειδικό software με το οποίο ο χειριστής μπορεί να επιλέγει τη διεύθυνση φωτός. Χάρη στις απεικονίσεις αυτές, αποκαλύπτονται λεπτομέρειες της επιφάνειας των θραυσμάτων οι οποίες δεν μπορούν να διακριθούν με τυπικές μεθόδους φωτογράφησης.

Η παρούσα διατριβή βασίστηκε στους δύο αυτούς νέους τύπους δεδομένων. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του εξαιρετικά ισχυρού επεξεργαστικά υπολογιστή και το πρόγραμμα επεξεργασίας των τρισδιάστατων αρχείων VG Studio Max που αγοράστηκαν για το σκοπό αυτό με δαπάνη του Α.Π.Θ.

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων, από τη στιγμή της ανέλκυσης του, φυλάσσεται στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο και έως το 2012 εκτίθετο πάντοτε μερικώς (τα πιο μεγάλα του θραύσματα). Από τον Απρίλιο του 2012 έως και τον Ιούνιο του 2014, στο πλαίσιο της έκθεσης «Το Ναυάγιο των Αντικύθηρων. Το πλοίο - οι θησαυροί - ο Μηχανισμός» που διοργανώθηκε από το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο, ο Μηχανισμός εκτίθεται πλήρως, δηλαδή εκτίθενται και τα 82 θραύσματα στα οποία σώζεται σήμερα (εικόνα 1.1). Από τα θραύσματα αυτά, τα 7 πιο μεγάλα έχουν ονομαστεί με τα γράμματα A, B, C, D, E, F και G ενώ για τα υπόλοιπα 75 έχουν χρησιμοποιηθεί αριθμοί (1-75).

Σήμερα γνωρίζουμε την ακριβή αρχική θέση πάνω στον Μηχανισμό σχεδόν όλων των μεγάλων καθώς και των περισσοτέρων μικρών θραυσμάτων. Το θραύσμα Α, το μεγαλύτερο θραύσμα του Μηχανισμού με διαστάσεις περίπου 175mm × 160mm × 50mm, διασώζει σχεδόν ολόκληρο το βασικό τμήμα του εσωτερικού του Μηχανισμού κι ένα μικρό μόνο τμήμα από την εξωτερική πίσω πλάκα. Τμήματα από την υπόλοιπη πίσω πλάκα σώζονται στα θραύσματα Β, Ε και F. Το θραύσμα C αποτελεί μια σύνθεση από διάφορα τμήματα τα οποία αποκολλήθηκαν από τον Μηχανισμό και περιστράφηκαν πολλαπλώς (μέσα στο νέο θαλάσσιο περιβάλλον τους) πριν καταλήξουν στο θραύσμα C και σώζει τμήματα της μπροστινής πλάκας καθώς και τμήματα του μηχανισμού κίνησης της σφαίρας της Σελήνης. Το θραύσμα D θεωρείται σήμερα αινιγματικό με την ακριβή θέση του και λειτουργία του να μην έχει ακόμη επιβεβαιωθεί ενώ το θραύσμα G σώζει τμήμα από το κείμενο της μπροστινής πόρτας. Η αρίθμηση των πλευρών των θραυσμάτων (π.χ. A-1, A-2)

ακολουθεί την αρίθμησή τους έτσι όπως υιοθετήθηκε κατά τις μετρήσεις των θραυσμάτων το 2005.



Εικ.1.1: Τα 82 θραύσματα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων (Freeth *et al*. 2006). Στην πρώτη σειρά κι από αριστερά προς τα δεξιά εικονίζονται τα θραύσματα A, B, C, D ενώ στην αμέσως επόμενη σειρά ακολουθούν, πάλι με την ίδια φορά, τα θραύσματα E, F και G.

Η ανασύνθεση των θραυσμάτων έδειξε ότι ο Μηχανισμός πιθανότατα ήταν συναρμολογημένος σε ξύλινη θήκη (εικόνα 1.2) διαστάσεων περίπου 33cm × 18cm × 10cm (αν και η τελευταία αυτή διάσταση είναι κατά εκτίμηση). Η μπροστινή και η πίσω του επιφάνεια καλύπτονταν με μπρούτζινες πλάκες οι οποίες έφεραν κλίμακες, δείκτες και επιγραφές (η μπροστινή και πίσω επιφάνεια του Μηχανισμού από εδώ και στο εξής θα αναφέρονται ως «μπροστινή πλάκα» και «πίσω πλάκα» του Μηχανισμού). Η ξύλινη θήκη διέθετε επίσης πιθανότατα ξύλινες πόρτες οι οποίες έφεραν μπρούτζινες πλάκες στην εσωτερική τους επιφάνεια (οι πόρτες από εδώ και στο εξής θα αναφέρονται ως «μπροστινή πόρτα» και «πίσω πόρτα» του Μηχανισμού) και οι οποίες όταν έκλειναν κάλυπταν πλήρως τη μπροστινή και πίσω πλευρά του Μηχανισμού[3]. Η μπροστινή και πίσω πόρτα του Μηχανισμού λειτουργούσαν προστατευτικά για το βασικό τμήμα του Μηχανισμού αλλά ταυτόχρονα έφεραν κι επιγραφές που βοηθούσαν στην κατανόηση και στη λειτουργία του. Η κίνηση όλων

[3] Ο M.T. Wright έχει εκφράσει την άποψη ότι η μπροστινή πλευρά μπορεί να αποτελούνταν μόνο από το τμήμα με τους ομόκεντρους δακτυλίους κι ότι οι πόρτες που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορεί να μην συνδέονταν με την ξύλινη θήκη αλλά να ήταν απλά αποσπώμενες πλάκες που εφάρμοζαν στη ξύλινη θήκη μετατρέποντας τον Μηχανισμό σε ένα καλά ασφαλισμένο κλειστό ξύλινο κουτί κατά τις μετακινήσεις του (Wright 2007).

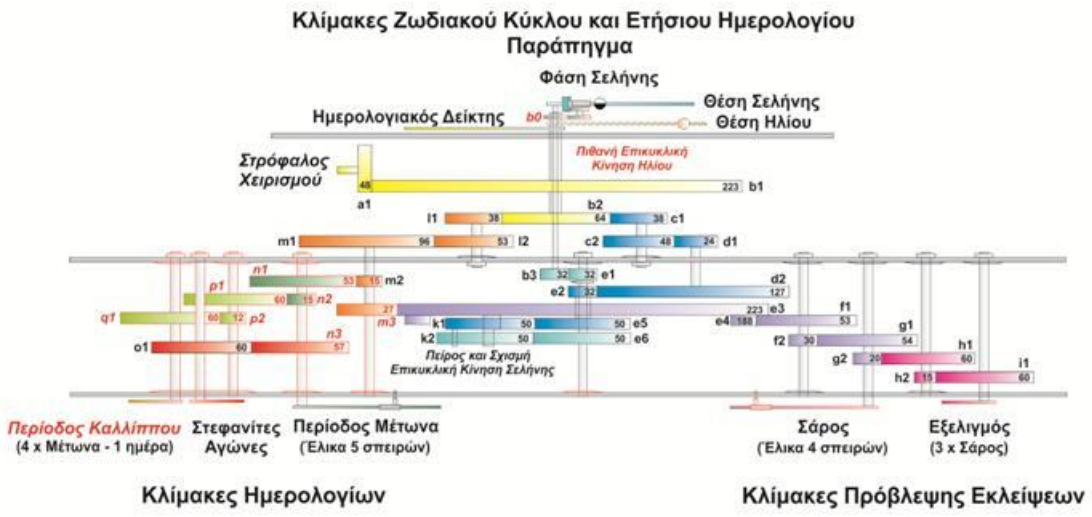
των γραναζιών και δεικτών γινόταν πιθανόν με την περιστροφή ενός στροφείου το οποίο βρισκόταν τοποθετημένο στη δεξιά (κοιτάζοντας από μπροστά) πλαϊνή πλευρά του Μηχανισμού.



Εικ.1.2: Η μπροστινή πλευρά του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Η εικόνα προέρχεται από το ομοίωμα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων του Αριστοτελείου Πανεπιστήμιου (v2.1) που κατασκευάστηκε το 2011, το πιο πρόσφατα κατασκευασμένο ομοίωμα του Μηχανισμού το οποίο ενσωματώνει όλα τα μέχρι τότε επιβεβαιωμένα αποτελέσματα της έρευνας του Μηχανισμού.

Από τους οδοντωτούς τροχούς του Μηχανισμού σήμερα σώζονται 30 (27 στο θραύσμα Α κι από 1 στα θραύσματα Β, C και D). Για τη βασική λειτουργία του Μηχανισμού, έτσι όπως εικονίζεται στην εικόνα 1.3, έχει υποτεθεί η ύπαρξη άλλων 5 κρίσιμων οδοντωτών τροχών οι οποίοι συμπληρώνουν το τμήμα γραναζιών που λείπει πίσω από τη σπείρα του Μέτωνα στην πάνω πλευρά του Μηχανισμού (τα γρανάζια αυτά είναι τα n1, n2, p1, p2 και m3). Όμως, εκτός αυτών των λειτουργιών, πιθανότατα ο Μηχανισμός απεικόνιζε και την πραγματική ανισοταχή φαινομενική κίνηση του Ήλιου καθώς επίσης και τις κινήσεις των 5 γνωστών κατά την εποχή εκείνη πλανητών του Ηλιακού Συστήματος, λειτουργίες που ανεβάζουν τον αριθμό των οδοντωτών τροχών που λείπουν σε μεγάλο αριθμό και κάνουν πολύ πιθανή την εκδοχή ότι ένα μεγάλο τμήμα της μπροστινής πλευράς του Μηχανισμού έσπασε κι έχει μείνει στο βυθό. Οι οδοντωτοί τροχοί είναι κατασκευασμένοι από μπρούντζο, πιθανόν με μεγαλύτερο ποσοστό κασσίτερου σε σχέση με τις πλάκες ώστε να εμφανίζουν μεγαλύτερη σκληρότητα και αντοχή. Είναι τριγωνικής οδόντωσης με τον

αριθμό των δοντιών τους να κυμαίνεται από 15 έως 223/224 και τις διαστάσεις τους μεταξύ περίπου d = 8 mm έως d = 130 mm. Η χρήση γραναζιών με μονό αριθμό δοντιών ανεβάζει τη δυσκολία της κατασκευής, ειδικά όταν πρόκειται για γρανάζια διαμέτρου της τάξεως των 8 mm (γρανάζια h2 και m2)!

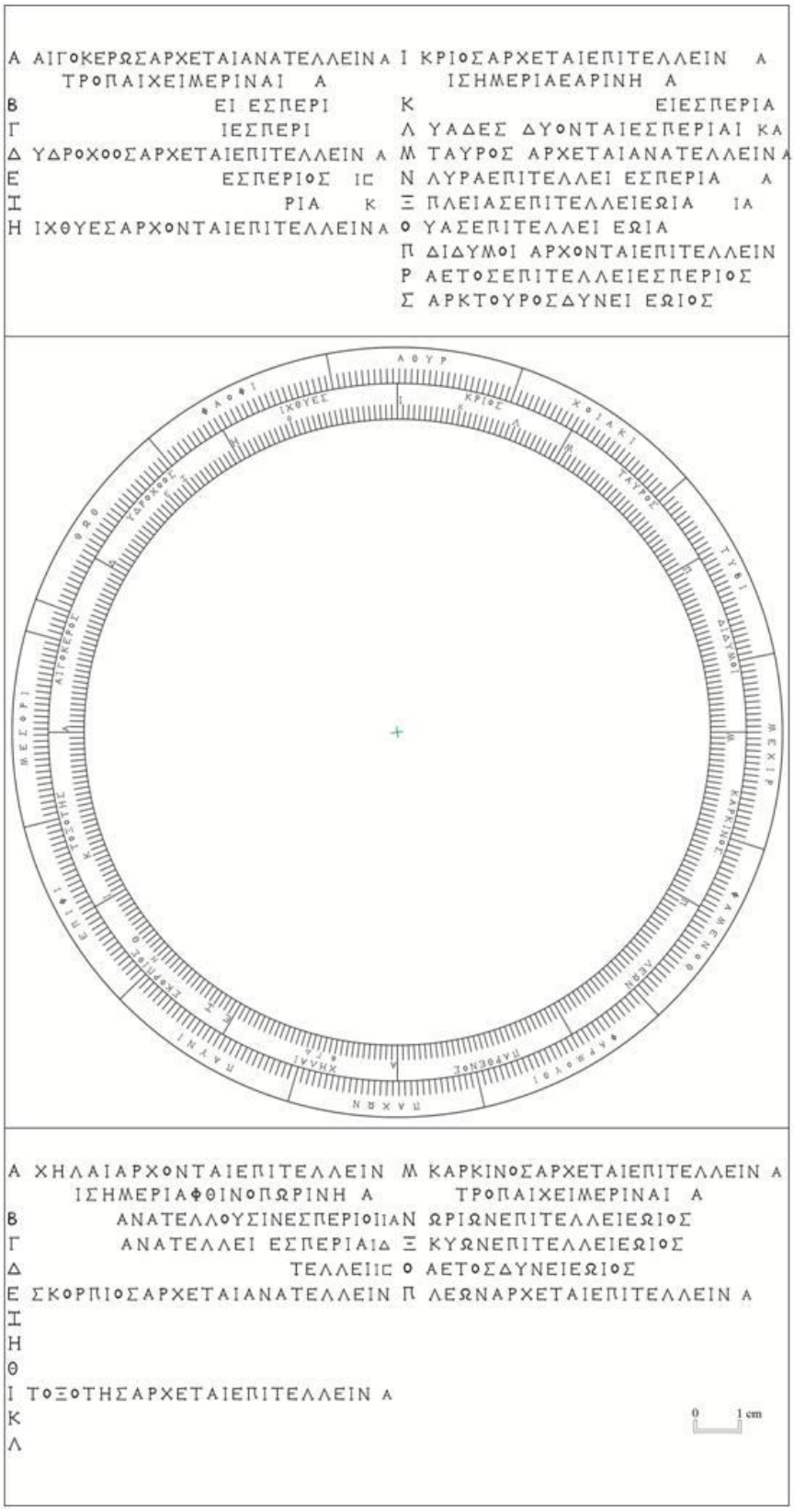


Εικ.1.3: Συνολικό σχηματικό διάγραμμα της διάταξης των οδοντωτών τροχών του Μηχανισμού των Αντικυθήρων (Freeth *et al*. 2008).

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων αποδεικνύεται μια τέλεια μηχανική κατασκευή της αρχαιότητας που απεικόνιζε και πρόβλεπε την κίνηση του ουράνιου κόσμου. Με την περιστροφή ενός στροφείου, μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον ακριβή υπολογισμό της θέσης του Ήλιου, της Σελήνης και πιθανώς των πλανητών στον ουρανό. Έδειχνε επίσης τις φάσεις της Σελήνης, προέβλεπε εκλείψεις, διέθετε ημερολόγιο των κινήσεων βασικών αστέρων (παράπηγμα), συντόνιζε το τοπικό σεληνιακό ημερολόγιο με τα ηλιακά έτη και προσδιόριζε την ημερομηνία τέλεσης των αρχαίων στεφανιτών αγώνων (Ολύμπια, Πύθια, Νέμεα, Ίσθμια, κ.α.). Τις λειτουργίες του αυτές τις συνόδευε με επεξηγηματικές επιγραφές, όλες γραμμένες στα αρχαία ελληνικά, πολλές από τις οποίες είναι τόσο πυκνογραμμένες ώστε να θεωρείται σχεδόν βέβαιη η χρήση ειδικών φακών για τη χάραξη των γραμμάτων. Η συγκέντρωση τόσων λειτουργιών και επιγραφών σε μια συσκευή τέτοιων διαστάσεων ώστε να μπορεί να είναι φορητή είναι αναμφισβήτητα εντυπωσιακή.

1.2.1 Η μπροστινή πλάκα του Μηχανισμού

Τμήματα της μπροστινής πλάκας του Μηχανισμού, τα οποία να μαρτυρούν τη δομή της, έχουν σωθεί ουσιαστικά μόνο στο θραύσμα C (εξαίρεση αποτελούν κάποια πολύ μικρά τμήματα του παραπήγματος που έχουν αναγνωσθεί και σε κάποια από τα μικρά θραύσματα). Στο θραύσμα αυτό σώζεται περίπου το ¼ από μια διπλή ομόκεντρη κυκλική κλίμακα (εικόνα 1.4), που κατά πάσα πιθανότητα ήταν τοποθε-



Εικ.1.4: Αναπαράσταση της μπροστινής πλάκας του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Η αναπαράσταση αυτή έχει χρησιμοποιηθεί στο πιο πρόσφατο ομοίωμα του Μηχανισμού, ομοίωμα του Αριστοτελείου Πανεπιστήμιου (v2.1) που κατασκευάστηκε το 2011.

τημένη περίπου στο κέντρο της μπροστινής πλάκας. Η εξωτερική κυκλική κλίμακα απεικονίζει τους μήνες του αιγυπτιακού ημερολογίου, γραμμένους στην ελληνική γλώσσα, και είναι διαιρεμένη σε 365 υποδιαιρέσεις. Καθένας από τους 12 αιγυπτιακούς μήνες έχει 30 υποδιαιρέσεις ενώ στο τέλος του ημερολογίου υπάρχουν πιθανώς και 5 συμπληρωματικές «ἐπαγόμεναι» ημέρες. Το τμήμα του αιγυπτιακού έτους που έχει σωθεί (εικόνα 1.5) είναι το τμήμα των μηνών Παχών – Παϋνί – Επιφί, με τον μήνα Παχών να ξεκινά από την πρώτη του σχεδόν υποδιαίρεση και τον μήνα Επιφί να σώζεται μόνο μερικώς.

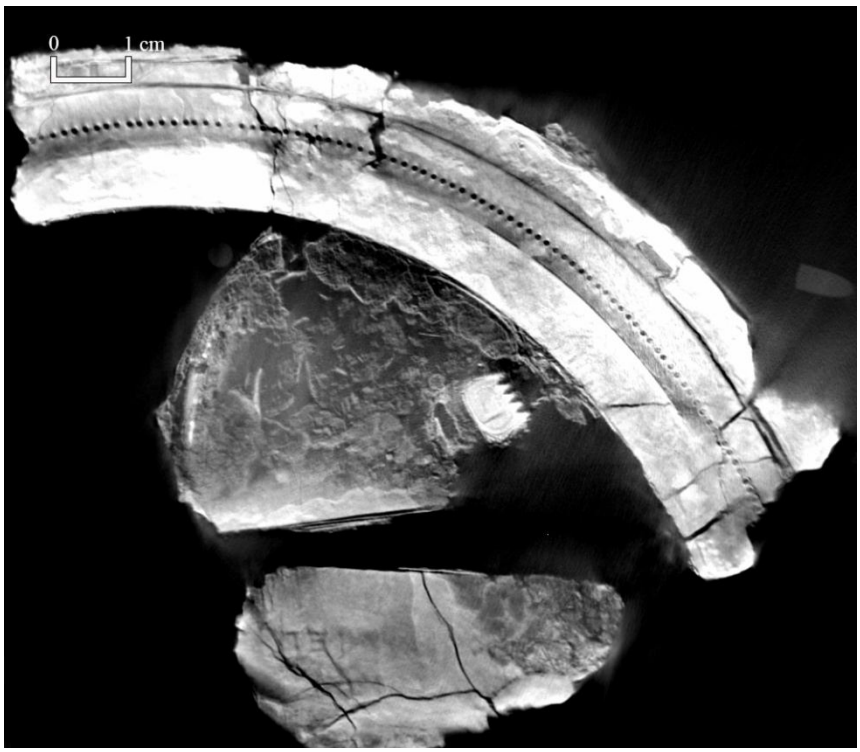
Η εσωτερική κυκλική κλίμακα απεικονίζει το ζωδιακό κύκλο και έχει 360 υποδιαιρέσεις με καθέναν από τους 12 ζωδιακούς αστερισμούς να έχει 30 υποδιαιρέσεις. Ο ζωδιακός κύκλος είναι το μονοπάτι που φαίνεται να ακολουθεί ο Ήλιος κατά τη φαινόμενη κίνησή του στον ουρανό στη διάρκεια ενός ηλιακού έτους και επομένως ο ζωδιακός κύκλος στην ουσία ταυτίζεται με το ηλιακό έτος. Η κίνηση των 360° αντιστοιχεί σε χρονικό διάστημα περίπου 365 ¼ ημερών. Το τμήμα του ζωδιακού κύκλου που έχει σωθεί (εικόνα 1.5) είναι το τμήμα των ζωδιακών αστερισμών Παρθένος – Χηλαί (Ζυγός) – Σκορπιός – Τοξότης, με την Παρθένο και τον Τοξότη να σώζονται μόνο μερικώς.



Εικ.1.5: PTM εικόνα από το θραύσμα C όπου διακρίνεται ένα μέρος από το τμήμα των δακτυλίων της μπροστινής πλευράς του Μηχανισμού που έχει σωθεί. Κάποια από τα γράμματα και τις υποδιαιρέσεις των δύο δακτυλίων έχουν αποτυπωθεί με λευκό χρώμα για να είναι ευδιάκριτα.

Επειδή η διάρκεια του αιγυπτιακού ημερολογίου ήταν 365 ημέρες κι όχι 365 ¼ που είναι η διάρκεια του ηλιακού έτους, το αιγυπτιακό ημερολόγιο από τη στιγμή της καθιέρωσής του ήταν ένα μετακινούμενο ως προς τις εποχές ημερολόγιο (κάθε 4 χρόνια έμενε πίσω κατά 1 ημέρα κι επομένως χρειαζόταν 4×365=1460 χρόνια για να ξανασυμπέσει η αρχή του ημερολογίου με την αρχή του ηλιακού έτους). Ο πρώτος ο οποίος προσπάθησε να διορθώσει το πρόβλημα ήταν ο Πτολεμαίος ΙΙΙ ο Ευεργέτης το 238 π.Χ. αλλά τελικά η ρύθμιση δεν έγινε δεκτή. Η οριστική καθιέρωση μιας 6^{ης} συμπληρωματικής ημέρας κάθε τέσσερα χρόνια ήρθε το 26/25 π.Χ. με την καθιέρωση του Αλεξανδρινού ημερολογίου από τον Αύγουστο. Η καθιέρωση αυτή αυτομάτως σταμάτησε τη μετατόπιση του ημερολογίου ως προς τις εποχές.

Την ιδιότητα αυτή του αιγυπτιακού ημερολογίου να μετακινείται ως προς το ηλιακό έτος αντικατοπτρίζει με αξιοθαύμαστο τρόπο ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων. Η δυσκολία που θα παρουσιαζόταν εάν κι οι δύο ομόκεντρες κυκλικές κλίμακες ήταν απλά σχεδιασμένες πάνω στη μπρούτζινη πλάκα (κι επομένως σταθερές η μία ως προς την άλλη), ξεπεράστηκε με την κατασκευή της εξωτερικής κλίμακας του αιγυπτιακού ημερολογίου ως αφαιρούμενης (κι επομένως μετακινούμενης) κλίμακας και τη δημιουργία 365 μικρών οπών κάτω από την κλίμακα (εικόνα 1.6). Κάθε τέσσερα χρόνια ο χειριστής μπορούσε να αποσπάσει την κλίμακα πιθανότατα με τη βοήθεια μιας ακίδας, που ίσως να βρισκόταν στην αρχή του αιγυπτιακού ημερολογίου (1 Θωθ), και να τη μετατοπίσει κατά μία οπή προς τα πίσω σε σχέση με το ζωδιακό κύκλο.

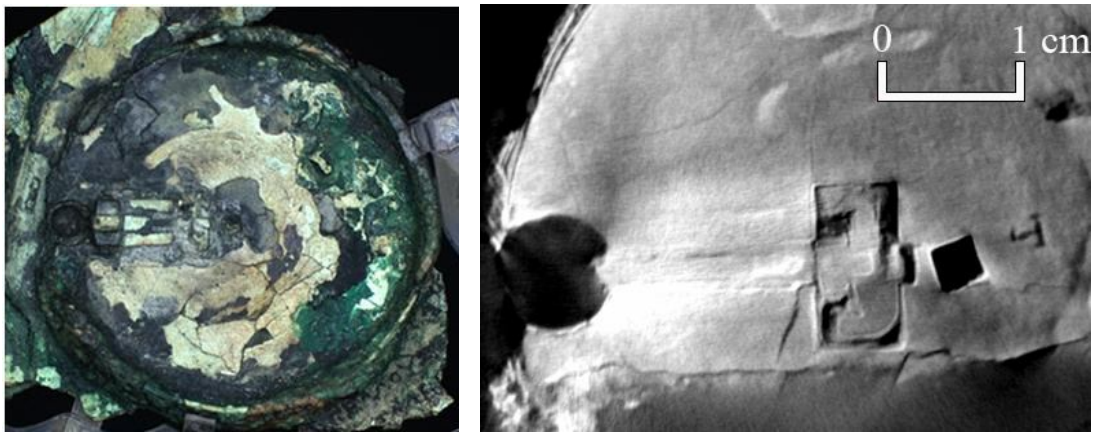


Εικ.1.6: Τομογραφία του θραύσματος C όπου διακρίνονται οι οπές που έχουν δημιουργηθεί κάτω από το δακτύλιο του αιγυπτιακού ημερολογίου.

Στην εικόνα 1.5 διακρίνεται και πιθανό χαρακτηριστικό σημάδι το οποίο σώζεται πάνω από τον εξωτερικό δακτύλιο περίπου μεταξύ της διαχωριστικής γραμμής των μηνών Παχών και Παϋνί (30η υποδιαίρεση του μήνα Παχών) και της 1ης υποδιαίρεσης του μήνα Παϋνί κι αντιστοιχεί περίπου μεταξύ της 17ης και 18ης υποδιαίρεσης του ζωδιακού αστερισμού Χηλαί. Το σημάδι αυτό μοιάζει περισσότερο να έχει χαραχτεί σκόπιμα (αν και στις τομογραφίες δίνεται η εντύπωση σπασίματος) και πιθανόν να έπαιζε κάποιο ρόλο όταν βαθμονομήθηκε ο Μηχανισμός, μαρκάροντας πχ. την αρχή κάποιου μήνα.

Η σχετική θέση των δύο ομόκεντρων δακτυλίων, έτσι όπως διατηρείται σήμερα, θα μπορούσε να δώσει μια χρονολόγηση π.χ. του πότε έγινε το ναυάγιο, οπότε και σταμάτησε η μετατόπιση, αλλά κάθε προσπάθεια χρονολόγησης με βάση αυτό το στοιχείο δεν οδήγησε σε μια «λογική» ημερομηνία (π.χ. Price 1974, p.18-20) σύμφωνα και με τα υπόλοιπα στοιχεία χρονολόγησης του ναυαγίου οπότε και θεωρείται πιο πιθανό, κατά το ναυάγιο ή στα χρόνια που ακολούθησαν και πριν σπάσουν οι δακτύλιοι, να μετατοπίστηκε ο ένας δακτύλιος σε σχέση με τον άλλο.

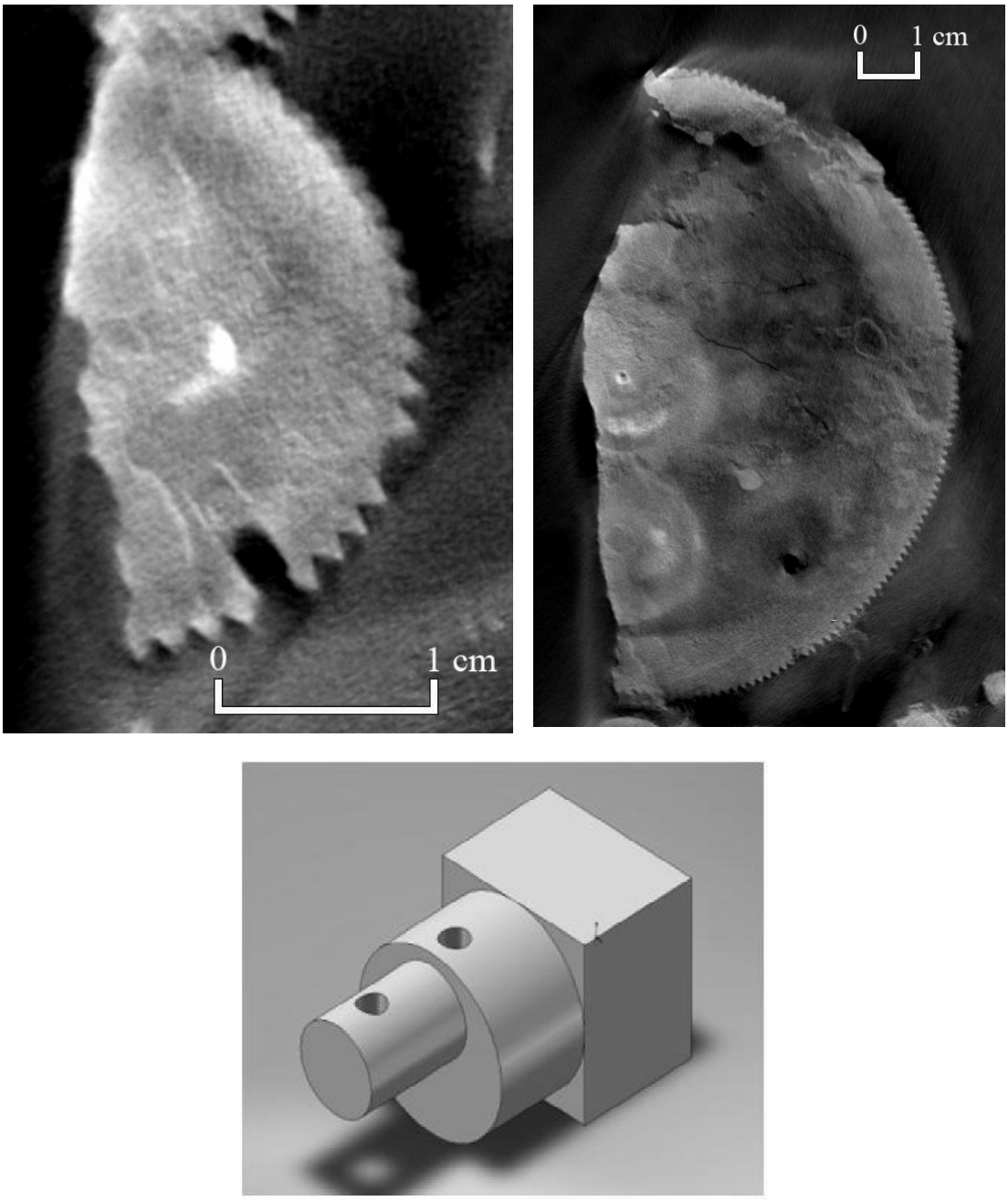
Γύρω από το κέντρο της διπλής κλίμακας της μπροστινής πλάκας περιστρέφονταν τουλάχιστον δύο δείκτες: ένας της Σελήνης κι ένας του Ήλιου. Από τους δείκτες αυτούς σώζεται μονάχα ένα τμήμα από τον αρκετά σύνθετο δείκτη της Σελήνης στο θραύσμα C. Όπως φαίνεται στην εικόνα 1.7, ο δείκτης αυτός ήταν στερεωμένος πάνω σε ένα τύμπανο και κατέληγε στο άκρο του σε ένα σφαιρίδιο, πιθανότατα χρωματισμένο μισό μαύρο και μισό άσπρο, το οποίο έδειχνε τις φάσεις της Σελήνης. Πρόκειται δηλαδή για έναν δείκτη ο οποίος εκτελούσε δύο κινήσεις: μια μαζί με το τύμπανο γύρω από το κέντρο των ομόκεντρων, κυκλικών κλιμάκων, για την προσομοίωση της κίνησης της Σελήνης στον ουρανό και μια γύρω από τον επιμήκη άξονά του, για την προσομοίωση των φάσεών της. Δυστυχώς το σφαιρίδιο δε σώζεται, σώζεται όμως η κοιλότητα για το σφαιρίδιο στο τύμπανο, ο άξονας περιστροφής του σφαιριδίου, ένα τμήμα (περίπου το μισό) από τον οδοντωτό τροχό που περιέστρεφε το δείκτη (μια κορώνα 20 οδόντων) καθώς κι ένα τετραγωνικό άνοιγμα στο κέντρο του τυμπάνου όπου πρέπει να ήταν προσαρτημένος ο άξονας που μετέδιδε την κίνηση και στο τύμπανο (άμεσα) και στην κορώνα (έμμεσα, με τη βοήθεια κάποιων ακόμα γραναζιών). Η όλη δομή είναι ορατή στην πλευρά C-2 του θραύσματος C κι όχι στην C-1 όπου εμφανίζεται η ομόκεντρη διπλή κυκλική κλίμακα, πράγμα που δημιουργεί απορία για τις συνθήκες κάτω από τις οποίες δημιουργήθηκε το θραύσμα C και οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αυτό το τμήμα του μηχανισμού της Σελήνης πρέπει να έσπασε βίαια και να αποσπάστηκε από τη θέση του κάποια στιγμή μετά το ναυάγιο ενώ στη συνέχεια αναποδογύρισε πριν καταλήξει στη σημερινή του θέση.



Εικ.1.7: Το τμήμα του δείκτη της Σελήνης που έχει σωθεί. *Αριστερά*: PTM εικόνα όπου διακρίνεται το τύμπανο της Σελήνης που έφερε το δείκτη. *Δεξιά*: Τομογραφία του θραύσματος C όπου διακρίνεται η θέση του σφαιριδίου, ο άξονας περιστροφής με το τμήμα της κορώνας και το τετραγωνικό άνοιγμα.

Από τα πιο εντυπωσιακά αποτελέσματα της έρευνας μετά το 2005 καθώς κι από τα πιο αξιοθαύμαστα χαρακτηριστικά του Μηχανισμού είναι η ίδια η προσομοίωση της κίνησης της Σελήνης, έτσι όπως η κίνηση αυτή φτάνει στη μπροστινή πλάκα μέσω του εσωτερικού άξονα b. Οι κινήσεις των ουράνιων σωμάτων είναι κινήσεις πολύπλοκες και θα περίμενε κανείς ένας μηχανισμός να αποδίδει την κίνησή τους στην πιο απλή τους εκδοχή. Παρόλα αυτά, ο Μηχανισμός προσομοιώνει την κίνηση της Σελήνης διορθωμένη ως προς την ανωμαλία που προέρχεται από την έκκεντρη τροχιά της γύρω από τη Γη, δηλαδή προσομοιώνεται η ανισοταχής κίνησή της και μάλιστα με πολύ μεγάλη ακρίβεια (μικρότερη από 1%) (Gourtsoyannis 2010). Η ευφυΐα του τρόπου διόρθωσης εξέπληξε την επιστημονική κοινότητα. Η διόρθωση γίνεται με τη βοήθεια ενός συστήματος δύο οδοντωτών τροχών: πρόκειται για τα γρανάζια k1 και k2, τα οποία έχουν στηριχθεί σε ένα άλλο περιστρεφόμενο γρανάζι, το e3 (εικόνα 1.8). Τα γρανάζια k1 και k2 έχουν τον ίδιο αριθμό οδόντων (50 δόντια) αλλά οι άξονες περιστροφής τους είναι έκκεντροι με τα κέντρα τους να απέχουν ~1.1 mm. Η κίνηση μεταδίδεται από το γρανάζι k1 στο k2 με τον πάνω οδοντωτό τροχό k1 να διαθέτει μία ακίδα (πείρο) η οποία οδηγεί τον κάτω τροχό k2 εμπλεκόμενη σε μια σχισμή του. Ο συνδυασμός της μεταδιδόμενης με αυτόν τον τρόπο κίνησης και της εκκεντρότητας των αξόνων περιστροφής των οδοντωτών τροχών εισάγει στην κίνηση του κάτω γραναζιού μια μικρή σχεδόν ημιτονοειδή παρέκκλιση, η οποία σε συνδυασμό με την περιστροφή του e3 (κι επομένως όλου του συστήματος των γραναζιών e5-k1-k2) έχει σαν αποτέλεσμα το k2 να περιστρέφεται με γωνιώδη ταχύτητα ίση με τη γωνιώδη ταχύτητα του μέσου αστρικού σεληνιακού μήνα διορθωμένη με μια μικρή έκκεντρη ανωμαλία που έχει την περίοδο του ανωμαλιακού σεληνιακού μήνα. Η προσομοιωμένη αυτή κίνηση ταυτίζεται ακριβώς με τη θεωρία του Ιππάρχου (περ.190 π.Χ. - 120 π.Χ.) (ή ίσως και του Απολλώνιου (Πέργα Παμφυλίας 262 π.Χ. -Αλεξάνδρεια Αιγύπτου 190 π. Χ.)) για την κίνηση της Σελήνης.

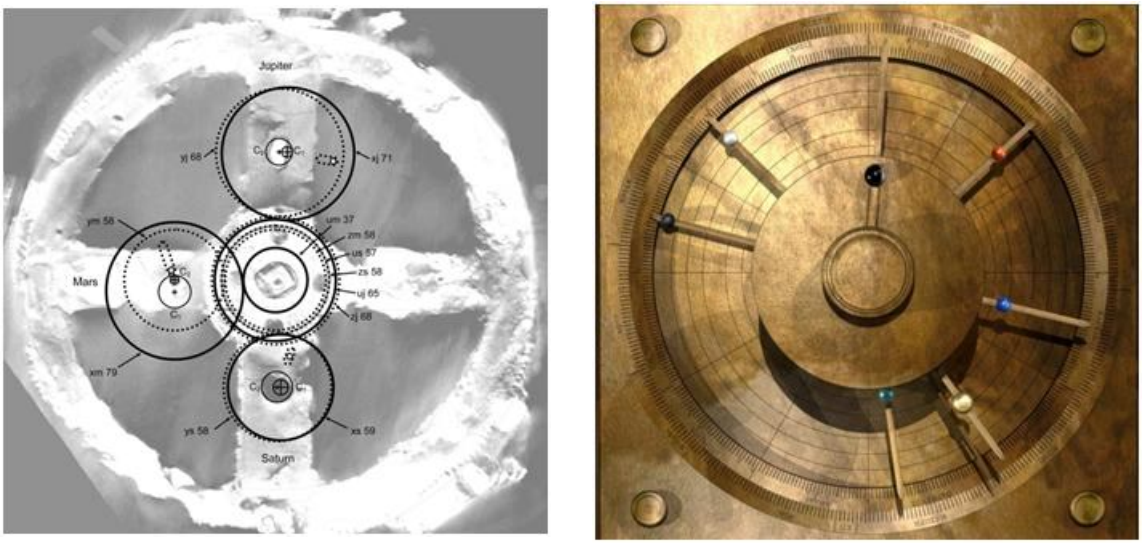
Η κίνηση στη συνέχεια μεταδιδόταν στους οδοντωτούς τροχούς e6, e1, b3 κι από εκεί μέσω του εσωτερικού άξονα b, ενός μοναδικού τεχνολογικά άξονα με σύστημα διπλής σύμπλεξης, στην μπροστινή πλάκα του Μηχανισμού και στο δείκτη της Σελήνης.



Εικ.1.8: Επάνω: *Αριστερά*: Τομογραφία του οδοντωτού τροχού k2 όπου διακρίνεται η σχισμή και ο πείρος μέσα σε αυτήν. *Δεξιά*: Τομογραφία του οδοντωτού τροχού e3 πάνω στο οποίο έχουν εδρασθεί τα γρανάζια e5-k1-k2-e6. Κάτω: Ανακατασκευή του άξονα k (Credit: Ευσταθίου Κ., Ζαχαροπούλου Θ., Μπασιακούλης Α. και Ευσταθίου Μ.)

Από τον δείκτη κίνησης του Ήλιου δυστυχώς δε σώζεται κανένα τμήμα, θεωρείται όμως βέβαιο, με βάση τις επιγραφές (π.χ. αναφέρεται στην επιγραφή της πίσω πόρτας «χρυσοῦν σφαιρίον» (Freeth and Jones 2012)) ότι υπήρχε. Καθώς η Γη κινείται σε ελλειπτική τροχιά γύρω από τον Ήλιο, ο Ήλιος φαίνεται από τη Γη να κινείται ανισοταχώς ανάμεσα στους ζωδιακούς αστερισμούς. Η κίνηση που έρχεται από τον εξωτερικό άξονα b (πάνω από τον οδοντωτό τροχό b1) είναι η κίνηση του Ήλιου αλλά στην ομαλή ετήσιά της μορφή. Αν ο δείκτης του Ήλιου έπαιρνε κατευθείαν κίνηση από αυτόν τον άξονα, θα έδειχνε μια απλοποιημένη κίνηση του Ήλιου, ταυτόχρονα όμως θα έδειχνε με ακρίβεια την ημερομηνία στην αιγυπτιακή κλίμακα. Σήμερα θεωρείται ότι η μέριμνα για την ακρίβεια στην κίνηση της Σελήνης αναμφίβολα υποδεικνύει ότι πρέπει να υπήρξε αντίστοιχη μέριμνα και για την κίνηση του Ήλιου. Υπάρχουν δύο κύριες προτάσεις για τον τρόπο διόρθωσης της κίνησης του Ήλιου: είτε (α) με κάποιο σύστημα οδοντωτών τροχών που εδράζονταν πάνω στον οδοντωτό τροχό b1 (Freeth and Jones 2012) κι έχει χαθεί, πρόταση που συνεπάγεται ότι θα υπήρχε και τρίτος δείκτης στην μπροστινή πλάκα ο οποίος θα έπαιρνε κατευθείαν κίνηση από τον εξωτερικό άξονα b, δηλαδή θα κινούνταν ομαλά και θα μπορούσε να δείχνει με ακρίβεια την ημερομηνία στην κλίμακα του αιγυπτιακού ημερολογίου, είτε (β) με την ασύμμετρη κατασκευή της ίδιας της ζωδιακής κλίμακας όπως δείχνουν οι μετρήσεις των Evans *et al*. (2010), πρόταση που λύνει πραγματικά εξαιρετικά το πρόβλημα της κίνησης του Ήλιου, συνεπάγεται όμως αναγκαστικά την ύπαρξη διαφορετικού κέντρου περιστροφής για την κίνηση της Σελήνης (έκκεντρο σημείο ως προς τον δακτύλιο το οποίο να αναιρεί την ασυμμετρία της ζωδιακής κλίμακας).

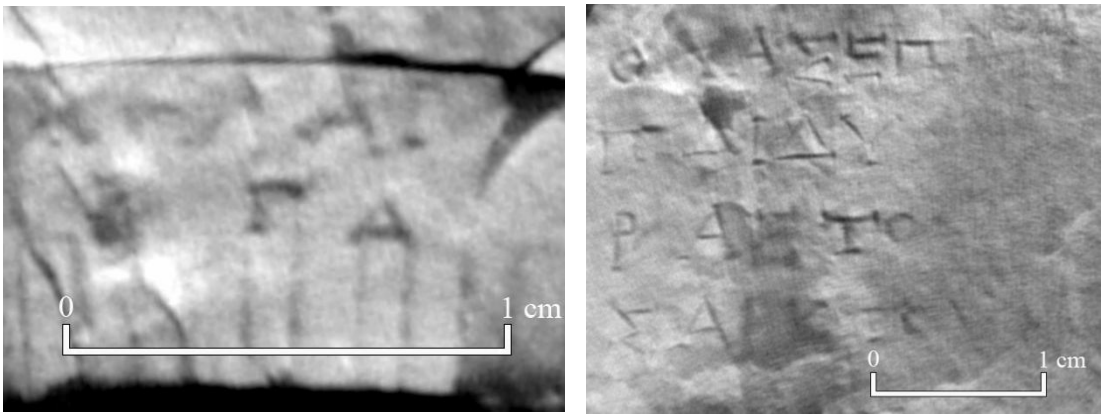
Πέρα από τους 2 ή 3 αυτούς δείκτες της μπροστινής πλάκας, είναι πολύ ισχυρή η υπόθεση ότι υπήρχαν τουλάχιστον άλλοι 5 δείκτες που προσομοίωναν την κίνηση των 5 γνωστών κατά την αρχαιότητα πλανητών, δηλαδή του Ερμή, της Αφροδίτης, του Άρη, του Δία και του Κρόνου. Η υπόθεση βασίζεται σε δύο δεδομένα: (α) σε αρχαίες αναφορές για μηχανισμούς («σφαίρες») του Αρχιμήδη και του Ποσειδώνιου του Ρόδιου οι οποίοι προσομοίωναν και την κίνηση των 5 πλανητών (β) στις επιγραφές της μπροστινής πόρτας, η οποία μετά τις τελευταίες μελέτες αποδεικνύεται ότι ήταν πλήρως αφιερωμένη στην περιγραφή της κίνησης των 5 πλανητών, και της πίσω πόρτας του Μηχανισμού, όπου σύμφωνα με τους Freeth and Jones (2012) αναγράφονται τα ονόματα των πλανητών Αφροδίτη, Άρη, Δία και Κρόνου. Πολλοί ερευνητές έχουν υποστηρίξει αυτήν την υπόθεση κι έχουν δημοσιεύσει τρόπους με τους οποίους θα έπαιρναν κίνηση οι δείκτες των πλανητών (Carman *et al*. 2012, Evans *et al*. 2010, Freeth and Jones 2012, κ.α.). Ο M.T. Wright έχει προσθέσει τους πλανήτες αυτούς και στο τρισδιάστατο μηχανικό μοντέλο του. Όλες σχεδόν αυτές οι προτάσεις αλληλοσυνδεόμενων οδοντωτών τροχών παίρνουν κίνηση από το μεγάλο γρανάζι οπότε πρόκειται για τμήματα που έχουν χαθεί. Οι προτάσεις αυτές αντιμετωπίζονται από τους υπόλοιπους ερευνητές ως πιθανές χωρίς καμία να έχει επιβεβαιωθεί. Η εικόνα 1.9 απεικονίζει σχέδια και αναπαραστάσεις από μερικές τέτοιες χαρακτηριστικές προτάσεις.



Εικ.1.9: *Αριστερά*: Πιθανή κινητική λύση για τους εξωτερικούς πλανήτες, από τη δημοσίευση των Carman *et al*. (2012). *Δεξιά*: Αναπαράσταση της μπροστινής πλάκας με 8 δείκτες, από τη δημοσίευση των Freeth and Jones (2012).

Τέλος στη μπροστινή πλάκα και συγκεκριμένα στη ζωδιακή κλίμακα, πάνω από κάποιες από τις υποδιαιρέσεις των αστερισμών, έχουν χαραχθεί γράμματα (Α, Β, Γ...) τα οποία ακολουθούν τη σειρά του ελληνικού αλφαβήτου (εικόνα 1.10). Στο θραύσμα C επίσης, έχουν σωθεί προσκολλημένα δύο τμήματα από μια επίπεδη πλάκα, πάνω στα οποία υπάρχουν χαραγμένες επιγραφές με αστρικά γεγονότα. Στην αρχή κάθε γραμμής υπάρχει ένα γράμμα (εικόνα 1.10). Αυτά τα "γράμματα–δείκτες" πιθανότατα αντιστοιχούν στα γράμματα των υποδιαιρέσεων της ζωδιακής κλίμακας, σχηματίζοντας έτσι ένα *παράπηγμα*. Στην αρχαία Ελλάδα ο όρος παράπηγμα περιέγραφε τα αστρονομικά και μετεωρολογικά (συνήθως ταυτόχρονα) ημερολόγια τα οποία χρησιμοποιούνταν για την οργάνωση δραστηριοτήτων όπως η γεωργία και η ναυσιπλοΐα. Τα αστρικά γεγονότα που αναφέρονται στα παραπήγματα είναι γεγονότα που συμβαίνουν μια φορά στη διάρκεια ενός ηλιακού έτους και σχετίζονται με τις ανατολές και τις δύσεις αστέρων ή αστερισμών του ουρανού λίγο πριν την ανατολή ή λίγο μετά τη δύση του Ήλιου. Ακριβώς επειδή τα γεγονότα αυτά είναι παρατηρήσιμα και επειδή, σε αντίθεση με τους σεληνιακούς μήνες των τοπικών ημερολογίων, δεν μετακινούνται χρονικά ως προς το ηλιακό έτος, βοηθούσαν στην οργάνωση πρακτικών δραστηριοτήτων. Μικρότερα και πολύ πιο αποσπασματικά τμήματα από το παράπηγμα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων βρέθηκαν σε άλλα 4 θραύσματα (Θραύσμα 9, 20, 22 και 28). Όλα αυτά τα θραύσματα προέρχονται από την μπροστινή πλευρά του Μηχανισμού, από ξεχωριστές πιθανόν πλάκες που ήταν τοποθετημένες πάνω και κάτω από το κεντρικό τμήμα με τις κλίμακες και τους δείκτες, όπως ακριβώς εικονίζεται στην εικόνα 1.4. Η ανασύνθεση της μορφής του παραπήγματος

πρωτοπροτάθηκε από τους T. Freeth, A. Jones και Y.Bitsakis[4]. Όλα τα θραύσματα μαζί διασώζουν λιγότερο από το 50% των επιγραφών του παραπήγματος του Μηχανισμού.



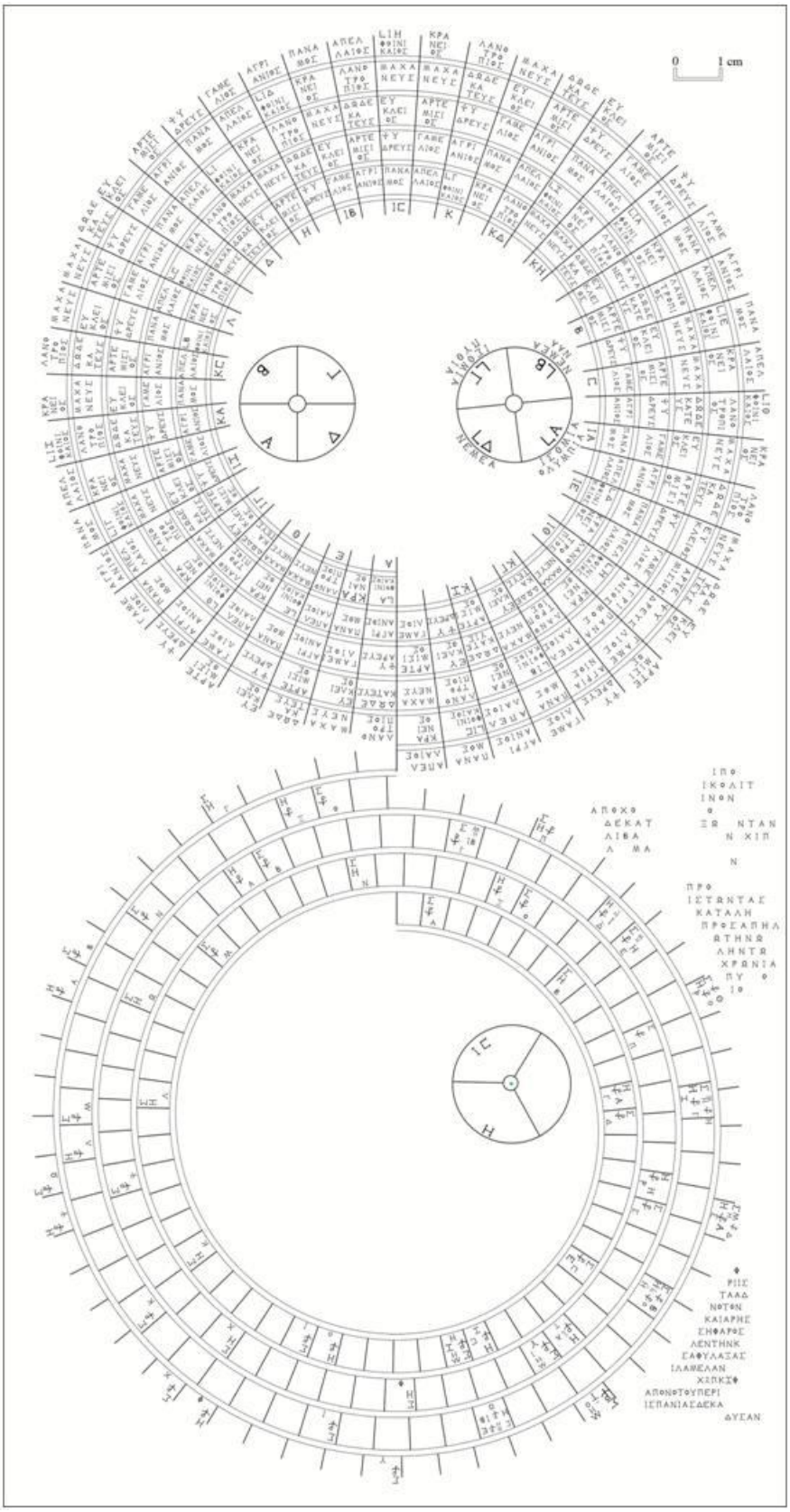
Εικ.1.10: *Αριστερά*: Τομογραφία από το θραύσμα C όπου διακρίνονται τα γράμματα του ελληνικού αλφαβήτου (Β, Γ, Δ) πάνω από τις υποδιαιρέσεις του ζωδιακού αστερισμού Χηλαί. *Δεξιά*: Τομογραφία από το θραύσμα C όπου διακρίνονται τα "γράμματα–δείκτες" του ελληνικού αλφαβήτου (Ο, Π, Ρ, Σ) στην αρχή κάθε γραμμής αστρικών γεγονότων.

1.2.2 Η πίσω πλάκα του Μηχανισμού

Η πίσω πλάκα του Μηχανισμού είναι μια πολύ σύνθετη και σε δείκτες και σε επιγραφές πλάκα (εικόνα 1.11). Η επιφάνειά της καλύπτεται σχεδόν πλήρως από δύο σπείρες, τη σπείρα του Μέτωνα και τη σπείρα του Σάρος, στο εσωτερικό των οποίων είναι τοποθετημένες τουλάχιστον από μία κυκλική κλίμακα, η κλίμακα των πανελληνίων αγώνων στη σπείρα του Μέτωνα και η κλίμακα του Εξελιγμού στη σπείρα του Σάρος. Εξαιτίας της ύπαρξης της τελευταίας αυτής κλίμακας, η οποία τελειοποιεί τη σπείρα του Σάρος ως προς τον ακριβή χρόνο των εκλείψεων, αλλά και εξαιτίας της ανάγνωσης του αριθμού 76 στην επιγραφή της πίσω πόρτας του Μηχανισμού θεωρείται πολύ πιθανό ότι η σπείρα του Μέτωνα διέθετε και δεύτερη κυκλική κλίμακα, την κλίμακα του Καλλίππου, κλίμακα η οποία διόρθωνε ως προς την ακρίβεια τη σπείρα του Μέτωνα. Στο χώρο που απομένει δεξιά της σπείρας του Σάρου[5] υπάρχει επιγραφή η οποία φαίνεται να συνδέεται με την περιγραφή των εκλείψεων.

[4] Η ανασύνθεση του παραπήγματος αποτελεί ερευνητικό έργο των A. Jones, T. Freeth and Y. Bitsakis και ανακοινώθηκε στην προφορική παρουσίαση του T. Freeth στο XXIII ICHST (International Congress of History of Science and Technology) Ideas and Instruments in Social Context, 28 July – 2 August 2009, Budapest, Hungary. Το ερευνητικό αυτό έργο προετοιμάζεται για δημοσίευση.

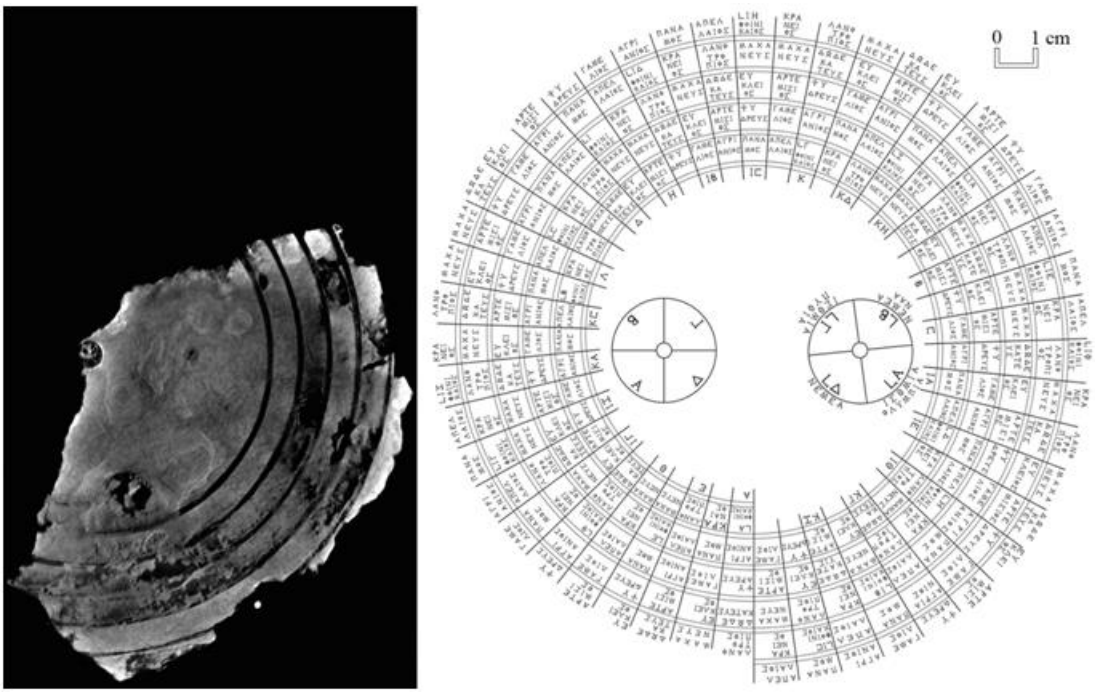
[5] Σύμφωνα με το βυζαντινό λεξικό του Σουίδα, η λέξη Σάρος κλίνεται. Για την εύρεση του λήμματος αυτού, ευχαριστούμε θερμά τον καθηγητή Χ. Βάρβογλη.



Εικ.1.11: Αναπαράσταση της πίσω πλάκας του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Η αναπαράσταση αυτή εικονίζεται στο πιο πρόσφατο ομοίωμα του Μηχανισμού, ομοίωμα του Αριστοτελείου Πανεπιστήμιου (v2.1) που κατασκευάστηκε το 2011.

1.2.2.1 Η επάνω σπείρα της πίσω πλάκας

Η πίσω πλάκα του Μηχανισμού είναι μια πολύ σύνθετη και σε δείκτες και σε επιγραφές πλάκα (εικόνα 1.11). Από την επάνω σπείρα της πίσω πλάκας σώζεται δυστυχώς περίπου μόνο το 1/3 της (εικόνα 1.12). Το τμήμα αυτό διατηρείται στο θραύσμα Β, μαζί με το κέντρο της σπείρας καθώς και τμήματα του δείκτη και του μηχανισμού που υποστήριζε την κίνησή του στο διάκενο της σπείρας. Ο τελευταίος οδοντωτός τροχός ο οποίος μετέδιδε την κίνηση στο δείκτη έχει χαθεί.



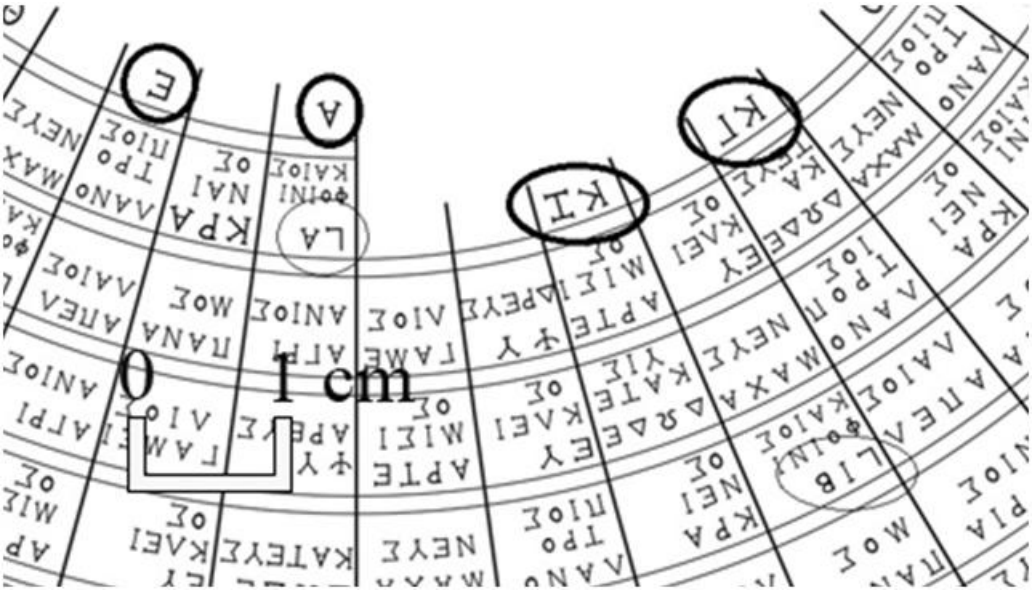
Εικ.1.12: *Αριστερά*: Τομογραφία του τμήματος της σπείρας του Μέτωνα το οποίο διατηρείται στο θραύσμα Β. Στη φωτογραφία διακρίνονται κάποια γράμματα στις υποδιαιρέσεις, το κέντρο της σπείρας καθώς και το κέντρο της κλίμακας των πανελληνίων αγώνων. *Δεξιά*: Αναπαράσταση ολόκληρης της σπείρας του Μέτωνα.

Η επάνω σπείρα, η οποία ξεκινούσε από ένα κάτω εσωτερικό σημείο, αποτελούνταν συνολικά από 5 πλήρεις περιελίξεις με 47 υποδιαιρέσεις η καθεμία και αναπαριστούσε ένα 19-ετές ημερολόγιο το οποίο είναι γνωστό ως περίοδος ή κύκλος του Μέτωνα, από το όνομα του Αθηναίου αστρονόμου και μαθηματικού του 5^{ου} αι. π.Χ. που πρώτος εισήγαγε τον κύκλο αυτό στον αττικό ημερολόγιο το 432 π.Χ. Οι 47×5=235 υποδιαιρέσεις αποτελούν σεληνιακούς (ή συνοδικούς) μήνες. Οι σεληνιακοί μήνες ορίζονται ως το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο ίδιων συζυγιών της Σελήνης. Στα ημερολόγια των αρχαίων ελληνικών πόλεων, όπως και στο βαβυλωνιακό, ο σεληνιακός μήνας ορίζονταν από Νέα Σελήνη σε Νέα Σελήνη και μάλιστα, πιο συγκεκριμένα, από την πρώτη ημέρα που το φεγγάρι γινόταν ορατό αμέσως μετά τη φάση της Νέας Σελήνης (Freeth *et al*. 2006, supplementary notes). Η διάρκεια των μηνών αυτών είναι περίπου 29.53 ημέρες και είναι πολύ δύσκολο να εναρμονιστούν με τα ηλιακά έτη καθώς 12 σεληνιακοί μήνες ισούνται με 29.53×12 =

356.36 ημέρες (< 365 ¼ ημέρες) ενώ 13 σεληνιακοί μήνες με 29.53×13=383.89 ημέρες (> 365 ¼ ημέρες). Η περίοδος του Μέτωνα αποτελεί την απάντηση σε αυτό το πρόβλημα του εναρμονισμού του ηλιακού έτους με τους σεληνιακούς μήνες (που προκαλούσε μετακίνηση των σεληνιακών μηνών ως προς τις εποχές) και βασίζεται στον υπολογισμό ότι το χρονικό αυτό διάστημα των 19 ηλιακών ετών ισούται σχεδόν ακριβώς με 235 σεληνιακούς μήνες ή 6940 ημέρες (δηλαδή δεν μπορούσε να οριστεί πόσους μήνες να έχει 1 ηλιακό έτος, ορίστηκε όμως 19 έτη να έχουν 235 μήνες). Οι 235 υποδιαιρέσεις της επάνω σπείρας της πίσω πλάκας του Μηχανισμού των Αντικυθήρων είναι χωρισμένες σε διαστήματα 19 ηλιακών ετών (εικόνα 1.13), με τα 12 ηλιακά έτη να έχουν από 12 σεληνιακούς μήνες και τα υπόλοιπα 7 από 13 μήνες. Τα έτη με τον εμβόλιμο 13^{ο} μήνα παρεμβάλλονται ανάμεσα στα κανονικά έτη των 12 μηνών έτσι ώστε οι μήνες να μένουν περίπου σταθεροί εποχιακά. Ο 13^{ος} μήνας είναι ένας από τους 12 μήνες ο οποίος απλά επαναλαμβανόταν αμέσως μόλις τελείωνε ο ομώνυμος μήνας.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ένας σεληνιακός μήνας διαρκεί περίπου 29.53 ημέρες, χρονικό διάστημα προβληματικό και ως προς τον ορισμό του πόσες ημέρες πρακτικά, 29 ή 30, πρέπει να έχει ένας τέτοιος μήνας. 235 σεληνιακοί μήνες των 29 ημερών ισούνται με 235×29=6815 ημέρες (< 6940 ημέρες) ενώ 235 σεληνιακοί μήνες των 30 ημερών ισούνται με 235×30=7050 ημέρες (> 6940 ημέρες). Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό, ο κύκλος του Μέτωνα ορίζει μήνες των 30 ημερών αφαιρώντας ταυτόχρονα από κάποιους μήνες 1 ημέρα, καθιστώντας τους έτσι μήνες των 29 ημερών. Οι «ἐξαιρέσιμαι ἡμέραι» είναι 7050 – 6940 = 110 και η επιλογή τους, δηλ. το ποια ημέρα έπρεπε να αφαιρεθεί κι από ποιον μήνα είναι χαραγμένο με αριθμούς στο εσωτερικό της σπείρας. Π.χ., όπως εικονίζεται στην εικόνα 1.13, έπρεπε να αφαιρεθεί η 1^{η} ημέρα (Α) του μήνα Φοινικαίου του 1^{ου} έτους του κύκλου, η 5^{η} ημέρα (Ε) του μήνα Λανοτρόπιου του ίδιου έτους κτλ. Οι 110 εξαιρέσιμες ημέρες έχουν ορισθεί με καθαρό μαθηματικό τρόπο, ανά διαστήματα 63 ημερών (6940/110≈63). Η αφαιρούμενη ημέρα που υποδεικνύεται με το νούμερο που είναι γραμμένο εντός της σπείρας αφορά όλες τις υποδιαιρέσεις και των 5 περιελίξεων (π.χ. η 1^{η} ημέρα έπρεπε να αφαιρεθεί κι από τον μήνα Αγριάνιο, τον μήνα Ψυδρεύ, τον μήνα Δωδεκατεύ κτλ.) καθώς οι εξαιρέσιμες ημέρες επαναλαμβάνονται με την ίδια σειρά ανά 47 υποδιαιρέσεις. Ο αρχαίος Έλληνας αστρονόμος και μαθηματικός Γέμινος που έζησε τον 1^{ο} αι. π.Χ. στο μοναδικό σωζόμενο έργο του «Εἰσαγωγὴ εἰς τὰ Φαινόμενα» (κεφάλαιο 8^{ο}, «Περὶ μηνῶν») περιγράφει ακριβώς αυτόν τον μαθηματικό τρόπο αφαίρεσης των εξαιρέσιμων ημερών, ανά διαστήματα 63 ημερών (6940/110≈63)[6], αλλά πολλοί ιστορικοί δεν πίστευαν ότι η περιγραφή αυτή ανταποκρινόταν στην πραγματικότητα. Η ανακάλυψη του Μηχανισμού των Αντικυθήρων με χαραγμένη πάνω του την περίοδο του Μέτωνα να αφαιρεί τις εξαιρέσιμες ημέρες ακριβώς όπως περιγράφει ο Γέμινος αποκατέστησε την αξιοπιστία του αρχαίου Έλληνα συγγραφέα (Freeth *et al*. 2008).

[6] Το νούμερο 63 προκύπτει χωρίς την προσμέτρηση των αφαιρούμενων ημερών. Αν μετράμε και τις αφαιρούμενες ημέρες, τότε έχουμε διαστήματα των 7050/110≈64 ημερών.



Εικ.1.13: Τμήμα της αναπαράστασης της σπείρας του Μέτωνα όπου έχουν μαρκαριστεί με αχνή γραμμή τα σύμβολα κι οι αριθμοί που δηλώνουν την έναρξη των ηλιακών ετών ("L" είναι το σύμβολο του έτους) και με έντονη γραμμή οι αριθμοί που δηλώνουν τις εξαιρέσιμες ημέρες.

Ο Κάλλιππος, αστρονόμος επίσης και μαθηματικός ο οποίος έζησε περίπου έναν αιώνα μετά τον Μέτωνα, ασχολήθηκε με το έργο του Μέτωνα και πρότεινε μια νέα διόρθωση σύμφωνα με την οποία αφαιρούσε μια ημέρα ανά 4 κύκλους του Μέτωνα, δηλαδή ανά 76 χρόνια. Η διόρθωση αυτή πρέπει να εφαρμοζόταν και στον Μηχανισμό με τη βοήθεια ξεχωριστής κλίμακας που πιθανότατα ήταν τοποθετημένη στο αριστερό τμήμα του εσωτερικού της επάνω σπείρας. Από την κλίμακα αυτή δεν σώζεται τίποτα, σώζεται όμως η ανάγνωση της φράσης «76 χρόνια, 19 χρόνια» στην επιγραφή της πίσω πόρτας του Μηχανισμού (η επιγραφή αυτή σώζεται στο θραύσμα 19) που επιβεβαιώνει τη βασιμότητα της υπόθεσης αυτής.

Ως κλίμακα του Καλλίππου θεωρούνταν (Freeth *et al*. 2006) μέχρι το 2008 η κλίμακα που βρίσκεται στο δεξί τμήμα του εσωτερικού της σπείρας (το κέντρο της είναι ορατό στην εικόνα 1.12 στο ίδιο περίπου ύψος με το κέντρο ολόκληρης της σπείρας) λόγω της διαίρεσής της σε 4 τμήματα (τεταρτημόρια) και της μη μελέτης μέχρι τότε των επιγραφών της. Το τελευταίο γρανάζι που κινούσε το δείκτη της κλίμακας σώζεται στην πίσω πλευρά του θραύσματος Β ενώ ο ίδιος ο δείκτης έχει χαθεί, η μορφή του όμως πρέπει να ήταν ίδια με τον δείκτη ο οποίος έχει σωθεί στην κλίμακα του Εξελιγμού (βλ. παρακάτω). Ο δείκτης περιστρεφόταν αντίθετα από τη φορά των δεικτών ρολογιού (αντίθετα από τους δείκτες των σπειρών).

Με τη βοήθεια των τομογραφιών του 2005, αναγνώστηκαν οι περισσότερες από τις επιγραφές της κλίμακας (εικόνα 1.14). Η κλίμακα αποδείχθηκε τελικά ότι έδειχνε το έτος τέλεσης των αρχαίων ελληνικών στεφανιτών αγώνων με τα έτη του τετραετούς ολυμπιακού κύκλου (το γράμμα "L" συμβολίζει το έτος) να είναι γραμμένα εσωτερικά σε κάθε τεταρτημόριο, και τις λέξεις ΟΛΥΜΠΙΑ, ΠΥΘΙΑ,

ΙΣΘΜΙΑ, ΝΕΜΕΑ και ΝΑΑ γραμμένες περιφερικά της κλίμακας. Όλα τα έτη έχουν από 2 ονόματα αγώνων τα οποία φαίνεται να είναι γραμμένα με τη σειρά με την οποία τελούνταν χρονικά. Ο δεύτερος αγώνας στο 4^{ο} έτος είναι πολύ δυσανάγνωστος και η ανάγνωσή του δεν έχει επιβεβαιωθεί[7]. Πρέπει όμως να έχει κάπως πιο τοπικό χαρακτήρα όπως και τα ΝΑΑ ή αλλιώς Νάια (προς τιμήν του Ναΐου Διός) τα οποία διεξάγονταν στη Δωδώνη και πιθανότατα καθιερώθηκαν στην περίοδο της βασιλείας του Πύρρου. Η ύπαρξη αυτών των αγώνων ανάμεσα στους υπόλοιπους πανελλήνιους ίσως υποδηλώνει μια σύνδεση του Μηχανισμού με την περιοχή της ΒΔ Ελλάδας. Καθώς η προέλευση ή ο τόπος χρήσης του Μηχανισμού παραμένει ακόμα άγνωστος, θεωρείται πολύ σημαντική ως προς αυτήν την κατεύθυνση η ανάγνωση και του άγνωστου ακόμα αγώνα του 4^{ου} έτους. Η λειτουργία της κλίμακας αυτής των πανελληνίων αγώνων αποτέλεσε ένα μη αναμενόμενο εύρημα το οποίο προσέδωσε στον μέχρι τότε καθαρά αστρονομικό Μηχανισμό έναν κοινωνικό χαρακτήρα.

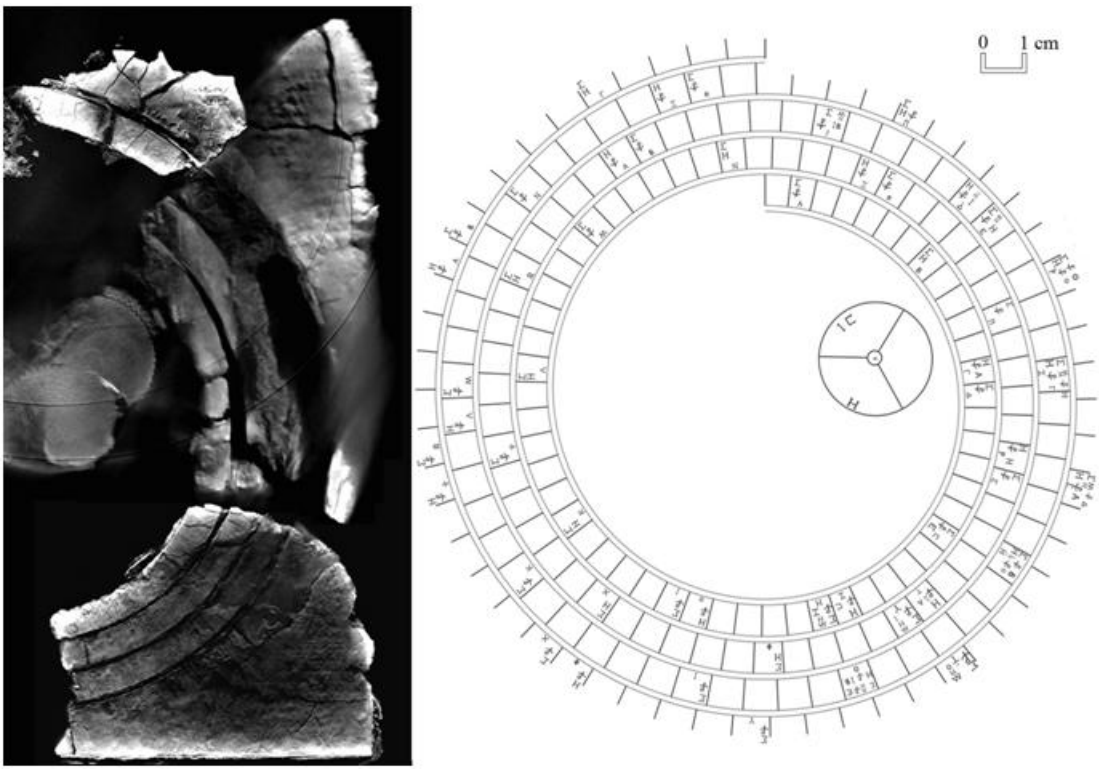


Εικ.1.14: Τομογραφία του θραύσματος Β όπου διακρίνεται η κλίμακα των πανελληνίων αγώνων με την αρίθμηση των ετών εσωτερικά των τεταρτημορίων και τα ονόματα των αγώνων γραμμένα περιφερικά. Με πιο σκούρα γράμματα έχουν αποτυπωθεί τα αβέβαια γράμματα.

[7] Ο P. Iversen υποστηρίζει ότι πρόκειται για τα ΑΛΙΕΙΑ, τα οποία εορτάζονταν στη Ρόδο.

1.2.2.2 Η κάτω σπείρα της πίσω πλάκας

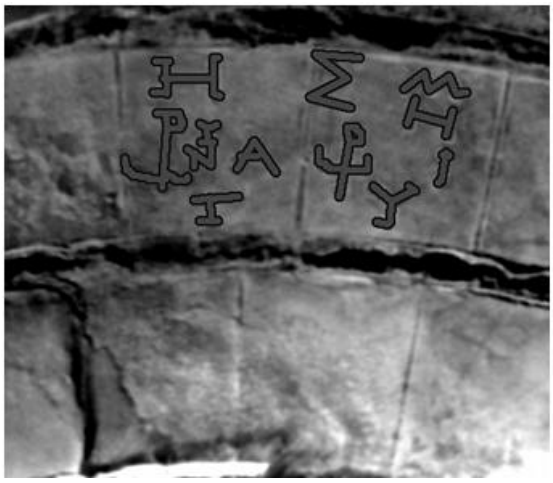
Η κάτω σπείρα της πίσω πλάκας διατηρείται σε τρία θραύσματα, τα θραύσματα Α, Ε και F (εικόνα 1.15), με το κέντρο της σπείρας να διατηρείται στο θραύσμα Α και τον δείκτη να έχει χαθεί. Τα 3 διατηρούμενα τμήματα της σπείρας αποτελούν στην ουσία ένα σχεδόν ενιαίο τμήμα, περίπου το δεξί μισό τμήμα της σπείρας, το οποίο έσπασε στα επιμέρους κομμάτια. Η αλληλουχία των αλληλοσυνδεόμενων οδοντωτών τροχών οι οποίοι κινούσαν το δείκτη σώζεται ακέραια στο θραύσμα Α.

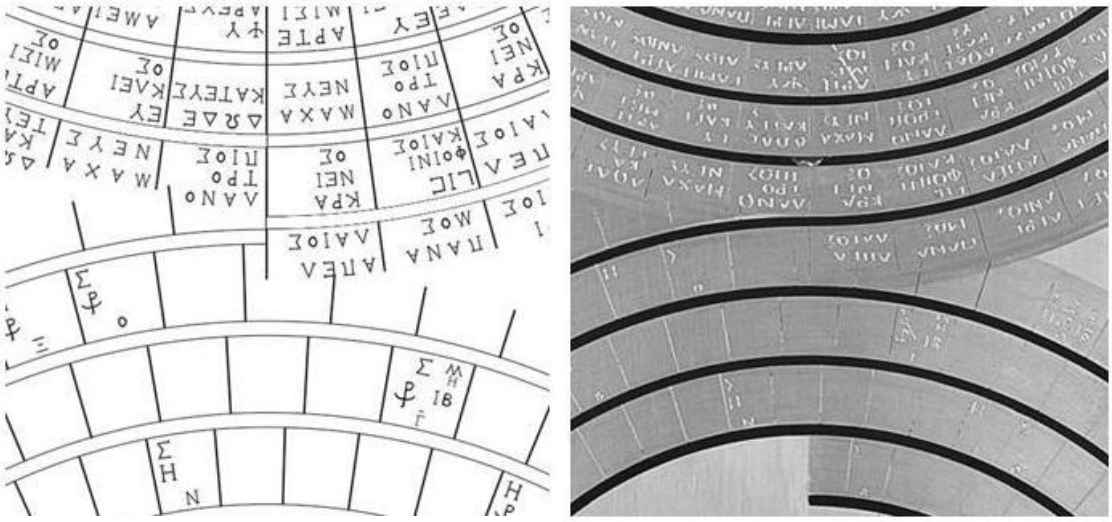


Εικ.1.15: *Αριστερά*: Τομογραφίες των τμημάτων της σπείρας του Σάρος που διατηρούνται στα θραύσματα (από πάνω προς τα κάτω) Ε, Α και F. *Δεξιά*: Αναπαράσταση ολόκληρης της σπείρας του Σάρος.

Η κάτω σπείρα είναι διαμορφωμένη σε 4 περιελίξεις με 223 υποδιαιρέσεις και απεικονίζει την περίοδο Σάρος, μια περίοδο 223 σεληνιακών (συνοδικών) μηνών = 242 δρακόντειων μηνών = 239 ανωμαλιακών μηνών ή αλλιώς 18 ηλιακών ετών, 11 ημερών και 8 ωρών, η οποία χρησιμοποιούνταν για την πρόβλεψη εκλείψεων. Μετά από μια περίοδο Σάρος, τα 3 ουράνια σώματα, ο Ήλιος, η Γη κι η Σελήνη, επανέρχονται σχεδόν στις ίδιες θέσεις και μια σχεδόν πανομοιότυπη έκλειψη παρατηρείται. Οι 223 υποδιαιρέσεις αποτελούν κι εδώ σεληνιακούς μήνες και μόνο εκείνες οι υποδιαιρέσεις στις οποίες αναμενόταν κάποια έκλειψη περιέχουν εγχάρακτα σύμβολα. Μετά το 2008 (Freeth *et al*. 2008), είναι γνωστό ότι τα σύμβολα αυτά (εικόνα 1.16) περιγράφουν τον τύπο της έκλειψης (Η για ηλιακή έκλειψη, Σ για σεληνιακή) και την ώρα της έκλειψης με το σύμβολο "𐆛" ή "𐆜" μπροστά από το γράμμα-αριθμός (ή γράμματα-αριθμοί) ενώ επίσης χρησιμοποιούνται τα σύμβολα

ΗΜ ως συντόμευση της λέξεως «ημέρας» και ΝΥ ως συντόμευση της λέξεως «νυκτός». Στο κάτω τμήμα κάθε υποδιαίρεσης αναγράφεται ένα γράμμα-αριθμός το οποίο αριθμεί τις εκλείψεις. Η μελέτη των γραμμάτων αυτών έδειξε ότι η αρχή της σπείρας, η οποία δεν έχει δυστυχώς βρεθεί (όπως στη σπείρα του Μέτωνα), βρίσκεται στο επάνω εσωτερικό σημείο της σπείρας κι όχι στο κάτω εσωτερικό όπως στη σπείρα του Μέτωνα. Η διάταξη αυτή της σπείρας ίσως να υπαγορεύτηκε, σε μια προσπάθεια οικονομίας της συσκευής, από την ανάγκη να τοποθετηθούν όσο πιο κοντά γίνεται οι δύο σπείρες, οι οποίες μπορεί και να αλληλοεπικαλύπτονταν εν μέρει (τόσο όσο να μην επηρεάζεται η ομαλή λειτουργία τους), όπως φαίνεται στην εικόνα 1.16. Η πιθανότητα αλληλοεπικάλυψης, αν και σίγουρα λιγότερο ελκυστική και μη



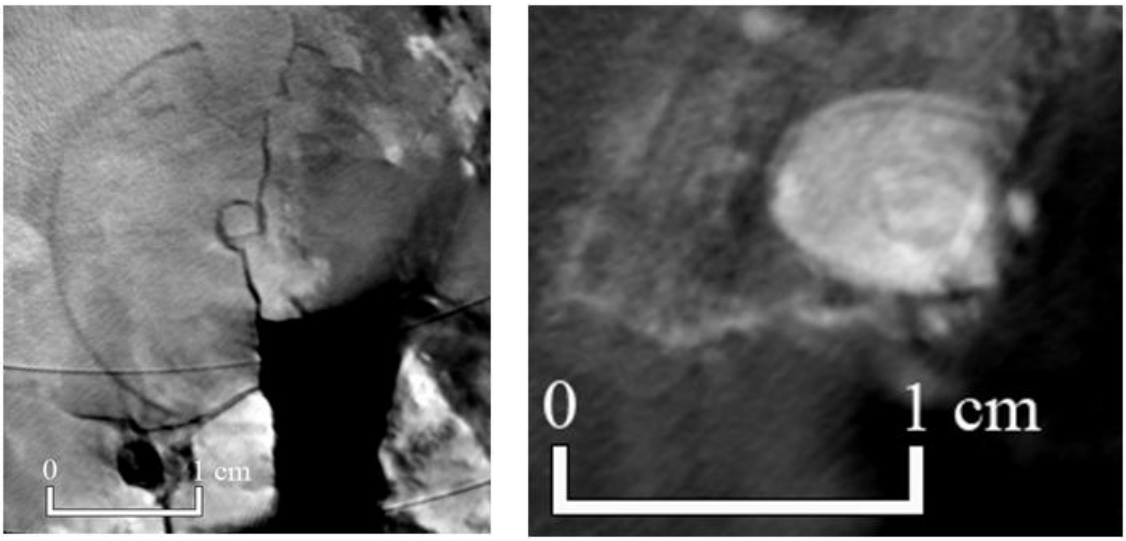


Εικ.1.16: Επάνω: Τομογραφία της σπείρας του Σάρου από το θραύσμα F στην οποία έχουν αποτυπωθεί τα σύμβολα δύο υποδιαιρέσεων με ηλιακή και σεληνιακή έκλειψη. Τα γράμματα Τ και Υ στο κάτω μέρος των υποδιαιρέσεων είναι τα γράμματα που αριθμούν τις εκλείψεις του κύκλου. Κάτω: *Αριστερά*: Τμήμα από αναπαράσταση της πίσω πλάκας στην οποία διακρίνεται η αλληλοεπικάλυψη των σπειρών. *Δεξιά*: Φωτογραφία από μοντέλο του Μηχανισμού που έχει κατασκευάσει ο M.Wright όπου οι σπείρες έχουν ενιαίο διάκενο.

αναμενόμενη, προκύπτει μέσα από τις μετρήσεις των σπειρών, την εκτίμηση του συνολικού τους μεγέθους καθώς και την αποκατάσταση των οδοντωτών τροχών που λείπουν.

Στο εσωτερικό της κάτω σπείρας υπάρχει κλίμακα διαιρεμένη σε 3 μέρη. Στις δύο υποδιαιρέσεις αναγνώσθηκαν οι αριθμοί 8 (H) και 16 (IC), όπως φαίνεται στην εικόνα 1.17, ενώ στην τρίτη υποδιαίρεση δεν υπάρχει καμία επιγραφή. Η κλίμακα αυτή αποτελεί την κλίμακα του Εξελιγμού η οποία διορθώνει την ώρα των εκλείψεων που αναγράφεται στις υποδιαιρέσεις. Οι αριθμοί 8 και 16 δείχνουν τον αριθμό των ωρών που πρέπει να προστεθούν για την διόρθωση της ώρας μιας έκλειψης, διόρθωση η οποία οφείλεται ακριβώς στο ότι η περίοδος Σάρος έχει ένα υπόλοιπο 1/3 ημέρας (18 ηλιακά έτη, 11 ημέρες και 8 ώρες) το οποίο μετατοπίζει κατά 8 ώρες τις εκλείψεις μετά από κάθε κύκλο Σάρος. Για τις ηλιακές εκλείψεις αυτό συνεπάγεται ότι θα γίνουν ορατές αφού η Γη έχει περιστραφεί άλλες 360°/3=120°, δηλαδή σε γεωγραφικό μήκος 120° πιο δυτικά. Για να ξαναγίνει η ίδια ηλιακή έκλειψη ορατή περίπου στην ίδια γεωγραφική περιοχή, πρέπει να ολοκληρωθούν 3 περίοδοι Σάρου ή αλλιώς μια περίοδος Εξελιγμού.

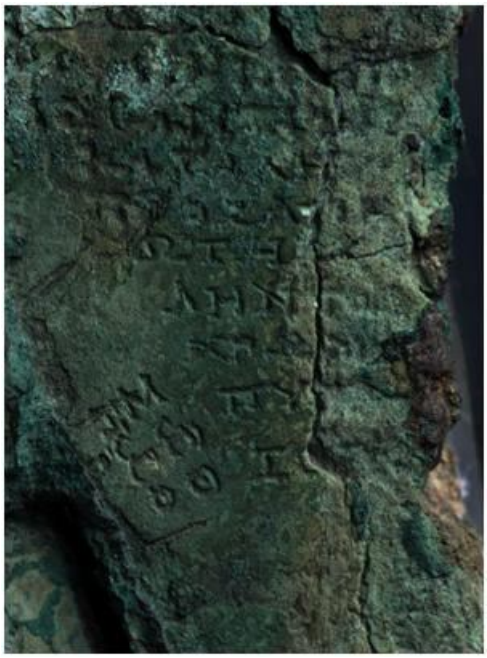
Ο δείκτης της κλίμακας περιστρεφόταν σύμφωνα με τη φορά των δεικτών ρολογιού. Τμήμα του έχει σωθεί (εικόνα 1.17) (Freeth and Jones 2012) όπως επίσης και όλοι οι οδοντωτοί τροχοί που συνέβαλαν στην κίνησή του. Ο δείκτης είναι απλούστερης μορφής σε σχέση με τους δείκτες των σπειρών καθώς οι σκοποί που χρειάζεται να εξυπηρετεί είναι να παίρνει κίνηση από τον άξονα ώστε να περιστρέφεται με την κατάλληλη ταχύτητα και να είναι αρκετά λεπτός στην μπροστινή του άκρη ώστε να δείχνει με αρκετή ακρίβεια τη σωστή ένδειξη. Το τμήμα



Εικ.1.17: *Αριστερά*: Τομογραφία από το θραύσμα Α όπου διακρίνεται η κλίμακα του Εξελιγμού. *Δεξιά*: Τομογραφία από το ίδιο θραύσμα, περίπου 0.8 mm πιο πάνω από την αριστερή, στην οποία διακρίνεται το σωζόμενο τμήμα του δείκτη της ίδιας κλίμακας.

που έχει σωθεί έχει διαστάσεις περίπου 6.4 mm × 4.8 mm × 0.8 mm, αντιστοιχεί στο πίσω τμήμα του δείκτη ενώ ο δείκτης φαίνεται να είναι σταματημένος περίπου λίγο μετά το μέσο της 1^{ης} υποδιαίρεσης (χωρίς καμία επιγραφή) της κλίμακας του Εξελιγμού. Παρόμοιας μορφής δείκτες θεωρείται ότι πρέπει να υπήρχαν σε όλες τις βοηθητικές κλίμακες εντός των σπειρών.

Η επιγραφή η οποία αναπτύσσεται δεξιά της σπείρας του Σάρου (εικόνα 1.18) σώζεται αποσπασματικά, πρέπει όμως να ξεκινούσε πιθανότατα από την αρχή του κενού χώρου που δημιουργείται στα δεξιά των δύο σπειρών. Η επιγραφή φαίνεται να αποτελείται από παρόμοια τμήματα κειμένου τα οποία επαναλαμβάνονται και περιγράφουν διαφόρους τύπους εκλείψεων του κύκλου του Σάρου. Χαρακτηριστικές λέξεις (Freeth *et al*. 2006) που συναντούμε αποτελούν κάποιοι όροι προσανατολισμού π.χ. ΑΠΟ ΝΟΤΟΥ, κάποιοι άνεμοι π.χ. ΑΠΗΛΙΩΤΗ και χρώματα π.χ. ΜΕΛΑΝ. Τμήματα της επιγραφής αυτής σώζονται στα θραύσματα A, E, F, 24 και 25.



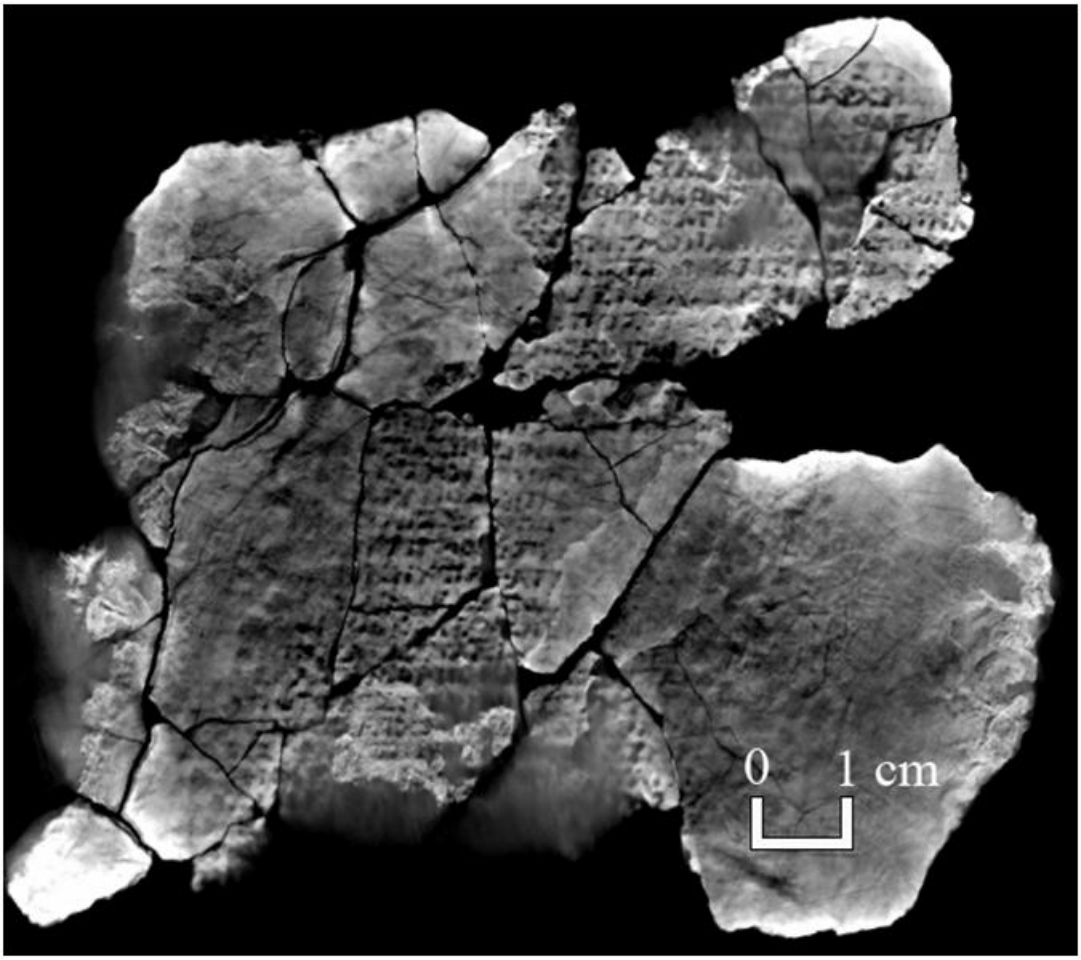
Εικ.1.18: PTM εικόνα από το θραύσμα A όπου διακρίνεται τμήμα της επιγραφής που έχει χαραχθεί δεξιά της σπείρας του Σάρου.

1.2.3 Η μπροστινή πόρτα του Μηχανισμού

Η μπροστινή πόρτα του Μηχανισμού έφερε πολύ πυκνογραμμένη επιγραφή. Το κυρίως τμήμα της σώζεται στο θραύσμα G (εικόνα 1.19) και η ανάγνωσή της σε κάποια σημεία είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Κάποια από τα μικρότερα θραύσματα φαίνεται να αποτελούν τμήματα από απολιθωματικές επικαθήσεις οι οποίες δημιουργήθηκαν πάνω στην πόρτα και οι οποίες ξεκόλλησαν κάποια στιγμή διασώζοντας με μορφή κατοπτρικού ειδώλου τμήματα του κειμένου. Μικρά τμήματα του κειμένου σώζονται και σε άλλα μικρά θραύσματα. Το κείμενο στο θραύσμα G

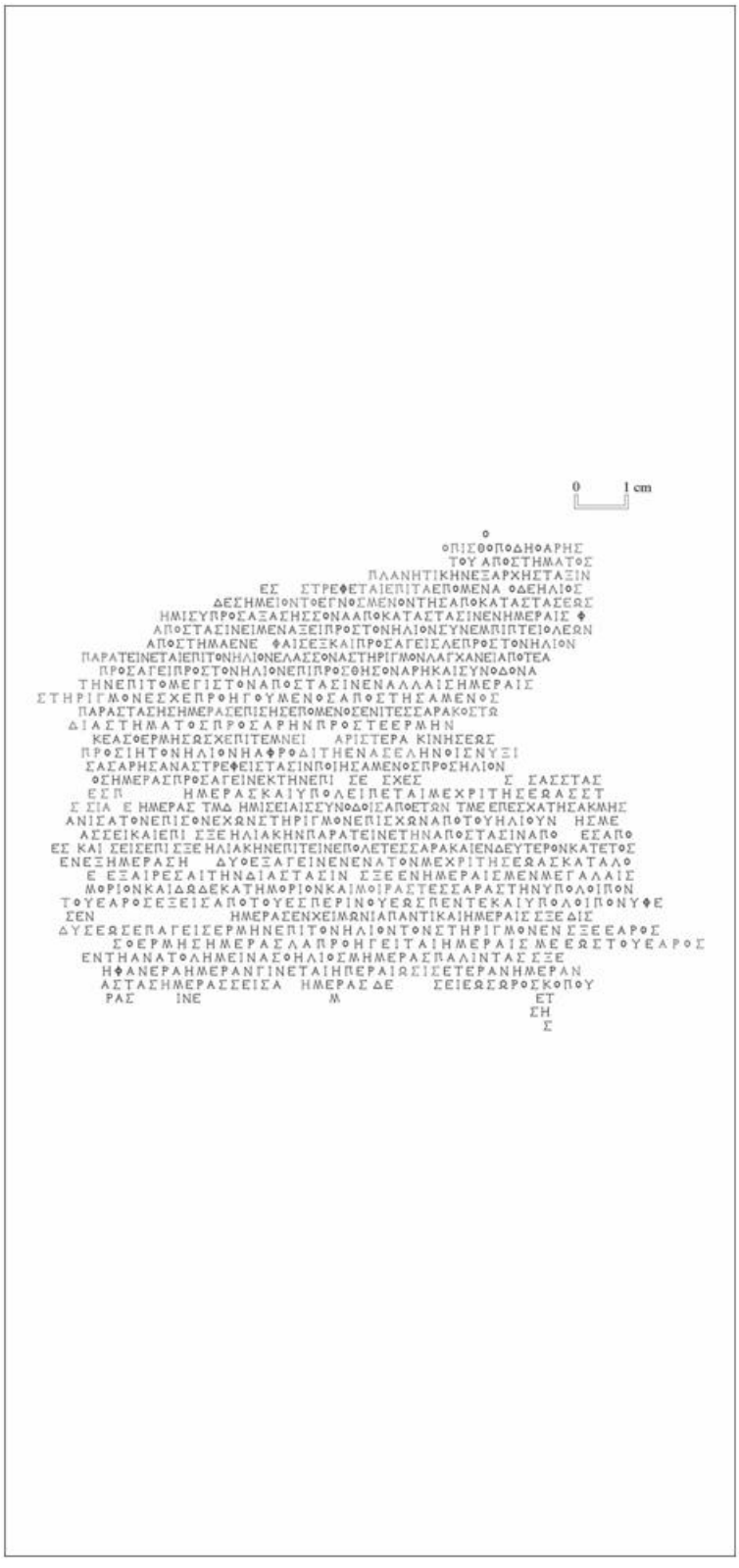
έχει περίπου 37 σειρές κειμένου ενώ πιθανότατα μικρό θραύσμα το οποίο ενώνεται καλά με το κάτω τμήμα του θραύσματος G αυξάνει τον αριθμό των σωζόμενων σειρών κειμένου σε 44. Εάν η πόρτα κάλυπτε ολόκληρη την μπροστινή πλάκα του Μηχανισμού, τότε το συνολικό κείμενο που έχει διασωθεί αντιστοιχεί περίπου στο 1/3 του αρχικού κειμένου.

Η επιγραφή, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, φαίνεται να περιγράφει τις κινήσεις των πλανητών στον ουρανό. Από τις πιο χαρακτηριστικές λέξεις της επιγραφής αποτελεί η λέξη ΣΤΗΡΙΓΜΟΣ, η οποία περιγράφει το σημείο εκείνο στο οποίο φαίνεται να αντιστρέφεται η φορά της κίνησης ενός πλανήτη στον ουρανό (ανάδρομος κίνηση).



Εικ.1.19: Τομογραφία από το θραύσμα G όπου διακρίνεται τμήμα της επιγραφής.

Η τελευταία δημοσίευση αυτής της επιγραφής είναι αυτή του 2006 (Freeth *et al*. 2006) και η αναπαράσταση της εικόνας 1.20 βασίζεται σε αυτή τη δημοσίευση. Έκτοτε πραγματοποιήθηκε (τον Ιούλιο του 2011) διεθνές workshop με αντικείμενο την ανάγνωση αυτής της επιγραφής στο οποίο συμμετείχα μαζί με τους Α. Τσελίκα, Γ. Μπιτσάκη, Τ. Freeth, A. Jones, Ξ. Μουσά και Μ. Ζαφειροπούλου. Η δημοσίευση των νέων αποτελεσμάτων αναμένεται να γίνει εντός του 2014.



Εικ.1.20: Αναπαράσταση της μπροστινής πόρτας του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Η αναπαράσταση αυτή απεικονίζεται στο πιο πρόσφατο ομοίωμα του Μηχανισμού, το ομοίωμα του Αριστοτελείου Πανεπιστήμιου (v2.1) που κατασκευάστηκε το 2011. Φαίνονται οι σχετικές διαστάσεις της πόρτας (εάν κάλυπτε ολόκληρη την μπροστινή πλάκα) και του τμήματος του κειμένου που σώζεται.

1.2.4 Η πίσω πόρτα του Μηχανισμού

Το μεγαλύτερο τμήμα της επιγραφής της πίσω πόρτας του Μηχανισμού σώζεται στα θραύσματα Α, Β και Ε ενώ μικρότερα τμήματα του κειμένου σώζονται σε μικρά θραύσματα όπως π.χ. στο πολύ χαρακτηριστικό θραύσμα 19 (εικόνα 1.21), το κείμενο του οποίου διατηρείται σε εξαιρετική κατάσταση. Το κείμενο στα θραύσματα Α, Β και Ε σώζεται σε μορφή κατοπτρικού ειδώλου, πάνω σε απολιθωματικές στρώσεις στις οποίες πρέπει να ακουμπούσε η πίσω πόρτα.



Εικ.1.21: PTM εικόνα από το θραύσμα 19 όπου διατηρείται σε εξαιρετική κατάσταση τμήμα της επιγραφής της πίσω πόρτας.

Πρόκειται για ένα πολύ εκτεταμένο κείμενο επίσης, με τα γράμματα να έχουν σχεδόν τις ίδιες διαστάσεις με τα γράμματα της μπροστινής πόρτας. Το κείμενο φαίνεται να περιγράφει τον Μηχανισμό, δηλαδή τα σφαιρίδια, τις σπείρες και ακόμα και τον μηχανισμό στήριξης των δεικτών. Χαρακτηριστικές λέξεις του κειμένου αποτελούν οι λέξεις ΧΡΥΣΟΥΝ ΣΦΑΙΡΙΟΝ, ΗΛΙΟΝ, ΕΛΙΚΙ, ΣΤΗΜΑΤΙΑ ενώ σύμφωνα με τη δημοσίευση των Freeth and Jones (2012) στην επιγραφή αναφέρονται επίσης τα ονόματα τεσσάρων πλανητών: ΑΦΡΟΔΙΤΗΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥ, ΑΡΕΩΣ ΠΥΡΟΕΝΤΟΣ, (ΔΙΟΣ) ΦΑΕΘΟΝΤΟΣ, (ΚΡΟΝΟΥ) ΦΑΙΝΟΝΤΟΣ. Από τη συνολική επιγραφή σώζονται σήμερα αποσπασματικά περίπου 52 σειρές κειμένου, τμήμα κειμένου που, με βάση τις διαστάσεις της πόρτας, φαίνεται να αντιστοιχεί περίπου στο 1/4 του αρχικού κειμένου.

Η τελευταία δημοσίευση ολόκληρης της επιγραφής είναι αυτή των Freeth *et al*. (2006) και η αναπαράσταση της εικόνας 1.22 βασίζεται σε αυτή τη δημοσίευση. Έκτοτε δημοσιεύτηκε ένα αποσπασματικό μέρος του τμήματος της επιγραφής που



Εικ.1.22: Αναπαράσταση της πίσω πόρτας του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Η αναπαράσταση αυτή έχει χρησιμοποιηθεί στο ομοίωμα του Αριστοτελείου Πανεπιστήμιου (v2.1) που κατασκευάστηκε το 2011. Φαίνονται οι σχετικές διαστάσεις της πόρτας και του τμήματος του κειμένου που σώζεται.

φέρει το θραύσμα Β (Freeth and Jones 2012) καθώς επίσης κι ένα μέρος του τμήματος από το θραύσμα Ε (Anastasiou *et al*. 2014).

1.3 Η κατασκευή του Μηχανισμού

Η μελέτη του σχήματος των γραμμάτων των κειμένων στα θραύσματα του Μηχανισμού έδειξε ότι ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων πρέπει να κατασκευάστηκε περίπου μεταξύ του β΄ μισού του 2^{ου} αιώνα π.Χ. και των αρχών του 1^{ου} αιώνα π.Χ., δηλαδή μεταξύ 150 − 100 π.Χ., με σφάλμα ±50 έτη. Στη δημοσίευση των Freeth *et al*. (2006) παρουσιάζεται αρκετά αναλυτικά η μορφολογία των γραμμάτων που δικαιολογούν την παραπάνω χρονολογική εκτίμηση. Η χρονολόγηση του Μηχανισμού είναι απολύτως συμβατή με τη χρονολόγηση του ναυαγίου το οποίο όπως αναφέρθηκε στην §1.1 χρονολογείται μεταξύ 76-60 π.Χ..

Η χρονολόγηση αυτή είναι επίσης απολύτως συμβατή και με τις αστρονομικές γνώσεις που βλέπουμε αποτυπωμένες πάνω στον Μηχανισμό. Οι περίοδοι του Μέτωνα (5^{ος} αι. π.Χ.) και του Καλλίππου (4^{ος} αι. π.Χ.) είναι αρκετά προγενέστεροι, όπως επίσης και η χρήση παραπηγμάτων. Η περίοδος του Σάρου είχε αναγνωρισθεί από τους Βαβυλώνιους, πιθανότατα ήδη από τον 8^{ο} (Evans 1998) ή τον 7^{ο} αι. π.Χ. Η ανισοταχής κίνηση της Σελήνης είχε παρατηρηθεί και η επικυκλική ή έκκεντρη θεωρία είχαν διατυπωθεί για την ερμηνεία της (Απολλώνιος και Ίππαρχος). Επίσης η κίνηση του Ήλιου είχε κατανοηθεί και ως προς την ανισοταχή της μορφή και ως προς την κλίση του επιπέδου της ως προς το επίπεδο της ημερήσιας περιστροφής της Γης (λόξωση της εκλειπτικής), όπως βλέπουμε ξεκάθαρα να περιγράφει στη *Μεγίστη* ο Πτολεμαίος, έργο το οποίο θεωρείται ότι ανακλά πολλές από τις απόψεις του Ίππαρχου.

Από την πλευρά της Μηχανικής και Τεχνολογίας, ο Μηχανισμός αιφνιδιάζει καθώς το υψηλό τεχνολογικό επίπεδο των αρχαίων Ελλήνων παρέμενε μέχρι σήμερα άγνωστο. Ωστόσο, πλέον γνωρίζουμε ότι η αρχαία ελληνική τεχνολογία αναπτύχθηκε συνεχώς από τα μέσα της 2^{ης} χιλιετίας π.Χ. έως τα μέσα του 4^{ου} αι. π.Χ. ενώ από τα τέλη του 4^{ου} αι π.Χ. μέχρι και τον 1^{ο} αι. μ.Χ. έφτασε στην κορύφωσή της γνωρίζοντας χαρακτηριστική έξαρση (Τάσιος 2012, Russo 2004). Μέσα σε αυτό το πλαίσιο της κορύφωσης της αρχαίας ελληνικής τεχνολογίας κατά την ελληνιστική περίοδο, υπήρχαν όλες οι αναγκαίες προϋποθέσεις για τη δημιουργία ενός τέτοιου μηχανήματος. Η γνώση κατασκευής αντικειμένων από μπρούντζο είχε κατακτηθεί εδώ και αιώνες, ενώ η γνώση της λειτουργίας συνόλου οδοντωτών τροχών είχε θεμελιωθεί από τον 4^{ο} αι. π.Χ. πιθανότατα από τον Αριστοτέλη, πιθανό συγγραφέα του έργου Μηχανικά (848α), (όπου περιγράφεται η διά τριβής μετάδοση κίνησης μέσω εφαπτόμενων κυκλικών τροχών) και είχε ήδη βρει πρακτική εφαρμογή στο υδραυλικό ρολόι του Κτησίβιου και στον ατέρμονα κοχλία του Αρχιμήδη.

Είναι βέβαιο ότι ο Μηχανισμός δεν αποτελεί το πρώτο και μοναδικό τέτοιο «εργαλείο» που δημιουργήθηκε. Τόσο η πολυπλοκότητά του όσο και η τελειότητά του συνηγορούν ότι πρέπει το μηχάνημα που σώζεται αυτή τη στιγμή να αποτελεί την κορυφή εξελικτικής διαδικασίας απλούστερων μηχανισμών που ολοένα

εμπλουτίζονταν και με περισσότερες λειτουργίες. Μαγευτική επίσης είναι και η δομή του συνόλου της κατασκευής του, που έχει τις διαστάσεις ενός σύγχρονου φορητού υπολογιστή. Η πληθώρα των πληροφοριών σε μια τόσο συμπυκνωμένη δομή πρέπει να θεωρείται αποτέλεσμα μιας μακράς εξελικτικής πορείας. Η απάντηση στο γιατί δεν σώζεται άλλος μηχανισμός βρίσκεται στην πολυτιμότητα του υλικού του και στην ιδιότητά του να ανακυκλώνεται εύκολα για τη δημιουργία άλλων αντικειμένων. Η εξερεύνηση του βυθού σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της ενάλιας αρχαιολογίας πιθανόν να φέρουν στο φως κι άλλα παρόμοια ευρήματα.

Η υπόθεση για την ύπαρξη ανάλογων μηχανισμών επιβεβαιώνεται και από τις ιστορικές αναφορές (Price 1974, 55-57). Οι εκτενέστερες αναφορές είναι αυτές του Κικέρωνα ο οποίος έζησε την εποχή της κατασκευής του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Στις αναφορές αυτές γίνεται μνεία σε τρεις τέτοιους μηχανισμούς: δύο του Αρχιμήδη (*De Re Publica*, I, xiv (21-22), *Tusculanae Disputationes*, I 63) και έναν του Ποσειδώνιου του Ρόδιου (*De Natura Deorum*, II, xxxiv-xxxv (87-88). Οι συσκευές του Αρχιμήδη την εποχή του Κικέρωνα σώζονταν πλέον ως λάφυρα στη Ρώμη, μία στο σπίτι της οικογένειας του Marcus Marcellus και μία απλούστερη στο ναό της Αγνότητας. Στην απλούστερη «σφαίρα» του Αρχιμήδη αναφέρεται ότι οι αστερισμοί και τα άστρα βρίσκονται στερεωμένα στον ουρανό ενώ στη «σφαίρα» που είδε και θαύμασε ο Κικέρωνας παριστάνονταν με ακρίβεια οι κινήσεις του Ήλιου, της Σελήνης και των 5 πλανητών καθώς επίσης και οι φάσεις κι οι εκλείψεις της Σελήνης. Για τις σφαίρες του Αρχιμήδη υπάρχουν και μεταγενέστερες περιγραφές από τον Οβίδιο (1^{ος} αι.μ.Χ. – *Fasti*, VI, 263-283), τον Λακτάντιο (4^{ος} αι. μ.Χ. – *Divine Institutiones*, II, 5, 18) και τον Κλαύδιο Κλαυδιανό (4^{ος} αι. μ.Χ. – *Σύντομα ποιήματα*, Αριθμός LI (LXVIII)).

Ήταν όμως ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων η αξιοθαύμαστη ουράνια σφαίρα του Αρχιμήδη που περιγράφει ο Κικέρωνας; Πιθανότατα όχι καθώς ο Μηχανισμός είναι αρκετά μεταγενέστερος από την εποχή που έζησε ο Αρχιμήδης. Δεν αποκλείεται βέβαια κάποιο εργαστήριο, το οποίο είχε αποκτήσει την τεχνογνωσία του Αρχιμήδη, να συνέχιζε την παράδοση κατασκευής τέτοιων εργαλείων. Κάποιοι ερευνητές (Freeth 2009) τάσσονται υπέρ ενός τέτοιου εργαστηρίου που εξακολουθούσε να δρα στις Συρακούσες. Παρόλα αυτά τίποτε σχεδόν δεν φαίνεται να συνδέει τον Μηχανισμό με αυτήν την περιοχή και η πιθανότερη εκδοχή είναι ο Μηχανισμός να κατασκευάστηκε στη Ρόδο, όπου αυτήν την εποχή έζησε ο ο Ίππαρχος και αργότερα ο Ποσειδώνιος ο Ρόδιος ενώ υπήρχε και πολύ δραστήρια σχολή αστρονομίας. Για τον Ποσειδώνιο υπάρχει, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αναφορά του Κικέρωνα ότι κατασκεύασε μια παρόμοια ουράνια σφαίρα. Για το πλανητάριο αυτό, ο Κικέρωνας αναφέρει ότι αναπαρήγαγε τις κινήσεις του Ήλιου, της Σελήνης και των 5 πλανητών. Ίσως ο Κικέρωνας, όταν βρισκόταν στη Ρόδο το 79-77 π.Χ., να παρακολούθησε από κοντά την κατασκευή τέτοιων μηχανικών σφαιρών. Η καταλληλότερη χρονολογικά εποχή, η συσχέτιση της Ρόδου με τον Ίππαρχο και τον Ποσειδώνιο καθώς και η εξαιρετική ανάπτυξή της κατά την ελληνιστική εποχή (Berthold 2009) συγκλίνουν υπέρ αυτής της εκδοχής. Παρόλα αυτά δε μπορεί να ισχυριστεί κανείς ότι ο

Μηχανισμός χρησιμοποιήθηκε τελικά εκεί. Π.χ. οι μήνες που είναι καταγεγραμμένοι στον κύκλο του Μέτωνα δείχνουν, όπως θα δούμε παρακάτω, συσχετισμό με κορινθιακές αποικίες ενώ τα Νάια (ΝΑΑ) δείχνουν ίσως κάποια σύνδεση με τη Β.Δ. Ελλάδα.

Τέλος μεγάλο αναπάντητο ερώτημα είναι και το γιατί κατασκευάστηκε ο Μηχανισμός και ποιος ήταν ο ρόλος του. Απόψεις όπως ότι ήταν όργανο ναυσιπλοΐας δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες σήμερα. Πιο λογικό θεωρείται ο Μηχανισμός να κατασκευάστηκε για να βοηθήσει στη διδασκαλία της Αστρονομίας σε κάποια αστρονομική σχολή (π.χ. της Ρόδου). Ο M.Edmunds (2011) μάλιστα υποστηρίζει ότι το "backlash" των οδοντωτών τροχών, δηλαδή το κενό που εμφανίζεται στη συμπλοκή των γραναζιών όταν αλλάζει η φορά της κίνησης, θα προκαλούσε ανακρίβεια στην λειτουργία του Μηχανισμού, ανακρίβεια τέτοιου βαθμού όμως που δεν θα είχε ιδιαίτερη σημασία για μια σχολή αστρονομίας. Παρόλα αυτά η επιμέλεια στη δημιουργία του Μηχανισμού και η προσπάθεια προσομοίωσης των πραγματικών πολύπλοκων κινήσεων των ουράνιων σωμάτων με την εφεύρεση μοναδικών μηχανικών μερών σίγουρα υποδεικνύει ότι πίσω από την όλη κατασκευή βρίσκεται κάποια ιδιοφυία της εποχής, ένας μεγάλος αστρονόμος και ένας χαρισματικός μηχανικός ο οποίος μπορεί και να προχώρησε στην κατασκευή του αριστουργηματικού αυτού αντικειμένου απλά και μόνο γιατί μπορούσε να το κάνει!

Κεφάλαιο 2

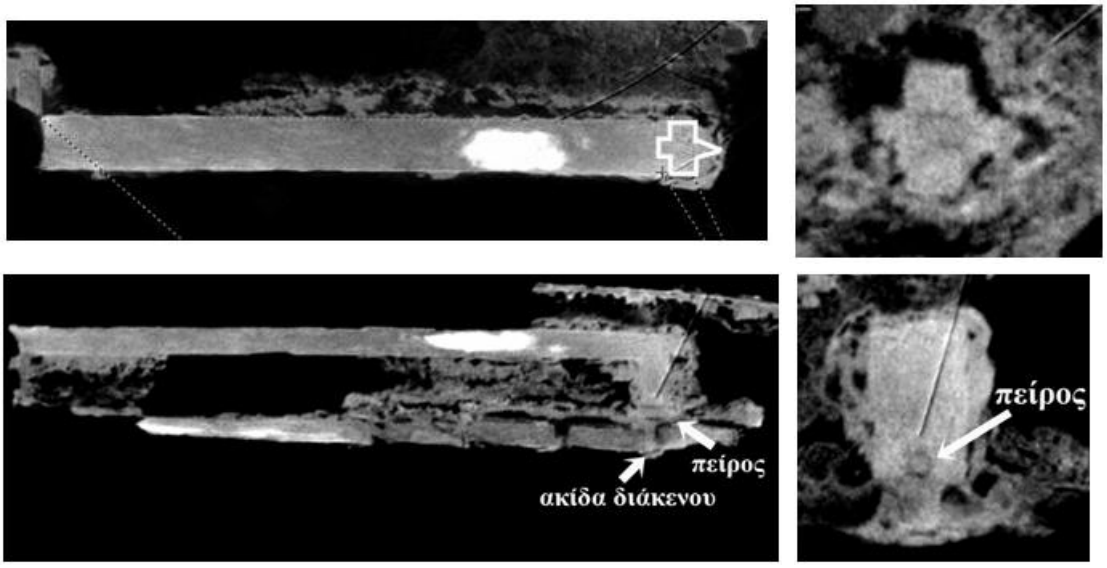
Κατασκευαστικά μέρη του Μηχανισμού

2.1 Οι δείκτες της πίσω πλάκας

Όπως αναφέρθηκε και στην Εισαγωγή, η πίσω πλάκα αποτελούνταν κυρίως από δύο σπείρες, τη σπείρα του Μέτωνα και τη σπείρα του Σάρου. Οι δείκτες των σπειρών έπρεπε να είναι έτσι κατασκευασμένοι και εδρασμένοι στον άξονά τους ώστε να μπορούν ελεύθερα να κινούνται και να ακολουθούν το διάκενο της σπείρας. Από τους δύο δείκτες των σπειρών, μόνο ο δείκτης της επάνω σπείρας (Μέτωνα) έχει σωθεί μαζί με ένα τμήμα του μηχανισμού που υποστήριζε την κίνησή του. Ο δείκτης της κάτω σπείρας (Σάρου) πρέπει να είχε παρόμοια κατασκευή με τον δείκτη που σώζεται.

2.1.1 Ο δείκτης της επάνω σπείρας και ο μηχανισμός στήριξης και κίνησής του

Ο δείκτης της επάνω σπείρας διατηρείται σταματημένος στην αρχή της 143^{ης} υποδιαίρεσης της περιόδου του Μέτωνα, στον μήνα «ΕΥΚΛΕΙΟ» του 12^{ου} έτους. Στην εικόνα 2.1 φαίνονται τμήματα από τα υπολείμματα του δείκτη. Οι διαστάσεις



Εικ.2.1: Τομογραφίες των διαφόρων τμημάτων του δείκτη από το θραύσμα Β. Επάνω: *Αριστερά*: Ο δείκτης. Η λευκή γραμμή αποτυπώνει τη μορφή του δείκτη στο ύψος του πείρου που έχει τη μορφή βέλους. *Δεξιά*: Τομή του μπροστινού τμήματος του δείκτη όπου φαίνεται ο πείρος που έχει τη μορφή βέλους. Κάτω: *Αριστερά*: Πλαϊνή όψη του δείκτη. Διακρίνεται η ακίδα του διάκενου όπως επίσης κι ο πείρος υπό μορφή βέλους. *Δεξιά*: Το μπροστινό τμήμα του δείκτη το οποίο καταλήγει στην ακίδα του διάκενου. Διακρίνεται καθαρά κι ο πείρος υπό μορφή βέλους που διαπερνά το μπροστινό τμήμα λίγο πάνω από την ακίδα του διάκενου.

του είναι περίπου 52 × 4.3 × 2.3 mm ή και λίγο μεγαλύτερος[8] και στη μία του άκρη καταλήγει σε μια μικρή ακίδα που μετακινούνταν στο διάκενο ανάμεσα στις περιελίξεις της σπείρας. Πάνω από την ακίδα του διάκενου, είναι περασμένος πείρος υπό μορφή βέλους ο οποίος χρησίμευε για την ακριβή ένδειξη του δείκτη.

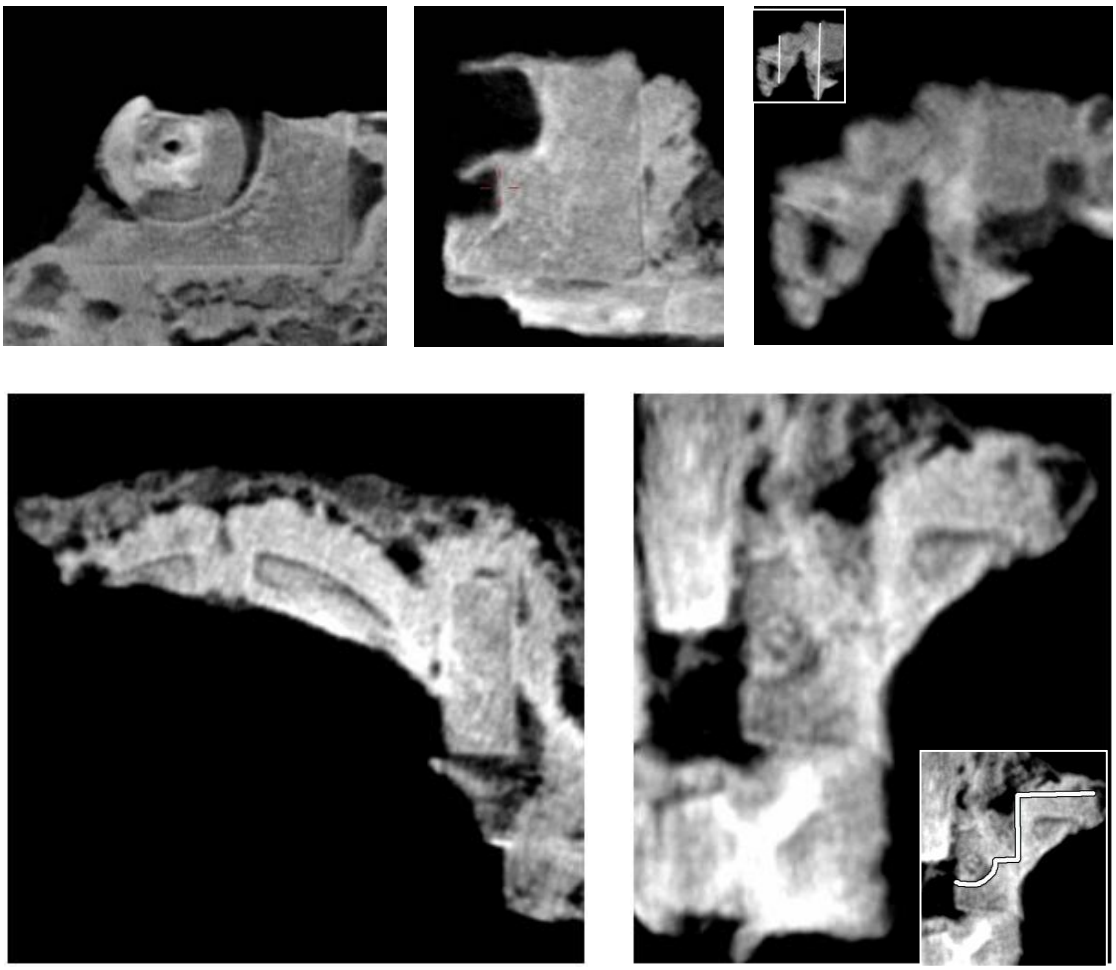
Ο δείκτης έχει σπάσει στο σημείο όπου έπαιρνε κίνηση από τον άξονα. Ο μηχανισμός ο οποίος στήριζε το δείκτη μεταδίδοντάς του ταυτόχρονα την κίνηση του άξονα είναι πολύ κατεστραμμένος με μερικά μόνο μέρη του να σώζονται, τα οποία όμως επιτρέπουν την ανακατασκευή της αρχικής δομής. Η εικόνα 2.2 απεικονίζει ορισμένες τομογραφίες από τα υπολείμματα του μηχανισμού αυτού. Η δομή του μηχανισμού του δείκτη που προτάθηκε από τους Freeth *et al*. (2006) με τον δείκτη σταθερά στερεωμένο στον άξονά του και ταυτόχρονα αποτελούμενο από δύο τμήματα (το ένα μέσα στο άλλο) ώστε να μπορεί να ολισθαίνει αποδεικνύεται ότι είναι λανθασμένη.

Η ανακατασκευή ολόκληρου του μηχανισμού του δείκτη φαίνεται στην εικόνα 2.3. Ο άξονας καταλήγει σε τετραγωνική μορφή έτσι ώστε ένα άλλο εξάρτημα, το κάλυμμα κεφαλής, να μπορεί να προσαρμοστεί στην απόληξή του. Το κάλυμμα κεφαλής είναι ένα κυλινδρικό εξάρτημα με τετραγωνική οπή στο κάτω τμήμα του (για την προσαρμογή του στον άξονα). Αυτή η κυλινδρική βάση του καλύμματος κεφαλής αυξάνει βηματικά σε διάμετρο όσο ανεβαίνουμε προς τα επάνω (το μικρό κυλινδρικό τμήμα της βάσης ακολουθείται από ένα ευρύτερο μεσαίο κυλινδρικό τμήμα το οποίο με τη σειρά του ακολουθείται από το δίσκο) παίρνοντας στο επάνω μέρος της τη μορφή ενός αρκετά μεγαλύτερου δίσκου ο οποίος είναι ιδιόμορφα διαιρεμένος σε τεταρτημόρια που φέρουν κοιλότητες (ο ρόλος των κοιλοτήτων αυτών δεν είναι γνωστός· μια ιδέα είναι ότι ίσως να γέμιζαν με κάποιο γράσο για τη διευκόλυνση της κίνησης του δείκτη). Το κυκλικό σχήμα του δίσκου έχει κοπεί αποκτώντας ευθείες επιφάνειες στα σημεία που είναι εφαπτομενικά στις δύο πλευρές της βάσης στήριξης του δείκτη.

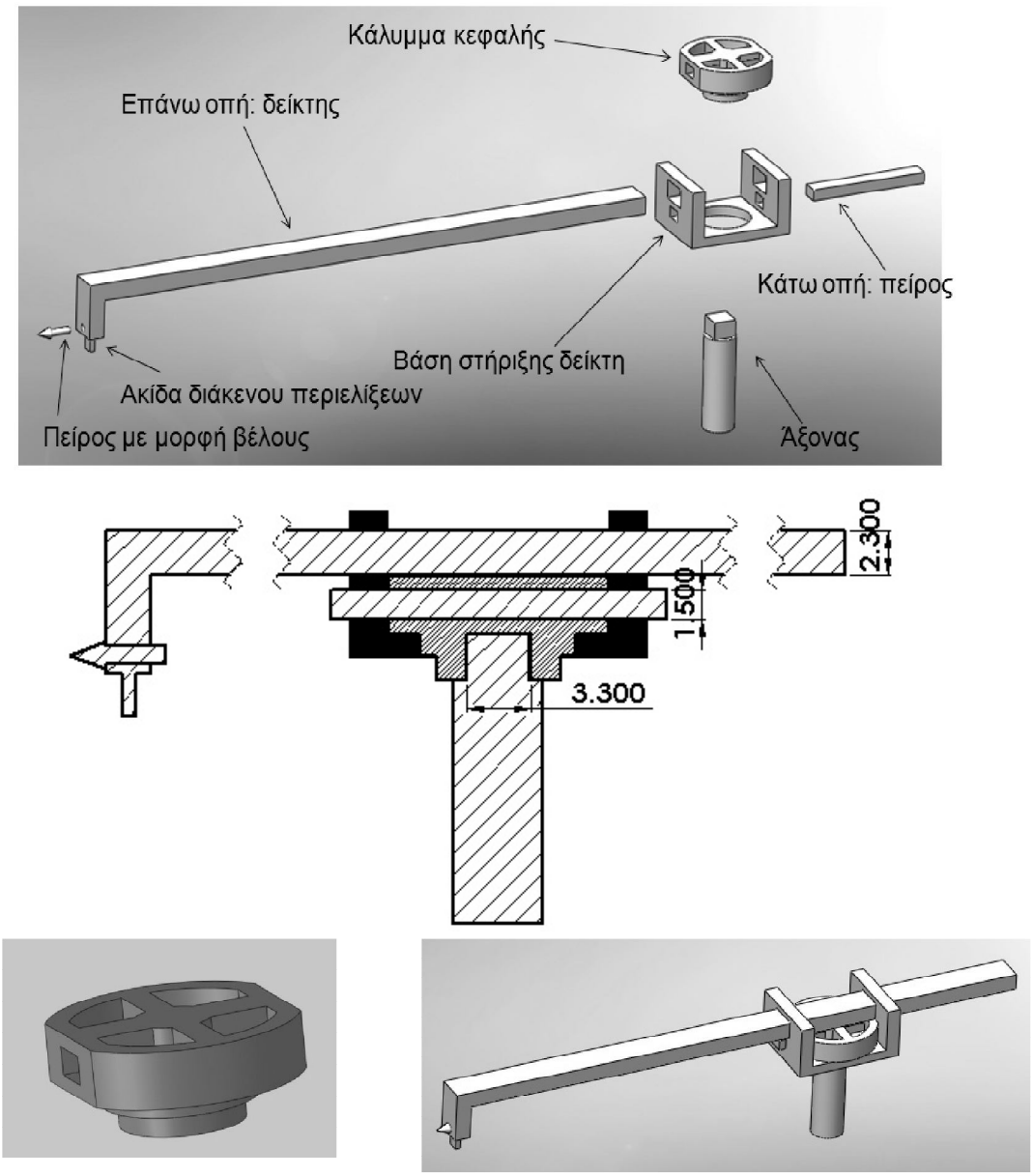
Η βάση στήριξης του δείκτη έχει ορθογώνια μορφή με δύο κάθετα πλαϊνά τοιχώματα. Από τα δύο τοιχώματα διατηρείται μόνο το ένα, στο οποίο παρατηρούμε δύο οπές, η μία επάνω από την άλλη. Η επάνω οπή είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την κάτω και προορίζονταν για την εισδοχή του δείκτη. Η αρκετά μικρότερη κάτω οπή χρησιμοποιούνταν για την τοποθέτηση τετραγωνικού πείρου ο οποίος δεν σώζεται σήμερα. Ο πείρος συνεισέφερε στην σύνδεση της βάσης στήριξης του δείκτη με το κάλυμμα κεφαλής εξυπηρετώντας έτσι έναν πολύ σημαντικό σκοπό: ασφάλιζε τη βάση στήριξης σε συγκεκριμένη θέση έτσι ώστε να μην μπορεί να μετακινηθεί σε

[8] Οι μετρήσεις έχουν γίνει με το πρόγραμμα VGStudio Max, με βάση τη βαθμονόμηση (calibration) που έγινε κατά τη λήψη των τομογραφιών των θραυσμάτων. Για την ακρίβεια αυτής της βαθμονόμησης δεν μπορούμε σήμερα να είμαστε απόλυτα βέβαιοι. Ειδικά για το θραύσμα B συγκρίσεις με μετρήσεις του Price (1974) στα ίδια τα θραύσματα υποδεικνύουν ότι οι μετρήσεις που παίρνουμε από τον VGStudio Max είναι μικρότερες από τις πραγματικές κατά έναν παράγοντα 1/1.064=0.94. Αυτό σημαίνει ότι ο σωζόμενος δείκτης έχει διαστάσεις περίπου 55.3 mm × 4.6 mm × 2.4 mm (ο Price τον μέτρησε 55 mm × 4.5 mm × 2.5 mm).

ύψος και να μην παρεμποδίζεται η ελεύθερη κίνηση του δείκτη κατά τη μετακίνησή του σε ολόκληρη τη σπείρα του Μέτωνα.



Εικ.2.2: Τομογραφίες του μηχανισμού του δείκτη από το θραύσμα Β. Επάνω: *Αριστερά*: Ο τετραγωνικός άξονας με το κυλινδρικό κάλυμμα κεφαλής γύρω του και το κάτω τμήμα της βάσης στήριξης του δείκτη. *Κέντρο*: Πλαϊνή τομή της αριστερής φωτογραφίας όπου φαίνονται οι δύο οπές της πλαϊνής κάθετης πλευράς της βάσης στήριξης του δείκτη. *Δεξιά*: Το τμήμα του άξονα που σώζεται (ο άξονας έχει σπάσει στο σημείο που τελειώνει το μεσαίο κυλινδρικό τμήμα του καλύμματος κεφαλής). Η ένθετη εικόνα αποτυπώνει τα όρια του άξονα. Κάτω: *Αριστερά*: Τα τεταρτημόρια με τις περίεργες κοιλότητες του επάνω τμήματος του καλύμματος κεφαλής. *Δεξιά*: Πλαϊνή τομή της αριστερής φωτογραφίας όπου φαίνεται από το επίπεδο της πίσω πλάκας του Μηχανισμού και προς τα επάνω, ο άξονας και το προφίλ του καλύμματος κεφαλής. Η ένθετη εικόνα αποτυπώνει το προφίλ του καλύμματος κεφαλής.



Εικ.2.3: Η ανακατασκευή του μηχανισμού του δείκτη. Επάνω: Τα διάφορα τμήματα του μηχανισμού πριν τη συναρμολόγησή τους. Μέσο: Κάτοψη του μηχανισμού του δείκτη. Κάτω: *Αριστερά*: Το κάλυμμα κεφαλής. *Δεξιά*: Ο μηχανισμός στήριξης και κίνησης του δείκτη μετά τη συναρμολόγηση των διαφόρων τμημάτων του.

Ο μηχανισμός στήριξης και κίνησης του δείκτη ήταν πιθανότατα σφηνωμένος στον τετραγωνικό άξονα (εάν το σπασμένο τμήμα του άξονα έφτανε μέχρι το δίσκο του καλύμματος κεφαλής, τότε ολόκληρος ο μηχανισμός θα μπορούσε ίσως να στερεωθεί πιο εύκολα στον άξονα μέσω του πείρου). Ο δείκτης θα μπορούσε να επανατοποθετηθεί στην αρχή της σπείρας εάν κάμπτονταν ελαφρώς (έτσι ώστε να ανασηκωθεί η ακίδα) και μετά μετακινούνταν στην αρχική του θέση (υποδιαίρεση 1). Ο δείκτης βαθμονομήθηκε κατά πάσα πιθανότητα μία μόνο φορά, κατά τη διάρκεια της κατασκευής του Μηχανισμού, καθώς ο μηχανισμός του δείκτη δεν επιτρέπει μία εκ νέου βαθμονόμηση.

Η όλη κατασκευή του δείκτη και του μηχανισμού του είναι εντυπωσιακή και η σύλληψή της έγινε αναμφισβήτητα από ιδιαίτερα ευφυή και ικανό μηχανικό. Χαρακτηριστικό είναι π.χ. το κάλυμμα κεφαλής το οποίο τοποθετήθηκε έτσι ώστε α) να προσφέρει μια πολύ πιο σταθερή και ασφαλή σύνδεση της βάσης στήριξης του δείκτη με τον άξονα και β) παίρνοντας τη μορφή δίσκου στο επάνω του μέρος να χρησιμεύει σαν ένα επιπλέον στήριγμα του δείκτη το οποίο διευκόλυνε την κίνησή του. Παρόμοια κατασκευή πρέπει να υπήρχε και για τον δείκτη της σπείρας του Σάρου.

2.1.2 Ο δείκτης της σπείρας του Μέτωνα και η επιγραφή της περιγραφής του

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, το κείμενο που υπήρχε χαραγμένο στην πίσω πόρτα του Μηχανισμού περιείχε αρκετούς μηχανικούς όρους μαζί με αριθμούς και αστρονομικές λέξεις και φαίνεται να αποτελούσε μια περιγραφή του Μηχανισμού. Τμήμα αυτής της επιγραφής και συγκεκριμένα οι σειρές 29-33[9] φαίνονται στην εικόνα 2.4 (Anastasiou *et al*. 2014). Η εικόνα αυτή προέρχεται από την πιο πρόσφατη δημοσίευση του τμήματος αυτού του κειμένου (υπάρχουν διαφορές σε σχέση με το κείμενο του 2006 της εικόνας 1.22). Η αρχική φράση «στη σπείρα τμήματα 235» μας δείχνει ότι βρισκόμαστε στην περιγραφή της σπείρας του Μέτωνα. Στις επόμενες σειρές κειμένου διαβάζουμε για δύο στηρίγματα γύρω από δίσκο, για οπές στα στηρίγματα και για εξαρτήματα που διέρχονται μέσα από τις οπές. Αυτή η περιγραφή ταιριάζει απόλυτα με τη δομή του μηχανισμού του δείκτη που προτάθηκε παραπάνω. Τα μηχανικά υπολείμματα και οι επιγραφές αλληλοεπιβεβαιώνονται πολύ ωραία[10]. Η περιγραφή του δείκτη πρέπει να συνεχιζόταν και στις επόμενες σειρές του κειμένου (βλ. εικόνα 1.22) όπως δείχνουν αποσπασματικά σωζόμενες λέξεις όπως στημάτια.

ΝΟΛΗΤΗΙΕΛΙΚΙΤΜΗΜΑΤΑ ΣΛΕ	… στη σπείρα τμήματα 235 …
ΑΙΔΕΚΑΙΑΙΕΞΑΙΡΕΣΙΜΟΙΗΜΕΡΑΙΚ	… και οι εξαιρέσιμες ημέρες 2? …
ΚΟΝΣΤΗΜΑΤΙΑΔΥΟvacΠΕΡΙΤΥΜΠΑΝ	… δύο στηρίγματα γύρω από δίσκο …
ΠΡΟΕΙΡΗΜΕΝΑΣΤΗΜΑΤΙΑΤΡΗΜ	… τα στηρίγματα που αναφέρθηκαν οπές …
ΑΤΩΝΤΡΗΜΑΤΩΝΔΙΕΛΚΕΣΘΑΙΔ	… μέσα από τις οπές διέρχονται …

Εικ.2.4: Οι σειρές 29-33 του τμήματος της επιγραφής της πίσω πόρτας του Μηχανισμού που σώζεται σήμερα. *Αριστερά*: το αρχαίο κείμενο, η μεταγραφή του οποίου έχει γίνει σύμφωνα με τις συμβάσεις του Leiden (Woodhead 1981). *Δεξιά*: Μετάφραση του αρχαιοελληνικού κειμένου σε νέα ελληνικά.

Στη σειρά 45 διαβάζουμε «76 χρόνια, 19 χρόνια» που δείχνει ότι στο σημείο αυτό πιθανόν να έχουμε πλέον αναφορά στον κύκλο του Καλλίππου.

[9] Η αρίθμηση ακολουθεί την αρίθμηση που έχει προταθεί στο Nature 2006 [Freeth].

[10] Πρώτος ο A.Jones, μετά από σχετική προσωπική ηλεκτρονική επικοινωνία, είχε διαπιστώσει ότι η δομή που προτάθηκε από την υποψήφια διδάκτορα ήταν σε απόλυτη συμφωνία με την επιγραφή της πίσω πόρτας.

2.1.3 Η ακρίβεια της ένδειξης του δείκτη της επάνω σπείρας

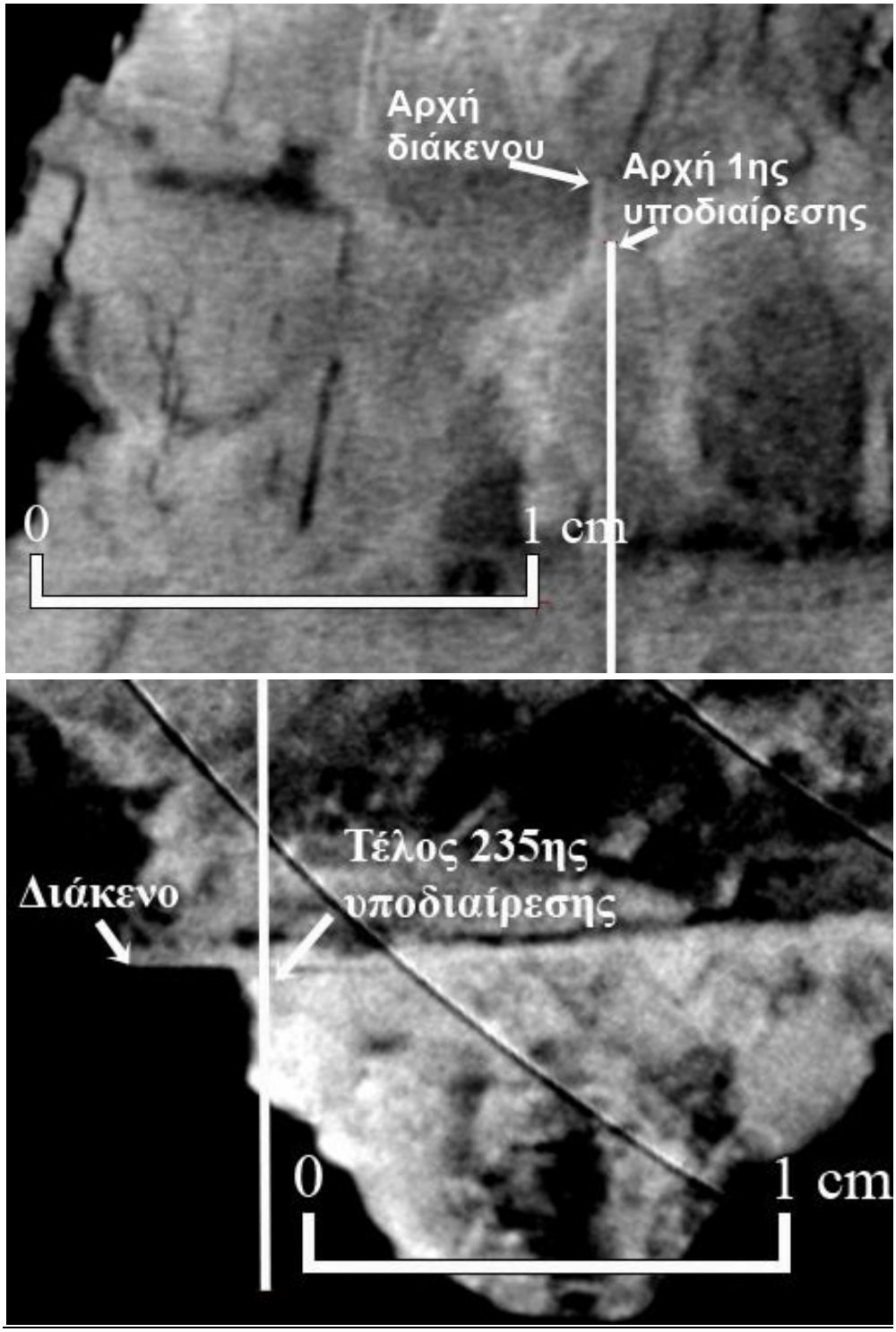
Ο δείκτης, όπως περιγράφηκε παραπάνω, διέθετε πείρο υπό μορφή βέλους ο οποίος διαπερνούσε κεντρικά το μπροστινό τμήμα του δείκτη. Η δομή αυτή συμφωνεί απόλυτα με αυτό που θα αναμέναμε για ένα βέλος που θα στόχευε στην ακριβή ένδειξη του δείκτη στη σπείρα του Μέτωνα. Παρόλα αυτά συζήτηση σχετικά με το βέλος αυτό έχει δημιουργηθεί με βάση τα ακόλουθα επιχειρήματα:

(α) η αρχή του διάκενου της σπείρας του Μέτωνα (εικόνα 2.5) βρίσκεται λίγο πιο αριστερά από την πρώτη υποδιαίρεση, σε απόσταση περίπου 0.45 mm. Η απόσταση αυτή μαζί με την απόσταση του περίπου 1 mm ανάμεσα στην κορυφή του πείρου υπό μορφή βέλους και στην δεξιά πλευρά της ακίδας που μετακινούνταν στο διάκενο ανάμεσα στις περιελίξεις της σπείρας θα προκαλούσαν συνολικό σφάλμα στην ανάγνωση του δείκτη περίπου 1.45 mm. Το σφάλμα αυτό είναι ένα αρκετά μεγάλο σφάλμα καθώς το πλάτος της $1^{ης}$ υποδιαίρεσης είναι περίπου 5.29 mm και σημαίνει ότι το κεντρικό βέλος πάντοτε θα έδειχνε ως αρχική ένδειξη στην πρώτη υποδιαίρεση της σπείρας περίπου το πρώτο τέταρτο του μήνα και ποτέ την αρχή του καθώς δεν υπάρχει το απαραίτητο κενό για να τοποθετηθεί ο δείκτης πιο δεξιά και να έρθει το βέλος στην αρχή του πρώτου σεληνιακού μήνα.

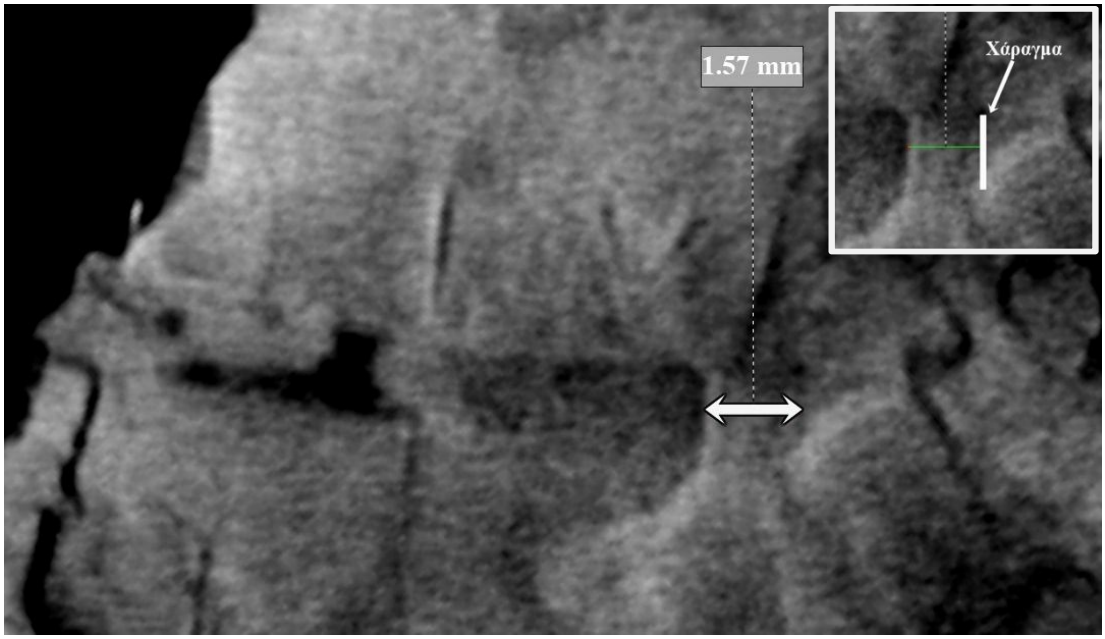
(β) η αρχή του διάκενου της σπείρας, η οποία είναι χαραγμένη λίγο πιο αριστερά από την πρώτη υποδιαίρεση, βρίσκεται σε απόσταση τέτοια όση περίπου κι η απόσταση της δεξιάς άκρης του δείκτη από την αρχή της ακίδας διάκενου. Η απόσταση αυτή θα εξασφάλιζε την τοποθέτηση της δεξιάς άκρη του δείκτη ακριβώς πάνω στην αρχή του πρώτου σεληνιακού μήνα και γι' αυτό έχει προταθεί ότι την ακριβή ένδειξη μπορεί να έδινε η δεξιά άκρη του δείκτη.

γ) το διάκενο της σπείρας δεν φαίνεται να τερματίζεται μετά το τέλος της τελευταίας υποδιαίρεσης (εικόνα 2.5).

Παρόλα αυτά, η ύπαρξη και μόνο του βέλους αποτελεί ένα πολύ δυνατό επιχείρημα ότι είχε τοποθετηθεί εκεί για να δείχνει την ακριβή ένδειξη. Επιπλέον πώς θα γνώριζε κανείς ότι έπρεπε να κοιτάζει τη δεξιά άκρη του δείκτη κι όχι την αριστερή (ακόμα κι αν αναγραφόταν στις επιγραφές, σίγουρα θα γίνονταν λάθη εφόσον υπάρχει και το βέλος); Προσεκτική παρατήρηση του διάκενου δίνει αντεπιχείρημα και στα θέματα α και β που περιγράφηκαν παραπάνω. Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.6, υπάρχει ένα χάραγμα σε απόσταση ~1.57mm δεξιά της αρχής του διάκενου, σε απόσταση δηλαδή τέτοια ώστε να έρθει το βέλος στην αρχή της πρώτης υποδιαίρεσης (είδαμε παραπάνω ότι χρειάζονταν 1.45 mm). Το χάραγμα δεν είναι βαθύ και δεν μπορεί να ισχυριστεί κανείς ότι το κανάλι ξεκινούσε από το σημείο αυτό και «γέμισε» κάποια στιγμή με απολιθώματα. Η ύπαρξη της τομής πιθανότατα αποτελεί χάραγμα του μηχανικού ώστε να δημιουργηθεί εκεί η αρχή του καναλιού, κάτι που φαίνεται να μην έγινε (από λάθος ίσως;) στη συνέχεια.



Εικ.2.5: Τομογραφίες από το θραύσμα Β. *Επάνω*: η αρχή του διάκενου της σπείρας του Μέτωνα σε σχέση με την αρχή της πρώτης υποδιαίρεσης της σπείρας. *Κάτω*: Το διάκενο της σπείρας του Μέτωνα ως προς το τέλος της τελευταίας (235^{ης}) υποδιαίρεσης της σπείρας.



Εικ.2.6: Τομογραφία του θραύσματος Β όπου διακρίνεται το χάραγμα που υπάρχει σε απόσταση ~1.57mm δεξιά της αρχής του διάκενου της σπείρας. Στην ένθετη εικόνα το χάραγμα έχει αποτυπωθεί.

Όσον αφορά το θέμα γ, πραγματικά το διάκενο φαίνεται να συνεχίζεται μετά το τέλος της τελευταίας υποδιαίρεσης και μάλιστα μπορεί να μετρήσει κανείς ένα «επιπλέον» διάκενο μήκους ~3.14mm μέχρι το σημείο που έχει πλέον καταστραφεί το θραύσμα. Η ύπαρξη της επέκτασης αυτής δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιχειρηματολογήσει κανείς υπέρ της δεξιάς άκρης του δείκτη ή υπέρ του βέλους, αφού η επέκταση έχει ξεπεράσει κατά πολύ το αναγκαίο επιπλέον μήκος του διάκενου είτε στη μια περίπτωση είτε στην άλλη. Θα μπορούσε όμως να ερμηνευτεί στο πλαίσιο της υπόθεσης που αναφέρθηκε στην εισαγωγή, ότι οι δύο σπείρες, για οικονομία χώρου και χωρίς να παρεμποδίζει η μία τη λειτουργία της άλλης, πιθανόν να αλληλοεπικαλύπτονταν.

2.2 Οι σπείρες

2.2.1 Η κατασκευή των σπειρών

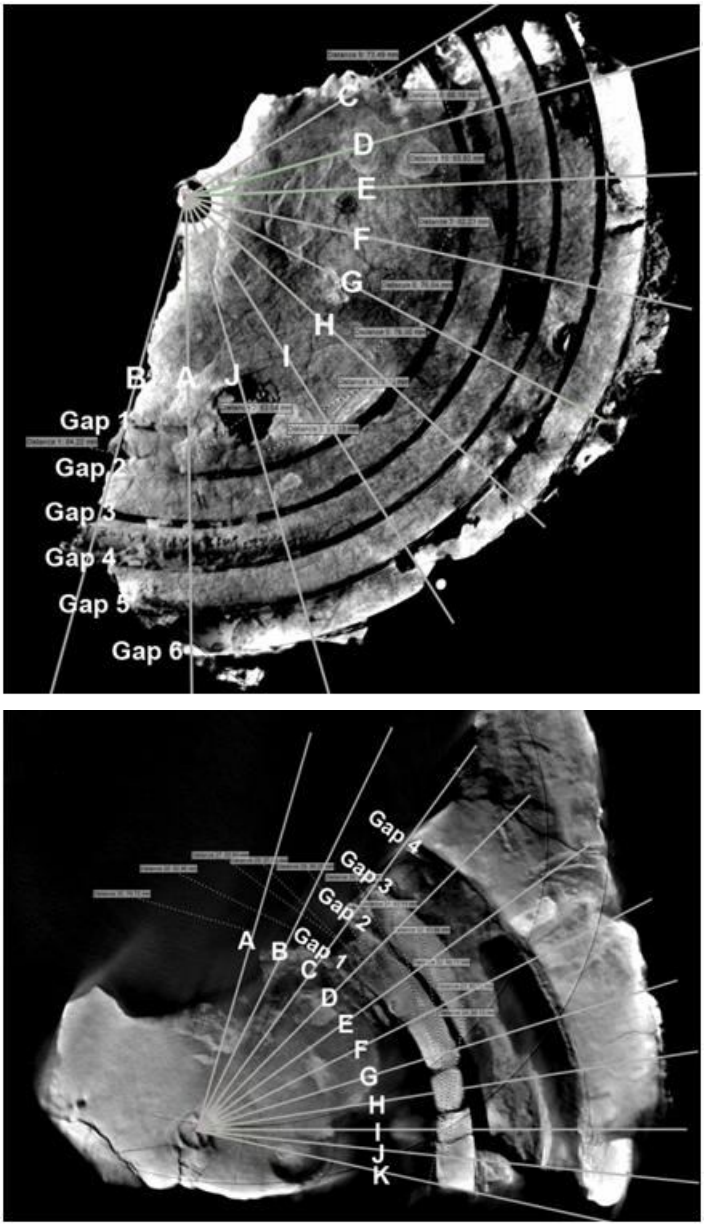
Προκειμένου να κατανοηθεί ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάστηκαν οι σπείρες, δύο βασικοί τύποι σπειρών εξετάστηκαν. Ο πρώτος τύπος είναι η πολύ γνωστή *σπείρα του Αρχιμήδη*. Σε μια σπείρα Αρχιμήδη, η ακτίνα είναι γραμμικά ανάλογη με τη γωνία περιστροφής και μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη εξίσωση:

$$r = a + b\theta \qquad (2\text{-}1)$$

όπου *r* είναι η ακτίνα, *θ* η γωνία και *a*, *b* σταθερές. Ο τύπος αυτός σπείρας πήρε το όνομά του από τον αρχαίο Έλληνα μαθηματικό και μηχανικό Αρχιμήδη (~287 π.Χ. – 212 π.Χ.) καθώς εκείνος πρώτος περιέγραψε αυτού του είδους τη σπείρα. Το είδος αυτό ήταν επομένως γνωστό την εποχή της κατασκευής του Μηχανισμού των Αντικυθήρων (~150 – 100 π.Χ.). Ο δεύτερος τύπος σπείρας που εξετάστηκε είναι η *σπείρα ημικυκλίων* (*Half Circles spiral*), μια σπείρα που κατασκευάζεται από ημικυκλία τα οποία σχεδιάζονται από δύο διαφορετικά κέντρα. Ο Wright (2003b) πρώτος ανέφερε ότι τα ημικύκλια της κάτω σπείρας του Μηχανισμού που έχουν σωθεί δεν είναι ομόκεντρα με την οπή στην πλάκα από την οποία διέρχεται ο άξονας στήριξης του δείκτη αλλά με ένα άλλο κέντρο το οποίο είναι μετατοπισμένο ως προς το άνοιγμα αυτό κατά απόσταση ίση περίπου με τη μισή απόσταση ανάμεσα στα ημικύκλια, προτείνοντας έτσι ότι οι σπείρες κατασκευάστηκαν ως ένα σύνολο ημικυκλίων τα οποία σχεδιάστηκαν διαδοχικά από δύο διαφορετικά κέντρα. Οι Freeth *et al*. (2006) υποστήριξαν επίσης την πρόταση αυτή του Wright για την επάνω σπείρα αναφέροντας ότι τα δύο κέντρα βρίσκονται τοποθετημένα πάνω στον κάθετο άξονα της σπείρας ο οποίος περνάει κι από το άνοιγμα της πίσω πλάκας για τον άξονα. Η ακόλουθη ανάλυση που έγινε στο πλαίσιο αυτής της διδακτορικής διατριβής αποτελεί την απόδειξη ότι πράγματι η επάνω σπείρα αλλά κι η κάτω σπείρα του Σάρος είναι κατασκευασμένες με αυτόν τον τρόπο.

2.2.1.1 Η μέθοδος της ανάλυσης

Για κάθε τύπο σπείρας που διερευνήθηκε (σπείρα Αρχιμήδη ή ημικυκλίων), το τμήμα της σπείρας που έχει σωθεί χωρίστηκε σε γωνίες με τη χάραξη ενός αριθμού περίπου ισαπεχουσών γραμμών (εικόνα 2.7). Αυτές οι ακτινικές γραμμές ξεκινούν από το ίδιο ή από διαφορετικά κέντρα, αναλόγως με το είδος της σπείρας που εξετάζεται κάθε φορά. Οι γραμμές (lines) ονομάστηκαν με τα γράμματα "A", "B", "C", "D", κτλ, ακολουθώντας τη φορά των δεικτών του ρολογιού καθώς και οι δυο σπειρες του Μηχανισμού αναπτύσσονται σύμφωνα με αυτή τη φορά. Αυτές οι γραμμές τέμνουν τα διάκενα ανάμεσα στις περιελίξεις των σπειρών σε δύο σημεία: το *εσωτερικό σημείο διάκενου* (*inner gap point*) και το *εξωτερικό σημείο διάκενου* (*outer gap point*). Για τη διευκόλυνση της ανάλυσης, τα σημεία τομής των γραμμών με τα διαδοχικά διάκενα (Gap 1, Gap 2, Gap 3, κτλ) ονομάστηκαν με βάση το όνομα της γραμμής (*line-A, line-B, line-C*, κτλ), τον αριθμό του διάκενου (*Gap1, Gap2, Gap3*, κτλ) και το εάν το σημείο τομής βρίσκεται *εσωτερικά* (inner) ή *εξωτερικά* (outer) του διάκενου. Π.χ. τα σημεία τομής της γραμμής Α ορίστηκαν ως εξής: "*line-A_Gap1-inner*", "*line-A_Gap1-outer*", "*line-A_Gap2-inner*", κτλ. Για κάθε περίπτωση μετρήθηκαν: (α) το μήκος της ακτίνας κάθε σημείου τομής και (β) η γωνία ανάμεσα στην υπό εξέταση γραμμή και μια αυθαίρετα επιλεγμένη γραμμή (η γραμμή αυτή για τη σπείρα του Μέτωνα επιλέχθηκε να συμπτίπτει με τον κάθετο άξονα της σπείρας, δηλαδή πρόκειται για τη γραμμή Α ενώ για τη σπείρα του Σάρος επιλέχθηκε η οριζόντια γραμμή Ι). Όλα τα παραπάνω διακρίνονται στη εικόνα 2.7. Όλες οι ακτίνες είναι μετρημένες σε mm και όλες οι γωνίες σε μοίρες (°).



Εικ.2.7: Οι ακτινικές γραμμές και τα διάκενα ανάμεσα στις περιελίξεις της σπείρας του Μέτωνα (*επάνω*) και της σπείρας του Σάρου (*κάτω*). Οι γραμμές έχουν χαραχθεί από το ορατό κέντρο για την επάνω σπείρα και από το κέντρο του δείκτη για την κάτω σπείρα.

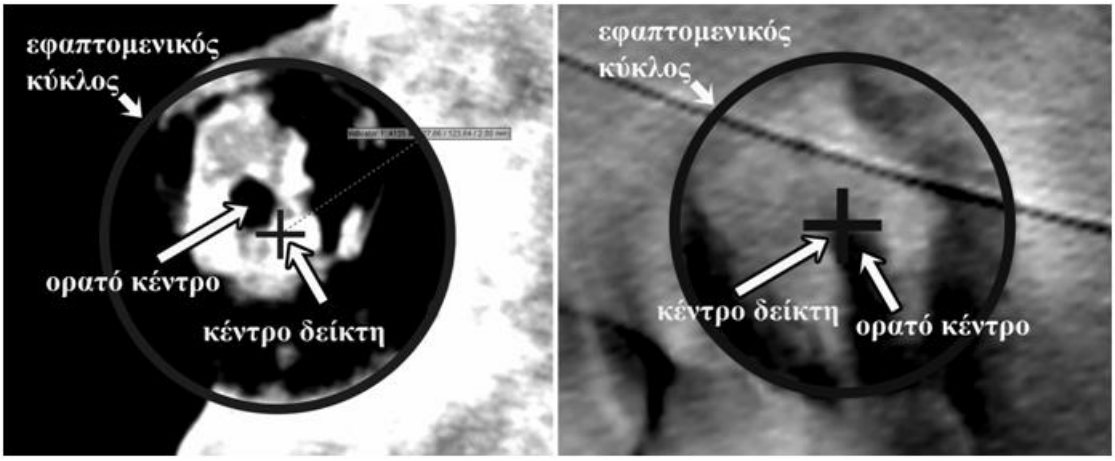
2.2.1.2 Αποτελέσματα – Η σπείρα του Μέτωνα

Στο τμήμα της σπείρας του Μέτωνα που έχει σωθεί, διατηρούνται, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.7, η αρχή της σπείρας καθώς και το κέντρο της. Όπως αναφέρθηκε και από τους Freeth *et al*. (2006), στην περίπτωση της σπείρας ημικυκλίων, η διαχωριστική γραμμή ανάμεσα στα δύο σετ ημικυκλίων πρέπει να είναι ο κάθετος άξονας της σπείρας, διαχωρίζοντας έτσι τη σπείρα σε ένα αριστερό και σε ένα δεξί μισό τμήμα. Για την ανάλυση που έγινε, 10 ακτινικές γραμμές χαράχτηκαν ξεκινώντας από την αρχή της σπείρας (γραμμή (line) Α). Εξαιτίας του τμήματος της

σπείρας που λείπει, οι δύο πρώτες γραμμές (line A και line B) ανήκουν στο αριστερό ήμισυ της σπείρας ενώ οι υπόλοιπες οκτώ (lines C-J) στο δεξί.

Λεπτομερής εξέταση του κέντρου της σπείρας του Μέτωνα δείχνει ότι το *ορατό κέντρο* (μαύρο κυκλικό σημείο στην εικόνα 2.8 (*visible centre*)) δεν συμπίπτει με το κέντρο του κυκλικού ανοίγματος που έγινε στην πίσω πλάκα για να περάσει ο άξονας του δείκτη, δηλαδή με το *κέντρο του δείκτη* (*pointer centre*, *pc*)). Το ορατό κέντρο πιθανότατα μετατοπίστηκε βίαια καθώς ή αφού το πλοίο βυθίστηκε. Το κέντρο του δείκτη ταυτίζεται με το κέντρο του κύκλου που σχεδιάστηκε εφαπτομενικά του κυκλικού ανοίγματος της πίσω πλάκας (μαρκαρισμένο με ένα σταυρό "+" στην εικόνα 2.8).

Σε κάθε μία από τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, έγιναν διαγράμματα γωνίας – ακτίνας (εικόνες 2.9 και 2.10). Κάθε διάγραμμα εμφανίζει τις σχέσεις των δύο μεγεθών και για τα *εσωτερικά* (inner) και για τα *εξωτερικά* (outer) σημεία τομής των διάκενων των περιελίξεων με τις γραμμές.



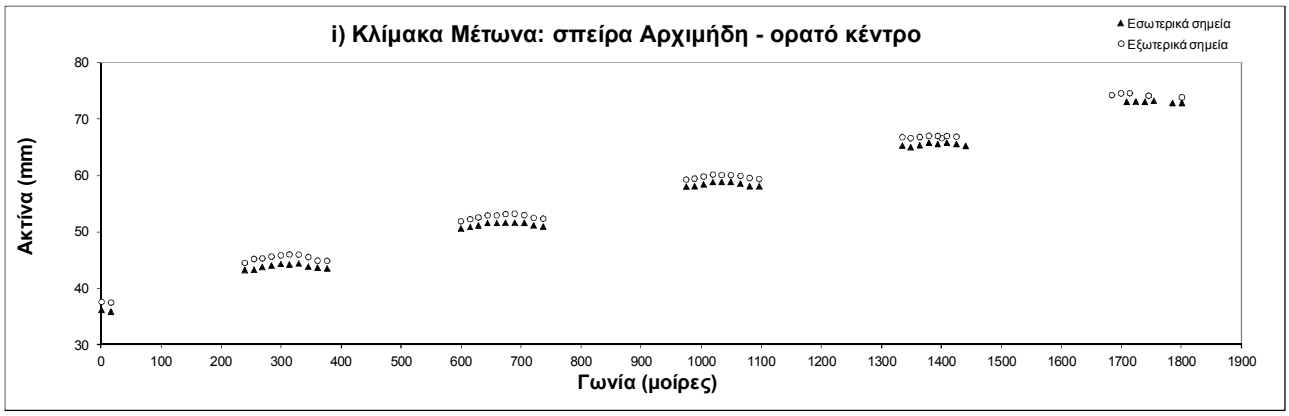
Εικ.2.8: Τομογραφίες από τη σπείρα του Μέτωνα (*αριστερά*) και τη σπείρα του Σάρου (*δεξιά*) όπου διακρίνονται (α) το ορατό κέντρο (μαύρο κυκλικό σημείο), (β) ο εφαπτόμενος στο άνοιγμα της πλάκας κύκλος και (γ) το κέντρο του δείκτη (ο σταυρός).

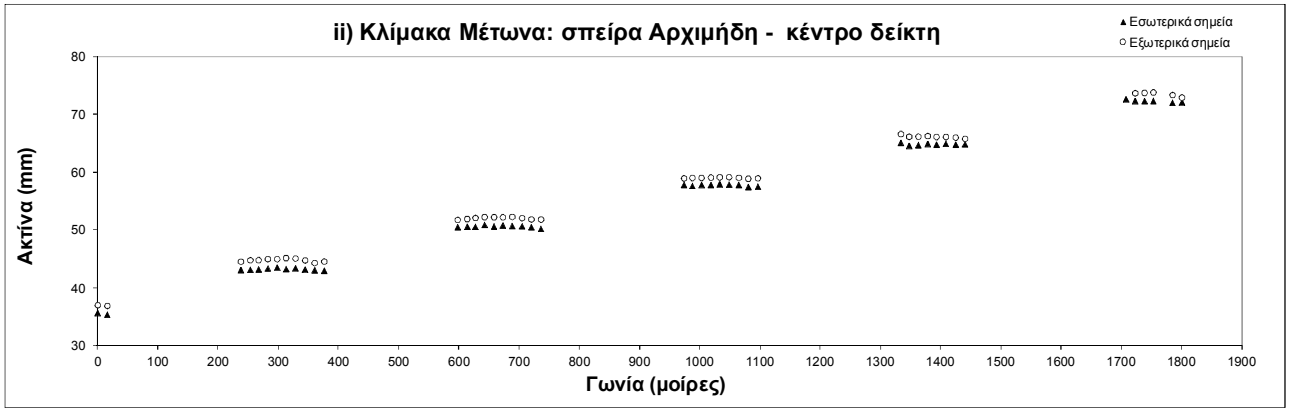
Για τη σπείρα του Μέτωνα, οι περιπτώσεις που εξετάστηκαν είναι οι εξής:

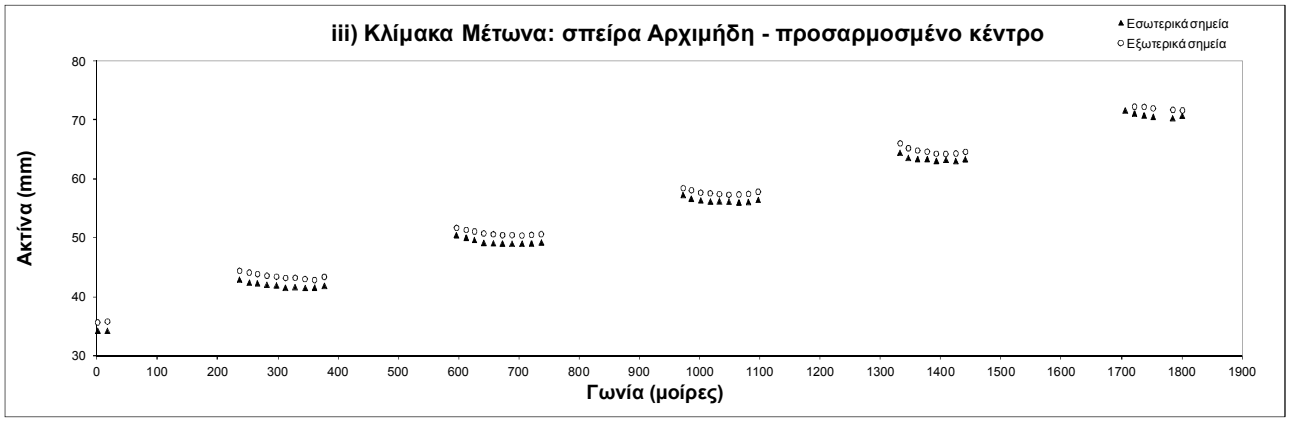
i) σπείρα Αρχιμήδη, σχεδιασμένη από το ορατό κέντρο. Όλες οι γραμμές ξεκινούν από το ορατό κέντρο. Το διάγραμμα γωνίας – ακτίνας δείχνει μια γενική γραμμική αύξηση των μετρήσεων. Σε κάθε περιέλιξη της σπείρας όμως, μόνο τα πρώτα σημεία του δεξιού μισού της σπείρας (των γραμμών C, D, E, F) εμφανίζουν θετική κλίση. Τα υπόλοιπα σημεία έχουν μηδενική ή και αρνητική κλίση ενώ τα δύο σημεία του αριστερού μισού της σπείρας (των γραμμών A, B) τείνουν να έχουν ακτίνες ίσες με τα πρώτα σημεία του δεξιού μισού της σπείρας της προηγούμενης περιέλιξης. Το διάγραμμα δεν επιβεβαιώνει επομένως την περίπτωση που εξετάστηκε (εικόνα 2.9i).

ii) σπείρα Αρχιμήδη, σχεδιασμένη από το κέντρο του δείκτη. Όλες οι γραμμές ξεκινούν από το κέντρο του δείκτη. Το διάγραμμα γωνίας – ακτίνας δείχνει μηδενική κλίση (εικόνα 2.9ii). Αυτό υποδεικνύει την ύπαρξη ομόκεντρων κύκλων (όχι σπείρας) που όμως δεν θα επέτρεπε στον δείκτη να διαγράψει τον πλήρη κύκλο του Μέτωνα.

iii) σπείρα Αρχιμήδη, σχεδιασμένη από ένα *προσαρμοσμένο με βάση τη σπείρα κέντρο*. Όλες οι γραμμές ξεκινούν από αυτό το κέντρο το οποίο καθορίστηκε όταν μια σπείρα Αρχιμήδη προσαρμόστηκε πάνω στο τμήμα της σπείρας που διασώζεται. Το διάγραμμα γωνίας – ακτίνας δείχνει αρνητική κλίση η οποία δεν επιβεβαιώνει την περίπτωση σπείρας Αρχιμήδη (εικόνα 2.9iii).





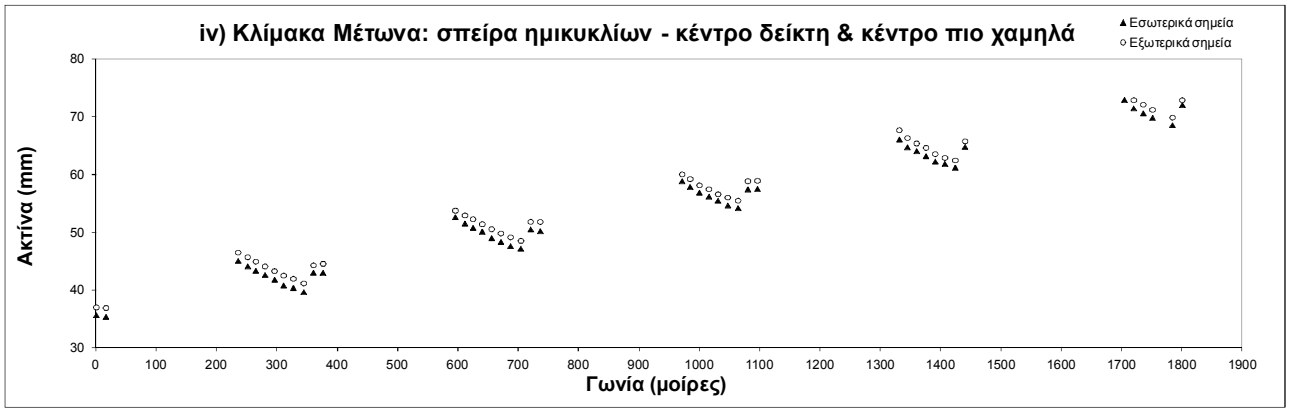


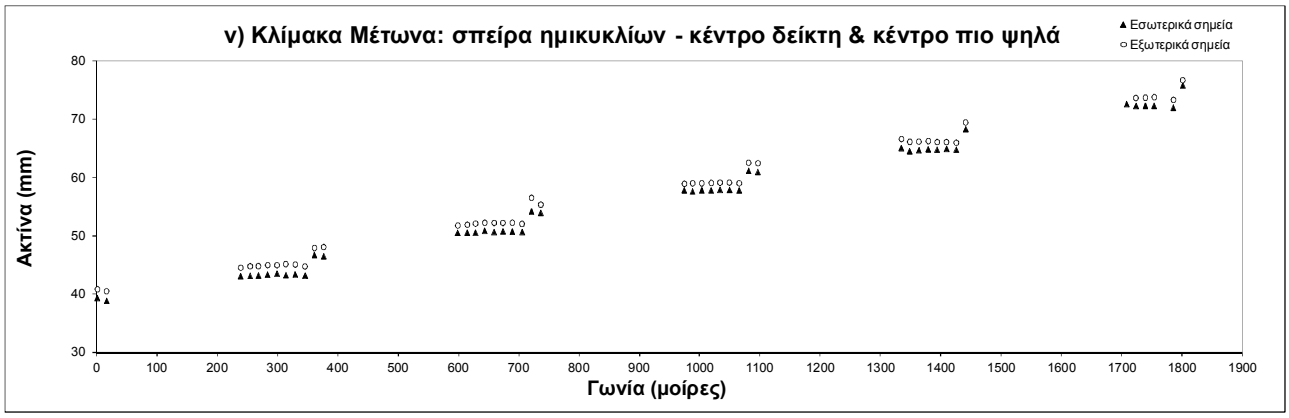
Εικ.2.9: Τα αποτελέσματα για τη σπείρα του Μέτωνα ως σπείρα Αρχιμήδη.

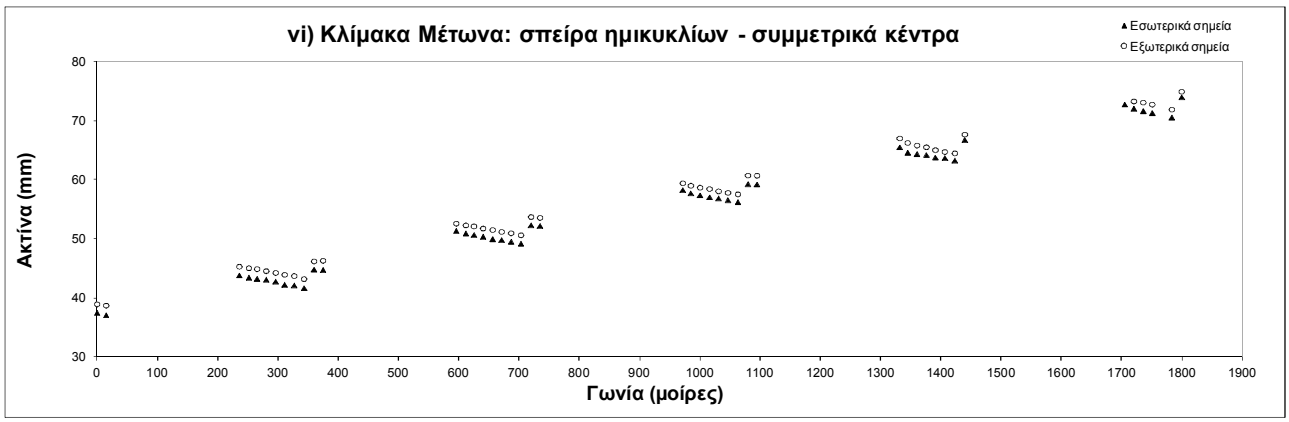
iv) σπείρα ημικυκλίων, σχεδιασμένη από το κέντρο του δείκτη κι από ένα κέντρο πιο χαμηλά. Το κέντρο του αριστερού μισού της σπείρας είναι το κέντρο του δείκτη. Η απόσταση του κέντρου του δεξιού μισού ορίστηκε 3.67 mm πιο χαμηλά από το κέντρο του δείκτη. Αυτή η απόσταση είναι ίση με τη μισή απόσταση ανάμεσα στα ημικύκλια της σπείρας και υπολογίστηκε ως εξής:
- η ακτίνα του σημείου line-A_Gap1-inner μετρήθηκε 35.71 mm και η ακτίνα του σημείου line-A_Gap2-inner 43.09 mm, επομένως η μισή απόσταση μεταξύ των δύο αυτών σημείων (και των δύο περιελίξεων επομένως) είναι 3.69 mm.
- η ακτίνα του σημείου line-A_Gap1-outer μετρήθηκε 37.06 mm και η ακτίνα του σημείου line-A_Gap2-outer 44.36 mm, επομένως η μισή απόσταση μεταξύ των δύο αυτών σημείων (και των δύο περιελίξεων επομένως) είναι 3.65mm.
Επομένως η απόσταση ανάμεσα στις περιελίξεις της σπείρας είναι ίση περίπου με 7.34 mm.
Το διάγραμμα γωνίας – ακτίνας δείχνει ότι οι μετρήσεις των δύο σημείων του αριστερού μισού της σπείρας (των γραμμών A, B) εμφανίζουν βήματα ανά 7 mm ανά περιέλιξη αλλά τα υπόλοιπα σημεία έχουν έντονη αρνητική κλίση η οποία έρχεται σε αντίθεση με τις αναμενόμενες σταθερές ακτίνες της σπείρας ημικυκλίων (εικόνα 2.10iv).

v) σπείρα ημικυκλίων, σχεδιασμένη από το κέντρο του δείκτη κι από ένα κέντρο πιο ψηλά. Το κέντρο του δείκτη αποτελεί το κέντρο του δεξιού μισού της σπείρας ενώ η απόσταση του κέντρου του αριστερού μισού ορίστηκε 3.67 mm πιο ψηλά από το κέντρο του δείκτη.
Το διάγραμμα γωνίας – ακτίνας δείχνει δύο ομάδες σημείων που διαδέχονται η μία την άλλη με βήματα ανά 3.5 mm (εικόνα 2.10v). Η μία ομάδα αποτελείται από τα σημεία του αριστερού μισού της σπείρας (των γραμμών A, B) και η άλλη από τα σημεία του δεξιού μισού (των γραμμών C-J). Η ακριβής μέση απόσταση ανάμεσα στις δύο ομάδες είναι 3.69 mm, απόσταση που είναι πολύ κοντά στην απόσταση των 3.67 mm (που υπολογίστηκε παραπάνω ως η μισή απόσταση ανάμεσα στις περιελίξεις της σπείρας). Το διάγραμμα αυτό γωνίας – ακτίνας δείχνει ακριβώς ότι θα αναμενόταν για την περίπτωση της σπείρας ημικυκλίων, δηλαδή **το διάγραμμα επιβεβαιώνει την περίπτωση που εξετάστηκε**.

vi) σπείρα ημικυκλίων, σχεδιασμένη από δύο κέντρα συμμετρικά ως προς το κέντρο του δείκτη: τα δύο κέντρα έχουν τοποθετηθεί συμμετρικά επάνω και κάτω από το κέντρο του δείκτη, σε αποστάσεις ίσες με 3.67/2=1.835mm. Το διάγραμμα γωνίας – ακτίνας (εικόνα 2.10vi) είναι παρόμοιο με αυτό της περίπτωσης iv. Τα δύο σημεία του αριστερού μισού τμήματος της σπείρας εμφανίζουν βήματα ανά ~7 mm ανά περιέλιξη αλλά τα υπόλοιπα σημεία του δεξιού μισού τμήματος έχουν έντονη αρνητική κλίση.







Εικ.2.10: Τα αποτελέσματα για τη σπείρα του Μέτωνα ως σπείρα ημικυκλίων.

2.2.1.3 Αποτελέσματα – Η σπείρα του Σάρος

Η σπείρα του Σάρου διασώζεται μερικώς, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, με τμήματά της να διατηρούνται στα θραύσματα A, E και F. Το κέντρο της σπείρας είναι ορατό στο θραύσμα A. Μια όχι τέλεια επανατοποθέτηση των θραυσμάτων E και F θα μπορούσε να οδηγήσει σε σφάλματα και λανθασμένα συμπεράσματα και γι' αυτό για την όλη ανάλυση του τρόπου κατασκευής της σπείρας του Σάρου χρησιμοποιήθηκε μόνο το θραύσμα A. Στο θραύσμα αυτό διασώζεται τμήμα μόνο από τις δεξιές περιελίξεις της σπείρας. Η κατάσταση της διατήρησης της σπείρας είναι δυστυχώς αρκετά κακή. Επιπλέον, οι περιελίξεις μοιάζουν να μην είναι ισαπέχουσες παντού δίνοντας την εντύπωση ότι η σπείρα έχει μάλλον παραμορφωθεί.

Για τους λόγους αυτούς, οι μετρήσεις έχουν λιγότερη ακρίβεια σε σχέση με τις αντίστοιχες για τη σπείρα του Μέτωνα.

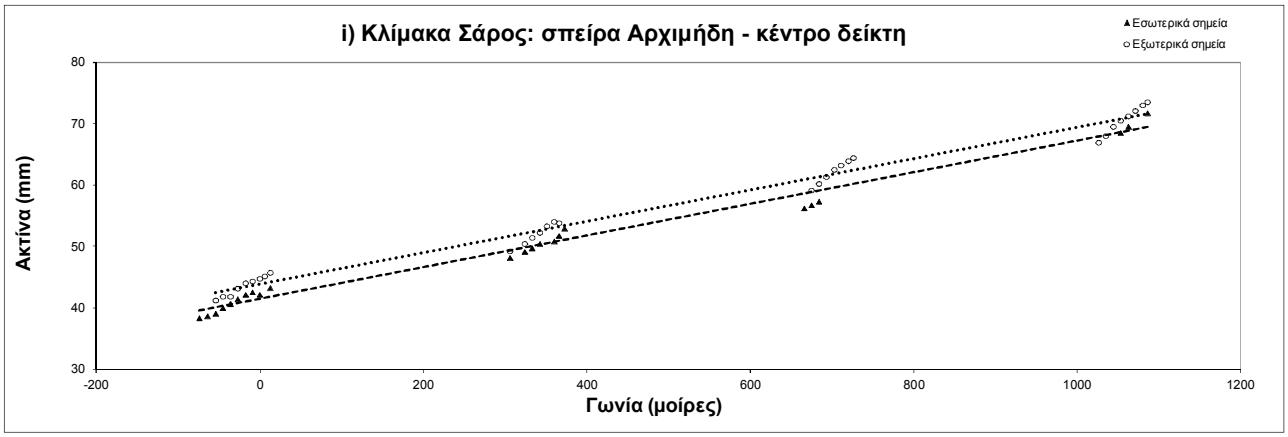
Για τη σπείρα του Σάρου, το ορατό κέντρο βρίσκεται πολύ κοντά στο κέντρο του δείκτη. Για το λόγο αυτό για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε μόνο το κέντρο του δείκτη. Τα διαγράμματα γωνίας – ακτίνας για καθεμία από τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν παριστάνονται στην εικόνα 2.11.

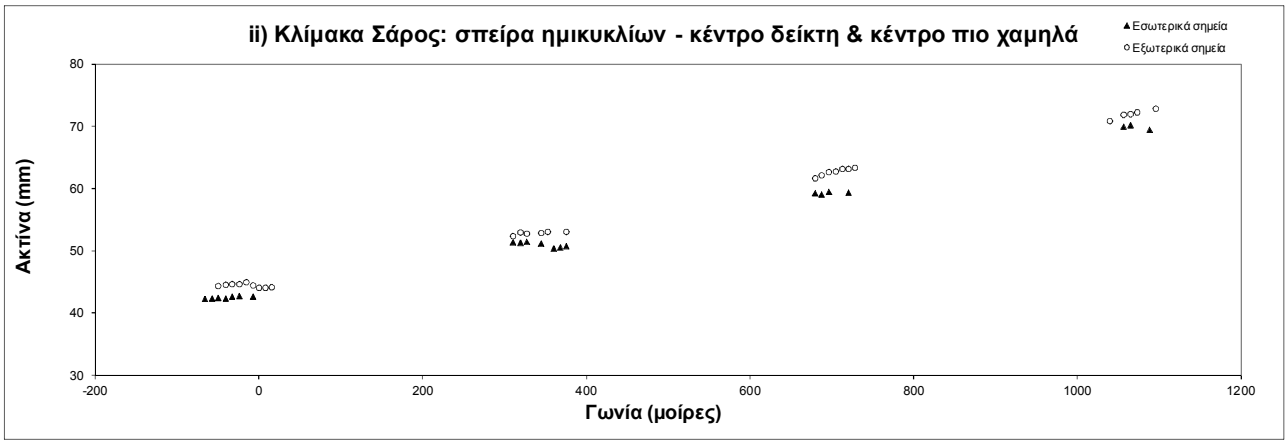
Οι περιπτώσεις που εξετάστηκαν είναι οι εξής:

i) σπείρα Αρχιμήδη, σχεδιασμένη από το κέντρο του δείκτη. Όλες οι γραμμές ξεκινούν από το κέντρο του δείκτη. Το διάγραμμα γωνίας – ακτίνας δείχνει γραμμική αύξηση των μετρήσεων (εικόνα 2.11i). Η σπείρα όμως δεν μπορεί να είναι τύπου Αρχιμήδη καθώς τα περισσότερα σημεία αποκλίνουν σημαντικά από τις γραμμές τάσης (fitted linear trendlines) που έχουν προστεθεί στο διάγραμμα.

ii) σπείρα ημικυκλίων, σχεδιασμένη από το κέντρο του δείκτη κι από ένα κέντρο πιο χαμηλά: το κέντρο του αριστερού μισού της σπείρας είναι το κέντρο του δείκτη ενώ το δεξί ήμισυ έχει το κέντρο του 4.5 mm πιο χαμηλά από το κέντρο του δείκτη. Η απόσταση των 4.5 mm είναι η υπολογισμένη μέση μισή απόσταση ανάμεσα στα ημικύκλια της σπείρας. Αν και το θραύσμα είναι αρκετά κατεστραμμένο, **το διάγραμμα γωνίας – ακτίνας επιβεβαιώνει την περίπτωση που εξετάστηκε** (εικόνα 2.11ii). Η εφαρμογή γραμμής τάσης (trendline) δείχνει ότι δεν μπορεί να αποκλειστεί η περίπτωση σπείρας Αρχιμήδη αλλά θα ήταν περίεργο και πιθανότατα και μη πρακτικό να έχει κατασκευαστεί μια τέτοια σπείρα από ένα άλλο κέντρο διαφορετικό από το κέντρο του δείκτη.

Τα αποτελέσματα δεν είναι το ίδιο ξεκάθαρα όπως στην περίπτωση της σπείρας του Μέτωνα καθώς γι' αυτήν την σπείρα δεν μπορούμε να έχουμε καθόλου μετρήσεις και από το αριστερό μισό τμήμα της σπείρας. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι μετρήσεις είναι σίγουρα λιγότερο ακριβείς εξαιτίας της κακής κατάστασης διατήρησης της σπείρας. Το ακριβές πιο χαμηλό κέντρο μπορεί να βρίσκεται λίγο πιο πέρα από το κέντρο του δείκτη και η αυξανόμενη κλίση των εσωτερικών και εξωτερικών σημείων τομής της $3^{ης}$ και $4^{ης}$ περιέλιξης, που φαίνεται στα διαγράμματα, μπορεί να οφείλεται ακριβώς σε αυτήν την όχι επακριβή εύρεση του πιο χαμηλού κέντρου.





Εικ.2.11: Τα αποτελέσματα για τη σπείρα του Σάρος για όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις.

2.2.2 Οι υποδιαιρέσεις των σπειρών

2.2.2.1 Η χάραξη των υποδιαιρέσεων

Η κατασκευή των σπειρών ως σπείρες ημικυκλίων με τη χρήση 2 κέντρων και η τοποθέτηση και περιστροφή του δείκτη γύρω από το ένα κέντρο, το κέντρο του δείκτη, θα είχε ως αναπόφευκτο αποτέλεσμα τη δημιουργία εκκεντρότητας στην ανάγνωση των ενδείξεων του δείκτη για εκείνο το ήμισυ της σπείρας του οποίου το κέντρο δεν συμπίπτει με το κέντρο του δείκτη. Στον Πίνακα 2.1 αναγράφονται τα σφάλματα στην ανάγνωση της πρώτης και της τελευταίας υποδιαίρεσης της κάθε σπείρας. Το αποτέλεσμα της εκκεντρότητας είναι πολύ σημαντικό, αγγίζοντας το μέγιστο σφάλμα του 0.67 της υποδιαίρεσης ($0.67 \times 29.53 \approx 20$ ημέρες) για τη σπείρα του Μέτωνα και του 0.90 της υποδιαίρεσης ($0.90 \times 29.53 \approx 26.5$ ημέρες) για τη σπείρα του Σάρος.

Πίνακας 2.1: Σφάλματα στην ανάγνωση των ενδείξεων του δείκτη εξαιτίας της εκκεντρότητας

Απόσταση των 2 κέντρων (mm)	**Ακτίνα$_{\text{εξωτερικών σημείων των περιελίξεων}}$ (mm)**	**Εκκεντρότητα (°)**	**Σφάλμα (σε υποδιαιρέσεις)**
Σπείρα Μέτωνα			
3.67	40.74	5.16	0.67
3.67	⋮	⋮	⋮
3.67	69.53	3.03	0.40
Σπείρα Σάρος			
4.5	44.48	5.80	0.90
4.5	⋮	⋮	⋮
4.5	72	3.58	0.55

Η απλούστερη λύση για τον κατασκευαστή του Μηχανισμού των Αντικυθήρων για να αποφύγει το πρόβλημα αυτό θα ήταν να χαράξει έτσι τις υποδιαιρέσεις και τις διαχωριστικές τους γραμμές ώστε το κέντρο στο οποίο δείχνουν όλες να είναι το κέντρο του δείκτη. Η ανάλυση που ακολουθεί ελέγχει την υπόθεση αυτή και για τις 2 σπείρες. Δύο μέθοδοι διερεύνησης εφαρμόστηκαν: μία μέθοδος που χρησιμοποιεί τα κέντρα και τις υποδιαιρέσεις (για τα θραύσματα που διασώζουν τα κέντρα των σπειρών) και μία που χρησιμοποιεί μόνο τις υποδιαιρέσεις (για τα θραύσματα που διασώζουν μόνο τμήματα των σπειρών).

2.2.2.2 Διερεύνηση των σπειρών με βάση τα κέντρα και τις υποδιαιρέσεις

Για κάθε σπείρα, 2 μεγέθη μετρήθηκαν: (α) η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα σε δύο γραμμές που ξεκινούν από το κέντρο του δείκτη, από τις οποίες η μία περνάει από την πρώτη υποδιαίρεση της σπείρας (δηλαδή τον κάθετο άξονα της σπείρας) και η άλλη περνάει από κάποιες ευδιάκριτες διαχωριστικές γραμμές των υποδιαιρέσεων – γωνία η οποία από εδώ και στο εξής θα αναφέρεται ως γωνία του κέντρου του δείκτη ή «κ_δ γωνία» και (β) η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα σε δύο γραμμές που ξεκινούν από το άλλο κέντρο της κάθε σπείρας (δηλαδή το κέντρο πιο ψηλά για τη σπείρα του Μέτωνα και το κέντρο πιο χαμηλά για τη σπείρα του Σάρου) από τις οποίες η μία πάλι περνάει από την πρώτη υποδιαίρεση της σπείρας και η άλλη περνάει από κάποιες ευδιάκριτες διαχωριστικές γραμμές των υποδιαιρέσεων – γωνία η οποία από εδώ και στο εξής θα αναφέρεται ως «κ_ψ γωνία» για τη σπείρα του Μέτωνα και ως «κ_χ γωνία» για τη σπείρα του Σάρου. Όλες οι γωνίες έχουν μετρηθεί σε μοίρες (°). Οι γωνίες αυτές συγκρίθηκαν με την «ιδανική γωνία», τη θεωρητική δηλαδή γωνία στην οποία θα έπρεπε να βρίσκονται οι υποδιαιρέσεις, γωνία η οποία υπολογίστηκε με βάση το ότι (α) για τη σπείρα του Μέτωνα οι 235 υποδιαιρέσεις αντιστοιχούν σε 5×360° (δηλ. 7.65957° ανά υποδιαίρεση) και (β) για τη σπείρα του

Σάρος οι 223 υποδιαιρέσεις αντιστοιχούν σε 4×360° (δηλ. 6.45740° ανά υποδιαίρεση).

Για την εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν τομογραφίες του θραύσματος Β για τη σπείρα του Μέτωνα ενώ για τη σπείρα του Σάρος μια εικόνα PTM της πίσω πλευράς του θραύσματος Α (αυτή η μέθοδος δεν θα μπορούσε να εφαρμοστεί και στα άλλα δύο θραύσματα της κάτω σπείρας (θραύσματα Ε και F) καθώς το κέντρο της σπείρας διατηρείται στο θραύσμα Α). Για την ακριβή τοποθέτηση του δεύτερου κέντρου της κάτω σπείρας (δηλ. του πιο χαμηλού κέντρου), η εικόνα PTM βαθμονομήθηκε χρησιμοποιώντας μετρήσεις που έγιναν στο θραύσμα Α με το πρόγραμμα VGStudio Max 2.0. Η διαχωριστική γραμμή 1 είναι πάντοτε η πρώτη γραμμή κάθε σπείρας ενώ οι γωνίες μετριούνται πάντοτε σύμφωνα με τη φορά των δεικτών του ρολογιού.

2.2.2.2.1 Αποτελέσματα – Η σπείρα του Μέτωνα

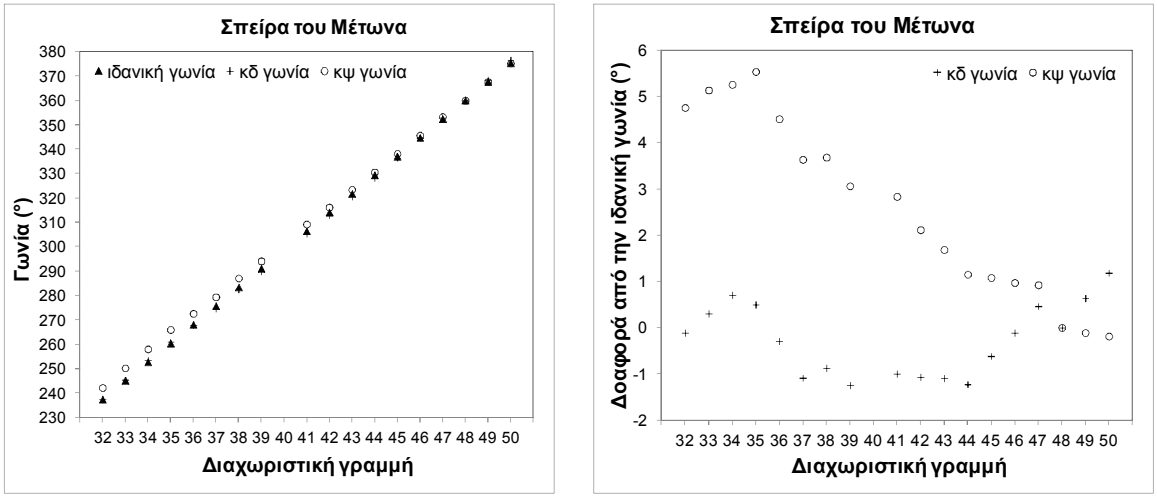
Από τη σπείρα του Μέτωνα διατηρούνται κυρίως οι υποδιαιρέσεις του δεξιού τμήματος, τμήματος που, όπως αποδείχθηκε παραπάνω, σχεδιάστηκε από το κέντρο του δείκτη. Η μέθοδος ανάλυσης της §2.2.2.2 επομένως θα πρέπει κανονικά να επιβεβαιώσει ότι το κέντρο στο οποίο δείχνουν όλες οι διαχωριστικές γραμμές των δεξιών υποδιαιρέσεων είναι πράγματι το κέντρο του δείκτη.

Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν οι διαχωριστικές γραμμές 32 έως 50 με εξαίρεση τη γραμμή 40 που παραλήφθηκε καθώς είναι δυσδιάκριτη. Ο Πίνακας 2.2 εμφανίζει τις μετρήσεις των τριών γωνιών που αναφέρθηκαν στην §2.2.2.2.

Στην εικόνα 2.12 παρουσιάζεται το διάγραμμα των ιδανικών, κ_δ και κ_ψ γωνιών ως προς τις διαχωριστικές γραμμές των υποδιαιρέσεων. Οι τιμές της κ_δ γωνίας βρίσκονται πολύ κοντά στις αντίστοιχες της ιδανικής ενώ οι τιμές της κ_ψ γωνίας δείχνουν συστηματικές αποκλίσεις. Οι αποκλίσεις γίνονται ακόμη πιο ευδιάκριτες εάν κανείς υπολογίσει τις διαφορές των κ_δ και κ_ψ γωνιών από την ιδανική γωνία (δεξί διάγραμμα στην εικόνα 2.12). Η κλίση των διαφορών της κ_δ γωνίας από την ιδανική γωνία είναι πρακτικά μηδενική ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο και με τις διαφορές της κ_ψ γωνίας. Η ανάλυση επομένως επιβεβαιώνει ξεκάθαρα τη σχεδίαση των διαχωριστικών γραμμών των υποδιαιρέσεων του δεξιού τμήματος της σπείρας του Μέτωνα από το κέντρο του δείκτη.

Πίνακας 2.2: Η ιδανική, η κ_δ και κ_ψ γωνία για τη σπείρα του Μέτωνα.

# διαχωριστικής γραμμής	**Ιδανική γωνία (°)**	**κ_δ γωνία (°)**	**κ_ψ γωνία (°)**
32	237.45	237.34	242.20
33	245.11	245.41	250.24
34	252.77	253.47	258.02
35	260.43	260.92	265.96
36	268.09	267.80	272.60
37	275.74	274.65	279.37
38	283.40	282.52	287.08
39	291.06	289.81	294.12
41	306.38	305.38	309.21
42	314.04	312.97	316.15
43	321.70	320.60	323.38
44	329.36	328.13	330.51
45	337.02	336.40	338.10
46	344.68	344.57	345.65
47	352.34	352.80	353.26
48	360.00	360.00	360.00
49	367.66	368.29	367.55
50	375.32	376.50	375.13



Εικ.2.12: Αποτελέσματα για τη σπείρα του Μέτωνα. *Αριστερά*: Διάγραμμα των ιδανικών, κ_δ και κ_ψ γωνιών ως προς τις διαχωριστικές γραμμές. *Δεξιά*: Διάγραμμα των διαφορών από την ιδανική γωνία των κ_δ και κ_ψ γωνιών.

2.2.2.2.2 Αποτελέσματα – Η σπείρα του Σάρος

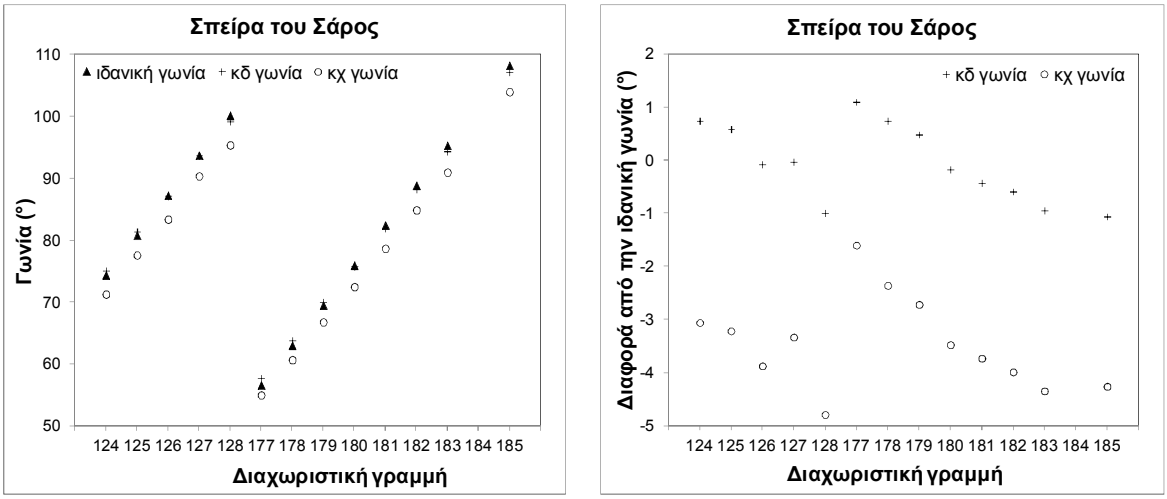
Από τη σπείρα του Σάρος διατηρούνται μόνο οι υποδιαιρέσεις του δεξιού τμήματος (εικόνα 2.7), τμήμα το οποίο είδαμε παραπάνω ότι σχεδιάστηκε από το δεύτερο κέντρο που βρίσκεται 4.5 mm (σε πραγματικές διαστάσεις) πιο χαμηλά από το κέντρο του δείκτη. Επομένως, για τη σπείρα αυτή, η μέθοδος ανάλυσης της §2.2.2.2 επιχειρεί να ελέγξει εάν το κέντρο στο οποίο έχουν σχεδιαστεί να δείχνουν όλες οι διαχωριστικές γραμμές των δεξιών υποδιαιρέσεων δεν είναι το κέντρο από το οποίο σχεδιάστηκαν τα δεξιά ημικύκλια αλλά το κέντρο του δείκτη, αποδεικνύοντας έτσι τη σκοπιμότητα του μηχανικού να αποφύγει με τον τρόπο αυτό τη δημιουργούμενη εκκεντρότητα. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν οι διαχωριστικές γραμμές που είναι ορατές στην επιφάνεια της πίσω πλευράς του θραύσματος Α. Ο Πίνακας 2.3 εμφανίζει τις μετρήσεις των τριών γωνιών για τις ορατές διαχωριστικές γραμμές της τρίτης και τέταρτης περιέλιξης της σπείρας (διαχωριστικές γραμμές 124-128 και 177-185). Η διαχωριστική γραμμή 184 παραλήφθηκε καθώς δεν είναι ορατή με ευκρίνεια. Για την αποφυγή δημιουργίας επιμηκυμένων διαγραμμάτων, έχουν υπολογισθεί οι τιμές της ιδανικής, της κ_δ και κ_χ γωνίας χωρίς τα πολλαπλάσια των 360° (N*360°).

Πίνακας 2.3: Η ιδανική, η κ_δ και κ_χ γωνία για τη σπείρα του Σάρος.

# διαχωρι-στικής γραμμής	**Ιδανική γωνία (°)**	**Ιδανική γωνία (°) χωρίς N*360**	**κ_δ γωνία (°)**	**κ_δ γωνία (°) χωρίς N*360**	**κ_χ γωνία (°)**	**κ_χ γωνία (°) χωρίς N*360**
124	794.26	74.26	795.00	75.00	791.20	71.20
125	800.72	80.72	801.30	81.30	797.50	77.50
126	807.17	87.17	807.10	87.10	803.30	83.30
127	813.63	93.63	813.60	93.60	810.30	90.30
128	820.09	100.09	819.10	99.10	815.30	95.30
177	1136.50	56.50	1137.60	57.60	1134.90	54.90
178	1142.96	62.96	1143.70	63.70	1140.60	60.60
179	1149.42	69.42	1149.90	69.90	1146.70	66.70
180	1155.87	75.87	1155.70	75.70	1152.40	72.40
181	1162.33	82.33	1161.90	81.90	1158.60	78.60
182	1168.79	88.79	1168.20	88.20	1164.80	84.80
183	1175.25	95.25	1174.30	94.30	1170.90	90.90
185	1188.16	108.16	1187.10	107.10	1183.90	103.90

Τα διαγράμματα της εικόνας 2.13 δείχνουν τις τιμές της κ_δ γωνίας να βρίσκονται πολύ πιο κοντά στις τιμές της ιδανικής γωνίας απ' ότι οι τιμές της κ_χ γωνίας επιβεβαιώνοντας έτσι την υπό εξέταση υπόθεση, ότι δηλαδή το κέντρο των διαχωριστικών γραμμών των υποδιαιρέσεων του δεξιού τμήματος της σπείρας του

Σάρου είναι το κέντρο του δείκτη κι επομένως χάρη στην εφευρετικότητα του μηχανικού δεν τίθεται θέμα εκκεντρότητας στην ανάγνωση των ενδείξεων του δείκτη.



Εικ.2.13: Αποτελέσματα για τη σπείρα του Σάρος. *Αριστερά*: Διάγραμμα των ιδανικών, κ_δ και κ_χ γωνιών ως προς τις διαχωριστικές γραμμές. *Δεξιά*: Διάγραμμα των διαφορών από την ιδανική γωνία των κ_δ και κ_χ γωνιών.

2.2.2.3 Διερεύνηση της σπείρας του Σάρος με βάση τις υποδιαιρέσεις

2.2.2.3.1 Ανάλυση χρησιμοποιώντας το θραύσμα F

Η σάρωση του θραύσματος F από τις ακτίνες X, θραύσμα το οποίο εξωτερικά είναι σχεδόν ολοκληρωτικά απολιθωμένο, αποκάλυψε τη διατήρηση σε εξαιρετική κατάσταση ενός μεγάλου τμήματος της σπείρας του Σάρου. Το τμήμα αυτό αποτελεί συνέχεια του τμήματος της σπείρας που διατηρείται στο θραύσμα A συμπληρώνοντας το δεξί τμήμα της σπείρας κατά περίπου επιπλέον ¼ (εικόνα 1.15). Το θραύσμα F διασώζει επίσης την κάτω δεξιά γωνία της πίσω πλάκας του Μηχανισμού, διευκολύνοντας πολύ την ακριβή επανατοποθέτηση του τμήματος της σπείρας που διατηρείται στη σωστή (αρχική) του θέση.

Καθώς το κέντρο της σπείρας του Σάρου διατηρείται στο θραύσμα A κι όχι στο θραύσμα F, δύο μέθοδοι ανάλυσης εφαρμόστηκαν στο θραύσμα F ώστε να ελεγχθεί εάν οι διαχωριστικές γραμμές των υποδιαιρέσεων κι αυτού του θραύσματος δείχνουν να έχουν σχεδιαστεί από το κέντρο του δείκτη ή από το δεύτερο, πιο χαμηλά, κέντρο της σπείρας: η ανάλυση που καθορίζει το κέντρο από το οποίο σχεδιάστηκαν οι περιελίξεις του δεξιού τμήματος της σπείρας κι η ανάλυση που καθορίζει το κέντρο στο οποίο δείχνουν οι διαχωριστικές γραμμές των υποδιαιρέσεων. Οποιαδήποτε ανάλυση του θραύσματος F που να βασίζεται στην επανατοποθέτησή του ως προς το θραύσμα A και τη μετέπειτα χρήση του κέντρου της σπείρας από το θραύσμα A αποφεύχθηκε καθώς είναι αβέβαιο το πώς ακριβώς τα δύο θραύσματα εφαρμόζουν (παράγοντες όπως η αναλογία των διαστάσεων, ο προσανατολισμός και η θέση θα

πρέπει να ληφθούν) ενώ επιπλέον οι περιελίξεις του θραύσματος Α είναι αρκετά κατεστραμμένες, καθιστώντας ακόμα περισσότερο αβέβαιη την σωστή εφαρμογή των δύο τμημάτων της σπείρας.

Και οι δύο μέθοδοι ανάλυσης εφαρμόστηκαν σε μια σειρά τομογραφιών του θραύσματος F, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως εικόνες. Η αρχή του συστήματος των συντεταγμένων βρίσκεται πάντα στην επάνω αριστερή γωνία των εικόνων και η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με όλες τις μονάδες να αναφέρονται στο μέγεθος των εικόνων. Οι μονάδες που αναφέρονται παρακάτω αναφέρονται στις πραγματικές διαστάσεις του θραύσματος F και υπολογίστηκαν μετά την εύρεση της κλίμακας των φωτογραφιών (δηλαδή του συντελεστή αναλογίας ανάμεσα στις φωτογραφίες και στο θραύσμα F).

Α. *Το κέντρο των περιελίξεων*

Για την εύρεση του κέντρου των περιελίξεων, καταγράφηκαν οι (x_i, y_i) συντεταγμένες αρκετών (εσωτερικών ή εξωτερικών) σημείων των περιελίξεων (όπου είναι ευδιάκριτη η άκρη (το χείλος) της περιέλιξης). Για κάθε περιέλιξη περίπου καταγράφηκαν 5 σημεία.

Χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες αυτές και εφαρμόζοντας την επαναληπτική μέθοδο Solver[11], που παρέχεται μέσα από το λογισμικό Excel, το κέντρο των περιελίξεων του θραύσματος F υπολογίστηκε ότι βρίσκεται στο σημείο (47.13 mm, 35.39 mm). Ως ρυθμιζόμενες μεταβλητές για το Solver ορίστηκαν οι συντεταγμένες του κέντρου (x_{wc}, y_{wc}) και οι ακτίνες των περιελίξεων (r_w). Η θέση όλων των σημείων (i) ορίστηκε με βάση τη θέση του κέντρου των περιελίξεων ($x_{i,w}$-x_{wc}, $y_{i,w}$-y_{wc}), όλα τα σημεία μιας περιέλιξης ορίστηκαν να έχουν την ίδια ακτίνα (r_w) (αφού πρόκειται για σπείρα ημικυκλίων όπως αποδείχθηκε στην §2.2.1.3) ενώ το σφάλμα υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$\sqrt{\left(x_{i,w}-x_{wc}\right)^2+\left(y_{i,w}-y_{wc}\right)^2}-r_w \qquad (2\text{-}2)$$

Το σφάλμα (ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος) του υπολογισμού του κέντρου, μετά την εφαρμογή της μεθόδου, ήταν ίσο με 0.047 mm.

Η ανάλυση επαναλήφθηκε και δεύτερη φορά με διαφορετικό σετ (x_i, y_i) συντεταγμένων των περιελίξεων και το νέο κέντρο υπολογίστηκε ότι βρίσκεται στο σημείο (47.12 mm, 35.34 mm) (Πίνακας 2.4), επαληθεύοντας την ορθότητα των υπολογισμών. Το σφάλμα του υπολογισμού του νέου αυτού κέντρου ήταν ίσο με 0.055 mm.

[11] Η μέθοδος Solver βρίσκει τη βέλτιστη τιμή για ένα μέγεθος σε ένα κελί (που ονομάζεται το κελί-στόχος) μεταβάλλοντας τις τιμές σε ορισμένα κελιά (τα ρυθμιζόμενα κελιά).

Πίνακας 2.4: Τα κέντρα των περιελίξεων και τα κέντρα των διαχωριστικών γραμμών των υποδιαιρέσεων, τα οποία υπολογίστηκαν με τη βοήθεια της μεθόδου Solver.

Τύπος κέντρου	**Μέτρηση**	**Υπολογισμένο κέντρο**	**Σφάλμα**
Κέντρο περιελίξεων	Μετρήσεις 1	(47.13 mm, 35.39 mm)	0.047 mm
	Μετρήσεις 2	(47.12 mm, 35.34 mm)	0.055 mm
Κέντρο διαχωριστικών γραμμών υποδιαιρέσεων	Μετρήσεις 1	(47.13 mm, 32.30 mm)	2.155 mm
	Μετρήσεις 2	(47.13 mm, 32.39 mm)	2.258 mm

Β. *Το κέντρο των διαχωριστικών γραμμών των υποδιαιρέσεων*

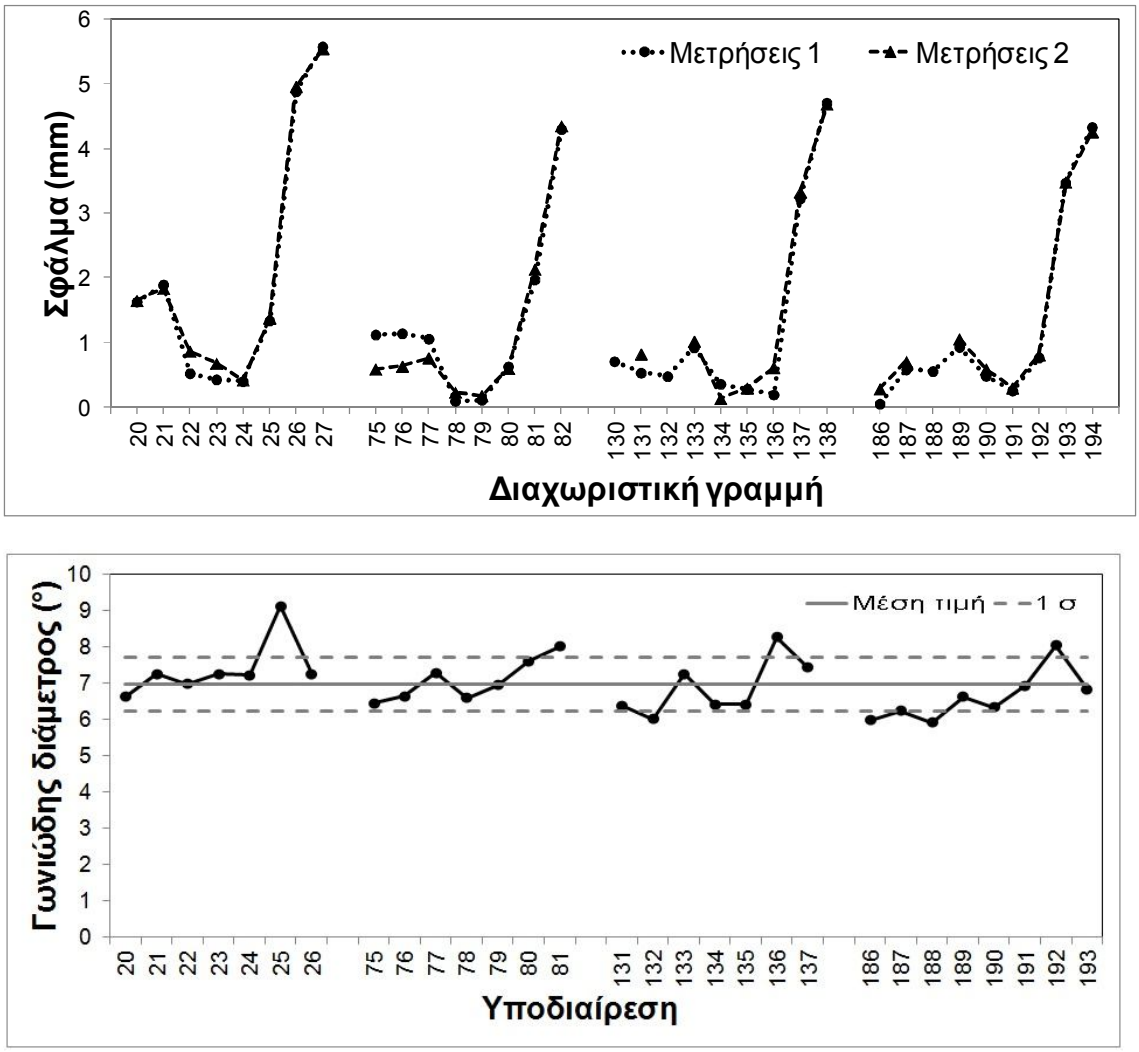
Χρησιμοποιώντας το ίδιο σετ τομογραφιών του θραύσματος F και εφαρμόζοντας πάλι την μέθοδο Solver, υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες (x_{dc}, y_{dc}) του κέντρου στο οποίο δείχνουν να συγκλίνουν οι διαχωριστικές γραμμές των υποδιαιρέσεων. Για την εύρεση του κέντρου αυτού, καταγράφηκαν οι (x_i, y_i) συντεταγμένες των σημείων τομής των διαχωριστικών γραμμών με την εξωτερική πλευρά του διάκενου και όπως και για το προηγούμενο κέντρο, καταγράφηκαν δύο διαφορετικά σετ των συντεταγμένων αυτών ώστε να μπορούν να συγκριθούν τα αποτελέσματα. Τα μη ευδιάκριτα σημεία τομής παρελήφθησαν από τους υπολογισμούς (ιδιαίτερα στο δεύτερο σετ συντεταγμένων).

Χρησιμοποιώντας το πρώτο σετ συντεταγμένων, υπολογίστηκε ότι το κέντρο στο οποίο συγκλίνουν οι διαχωριστικές γραμμές των υποδιαιρέσεων βρίσκεται στο σημείο (47.13 mm, 32.30 mm). Με το δεύτερο σετ συντεταγμένων, το αντίστοιχο κέντρο βρέθηκε στο σημείο (47.13 mm, 32.39 mm). Η τετμημένη x_{dc} του κέντρου αυτού ορίστηκε να ίση με την τετμημένη x_{wc} του κέντρου των περιελίξεων που βρέθηκε στην παραπάνω ανάλυση καθώς και τα δύο κέντρα αναμένονται να βρίσκονται στον κάθετο άξονα της σπείρας (το σετ των χρησιμοποιούμενων εικόνων οριζοντιώθηκε σωστά χρησιμοποιώντας την κάτω δεξιά γωνία του θραύσματος F). Ως ρυθμιζόμενες μεταβλητές για το Solver ορίστηκαν οι συντεταγμένες του κέντρου σύγκλισης των διαχωριστικών γραμμών των υποδιαιρέσεων (x_{dc}, y_{dc}). Η θέση όλων των σημείων τομής (i) που χρησιμοποιήθηκαν ορίστηκε με βάση τη θέση του κέντρου σύγκλισης (x_i-x_{dc}, y_i-y_{dc}) ενώ το σφάλμα υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$\left(180° - \tan^{-1}\left(\frac{x_i - x_{dc}}{y_i - y_{dc}}\right)\right) - theta_{\text{ideal}} \qquad (2\text{-}3)$$

όπου $theta_{\text{ideal}}$ είναι η ιδανική γωνία κάθε γραμμής υποδιαίρεσης ((i-1)×6.45740°). Ο Πίνακας 2.4 συνοψίζει τα κέντρα που βρέθηκαν και για τις δύο περιπτώσεις μαζί με τα σφάλματά τους.

Τα σφάλματα (ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος) από την εφαρμογή της μεθόδου για το κέντρο αυτό είναι αρκετά μεγάλα (περίπου 2.2 mm). Το διάγραμμα των σφαλμάτων για κάθε διαχωριστική γραμμή (επάνω διάγραμμα της εικόνας 2.14)



Εικ.2.14: Επάνω: Διάγραμμα του σφάλματος της κάθε διαχωριστικής γραμμής των υποδιαιρέσεων του θραύσματος F κατά την εφαρμογή της μεθόδου Solver για την εύρεση του κέντρου σύγκλισης των διαχωριστικών γραμμών των υποδιαιρέσεων (και από τα δύο σετ μετρήσεων που ελήφθησαν). Κάτω: Διάγραμμα της γωνιώδους διαμέτρου των υποδιαιρέσεων του θραύσματος F. Στο διάγραμμα αυτό έχουν σχεδιαστεί η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση (1σ). (Προσοχή στη διαφοροποίηση των οριζόντιων αξόνων των δύο διαγραμμάτων: οι αριθμοί στο άνω διάγραμμα αναφέρονται στις διαχωριστικές γραμμές με τη γραμμή 1 να είναι η πρώτη γραμμή της σπείρας, ενώ οι αριθμοί στο κάτω διάγραμμα αναφέρονται στις υποδιαιρέσεις με την υποδιαίρεση N να εκτείνεται από την διαχωριστική γραμμή N έως την N+1).

δείχνει ότι τα μεγάλα σφάλματα προέρχονται από τις μετρήσεις στο τέλος κάθε περιέλιξης. Υπολογίζοντας τη γωνιώδη διάμετρο[12] (angular width) της κάθε υποδιαίρεσης του θραύσματος F (κάτω διάγραμμα της εικόνας 2.14), γίνεται φανερό ότι αυτές οι υποδιαιρέσεις στο τέλος των περιελίξεων (κυρίως οι υποδιαιρέσεις 25, 81, 136 και 192) έχουν μεγαλύτερο πλάτος σε σχέση με τις υπόλοιπες της σπείρας. Καθώς το θραύσμα F δεν φαίνεται να έχει παραμορφωθεί καθόλου, τα διαγράμματα

[12] Μετρώντας το μήκος της χορδής της κάθε υποδιαίρεσης και χρησιμοποιώντας τις μέσες ακτίνες των περιελίξεων της §2.2.1

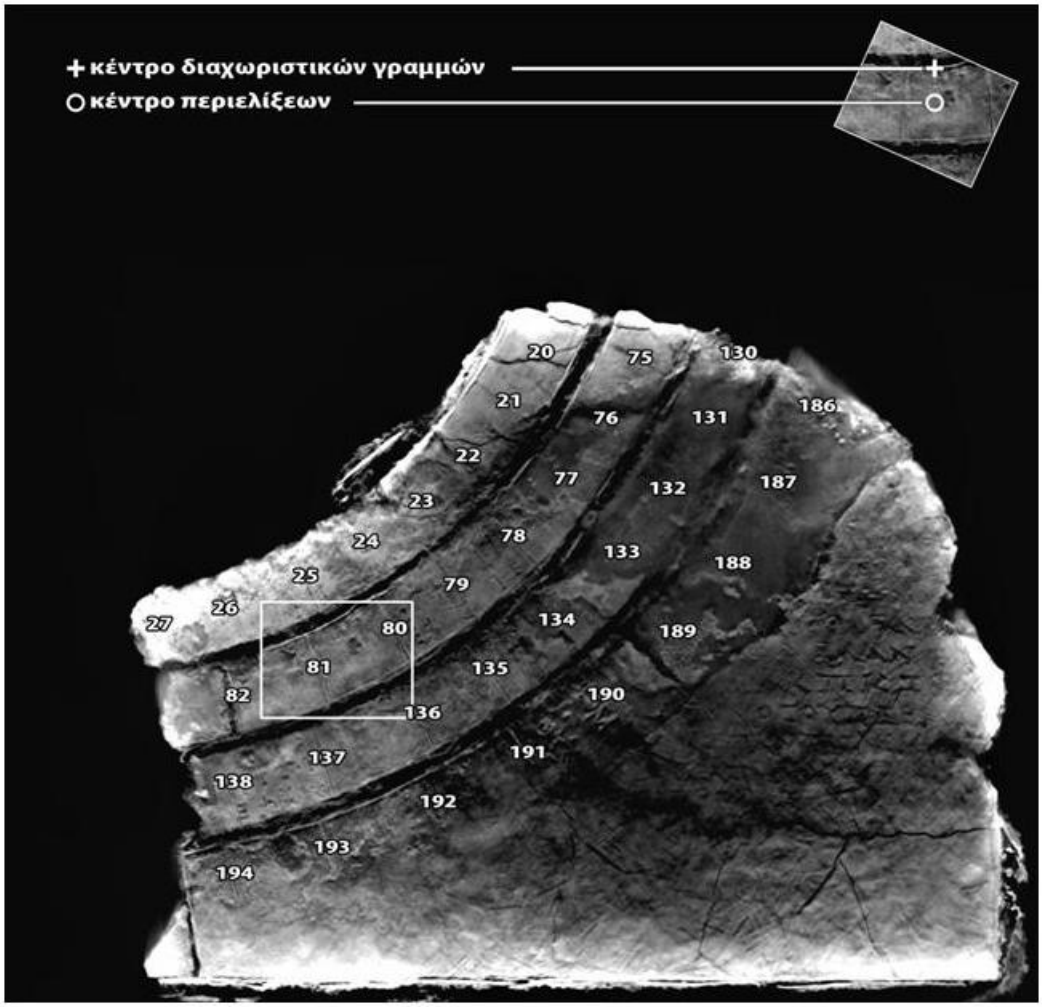
της εικόνας 2.14 πιθανότατα αντικατοπτρίζουν σφάλματα στην κατασκευή των διαχωριστικών γραμμών των υποδιαιρέσεων[13]. Η εφαρμογή της μεθόδου Solver επαναλήφθηκε μετά την αφαίρεση αυτών των υποδιαιρέσεων και τα νέα κέντρα που βρέθηκαν είχαν συντεταγμένες (47.13 mm, 31.91 mm) και (47.13 mm, 31.93 mm) αντίστοιχα, συντεταγμένες πολύ κοντά στα κέντρα που βρέθηκαν προηγουμένως (επομένως το κέντρο σύγκλισης δεν επηρεάζεται από τα σφάλματα αυτά). Τα νέα σφάλματα (ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος) ήταν μικρά (περίπου 0.7 mm).

Γ. *Η απόσταση των δύο υπολογισμένων τύπων κέντρων – Συμπεράσματα*

Η εικόνα 2.15 παρουσιάζει μία από τις εικόνες των τομογραφιών που χρησιμοποιήθηκαν για τις παραπάνω αναλύσεις του θραύσματος F μαζί με τη θέση των δύο κέντρων που υπολογίστηκαν. Όπως γίνεται εμφανές, τα δύο κέντρα δεν συμπίπτουν. Στις §2.2.1.3 και §2.2.2.2.2 αποδείχθηκε ότι το κέντρο των περιελίξεων (*wc*) του δεξιού τμήματος της σπείρας του Σάρου είναι το δεύτερο κέντρο της σπείρας που βρίσκεται πιο χαμηλά από το κέντρο του δείκτη. Εάν το κέντρο στο οποίο συγκλίνουν οι διαχωριστικές γραμμές των υποδιαιρέσεων (*dc*) βρίσκεται πιο ψηλά από το κέντρο των περιελίξεων σε απόσταση ίση με τη μέση μισή απόσταση ανάμεσα στις περιελίξεις της σπείρας, τότε το κέντρο αυτό σύγκλισης ταυτίζεται με το κέντρο του δείκτη. Για τον έλεγχο της υπόθεσης αυτής, ένα μικρό τμήμα περιέλιξης αντιγράφηκε και επικολλήθηκε πίσω από τα δύο κέντρα, όπως εικονίζεται στην μικρή ένθετη εικόνα της εικόνας 2.15. Τα δύο κέντρα απέχουν πραγματικά σχεδόν ακριβώς κατά τη μισή απόσταση ανάμεσα στις περιελίξεις, επιβεβαιώνοντας επομένως το συμπέρασμα της §2.2.2.2.2 ότι οι διαχωριστικές γραμμές του δεξιού τμήματος της σπείρας του Σάρου έχουν σχεδιαστεί να συγκλίνουν στο κέντρο του δείκτη (κι όχι στο κέντρο των περιελίξεων) αποτρέποντας έτσι τη δημιουργία προβλημάτων εκκεντρότητας στην ανάγνωση των ενδείξεων του δείκτη.

Με βάση τους υπολογισμούς που αναφέρθηκαν παραπάνω, το κέντρο των διαχωριστικών γραμμών των υποδιαιρέσεων (*dc*) βρίσκεται 35.39 – 32.30 = 3.09 mm πιο ψηλά από το κέντρο των περιελίξεων (*wc*). Η απόσταση αυτή διαφέρει από την υπολογισμένη μέση μισή απόσταση (ανάμεσα στα ημικύκλια της σπείρας του Σάρου) των 4.5 mm που αναφέρθηκε στην §2.2.1.3 και η διαφορά οφείλεται στη βαθμονόμηση των δύο θραυσμάτων (A και F) κατά τη λήψη των τομογραφιών τους το 2005. Η μέση μισή απόσταση ανάμεσα στα ημικύκλια της σπείρας του Σάρου όπως μετριέται στο θραύσμα F με το λογισμικό VGStudio Max 2.0 είναι περίπου 4.0 mm. Η απόσταση των 3.09 mm που βρέθηκε παραπάνω είναι αρκετά κοντά στη μέση απόσταση των 4.0 mm, όπως επιβεβαιώνεται άλλωστε και από την εικόνα 2.15.

[13] Τα σφάλματα αυτά μπορεί να οφείλονται στον χαράκτη ή θα μπορούσαν ίσως να δικαιολογηθούν εάν για τη διαμόρφωση των υποδιαιρέσεων της σπείρας του Σάρου χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος ο Μηχανισμός, όπως διατύπωσαν οι Freeth *et al.* (2006), καθώς τέτοιες ανακρίβειες θα μπορούσαν να δημιουργηθούν από το σύστημα γραναζιών.

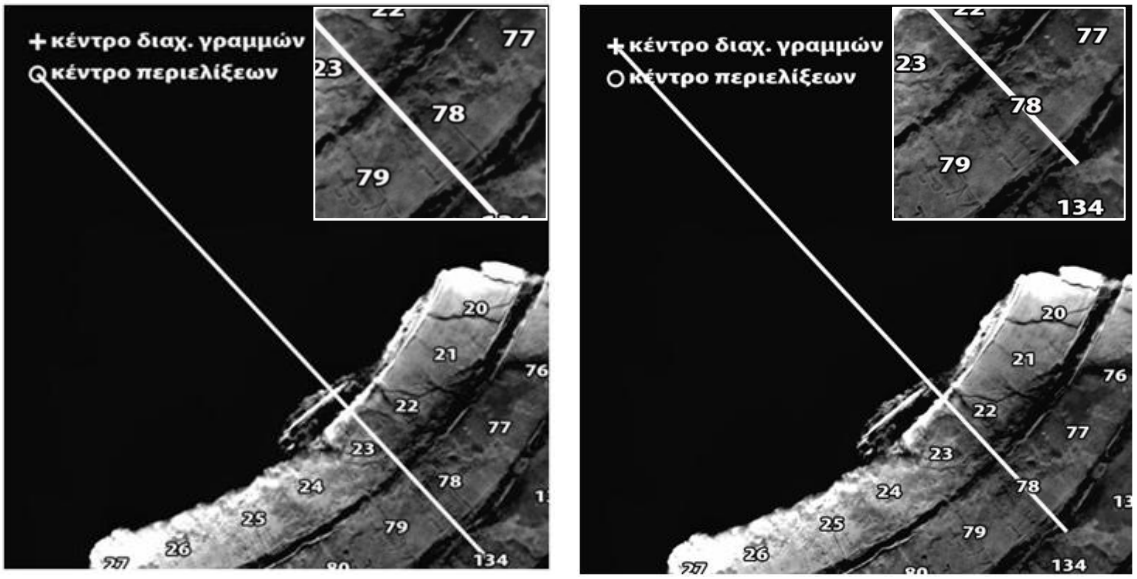


Εικ.2.15: Τομογραφία όπου φαίνεται το τμήμα της σπείρας του Σάρου που διατηρείται στο θραύσμα F με αριθμημένες τις υποδιαιρέσεις. Η ένθετη εικόνα δείχνει ένα τμήμα της σπείρας το οποίο περιστράφηκε έτσι ώστε οι υποδιαιρέσεις να γίνουν οριζόντιες. Η απόσταση ανάμεσα στο κέντρο των περιελίξεων και στο κέντρο των διαχωριστικών γραμμών των υποδιαιρέσεων είναι σχεδόν ίση με τη μέση μισή απόσταση ανάμεσα στις περιελίξεις της σπείρας. Η αρχή του συστήματος συντεταγμένων δεν είναι ορατή καθώς η εικόνα έχει κοπεί.

Δ. *Γραφική επιβεβαίωση*

Οι παρακάτω εικόνες 2.16 και 2.17 αποτελούν έναν γραφικό τρόπο απόδειξης του αποτελέσματος που προέκυψε με την παραπάνω μέθοδο της ανάλυσης για το θραύσμα F. Εάν το κέντρο των διαχωριστικών γραμμών των υποδιαιρέσεων ταυτιζόταν με το κέντρο των περιελίξεων, τότε μια γραμμή σχεδιασμένη από το κέντρο των περιελίξεων κατά γωνία ίση με την ιδανική γωνία μιας διαχωριστικής γραμμής (π.χ. για τη διαχωριστική γραμμή 78 κατά γωνία (78-1)* 6.45740° ≈ 497.22°) θα έπρεπε να περνάει από τη συγκεκριμένη διαχωριστική γραμμή, πράγμα το οποίο δεν συμβαίνει ξεκάθαρα όπως φαίνεται στην εικόνα 2.16. Η σχεδιασμένη γραμμή βρίσκεται ξεκάθαρα αριστερά της διαχωριστικής γραμμής 78. Εάν κανείς μετακινήσει τη σχεδιασμένη γραμμή επάνω ακριβώς στη διαχωριστική γραμμή 78,

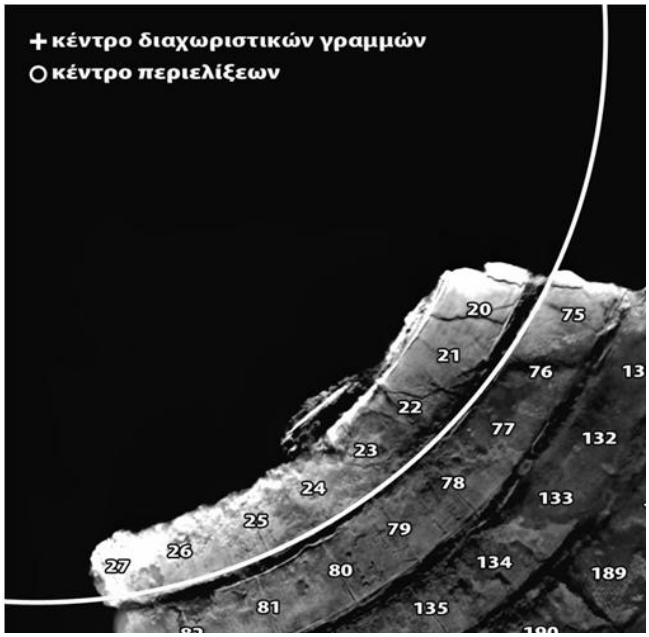
τότε βρίσκει το κέντρο των διαχωριστικών γραμμών (η σχεδιασμένη γραμμή περνάει τώρα από το κέντρο αυτό)[14].



Εικ.2.16: *Αριστερά*: Τομογραφία του θραύσματος F η οποία δείχνει πώς μια γραμμή σχεδιασμένη από το κέντρο των περιελίξεων υπό γωνία ίση με την ιδανική γωνία μιας διαχωριστικής γραμμής (της γραμμής 78 στην εικόνα) δεν περνάει από τη συγκεκριμένη διαχωριστική γραμμή (στην ένθετη εικόνα, εικονίζεται λεπτομέρεια της ίδιας εικόνας). *Δεξιά*: Η ίδια γραμμή, μετακινημένη έτσι ώστε να διέρχεται από τη διαχωριστική γραμμή, υποδεικνύει τη θέση του κέντρου σύγκλισης των διαχωριστικών γραμμών (στην ένθετη εικόνα εικονίζεται λεπτομέρεια της εικόνας αυτής). Credit: C.C. Carman

Εάν, από την άλλη πλευρά, το κέντρο των περιελίξεων ταυτιζόταν με το κέντρο των διαχωριστικών γραμμών των υποδιαιρέσεων, τότε ένα ημικύκλιο χαραγμένο από το κέντρο των διαχωριστικών γραμμών θα έπρεπε να εφάπτεται ακριβώς από όλα τα εσωτερικά ή όλα τα εξωτερικά σημεία του διάκενου. Η εικόνα 2.17 δείχνει ξεκάθαρα ότι δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο.

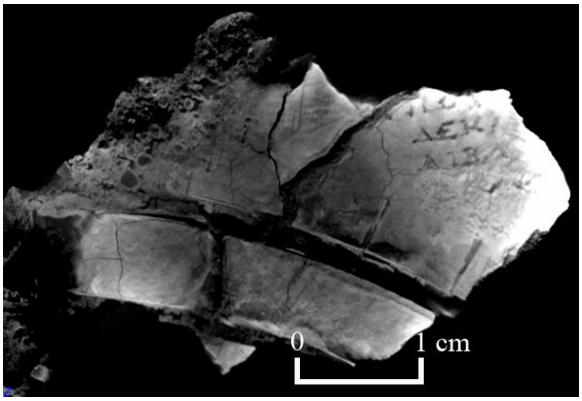
[14] Το ξεκάθαρο αυτό αποτέλεσμα για τη γραμμή 78 δεν είναι το ίδιο ξεκάθαρο με όλες τις διαχωριστικές γραμμές πάντως.



Εικ.2.17: Εικόνα του θραύσματος F η οποία δείχνει πώς ένα ημικύκλιο (λευκή γραμμή) σχεδιασμένο από το κέντρο των διαχωριστικών γραμμών των υποδιαιρέσεων δεν ταυτίζεται με όλα τα σημεία μιας περιέλιξης.

2.2.2.3.2 Ανάλυση χρησιμοποιώντας το θραύσμα Ε

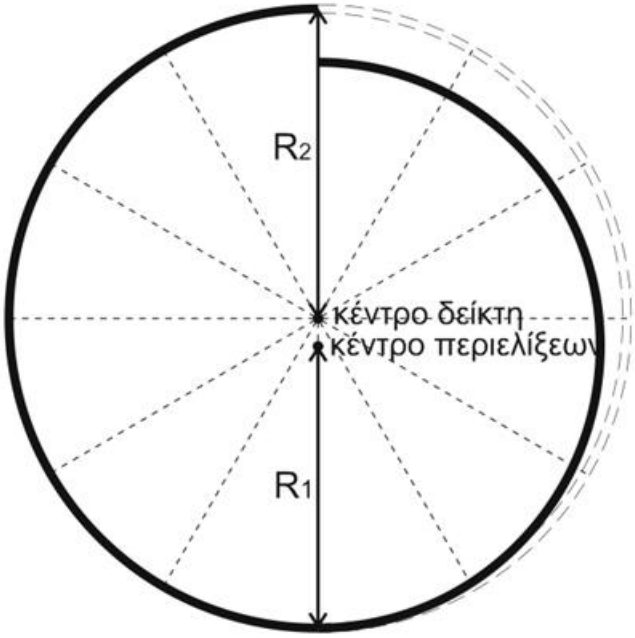
Η κατάσταση στην οποία διατηρείται το θραύσμα Ε δεν κατέστησε δυνατή την εφαρμογή και σε αυτό το θραύσμα της παραπάνω περιγραφείσας ανάλυσης του θραύσματος F. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.18, το θραύσμα Ε, παρά το μικρό του μέγεθος, έχει σπάσει σε 4 κομμάτια με μόνο 2-3 διαχωριστικές γραμμές υποδιαιρέσεων ανά κομμάτι. Επιπλέον, από τα κομμάτια αυτά, μόνο το πάνω δεξιά κομμάτι θα μπορούσε να αποκατασταθεί σωστά καθώς διασώζει κάποιες σειρές κειμένου που θα βοηθούσαν στον προσανατολισμό του. Διαθέτει όμως μόνο 2 διαχωριστικές γραμμές, πολύ μικρό αριθμό για οποιαδήποτε ανάλυση.



Εικ.2.18: Τομογραφία του θραύσματος Ε η οποία δείχνει τον διαχωρισμό του θραύσματος σε τέσσερα κομμάτια. Στο επάνω δεξιά τμήμα, διακρίνονται οι 2 διαχωριστικές γραμμές όπως και τμήμα του κειμένου που αναγράφεται.

2.2.2.4 Το μήκος των τόξων των υποδιαιρέσεων

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση της παραγράφου αυτής, πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι το τμήμα της σπείρας του Μέτωνα που έχει διασωθεί έχει ως κέντρο το κέντρο του δείκτη ενώ το αντίστοιχο τμήμα της σπείρας του Σάρου το κέντρο κάτω από το κέντρο του δείκτη. Η χρήση του κέντρου του δείκτη ως το κέντρο στο οποίο συγκλίνουν οι διαχωριστικές γραμμές των υποδιαιρέσεων των περιελίξεων που έχουν



Εικ.2.19: Σπείρα δύο ημικυκλίων η οποία δείχνει τα ίσα τόξα που έχουν σχεδιαστεί από το κέντρο του δείκτη (έντονο αριστερό ημικύκλιο και διακεκομμένο δεξιά ημικύκλιο (είδωλο του αριστερού ημικυκλίου)) και τα αυξανόμενα ολοένα (κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού) σε πλάτος τόξα του έντονου δεξιού ημικυκλίου που έχουν σχεδιαστεί από το κέντρο των περιελίξεων.

σχεδιαστεί από άλλο κέντρο (στην περίπτωση του Σάρου, του κέντρου πιο χαμηλά) δημιουργεί διαφορές στα τόξα των υποδιαιρέσεων (και στις γωνιώδεις διαμέτρους τους) του ημικυκλίου αυτού. Όπως δείχνει η εικόνα 2.19 (στην οποία για λόγους σαφήνειας και απλούστευσης, το κάθε ημικύκλιο έχει χωριστεί σε 6 υποδιαιρέσεις (κι όχι σε (223 / 4) / 2 ≈ 28 υποδιαιρέσεις), η γεωμετρία της κατασκευής του δεξιού τμήματος της σπείρας του Σάρος από το δεύτερο πιο χαμηλά κέντρο και της χάραξης των διαχωριστικών γραμμών των υποδιαιρέσεων έτσι ώστε να δείχνουν ότι συγκλίνουν στο κέντρο του δείκτη έχει σαν αποτέλεσμα οι υποδιαιρέσεις, καθώς σχεδιάζονται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού, να αυξάνουν ολοένα σε πλάτος. Τα ίσα τόξα των υποδιαιρέσεων ενός ημικυκλίου, τα οποία έχουν σχεδιαστεί από το κέντρο του δείκτη, (δηλαδή τα τόξα του αριστερού ημικυκλίου και του κατοπτρικού ειδώλου του στη δεξιά πλευρά (διπλή διακεκομμένη γραμμή)), μπορούν να υπολογιστούν από την εξίσωση:

$$S_2 = \frac{\theta \cdot \pi \cdot R_2}{180} \tag{2-4}$$

όπου θ (σε °) είναι η κεντρική γωνία κάθε τόξου και R_2 η ακτίνα αυτού του ημικυκλίου ενώ τα αυξανόμενα τόξα των υποδιαιρέσεων του πρώτου δεξιά ημικυκλίου, τα οποία έχουν σχεδιαστεί από το κέντρο των περιελίξεων αλλά έτσι ώστε να συγκλίνουν στο κέντρο του δείκτη, υπολογίζονται από την εξίσωση:

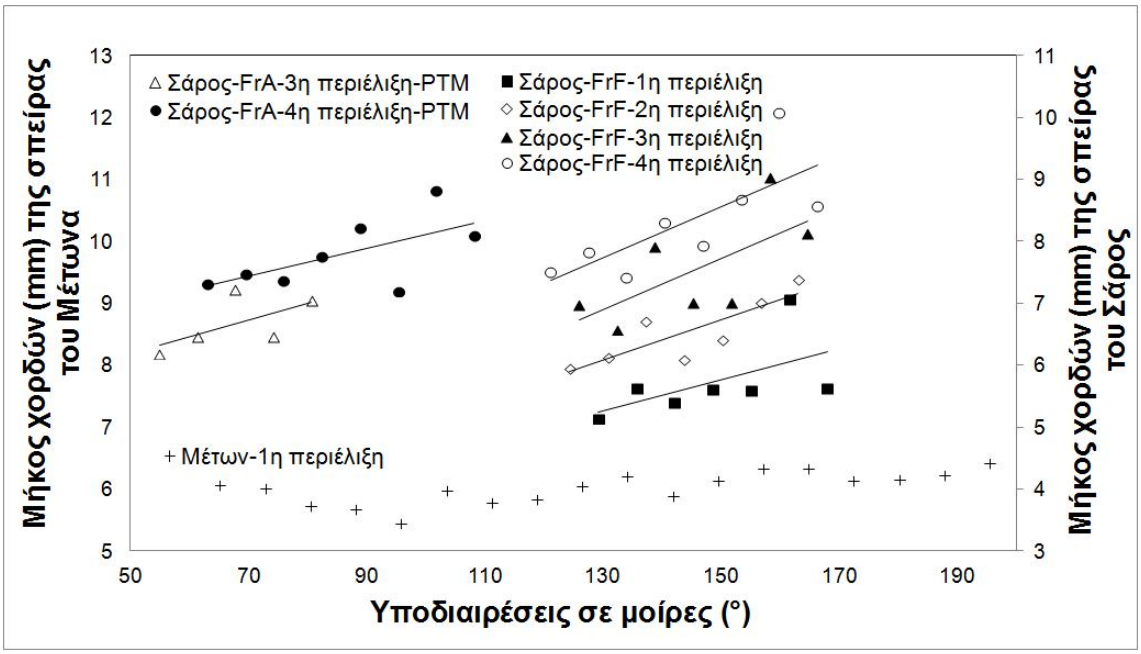
$$S_1 = \int \sqrt{\frac{R_1^2}{R_1^2 - x^2}} dx \Rightarrow S_1 = R_1 \arctan\left(\frac{x}{\sqrt{R_1^2 - x^2}}\right) \tag{2-5}$$

όπου R_1 η ακτίνα αυτού του ημικυκλίου. Η παραπάνω εξίσωση (2-3) μπορεί εύκολα να παραχθεί θέτοντας το κέντρο των συντεταγμένων (0,0) στο κέντρο του δείκτη και ορίζοντας τις εξισώσεις των δύο ημικυκλίων (C_1 για το δεξί ημικύκλιο και C_2 για το αριστερά) ως εξής:

$$C_1 :\ x^2 + \left[y + \left(R_2 - R_1\right)\right]^2 = R_1^2 \text{ και } C_2 :\ x^2 + y^2 = R_2^2 \tag{2-6}$$

Για να ελεγχθεί το παραπάνω αναμενόμενο αποτέλεσμα, αποτέλεσμα το οποίο θα επιβεβαιώσει ανεξάρτητα το αποτέλεσμα της §2.2.2.2 και της §2.2.2.3, έγιναν μετρήσεις των χορδών[15] όλων των ευδιάκριτων υποδιαιρέσεων του θραύσματος A και του θραύσματος F, όπως επίσης και των υποδιαιρέσεων της σπείρας του Μέτωνα, σπείρα για την οποία αναμένεται να μην παρατηρείται το φαινόμενο της αύξησης του πλάτους καθώς για τα σωζόμενα κελιά το κέντρο των περιελίξεων ταυτίζεται με το κέντρο των διαχωριστικών γραμμών των υποδιαιρέσεων. Όλα τα τόξα μετρήθηκαν στα σημεία τομής τους με την εξωτερική πλευρά του διάκενου της σπείρας. Για τη σπείρα του Μέτωνα, μετρήθηκε το μήκος των χορδών μόνο της 1ης περιέλιξης καθώς το μήκος των χορδών των υπόλοιπων περιελίξεων είναι ανάλογο με αυτό της 1ης περιέλιξης. Οι μετρήσεις των χορδών έχουν γίνει με το VGStudio Max σε mm ενώ η PTM εικόνα βαθμονομήθηκε χρησιμοποιώντας επίσης μετρήσεις του VGStudio Max. Η εικόνα 2.20 εμφανίζει το σχετικό διάγραμμα χορδών – υποδιαιρέσεων και για τις 2 σπείρες (για την καλύτερη εμφάνιση του διαγράμματος οι αριθμοί των υποδιαιρέσεων έχουν μετατραπεί στις αντίστοιχες μοίρες, χωρίς τα πολλαπλάσια των 360°, π.χ. το κελί 80 της σπείρας του Σάρου αντιστοιχεί σε 156.59° (80×4×360/223≈516.59° ή 156.59° χωρίς το πολλαπλάσιο των 360°) ενώ το αντίστοιχο κελί στη σπείρα του Μέτωνα σε 252.77° (80×5×360/235≈612.77° ή 252.77° χωρίς το πολλαπλάσιο των 360°)). Το διάγραμμα δείχνει εμφανώς ότι οι χορδές των σωζόμενων υποδιαιρέσεων της σπείρας του Σάρου εμφανίζουν μια γενική γραμμική αύξηση (ορατή επίσης και στο κάτω διάγραμμα της εικόνας 2.14), σε αντίθεση με τις αντίστοιχες της σπείρας του Μέτωνα που έχουν περίπου σταθερό μήκος. Ο μηχανικός του Μηχανισμού των Αντικυθήρων ήξερε θαυμάσια πώς να κατασκευάσει τη σπείρα.

[15] Εξαιτίας της μικρής γωνίας της κάθε υποδιαίρεσης (της τάξεως των 6.6°) το μήκος των χορδών είναι ελαφρώς μικρότερο από το μήκος των αντίστοιχων τόξων.

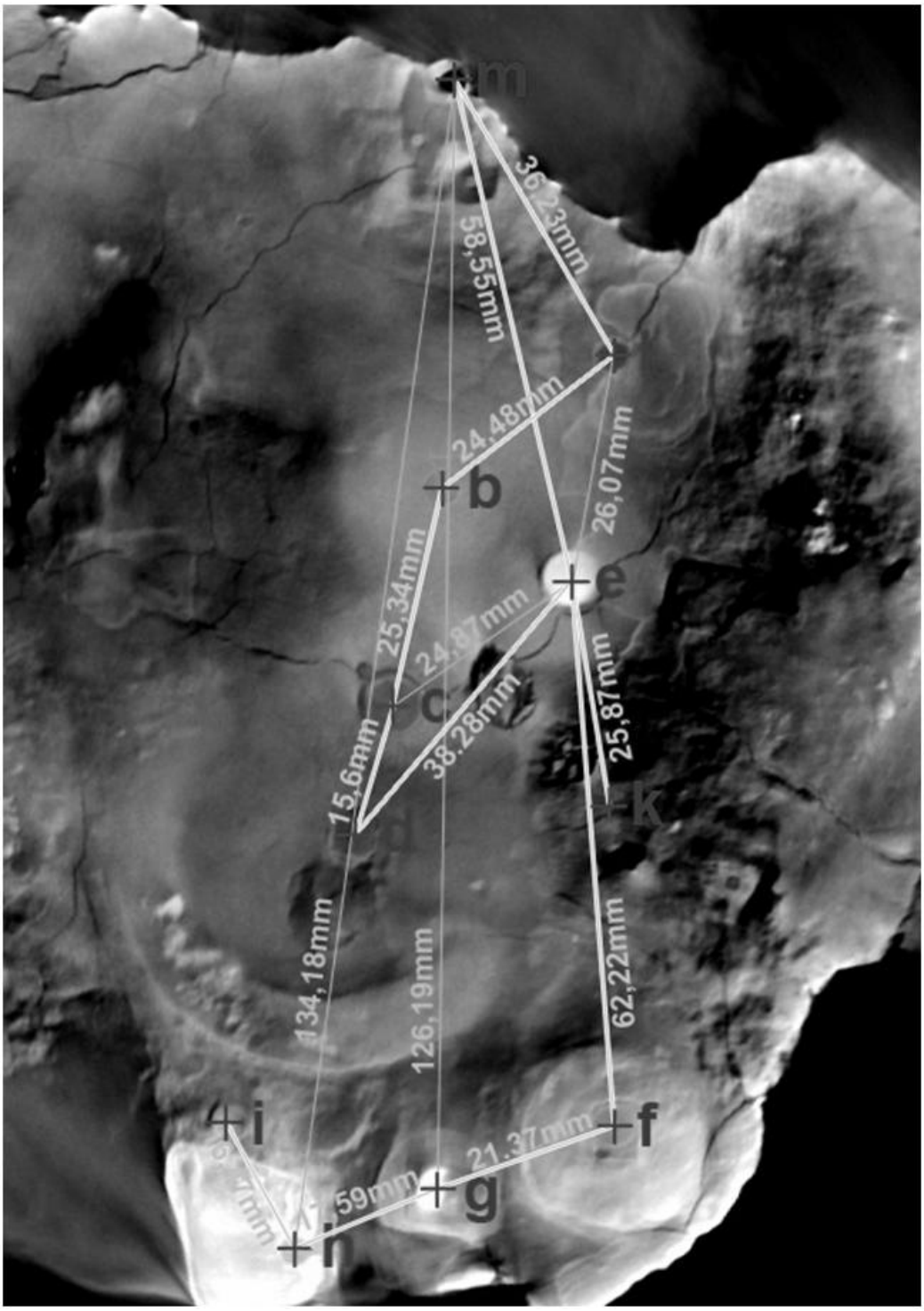


Εικ.2.20: Διάγραμμα του μήκους των χορδών ανά υποδιαίρεση και για τις δύο σπείρες του Μηχανισμού των Αντικυθήρων.

2.3 Μέτρηση των αξονικών αποστάσεων

Για τις ανάγκες κατασκευής λειτουργικών μοντέλων του Μηχανισμού, χρειάστηκε να καθοριστούν με μεγάλη ακρίβεια οι αποστάσεις των αξόνων του. Οι μετρήσεις έγιναν πάνω στην κεντρική πλάκα (εικόνα 2.21) (που σώζεται στο εσωτερικό του θραύσματος Α) όπου είναι σχεδόν όλοι ορατοί. Οι αξονικές αποστάσεις που μετρήθηκαν καταγράφονται επίσης στον Πίνακα 2.5.

Οι αξονικές αυτές αποστάσεις δεν χρησιμοποιήθηκαν αυτούσιες στην κατασκευή των μοντέλων αλλά αποτέλεσαν παραμέτρους ενός σύνθετου προγράμματος το οποίο αναπτύχθηκε στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Α.Π.Θ. στη διπλωματική εργασία των Α.Μπασιακούλη και Μ.Ευσταθίου υπό την επίβλεψη του Κ.Ευσταθίου και το οποίο λαμβάνοντας υπόψη και τις διαστάσεις των οδοντωτών τροχών υπολογίζει όλες τις αξονικές αποστάσεις για τη σωστή εμπλοκή των τροχών και την ομαλή λειτουργία των μοντέλων του Μηχανισμού. Η έρευνα αυτή παρουσιάζεται στην δημοσίευση K. Efstathiou, A. Basiakoulis, M. Efstathiou, M. Anastasiou and J.H. Seiradakis, Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism, Mechanism and Machine Theory, 52 (2012), 219–231.



Εικ.2.21: Τομογραφία της κεντρικής πλάκας του θραύσματος Α πάνω στην οποία έχουν καταγραφεί οι αποστάσεις των αξόνων του θραύσματος. Με έντονες γραμμές έχουν αποδοθεί οι αποστάσεις εκείνων των αξόνων των οποίων οι οδοντωτοί τροχοί συμπλέκονται ενώ με πιο αχνές οι αποστάσεις ενδεικτικά κάποιων αξόνων.

Πίνακας 2.5: Οι αποστάσεις των αξόνων του Μηχανισμού. Τα ζεύγη τα οποία σημειώνονται με έντονους (bold) χαρακτήρες είναι άξονες των οποίων οι οδοντωτοί τροχοί συμπλέκονται.

Ζεύγος αξόνων	**Αξονική απόσταση (mm)**	**Ζεύγος αξόνων**	**Αξονική απόσταση (mm)**
b-c	25.34	**l-m**	36.23
c-d	15.6	**m-e**	58.55
d-e	38.28	**e-k**	25.87
e-f	62.22	h-m	134.18
f-g	21.37	g-m	126.19
g-h	17.59	c-e	24.87
h-i	16.47	e-l	26.07
b-l	24.48		

2.4 Συμπεράσματα

Από τους δείκτες των δύο σπειρών της πίσω πλευράς του Μηχανισμού των Αντικυθήρων έχει σωθεί μόνο ο ένας δείκτης, ο δείκτης της σπείρας του Μέτωνα. Η προσεκτική εξέταση του σημείου όπου ο δείκτης εδραζόταν στον άξονα της σπείρας αποκαλύπτει τη δομή του μηχανισμού που υποστήριζε την κίνησή του, ενός πολύ έξυπνα σχεδιασμένου μηχανισμού που μετέδιδε την κίνηση του άξονα στον δείκτη επιτρέποντάς του ταυτόχρονα να ολισθαίνει ελεύθερα ώστε να μπορεί να ακολουθεί το διάκενο της σπείρας. Η δομή του μηχανισμού αυτού, έτσι όπως περιγράφηκε παραπάνω, επιβεβαιώνεται από την επιγραφή περιγραφής του που αναγραφόταν στην πίσω πόρτα του Μηχανισμού.

Η ανάλυση του τύπου των σπειρών επιβεβαίωσε την πρώτη αναφορά που έγινε από τον M.T. Wright ότι οι σπείρες είναι σπείρες ημικυκλίων, σχεδιασμένες από δύο διαφορετικά κέντρα. Τα δύο κέντρα αποδείχθηκε από την ανάλυση ότι είναι για τη σπείρα του Μέτωνα το κέντρο του δείκτη κι ένα πρόσθετο κέντρο πιο ψηλά ενώ για τη σπείρα του Σάρου το κέντρο του δείκτη κι ένα πρόσθετο κέντρο πιο χαμηλά.

Η διαφορά αυτή ανάμεσα στις δύο σπείρες ως προς την τοποθέτηση των δύο πρόσθετων κέντρων μπορεί αρχικά να φαίνεται περίεργη ως προς τον τρόπο που δούλεψε ο μηχανικός, καθώς θα περίμενε κανείς τα πρόσθετα κέντρα να είναι είτε και τα δύο πιο ψηλά είτε και τα δύο πιο χαμηλά. Η διαφορά όμως αυτή οφείλεται στην διαφορετική δομή των σπειρών κι ο μηχανικός εργάστηκε τελικά με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και στις 2 σπείρες, ξεκινώντας δηλαδή κάθε φορά από το πρόσθετο κέντρο για τη σχεδίαση του πρώτου ημικυκλίου (του αριστερού για τη σπείρα του Μέτωνα και του δεξιού για τη σπείρα του Σάρου) και συνεχίζοντας με το κέντρο του δείκτη (που είναι και το ορατό κέντρο) για τη σχεδίαση του απέναντι ημικυκλίου (μπορεί βέβαια να εργάστηκε και ανάποδα, ξεκινώντας από το τελευταίο ημικύκλιο).

Η εκκεντρότητα που θα δημιουργούνταν, εξαιτίας της κατασκευής των σπειρών ως σπείρες ημικυκλίων, στην ανάγνωση των ενδείξεων του δείκτη για εκείνο το ήμισυ

της σπείρας του οποίου το κέντρο δεν συμπίπτει με το κέντρο του δείκτη αποφεύγεται επιδέξια καθώς αποδεικνύεται ότι οι διαχωριστικές γραμμές αυτών των υποδιαιρέσεων έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε το κέντρο στο οποίο δείχνουν να είναι το κέντρο του δείκτη. Η τεχνική αυτή, η οποία έχει ως αποτέλεσμα ολοένα αυξανόμενα σε μήκος τόξα, φαίνεται να είναι καλά γνωστή στον κατασκευαστή του Μηχανισμού των Αντικυθήρων καθώς εκτός από τη σπείρα του Σάρου, μια παρόμοια κατασκευή έχει προταθεί από τους Evans *et al*. (2010) για τη ζωδιακή κλίμακα στην μπροστινή πλάκα του Μηχανισμού. Ωστόσο, η αξιοσημείωτη διαφορά είναι ότι, ενώ για τη ζωδιακή κλίμακα έχει προταθεί για την παραγωγή μίας επιθυμητής εκκεντρότητας, για τις σπείρες της πίσω πλάκας έχει γίνει για να αποφευχθεί μια ανεπιθύμητη εκκεντρότητα. Ο τρόπος που ο μηχανικός σκέφτηκε και εργάστηκε είναι ευφυής.

Τμήματα από το κεφάλαιο αυτό της παρούσας διατριβής έχουν δημοσιευθεί και παρουσιαστεί:

Anastasiou M., Seiradakis J.H., Carman C.C. and Efstathiou K. (2014), "The Antikythera Mechanism: The construction of the back plate spirals", *Journal for the History of Astronomy* (accepted (August 2014)).

Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H. (2012), "Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism", *Mechanism and Machine Theory*, **52**, 219–231.

Anastasiou M., Seiradakis J.H., Carman C.C. and Efstathiou K. (2012), "The Antikythera Mechanism: the structure of the mounting of the back plate's pointer and the construction of the spirals", Book of abstracts, p. 9, oral presentation, *5th International Conference of the European Society of History of Science*, Athens, Greece, 1-3 November 2012.

Anastasiou M., Seiradakis J.H., Carman C.C. and Efstathiou K. (2011), "The Antikythera Mechanism: The construction of the back dial spirals and their spirals", oral presentation, *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011.

Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H. (2011), "Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism", Proceedings of the meeting: *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011, 477-492.

Κεφάλαιο 3

Οι επιγραφές της πίσω πλάκας

Στο πλαίσιο της διατριβής αυτής, αφιερώθηκε αρκετός χρόνος στην ανάγνωση επιγραφών. Λόγω της φθοράς του χρόνου, των κρούσεων και των πιέσεων που έχει υποστεί ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων, τα γράμματα δεν βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Πολλές φορές αισθανθήκαμε ότι διαβάζουμε ένα σκισμένο, τσαλακωμένο και απολιθωμένο κείμενο. Η ανάγνωση έστω και ενός μόνου γράμματος μπορεί πολλές φορές να αποδειχθεί ιδιαίτερα απαιτητική και χρονοβόρα διαδικασία, καθώς το επίπεδο στο οποίο είναι χαραγμένο το κάθε γράμμα πρέπει να προσανατολιστεί κατάλληλα (να είναι οριζόντιο) ενώ παράλληλα πρέπει να βρεθεί το σωστό βάθος (η τομή ουσιαστικά) στην οποία είναι καλύτερα ορατό. Χρειάζεται επίσης αρκετές φορές για τα δυσανάγνωστα γράμματα να γίνουν πειραματισμοί με την αντίθεση των αποχρώσεων των τομογραφιών καθώς επίσης και με την πυκνότητα των υλικών των θραυσμάτων.

Με εξαίρεση την πίσω πόρτα του Μηχανισμού, μελετήθηκαν κατά τη διάρκεια της διατριβής αυτής όλες οι υπόλοιπες επιγραφές. Η δημοσίευση όλων των επιγραφών του Μηχανισμού ετοιμάζεται να γίνει από μία ευρεία ομάδα ερευνητών του Μηχανισμού, σε 4 χωριστές δημοσιεύσεις με τη συμμετοχή μου ως συγγραφέα σε 2 από αυτές:

- Bitsakis Y., Anastasiou M., Freeth T., Jones A., Steele J.M. and Zafeiropoulou M., Back plate and back dial inscriptions, in preparation
- Tselikas A., Anastasiou M., Bitsakis Y., Freeth T., Jones A., Moussas X. and Zafeiropoulou M., Front cover inscription, in preparation

Λόγω των επικείμενων δημοσιεύσεων (και της δυσκολίας παρουσίασης του υλικού τους πριν από αυτές), στο πλαίσιο της διατριβής θα παρουσιαστούν εδώ μόνο κάποιες από τις επιγραφές της πίσω πλάκας καθώς αυτές σχετίζονται με ήδη δημοσιευμένο υλικό της διατριβής.

Όπως αναφέρθηκε στην Εισαγωγή (§1.2.2), η πίσω πλάκα είναι χαραγμένη με γράμματα και σύμβολα στις 2 σπείρες και στο εσωτερικό τους ενώ επίσης υπάρχει κείμενο στο χώρο που απομένει δεξιά της σπείρας του Σάρος. Από τις επιγραφές αυτές παρουσιάζονται παρακάτω μόνο κάποιες νέες αναγνώσεις που σχετίζονται με ριζικές αλλαγές στη δομή της σπείρας του Μέτωνα καθώς και 1 νέα υποδιαίρεση με σεληνιακή έκλειψη στη σπείρα του Σάρος. Παρουσιάζονται επίσης συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη των επιγραφών της σπείρας του Μέτωνα.

3.1 Η σπείρα του Μέτωνα

Από το τμήμα της σπείρας του Μέτωνα που έχει σωθεί έχει αναγνωστεί πλήρως το ημερολόγιο που ήταν αναγραμμένο. Οι 12 αυτοί μήνες του ημερολογίου του

Μηχανισμού καταγράφονται, ξεκινώντας από την αρχή του έτους, στον Πίνακα 3.1 (Freeth *et al*. 2008). Το ημερολόγιο είναι δωρικής προέλευσης.

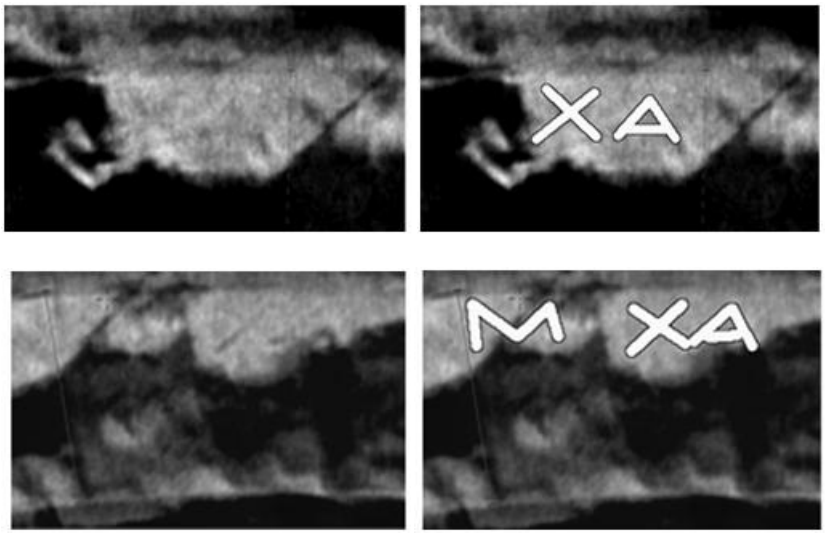
Πίνακας 3.1: Το ημερολόγιο του Μηχανισμού των Αντικυθήρων

Α/Α	**Σεληνιακός μήνας**	**Α/Α**	**Σεληνιακός μήνας**	**Α/Α**	**Σεληνιακός μήνας**
1	ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ	5	ΔΩΔΕΚΑΤΕΥΣ	9	ΓΑΜΕΛΙΟΣ
2	ΚΡΑΝΕΙΟΣ	6	ΕΥΚΛΕΙΟΣ	10	ΑΓΡΙΑΝΙΟΣ
3	ΛΑΝΟΤΡΟΠΙΟΣ	7	ΑΡΤΕΜΙΣΙΟΣ	11	ΠΑΝΑΜΟΣ
4	ΜΑΧΑΝΕΥΣ	8	ΨΥΔΡΕΥΣ	12	ΑΠΕΛΛΑΙΟΣ

3.1.1 Νέες επιγραφές – Ο εμβόλιμος μήνας

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, για τον εναρμονισμό του ηλιακού έτους με τους σεληνιακούς μήνες, 7 από τα 19 έτη του κύκλου του Μέτωνα είχαν 13 μήνες. Για τον εμβόλιμο αυτό μήνα, στην παραπάνω δημοσίευση (Freeth *et al*. 2008) (που είναι κι η πιο πρόσφατη των επιγραφών της πίσω πλάκας) είχε προταθεί ο μήνας Ευκλείος ως σταθερός εμβόλιμος μήνας αλλά όπως αναφέρεται στη δημοσίευση η πρόταση αυτή είναι μια απλή επιλογή ανάμεσα σε πολλές άλλες πιθανές επιλογές.

Το 2010 διερεύνησα προσεκτικά τις επιγραφές της σπείρας του Μέτωνα ταυτοποιώντας τον εμβόλιμο μήνα στο ημερολόγιο της σπείρας του Μέτωνα που παρέμενε μέχρι τότε αδιευκρίνιστος. Πιο συγκεκριμένα, στις υποδιαιρέσεις 128 και 129 ($4^{ος}$ και $5^{ος}$ μήνας για το $11^{ο}$ έτος του κύκλου του Μέτωνα), κάποια από τα γράμματα του μηνός «Μαχανεύς» διαβάζονται (εικόνα 3.1). Επομένως για το έτος αυτό, ο εμβόλιμος μήνας ήταν ο μήνας «Μαχανεύς».

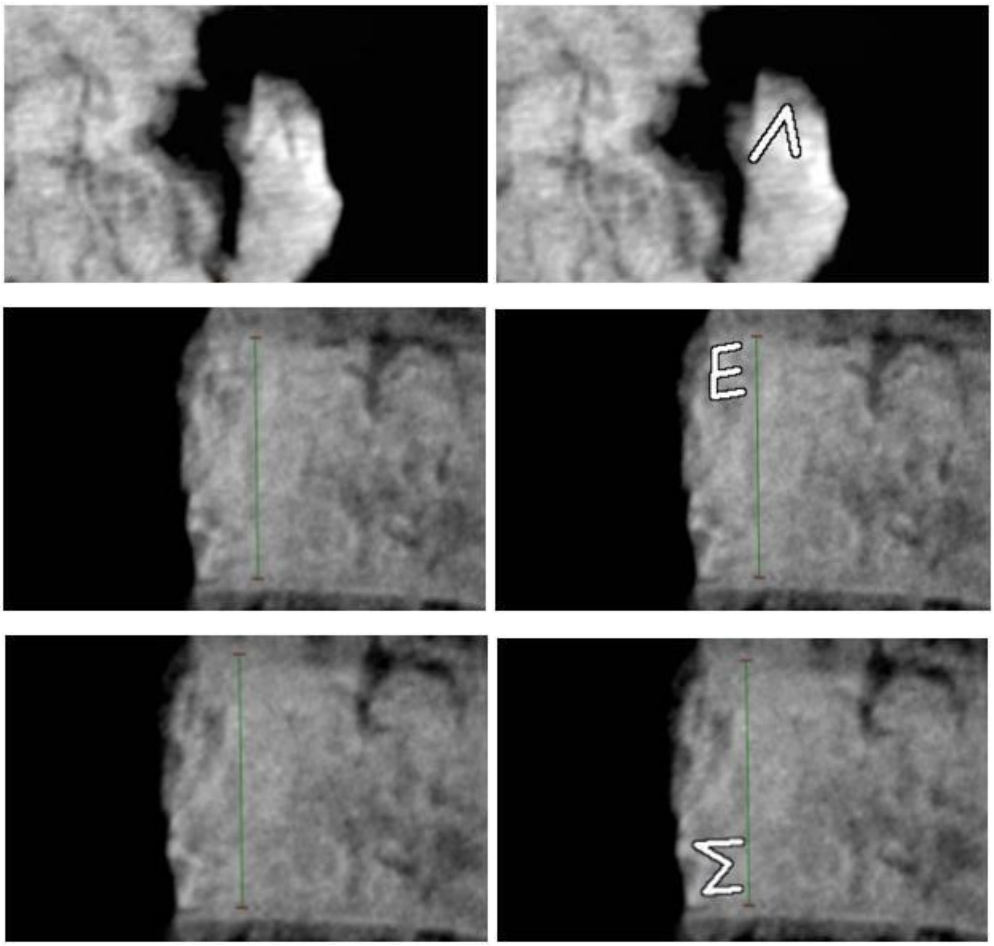


Εικ.3.1: Επάνω: *Αριστερά*: Τομογραφία της υποδιαίρεσης 128 της σπείρας του Μέτωνα όπου διαβάζονται τα γράμματα «ΧΑ» του μηνός «Μαχανεύς». *Δεξιά*: Η ίδια τομογραφία με αποτυπωμένα τα γράμματα. Κάτω: *Αριστερά*: Τομογραφία της υποδιαίρεσης 129 της σπείρας του Μέτωνα όπου διαβάζονται τα γράμματα «Μ_ΧΑ» του μηνός «Μαχανεύς». *Δεξιά*: Η ίδια τομογραφία με αποτυπωμένα τα γράμματα.

Η ανάγνωση ανακοινώθηκε και έγινε δεκτή από την υπόλοιπη διεθνή ερευνητική ομάδα που ασχολείται ερευνητικά με το Μηχανισμό των Αντικυθήρων.

Ήταν όμως ο Μαχανεύς ο εμβόλιμος μήνας όλων των ετών με 13 μήνες; Από την ανάλυση του τμήματος της σπείρας του Μέτωνα που έχει σωθεί (και όπως αναγράφεται στη δημοσίευση των Freeth *et al*. (2008)), τα έτη που είχαν 13 μήνες ήταν πιθανότατα τα εξής: 1, 3, 6, 9, 11, 14 και 17. Από τα 7 αυτά χρόνια, τμήματα μόνο των ετών 1, 3 και 11 έχουν διατηρηθεί. Νέες αναγνώσεις μου για τα έτη αυτά είναι οι εξής:

α. για το 1^{ο} έτος: στην υποδιαίρεση 3 (3^{ος} μήνας για το έτος αυτό) φαίνεται το πρώτο γράμμα του μηνός «Λανοτρόπιος» (εικόνα 3.2)



Εικ.3.2: Τομογραφίες της σπείρας του Μέτωνα. Επάνω: *Αριστερά*: Τομογραφία της υποδιαίρεσης 3 όπου διαβάζεται το γράμμα «Λ» του μηνός «Λανοτρόπιος». *Δεξιά*: Η ίδια τομογραφία με το γράμμα αποτυπωμένο. Μέσο: *Αριστερά*: Τομογραφία της υποδιαίρεσης 31 όπου διαβάζεται το πρώτο γράμμα «Ε» του μηνός «Δωδεκατεύς». *Δεξιά*: Η ίδια τομογραφία με το γράμμα αποτυπωμένο. Κάτω: *Αριστερά*: Τομογραφία της υποδιαίρεσης 31 όπου διαβάζεται το γράμμα «Σ» του μηνός «Δωδεκατεύς». *Δεξιά*: Η ίδια τομογραφία με το γράμμα αποτυπωμένο.

β. για το 3ο έτος: στην υποδιαίρεση 31 (6ος μήνας για το έτος αυτό) διαβάζεται το γράμμα «Ε» στο τέλος της πρώτη γραμμής και το γράμμα «Σ» στο τέλος της τρίτης γραμμής (εικόνα 3.2). Και τα 2 αυτά γράμματα υποδεικνύουν ότι ο αναγραφόμενος μήνας ήταν ο μήνας «Δωδεκατεύς».
γ. για το 11ο έτος: όπως είδαμε παραπάνω ο εμβόλιμος μήνας των υποδιαιρέσεων 128 και 129 είναι ο μήνας «Μαχανεύς».

Οι παραπάνω αναγνώσεις γραμμάτων υποδεικνύουν ότι για το 1ο έτος ο εμβόλιμος μήνας ήταν ένας από τους τελευταίους 10 μήνες του ημερολογίου του Μηχανισμού, για το τρίτο έτος ένας από τους 5 πρώτους ενώ για το 11ο έτος ο «Μαχανεύς». Εάν ο εμβόλιμος μήνας ήταν σταθερός, επαναλαμβανόταν δηλαδή κάθε φορά ο ίδιος μήνας, τότε οι αναγνώσεις και για τα τρία αυτά έτη συμφωνούν με την περίπτωση να είναι ο «Μαχανεύς» ο εμβόλιμος μήνας του ημερολογίου.

Οι εμβόλιμοι μήνες στα έτη 1, 3, 6, 9, 11, 14 και 17 δίνουν τις εξής αποστάσεις μεταξύ των ετών που είχαν εμβόλιμους μήνες: 2-3-3-2-3-3-3[16]. Αυτή η αλληλουχία η οποία κατανέμει τα έτη με τους 13 μήνες όσο τον δυνατόν πιο ομοιόμορφα μέσα στον κύκλο του Μέτωνα έχει κατά πάσα πιθανότητα προέλθει από τη μαθηματική διαίρεση 235/7=33.571 (σύμφωνα με την οποία κάθε 33.571ος μήνας είναι ο εμβόλιμος μήνας), όπως φαίνεται στον ακόλουθο Πίνακα 3.2. Υποθέτοντας ότι ο πρώτος επαναλαμβανόμενος μήνας ήταν ο πρώτος μήνας του πρώτου έτους, τότε οι υπόλοιποι 6 κατανέμονται στα 19 έτη (235 μήνες) όπως εμφανίζεται στον ακόλουθο πίνακα, ο οποίος δείχνει ότι η ίση αυτή (μαθηματική) κατανομή των εμβόλιμων μηνών οδηγεί στην παραπάνω αλληλουχία.

Η παραπάνω μαθηματική ανάλυση συνηγορεί σίγουρα υπέρ του να μην είναι ο εμβόλιμος μήνας σταθερός αλλά να είναι ο 33.571ος μήνας, ο μήνας δηλαδή που προκύπτει κάθε φορά από τη μαθηματική διαίρεση, ακολουθώντας δηλαδή την ίδια πρακτική που ισχύει και για τις εξαιρέσιμες ημέρες. Υπολογισμοί που έχουν γίνει για το Αθηναϊκό ημερολόγιο (Hannah 2005) δείχνουν ότι ο εμβόλιμος μήνας δεν ήταν πάντοτε ο ίδιος μήνας.

Παρόλα αυτά όμως ο εμβόλιμος μήνας του 1ου έτους του ημερολογίου του Μηχανισμού θα μπορούσε να βρίσκεται στις υποδιαιρέσεις 3-13 ενώ αυτός του 3ου έτους στις υποδιαιρέσεις 26-30. Ακόμη κι αν ο εμβόλιμος μήνας του 1ου έτους ήταν στην 3η υποδιαίρεση κι αυτός του 3ου στην 30η, θα υπήρχε μεταξύ τους μια απόσταση 27 υποδιαιρέσεων, πολύ δηλαδή μικρότερη από τις 33.571 υποδιαιρέσεις της μαθηματικής ισοκατανομής.

Έτσι 2 δυνατότητες απομένουν: είτε ο εμβόλιμος μήνας ήταν σταθερός είτε δεν ήταν πάντοτε ο ίδιος αλλά επιλεγόταν με κάποιο άλλο κριτήριο (πέρα από το μαθηματικό). Καθώς ένα τέτοιο κριτήριο είναι δύσκολο να βρεθεί, η πρώτη περίπτωση μοιάζει πολύ πιο πιθανή. Επιπλέον, όπως είδαμε και παραπάνω, τα τμήματα των ετών 1, 3 και 11 που έχουν διατηρηθεί συμφωνούν με την περίπτωση να

[16] Υπάρχει κι ένας άλλος τρόπος συμπλήρωσης της σπείρας του Μέτωνα που όμως δεν ακολουθεί την αλληλουχία 2-3-3-2-3-3-3 ή οποιαδήποτε μετατόπιση της αρχής της.

είναι ο «Μαχανεύς» ο σταθερός εμβόλιμος μήνας του ημερολογίου του Μηχανισμού των Αντικυθήρων.

Η επιλογή του μηνός «Μαχανεύς» ως του σταθερού εμβόλιμου μήνα του ημερολογίου του Μηχανισμού μοιάζει αναμφισβήτητα ως η αρμόζουσα για την αρχαία αυτή μηχανή καθώς το επίθετο Μαχανεύς είναι αφενός προσωνύμιο του Δία ενώ αφετέρου συνδέεται άμεσα με την μηχανική και τον ίδιο τον Μηχανισμό.

Πίνακας 3.2: Οι εμβόλιμοι μήνες του Μετωνικού κύκλου όπως προκύπτουν από ισοκατανομή (μαθηματική διαίρεση).

Εμβόλιμοι μήνες ανά 235/7=33.571 μήνες	Ακέραιος εμβόλιμος μήνας	Αριθμός μηνών ανά έτος	Αθροιστικός αριθμός μηνών	Έτη με εμβόλιμους μήνες
1	1	13	13	1
		12	25	
34.571	34	13	38	3
		12	50	
		12	62	
68.143	68	13	75	6
		12	87	
		12	99	
101.714	101	13	112	9
		12	124	
135.286	135	13	137	11
		12	149	
		12	161	
168.857	168	13	174	14
		12	186	
		12	198	
202.429	202	13	211	17
		12	223	
		12	235	

Το παραπάνω αποτέλεσμα έχει ενσωματωθεί στις γραφικές αναπαραστάσεις που ετοίμασα κατά τη διάρκεια της διατριβής για το ομοίωμα v2.1 του Μηχανισμού το οποίο ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 2011 (βλ. παρακάτω §6.2).

3.1.2 Το ημερολόγιο

Κάθε αρχαία ελληνική πόλη είχε το δικό της ημερολόγιο. Από τα ημερολόγια αυτά σήμερα ελάχιστα είναι πλήρη και τα γνωρίζουμε ολόκληρα. Τα περισσότερα σώζονται αποσπασματικά (από επιγραφές όπου σώζονται συνήθως τα ονόματα κάποιων μηνών), χωρίς να είναι γνωστή ούτε η σειρά των μηνών ούτε ποιος μήνας σηματοδοτούσε την αρχή του έτους ούτε καν συνήθως η εποχή στην οποία έπεφταν.

Είμαστε πολύ τυχεροί που έχει σωθεί πλήρως το ημερολόγιο του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Πλήρη ταύτιση του ημερολογίου του Μηχανισμού με κάποιο από τα πλήρη αρχαία ελληνικά ημερολόγια δεν έχει επιτευχθεί.

Στην προσπάθεια να γίνει η καλύτερη συσχέτιση του ημερολογίου του Μηχανισμού με τα γνωστά έως σήμερα ημερολόγια των αρχαίων ελληνικών πόλεων και να εντοπιστεί ίσως ένας τόπος που σχετίζεται με την χρήση του Μηχανισμού, ασχοληθήκαμε με τη δημιουργία χάρτη ο οποίος συγκρίνει το ημερολόγιο που είναι αναγραμμένο πάνω στον Μηχανισμό με τα ημερολόγια των αρχαίων ελληνικών πόλεων. Ο χάρτης αυτός δημοσιεύτηκε τελικά στις 31/07/2008 στο περιοδικό Nature, στα Supplementary Notes της δημοσίευσης των T.Freeth *et al*. (2008) και είναι διαθέσιμος στην ακόλουθη διεύθυνση:
http://www.nature.com/nature/journal/v454/n7204/extref/nature07130-s1.pdf.
Ασπρόμαυρο αντίγραφο του χάρτη αυτού στην ελληνική γλώσσα απεικονίζεται στην εικόνα 3.3. Για τη δημιουργία του χάρτη χρησιμοποιήθηκε κατά βάση το βιβλίο της C. Trümpy (1997), Untersuchungen zu den altgriechischen Monatsnamen und Monatsfolgen.



Εικ.3.3: Χάρτης των κοινών μηνών του Μηχανισμού των Αντικυθήρων και των μηνών των ημερολογίων των αρχαίων ελληνικών πόλεων. Το εμβαδό των τετραγωνιδίων δίνει τον αριθμό των κοινών μηνών.

Ο χάρτης απεικονίζει πόσοι από τους μήνες του Μηχανισμού έχουν βρεθεί σε κάθε αρχαία ελληνική πόλη με τον αριθμό των μηνών σύμπτωσης να είναι ανάλογος προς την επιφάνεια του κάθε τετραγωνιδίου στο χάρτη. Ταυτόχρονα ο χρωματισμός των τετραγωνιδίων αντιστοιχεί στη σπανιότητα των μηνών: (α) τα γαλάζια τετραγωνίδια έχουν χρησιμοποιηθεί για εκείνες τις πόλεις των οποίων τα ημερολόγια περιέχουν τουλάχιστον έναν από τους μήνες «Αρταμίτιος/Αρτεμίτιος/Αρτεμίσιος», «Απελλαίος»

και «Πάναμος» (μήνες πολύ διαδεδομένοι ακόμη και σε Ιωνικές περιοχές όπου είναι γνωστοί ως Αρτεμισιών, Απελλαιών και Πάνημος) αλλά κανέναν από τους υπόλοιπους, (β) τα πράσινα για εκείνες τις πόλεις των οποίων τα ημερολόγια περιέχουν τουλάχιστον έναν από τους μήνες «Καρνείος/Κρανείος», «Μαχανεύς/Μαχάνειος», «Ευκλείος», «Γαμίλιος» και «Αγριάνιος/Αγριώνιος» (μήνες γνωστοί από δωρικά και βορειοδυτικά ημερολόγια, αρκετά διαδεδομένοι) και ίσως κάποιον από τους παραπάνω μήνες (των γαλάζιων τετραγωνιδίων) αλλά κανέναν από τους υπόλοιπους και (γ) τα κόκκινα για εκείνες τις πόλεις των οποίων τα ημερολόγια περιέχουν τουλάχιστον έναν από τους «σπάνιους» μήνες «Φοινικαίος», «Λανοτρόπιος/Λάνοτρος», «Δυωδεκατεύς/Δυοδεκατεύς/Δωδεκατεύς» και «Ψυδρεύς» (μήνες γνωστοί μόνο από το ημερολόγιο του Ταυρομένιου, της Κορίνθου, των κορινθιακών αποικιών καθώς και κάποιων άλλων πόλεων που είχαν υιοθετήσει ολικώς ή μερικώς το κορινθιακό ημερολόγιο).

Όπως γίνεται αντιληπτό από την παραπάνω κατηγοριοποίηση, το ημερολόγιο του Μηχανισμού είναι κορινθιακής προέλευσης. Δυστυχώς από το ημερολόγιο της ίδιας της Κορίνθου έχουν σωθεί μόνο 2 μήνες (Πίνακας 3.4).

Ο μέγιστος αριθμός μηνών του Μηχανισμού που έχουν ταυτιστεί είναι 7 και αντιστοιχούν στην **Κέρκυρα**[17], τον **Βουθρωτό** και το **Ταυρομένιο** στη Σικελία. Η Κέρκυρα και το Βουθρωτό αποτελούν πόλεις της ΒΔ Ελλάδας, περιοχής με πολλές κορινθιακές αποικίες ή με στενές σχέσεις με αυτές. Τα ημερολόγιά τους, όπως επίσης και της Δωδώνης και της Αμβρακίας, φαίνονται στον Πίνακα 3.3. Η Δωδώνη έχει επίσης 5 από τους μήνες του Μηχανισμού κι η Αμβρακία 3 ενώ συνολικά από όλες αυτές τις πόλεις συναντάμε τους 11 από τους 12 μήνες του Μηχανισμού (ενώ κι ο μήνας «Αλιοτρόπιος» είναι πολύ κοντά με τον μήνα «Λανοτρόπιο»)! Σε καθεμία μάλιστα από τις πόλεις αυτές, με εξαίρεση τη Δωδώνη, η ταύτιση είναι 100% (όλοι δηλαδή οι μήνες που έχουν σωθεί είναι μήνες του ημερολογίου του Μηχανισμού).

Το ημερολόγιο του Ταυρομένιου στη Σικελία (Πίνακας 3.4) οφείλει τις κορινθιακές του επιρροές πιθανότατα στις γειτονικές Συρακούσες που ήταν κορινθιακή αποικία. Δυστυχώς από το ημερολόγιο των Συρακουσών σώζεται 1 μόνο μήνας. Το ημερολόγιο του Ταυρομένιου σώζεται ολόκληρο με τους 7 από τους 12 μήνες να είναι του Μηχανισμού και τους υπόλοιπους 5 να είναι διαφορετικοί λόγω τοπικών πιθανότατα επιρροών.

[17] Στο βιβλίο της Trümpy (1997), ο αριθμός των μηνών για την Κέρκυρα είναι 6. Ο A.Jones ενημέρωσε με ηλεκτρονική επικοινωνία για την ύπαρξη ενός 7ου μήνα (Δυωδεκατεύς – Δευδεκατεύς) σε δύο επιγραφές (*I.Apollonia* 385 and *IG* IX.1 694).

Πίνακας 3.3: Τα ημερολόγια πόλεων της ΒΔ Ελλάδας. Με πλάγια γράμματα σημειώνονται οι μήνες που δεν ανήκουν στο ημερολόγιο του Μηχανισμού.

Μηχανισμός Αντικυθήρων	**Κέρκυρα**	**Δωδώνη**	**Βουθρωτό**	**Αμβρακία**
ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ	ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ	ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ	ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ	ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ
ΚΡΑΝΕΙΟΣ			ΚΡΑΝΕΙΟΣ	
ΛΑΝΟΤΡΟΠΙΟΣ		*ΑΛΙΟΤΡΟΠΙΟΣ*		
ΜΑΧΑΝΕΥΣ	ΜΑΧΑΝΕΥΣ			
ΔΩΔΕΚΑΤΕΥΣ	ΔΥΩΔΕΚΑΤΕΥΣ/ ΔΕΥΔΕΚΑΤΕΥΣ	*ΔΑΤΥΙΟΣ*		
ΕΥΚΛΕΙΟΣ	ΕΥΚΛΕΙΟΣ		ΕΥΚΛΕΙΟΣ	
ΑΡΤΕΜΙΣΙΟΣ	ΑΡΤΕΜΙΤΙΟΣ			ΑΡΤΕΜΙΣΙΟΣ
ΨΥΔΡΕΥΣ	ΨΥΔΡΕΥΣ		ΨΥΔΡΕΥΣ	ΨΥΔΡΕΥΣ
ΓΑΜΕΛΙΟΣ		ΓΑΜΙΛΙΟΣ	ΓΑΜΙΛΙΟΣ	
ΑΓΡΙΑΝΙΟΣ			ΑΓΡΙΑΝΙΟΣ	
ΠΑΝΑΜΟΣ	ΠΑΝΑΜΟΣ	ΠΑΝΑΜΟΣ	ΠΑΝΑΜΟΣ	
ΑΠΕΛΛΑΙΟΣ		ΑΠΕΛΛΑΙΟΣ		

Πίνακας 3.4: Τα ημερολόγια του Ταυρομένιου, των Συρακουσών, της Κορίνθου και της Ρόδου. Με πλάγια γράμματα σημειώνονται οι μήνες που δεν ανήκουν στο ημερολόγιο του Μηχανισμού.

Μηχανισμός Αντικυθήρων	**Ταυρομένιον**	**Συρακούσες**	**Κόρινθος**	**Ρόδος**
ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ	*ΙΤΩΝΙΟΣ*		ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ	ΚΑΡΝΕΙΟΣ
ΚΡΑΝΕΙΟΣ	ΚΑΡΝΕΙΟΣ	ΚΑΡΝΕΙΟΣ		*ΔΑΛΙΟΣ*
ΛΑΝΟΤΡΟΠΙΟΣ	ΛΑΝΟΤΡΟΣ			*ΘΕΣΜΟΦΟΡΙΟΣ*
ΜΑΧΑΝΕΥΣ	*ΑΠΟΛΛΩΝΙΟΣ*			*ΔΙΟΣΘΥΟΣ*
ΔΩΔΕΚΑΤΕΥΣ	ΔΥΩ/ΟΔΕΚΑΤΕΥΣ			*ΘΕΥΔΑΙΣΙΟΣ*
ΕΥΚΛΕΙΟΣ	ΕΥΚΛΕΙΟΣ			*ΠΕΔΑΓΕΙΤΝΙΟΣ*
ΑΡΤΕΜΙΣΙΟΣ	ΑΡΤΕΜΙΤ/ΣΙΟΣ			*ΒΑΔΡΟΜΙΟΣ*
ΨΥΔΡΕΥΣ	*ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ*			*ΣΜΙΝΘΙΟΣ*
ΓΑΜΕΛΙΟΣ	*ΕΛΛΟΚΙΟΣ*			ΑΡΤΑΜΙΤΙΟΣ
ΑΓΡΙΑΝΙΟΣ	*ΔΑΜΑΤΡΙΟΣ*			ΑΓΡΙΑΝΙΟΣ
ΠΑΝΑΜΟΣ	ΠΑΝΑΜΟΣ		ΠΑΝΑΜΟΣ	*ΥΑΚΙΝΘΙΟΣ*
ΑΠΕΛΛΑΙΟΣ	ΑΠΕΛΛΑΙΟΣ			ΠΑΝΑΜΟΣ

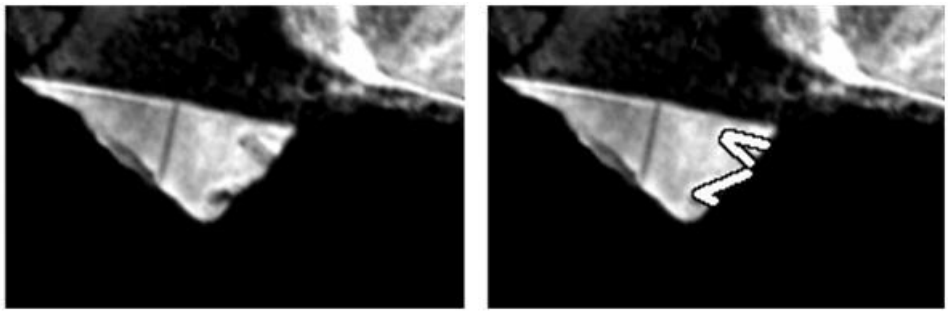
Από τη μελέτη λοιπόν του ημερολογίου προκύπτουν 3 πιθανές περιοχές χρήσης του Μηχανισμού: η Κόρινθος, η ΒΔ Ελλάδα και οι Συρακούσες. Οι Freeth *et al*. (2008) τίθενται υπέρ των Συρακουσών ως τον πιθανότερο τόπο χρήσης του Μηχανισμού καθώς την εποχή κατασκευής του Μηχανισμού είχε οικονομική

ευμάρεια ενώ επίσης πρέπει πιθανότατα να διέθετε και εργαστήρια που είχαν την τεχνογνωσία να κατασκευάσουν τέτοιους μηχανισμούς καθώς συνέχιζαν την παράδοση που είχε ξεκινήσει με τον Αρχιμήδη. Παρόλα αυτά η σύμπτωση της τάξης του 58% (7 στους 12 μήνες) είναι αρκετά μικρή μπροστά στο 100% της Κέρκυρας και του Βουθρωτού και ίσως η πιθανότερη περιοχή χρήσης να είναι τελικά είτε εκεί (έχουμε εξάλλου και την αναγραφή των αγώνων Νάια (ΝΑΑ) ανάμεσα στους μεγάλης εμβέλειας πανελληνίους στεφανίτες αγώνες Ολύμπια, Πύθια, Νέμεα, Ίσθμια, αναγραφή που αποτελεί μια ένδειξη ότι μπορεί να έχουμε συσχετισμό με την περιοχή αυτή) είτε στην ίδια την Κόρινθο.

Το ημερολόγιο της Ρόδου (Πίνακας 3.4) έχει σύμπτωση μόλις 33% με το ημερολόγιο του Μηχανισμού ενώ των Αθηνών μόλις 17%.

3.2 Η σπείρα του Σάρος – Νέες επιγραφές

Η προσεκτική ανάγνωση των υποδιαιρέσεων της σπείρας του Σάρου απέφερε την ανάγνωση των εγχάρακτων συμβόλων μιας ακόμη υποδιαίρεσης, αυξάνοντας τον αριθμό των ενεπίγραφων υποδιαιρέσεων από 18 (Freeth *et al*. 2008) σε 19 (εικόνα 3.4). Πιο συγκεκριμένα, στην υποδιαίρεση 61 διαβάζεται ξεκάθαρα το γράμμα Σ το οποίο περιγράφει σεληνιακή έκλειψη. Σύμφωνα με την αποκατάσταση της σπείρας αυτής από τους Freeth *et al*. (2008) στο κελί αυτό αναμενόταν η ύπαρξη σεληνιακής έκλειψης. Το αποτέλεσμα φυσικά ανακοινώθηκε και έχει γίνει δεκτό από την υπόλοιπη διεθνή ερευνητική ομάδα ενώ έχει επίσης ενσωματωθεί στις γραφικές αναπαραστάσεις του ομοιώματος του 2011 (v2.1) του Μηχανισμού (§6.2).



Εικ.3.4: *Αριστερά*: Τομογραφία της υποδιαίρεσης 61 της σπείρας του Σάρου όπου διαβάζεται το γράμμα «Σ» (σεληνιακή έκλειψη). *Δεξιά*: Η ίδια τομογραφία όπου έχει γίνει αποτύπωση του γράμματος «Σ».

3.3 Συμπεράσματα

Χάρη σε νέες αναγνώσεις γραμμάτων της σπείρας του Μέτωνα αποκαλύφθηκε (α) ότι ο εμβόλιμος μήνας του 11^{ου} έτους του κύκλου είναι ο μήνας «Μαχανεύς» και (β) ότι πιθανότατα ήταν ο σταθερός εμβόλιμος μήνας όλου του ημερολογίου της σπείρας. Το ημερολόγιο αυτό είναι κορινθιακής προέλευσης κι από τη σύγκρισή του με τα γνωστά έως σήμερα ημερολόγια των αρχαίων ελληνικών πόλεων και την κατασκευή σχετικού χάρτη προκύπτουν 3 πιθανές περιοχές χρήσης του Μηχανισμού: η Κόρινθος, η ΒΔ

Ελλάδα και οι Συρακούσες. Νέες αναγνώσεις γραμμάτων στη σπείρας του Σάρου αύξησαν τον αριθμό των υποδιαιρέσεων με εγχάρακτα σύμβολα εκλείψεων από 18 σε 19.

Τμήματα από το κεφάλαιο αυτό της παρούσας διατριβής έχουν δημοσιευθεί και παρουσιαστεί:

Anastasiou M., Seiradakis J.H., Carman C.C. and Efstathiou K. (2014), "The Antikythera Mechanism: The construction of the back plate spirals", *Journal for the History of Astronomy* (accepted (August 2014)).

Freeth T., Jones A., Steele J.M. and Bitsakis Y. (2008), "Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism", *Nature*, **454**, 614-617. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:
http://www.nature.com/nature/journal/v454/n7204/extref/nature07130-s1.pdf

Κεφάλαιο 4

Το παράπηγμα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων

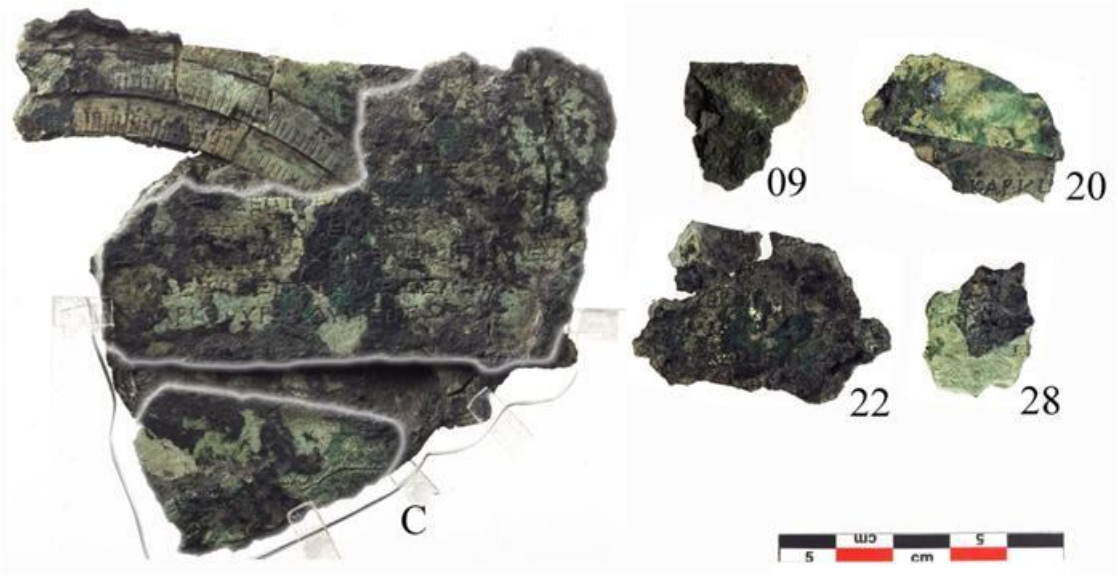
Όπως αναφέρθηκε στην Εισαγωγή (§1.2.1), ανάμεσα στις επιγραφές του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, σώζονται κάποιες πολύ χαρακτηριστικές γραμμές κειμένου οι οποίες περιγράφουν αστρονομικά γεγονότα. Τα γεγονότα αυτά ξεκινούν πάντοτε με ένα γράμμα-δείκτη, γράμματα τα οποία ακολουθούν τη σειρά του ελληνικού αλφάβητου ενώ αντιστοιχούν στα γράμματα του ελληνικού αλφάβητου τα οποία διαβάζουμε πάνω από κάποιες από τις υποδιαιρέσεις των αστερισμών στη ζωδιακή κλίμακα της μπροστινής πλάκας του Μηχανισμού, σχηματίζοντας έτσι ένα *παράπηγμα*.

Τα παραπήγματα – ημερολόγια αστρονομικών και μετεωρολογικών γεγονότων – χρησιμοποιούνταν ευρέως στην αρχαία Ελλάδα (Lehoux 2007). Τα αστρονομικά γεγονότα που αναφέρονται στα παραπήγματα είναι γεγονότα που σχετίζονται με τις ανατολές και τις δύσεις αστέρων ή αστερισμών του ουρανού λίγο πριν την ανατολή ή λίγο μετά τη δύση του Ήλιου. Η εμφάνιση των γεγονότων αυτών μια φορά στη διάρκεια ενός ηλιακού έτους και η σταθερή ετήσια επανάληψή τους συνετέλεσε στη χρήση τους στα ημερολόγια αυτά, τα οποία βοηθούσαν στην οργάνωση πρακτικών δραστηριοτήτων όπως η γεωργία και η ναυσιπλοΐα (Evans 1998 (p.191)).

Τμήματα από το παράπηγμα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων έχουν σωθεί στο θραύσμα C σε δύο προσκολλημένα σε αυτό κομμάτια επίπεδης πλάκας (C1-a και C1-b) καθώς και στα θραύσματα 9, 20, 22 and 28 (εικόνα 4.1). Με εξαίρεση το C1-a, τα υπόλοιπα τμήματα του παραπήγματος είναι αρκετά αποσπασματικά. Όλα τα θραύσματα είναι χαραγμένα πάνω σε πλάκες πάχους ~ 1mm οι οποίες κοσμούσαν τη μπροστινή πλευρά του Μηχανισμού, πάνω και κάτω από τις κλίμακες. Η πιθανότερη ανασύνθεση της μορφής του παραπήγματος (Freeth, Jones and Bitsakis[18]) (εικόνα 4.2) προτείνει την οργάνωση των αστρονομικών γεγονότων σε τέσσερις στήλες, σύμφωνα με τις 4 εποχές, διάταξη που ακολουθεί τη σειρά χειμώνας-άνοιξη-καλοκαίρι-φθινόπωρο σύμφωνα με τη φορά των δεικτών του ρολογιού, σε μια προσπάθεια να υπάρχει αντιστοίχηση και με το αντίστοιχο τεταρτημόριο της κλίμακας του ζωδιακού κύκλου. Στο τέλος των φράσεων κάποιων αστρονομικών γεγονότων, υπάρχουν ενίοτε γραμμένα ένα ή δύο γράμματα, τα οποία σύμφωνα με τους Freeth, Jones and Bitsakis αποτελούν νούμερα και δηλώνουν τον αριθμό της υποδιαίρεσης του ζωδιακού αστερισμού όπου παρατηρείται το γεγονός. Αξιοπερίεργο

[18] Η ανασύνθεση του παραπήγματος αποτελεί ερευνητικό έργο των A. Jones, T. Freeth and Y. Bitsakis και ανακοινώθηκε στην προφορική παρουσίαση του T. Freeth στο XXIII ICHST (International Congress of History of Science and Technology) Ideas and Instruments in Social Context, 28 July – 2 August 2009, Budapest, Hungary. Το ερευνητικό αυτό έργο προετοιμάζεται για δημοσίευση.

είναι βέβαια γιατί σε αυτήν την περίπτωση δεν έχουν χαραχτεί οι αριθμοί των υποδιαιρέσεων σε όλα τα γεγονότα.

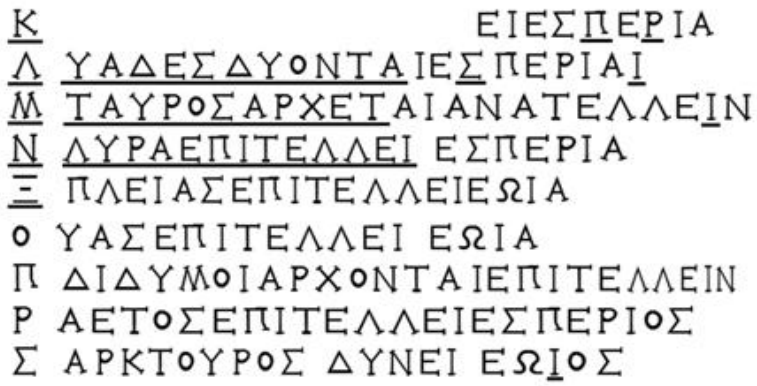


Εικ.4.1: Τα θραύσματα του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Στο θραύσμα C έχει μαρκαριστεί με λευκό χρώμα το περίγραμμα των δύο τμημάτων (C1-a και C1-b) του παραπήγματος. Το θραύσμα 20 επίσης αποτελείται από 2 τμήματα του παραπήγματος με το ένα να μην φέρει καθόλου γράμματα.

Το μεγαλύτερο τμήμα του παραπήγματος που σώζεται, το τμήμα θραύσματος C1-a, διασώζει εννέα αστρονομικά γεγονότα στη σειρά από τα οποία τα οκτώ διατηρούνται πλήρως ενώ ένα είναι αποσπασματικό (εικόνα 4.3). Από τα γεγονότα που αντιστοιχούν στα γράμματα Λ, Μ και Ν, μόνο οι τελευταίες λέξεις είναι σήμερα ορατές. Τα υπόλοιπα γράμματα διαβάζονταν την εποχή που μελέτησε τον Μηχανισμό ο Albert Rehm (αρχές του 20^{ου} αιώνα) αλλά έκτοτε τμήμα από την ενεπίγραφη πλάκα έσπασε και χάθηκε. Αυτές οι επιγραφές καταγράφηκαν και δημοσιεύτηκαν από τον Price (1974), ο οποίος αναφέρει ότι χρησιμοποίησε αδημοσίευτες σημειώσεις του Albert Rehm.



Εικ.4.2: Η αναπαράσταση του παραπήγματος του Μηχανισμού από τη δημοσίευση των Freeth και Jones (2012).



Εικ.4.3: Τα εννέα αστρονομικά γεγονότα του C1-a. Τα υπογραμμισμένα γράμματα είναι γράμματα αβέβαια ή μη ορατά σήμερα.

4.1 Τα αστρονομικά γεγονότα

Τα γεγονότα που αναφέρονται στο C1-a είναι τυπικά γεγονότα που βρίσκουμε συνήθως σε παραπήγματα και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με τον ακόλουθο τρόπο:

(α) Υπάρχουν 6 γεγονότα τα οποία αναφέρονται σε ανατολές και δύσεις αστέρων (τα γεγονότα αυτά από εδώ και στο εξής θα αναφέρονται ως *αστρικά γεγονότα*). Για τη σύνταξη των γεγονότων αυτών χρησιμοποιείται πάντα το ρήμα «ΕΠΙΤΕΛΛΕΙ» (ανατέλλει) ή «ΔΥΝΕΙ» (δύει) το οποίο θέτει τον αστέρα στην ανατολή ή τη δύση αντίστοιχα. Το ρήμα ακολουθείται από το επίθετο «ΕΩΙΟΣ» (κατά το πρωί) ή «ΕΣΠΕΡΙΟΣ» (κατά το απόγευμα) το οποίο τώρα αναφέρεται στον Ήλιο και καθορίζει τη θέση του Ήλιου στην ανατολή ή τη δύση αντίστοιχα. Το υποκείμενο της πρότασης είναι πάντοτε ένας αστέρας, ένα σμήνος αστέρων ή ένας αστερισμός. Συνδυάζοντας τις θέσεις του αστέρα με τις θέσεις του Ήλιου, 4 αστρικά γεγονότα σχηματίζονται: ΕΠΙΤΕΛΛΕΙ ΕΩΙΟΣ (morning rising (*mr*)), ΕΠΙΤΕΛΛΕΙ ΕΣΠΕΡΙΟΣ (evening rising (*er*)), ΔΥΝΕΙ ΕΩΙΟΣ (morning setting (*ms*)) και ΔΥΝΕΙ ΕΣΠΕΡΙΟΣ (evening setting (*es*)). Αυτά τα 4 γεγονότα πολλές φορές αναφέρονται από τους σημερινούς μελετητές ως φάσεις αστέρων.

Κατά την αρχαιότητα, όπως γράφει πολύ αναλυτικά ο Πτολεμαίος στο έργο του «Φάσεις», τα γεγονότα αυτά διακρίνονταν σε *αληθινά* και σε *φαινόμενα*. Τα αληθινά γεγονότα συμβαίνουν όταν και τα δύο σώματα (ο αστέρας κι ο Ήλιος) βρίσκονται σε ύψος 0° (βρίσκονται δηλαδή ταυτόχρονα στον ορίζοντα) και οι ημερομηνίες τους μπορούν εύκολα να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας βασικές σχέσεις της σφαιρικής τριγωνομετρίας. Οι αληθινές ανατολές και δύσεις δεν μπορούν ποτέ να παρατηρηθούν καθώς ο αστέρας δεν μπορεί να γίνει ορατός είτε εξαιτίας της λάμψης του Ήλιου είτε εξαιτίας της έντονης φωτεινότητας του ουρανού.

Οι φαινόμενες ανατολές και δύσεις είναι τα παρατηρήσιμα γεγονότα και είναι αυτά τα οποία χρησιμοποιούνταν από τους γεωργούς και τους ναυτικούς. Ο

υπολογισμός των ημερομηνιών των γεγονότων αυτών είναι δύσκολος καθώς είναι άγνωστο εκ των προτέρων και το ύψος κάτω από τον ορίζοντα στο οποίο βρίσκεται ο Ήλιος και το ύψος του αστέρα (Schoch 1924, Schaefer 1993, Schaefer 1987, Schaefer 1985, Robinson 2009, Alcyone software (λογισμικό)). Πιο αναλυτικά, τα 4 φαινόμενα αστρικά γεγονότα περιγράφονται ως εξής:

- ΕΠΙΤΕΛΛΕΙ ΕΩΙΟΣ (*mr*): ένας αστέρας (ή αστρικό σμήνος ή αστερισμός) επιτέλλει εώιος την πρώτη ημέρα του έτους που γίνεται ορατός στον ανατολικό ορίζοντα κατά το λυκαυγές, μετά από μια περίοδο που βρισκόταν κάτω από τον ορίζοντα ή είχε περάσει πάνω από τον ορίζοντα αλλά ήταν λιγότερο αμυδρός ως προς το υπόβαθρο του ουρανού.
- ΔΥΝΕΙ ΕΩΙΟΣ (*ms*): ένας αστέρας (ή αστρικό σμήνος ή αστερισμός) δύνει εώιος την πρώτη μέρα του έτους που γίνεται ορατός να δύει κατά το λυκαυγές.
- ΕΠΙΤΕΛΛΕΙ ΕΣΠΕΡΙΟΣ (*er*): ένας αστέρας (ή αστρικό σμήνος ή αστερισμός) επιτέλλει εσπέριος την τελευταία ημέρα του έτους που γίνεται ορατός να ανατέλλει κατά το λυκόφως.
- ΔΥΝΕΙ ΕΣΠΕΡΙΟΣ (*es*): ένας αστέρας (ή αστρικό σμήνος ή αστερισμός) δύνει εσπέριος την τελευταία ημέρα του έτους που γίνεται ορατός να δύει κατά το λυκόφως.

(β) Υπάρχουν 2 γεγονότα τα οποία αναφέρονται στους ζωδιακούς αστερισμούς (γεγονότα τα οποία από εδώ και στο εξής θα αναφέρονται ως *ζωδιακές αναφορές*). Η χαρακτηριστική σύνταξη των αναφορών αυτών αποτελείται από το ζωδιακό αστερισμό που είναι πάντα το υποκείμενο και τη φράση «ΑΡΧΕΤΑΙ / ΑΡΧΟΝΤΑΙ ΑΝΑΤΕΛΛΕΙΝ / ΕΠΙΤΕΛΛΕΙΝ» που ακολουθεί αμέσως μετά θέτοντας τον ζωδιακό αστερισμό στην ανατολή. Οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποιούσαν τα ίδια ονόματα για τους ζωδιακούς αστερισμούς είτε αναφέρονταν σε αυτούς ως μερικούς από τους ανομοιόμορφους σε σχήμα και μέγεθος αστερισμούς είτε ως τους ομοιόμορφα κατανεμημένους αστερισμούς των 30°. Το γεγονός ότι διαβάζουμε πάντοτε χαραγμένο ένα γράμμα του ελληνικού αλφαβήτου στην πρώτη υποδιαίρεση του κάθε ζωδιακού αστερισμού στη ζωδιακή κλίμακα της μπροστινής πλευράς του Μηχανισμού των Αντικυθήρων (και για τους 3 αστερισμούς των οποίων διατηρείται η αρχική υποδιαίρεση (ΧΗΛΑΙ, ΣΚΟΡΠΙΟΣ, ΤΟΞΟΤΗΣ)) υποδηλώνει κατά πάσα πιθανότητα όχι την ανατολή του ανομοιόμορφου αστερισμού (δεν είναι δηλαδή ίδιας φύσεως με τα (α) γεγονότα) αλλά ότι αυτές οι ζωδιακές αναφορές σχετίζονται με τους ομοιόμορφα κατανεμημένους αστερισμούς των 30° και σηματοδοτούν τη μετάβαση του Ήλιου από τον ένα ζωδιακό αστερισμό στον επόμενο.

Τα αρχαία ελληνικά παραπήγματα συχνά σημειώνουν τις ημερομηνίες των αλλαγών των ζωδιακών αστερισμών με κάποιον τρόπο αλλά το παράπηγμα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων είναι το μόνο το οποίο χρησιμοποιεί το ρήμα «ΕΠΙΤΕΛΛΕΙ / ΑΝΑΤΕΛΛΕΙ» για το σκοπό αυτό. Εκφράσεις όπως «ΑΡΧΕΤΑΙ ΕΠΙΤΕΛΛΕΙΝ / ΑΝΑΤΕΛΛΕΙΝ» για τους ζωδιακούς αστερισμούς δεν είναι ασυνήθιστες αλλά συνήθως εντάσσονται σε κάποια ημέρα η οποία δεν είναι αναγκαστικά η πρώτη μέρα που ο Ήλιος βρίσκεται στον αστερισμό αυτό (κι

επομένως δεν σηματοδοτούν το πέρασμα του Ήλιου). Π.χ. στο παράπηγμα το οποίο καταγράφει ο Γέμινος στο έργο του «Εισαγωγή εις τα Φαινόμενα» διαβάζουμε ότι σύμφωνα με τον Κάλλιππο ο αστερισμός του Λέοντα αρχίζει να ανατέλλει τη 30η ημέρα που ο Ήλιος βρίσκεται στον ζωδιακό αστερισμό του Καρκίνου ή ότι ο αστερισμός του Κριού αρχίζει να ανατέλλει την 3η ημέρα που ο Ήλιος βρίσκεται σε αυτόν τον ζωδιακό αστερισμό. Η έκφραση «ΑΡΧΕΤΑΙ ΕΠΙΤΕΛΛΕΙΝ / ΑΝΑΤΕΛΛΕΙΝ» επίσης χρησιμοποιείται με τον ίδιο τρόπο συχνά και για τους άλλους μεγάλους μη ζωδιακούς αστερισμούς. Ο τρόπος σύνταξης των ζωδιακών αναφορών του Μηχανισμού μοιάζει, μέχρι στιγμής, να αποτελεί μια ιδιαιτερότητα του Μηχανισμού.

Η σειρά με την οποία συμβαίνουν τα γεγονότα ενός παραπήγματος εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου όπου βρίσκεται κανείς. Κάτι τέτοιο θα υποδείκνυε για τον Μηχανισμό τον πιθανό τόπο κατασκευής ή χρήσης του. Για τη διερεύνηση αυτή και για την εύρεση ενός τρόπου υπολογισμού των φαινόμενων αστρικών γεγονότων, χρειάστηκε να δημιουργηθεί μια νέα μέθοδος ανάλυσης η οποία – σε αντίθεση με όλες τις σχετικές υπάρχουσες μεθόδους μέχρι τώρα – δεν αφήνει καμία ελεύθερη παράμετρο.

4.2 Η μέθοδος υπολογισμού των φαινόμενων αστρικών γεγονότων

Για τον υπολογισμό των φαινόμενων αστρικών γεγονότων, δημιουργήθηκε εξολοκλήρου από την αρχή ένα νέο πρόγραμμα (κώδικας) χρησιμοποιώντας το λογισμικό πρόγραμμα της Mathematica. Για οποιοδήποτε τόπο με **γεωγραφικό πλάτος** (φ) και για οποιοδήποτε σημειακό αντικείμενο του ουρανού (π.χ. για έναν αστέρα ή για τον Ήλιο) με **ουρανογραφικές συντεταγμένες** (α, δ) και **ύψος** (υ) πάνω από τον ορίζοντα, μπορούν να υπολογιστούν το **αζιμούθιο** (A) και η **ωριαία γωνία** (H) του χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες βασικές εξισώσεις της σφαιρικής τριγωνομετρίας:

$$\cos A = \frac{\sin\delta - \sin\varphi \sin\upsilon}{\cos\varphi \cos\upsilon} \tag{4-1}$$

$$\sin\upsilon = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos H \tag{4-2}$$

Ο **αστρικός χρόνος** (ST) κατά τον οποίο το αντικείμενο βρίσκεται στη θέση (A, υ) της ουράνιας σφαίρας μπορεί να υπολογισθεί από την εξίσωση:

$$ST = \alpha + H \tag{4-3}$$

Οι ουρανογραφικές συντεταγμένες ενός αστέρα παραμένουν πρακτικά σταθερές κατά τη διάρκεια ενός έτους. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο και με τις ουρανογραφικές συντεταγμένες του Ήλιου. Εξαιτίας της περιφοράς της Γης γύρω από τον Ήλιο και της λόξωσης της εκλειπτικής, οι ουρανογραφικές συντεταγμένες του Ήλιου αλλάζουν συνεχώς και για τη δημιουργία του κώδικα ανάλυσης χρειάζεται να καθορίζονται σε ημερήσια βάση ($\alpha_{i\text{-}Sun}$, $\delta_{i\text{-}Sun}$, i = 1 έως 365).

Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας τις ουρανογραφικές συντεταγμένες του Ήλιου, ένα συγκεκριμένο ύψος στο οποίο θεωρούμε ότι βρίσκεται ο Ήλιος (π.χ. -5°) και ένα γεωγραφικό πλάτος, υπολογίζονται οι οριζόντιες συντεταγμένες κι ο αντίστοιχος αστρικός χρόνος του Ήλιου, για δύο φυσικά περιπτώσεις, προς την ανατολή και προς τη δύση, καθώς χρειάζεται να διερευνηθούν και τα τέσσερα αστρικά γεγονότα. Και καθώς οι ουρανογραφικές συντεταγμένες του Ήλιου χρειάζεται να καθορίζονται σε ημερήσια βάση ($\alpha_{i\text{-}Sun}$, $\delta_{i\text{-}Sun}$, i = 1 έως 365), δημιουργούνται πίνακες των 365 τιμών ο καθένας (για κάθε μέγεθος (αζιμούθιο, ύψος, αστρικός χρόνος) ένας πίνακας για την ανατολή κι ένας για τη δύση). Χρησιμοποιώντας τους δύο πίνακες των αστρικών χρόνων, τις ουρανογραφικές συντεταγμένες του αστέρα και το ίδιο γεωγραφικό πλάτος, υπολογίζεται το αζιμούθιο και το ύψος του αστέρα (πίνακες των 365 τιμών), πάλι για δύο περιπτώσεις, με τον Ήλιο προς την ανατολή και με τον Ήλιο προς τη δύση.

Επομένως, μέχρι στιγμής, θέτοντας ένα συγκεκριμένο ύψος για τον Ήλιο και ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος, έχει υπολογισθεί η θέση του αστέρα. Προκειμένου το ύψος του Ήλιου να μην είναι πλέον ελεύθερη παράμετρος, όλοι οι παραπάνω υπολογισμοί ορίστηκαν να επαναλαμβάνονται για όλες τις πιθανές τιμές (αρνητικού) ύψους του Ήλιου j μεταξύ -15° και -1° ανά 0.1°, δηλαδή για 141 τιμές ύψους του Ήλιου. Κατά συνέπεια, δημιουργούνται τελικά πίνακες 141 × 365 τιμών με τη θέση του αστέρα: δύο πίνακες αζιμούθιου ($A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$) και ύψους ($\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$), δηλαδή με όλες τις πιθανές οριζόντιες συντεταγμένες του αστέρα με τον Ήλιο προς την ανατολή και δύο πίνακες αζιμούθιου ($A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$) και ύψους ($\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$), δηλαδή με όλες τις πιθανές οριζόντιες συντεταγμένες του αστέρα με τον Ήλιο προς τη δύση.

Επομένως για κάθε σετ οριζόντιων συντεταγμένων του Ήλιου πχ. ($A_{i,j\text{-}SunEast}$, $\upsilon_{j\text{-}SunEast}$) στον ανατολικό ουρανό ή ($A_{i,j\text{-}SunWest}$, $\upsilon_{j\text{-}SunWest}$) στο δυτικό ουρανό, έχουν υπολογισθεί οι αντίστοιχες οριζόντιες συντεταγμένες του αστέρα ($A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$, $\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$) και ($A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$, $\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$). Το εάν ο αστέρας φαινόμενου μεγέθους (m_{Star}) είναι ορατός στις θέσεις του πάνω από τον ορίζοντα ή όχι, εξαρτάται από τη φωτεινότητα του υποβάθρου του, δηλαδή από τη φωτεινότητα του ουρανού.

Δύο πηγές μετρήσεων φωτεινότητας του ουρανού χρησιμοποιήθηκαν. Ο Nawar (1983) δημοσίευσε πίνακες με τιμές φωτεινότητας του ουρανού κατά το λυκαυγές / λυκόφως ως συνάρτηση τριών μεταβλητών: του (αρνητικού) *ύψους του Ήλιου* κάτω από τον ορίζοντα, της *αζιμουθιακής απόστασης του σημείου του ουρανού* (όπου γίνεται η μέτρηση της φωτεινότητας) από τον Ήλιο (πιο αναλυτικά, από την προβολή του Ήλιου στον ορίζοντα) και από το *ύψος του σημείου του ουρανού* πάνω από τον ορίζοντα. Στην πραγματικότητα ο Nawar (1983) δημοσίευσε δύο πίνακες φωτεινότητας: έναν έχοντας χρησιμοποιήσει μπλε φίλτρο και έναν με κόκκινο φίλτρο. Κάνοντας "interpolation" των τιμών αυτών, βρέθηκαν προσεγγιστικά οι τιμές για το ορατό φίλτρο. Χρησιμοποιώντας εκ νέου τη Mathematica στη συνέχεια, με νέο "interpolation" των τιμών φωτεινότητας του ορατού φίλτρου, υπολογίζονται τιμές φωτεινότητας για οποιοδήποτε σημείο του ουρανού για οποιοδήποτε ύψος του Ήλιου μεταξύ -15° και -1° (ανά 0.1°). Ανεξάρτητες τιμές φωτεινότητας του ουρανού

δημοσιεύτηκαν επίσης από τους Koomen *et al*. (1952), με τη μορφή πάλι πινάκων για αρκετές τιμές *ύψους του σημείου του ουρανού* πάνω από τον ορίζοντα, αρκετές *αζιμουθιακές αποστάσεις* από τον Ήλιο και αρκετές τιμές (αρνητικού) *ύψους του Ήλιου* κάτω από τον ορίζοντα. Οι πίνακες αυτοί αφορούσαν δύο περιοχές: το Sacramento Peak και το Maryland. Οι τιμές του Maryland (λόγω του χαμηλού υψομέτρου των 30 m.) χρησιμοποιήθηκαν για να γίνει, όπως και παραπάνω, "interpolation" και να μπορούν να υπολογίζονται τιμές φωτεινότητας για οποιοδήποτε σημείο του ουρανού. Χρησιμοποιώντας αυτές τις συναρτήσεις ("interpolating functions"), ο κώδικας στη Mathematica μπορεί να υπολογίζει τη φωτεινότητα υποβάθρου του ουρανού στη θέση ($A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$, $\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$) ή ($A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$, $\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$) του αστέρα.

Γνωρίζοντας τη θέση του αστέρα στον ουρανό και τη φωτεινότητα του ουρανού στο σημείο εκείνο, χρειάζεται τέλος μια συνάρτηση η οποία να καθορίζει κατά πόσο ο αστέρας φαινόμενου μεγέθους (m_{Star}) είναι ορατός ή όχι σε αυτές τις συνθήκες φωτεινότητας. Η συνάρτηση αυτή μελετήθηκε από τους Tousey and Koomen (1953) οι οποίοι δημοσίευσαν τιμές του μέγιστου φαινόμενου μεγέθους *m* που μπορεί να έχει ένας αστέρας ώστε να είναι ορατός σε μια δεδομένη τιμή φωτεινότητας *B* του ουρανού. Οι τιμές που δίνουν οι Tousey and Koomen (1953) ισχύουν για 98% πιθανότητα να είναι ορατός ο αστέρας. Χρησιμοποιώντας τις τιμές αυτές, δημιουργήθηκε μια νέα "interpolation function" στη Mathematica ώστε να μπορεί να καθορίζεται αν είναι ορατός ή όχι ο αστέρας στη θέση ($A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$, $\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$) ή ($A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$, $\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$) του. Πιο συγκεκριμένα μάλιστα, με τη βοήθεια αυτής της συνάρτησης, υπολογίζεται κατά πόσο ο αστέρας είναι ορατός ή όχι σε κάθε μία από τις 141 × 365 θέσεις του στον ανατολικό και στο δυτικό ουρανό ενώ οι υπολογισμοί αυτοί αποθηκεύονται ταυτόχρονα σε δύο νέους πίνακες με 141 × 365 τιμές «ορατός / μη ορατός» (για τον ανατολικό και δυτικό ουρανό).

Διερευνώντας αυτές τις 141 × 365 τιμές «ορατός / μη ορατός» για τον ανατολικό ουρανό, το πρόγραμμα αποθηκεύει για κάθε τιμή (αρνητικού) ύψους του Ήλιου την πρώτη και την τελευταία ημέρα που ο αστέρας είναι ορατός, δηλαδή το πότε ο αστέρας ανατέλλει και δύει κατά το λυκαυγές. Διερευνώντας τις αντίστοιχες 141 × 365 τιμές «ορατός / μη ορατός» για το δυτικό ουρανό, το πρόγραμμα πάλι αποθηκεύει για κάθε τιμή (αρνητικού) ύψους του Ήλιου την πρώτη και την τελευταία ημέρα που ο αστέρας είναι ορατός, δηλαδή το πότε τώρα ο αστέρας ανατέλλει και δύει κατά το λυκόφως. Οι ημερομηνίες των τεσσάρων αστρικών γεγονότων *mr*, *ms*, *er* και *es* εντοπίζονται εύκολα πια εξετάζοντας όλες αυτές τις αποθηκευμένες τιμές για όλες τις τιμές ύψους του Ήλιου.

Ο Πίνακας 4.1 δίνει δύο παραδείγματα αποτελεσμάτων, ανά 1°, για τα φαινόμενα *mr* και *es* του αστέρα Vega (Βέγα), έτσι όπως παρατηρήθηκαν στην Αθήνα το 150 π.Χ. Τα αποτελέσματα έχουν προκύψει χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις φωτεινότητας του Nawar (1983) και συντελεστή ατμοσφαιρικής απορρόφησης (βλ. παρακάτω) k = 0.23 (στον πίνακα επίσης εμφανίζεται το φαινόμενο ύψος του αστέρα, το πραγματικό δηλαδή ύψος στο οποίο φαίνεται να βρίσκεται ο αστέρας μετά τον υπολογισμό του

φαινομένου της ατμοσφαιρικής διάθλασης (βλ. παρακάτω)). Η ημέρα που παρατηρείται ο Vega να «επιτέλλει εώιος» (*mr*) (**11/11**), η πρώτη δηλαδή μέρα του έτους που ο Vega είναι ορατός και είναι επομένως και **στη μικρότερη δυνατή απόσταση ύψους από τον Ήλιο**, εντοπίζεται εύκολα. Η ημέρα που παρατηρείται ο Vega να «δύνει εσπέριος» (*es*) (**22/1**) είναι η τελευταία ημέρα του έτους που ο Vega είναι ορατός και βρίσκεται πάλι στη μικρότερη δυνατή απόσταση ύψους από τον Ήλιο. Το (αρνητικό) ύψος του Ήλιου και το ύψος του αστέρα την ημέρα του αστρικού φαινομένου διαβάζονται στις αντίστοιχες στήλες του πίνακα και δεν αποτελούν επομένως ελεύθερες παραμέτρους (σε αντίθεση με όλες τις σχετικές υπάρχουσες μεθόδους μέχρι τώρα). Οι ημερομηνίες των αστρικών φαινομένων *ms* (η πρώτη ημέρα του έτους που ο αστέρας γίνεται ορατός να δύει κατά το λυκαυγές) και *er* (η τελευταία ημέρα του έτους που ο αστέρας γίνεται ορατός να ανατέλλει κατά το λυκόφως) εντοπίζονται με παρόμοιο τρόπο.

Όλοι οι παραπάνω υπολογισμοί επαναλήφθηκαν για την εύρεση των ημερομηνιών και των έξι αστρικών γεγονότων που υπάρχουν χαραγμένα στο τμήμα θραύσματος C1-a του Μηχανισμού των Αντικυθήρων για όλα τα γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 25°N – 45°N (ανά 0.5°).

Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα του προγράμματος για τα φαινόμενα *mr* και *es* του αστέρα Vega, για το γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας το 150 π.Χ., με βάση τις μετρήσεις φωτεινότητας του Nawar (1983) ($k = 0.23$).

Ο Vega «επιτέλλει εώιος» (*mr*)				**Ο Vega «δύνει εσπέριος» (*es*)**			
Ύψος Ήλιου (°)	**Ημερο-μηνία στο ιουλια-νό ημερο-λόγιο**	**Φαινό-μενο ύψος αστέρα (°)**	**Διαφορά ύψους Ήλιου-αστέρα**	**Ύψος Ήλιου (°)**	**Ημερο-μηνία στο ιουλια-νό ημερο-λόγιο**	**Φαινό-μενο ύψος αστέρα (°)**	**Διαφορά ύψους Ήλιου-αστέρα**
-15	16/11	1.51	16.51	-15	15/1	1.70	16.70
-14	15/11	1.54	15.54	-14	16/1	1.76	15.76
-13	15/11	2.13	15.13	-13	17/1	1.81	14.81
-12	14/11	2.16	14.16	-12	18/1	1.87	13.87
-11	13/11	2.18	13.18	-11	19/1	1.92	12.92
-10	12/11	2.21	12.21	-10	20/1	1.98	11.98
-9	11/11	2.23	11.23	-9	21/1	2.04	11.04
-8	11/11	2.86	10.86	-8	21/1	2.67	10.67
-7	11/11	3.50	10.50	**-7**	**22/1**	**2.73**	**9.73**
-6	**11/11**	**4.16**	**10.16**	-6	21/1	4.01	10.01
-5	13/11	6.18	11.18	-5	20/1	5.35	10.35
-4	18/11	10.48	14.48	-4	15/1	9.49	13.49
-3	28/11	19.05	22.05	-3	5/1	17.63	20.63
-2	21/12	39.10	41.10	-2	8/12	39.68	41.68
-1	30/1	69.56	70.56	-1	17/10	71.30	72.30

4.3 Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν

4.3.1 Η ατμοσφαιρική διάθλαση

Η ατμοσφαιρική διάθλαση, *R*, μπορεί να παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στα φαινόμενα αστρικά γεγονότα καθώς κοντά στον ορίζοντα το φυσικό αυτό φαινόμενο έχει ως αποτέλεσμα το ύψος ενός αστέρα ή του Ήλιου να αυξάνεται σημαντικά (μέχρι και 0.5° περίπου). Για να ληφθεί υπόψη το φαινόμενο αυτό, χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη ημι-εμπειρική σχέση (Schaefer 1993 (p.314), Meeus 1998 (p.106)):

$$R = \frac{1.02'}{\tan\left(h + \frac{10.3}{h + 5.11}\right)} \tag{4-4}$$

όπου *h* (°) είναι το πραγματικό ύψος. Η σχέση δίνει λογικά αποτελέσματα για όλες τις τιμές $h \geq 0$. Η διόρθωση της ατμοσφαιρικής διάθλασης εφαρμόστηκε σε όλες τις θέσεις των αστέρων πάνω από τον ορίζοντα. Η θέση του Ήλιου κατά τα φαινόμενα αστρικά γεγονότα είναι πάντοτε κάτω από τον ορίζοντα κι επομένως κατά τους υπολογισμούς της θέσης του δεν χρειάζεται να ληφθεί υπόψη η ατμοσφαιρική διάθλαση (ή μπορεί αλλιώς να πει κανείς ότι οι "interpolated" συναρτήσεις φωτεινότητας των Nawar (1983) και Koomen *et al* (1952) είναι ορισμένες με βάση τις τιμές πραγματικού ύψους του Ήλιου κι επομένως δεν παίζει κάποιο ρόλο η ατμοσφαιρική διάθλαση).

4.3.2 Η ατμοσφαιρική απορρόφηση

4.3.2.1 Ο γενικός τύπος για την ατμοσφαιρική απορρόφηση

Η ατμοσφαιρική απορρόφηση έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η φωτεινότητα ενός αστέρα όπως φαίνεται από τη Γη. Το διορθωμένο φαινόμενο μέγεθος *m΄* αστέρα υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση (Schaefer 1993 (p. 315)):

$$\Delta m = m' - m = k \cdot X = k \cdot \left[\cos Z + 0.025 \cdot e^{-11 \cdot \cos Z}\right]^{-1} \tag{4-5}$$

όπου *k* ο συντελεστής απορρόφησης, *X* η αέρια μάζα και *Z* (°) η φαινόμενη, λόγω ατμοσφαιρικής διάθλασης, ζενίθια απόσταση του αστέρα. Ο συντελεστής *k* μεταβάλλεται ανάλογα με την τοποθεσία παίρνοντας τιμές που κυμαίνονται από 0.1 (τέλεια νύχτα σε ένα πολύ ψηλό βουνό) έως 0.4 (κακή νύχτα με υγρασία σε τοποθεσία στο ύψος της θάλασσας) (Schaefer 1985 (p. 261)). Στην ανάλυση των αστρικών γεγονότων του C1-a του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, εξετάστηκαν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις με το $k = 0.17, 0.23, 0.30$, καλύπτοντας έτσι όλες τις λογικές τιμές *k* για τις αρχαίες παρατηρήσεις.

4.3.2.2 Οι αναλυτικοί τύποι του Schaefer (1993) για την ατμοσφαιρική απορρόφηση κοντά στον ορίζοντα

Η ατμοσφαιρική απορρόφηση υπολογίστηκε και με δεύτερο τρόπο, χρησιμοποιώντας τους πιο ακριβείς τύπους για την απορρόφηση κοντά στον ορίζοντα που έχει δημοσιεύσει ο Schaefer (1993 (p. 315-19), τα αποτελέσματα όμως ήταν ασήμαντα διαφοροποιημένα.

Πιο αναλυτικά, η αλλαγή λόγω της απορρόφησης στο φαινόμενο μέγεθος ενός αστέρα κοντά στον ορίζοντα υπολογίστηκε ως το άθροισμα των τριών συνεισφερόντων παραγόντων (οι τρεις πηγές της ατμοσφαιρικής απορρόφησης: σκέδαση Rayleigh από τα μόρια των ατμοσφαιρικών αερίων, σκέδαση Mie από τα ατμοσφαιρικά αιωρήματα και απορρόφηση από το όζον στη στρατόσφαιρα):

$$\Delta m = m' - m = k_R \cdot X_e(8.2\text{ km}) + k_{oz} \cdot X_L(20\text{ km}) + k_a \cdot X_e(1.5\text{ km}) \qquad (4\text{-}6)$$

όπου k_R, k_{oz}, k_α είναι οι αντίστοιχοι συντελεστές απορρόφησης Rayleigh, όζοντος και αιωρημάτων, X_e(8.2 km) η αέρια μάζα για τη σκέδαση Rayleigh (η οποία χαρακτηρίζεται από κλίμακα ύψους 8.2 km), X_e(1.5 km) η αέρια μάζα για τη σκέδαση των αιωρημάτων (κλίμακα ύψους 1.5 km) και X_L η αέρια μάζα για το στρώμα του όζοντος. Οι συντελεστές απορρόφησης υπολογίστηκαν από τις εξισώσεις:

$$k_R = 0.1066 \cdot e^{-H/8.2} \qquad (4\text{-}7)$$

$$k_{oz} = \frac{0.031}{3.0}\left(3.0 + 0.4\left(\varphi \cos\alpha_S - \cos 3\varphi\right)\right) \qquad (4\text{-}8)$$

$$k_\alpha = k - \left(k_R + k_{oz}\right) \qquad (4\text{-}9)$$

όπου H (km) είναι το ύψος της τοποθεσίας του παρατηρητή, φ (radians) το γεωγραφικό του πλάτος και α_s (h) η ορθή αναφορά του Ήλιου. Η τιμή που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση για το H είναι H = 0.3 km. Για τον συντελεστή απορρόφησης αιωρημάτων, k_α, ο Schaefer (1993 (p. 317)) δημοσίευσε μια πιο πολύπλοκη σχέση η οποία εξαρτάται από τη σχετική υγρασία αλλά έχει σημαντικό ποσοστό αβεβαιότητας. Προκειμένου να αποφευχθεί η αβεβαιότητα αυτή, ο συντελεστής k_α υπολογίστηκε από την εξίσωση 4-9, με το k να παίρνει τις τρεις διαφορετικές τιμές k = 0.17, 0.23, 0.30 που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Οι αέριες μάζες υπολογίστηκαν από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\mathrm{X}_e\left(H_e\right) = \left[\cos Z + 0.01 \cdot \sqrt{H_e} \cdot \exp\left(\frac{-30\cos Z}{\sqrt{H_e}}\right)\right]^{-1} \qquad (4\text{-}10)$$

$$\mathrm{X}_L\left(H_L\right) = \left[1 - \left(\frac{\sin Z}{1 + \left(H_L / R_o\right)}\right)^2\right]^{-0.5} \qquad (4\text{-}11)$$

όπου Z (°) είναι η φαινόμενη (εξαιτίας της ατμοσφαιρικής διάθλασης) ζενίθια απόσταση του αστέρα, R_o (km) η ισημερινή ακτίνα της Γης (R_o = 6378 km), H_e (km)

η εκθετική κλίμακα ύψους της αέριας μάζας για τη σκέδαση Rayleigh και τη σκέδαση των αιωρημάτων (8.2 km και 1.5 km αντίστοιχα) και H_L (km) το ύψος του στρώματος απορρόφησης του όζοντος πάνω από τον παρατηρητή, ύψος το οποίο για το όζον της στρατόσφαιρας είναι περίπου 20 km.

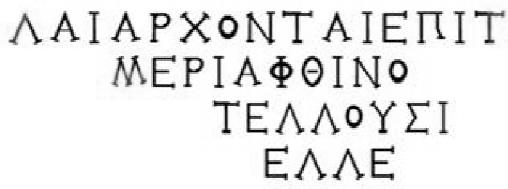
4.3.3 Οι αστέρες και οι αστερισμοί που χρησιμοποιήθηκαν

Οι υπολογισμοί για την εύρεση των ημερομηνιών των έξι αστρικών γεγονότων που υπάρχουν χαραγμένα στο τμήμα θραύσματος C1-a του Μηχανισμού των Αντικυθήρων έγιναν για το έτος 150 π.Χ., καθώς η κατασκευή του Μηχανισμού, όπως αναφέρθηκε και στην Εισαγωγή, υπολογίζεται ότι έγινε περίπου το 150 – 100 π.Χ. (Freeth *et al*. 2006). Καθώς οι ημερομηνίες των φαινόμενων αστρικών γεγονότων αλλάζουν χρονικά πάρα πολύ αργά, τα αποτελέσματα ουσιαστικά θα ήταν τα ίδια εάν οι υπολογισμοί είχαν γίνει για οποιοδήποτε έτος μεταξύ του 200 και 100 π.Χ.

Οι ουρανογραφικές συντεταγμένες του Ήλιου και των αστέρων υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τους κώδικες του Duffett-Smith (1990), έχοντας λάβει υπόψη την μετάπτωση των ισημεριών, τη μείωση της λόξωσης της εκλειπτικής, την κλόνιση του άξονα της Γης και την αποπλάνηση από την κίνησή της καθώς επίσης, για κάθε αστέρα, το φαινόμενο της ιδίας κίνησής του. Όλοι οι αστερισμοί ταυτίστηκαν με τον λαμπρότερο αστέρα τους εκτός εάν αναφέρεται ένα συγκεκριμένο άστρο του αστερισμού. Πιο αναλυτικά, ο αστερισμός της Λύρας (Lyra) ταυτίστηκε με τον αστέρα Vega (Βέγας), ο Αετός (Aquila) με τον αστέρα Altair και οι Υάδες (Hyades) με τον Aldebaran (Λαμπαδίας) (στο έργο του Πτολεμαίου *Η Μεγίστη* (VII, 5) (ή *Μαθηματική Σύνταξις*) ο Λαμπαδίας αναφέρεται ως ο λαμπρότερος αστέρας των Υάδων). Για τις Πλειάδες (Pleiades), το φαινόμενο μέγεθός τους και οι μέσες ουρανογραφικές συντεταγμένες τους υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τους 10 λαμπρότερους αστέρες του σμήνους. Πιο συγκεκριμένα, για το φαινόμενο μέγεθος των Πλειάδων υπολογίστηκε η φαινόμενη λαμπρότητα καθενός από τους 10 αστέρες από το φαινόμενο μέγεθός του m, οι λαμπρότητες αυτές προστέθηκαν και από την συνολική αυτή φαινόμενη λαμπρότητα υπολογίστηκε η τιμή του φαινόμενου μεγέθους των 10 αστέρων. Οι μέσες ουρανογραφικές συντεταγμένες υπολογίστηκαν ως η μέση τιμή των συντεταγμένων ορθής αναφοράς α και η μέση τιμή των συντεταγμένων απόκλισης δ των 10 αστέρων. Τα αποτελέσματα για τα αστρικά γεγονότα των Πλειάδων δεν διαφοροποιούνται σχεδόν καθόλου εάν χρησιμοποιήσει κανείς το σημερινά υπολογισμένο φαινόμενο μέγεθος του σμήνους.

Για τις ζωδιακές αναφορές του C1-a, ο συσχετισμός τους με τις ημέρες του έτους καθορίστηκε από μια πληροφορία που διαβάστηκε πάνω στο δεύτερο προσκολλημένο στο θραύσμα C τμήμα επίπεδης πλάκας του παραπήγματος, το C1-b (εικόνα 4.4). Σε αυτό το τμήμα θραύσματος αναγράφεται ότι η φθινοπωρινή ισημερία πραγματοποιείται όταν ο Ήλιος εισέρχεται στο ζωδιακό αστερισμό «ΧΗΛΑΙ» (Ζυγός), δηλαδή στην $1^{η}$ υποδιαίρεση του ζωδιακού αυτού αστερισμού όπως είδαμε παραπάνω για τις ζωδιακές αναφορές. Η ανακοίνωση της ανάγνωσης αυτής έγινε για

πρώτη φορά από τον T. Freeth στο XXIII ICHST (International Congress of History of Science and Technology) Ideas and Instruments in Social Context, 28 July – 2 August 2009, Budapest, Hungary κατά την παρουσίαση του έργου των A. Jones, T. Freeth and Y. Bitsakis. Η παρουσία γραμμών κειμένου στο παράπηγμα του Μηχανισμού που αναφέρονται στις ισημερίες και τα ηλιοστάσια («ΤΡΟΠΑΙ») μέχρι τότε παρέμενε άγνωστη.



Εικ.4.4: Το τμήμα του παραπήγματος που σώζεται στο C1-b. Στην 1η γραμμή αναγράφεται τμήμα της ζωδιακής αναφοράς «ΧΗΛΑΙΑΡΧΟΝΤΑΙΕΠΙΤΕΛΛΕΙΝ» και στη 2η τμήμα της φράσης «ΙΣΗΜΕΡΙΑΦΘΙΝΟΠΩΡΙΝΗ». Στην 3η και 4η γραμμή ακολουθούν πιθανότατα 2 αστρικά γεγονότα (λιγότερο πιθανό είναι να πρόκειται για ένα αστρικό γεγονός και μία ζωδιακή αναφορά καθώς από το C1-a φαίνεται να αναγράφονται κατά μέσο όρο 3 αστρικά γεγονότα σε κάθε ζωδιακό αστερισμό.

Η πληροφορία αυτή του τμήματος θραύσματος C1-b ότι η φθινοπωρινή ισημερία πραγματοποιείται την ίδια ημέρα που ο Ήλιος εισέρχεται στο ζωδιακό αστερισμό «ΧΗΛΑΙ» (Ζυγός) είναι μια πολύ σημαντική πληροφορία καθώς κάποιοι παλαιότεροι Έλληνες αστρονόμοι ανέφεραν τις ισημερίες και τα ηλιοστάσια κατά τη μέση των ζωδιακών αστερισμών ή ένας αριθμός Ρωμαίων συγγραφέων χρησιμοποιούσαν μια σύμβαση των Βαβυλωνίων, σύμφωνα με την οποία οι ισημερίες και τα ηλιοστάσια πραγματοποιούνταν όταν ο Ήλιος έφτανε στις 8° (8η υποδιαίρεση). Σύμφωνα με τις υπολογισμένες ουρανογραφικές συντεταγμένες του Ήλιου για το 150 π.Χ., η φθινοπωρινή ισημερία πραγματοποιήθηκε στις 27 Σεπτεμβρίου του Ιουλιανού ημερολογίου. Επομένως η 27η Σεπτεμβρίου αποτελεί για τους υπολογισμούς της ανάλυσης την ημέρα της αρχής του ζωδιακού αστερισμού του Ζυγού. Για τη διάρκεια της φαινόμενης διάβασης του Ήλιου από καθέναν από τους ζωδιακούς αστερισμούς (Πίνακας 4.2), ακολουθήθηκε ο Γέμινος, έτσι όπως περιγράφει τους αστερισμούς αυτούς στο παράπηγμα που παραθέτει στο έργο του «Εισαγωγή εις τα Φαινόμενα».

Πίνακας 4.2: Η διάρκεια της φαινόμενης διάβασης του Ήλιου από τους ζωδιακούς αστερισμούς, όπως καταγράφεται στο παράπηγμα του Γέμινου, και τα υπολογισμένα χρονικά όριά τους για το έτος 150 π.Χ.

Ζωδιακός αστερισμός	**Ημερομηνίες στο ιουλιανό ημερολόγιο**	**Αριθμός ημερών**	**Ζωδιακός αστερισμός**	**Ημερομηνίες στο ιουλιανό ημερολόγιο**	**Αριθμός ημερών**
Χηλαί	27/9 – 26/10	30	Κριός	24/3 – 23/4	31
Σκορπιός	27/10 – 25/11	30	Ταύρος	24/4 – 25/5	32
Τοξότης	26/11 – 24/12	29	Δίδυμοι	26/5 – 26/6	32
Αιγόκερως	25/12 – 22/1	29	Καρκίνος	27/6 – 27/7	31
Υδροχόος	23/1 – 21/2	30	Λέων	28/7 – 27/8	31
Ιχθύαι	22/2 – 23/3	30	Παρθένος	28/8 – 26/9	30

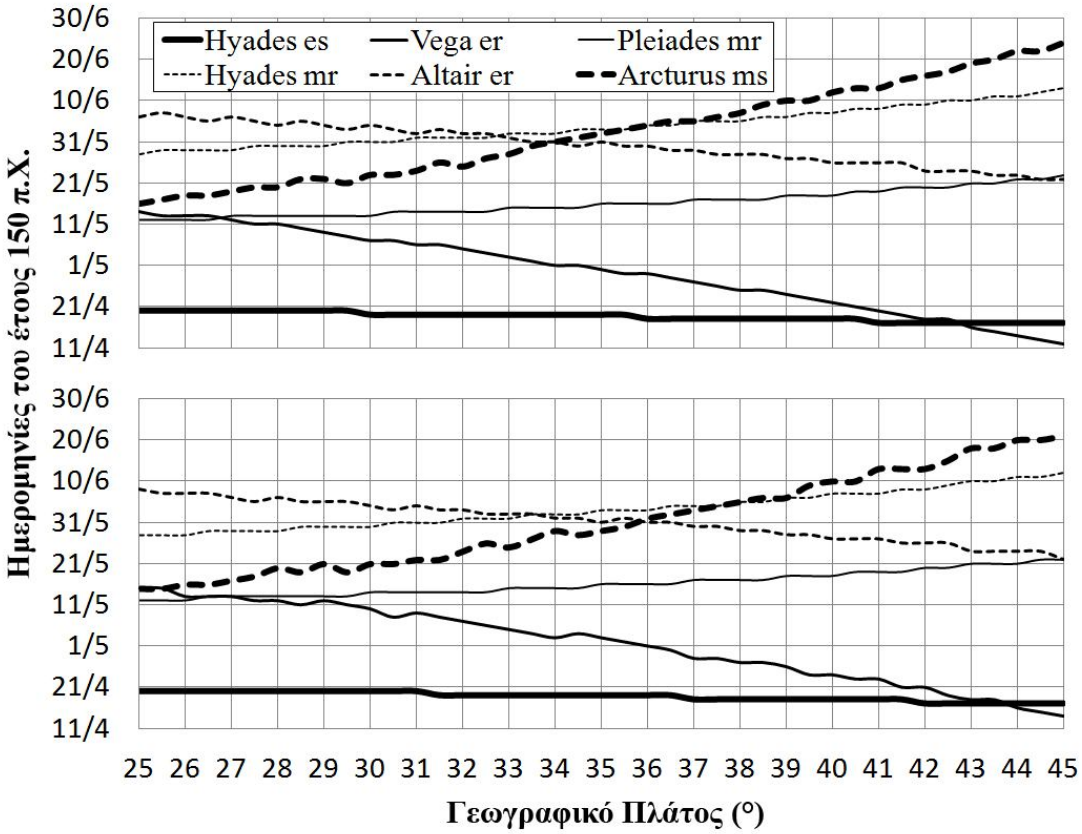
4.4 Αποτελέσματα

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για την εύρεση του γεωγραφικού πλάτους που κατασκευάστηκε ή χρησιμοποιήθηκε ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων, όλοι οι υπολογισμοί για την εύρεση των ημερομηνιών των έξι αστρικών γεγονότων του C1-a (η παρατήρηση των αστρικών γεγονότων εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος) έγιναν για όλα τα γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 25°N – 45°N (ανά 0.5°). Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν ως προς δύο κριτήρια: (α) τη σειρά τους και (β) την κατανομή τους στους ζωδιακούς αστερισμούς.

4.4.1 Η σειρά των αστρικών γεγονότων

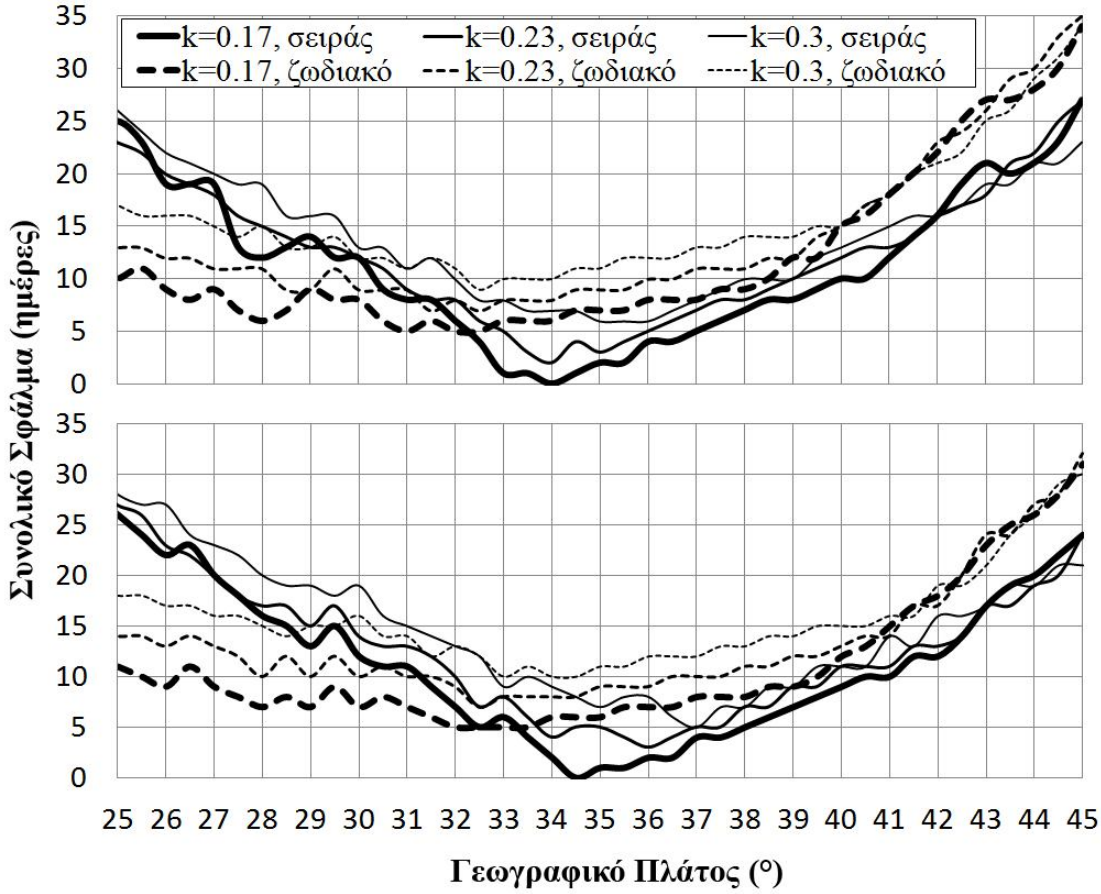
Η σειρά με την οποία λαμβάνουν χώρα τα αστρικά γεγονότα αλλάζει καθώς μετακινείται κανείς από χαμηλότερα σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη. Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.5, οι εντονότερες αλλαγές αφορούν τους αστέρες Vega και Arcturus (Αρκτούρος) των οποίων οι ημερομηνίες των γεγονότων μετακινούνται κατά ένα μήνα(!) από το γεωγραφικό πλάτος των 25°N στο γεωγραφικό πλάτος των 45°N. Αντίθετα, οι ημερομηνίες των φαινόμενων γεγονότων των αστέρων που βρίσκονται κοντά στην εκλειπτική εξαρτώνται ασθενώς από το γεωγραφικό πλάτος.

Η σειρά των έξι αστρικών γεγονότων όπως σώζονται χαραγμένα πάνω στην πλάκα του C1-a συγκρίθηκε με την υπολογισμένη σειρά των γεγονότων αυτών έτσι όπως προέκυψε από το πρόγραμμα, για το έτος 150 π.Χ., για τα γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 25°N – 45°N και για συντελεστή απορρόφησης ίσο με k = 0.17, 0.23, 0.30 (καλύπτοντας, όπως αναφέρθηκε στην §4.3.2.1, όλες τις λογικές τιμές k για τις αρχαίες παρατηρήσεις). «Σφάλματα σειράς» ορίστηκαν τοποθετώντας τα υπολογισμένα γεγονότα με την σειρά που διατηρούνται στο C1-a και ακολουθώντας την παρακάτω λογική: όταν δύο υπολογισμένα γεγονότα συμφωνούν χρονικά με την αναγραφόμενη σειρά τότε ορίζεται μηδενικό (0) σφάλμα ενώ στην αντίθεση περίπτωση το σφάλμα ορίζεται ίσο με τον αριθμό των ημερών κατά τις οποίες το πρώτο γεγονός απέχει χρονικά από το επόμενο. Κάθε αστρικό γεγονός δηλαδή συγκρίνεται μόνο με τα δύο αστρικά γεγονότα που βρίσκονται ακριβώς πριν και



Εικ.4.5: Διάγραμμα των ημερομηνιών των φαινόμενων αστρικών γεγονότων του C1-a ως προς το γεωγραφικό πλάτος για το 150 π.Χ. έχοντας χρησιμοποιήσει (*επάνω*) τις τιμές φωτεινότητας του ουρανού του Nawar (1983) και (*κάτω*) των Koomen *et al*. (1952). k = 0.23.

ακριβώς μετά από αυτό στο παράπηγμα. Η εικόνα 4.6 δείχνει το άθροισμα των σφαλμάτων αυτών (που από εδώ και στο εξής θα αναφέρεται ως *συνολικό σφάλμα σειράς* (total sequence error (e_s)) ανά γεωγραφικό πλάτος (φ). Για k = 0.17, έχουμε τέλεια ταύτιση της σειράς των γεγονότων του C1-a στο γεωγραφικό πλάτος των 34.0°N με τις τιμές φωτεινότητας του ουρανού του Nawar (1983) και στο γεωγραφικό πλάτος των 34.5°N με τις τιμές των Koomen *et al*. (1952). Ο συντελεστής απορρόφησης k = 0.17 αντιστοιχεί σε έναν πολύ καθαρό ουρανό σε ένα υψόμετρο μερικών εκατοντάδων μέτρων πάνω από το επίπεδο της θάλασσας και αποτελεί τη μικρότερη λογική τιμή συντελεστή απορρόφησης που θα μπορούσε να αντιστοιχήσει κανείς σε έναν αρχαίο παρατηρητή. Με συντελεστή απορρόφησης k = 0.30, ο ουρανός δεν είναι ακριβώς θολός αλλά είναι στο όριο του να γίνει θολός. Δύο συμπεράσματα που γίνονται εμφανή από την εικόνα 4.6 είναι ότι όσο πιο θολός τείνει να γίνει ο ουρανός τόσο πιο πολύ διαπλατύνεται το εύρος των πιθανών γεωγραφικών πλατών ενώ το κέντρο του εύρους μετατοπίζεται προς πιο βόρεια γεωγραφικά πλάτη. Για συντελεστή απορρόφησης k = 0.23 εξακολουθούμε να βλέπουμε καλά διαμορφωμένα ελάχιστα ενώ το συνολικό σφάλμα σειράς είναι ελαφρώς μόνο πιο υψηλό. Για k = 0.30, το συνολικό σφάλμα σειράς γίνεται τόσο υψηλό ώστε μπορούμε να αγνοήσουμε την περίπτωση αυτή.



Εικ.4.6: Διάγραμμα του συνολικού σφάλματος σειράς (e_s συμπαγείς γραμμές) και του συνολικού ζωδιακού σφάλματος (e_z διακεκομμένες γραμμές) ως προς το γεωγραφικό πλάτος για τα αστρικά γεγονότα του C1-a έχοντας χρησιμοποιήσει (*επάνω*) τις τιμές φωτεινότητας του ουρανού του Nawar (1983) και (*κάτω*) των Koomen *et al*. (1952). k = 0.17, 0.23, 0.30.

Ο Πίνακας 4.3 συνοψίζει τα γεωγραφικά πλάτη με την καλύτερη προσαρμογή (best fit) για κάθε μία από τις 2 περιπτώσεις τιμών φωτεινότητας του ουρανού που χρησιμοποιήθηκαν και για κάθε τιμή συντελεστή απορρόφησης k. Οι ημερομηνίες των αστρικών γεγονότων που έχουν υπολογιστεί με τις 2 πηγές τιμών φωτεινότητας του ουρανού (του Nawar (1983) και των Koomen *et al*. (1952)) μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους από 0 έως 5 ημέρες και γι' αυτό ως γεωγραφικά πλάτη καλύτερης προσαρμογής ορίστηκαν όσα βρίσκονται μέσα σε ένα εύρος 5 ημερών από το ελάχιστο των καμπυλών. Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις περιπτώσεις τιμών φωτεινότητας του ουρανού και k, τα αστρικά γεγονότα του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων προσαρμόζονται καλύτερα, ως προς τη σειρά τους, στη γεωγραφική ζώνη 33.3°N – 37.0°N. Αυτό είναι ουσιαστικά και το εύρος το οποίο υποδεικνύουν οι συντελεστές k = 0.17 και k = 0.23. Για k = 0.17, τα πιο πιθανά γεωγραφικά πλάτη είναι ακριβώς η ζώνη αυτή των 33.3°N – 37.0°N. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ένας συντελεστής απορρόφησης ίσος με 0.17 προϋποθέτει ότι οι παρατηρήσεις (για τη δημιουργία του παραπήγματος) έγιναν σε

ένα υψόμετρο μερικών εκατοντάδων μέτρων πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Αυτό είναι σε συμφωνία με αρχαίες αναφορές για αστρονομικές και αστρο-μετεωρολογικές παρατηρήσεις πάνω σε λόφους ή βουνά (π.χ. ένας σχολιαστής του Αριστοφάνη αναφέρει ότι ο Μέτων έκανε παρατηρήσεις στον μικρό λόφο της Πνύκας (υ = 109 m) στην Αθήνα ενώ ο Θεόφραστος (*Περί σημείων* (*Περί φυτών ιστορία*) I, 4) αναφέρει ότι ο Ματρικέτας έκανε παρατηρήσεις στο όρος Λεπέτυμνος (υ = 968 m) στη Μήθυμνα, ο Κλεόστρατος στο όρος Ίδα (υ = 1774 m) κοντά στην Τροία και ο Φαεινός στο όρος Λυκαβηττός (υ = 277 m) στην Αθήνα). Αλλά κι αν κάποιος θεωρεί πιο πραγματικό έναν συντελεστή απορρόφησης λίγο πιο υψηλό, η καμπύλη για k = 0.23 υποδεικνύει πρακτικά την ίδια γεωγραφική ζώνη (33.2°N – 37.2°N). Τα αποτελέσματα δεν δίνουν τη δυνατότητα να αποφασίσει κανείς υπέρ του πιο πιθανού συντελεστή απορρόφησης και οποιαδήποτε τιμή μεταξύ 0.17 και 0.23 είναι αποδεκτή.

Πίνακας 4.3: Τα γεωγραφικά πλάτη με την καλύτερη προσαρμογή, ως προς τη σειρά των αστρικών γεγονότων κι ως προς την κατανομή τους στους ζωδιακούς αστερισμούς, για τις 3 τιμές του συντελεστή απορρόφησης k και για τις 2 πηγές τιμών φωτεινότητας του ουρανού με βάση το ελάχιστο εύρος τιμών που προκύπτει από τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων από τις τιμές φωτεινότητας των Nawar (1983) και Koomen *et al*. (1952).

Σειρά αστρικών γεγονότων	k = 0.17 $e_s \leq 5$ ημέρες	k = 0.23 $e_s \leq 7.5$ ημέρες	k = 0.30 $e_s \leq 10$ ημέρες
Nawar	32.3° – 37.0°N	32.2° – 37.2°N	32.0° – 39.0°N
Koomen	33.3° – 38.0°N	33.2° – 38.6°N	32.9° – 39.2°N
Nawar-Koomen	33.3° – 37.0°N	33.2° – 37.2°N	32.9° – 39.0°N
Κατανομή αστρικών γεγονότων ως προς τους ζωδιακούς αστερισμούς	k = 0.17 $e_z \leq 10$ ημέρες	k = 0.23 $e_z \leq 12.5$ ημέρες	k = 0.30 $e_z \leq$ ημέρες
Nawar	25.8° – 38.5°N	25.8° – 39.1°N	27.0° – 40.0°N
Koomen	26.8° – 39.5°N	27.3° – 39.7°N	30.3° – 40.5°N
Nawar-Koomen	26.8° – 38.5°N	27.3° – 39.1°N	30.3° – 40.0°N

4.4.2 Η κατανομή των αστρικών γεγονότων ως προς τους ζωδιακούς αστερισμούς

Χρησιμοποιώντας τις ζωδιακές αναφορές του θραύσματος C1-a, υπολογίστηκαν επίσης «ζωδιακά σφάλματα» για καθένα από τα έξι αστρικά γεγονότα. Όταν ένα υπολογισμένο αστρικό γεγονός πραγματοποιείται μέσα στα χρονικά όρια του σωστού (όπως αναφέρεται δηλαδή στο C1-a) ζωδιακού αστερισμού, τότε ορίζεται μηδενικό (0) σφάλμα ενώ στην αντίθεση περίπτωση το σφάλμα ορίζεται ίσο με τον αριθμό των ημερών κατά τις οποίες αποκλίνει το γεγονός από το σωστό ζωδιακό αστερισμό. Η εικόνα 4.6 δείχνει το άθροισμα των σφαλμάτων αυτών (που από εδώ και στο εξής θα αναφέρεται ως *συνολικό ζωδιακό σφάλμα* (total zodiac error (e_z)) ανά γεωγραφικό πλάτος (φ). Όλες οι καμπύλες της ζωδιακής αυτής ανάλυσης φαίνεται να έχουν

παρόμοια δομή με το συνολικό ζωδιακό σφάλμα e_z να διατηρείται σχεδόν σταθερό σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη εκτός από τα βόρεια όπου το e_z αυξάνεται. Το ελάχιστο του e_z είναι 5 ημέρες για συντελεστή απορρόφησης $k = 0.17$.

Ο Πίνακας 4.3 συνοψίζει τα γεωγραφικά πλάτη με την καλύτερη προσαρμογή (best fit). Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις περιπτώσεις τιμών φωτεινότητας του ουρανού και k, τα αστρικά γεγονότα του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων προσαρμόζονται καλύτερα, ως προς την κατανομή τους στους ζωδιακούς αστερισμούς, μεταξύ 30.3°N και 38.5°N γεωγραφικό πλάτος. Το εύρος της ζώνης αυτής είναι αρκετά πλατύ, κάτι που υποδεικνύει ότι η σειρά των αστρικών γεγονότων φαίνεται να αποτελεί ένα πιο χρήσιμο εργαλείο στην ανάλυση του παραπήγματος απ' ότι οι ζωδιακοί αστερισμοί στους οποίους συμβαίνουν τα γεγονότα. Παρόλα αυτά, πρέπει να σημειωθεί ότι η πιθανή ζώνη των 30.3°N – 38.5°N εμπεριέχει τη ζώνη που βρέθηκε στην §4.4.1 για τη σειρά των αστρικών γεγονότων.

4.5 Συμπεράσματα – Η γεωγραφική εξάρτηση

Λαμβάνοντας υπόψη και τις δύο αναλύσεις για τα αστρικά γεγονότα που παρουσιάστηκαν στην §4.4, δηλαδή και ως προς τη σειρά τους και ως προς την κατανομή τους στους ζωδιακούς αστερισμούς, τα αστρικά γεγονότα του θραύσματος C1-a του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων προσαρμόζονται καλύτερα στη γεωγραφική ζώνη μεταξύ 33.3°N – 37.0°N.

Αρκετές αρχαίες ελληνικές πόλεις βρίσκονται εντός ή γειτονικά των ορίων αυτής της ζώνης. Από τις πόλεις αυτές, η Ρόδος (36.4°N) και οι Συρακούσες (37.1°N) έχουν κατά καιρούς προταθεί συχνά ως περιοχές προέλευσης και/ή χρήσης του Μηχανισμού των Αντικυθήρων (Price 1974 (p.13), Freeth *et al*. 2008 (p.614)). Οι βορειότερες πόλεις της Ηπείρου, δηλαδή η Κέρκυρα (39.6°N), η Δωδώνη (39.5°N) και το Βουθρωτό (39.7°N), των οποίων τα ονόματα των ημερολογιακών μηνών ταιριάζουν καλά με το σεληνοηλιακό ημερολόγιο του Μηχανισμού (κύκλος του Μέτωνα) (Freeth *et al*. 2008), δεν φαίνεται να ευνοούνται. Η Κόρινθος (37.9°N) και το Ταυρομένιο της Σικελίας (37.8°N) βρίσκονται οριακά εκτός της πιθανής ζώνης. Φυσικά, δεν μπορεί να τεθεί ένα αυστηρό όριο αποκοπής αλλά σίγουρα η πιθανότητα μειώνεται σταδιακά βορείως των 37.0°N.

Τα αστρικά γεγονότα του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων που έχουν διατηρηθεί είναι πολύ λίγα σε αριθμό για να καθοριστεί αδιαμφισβήτητα το γεωγραφικό πλάτος για το οποίο παράχθηκε το παράπηγμα αυτό. Και φυσικά, δεν είναι πραγματικά σίγουρο εάν το παράπηγμα δημιουργήθηκε από άμεσες παρατηρήσεις ή υπό την επίδραση ενός ήδη υπάρχοντος σχετικού «σώματος γνώσης» (το οποίο βέβαια με τη σειρά του πρέπει να είχε βασιστεί σε κάποιου είδους παρατηρήσεις) ή ακόμα κι από πρόχειρους κανόνες ή σχηματικά σχέδια ή αμφίβολους μαθηματικούς υπολογισμούς. Παρόλα αυτά η βασική σειρά των αστρικών γεγονότων, η οποία αφορά αστέρες που δεν ήταν απλά λαμπροί στον ουρανό αλλά και ιδιαίτερα σημαντικοί στην παράδοση των παραπηγμάτων, αποτελεί

ένα πολύ ισχυρό στοιχείο. Αν λάβει κανείς υπόψη του την προσοχή που δόθηκε σε άλλα τμήματα του Μηχανισμού, φαίνεται απίθανο ο σχεδιαστής του να παρέβλεψε την ακρίβεια και να σημείωσε λανθασμένα τη χρονική σειρά αυτών των εύκολα παρατηρήσιμων γεγονότων που αφορούν τέτοιους λαμπρούς αστέρες. Το ίδιο επιπλέον το γεγονός ότι τα δεδομένα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων ταιριάζουν καλά με τις αριθμητικές λύσεις των πραγματικών (υπολογισμένων από την ανάλυση) γεγονότων αποτελεί ισχυρή ένδειξη ότι (α) το παράπηγμα ήταν ακριβές και (β) ότι τα δεδομένα του πιθανότατα προέρχονται από πραγματικές παρατηρήσεις.

4.6 Η πιθανότητα παρατήρησης των αστέρων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η συνάρτηση η οποία καθορίζει κατά πόσο ένας αστέρας φαινόμενου μεγέθους (m_{Star}) είναι ορατός ή όχι σε δεδομένες συνθήκες φωτεινότητας μελετήθηκε από τους Tousey and Koomen (1953) και ισχύει για 98% πιθανότητα να είναι ορατός ο αστέρας. Η πιθανότητα αυτή είναι μια καλή πιθανότητα που μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς καθώς η παρατήρηση ενός αστέρα αρχίζει να γίνεται αμφίβολη για τιμές πιθανότητας μικρότερες από 0.90. Π.χ. ο Blackwell (1946 (p. 630)) αναφέρει ότι οι πειραματικοί παρατηρητές δεν αισθάνονταν βέβαιοι ότι είχαν δει πραγματικά ένα οπτικό ερέθισμα (ένα σημείο φωτός) παρά μόνο όταν οι τιμές πιθανότητας ήταν υψηλότερες από 0.90. Επιπλέον, αυτά τα επίπεδα πιθανότητας για οπτικές παρατηρήσεις δεν έχουν λάβει υπόψη τους τις επιπτώσεις από την ύπαρξη λίγων θυσάνων (συννέφων), δηλαδή οι τιμές πιθανότητας είναι πιο πιθανό να υπερεκτιμούν από το να υποτιμούν την πραγματική πιθανότητα ανίχνευσης σε μια ρεαλιστική κατάσταση.

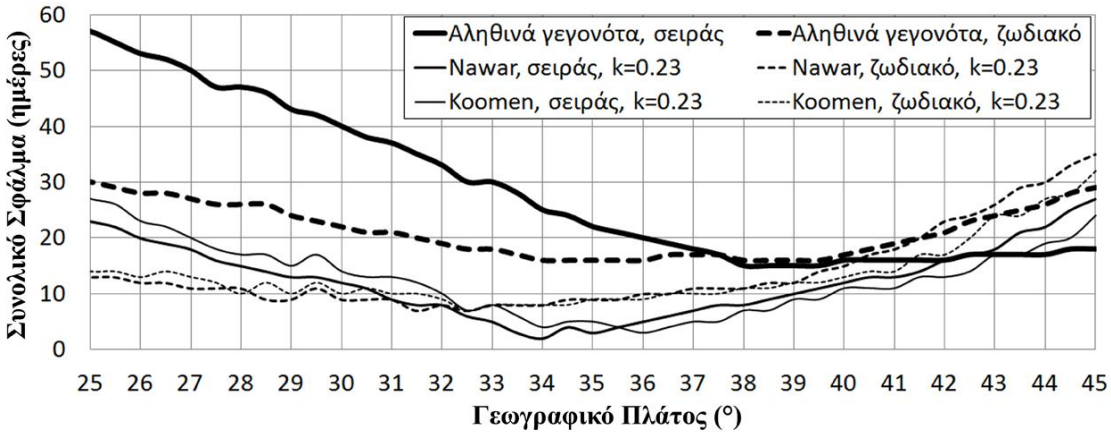
Παρόλα αυτά, λήφθηκαν και νέα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας τιμές του μέγιστου φαινόμενου μεγέθους m_{Star} ενός αστέρα σε δεδομένες συνθήκες φωτεινότητας B του ουρανού οι οποίες ισχύουν για 50% πιθανότητα να είναι ορατός ο αστέρας. Τα έξι αστρικά γεγονότα του παραπήγματος, στην περίπτωση αυτή, βρέθηκε ότι προσαρμόζονται καλύτερα στη γεωγραφική ζώνη μεταξύ 34.2°N – 38.2°N. Τα αποτελέσματα αυτά ουσιαστικά δείχνουν μια μετατόπιση του εύρους των πιθανών γεωγραφικών πλατών προς βορειότερα γεωγραφικά πλάτη, κάτι το οποίο είναι μάλλον αναμενόμενο καθώς η χρήση μικρότερης πιθανότητας παρατήρησης των αστέρων (δηλαδή του 50%) είναι περίπου ισοδύναμη με την αποδοχή μεγαλύτερης ατμοσφαιρικής απορρόφησης. Χρησιμοποιώντας την τιμή πιθανότητας του 50%, οι βορειότερες πόλεις της Ηπείρου εξακολουθούν να μην ευνοούνται ενώ η Κόρινθος και το Ταυρομένιο βρίσκονται πλέον εντός της πιθανής γεωγραφικής ζώνης.

4.7 Αληθινά ή φαινόμενα αστρικά γεγονότα

Καθώς τα αληθινά γεγονότα συμβαίνουν όταν ο αστέρας κι ο Ήλιος βρίσκονται στον ορίζοντα (ύψος 0°), μπορεί κανείς εύκολα να υπολογίσει, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις 4-2 και 4-3, την ωριαία γωνία του αστέρα/Ηλιου όταν ανατέλλει,

$H_{StarRise}/H_{SunRise}$, ή όταν δύει, $H_{StarSet}/H_{SunSet}$, όπως επίσης και τον αστρικό τους χρόνο $ST_{StarRise}/ST_{SunRise}$ και $ST_{StarSet}/ST_{SunSet}$. Οι ουρανογραφικές συντεταγμένες του Ήλιου χρειάζεται βεβαίως πάλι να καθορίζονται σε ημερήσια βάση ($\alpha_{i\text{-}Sun}$, $\delta_{i\text{-}Sun}$, i = 1 έως 365) οπότε πάλι προκύπτουν για τον Ήλιο πίνακες 365 τιμών για την ωριαία του γωνία ($H_{i\text{-}SunRise}$ και $H_{i\text{-}SunSet}$, i = 1 έως 365) και για τον αστρικό του χρόνο ($ST_{i\text{-}SunRise}$ και $ST_{i\text{-}SunSet}$, i = 1 έως 365). Οι ημερομηνίες που ο αστέρας αληθινά «ΕΠΙΤΕΛΛΕΙ ΕΩΙΟΣ» (*mr*) και αληθινά «ΕΠΙΤΕΛΛΕΙ ΕΣΠΕΡΙΟΣ» (*er*) καθορίζονται συγκρίνοντας τον αστρικό χρόνο του αστέρα $ST_{StarRise}$ με τις 365 τιμές του αστρικού χρόνου του Ήλιου $ST_{i\text{-}SunRise}$ και $ST_{i\text{-}SunSet}$ αντίστοιχα κι είναι εκείνες οι ημερομηνίες για τις οποίες οι αστρικοί χρόνοι των δύο ουράνιων σωμάτων γίνονται σχεδόν ίσοι. Παρομοίως οι ημερομηνίες που ο αστέρας αληθινά «ΔΥΝΕΙ ΕΩΙΟΣ» (*ms*) και αληθινά «ΔΥΝΕΙ ΕΣΠΕΡΙΟΣ» (*es*) καθορίζονται συγκρίνοντας τον αστρικό χρόνο του αστέρα $ST_{StarSet}$ με τις 365 τιμές του αστρικού χρόνου του Ήλιου $ST_{i\text{-}SunRise}$ και $ST_{i\text{-}SunSet}$ αντίστοιχα κι είναι πάλι εκείνες οι ημερομηνίες για τις οποίες εξισώνονται οι αστρικοί χρόνοι των δύο σωμάτων.

Οι έντονες καμπύλες στην εικόνα 4.7 δείχνουν το συνολικό σφάλμα σειράς (e_s) και το συνολικό ζωδιακό σφάλμα (e_z) ανά γεωγραφικό πλάτος (φ) για το 150 π.Χ. για τα έξι αστρικά γεγονότα του παραπήγματος, έτσι όπως υπολογίστηκαν με την παραπάνω μέθοδο, δηλαδή θεωρώντας τα ως αληθινά αστρικά γεγονότα (το συνολικό σφάλμα σειράς (e_s) και το συνολικό ζωδιακό σφάλμα (e_z) υπολογίστηκαν ακριβώς όπως περιγράφηκε στην §4.4.1 και στην §4.4.2). Οι καμπύλες αυτές συγκρίνονται με τις αντίστοιχες πιο αμυδρές καμπύλες για τα φαινόμενα μεγέθη, για k = 0.23. Το συνολικό ζωδιακό σφάλμα (e_z) των αληθινών αστρικών γεγονότων παραμένει σχεδόν σταθερό και υψηλότερο από την τιμή των 15 ημερών σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη ενώ το συνολικό σφάλμα σειράς (e_s) των αληθινών αστρικών γεγονότων είναι μεγαλύτερο σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη και παίρνει την ελάχιστή του τιμή των 15 ημερών μεταξύ 38.0°N – 39.5°N. Αυτό το ελάχιστο, συγκρινόμενο με το αντίστοιχο ελάχιστο των φαινόμενων αστρικών γεγονότων το οποίο είναι μικρότερο από την τιμή των 5 ημερών, δείχνει ότι κατά πάσα πιθανότητα τα χαραγμένα γεγονότα του παραπήγματος αναφέρονται στις φαινόμενες αστρικές ανατολές και δύσεις, δηλαδή στα γεγονότα πρακτικού ενδιαφέροντος. Το συμπέρασμα αυτό έρχεται ως ένα δεύτερο επιχείρημα – πέρα δηλαδή (όπως είδαμε στην Εισαγωγή) από τις επιγραφές της κλίμακας των πανελληνίων αγώνων στην πίσω πλάκα του Μηχανισμού (Freeth *et al*. 2008) – ότι ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων δεν είχε μόνο αστρονομικό αλλά και κοινωνικό χαρακτήρα, προσομοιώνοντας όχι μόνο τους ουράνιους κύκλους αλλά επίσης και τους ανθρώπινους θεσμούς και τις δραστηριότητες που είχαν συνδεθεί με αυτούς.



Εικ.4.7: Διάγραμμα του συνολικού σφάλματος ως προς το γεωγραφικό πλάτος (φ) εξετάζοντας εάν το παράπηγμα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων χρησιμοποιεί τα αληθινά ή τα φαινόμενα αστρικά γεγονότα. Ο συντελεστής απορρόφησης k = 0.23 έχει χρησιμοποιηθεί για τα φαινόμενα αστρικά γεγονότα.

4.8 Άλλα παραπήγματα

4.8.1 Το παράπηγμα του Πτολεμαίου

Προκειμένου η όλη ανάλυση να ελεγχθεί ως προς την αξιοπιστία της, εφαρμόστηκε για τη μελέτη κι άλλων παραπηγμάτων. Ένα από τα παραπήγματα αυτά ήταν το παράπηγμα του Πτολεμαίου όπως καταγράφεται στο έργο του *Φάσεις απλανών αστέρων και συναγωγή σημασιών* (γνωστό και απλά ως *Φάσεις*) (Heiberg 1907, Jones 2004). Στις *Φάσεις*, ο Πτολεμαίος κατέγραψε ένα πολύ αναλυτικό παράπηγμα, χρησιμοποιώντας τις φαινόμενες ανατολές και δύσεις 30 λαμπρών αστέρων, για 5 διαφορετικές γεωγραφικές ζώνες. Η μέθοδος ανάλυσης που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο αυτής της διατριβής εφαρμόστηκε στο κλίμα (στη γεωγραφική ζώνη) των 14 ωρών. Στο έργο του *Η Μεγίστη* (ή *Μαθηματική Σύνταξις*), ο Πτολεμαίος ταυτίζει το κλίμα των 14 ωρών με την Κάτω Αίγυπτο και το γεωγραφικό πλάτος των 30° 22΄. Επίσης το γεωγραφικό πλάτος όπου η μεγαλύτερη ημέρα αντιστοιχεί σε 14 ώρες μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση 4-2, η οποία για υ = 0° γίνεται ίση με:

$$\cos H_{\delta} = -\tan\varphi \cdot \tan\delta \qquad (4\text{-}12)$$

όπου H_{δ} είναι η ωριαία γωνία του Ήλιου κατά το ηλιοβασίλεμα και δ η ορθή του αναφορά τη μεγαλύτερη ημέρα του έτους. Για μεγαλύτερη ημέρα ίση με 14 ώρες, H_{δ} = 7 h και για ακριβώς την ημέρα εκείνη $\delta = \varepsilon$ όπου ε η λόξωση της εκλειπτικής. Για την εποχή του Πτολεμαίου, δηλαδή περίπου το 130 μ.Χ., το ε υπολογίστηκε από την εξίσωση που δίνει το Astronomical Almanac για το έτος 2012 (The Astronomical Almanac for the Year 2012):

$$\begin{aligned}\varepsilon = {} & 84381''.406 - 46''.836769 \cdot \mathrm{T} - 0''.0001831 \cdot \mathrm{T}^2 + 0''.00200340 \cdot \mathrm{T}^3 - \\ & -0''.576 \cdot 10^{-6} \cdot \mathrm{T}^4 - 4''.34 \cdot 10^{-8} \cdot \mathrm{T}^5 = 85244''.1177 = 23^{\circ}.67892\end{aligned} \qquad (4\text{-}13)$$

όπου Τ είναι ο χρόνος που έχει περάσει από την αστρονομική εποχή του 2000 μετρημένος σε αιώνες σύμφωνα με το Ιουλιανό ημερολόγιο. Με τη μέθοδο αυτή, το γεωγραφικό πλάτος όπου η μεγαλύτερη ημέρα αντιστοιχεί σε 14 ώρες βρέθηκε ίσο με 30° 33΄. Και το πραγματικό γεωγραφικό πλάτος της Αλεξάνδρειας, όπου έζησε κι εργάστηκε ο Πτολεμαίος, είναι 31° 13΄. Στον Πίνακα 4.4 αναφέρονται οι αστέρες που χρησιμοποίησε ο Πτολεμαίος, έτσι όπως τους περιέγραψε ο διάσημος αρχαίος αστρονόμος και έτσι όπως αυτοί ταυτίστηκαν για την εφαρμογή της μεθόδου ανάλυσης. Για την ταύτιση των αστέρων, χρησιμοποιήθηκαν οι περιγραφές των αστερισμών που δίνει ο Πτολεμαίος στο έργο του *Η Μεγίστη*.

Πίνακας 4.4: Ταύτιση των αστέρων που αναφέρονται στο παράπηγμα του Πτολεμαίου.

Περιγραφή Πτολεμαίου	**Ταυτοποιημένος αστέρας**
ὁ καλούμενος Αἴξ	α Aurigae (Capella)
ὁ λαμπρὸς τῆς Λύρας	α Lyrae (Vega)
Ἀρκτοῦρος	α Boötis (Arcturus)
ὁ ἐπὶ τῆς καρδίας τοῦ Λέοντος	α Leonis (Regulus)
ὁ ἐπὶ τῆς οὐρᾶς τοῦ Λέοντος	β Leonis (Denebola)
ὁ λαμπρὸς τῶν ‘Υάδων	α Tauri (Aldebaran)
Προκύων	α Canis Minoris (Procyon)
ὁ ἐν τῷ ἑπομένῳ ὤμῳ τοῦ Ὡρίωνος	α Orionis (Betelgeuse)
Στάχυς	α Virginis (Spica)
ὁ κοινὸς Ποταμοῦ καὶ ποδὸς Ὡρίωνος	β Orionis (Rigel)
Κύων	α Canis Majoris (Sirius)
ὁ λαμπρὸς τοῦ νοτίου Ἰχθύος	α Piscis Austrini (Fomalhaut)
ὁ ἔσχατος τοῦ Ποταμοῦ	θ Eridani (Acamar)
ὁ καλούμενος Κάνωβος	α Carinae (Canopus)
ὁ ἐν τῷ ἐμπροσθίῳ δεξιῷ βατραχίῳ τοῦ Κενταύρου	α Centauri (Rigil Kent)
ὁ λαμπρὸς τοῦ Περσέως	α Persei (Mirfak)
ὁ ἐν τῷ ἑπομένῳ ὤμῳ τοῦ Ἡνιόχου	β Aurigae (Menkalinan)
ὁ λαμπρὸς τοῦ Ὄρνιθος	α Cygni (Deneb)
ὁ λαμπρὸς τοῦ βορείου Στεφάνου	α Coronae Borealis (Alphecca)
ὁ ἐπὶ τῆς κεφαλῆς τοῦ ἡγουμένου Διδύμου	α Geminorum (Castror)
ὁ ἐπὶ τῆς κεφαλῆς τοῦ ἑπομένου Διδύμου	β Geminorum (Pollux)
ὁ κοινὸς Ἵππου καὶ Ἀνδρομέδας	α Andromedae (Alpheratz)
ὁ λαμπρὸς τοῦ Ἀετοῦ	α Aquilae (Altair)
ὁ ἐν τῷ ἡγουμένῳ ὤμῳ τοῦ Ὡρίωνος	γ Orionis (Bellatrix)
ὁ λαμπρὸς τοῦ Ὕδρου	α Hydrae (Alphard)
ὁ λαμπρὸς τῆς βορείου Χηλῆς	β Librae (Zubeneschamali)
ὁ μέσος τῆς ζώνης τοῦ Ὡρίωνος	ε Orionis (Alnilam)
ὁ λαμπρὸς τῆς νοτίου Χηλῆς	α Librae (Zubenelgenubi)
Ἀντάρης	α Scorpii (Antares)
ὁ κατὰ τὸ γόνυ τοῦ Τοξότου	α Sagittarii (Alrami)

Στο παράπηγμα του Πτολεμαίου, τα αστρικά γεγονότα χρονολογούνται με βάση τους μήνες του Αλεξανδρινού ημερολογίου (αντί για τους ζωδιακούς αστερισμούς που είδαμε παραπάνω στην περίπτωση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων). Στο έργο του *Η Μεγίστη*, ο Πτολεμαίος πάντοτε χρησιμοποιεί το Αιγυπτιακό ημερολόγιο των 365 ημερών, με καμία πρόσθετη ημέρα ανά 4 χρόνια, εξαιτίας κυρίως της κανονικότητας του ημερολογίου αυτού. Αλλά στο έργο του *Φάσεις*, για να επωφεληθεί από τη χρήση ενός ημερολογίου που είναι περισσότερο σταθερό ως προς τις εποχές, χρησιμοποιεί το Αλεξανδρινό ημερολόγιο, το οποίο έχει τα ίδια ονόματα μηνών με το Αιγυπτιακό αλλά διαθέτει και μια 6η επαγόμενη ημέρα ανά τέσσερα χρόνια και επομένως έχει μέση διάρκεια 365 ¼ ημέρες. Η πρώτη ημέρα του Αλεξανδρινού έτους, 1 Θωθ, αντιστοιχεί στις 29 Αυγούστου στο Ιουλιανό ημερολόγιο για την εποχή του Πτολεμαίου, δηλαδή περίπου το 130 μ.Χ. Ο Πίνακας 4.5 δείχνει τα χρονικά όρια των μηνών του Αλεξανδρινού ημερολογίου για το έτος 130 μ.Χ., έτος για το οποίο έγιναν οι υπολογισμοί της ανάλυσης.

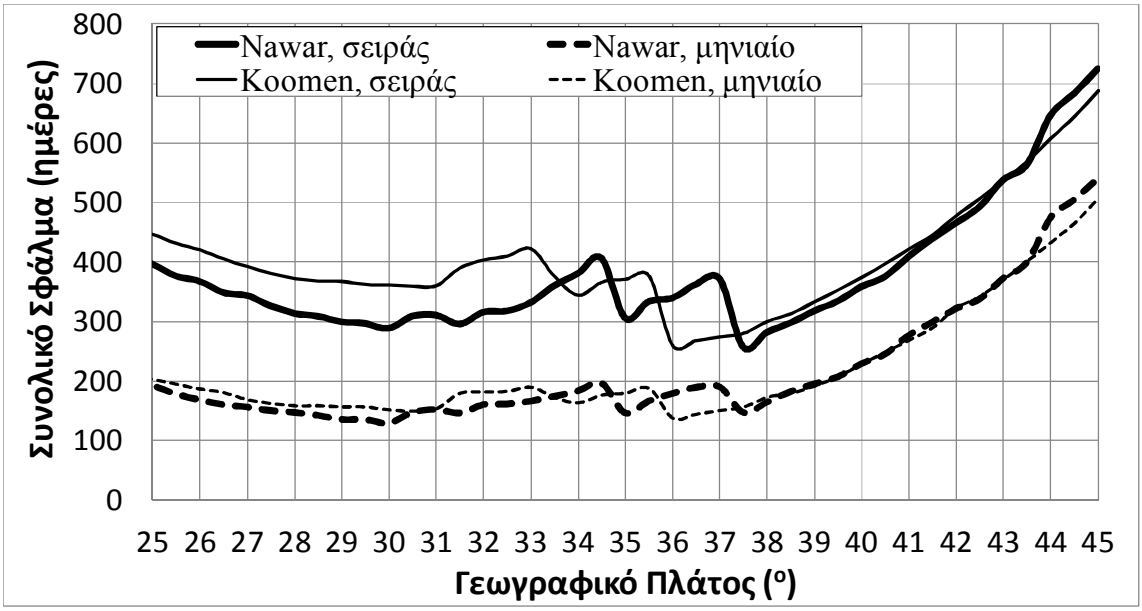
Πίνακας 4.5: Η διάρκεια των μηνών του Αλεξανδρινού ημερολογίου και τα υπολογισμένα χρονικά όρια τους για το έτος 130 μ.Χ.

Αλεξανδρινός μήνας	**Ημερομηνίες στο ιουλιανό ημερολόγιο**	**Αριθμός ημερών**	**Αλεξανδρινός μήνας**	**Ημερομηνίες στο ιουλιανό ημερολόγιο**	**Αριθμός ημερών**
Θωθ	29/8-27/9	30	Φαρμουθί/Φαρμοῦθι	27/3-25/4	30
Φαωφί/Φαῶφι	28/9-27/10	30	Παχών	26/4-25/5	30
Αθύρ	28/10-26/11	30	Παϋνί/Παῦνι	26/5-24/6	30
Χοιάκ/Χοίακ	27/11-26/12	30	Ἐπιφί/Ἐπείφ	25/6-24/7	30
Τυβί/Τῦβι	27/12-27/1	30	Μεσορή	25/7-23/8	30
Μεχίρ/Μεχείρ	28/1-24/2	30	Επαγόμενες ημέρες	24/8-28/8	5
Φαμενώθ	25/2-26/3	30			

Η χρήση των Αλεξανδρινών μηνών αντί των ζωδιακών αστερισμών είχε ως αποτέλεσμα να χρειαστεί να αλλαχθεί ελαφρώς η στατιστική μέθοδος της κατανομής των γεγονότων στους ζωδιακούς αστερισμούς (§4.4.2). Αντί για «ζωδιακά σφάλματα», υπολογίστηκαν στην περίπτωση αυτή «μηνιαία σφάλματα», με βάση όμως την ίδια λογική: όταν ένα υπολογισμένο αστρικό γεγονός πραγματοποιείται μέσα στα χρονικά όρια του σωστού (όπως αναφέρεται στο παράπηγμα του Πτολεμαίου) αλεξανδρινού μήνα, τότε ορίζεται μηδενικό (0) σφάλμα ενώ στην αντίθεση περίπτωση το σφάλμα ορίζεται ίσο με τον αριθμό των ημερών κατά τις οποίες αποκλίνει το γεγονός από το σωστό αλεξανδρινό μήνα. Επομένως το *συνολικό μηνιαίο σφάλμα* (total month error (e_m)) είναι ουσιαστικά ισοδύναμο με το συνολικό ζωδιακό σφάλμα (e_z). Το γεγονός *mr* του αστέρα Canopus το οποίο συμβαίνει τη 2η επαγόμενη ημέρα δεν λήφθηκε υπόψη στην ανάλυση της κατανομής των γεγονότων

στους Αλεξανδρινούς μήνες καθώς οι 5 επαγόμενες ημέρες δεν ανήκουν σε κανέναν μήνα αλλά αποτελούν ένα πολύ σύντομο χρονικό διάστημα (των 5 ή 6 ημερών) στη διάρκεια του έτους.

Φυσικά υπολογίστηκαν επίσης «σφάλματα σειράς», ακολουθώντας την ίδια μέθοδο που περιγράφηκε στην §4.4.1. Για τα αστρικά γεγονότα τα οποία πραγματοποιούνται την ίδια ημέρα, τα σφάλματα σειράς που παρουσιάζονται στο διάγραμμα της εικόνας 4.8 έχουν υπολογιστεί με τα γεγονότα στη σειρά που αναφέρονται από τον Πτολεμαίο. Η αλλαγή της σειράς τους δοκιμάστηκε αλλά τα αποτελέσματα ήταν πρακτικά τα ίδια σε κάθε περίπτωση.



Εικ.4.8: Διάγραμμα του συνολικού σφάλματος σειράς (e_s συμπαγείς γραμμές) και του συνολικού μηνιαίου σφάλματος (e_m διακεκομμένες γραμμές) ως προς το γεωγραφικό πλάτος (φ), για k = 0.23, για τα αστρικά γεγονότα που καταγράφονται στο παράπηγμα του Πτολεμαίου στις *Φάσεις* και τα οποία αφορούν το κλίμα των 14 ωρών. Τα αστρικά γεγονότα των αστέρων α Sagittarii και θ Eridani έχουν παραληφθεί. Και οι 2 πηγές τιμών φωτεινότητας του ουρανού (Nawar (1983) και Koomen *et al*. (1952)) έχουν χρησιμοποιηθεί. Οι φαινομενικές απότομες πτώσεις του συνολικού σφάλματος γίνονται σε εκείνα τα γεωγραφικά πλάτη στα οποία δύο αστέρες (Canopus και α Centauri) σταματούν να δίνουν φαινόμενες ανατολές και δύσεις εξαιτίας της μικρής τους απόκλισης. Τα σημαντικά ελάχιστα επομένως βρίσκονται κοντά στην περιοχή των 30°.

Ο συνολικός αριθμός των αστρικών γεγονότων που αναφέρονται από τον Πτολεμαίο για το κλίμα των 14 ωρών είναι 110, φαίνεται δηλαδή ότι ο Πτολεμαίος δεν έκανε καθόλου αναφορά σε 10 αστρικά γεγονότα (αναμενόταν να υπάρχουν συνολικά 30 αστέρες × 4 γεγονότα = 120 αστρικά γεγονότα). Τα γεγονότα που απουσιάζουν είναι τα ακόλουθα: α Leonis (Regulus (Βασιλίσκος)) *mr*, α Tauri (Aldebaran) *ms*, α Virginis (Spica (Στάχυς)) *mr* και *er*, β Aurigae *mr*, α Cygni (Deneb) *mr*, β Geminorum (Pollux (Πολυδεύκης)) *mr*, α Librae *mr* και er και α Scorpii (Antares (Αντάρης)) *ms*. Για τα γεγονότα των αμυδρών και μικρής απόκλισης

αστέρων α Sagittarii και θ Eridani, το πρόγραμμα δεν υπολόγισε ημερομηνίες των αστρικών τους γεγονότων με τις τιμές φωτεινότητας του ουρανού των Koomen *et al*. (1952) για τις περισσότερες τιμές του *k*. Η αδυναμία αυτή οφείλεται στα μεγάλα φαινόμενα μεγέθη των αστέρων αυτών, μεγέθη των οποίων οι τιμές είναι συγκρίσιμες με τις μικρότερες τιμές φωτεινότητας του ουρανού των Koomen *et al*. (1952). Επίσης προβληματικές είναι κι οι ημερομηνίες των γεγονότων των αστέρων αυτών οι οποίες υπολογίστηκαν με τις τιμές φωτεινότητας του ουρανού του Nawar (1983) καθώς δεν μεταβάλλονται ομοιόμορφα, εμφανίζουν δηλαδή ασταθή συμπεριφορά και επομένως δεν είναι αξιόπιστες. Κατά συνέπεια, όλα τα αστρικά γεγονότα των α Sagittarii και θ Eridani αποκλείστηκαν από την ανάλυση και έτσι ο συνολικός αριθμός των αστρικών γεγονότων που λήφθηκαν υπόψη για τους υπολογισμούς ήταν ίσος με 110 – 8 = 102 αστρικά γεγονότα.

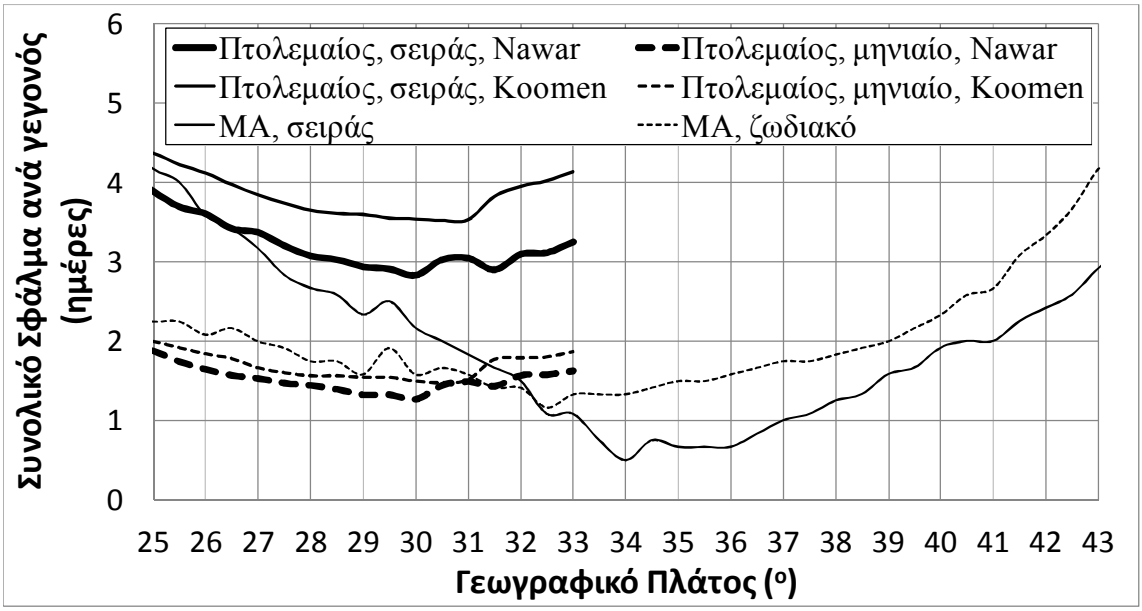
Στην εικόνα 4.8 παρουσιάζεται το συνολικό σφάλμα σειράς και το συνολικό ζωδιακό σφάλμα ανά γεωγραφικό πλάτος (φ). Οι σχετικά περίεργες κορυφές που φαίνονται στη ζώνη 33°N − 38°N οφείλονται στα γεγονότα των αστέρων μικρής απόκλισης Canopus και α Centauri. Αυτοί οι αστέρες γίνονται αφανείς αστέρες (δηλαδή παραμένουν μονίμως κάτω από τον ορίζοντα) στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και έτσι το πρόγραμμα δεν υπολογίζει ημερομηνίες (κι επομένως ούτε σφάλματα) για αυτές τις περιοχές ενώ υπολόγιζε σφάλματα για τα νοτιότερα γεωγραφικά πλάτη. Αγνοώντας την ατμοσφαιρική διάθλαση, ένας αστέρας σε πολική απόσταση P είναι αφανής σε εκείνα τα γεωγραφικά πλάτη για τα οποία ισχύει:

$$\varphi > 180° - P \qquad (4\text{-}14)$$

Επομένως, για την εποχή του Πτολεμαίου, θα περίμενε κανείς ο Canopus να γίνεται αφανής περίπου στα γεωγραφικά πλάτη φ > 37.5°N και ο α Centauri στα γεωγραφικά πλάτη φ > 35.5°N. Για k = 0.23, το πρόγραμμα δεν επιστρέφει ημερομηνίες γεγονότων των αστέρων αυτών για φ > 37.0°N και για φ > 34.5°N αντίστοιχα για τον Canopus και τον α Centauri με τις τιμές φωτεινότητας του ουρανού του Nawar (1983) και για φ > 35.5°N και για φ > 33°N − 33.5°N με τις τιμές φωτεινότητας των Koomen *et al*. (1952). Εάν κανείς αφαιρέσει τα αστρικά γεγονότα του Canopus και του α Centauri, οι καμπύλες των αποτελεσμάτων για το παράπηγμα του Πτολεμαίου για το κλίμα των 14 ωρών παύουν να εμφανίζουν αυτές τις περίεργες κορυφές και ομαλοποιούνται. Παρόλα αυτά, δηλαδή αν και οι δύο αυτοί αστέρες προκαλούν ανωμαλίες στη γραφική παράσταση προς τα βορειότερα γεωγραφικά πλάτη, ο ρόλος τους στα νοτιότερα είναι σημαντικός και γι' αυτό δεν μπορούν να αγνοηθούν από τους υπολογισμούς.

Η εικόνα 4.9 παρουσιάζει το διάγραμμα του συνολικού σφάλματος σειράς (e_s συμπαγείς γραμμές) και του συνολικού μηνιαίου σφάλματος (e_m διακεκομμένες γραμμές) ανά γεγονός (έχοντας δηλαδή διαιρέσει τα συνολικά σφάλματα με τον αριθμό των αστρικών γεγονότων). Αυτό έγινε για να διευκολυνθεί η σύγκριση με τα σφάλματα του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Οι τιμές σφαλμάτων της εικόνας 4.8, που μπορεί να φάνηκαν αρκετά μεγάλες, οφείλονται στον μεγάλο αριθμό των αστρικών γεγονότων του παραπήγματος του Πτολεμαίου

και, όπως δείχνει η εικόνα 4.9, όταν τα σφάλματα αυτά υπολογιστούν ανά γεγονός, αποδεικνύεται ότι είναι μικρά, συγκρίσιμα με αυτά του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Οι καμπύλες αποτελεσμάτων του Πτολεμαίου στην εικόνα αυτή έχουν σχεδιαστεί από 25°N έως 33°N.



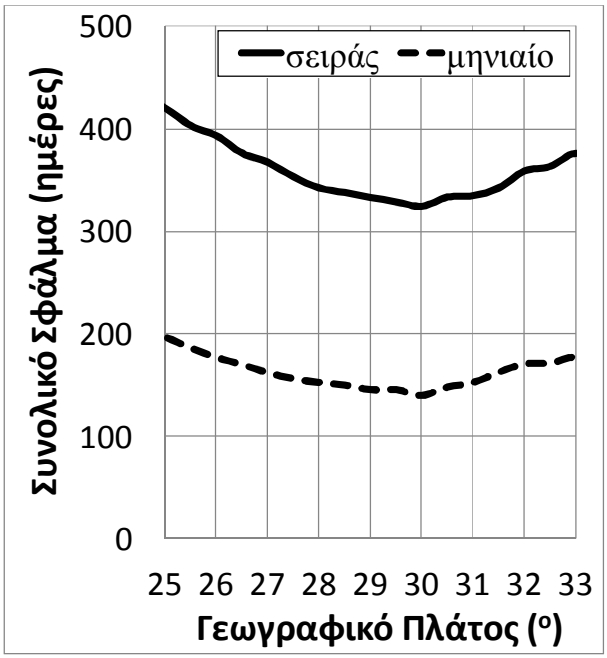
Εικ.4.9: Διάγραμμα του συνολικού σφάλματος σειράς (e_s συμπαγείς γραμμές) και του συνολικού μηνιαίου σφάλματος (e_m διακεκομμένες γραμμές) **ανά γεγονός** ως προς το γεωγραφικό πλάτος (φ), για k = 0.23, για τα αστρικά γεγονότα που καταγράφονται στο παράπηγμα του Πτολεμαίου στις *Φάσεις* για το κλίμα των 14 ωρών. Τα αστρικά γεγονότα των αστέρων α Sagittarii και θ Eridani έχουν παραληφθεί. Οι καμπύλες έχουν σχεδιαστεί έως το γεωγραφικό πλάτος των 33°N και συγκρίνονται με τις αντίστοιχες e_s και e_z καμπύλες σφαλμάτων του Μηχανισμού των Αντικυθήρων (ΜΑ), οι οποίες έχουν σχεδιαστεί έως το γεωγραφικό πλάτος των 43°N. Για τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων οι καμπύλες αποτελούν τη μέση τιμή των e_s και e_z σφαλμάτων με τις 2 πηγές τιμών φωτεινότητας του ουρανού (Nawar (1983) και Koomen *et al*. (1952)).

Το συνολικό ζωδιακό σφάλμα ανά γεγονός για τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων είναι συγκρίσιμο με το συνολικό μηνιαίο σφάλμα ανά γεγονός για το παράπηγμα του Πτολεμαίου για το κλίμα των 14 ωρών, κάτι που εκ νέου υποδεικνύει ότι το παράπηγμα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων βασίζεται σε πραγματικές παρατηρήσεις σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος. Το συνολικό σφάλμα σειράς ανά γεγονός για το παράπηγμα του Πτολεμαίου είναι περίπου 4 φορές υψηλότερο από το αντίστοιχο για τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων. Πρόκειται όμως πιθανότατα μόνο για ένα θέμα πυκνότητας. Στην περίπτωση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, έχουμε 6 αξιοποιήσιμα αστρικά γεγονότα τα οποία είναι κατανεμημένα σε 3 ζωδιακούς αστερισμούς, έχουμε δηλαδή μια πυκνότητα περίπου 2 γεγονότων ανά ζωδιακό αστερισμό. Στην περίπτωση του παραπήγματος του Πτολεμαίου, έχουμε 102 αξιοποιήσιμα αστρικά γεγονότα κατανεμημένα στους 12 μήνες, έχουμε δηλαδή μια πυκνότητα περίπου 8.5 γεγονότων ανά μήνα. Η ύπαρξη περισσότερων γεγονότων ανά

μήνα πολλαπλασιάζει τις πιθανότητες για «διασταυρώσεις» (προσπεράσματα) των γεγονότων και επομένως οδηγεί σε υψηλότερα σφάλματα σειράς.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το σφάλμα σειράς αποτελεί το πιο ευαίσθητο εργαλείο για τον προσδιορισμό του γεωγραφικού πλάτους. Μετά την παραπάνω ανάλυση όμως γίνεται εμφανές ότι το ζωδιακό σφάλμα προκύπτει να αποτελεί το πιο άμεσα χρήσιμο εργαλείο για τη σύγκριση της ακρίβειας δύο διαφορετικών παραπηγμάτων, καθώς δεν χρειάζεται να διορθωθεί για την επίδραση της πυκνότητας.

Η εικόνα 4.10 παρουσιάζει το διάγραμμα του μέσου όρου των σφαλμάτων που βρέθηκαν χρησιμοποιώντας τις 2 πηγές τιμών φωτεινότητας (Nawar (1983) και Koomen *et al*. (1952)), για τα 102 αστρικά γεγονότα, για τα γεωγραφικά πλάτη μέχρι τις 33°N. Υποθέτοντας ότι τα αστρικά γεγονότα και του παραπήγματος του Πτολεμαίου (102) και του Μηχανισμού των Αντικυθήρων (6) είναι ανεξάρτητα και επομένως ακολουθούν κανονική κατανομή, το εύρος των 5 ημερών από το ελάχιστο των καμπυλών το οποίο λήφθηκε υπόψη για την περίπτωση του Μηχανισμού των



Εικ.4.10: Διάγραμμα του συνολικού σφάλματος σειράς (e_s συμπαγείς γραμμές) και του συνολικού μηνιαίου σφάλματος (e_m διακεκομμένες γραμμές) ως προς το γεωγραφικό πλάτος (φ), για k = 0.23, για τα αστρικά γεγονότα που καταγράφονται στο παράπηγμα του Πτολεμαίου στις *Φάσεις* για το κλίμα των 14 ωρών. Τα αστρικά γεγονότα των αστέρων α Sagittarii και θ Eridani έχουν παραληφθεί. Οι καμπύλες έχουν σχεδιαστεί έως το γεωγραφικό πλάτος των 33°N και αναπαριστάνουν τη μέση τιμή των e_s και e_z σφαλμάτων με τις 2 πηγές τιμών φωτεινότητας του ουρανού (Nawar (1983) και Koomen *et al*. (1952)).

Αντικυθήρων αντιστοιχεί σε ένα εύρος:

$$5 \cdot \sqrt{\frac{101}{5}} \text{ days} \approx 22.47 \text{ days} \approx 22.5 \text{ ημερών}$$

για το παράπηγμα του Πτολεμαίου. Αυτό το εύρος ημερών δίνει καλύτερη προσαρμογή γεωγραφικών πλατών μεταξύ 27.8°N και 31.5°N, ζώνη η οποία όντως περιλαμβάνει το γεωγραφικό πλάτος στο οποίο πιθανότατα δημιουργήθηκε το παράπηγμα αυτό. **Αυτό αποτελεί μια καλή επιβεβαίωση ότι η μέθοδος της ανάλυσης δίνει καλά αποτελέσματα.**

Το κείμενο που δίνει ο Heiberg (1907) για τις *Φάσεις* βασίζεται ουσιαστικά μόνο σε δύο χειρόγραφα, το Vaticanus gr. 318 ($14^{ος}$ αιώνας, αναφερόμενο ως A) και το Vaticanus gr. 1595 ($9^{ος}$ αιώνας, αναφερόμενο ως B), αν και στα σχόλια της έκδοσης υπάρχουν περιστασιακές αναφορές και σε μερικά άλλα χειρόγραφα και κάποιες φορές και σε απόψεις προηγούμενων εκδοτών. Σε αρκετά σημεία του κειμένου, ιδιαίτερα στο δεύτερο μισό του παραπήγματος, υπάρχουν αβεβαιότητες στις αναγνώσεις των χειρογράφων. Π.χ. μερικές φορές το ένα χειρόγραφο αναφέρει ένα αστρικό γεγονός για το κλίμα των 14 ωρών ενώ το άλλο χειρόγραφο αναφέρει το ίδιο γεγονός για το κλίμα των 14 ½ ωρών και ο Heiberg θα πρέπει να διαλέξει. Η ανάλυση του παραπήγματος του Πτολεμαίου για τις 14 ώρες επαναλήφθηκε και μετά την αφαίρεση όλων αυτών των γεγονότων για τα οποία υπάρχει διαφορά ανάμεσα στα δύο βασικά χειρόγραφα, αφαίρεση η οποία οδήγησε στην απαλοιφή σχεδόν των μισών αναφορών, κυρίως από το δεύτερο μισό του παραπήγματος. Τα γεγονότα για τα οποία υπάρχει ασυμφωνία ανάμεσα στα δύο χειρόγραφα εμφανίζονται στον Πίνακα 4.6. Το εύρος των ημερών από το ελάχιστο των καμπυλών στην περίπτωση αυτή (για τα 50 γεγονότα που απέμειναν) ήταν ίσο με:

$$5 \cdot \sqrt{\frac{49}{5}} \text{ days} \approx 15.65 \text{ days} \approx 15.7 \text{ ημέρες}$$

Η νέα γεωγραφική ζώνη που βρέθηκε να δίνει την καλύτερη προσαρμογή είναι η ζώνη 29.9°N – 32.6°N. Η ζώνη αυτή, συγκρινόμενη με τη ζώνη που βρέθηκε χρησιμοποιώντας ολόκληρο το κείμενο του Heiberg, είναι λίγο μετατοπισμένη προς τα βόρεια, αλλά εξακολουθεί να περιλαμβάνει το γεωγραφικό πλάτος της Αλεξάνδρειας.

Πίνακας 4.6: Τα αστρικά γεγονότα του παραπήγματος του Πτολεμαίου για το κλίμα των 14 ωρών για τα οποία υπάρχει ασυμφωνία ανάμεσα στα δύο βασικά χειρόγραφα του κειμένου Vaticanus gr. 318 και Vaticanus gr. 1595.

Α/Α	**Αστρικά γεγονότα**	**Α/Α**	**Αστρικά γεγονότα**
1	α Aurigae (Capella (Αίγα)) *mr*	28	α Centauri (Rigil Kent) *er*
2	α Lyrae (Vega (Βέγας)) *er*	29	α Persei (Mirfak) *mr*
3	α Boötis (Arcturus (Αρκτούρος)) *mr*	30	α Persei (Mirfak) *er*
4	α Boötis (Arcturus (Αρκτούρος)) *ms*	31	α Persei (Mirfak) *es*
5	α Boötis (Arcturus (Αρκτούρος)) *er*	32	β Aurigae (Menkalinan) *es*
6	β Leonis (Denebola) *ms*	33	α Cygni (Deneb) *er*
7	β Leonis (Denebola) *er*	34	α Coronae Borealis (Alphecca) *mr*
8	β Leonis (Denebola) *es*	35	α Geminorum (Castror (Κάστωρ)) *mr*
9	α Tauri (Aldebaran) *mr*	36	α Geminorum (Castror (Κάστωρ)) *ms*
10	α Tauri (Aldebaran) *es*	37	β Geminorum (Pollux (Πολυδεύκης)) *ms*
11	α Orionis (Betelgeuse) *mr*	38	β Geminorum (Pollux (Πολυδεύκης)) *es*
12	α Orionis (Betelgeuse) *ms*	39	α Andromedae (Alpheratz) *mr*
13	α Orionis (Betelgeuse) *er*	40	α Andromedae (Alpheratz) *es*
14	α Orionis (Betelgeuse) *es*	41	γ Orionis (Bellatrix) *mr*
15	β Orionis (Rigel) *mr*	42	γ Orionis (Bellatrix) *er*
16	β Orionis (Rigel) *er*	43	γ Orionis (Bellatrix) *es*
17	β Orionis (Rigel) *es*	44	α Hydrae (Alphard) *mr*
18	α Canis Majoris (Sirius (Σείριος)) *es*	45	α Hydrae (Alphard) *ms*
19	α Piscis Austrini (Fomalhaut) *mr*	46	α Hydrae (Alphard) *es*
20	α Piscis Austrini (Fomalhaut) *ms*	47	β Librae (Zubeneschamali) *mr*
21	α Piscis Austrini (Fomalhaut) *er*	48	β Librae (Zubeneschamali) *ms*
22	α Piscis Austrini (Fomalhaut) *es*	49	ε Orionis (Alnilam) *mr*
23	θ Eridani (Acamar) *mr*	50	ε Orionis (Alnilam) *es*
24	α Carinae (Canopus (Κάνωπος)) *mr*	51	α Librae (Zubenelgenubi) *ms*
25	α Carinae (Canopus (Κάνωπος)) *er*	52	α Scorpii (Antares (Αντάρης)) *er*
26	α Carinae (Canopus (Κάνωπος)) *es*	53	α Scorpii (Antares (Αντάρης)) *es*
27	α Centauri (Rigil Kent) *mr*	54	α Sagittarii (Alrami) *ms*

4.8.2 Τα παραπήγματα του Ευκτήμονα και του Εύδοξου

Η μέθοδος ανάλυσης η οποία αναπτύχθηκε για τη μελέτη του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων χρησιμοποιήθηκε επίσης για τη γεωγραφική διερεύνηση των παραπηγμάτων του Ευκτήμονα και του Εύδοξου. Τα παραπήγματα αυτά εμφανίζονται ως διάσπαρτες αναφορές μέσα στο γενικότερο παράπηγμα που κατέγραψε ο Γέμινος στο έργο του *Εισαγωγή εις τα Φαινόμενα*. Το παράπηγμα αυτό

περιέχει ένα σημαντικό αριθμό φαινόμενων αστρικών ανατολών και δύσεων οι οποίες αποδίδονται κυρίως στον Ευκτήμονα, στον Εύδοξο και στον Κάλλιππο. Οι αναφορές του Καλλίππου δεν είναι ιδιαίτερα συστηματικές και για πολλές από αυτές είναι πολύ δύσκολο να είναι κανείς σίγουρος σε ποιον αστέρα αναφέρονται. Π.χ. βρίσκουμε αναφορές όπως «Καλλίππῳ [ὁ] Τοξότης ἄρχεται ἀνατέλλειν» ή ότι «Καλλίππῳ Τοξότης λήγει ἀνατέλλων». Για τους λόγους αυτούς το παράπηγμα του Καλλίππου δεν διερευνήθηκε.

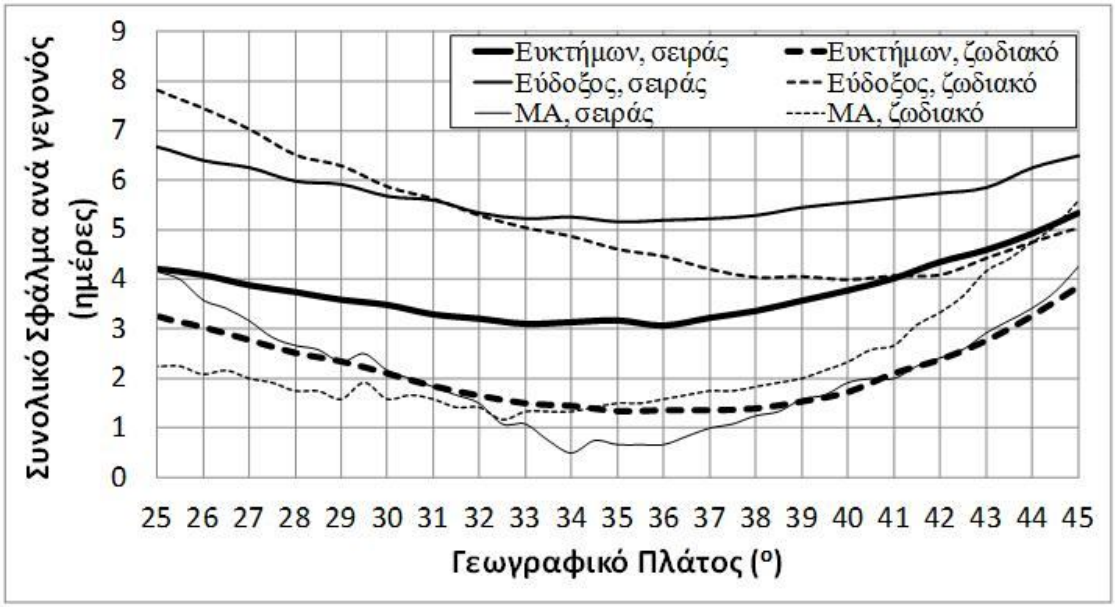
Για το παράπηγμα του Ευκτήμονα (άγνωστο − 432 π.Χ.), οι υπολογισμοί έγιναν για το έτος 450 π.Χ. ενώ για το παράπηγμα του Εύδοξου (~410 π.Χ. – 350 π.Χ.) για το έτος 375 π.Χ. Οι αναφορές αστρικών γεγονότων που αφορούν τους αστερισμούς του Ωρίωνα και του Σκορπιού (και του Πήγασου για τον Ευκτήμονα) παραλείφθηκαν από τους υπολογισμούς, καθώς υπάρχει αβεβαιότητα ως προς την ταυτότητα του αστέρα που πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Επιπλέον, οι αναφορές που συναντούμε στο παράπηγμα του Ευκτήμονα κι αφορούν την εμφάνιση των αστέρων Sirius (Σείριος), Vindemiatrix (ε Virginis (Προτρυγητήρ)) και Arcturus (Αρκτούρος) επίσης αγνοήθηκαν καθώς η χρήση του επιθέτου *ἐκφανής* δημιουργεί αμφιβολίες ως προς το κατά πόσο αυτές οι αναφορές περιγράφουν την πρωινή επιτολή των αστέρων. Στον Πίνακα 4.7 αναγράφονται οι αστερισμοί που αναφέρονται σε αυτά τα παραπήγματα κι ο αστέρας με τον οποίο ταυτοποιήθηκαν για την ανάλυση. Οι αστερισμοί της Λύρας, του Αετού, των Πλειάδων και των Υάδων ταυτίστηκαν όπως ακριβώς περιγράφηκε παραπάνω για τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων (§4.3.3).

Πίνακας 4.7: Ταυτοποίηση των αστερισμών που αναφέρονται στα παραπήγματα του Ευκτήμονα και του Εύδοξου με αστέρες.

Αστερισμός/αστέρας	**Ταυτοποιημένος αστέρας**
Κύων	α Canis Majoris (Sirius (Σείριος))
Ἔριφοι	η Aurigae
Στέφανος	α Coronae Borealis (Alphecca)
Δελφὶς	β Delphini (Rotanev)
Ὀϊστὸς	γ Sagittae

Η ανάλυση του παραπήγματος του Ευκτήμονα έδειξε ότι οι ημερομηνίες των αστρικών γεγονότων των αστερισμών Δελφίν (Δελφὶς / Delphinus) και Βέλος (Ὀϊστὸς / Sagitta) που υπολογίστηκαν με τις τιμές φωτεινότητας των Koomen *et al*. (1952) (όχι και με τις τιμές του Nawar (1983)) δεν μπορούν να συμφωνήσουν με τις αναφορές τους για κανένα από τα εξεταζόμενα γεωγραφικά πλάτη (25°N − 45°N) στη ζωδιακή ανάλυση. Αυτή η απόκλιση οφείλεται στις υψηλές τιμές των φαινόμενων μεγεθών των αστέρων α Delphinae και γ Sagittae (τα πιο αμυδρά άστρα του παραπήγματος του Ευκτήμονα) οι οποίες είναι συγκρίσιμες με τις μικρότερες τιμές φωτεινότητας του ουρανού που μετρήθηκαν από τους Koomen *et al*. (1952) και επομένως βρίσκονται πολύ κοντά στα όρια ακρίβειας. Το συνολικό σφάλμα σειράς (e_s) και το συνολικό ζωδιακό σφάλμα (e_z) ανά γεγονός για το παράπηγμα αυτό (εικόνα 4.11) έχουν υπολογισθεί χωρίς να έχουν ληφθεί υπόψη τα προβληματικά

αυτά γεγονότα των δύο αστερισμών. Ο συνολικός αριθμός των αστρικών γεγονότων για την ανάλυση αυτή ήταν 29.



Εικ.4.11: Διάγραμμα του συνολικού σφάλματος σειράς (e_s συμπαγείς γραμμές) και του συνολικού ζωδιακού σφάλματος (e_z διακεκομμένες γραμμές) ανά γεγονός ως προς το γεωγραφικό πλάτος (φ), για k = 0.23, για τα παραπήγματα του Ευκτήμονα και του Εύδοξου. Οι καμπύλες των σφαλμάτων αυτών συγκρίνονται με τις αντίστοιχες e_s και e_z καμπύλες σφαλμάτων του Μηχανισμού των Αντικυθήρων (ΜΑ). Όλες οι καμπύλες αποτελούν τη μέση τιμή των σφαλμάτων που υπολογίστηκαν με τις 2 πηγές τιμών φωτεινότητας του ουρανού (Nawar (1983) και Koomen *et al*. (1952)).

Το συνολικό ζωδιακό σφάλμα ανά γεγονός για το παράπηγμα του Ευκτήμονα είναι συγκρίσιμο με αυτό που βρέθηκε για τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων, αν και με λίγο πιο διευρυμένη την περιοχή του ελάχιστου. Το συνολικό όμως σφάλμα σειράς ανά γεγονός κυμαίνεται σε αρκετά υψηλότερες τιμές: το ελάχιστο της καμπύλης του σφάλματος αυτού είναι περίπου 3 ημέρες, πολύ υψηλότερο δηλαδή από το ελάχιστο των περίπου 0.5 ημερών που είδαμε για τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων. Επιπλέον, η πυκνότητα των αστρικών γεγονότων είναι περίπου η ίδια για τα δύο παραπήγματα: για τον Μηχανισμό έχουμε 6 γεγονότα σε 3 ζωδιακούς αστερισμούς = 2 γεγονότα ανά ζωδιακό αστερισμό ενώ για τον Ευκτήμονα 29 γεγονότα σε 12 ζωδιακούς αστερισμούς = 2.4 γεγονότα ανά ζωδιακό αστερισμό. Τα σχετικά υψηλά σφάλματα σειράς υποδηλώνουν ίσως ότι το παράπηγμα του Ευκτήμονα δημιουργήθηκε υπό την επίδραση ενός ήδη υπάρχοντος σχετικού «σώματος γνώσης» τέτοιων αστρικών γεγονότων ή από σχηματικά σχέδια παρά από πραγματικές παρατηρήσεις σε έναν συγκεκριμένο τόπο (αν και, σύμφωνα με τον Πτολεμαίο (*Φάσεις* ΙΙ, 67) ο Ευκτήμων έκανε παρατηρήσεις στην Αθήνα, τις Κυκλάδες, τη Μακεδονία και τη Θράκη και θα μπορούσε να είχε δημιουργήσει το παράπηγμά του συνδυάζοντας τις παρατηρήσεις αυτές). Ή ίσως τέλος το παράπηγμα να περιέχει παραφθαρμένα γεγονότα. Η ποιότητα

του παραπήγματος του Ευκτήμονα σε γενικές γραμμές δεν είναι άσχημη, είναι όμως κατώτερη της ποιότητας του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, κάτι που μπορεί να υποδεικνύει τη χρήση πραγματικών παρατηρήσεων για την κατασκευή του παραπήγματος του Μηχανισμού στη γεωγραφική ζώνη των 33.3°N – 37°N που προσδιορίστηκε παραπάνω (αν και ο Μηχανισμός κρίνεται πάντα με βάση ένα πολύ μικρό αριθμό γεγονότων).

Ο Εύδοξος ταξίδεψε από την Αίγυπτο έως την Προποντίδα (41°N). Οι υπολογισμοί για το παράπηγμα του Ευδόξου δείχνουν πάλι να υπάρχει το ίδιο πρόβλημα με τις τιμές φωτεινότητας του ουρανού των Koomen *et al*. (1952) για τα αστρικά γεγονότα του αστερισμού Δελφίν (Δελφὶς / Delphinus) (αναφορές στο παράπηγμα αυτό σε γεγονότα του αστερισμού Βέλος (Ὀϊστὸς / Sagitta) δεν υπάρχουν). Επιπλέον, για το παράπηγμα αυτό, υπάρχουν 5 ακόμα αστρικά γεγονότα των οποίων οι ημερομηνίες δεν μπορούν να συμφωνήσουν με τις αναφορές τους για κανένα από τα εξεταζόμενα γεωγραφικά πλάτη (25°N − 45°N) στη ζωδιακή ανάλυση με καμία από τις 2 πηγές τιμών φωτεινότητας του ουρανού. Τα γεγονότα αυτά είναι τα εξής: Corona Borealis *ms* και *es*, Arcturus *mr*, Hyades *er* και Canis Majoris *er*. Αυτές οι αποκλίσεις δεν μπορούν να ερμηνευτούν με κάποιο τρόπο και μπορούν μόνο να θεωρηθούν ως λανθασμένες αναφορές του παραπήγματος του Ευδόξου. Τα αποτελέσματα για το παράπηγμα αυτό, αποτελέσματα τα οποία υπολογίστηκαν έχοντας λάβει υπόψη αυτά τα 5 γεγονότα αλλά έχοντας αγνοήσει τα γεγονότα του αστερισμού Δελφίν, δίνουν επομένως πολύ υψηλό συνολικό ζωδιακό σφάλμα. Το συνολικό σφάλμα σειράς είναι επίσης αφύσικα υψηλό. Ο συνολικός αριθμός των αστρικών γεγονότων για την ανάλυση αυτού του παραπήγματος ήταν 31 γεγονότα. 31 γεγονότα σε 12 ζωδιακούς αστερισμούς δίνουν πυκνότητα αστρικών γεγονότων ίση με 2.6 γεγονότα ανά ζωδιακό αστερισμό, ίδια δηλαδή περίπου πυκνότητα με αυτή του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων ή του Ευκτήμονα. Το αφύσικα υψηλό συνολικό σφάλμα σειράς δεν οφείλεται επομένως στην πυκνότητα των αστρικών γεγονότων. Το παράπηγμα του Ευδόξου φαίνεται λοιπόν να είναι προβληματικό εξαιτίας των λανθασμένων αναφορών που περιέχονται σε αυτό και η σύγκρισή του με το παράπηγμα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων δεν μπορεί επομένως να αποδειχθεί χρήσιμη.

Είναι όμως σημαντικό το ότι η μέθοδος ανάλυσης που αναπτύχθηκε μπορεί να διακρίνει την ύπαρξη ενός προβληματικού παραπήγματος.

4.9 Συμπεράσματα

Η νέα μέθοδος αστρονομικής ανάλυσης των παραπηγμάτων που αναπτύχθηκε κι εφαρμόστηκε σε ένα μικρό τμήμα του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων (αν και το μεγαλύτερο που σώζεται), με 6 αστρικά γεγονότα και 2 ζωδιακές αναφορές, αποκάλυψε ότι το παράπηγμα λειτουργεί καλύτερα για τα γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 33.3°N – 37.0°N. Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε επίσης σε

άλλα παραπήγματα και στην περίπτωση του Πτολεμαίου, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν πολύ καλά την γεωγραφική περιοχή που περιγράφει ο Πτολεμαίος. Θα πρέπει να σημειωθεί όμως, ωστόσο, ότι (α) ο περιορισμένος αριθμός των αστρικών γεγονότων του παραπήγματος που σώζονται καθώς και (β) οι ιστορικές αβεβαιότητες ως προς τον τρόπο που δημιουργήθηκε πραγματικά το παράπηγμα δεν επιτρέπουν να συσχετιστεί ο Μηχανισμός αδιαμφισβήτητα με κάποια γεωγραφική περιοχή. Τα αστρικά αυτά γεγονότα είναι καλύτερο να θεωρηθεί ότι υποδεικνύουν ένα πιθανό εύρος γεωγραφικών πλατών. Στο πιθανό αυτό εύρος ανήκουν η Ρόδος κι οι Συρακούσες ενώ η Κόρινθος και το Ταυρομένιο βρίσκονται ακριβώς εκτός. Οι πόλεις της ΒΔ Ελλάδας δεν φαίνεται να ευνοούνται.

Η αξία της μεθόδου υπολογισμού των ημερομηνιών των φαινόμενων αστρικών γεγονότων των παραπηγμάτων που αναπτύχθηκε – πέρα από το ότι σε αντίθεση με όλες τις σχετικές υπάρχουσες μεθόδους μέχρι τώρα δεν αφήνει καμία ελεύθερη παράμετρο – φάνηκε και κατά την ανάλυση των παραπηγμάτων του Ευκτήμονα (με υψηλά σφάλματα σειράς) και του Εύδοξου (με εσφαλμένες αναφορές), διακρίνοντας την ύπαρξη προβληματικών παραπηγμάτων.

Τμήματα από το κεφάλαιο αυτό της παρούσας διατριβής έχουν δημοσιευθεί και παρουσιαστεί:

Anastasiou M., Seiradakis J.H., Evans J., Drougou S. and Efstathiou K. (2013), "The astronomical events of the parapegma of the Antikythera Mechanism", *Journal for the History of Astronomy*, **44**, No. 2, 173-86.

Anastasiou M., Seiradakis J.H., Evans J., Drougou S. and Efstathiou K. (2012), "Positional astronomy and the Parapegma of the Antikythera Mechanism", Proceedings of the meeting: *From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients (Antikythera & SKA)*, Kerastari, Greece, 12-15 June 2012. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=170

Anastasiou M. and Seiradakis J.H. (2009), "Astronomical implications of the parapegma of the Antikythera Mechanism", Book of abstracts, p. 226, oral presentation, *XXIII ICHST (International Congress of History of Science and Technology) Ideas and Instruments in Social Context*, Budapest, Hungary, 28 July - 2 August 2009.

Κεφάλαιο 5

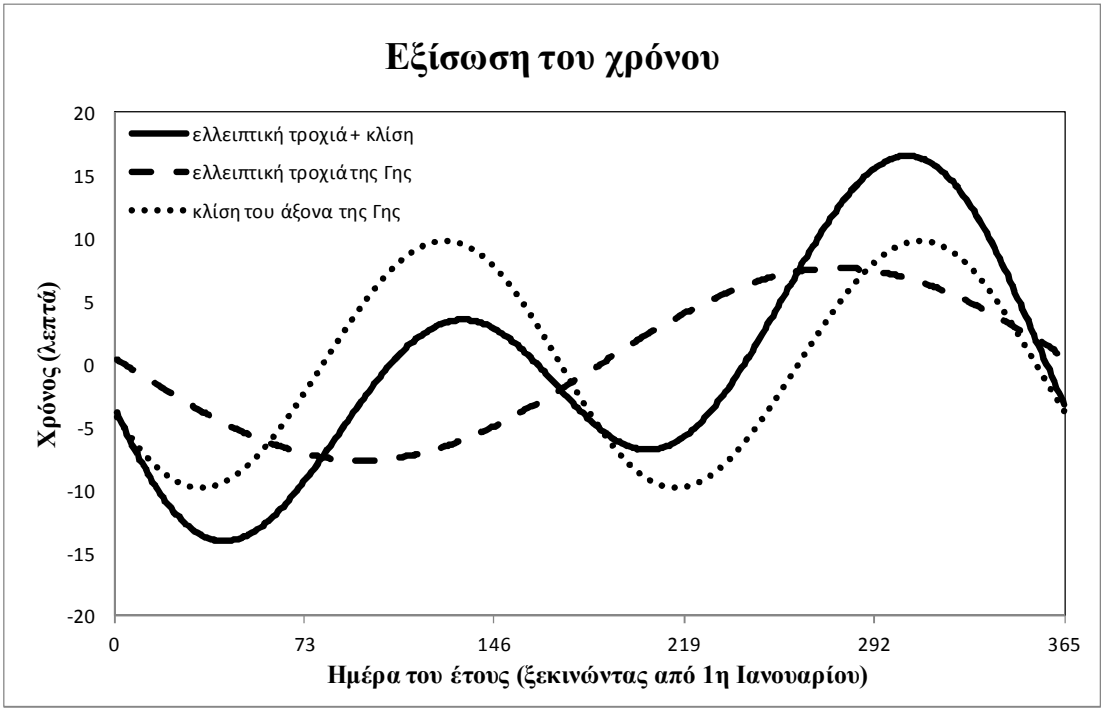
Η εξίσωση του χρόνου την εποχή του Μηχανισμού

Οι πιο συνηθισμένοι τρόποι μέτρησης του χρόνου είναι είτε με βάση την κίνηση των αστεριών (αστρικός χρόνος) είτε με βάση την κίνηση του Ήλιου (ηλιακός χρόνος). Και τα δύο φαινόμενα συνδέονται άμεσα με την περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της και επομένως και με το επίπεδο του ισημερινού της Γης. Η ηλιακή ημέρα είναι μεγαλύτερη από την αστρική κατά περίπου 3.9 λεπτά. Ο ηλιακός χρόνος είναι εκείνος που σχετίζεται με τη μέτρηση του χρόνου για τις καθημερινές ανάγκες του ανθρώπου (Αυγολούπης και Σειραδάκης 2009). Υπάρχουν 2 είδη ηλιακού χρόνου, ο αληθής ηλιακός χρόνος κι ο μέσος ηλιακός χρόνος.

Ο αληθής ηλιακός χρόνος, που αντιστοιχεί στην κίνηση του πραγματικού Ήλιου, δεν είναι ομαλός για δύο λόγους:
(α) εξαιτίας της λόξωσης της εκλειπτικής, δηλαδή της κλίσης που έχει η φαινόμενη τροχιά του Ήλιου ως προς τον ουράνιο ισημερινό. Εξαιτίας της κλίσης αυτής, που είναι περίπου 23.5°, η προβολή της κίνησης του Ήλιου πάνω στον ουράνιο ισημερινό δεν είναι ομαλή καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους αλλά εμφανίζει δύο μέγιστα και δύο ελάχιστα (διάστικτη καμπύλη στην εικόνα 5.1).
(β) εξαιτίας της εκκεντρότητας της τροχιάς της Γης, δηλαδή του γεγονότος ότι η Γη περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο σε ελλειπτική (κι όχι κυκλική) τροχιά. Εξαιτίας της εκκεντρότητας αυτής, η φαινόμενη ταχύτητα του Ήλιου (όπως περιγράφεται από τον $2^{ο}$ νόμο του Kepler) και επομένως κι η συνολική ετήσια φαινόμενη κίνησή του δεν είναι ομαλή αλλά εμφανίζει ένα μέγιστο κι ένα ελάχιστο (διακεκομμένη καμπύλη στην εικόνα 5.1)

Η μέτρηση του χρόνου με μη ομαλή κλίμακα (όπως αυτή που ακολουθεί την κίνηση του πραγματικού Ήλιου) είναι εξαιρετικά δύσκολη. Προκειμένου να ξεπεραστούν οι ανωμαλίες που περιγράφηκαν παραπάνω, ο άνθρωπος όρισε έναν μέσο Ήλιο, έναν νοητό δηλαδή Ήλιο ο οποίος κινείται πάνω στον ουράνιο ισημερινό με σταθερή γωνιακή ταχύτητα, διαγράφοντας έναν πλήρη κύκλο στον ίδιο χρόνο που ο πραγματικός Ήλιος διαγράφει μια πλήρη τροχιά στην εκλειπτική (έχει επομένως τη μέση ταχύτητα του πραγματικού Ήλιου). Ο μέσος ηλιακός χρόνος αντιστοιχεί στην κίνηση του μέσου αυτού Ήλιου.

Η διαφορά ανάμεσα στον πραγματικό και στον μέσο ηλιακό χρόνο είναι γνωστή ως **εξίσωση του χρόνου** (συνεχής καμπύλη στην εικόνα 5.1). Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι η εξίσωση του χρόνου έχει δύο μέγιστα και δύο ελάχιστα.



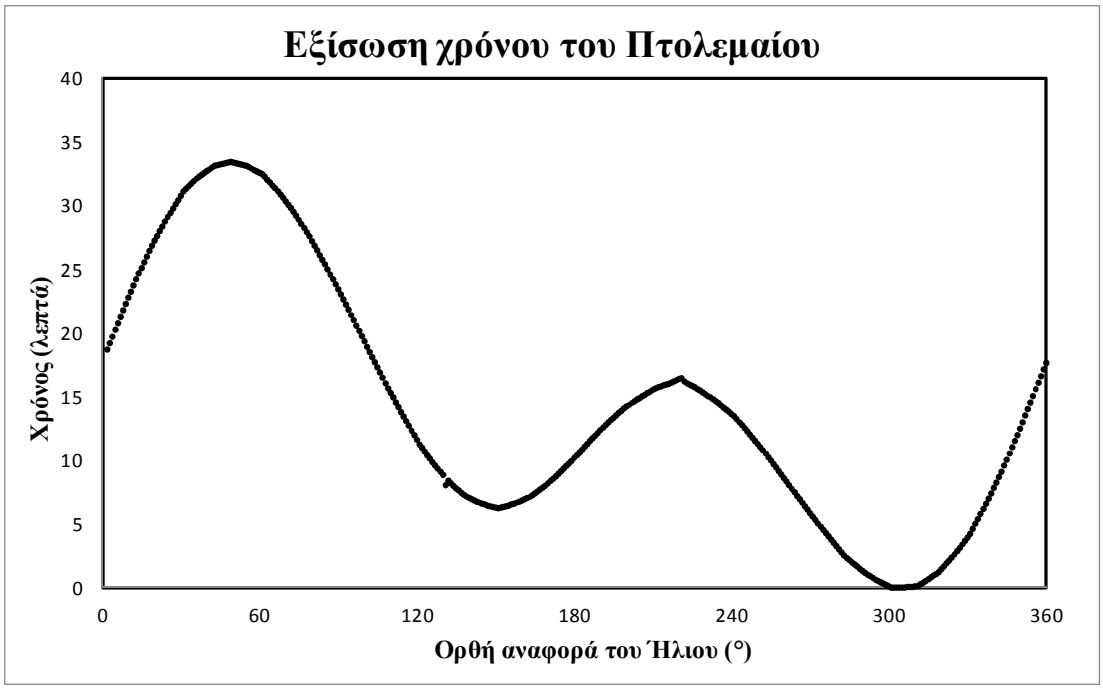
Εικ.5.1: Διάστικτη καμπύλη: Η απόκλιση του αληθή ηλιακού χρόνου από τον μέσο ηλιακό χρόνο, εξαιτίας της λόξωσης της εκλειπτικής. Διακεκκομένη καμπύλη: Η απόκλιση του αληθή ηλιακού χρόνου από τον μέσο ηλιακό χρόνο, εξαιτίας της ελλειπτικής τροχιάς της Γης. Συνεχής καμπύλη: Η συνολική απόκλιση του αληθή ηλιακού χρόνου από τον μέσο ηλιακό χρόνο (η εξίσωση του χρόνου).

5.1 Θεωρητική μελέτη της εξίσωσης του χρόνου την εποχή του Μηχανισμού

Την παλαιότερη αναλυτική μαθηματική περιγραφή της εξίσωσης του χρόνου συναντάμε στο έργο *Η Μεγίστη* (III, 9) (ή *Μαθηματική Σύνταξις*) του Πτολεμαίου (περίπου 90 – 168 μ.Χ.), έργο στο οποίο ο συγγραφέας αναφέρεται και εξηγεί τον τρόπο υπολογισμού της εξίσωσης του χρόνου (Evans 1998, Neugebauer 1975). Στο μεταγενέστερο έργο του *Πρόχειροι κανόνες* ο Πτολεμαίος παρείχε και έναν σχετικό πίνακα τιμών (Stahlman 1960, σελ. 206-209), η γραφική παράσταση των οποίων παριστάνεται στην εικόνα 5.2. Οι τιμές του πίνακα αποδίδουν την αντίθετη διαφορά (δηλαδή μέσος ηλιακός χρόνος – αληθής ηλιακός χρόνος) ως προς τη μορφή της εξίσωσης του χρόνου στην εικόνα 5.1, ξεκινούν από το χειμερινό ηλιοστάσιο και είναι όλες θετικές.

Παρόλα αυτά ο Πτολεμαίος δεν είναι ο πρώτος ο οποίος σκέφτηκε την εξίσωση του χρόνου. Ήδη ο Γέμινος ($1^{ος}$ αιώνας π.Χ.) στο έργο του *Εισαγωγή εις τα Φαινόμενα* (VI, 1-4) αναφέρεται στην εξίσωση του χρόνου οπότε οι αρχαίοι Έλληνες αστρονόμοι γνώριζαν ξεκάθαρα το φαινόμενο αυτό την εποχή αυτή, αρκετά δηλαδή πριν από τον Πτολεμαίο. Επιπλέον οι αστρονομικές γνώσεις οι οποίες απαιτούνται για τη σύλληψή της είναι, όπως είδαμε παραπάνω, η εκκεντρότητα της τροχιάς της Γης και η λόξωση της εκλειπτικής. Και τα δύο αυτά φαινόμενα ήταν γνωστά την

εποχή του Ιππάρχου (περίπου 190 – 120 π.Χ.) ο οποίος πιθανόν να είναι αυτός που συνέλαβε την έννοια της εξίσωσης του χρόνου το 2ο αι. π.Χ.



Εικ.5.2: Η εξίσωση του χρόνου του Πτολεμαίου.

Το πιθανότερο λοιπόν είναι ότι η εξίσωση του χρόνου ήταν μια αστρονομική γνώση που ήδη είχε κατακτηθεί την εποχή της κατασκευής του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Και καθώς, όπως είδαμε στην εισαγωγή, πάνω στον Μηχανισμό έχουν αποτυπωθεί οι αστρονομικές γνώσεις της εποχής του, πιθανόν να υπήρχε στον Μηχανισμό και μια κλίμακα που να έδειχνε τις αποκλίσεις αυτές του αληθή από τον μέσο ηλιακό χρόνο.

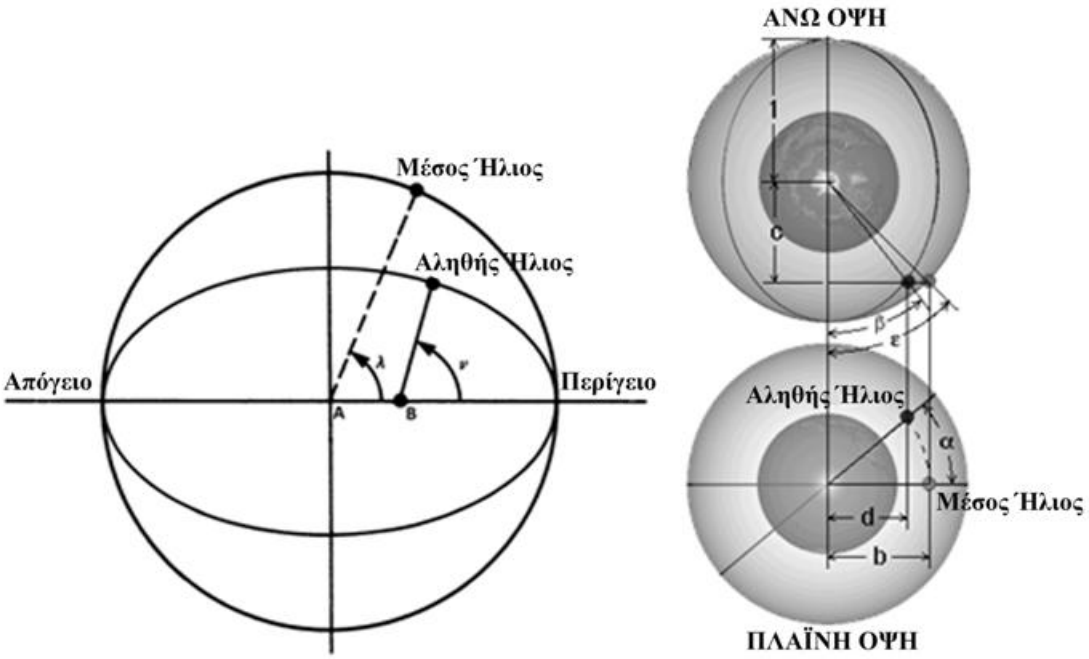
Για τον υπολογισμό της εξίσωσης του χρόνου για το 150 π.Χ. (η μελέτη των επιγραφών του Μηχανισμού κατέληξε, όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, σε μια πιθανή χρονολόγηση του Μηχανισμού περίπου μεταξύ 150 − 100 π.Χ., με σφάλμα ±50 έτη) χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εξίσωση (Urschel 2011):

$$\text{Εξίσωση του χρόνου}: d = \frac{1440}{361}\Big(\big(\lambda - \nu\big) + \big(\varepsilon - \beta\big)\Big) \qquad (5\text{-}1)$$

Στην εξίσωση αυτή:
(i) λ (βλ. εικόνα 5.3) είναι η μέση ανωμαλία, δηλαδή η γωνία κατά την οποία ο μέσος Ήλιος έχει μετακινηθεί στην κυκλική του τροχιά από τη στιγμή που πέρασε από το περίγειο (ένα από τα δύο σημεία τομής του κύκλου και της έλλειψης) (Duffet-Smith 1995):

$$\lambda = \frac{360}{265.242191}\, d_p \qquad (5\text{-}2)$$

όπου d_p είναι ο αριθμός των ημερών από τη στιγμή που πέρασε από το περίγειο. Η μετάπτωση των αψίδων είναι ένα φαινόμενο με περίοδο 21000 έτη κι επομένως στα 2162 χρόνια που πέρασαν από το 150 π.Χ. έως το 2012 το περίγειο έχει μετακινηθεί περίπου κατά (2162/21000) × 365.2422 = 37.60 ≈ 38 ημέρες. Το 2012 ο Ήλιος βρισκόταν στο περίγειο στις 5 Ιανουαρίου κι επομένως στην εποχή του Μηχανισμού πρέπει να βρισκόταν γύρω στις 28 Νοεμβρίου. Η ημερομηνία αυτή συμφωνεί πολύ καλά με την μαρτυρία του Πτολεμαίου στο έργο *Η Μεγίστη* ότι το απόγειο πραγματοποιείται 24°30′ πριν από το θερινό ηλιοστάσιο, δηλαδή στις 27 Μαΐου (η ημερομηνία αυτή συμφωνεί πολύ καλά με την εποχή του Ιππάρχου κι όχι με την εποχή του Πτολεμαίου καθώς για την εποχή του Πτολεμαίου θα περιμέναμε το απόγειο να πραγματοποιείται στις 2 Ιουνίου· ίσως δηλαδή ο Πτολεμαίος να ανακλά εδώ μία από τις απόψεις του Ίππαρχου). Με το περίγειο στις 28 Νοεμβρίου, $d_p = N - 332$ στην εξίσωση (5-2) όπου N είναι ο αριθμός των ημερών από την 1η Ιανουαρίου.



Εικ.5.3: *Αριστερά*: Ο μέσος Ήλιος κινείται σε κυκλική τροχιά γύρω από το κέντρο Α ενώ ο αληθής Ήλιος σε ελλειπτική τροχιά γύρω από την εστία Β. *Δεξιά*: Ο μέσος Ήλιος κινείται πάνω στον ουράνιο ισημερινό ενώ ο αληθής Ήλιος πάνω στην εκλειπτική η οποία σχηματίζει γωνία α με τον ουράνιο ισημερινό ($b = \sin\varepsilon$, $d = \sin\varepsilon \times \cos\alpha$). Εικόνα από Urschel (2011).

(ii) ν (βλ. εικόνα 5.3) είναι η αληθής ανωμαλία, δηλαδή η γωνία κατά την οποία ο αληθής Ήλιος έχει μετακινηθεί στην ελλειπτική του τροχιά από τη στιγμή που πέρασε από το περίγειο:

$$\nu = \lambda + \frac{360}{\pi} e \times \sin\lambda \qquad (5\text{-}3)$$

όπου e είναι η εκκεντρότητα της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο. Στην σημερινή εποχή, e = 0.0167, τιμή που δεν έχει διαφοροποιηθεί σημαντικά τα τελευταία 2162 έτη.

(iii) ε (βλ. εικόνα 5.3) είναι η γωνία κατά την οποία ο μέσος νοητός Ήλιος έχει μετακινηθεί στον ουράνιο ισημερινό από τη στιγμή που πέρασε από την εαρινή ισημερία (ένα από τα δύο σημεία τομής του ουράνιου ισημερινού με την εκλειπτική):

$$\varepsilon = \frac{360}{365.242191} d_{ve} \tag{5-4}$$

όπου d_{ve} είναι ο αριθμός των ημερών από τη στιγμή που πέρασε από την εαρινή ισημερία. Καθώς η εαρινή ισημερία πραγματοποιείται στις 21 Μαρτίου, $d_{ve} = N - 80$ στην εξίσωση (5-4), με το N να είναι πάλι ο αριθμός των ημερών από την 1η Ιανουαρίου.

(iv) β (βλ. εικόνα 5.3) είναι η γωνία κατά την οποία ο αληθής Ήλιος έχει μετακινηθεί στην εκλειπτική από τη στιγμή που πέρασε από την εαρινή ισημερία

$$\tan\beta = \tan\varepsilon \times \cos\alpha \tag{5-5}$$

όπου α είναι η λόξωση της εκλειπτικής. Η λόξωση για το 150 π.Χ. υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση από το The Astronomical Almanac for the Year 2012:

$$\alpha = 84381''.406 - 46''.836769''\,\mathrm{T} - 0''.0001831\mathrm{T}^2 + 0''.00200340\mathrm{T}^3 -$$
$$- 0''576\times10^{-6}\,\mathrm{T}^4 - 4''34\times10^{-8}\,\mathrm{T}^5 = 85368''.47766 = 23°.71346602 \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow \alpha \approx 23°.71 \tag{5-6}$$

όπου T είναι ο χρόνος σε ιουλιανούς αιώνες από την αστρονομική εποχή J2000.0.

Στην εικόνα 5.4 εικονίζεται η εξίσωση του χρόνου για το 150 π.Χ. (συνεχής γκρι καμπύλη), έτσι όπως σχεδιάστηκε με βάση την εξίσωση (5-1). Στην ίδια γραφική παράσταση και με βάση την ίδια εξίσωση (5-1) έχει σχεδιαστεί κι η θεωρητική εξίσωση του χρόνου για το 2012 (διάστικτη μαύρη καμπύλη). Είναι φανερό ότι οι δύο καμπύλες έχουν πολλές ομοιότητες. Οι διαφορές οφείλονται σε αλλαγές στην λόξωση της εκλειπτικής και στην μετάπτωση των αψίδων. Αυτά τα φαινόμενα αλλάζουν πολύ αργά (έχουν πολύ μεγάλες περιόδους) κι έτσι η καμπύλη για το 150 π.Χ. δεν θα άλλαζε εάν οι υπολογισμοί είχαν γίνει για το 100 π.Χ. ή το 50 π.Χ. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για το 2012 ήταν οι ακόλουθοι: $d_p = N - 4$, e = 0.0167, $d_{ve} = N - 80$ και α = 23.44°.

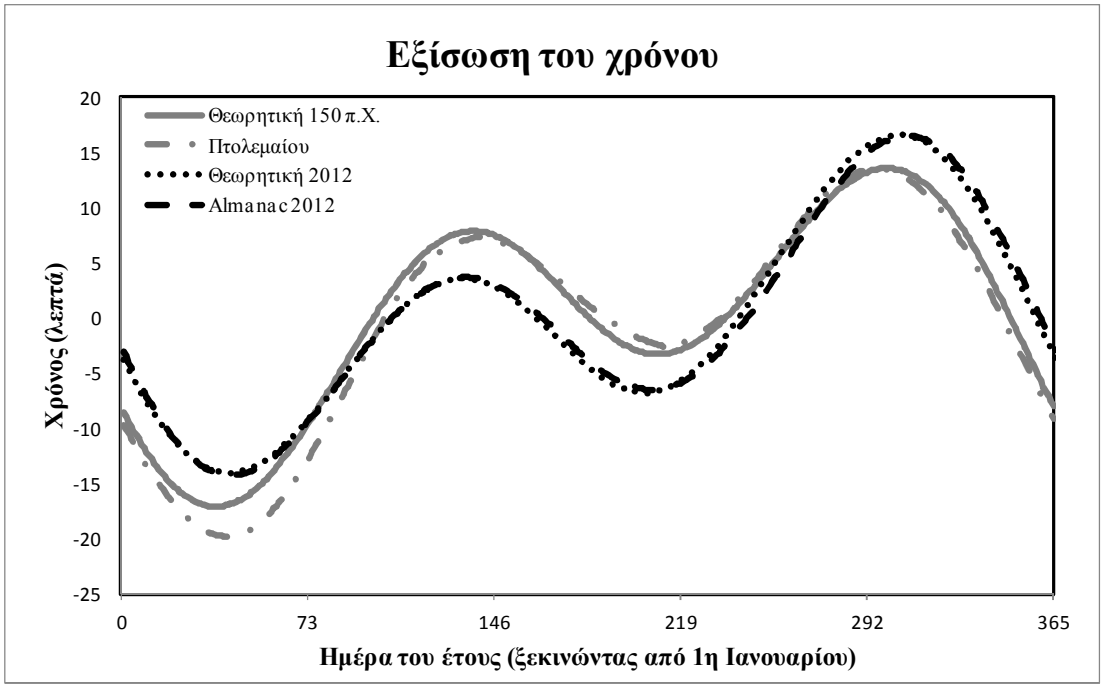
Για το έτος 2012, η εξίσωση του χρόνου έχει επίσης υπολογισθεί χρησιμοποιώντας τη σχέση που παρέχεται από το The Astronomical Almanac for the Year 2012 (μαύρη καμπύλη στην εικόνα 5.4):

$$\begin{aligned} &\mathit{Equation\ of\ Time}(2012) = -109\times\sin L - 596.0\times\sin 2L + 4.5\sin 3L - \\ &-12.7\times\sin 4L - 428.1\times\cos L - 2{,}1\cos 2L + 19.2\cos 3L \end{aligned} \tag{5-7}$$

όπου L είναι το μέσο (εκλειπτικό) μήκος του Ήλιου, το οποίο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$L = 279.075° + 0.985647 \times D \qquad (5\text{-}8)$$

Στη σχέση αυτή D είναι το διάστημα σε ημέρες από 0 Ιανουαρίου 2012 σε 0^h UT (Παγκόσμιος Χρόνος). Η σύγκριση των δύο καμπυλών του 2012 στην εικόνα 5.4 επιβεβαιώνει την πολύ καλή ακρίβεια της εξίσωσης (5-1).



Εικ.5.4: Η εξίσωση του χρόνου όπως υπολογίστηκε θεωρητικά για το 150 π.Χ. και το 2012 μ.Χ.. Οι καμπύλες αυτές συγκρίνονται με την αντίστοιχη καμπύλη για το 2012 μ.Χ. που έχει υπολογισθεί με βάση το The Astronomical Almanac for the Year 2012 καθώς την καμπύλη που σχεδιάστηκε με βάση τις τιμές του Πτολεμαίου στους *Πρόχειρους Κανόνες*.

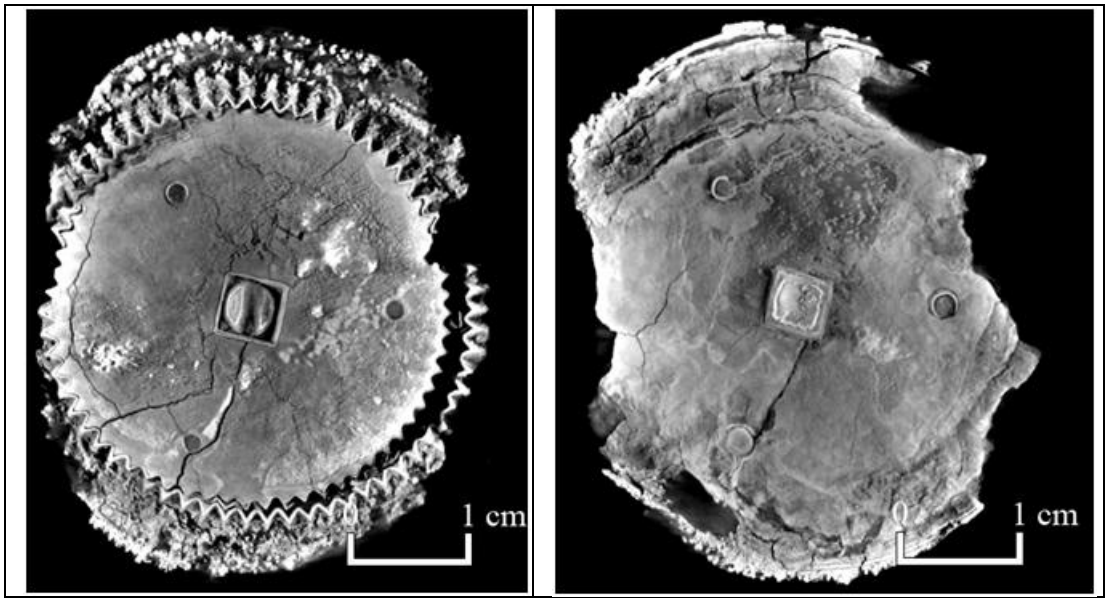
5.2 Σύγκριση με την εξίσωση του χρόνου του Πτολεμαίου

Στην εικόνα 5.4 έχει απεικονιστεί κι η εξίσωση του χρόνου του Πτολεμαίου που παρουσιάστηκε παραπάνω (εικόνα 5.2), κατάλληλα προσαρμοσμένη ώστε να αποδίδει την ίδια διαφορά με τις υπόλοιπες καμπύλες (δηλαδή αληθής ηλιακός χρόνος – μέσος ηλιακός χρόνος), οι τιμές της να κυμαίνονται γύρω από το 0 (η μέγιστη τιμή της ταυτίστηκε με τη μέγιστη τιμή της θεωρητικής καμπύλης για το 150 π.Χ.) κι η ορθή αναφορά του Ήλιου να έχει μετατραπεί στις αντίστοιχες ετήσιες ημερομηνίες (οι μοίρες της ορθής αναφοράς μετατράπηκαν σε ημέρες ενώ επειδή ο Ήλιος βρίσκεται στο χειμερινό ηλιοστάσιο στις 22/12, δηλαδή στη $356^η$ ημέρα του έτους, αφαιρέθηκαν 10 ημέρες). Με εξαίρεση το πρώτο ελάχιστο της καμπύλης, η υπόλοιπη καμπύλη ταιριάζει πολύ καλά με την καμπύλη για το 150 π.Χ. (μεταξύ των δύο διαφορετικών ημερομηνιών, δεν αναμένεται να υπάρχουν, όπως αναφέρθηκε

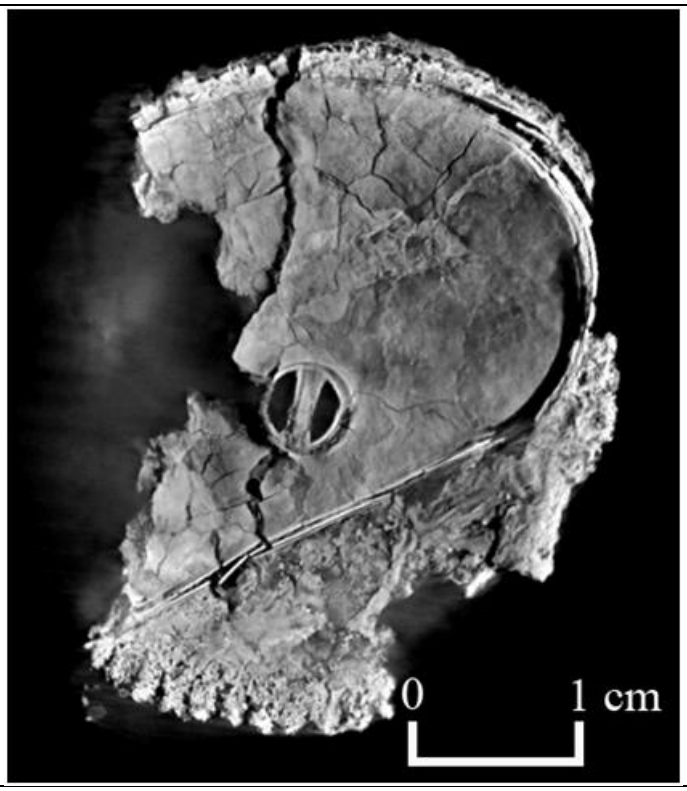
παραπάνω, ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις). Οι αποκλίσεις κοντά στο πρώτο ελάχιστο πιθανόν να οφείλονται σε λανθασμένους υπολογισμούς. Παρόλα αυτά, παραμένει σίγουρα αδιαμφισβήτητα εντυπωσιακή για το επίπεδο της αρχαίας ελληνικής αστρονομίας η κατανόηση κι ο υπολογισμός της διαφοράς ανάμεσα στην κίνηση (και στον χρόνο επομένως) του αληθή και του νοητού Ήλιου.

5.3 Ενδείξεις ενσωμάτωσης της εξίσωσης του χρόνου στον Μηχανισμό

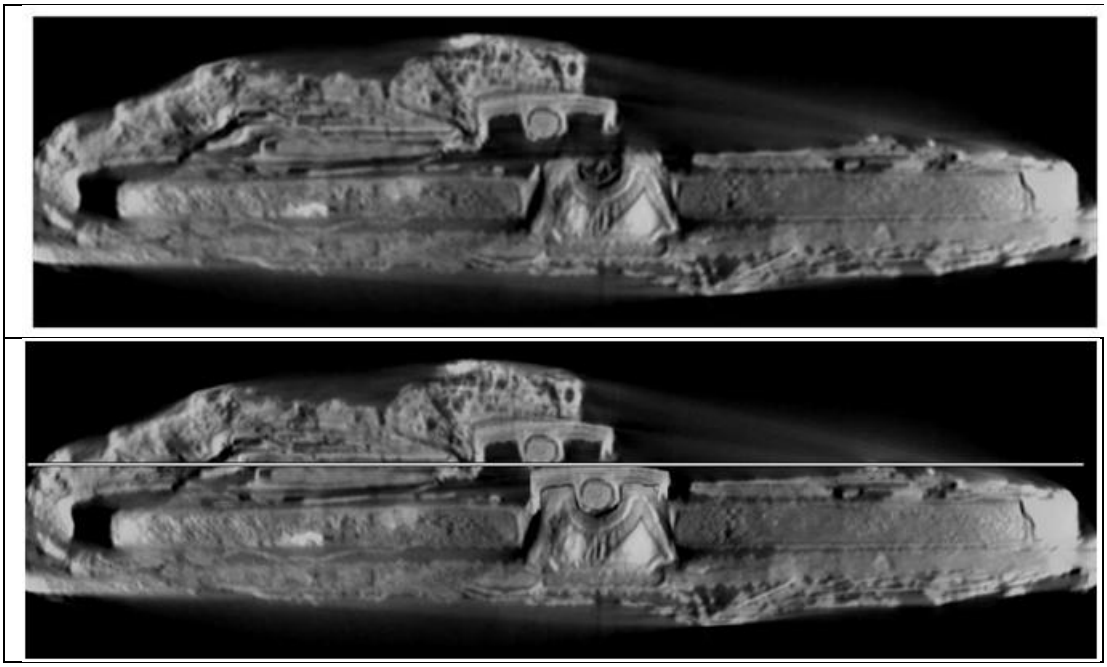
Ένας από τα καλύτερους ίσως διατηρημένους οδοντωτούς τροχούς του Μηχανισμού σώζεται στο θραύσμα D, θραύσμα το οποίο όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, θεωρείται ακόμα αινιγματικό ως προς την ακριβή θέση και λειτουργία του. Ο τροχός (εικόνα 5.5) έχει 63 δόντια και είναι συνδεδεμένος μέσω 3 οπών που φέρουν πείρους με ένα κυκλικό εξάρτημα (εικόνα 5.5) στη μία του πλευρά ενώ στην άλλη πλευρά υπάρχει ένα άλλο ιδιόμορφο εξάρτημα νεφροειδούς σχήματος (εικόνα 5.6) το οποίο σώζεται περίπου κατά τα 3/5. Σε αυτό το τριπλό σύστημα υπάρχουν 3 φορές χαραγμένα τα γράμματα ΜΕ: πάνω στο κυκλικό εξάρτημα στην πλευρά προς το γρανάζι, πάνω στο γρανάζι στην πλευρά προς το νεφροειδές εξάρτημα και στο νεφροειδές εξάρτημα στην πλευρά προς το γρανάζι. Το άνοιγμα για τον άξονα είναι τετραγωνικό στο κυκλικό εξάρτημα και στον οδοντωτό τροχό ενώ είναι κυκλικό στο νεφροειδές εξάρτημα. Ο άξονας έχει σπάσει στο σημείο που περνούσε από το νεφροειδές εξάρτημα (κι έχει μετατοπιστεί μαζί με τμήμα από το νεφροειδές εξάρτημα) όπως δείχνει η αποκατάστασή του στην αρχική του θέση στην εικόνα 5.7 ενώ υπάρχει και πείρος που τον διαπερνά στο ύψος αυτό.



Εικ.5.5: *Αριστερά*: Ο οδοντωτός τροχός των 63 οδόντων στο θραύσμα D. *Δεξιά*: Το κυκλικό εξάρτημα στο θραύσμα D.

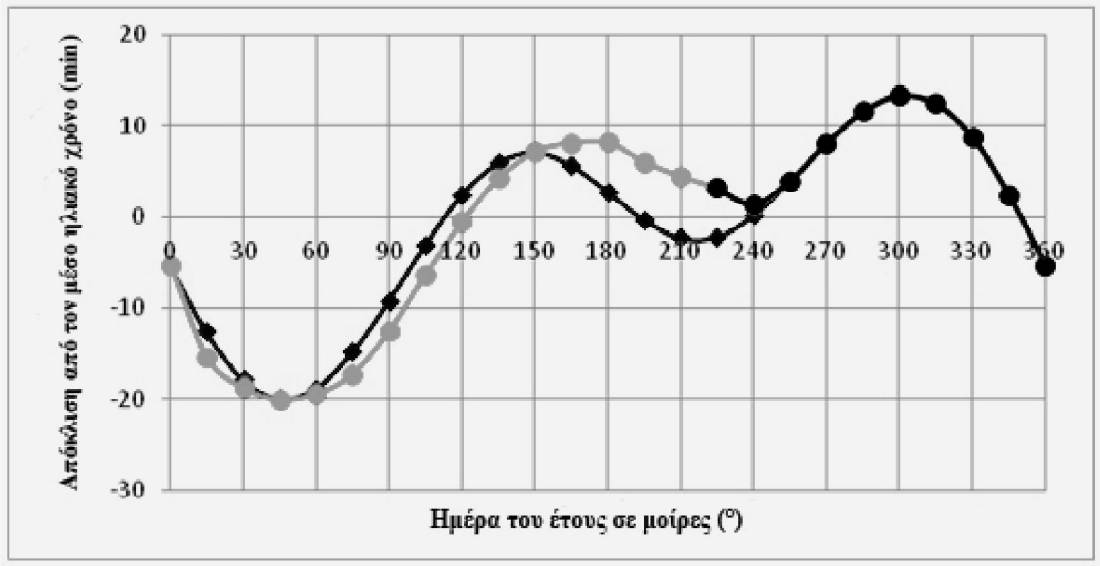


Εικ.5.6: Το εξάρτημα νεφροειδούς σχήματος στο θραύσμα D.



Εικ.5.7: *Επάνω*: Πλαϊνή όψη του θραύσματος D όπου φαίνεται ο σπασμένος άξονας στο σημείο που περνούσε από το νεφροειδούς σχήματος εξάρτημα. Ο πείρος που διαπερνά τον άξονα είναι ορατός. *Κάτω*: Η αποκατάσταση του σπασμένου τμήματος στην αρχική του θέση.

Η όλη δομή των 3 αυτών στοιχείων είναι σίγουρα αξιοπερίεργη. Μελέτη της ιδιαίτερης μορφής του νεφροειδούς εξαρτήματος που έχει ξεκινήσει από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου δείχνει ότι πιθανόν η αρχική μορφή του στοιχείου αυτού συσχετίζεται με την εξίσωση του χρόνου ικανοποιώντας τα 2 μέγιστα και 2 ελάχιστα που αυτή εμφανίζει (εικόνα 5.8). Η μελέτη αυτή βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη.



Εικ.5.8: Η εξίσωση του χρόνου όπως αναπαράγεται από την περιστροφή του νεφροειδούς εξαρτήματος (μετά την αποκατάσταση του σπασμένου τμήματος στην αρχική του θέση). Η γκρι καμπύλη έχει υπολογισθεί από το τμήμα του νεφροειδούς εξαρτήματος που έχει σωθεί ενώ η προέκτασή της με μαύρο χρώμα από την ιδανική μορφή του τμήματος που λείπει. Η μαύρη καμπύλη με τους ρόμβους αναπαριστά την εξίσωση του χρόνου του Πτολεμαίου. Credit: Κ.Ευσταθίου, Α.Μπασιακούλης, Μ.Ευσταθίου.

5.4 Συμπεράσματα

Το θραύσμα D του Μηχανισμού των Αντικυθήρων είναι ένα θραύσμα του οποίου η λειτουργία δεν είναι ακόμη επιβεβαιωμένη. Η δομή του θραύσματος αυτού είναι πολύ περίεργη με την ύπαρξη ενός οδοντωτού τροχού και δύο ιδιόμορφων εξαρτημάτων, το ένα από τα οποία έχει νεφροειδές σχήμα. Μια πλήρης περιστροφή του εξαρτήματος αυτού ως προς τον άξονά του εμφανίζει δύο μέγιστα και δύο ελάχιστα. Η παραπάνω μελέτη δείχνει ότι τα μέγιστα και ελάχιστα αυτά φαίνονται να ταιριάζουν με την εξίσωση του χρόνου, αστρονομικής γνώσης που είχε κατακτηθεί την εποχή του Μηχανισμού. Καθώς ο Μηχανισμός αποτύπωνε πάνω του όλες τις αστρονομικές γνώσεις της εποχής του, είναι πολύ πιθανό να περιελάμβανε κι αυτήν. Η όλη μελέτη βρίσκεται σε εξέλιξη ακόμα.

Τμήμα της παραπάνω μελέτης παρουσιάστηκε προφορικά το 2011: Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H. (2011), "The Equation of Time calculated by the Antikythera Mechanism", oral presentation, *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011.

Επίσης είναι υπό προετοιμασία η εργασία: Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H., "Calculating the equation of time with the use of a cam in the Antikythera Mechanism".

Κεφάλαιο 6

Κατασκευή ομοιωμάτων του Μηχανισμού

6.1 Το ομοίωμα του 2008

Το εγχείρημα της κατασκευής ενός αντιγράφου του Μηχανισμού ξεκίνησε στο ΑΠΘ το 2008. Το εγχείρημα αποδείχθηκε αρκετά δύσκολο με τους άξονες και τα γρανάζια (εικόνα 6.1) να χρειάζονται ειδικές μηχανές για τη δημιουργία τους ενώ επίσης χρειάστηκαν και εξειδικευμένα μηχανήματα για την χάραξη των γραμμάτων (εικόνα 6.1) επάνω στις μπρούτζινες πλάκες. Το ομοίωμα χρηματοδοτήθηκε μερικώς από το Α.Π.Θ. Τον συντονισμό της όλης κατασκευής είχε ο καθηγητής του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του ΑΠΘ κ.Κ.Ευσταθίου ενώ για την ολοκλήρωσή του εργαστήκαμε μαζί με την (τότε) φοιτήτρια του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Θεοδώρα Ζαχαροπούλου, τον καθηγητή του τμήματος Φυσικής κ. Ι.Χ. Σειραδάκηκαι τον τεχνικό του Αστεροσκοπείου του ΑΠΘ κ. Ε.Τσορλίνη. Η εταιρεία Kleemann προσέφερε την κοπή των οδοντωτών τροχών και η εταιρεία Ζησιός Α.Ε. την κοπή των αξόνων και τη συναρμολόγηση. Το ομοίωμα τελικά ολοκληρώθηκε (εικόνα 6.2) και παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στις 12/11/2008 στο Τελλόγλειο Ίδρυμα Τεχνών Α.Π.Θ., στα εγκαίνια της έκθεσης «*Ελλάδα και Τεχνολογία: μια διαχρονική προσέγγιση*», 12 Νοεμβρίου 2008 - 25 Ιανουαρίου 2009. Έκτοτε έχει παρουσιαστεί σε πολυάριθμες εκθέσεις.

Στόχος της όλης κατασκευής ήταν να είναι το ομοίωμα όσο το δυνατόν πιο πιστό αντίγραφο του Μηχανισμού των Αντικυθήρων (1:1) σχεδιασμένο με πολύ ακριβείς μετρήσεις, χωρίς σύγχρονα μέσα κατασκευής (βίδες, παξιμάδια, κτλ.) και με βάση τα τελευταία επιβεβαιωμένα αποτελέσματα της έρευνας.



Εικ.6.1: *Αριστερά*: Τμήμα της μπροστινής πλάκας και του αποσπώμενου δακτυλίου της από το ομοίωμα v1.1 του Μηχανισμού των Αντικυθήρων του Α.Π.Θ. *Δεξιά*: Οι οδοντωτοί τροχοί που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του ομοιώματος.



Εικ.6.2: Το ομοίωμα v1.1 του Μηχανισμού των Αντικυθήρων του Α.Π.Θ.

Αντικείμενο της διατριβής αυτής αποτέλεσε η δημιουργία όλων των γραφικών αναπαραστάσεων του ομοιώματος του Μηχανισμού (δηλαδή για τις δύο εξωτερικές πλευρές του Μηχανισμού καθώς και τις δύο πλάκες που ήταν προσαρτημένες στις εσωτερικές πλευρές της ξύλινης θήκης που έφερε το Μηχανισμό). Οι γραφικές αυτές αναπαραστάσεις έχουν γίνει με πολύ μεγάλη ακρίβεια μέσα από μετρήσεις που έγιναν με το πρόγραμμα VG Studio Max.

Για την αποτύπωση των γραμμάτων δημιουργήθηκε ειδική γραμματοσειρά η οποία προσομοιώνει το στυλ των γραμμάτων του Μηχανισμού (βλ. παρακάτω §6.3).

6.2 Το ομοίωμα του 2011

Το δεύτερο ανανεωμένο ομοίωμα (v2.1) του Μηχανισμού των Αντικυθήρων του Α.Π.Θ. (εικόνα 6.3) παρουσιάστηκε για πρώτη φορά την 1^{η} Ιουλίου 2011, στα εγκαίνια της έκθεσης «Επιστήμη και Αρχαιολογία: Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων» που ετοιμάστηκε από το Ερευνητικό Κέντρο Επιστήμης και Τεχνολογίας στην Αρχαιολογία του Ινστιτούτου Κύπρου και το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, στην Οικία Επάρχου στην Πάφο Κύπρου, 1 Ιουλίου – 15 Αυγούστου 2011. Το ομοίωμα χρηματοδοτήθηκε πλήρως από το Α.Π.Θ. Τον συντονισμό της κατασκευής είχε και πάλι ο καθηγητής Κ.Ευσταθίου ενώ για την ολοκλήρωσή του εργαστήκαμε μαζί με τους (τότε) φοιτητές του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Μαριάννα Ευσταθίου, Αλέξανδρο Μπασιακούλη και Πέτρο Μπουτμπάρα, τον καθηγητή Ι.Χ. Σειραδάκηκαι τον τεχνικό του Αστεροσκοπείου κ. Ε.Τσορλίνη. Ένα αντίγραφο του ομοιώματος αυτού δωρήθηκε και εκτίθεται στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο, ένα δεύτερο στο Κέντρο Διάδοσης Επιστημών και Μουσείο Τεχνολογίας ΝΟΗΣΙΣ, ένα τρίτο κοσμεί το κτίριο της Επιτροπής Ερευνών του Α.Π.Θ ενώ ένα τέταρτο, που ανήκει πλέον στην ιδιοκτησία του Εθνικού Ιδρύματος Ερευνών, εκτίθεται στο Musée des arts et métiers στο Παρίσι. Άλλα αντίγραφα έχουν παρουσιαστεί σε πολυάριθμες εκθέσεις.

Το ομοίωμα είναι κι αυτό πιστό στις διαστάσεις (1:1). Ως προς το προηγούμενο ομοίωμα υπάρχουν διαφοροποιήσεις στην μπροστινή και στην πίσω πλάκα του Μηχανισμού λόγω νέων αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την έρευνα. Στην μπροστινή πλάκα έχει διαφοροποιηθεί το παράπηγμα καθώς στο XXIII International Congress of History of Science and Technology, Budapest, Hungary, 28 July - 2 August 2009 ο T.Freeth παρουσίασε την έρευνα των A. Jones, T. Freeth και Y. Bitsakis για τη νέα διάταξη των θραυσμάτων του παραπήγματος. Στην πίσω πλάκα έχει διαφοροποιηθεί (α) ο εμβόλιμος μήνας της σπείρας του Μέτωνα καθώς όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2 ταυτοποιήσαμε τον εμβόλιμο μήνα με τον μήνα "Μαχανεύς", ταυτοποίηση που ανακοινώθηκε και έγινε δεκτή κι από την υπόλοιπη διεθνή ερευνητική ομάδα του Μηχανισμού και (β) η κατασκευή των σπειρών οι οποίες έχουν κατασκευαστεί ως σπείρες 2 ημικυκλίων, δομή που πρότεινε πρώτος ο M.Wright (2003b), αργότερα υποστήριξαν οι T.Freeth *et al*. (2006) και αποδείξαμε το 2014 (Anastasiou *et al*. 2014).





Εικ.6.3: Το ομοίωμα v2.1 του Μηχανισμού των Αντικυθήρων του Α.Π.Θ.

Το νέο ομοίωμα είναι επίσης λειτουργικό. Για τη διατήρηση σταθερής εμπλοκής των οδοντωτών τροχών και τη διευκόλυνση έτσι της κίνησης, προτιμήθηκε η χρήση σύγχρονων ασφαλειών (όχι πείρων) για τη στήριξη των τροχών στους άξονες.

Αντικείμενο της διατριβής αποτέλεσε και πάλι η δημιουργία όλων των γραφικών αναπαραστάσεων του ομοιώματος.

6.3 Η γραμματοσειρά του Μηχανισμού

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα εξαιρετικής τέχνης χαραγμένα γράμματα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων έχουν αναπαραχθεί πάνω στα μοντέλα του Α.Π.Θ. με τη βοήθεια μιας νέα γραμματοσειράς, την οποία δημιουργήσαμε μαζί με τον σύζυγό μου Γ.Δασκαλίνα κι έχει ονομαστεί "Antikythera Mechanism". Η μορφή της είναι True Type font. Λειτουργεί με το πληκτρολόγιο στην ελληνική γλώσσα και με ενεργοποιημένο το πλήκτρο "Caps lock" καθώς όλα τα γράμματα είναι κεφαλαία. Στην εικόνα 6.4 εμφανίζονται όλοι οι χαρακτήρες της γραμματοσειράς.



Εικ.6.4: Οι χαρακτήρες της γραμματοσειράς "Antikythera Mechanism".

Τμήματα από το κεφάλαιο αυτό της παρούσας διατριβής έχουν δημοσιευθεί και παρουσιαστεί:

Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H. (2012), "The Reconstruction of the Antikythera Mechanism", διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=170, poster presentation, *From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients*, Kerastari, Greece, 12-15 June 2012.

Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M., Boutbaras P. and Seiradakis J.H. (2011), "Construction of an operational model of the Antikythera Mechanism in real dimensions", Proceedings of the meeting: *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011, 493-508.

Efstathiou K., Zacharopoulou T., Anastasiou M. and Seiradakis J.H. (2009), "A new model of the Antikythera Mechanism", Book of abstracts, p. 224, oral presentation, *XXIII ICHST (International Congress of History of Science and Technology) Ideas and Instruments in Social Context*, Budapest, Hungary, 28 July - 2 August 2009.

Σύνοψη

Στο πλαίσιο της διατριβής αυτής, ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων μελετήθηκε μηχανολογικά, αστρονομικά κι επιγραφικά ενώ μέρος της γνώσης που αποκτήθηκε έχει ήδη αποτυπωθεί στα ομοιώματα του Μηχανισμού του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου.

Ξεκινώντας από το μηχανολογικό κομμάτι, όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 2, μελετήθηκε αρχικά ο δείκτης της σπείρας του Μέτωνα, ο μοναδικός από τους δείκτες των σπειρών που σώθηκε, κι ο τρόπος με τον οποίο έπαιρνε κίνηση από τον άξονά του. Ο δείκτης είναι επιμήκης και στο μπροστινό του τμήμα φέρει ακίδα για να μπορεί να ακολουθεί το διάκενο της σπείρας καθώς και πείρο υπό μορφή βέλους για την ακριβή ένδειξη της υποδιαίρεσης της σπείρας. Από τον μηχανισμό στήριξης και κίνησής του έχουν σωθεί λίγα μέρη τα οποία όμως αποκαλύπτουν τη δομή του. Η δομή είναι αρκετά σύνθετη κι αποτελείται (α) από το κάλυμμα κεφαλής που προσαρτιόταν πάνω στον άξονα και (β) από τη βάση στήριξης του δείκτη που περιέκλειε τον άξονα και το κάλυμμα κεφαλής κι έφερε δύο οπές, μία για τον δείκτη και μία για πείρο που ασφάλιζε τη βάση στήριξης με το κάλυμμα κεφαλής. Ο έξυπνα σχεδιασμένος αυτός μηχανισμός μετέδιδε την κίνηση του άξονα στον δείκτη επιτρέποντάς του ταυτόχρονα να κινείται ελεύθερα ώστε να μπορεί να ακολουθεί το διάκενο της σπείρας. Η μελέτη αυτή άλλαξε τον τρόπο με τον οποίο είχε δημοσιευτεί προηγουμένως ότι ήταν φτιαγμένοι οι δείκτες των σπειρών του Μηχανισμού (αποτελούμενοι από δύο τμήματα ώστε να μπορούν να ολισθαίνουν). Η δομή του μηχανισμού του δείκτη επιβεβαιώνεται κι από την επιγραφή περιγραφής του που αναγραφόταν στην πίσω πόρτα του Μηχανισμού.

Η ανάλυση του τύπου των σπειρών ξεκίνησε με βάση τις αναφορές του M.T. Wright (2003b) και των Freeth *et al*. (2006) ότι οι σπείρες είναι σπείρες ημικυκλίων κι αποτελεί πλέον την απόδειξη των αναφορών αυτών. Για τη σπείρα του Μέτωνα, τα δύο κέντρα αποδείχθηκε ότι είναι το κέντρο του δείκτη κι ένα πρόσθετο κέντρο πιο ψηλά ενώ για τη σπείρα του Σάρος το κέντρο του δείκτη κι ένα πρόσθετο κέντρο πιο χαμηλά. Η φαινομενική αυτή διαφορά ως προς τα πρόσθετα κέντρα οφείλεται στην διαφορετική κατασκευή των σπειρών με τη σπείρα του Μέτωνα να ξεκινάει από αριστερό ημικύκλιο και τη σπείρα του Σάρος με δεξί.

Η απόδειξη της κατασκευής των σπειρών ως σπείρες ημικυκλίων θέτει αυτόματα το ζήτημα της δημιουργούμενης εκκεντρότητας στην ανάγνωση των ενδείξεων του δείκτη για εκείνο το ημικύκλιο της σπείρας το οποίο έχει σχεδιαστεί από το πρόσθετο κέντρο (κι όχι το κέντρο του δείκτη). Διαφορετικοί τύποι ανάλυσης, και στα θραύσματα που διασώζουν τα κέντρα των σπειρών και στα θραύσματα που διασώζουν μόνο τμήματα των σπειρών, καταλήγουν στο ίδιο κάθε φορά συμπέρασμα, ότι δηλαδή οι διαχωριστικές γραμμές των υποδιαιρέσεων αυτών των ημικυκλίων έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε το κέντρο στο οποίο συγκλίνουν να είναι το κέντρο του

δείκτη. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώθηκε και με μετρήσεις του μήκους των χορδών των υποδιαιρέσεων αυτών, μήκος ολοένα αυξανόμενο κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού όπως υπολογίζεται και θεωρητικά.

Στο Κεφάλαιο 3, παρουσιάζονται κάποιες από τις νέες αναγνώσεις γραμμάτων (παρότι οι αναγνώσεις αυτές είναι πάρα πολλές αλλά επίκεινται ακόμη οι δημοσιεύσεις). Στη σπείρα του Μέτωνα, οι νέες αναγνώσεις καθόρισαν τον εμβόλιμο μήνα του ημερολογίου. Πρόκειται για τον μήνα «Μαχανεύ» ο οποίος αναγνώστηκε 2 φορές στις υποδιαιρέσεις 128 και 129 του 11^{ου} έτους του ημερολογίου αλλά με βάση και τις αναγνώσεις μέχρι στιγμής της υπόλοιπης σπείρας, πρέπει πιθανότατα να είναι ο σταθερός εμβόλιμος μήνας όλου του κύκλου.

Το ημερολόγιο είναι κορινθιακής προέλευσης, όπως δείχνει ο χάρτης ο οποίος συγκρίνει το ημερολόγιο του Μηχανισμού με τα γνωστά έως σήμερα ημερολόγια των αρχαίων ελληνικών πόλεων. Ο μέγιστος αριθμός μηνών του Μηχανισμού που έχουν ταυτιστεί είναι 7 και οδηγούν σε συσχέτιση του τόπου χρήσης του Μηχανισμού με 3 πιθανές περιοχές: τη Κόρινθο, τη ΒΔ Ελλάδα και τις Συρακούσες.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η κύρια αστρονομική ανάλυση του Μηχανισμού. Για τη μελέτη του μεγαλύτερου από τα τμήματα του παραπήγματος του Μηχανισμού που σώζονται, αναπτύχθηκε νέα μέθοδος υπολογισμού των ημερομηνιών των φαινόμενων αστρικών γεγονότων των παραπηγμάτων, μέθοδος η οποία – σε αντίθεση με όλες τις σχετικές υπάρχουσες μεθόδους μέχρι τώρα – δεν αφήνει καμία ελεύθερη παράμετρο. Στη σχεδίαση του προγράμματος έχουν ληφθεί υπόψη η ατμοσφαιρική διάθλαση, η ατμοσφαιρική απορρόφηση, η μετάπτωση των ισημεριών, η μεταβολή της λόξωσης της εκλειπτικής, η κλόνιση του άξονα περιστροφής της Γης και η αποπλάνηση από την κίνησή της και το φαινόμενο της ιδίας κίνησης των αστέρων. Καθώς η σειρά των αστρικών γεγονότων ενός παραπήγματος εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, οι υπολογισμοί έγιναν για όλα τα γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 25°N – 45°N (ανά 0.5°). Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν ως προς δύο κριτήρια: (α) τη σειρά τους και (β) την κατανομή τους στους ζωδιακούς αστερισμούς και έδειξαν ότι τα αστρικά γεγονότα του θραύσματος C1-a του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων προσαρμόζονται καλύτερα στη γεωγραφική ζώνη μεταξύ 33.3°N – 37.0°N. Στη ζώνη αυτή ανήκουν η Ρόδος κι οι Συρακούσες, η Κόρινθος και το Ταυρομένιο βρίσκονται ακριβώς εκτός ενώ οι πόλεις της ΒΔ Ελλάδας δεν φαίνεται να ευνοούνται. Ωστόσο, ο μικρός αριθμός των υπό μελέτη αστρικών γεγονότων καθώς και οι ιστορικές αβεβαιότητες ως προς τον τρόπο που δημιουργήθηκε πραγματικά το παράπηγμα δεν επιτρέπουν παρά να μιλάμε για ένα **πιθανό** εύρος γεωγραφικών πλατών.

Στο πιθανό αυτό εύρος γεωγραφικών πλατών όπου παράχθηκε το παράπηγμα, ίσως αξίζει να τονιστεί η ύπαρξη της Ρόδου, της πιθανότερης ίσως εκδοχής για τον τόπο κατασκευής του Μηχανισμού όπως αναφέρθηκε στην Εισαγωγή.

Η μέθοδος αυτή ήδη εφαρμόστηκε με επιτυχία στο παράπηγμα του Πτολεμαίου για το κλίμα (τη γεωγραφική ζώνη) των 14 ωρών επιβεβαιώνοντας τη γεωγραφική περιοχή που αναφέρει ο Πτολεμαίος, υπολόγισε αρκετά υψηλά σφάλματα σειράς στο

παράπηγμα του Ευκτήμονα ενώ εντόπισε εσφαλμένες αναφορές αστρικών γεγονότων στο παράπηγμα του Εύδοξου. Η μελέτη και των υπόλοιπων γεωγραφικών ζωνών του παραπήγματος του Πτολεμαίου ήδη έχει ζητηθεί από συνεργάτες του εξωτερικού να γίνει μετά την ολοκλήρωση της διδακτορικής διατριβής.

Στο Κεφάλαιο 5 υπολογίστηκε η καμπύλη της εξίσωσης του χρόνου για το 150 π.Χ. και συγκρίθηκε με την εξίσωση του χρόνου όπως αυτή διασώθηκε σε σχετικό πίνακα του Πτολεμαίου. Η εξίσωση του χρόνου είναι μια γνώση που όπως αναπτύσσεται στο κεφάλαιο αυτό πρέπει να ήταν ήδη γνωστή την εποχή κατασκευής του Μηχανισμού. Το θραύσμα D του Μηχανισμού του οποίου η λειτουργία παραμένει αινιγματική συγκρίνεται με τις παραπάνω καμπύλες. Μια πλήρης περιστροφή του νεφροειδούς εξαρτήματος από το οποίο αποτελείται εμφανίζει δύο μέγιστα και δύο ελάχιστα, που ταιριάζουν αρκετά καλά με τα αντίστοιχα της εξίσωσης του χρόνου. Η όλη μελέτη είναι όμως ακόμη υπό εξέλιξη και δεν έχει καταλήξει σε βέβαιο συμπέρασμα.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα δύο ομοιώματα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων τα οποία κατασκευάστηκαν στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο. Όλες οι γραφικές αναπαραστάσεις των ομοιωμάτων αυτών αποτέλεσαν αντικείμενο της διατριβής και στο χρονικό μάλιστα διάστημα των 3 ετών που απέχει το ένα από το άλλο, ενσωματώθηκαν και κάποια από τα παραπάνω αποτελέσματα τα οποία είχαν ήδη γίνει γνωστά. Για τα ομοιώματα αυτά και την όσο τον δυνατόν πιο πιστή αποτύπωση του κειμένου, δημιουργήθηκε ειδική γραμματοσειρά που προσομοιώνει τα εξαιρετικής τέχνης γράμματα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων.

Αναμφισβήτητα πλέον ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων θεωρείται ως μια τέλεια μηχανική κατασκευή προηγμένης τεχνολογίας της αρχαιότητας. Η γνώση που έχει αποτυπωθεί πάνω του, η σύλληψη της όλης κατασκευής του αλλά και η ίδια η κατασκευή του εκπλήσσουν. Χάρη στην ανακάλυψη του Μηχανισμού ξαναγράφεται πλέον η ιστορία της εξέλιξης της αρχαίας ελληνικής τεχνολογίας.

Δημοσιεύσεις

Δημοσιεύσεις σε περιοδικά με κριτές

(A01): Anastasiou M., Seiradakis J.H., Carman C.C. and Efstathiou K. (2014), "The Antikythera Mechanism: The construction of the back plate spirals", *Journal for the History of Astronomy* (accepted (August 2014)).

(A02): Anastasiou M., Seiradakis J.H., Evans J., Drougou S. and Efstathiou K. (2013), "The astronomical events of the parapegma of the Antikythera Mechanism", *Journal for the History of Astronomy*, **44**, No. 2, 173-86.

(A03): Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H. (2012), "Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism", *Mechanism and Machine Theory*, **52**, 219–231.

(A04): Δημοσίευση στα Supplementary Notes του περιοδικού Nature του χάρτη κατανομής στον αρχαίο ελληνικό κόσμο των ονομάτων των δώδεκα μηνών που βρέθηκαν γραμμένοι πάνω στον Μηχανισμό: Freeth T., Jones A., Steele J.M. and Bitsakis Y. (2008), "Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism", *Nature*, **454**, 614-617. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://www.nature.com/nature/journal/v454/n7204/extref/nature07130-s1.pdf

Δημοσιεύσεις σε στάδιο συγγραφής

(B01): Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H., "Calculating the equation of time with the use of a cam in the Antikythera Mechanism".

(B02): Bitsakis Y., Anastasiou M., Freeth T., Jones A., Steele J.M. and Zafeiropoulou M., "Back plate and back dial inscriptions".

(B03): Tselikas A., Anastasiou M., Bitsakis Y., Freeth T., Jones A., Moussas X. and Zafeiropoulou M., "Front cover inscription".

Δημοσιεύσεις σε άλλα περιοδικά ή τόμους

(Γ01): Eftasthiou K., Basiakoulis A,, Efstathiou M., Anastasiou M., Boutbaras P. and Seiradakis J.H. (2012), "Operational model of full size Antikythera Mechanism", *Journal of Terraspace Science and Engineering*, *History of Mechanism and Machine Science*, **5**, No. 2, 21-30.

Δημοσιεύσεις σε άλλα ελληνικά περιοδικά ή τόμους

(Δ01): Ευσταθίου Κ., Σειραδάκης Ι., Αναστασίου Μ., Μπασιακούλης Α. και Ευσταθίου Μ. (2012), "Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων", Περιοδικό του Συλλόγου Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων Βορείου Ελλάδος *e-Τεχνολογία*, **8**.

Δημοσιεύσεις σε διεθνή συνέδρια με κριτές

(Ε01): Anastasiou M., Seiradakis J.H., Evans J., Drougou S. and Efstathiou K. (2012), "Positional astronomy and the Parapegma of the Antikythera Mechanism", Proceedings of the meeting: *From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients (Antikythera & SKA)*, Kerastari, Greece, 12-15 June 2012. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=170

(Ε02): Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H. (2011), "Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism", Proceedings of the meeting: *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011, 477-492.

(Ε03): Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M., Boutbaras P. and Seiradakis J.H. (2011), "Construction of an operational model of the Antikythera Mechanism in real dimensions", Proceedings of the meeting: *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011, 493-508.

(Ε04): Moussas X., Bampasidis G., Bitsakis Y., Tassios T., Anastasiou M., Efstathiou K., Fasoulopoulos G., Kioleoglou I., Edmunds M., Zafeiropoulou M., Roumeliotis M., Malzbender T., Ramsey A., Kriaris D., Spandagos E., Giannopoulos N., Porligi A., Daniels E., Wright M.T., Sabry R., El-Mikaty H., Henriksson G., Munktell I., Vafea F., Koufos S., Prassopoulos D., Zafiropoulos V., Karakonstantis A., Aggeioplasti K., Delidou E., Papoulias C., Papoulias G., Haley P., Mimouni J.,

Valls-Gabaud D., Biggs M., Chochol D., Szubiakowski J., Plucinska E., Jacyno A., Kakouris A., Pal'uš P., Jančušková D., Feriančiková M., Czart K., Xenakis N., Gkini M.E., Perpyraki E., Tziannoudakis L. and Antoniou P. (2011), "The gears of the Antikythera Mechanism: an educational pathfinder to the solar system", Proceedings of the *International Astronomical Union, IAU Symposium*, No. 260, E1.

Ανακοινώσεις σε διεθνή συνέδρια

Anastasiou M., Seiradakis J.H., Carman C.C. and Efstathiou K. (2012), "The Antikythera Mechanism: the structure of the mounting of the back plate's pointer and the construction of the spirals", Book of abstracts, p. 9, oral presentation, *5th International Conference of the European Society of History of Science*, Athens, Greece, 1-3 November 2012.

Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H. (2012), "The Reconstruction of the Antikythera Mechanism", διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=170, poster presentation, *From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients*, Kerastari, Greece, 12-15 June 2012.

Anastasiou M., Seiradakis J.H., Carman C.C. and Efstathiou K. (2011), "The Antikythera Mechanism: The construction of the back dial spirals and their spirals", oral presentation, *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011.

Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H. (2011), "The Equation of Time calculated by the Antikythera Mechanism", oral presentation, *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011.

Anastasiou M. and Seiradakis J.H. (2009), "Astronomical implications of the parapegma of the Antikythera Mechanism", Book of abstracts, p. 226, oral presentation, *XXIII ICHST (International Congress of History of Science and Technology) Ideas and Instruments in Social Context*, Budapest, Hungary, 28 July - 2 August 2009.

Efstathiou K., Zacharopoulou T., Anastasiou M. and Seiradakis J.H. (2009), "A new model of the Antikythera Mechanism", Book of abstracts, p. 224, oral presentation, *XXIII ICHST (International Congress of History of Science and Technology) Ideas and Instruments in Social Context*, Budapest, Hungary, 28 July - 2 August 2009.

Συμμετοχή σε συνέδρια – συμπόσια – ημερίδες

- *5th International Conference of the European Society of History of Science*, Athens, Greece, 1-3 November 2012: Anastasiou M., Seiradakis J.H., Carman C.C. and Efstathiou K., "The Antikythera Mechanism: the structure of the mounting of the back plate's pointer and the construction of the spirals", Book of abstracts, p. 9, oral presentation.

- *From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients (Antikythera & SKA)*, Kerastari, Greece, 12-15 June 2012: Anastasiou M., Seiradakis J.H., Evans J., Drougou S. and Efstathiou K., "Positional astronomy and the Parapegma of the Antikythera Mechanism", Proceedings of the meeting. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=170 (Δημοσίευση: E01)

- *From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients*, Kerastari, Greece, 12-15 June 2012: Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H., "The Reconstruction of the Antikythera Mechanism", poster presentation. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=170

- *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011: Anastasiou M., Seiradakis J.H., Carman C.C. and Efstathiou K., "The Antikythera Mechanism: The construction of the back dial spirals and their spirals", oral presentation.

- *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011: Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H., "Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism", Proceedings of the meeting, 477-492. (Δημοσίευση: E02)

- *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011: Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M., Boutbaras P. and Seiradakis J.H., "Construction of an operational model of the Antikythera Mechanism in real dimensions", Proceedings of the meeting, 493-508. (Δημοσίευση: E03)

- *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011: Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou

M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H., "The Equation of Time calculated by the Antikythera Mechanism", oral presentation.

- Επιστημονικό συμπόσιο «*Επιστήμη και Αρχαιολογία: Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων*», Οικία Επάρχου, Πάφο Κύπρου, 1 Ιουλίου 2011: ομιλία με τίτλο «Η αρχαία ελληνική αστρονομία μέσα από το παράπηγμα και την πίσω πλάκα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων».

- Workshop, Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης, Αθήνα, 6-9 Ιουλίου 2011: η επιγραφή της μπροστινής πλευράς του Μηχανισμού.

- *XXIII ICHST (International Congress of History of Science and Technology) Ideas and Instruments in Social Context*, Budapest, Hungary, 28 July - 2 August 2009: Anastasiou M. and Seiradakis J.H., "Astronomical implications of the parapegma of the Antikythera Mechanism", Book of abstracts, p. 226, oral presentation.

- *XXIII ICHST (International Congress of History of Science and Technology) Ideas and Instruments in Social Context*, (Budapest, Hungary, 28 July - 2 August 2009: Efstathiou K., Zacharopoulou T., Anastasiou M. and Seiradakis J.H., "A new model of the Antikythera Mechanism", Book of abstracts, p. 224, oral presentation.

- Ημερίδα με θέμα την προετοιμασία της έκθεσης "The Antikythera Mechanism - The Computer of the Ancient Universe", Ιωνικό Κέντρο, Αθήνα, 15 Ιουνίου 2008.

- Ημερίδα με θέμα «Εξελίξεις στην έρευνα για τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων», Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Αθήνα, 7 Απριλίου 2008.

Άλλες σχετικές δραστηριότητες

- Απρίλιος 2012: Συμμετοχή κατόπιν προσκλήσεως στα εγκαίνια της έκθεσης «Το Ναυάγιο των Αντικύθηρων. Το πλοίο - οι θησαυροί - ο Μηχανισμός» που διοργανώθηκε από το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο στην Αθήνα.

- Φεβρουάριος 2009: Συμμετοχή σε 2 μακράς διάρκειας τηλεοπτικές εκπομπές με θέμα τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων, Εκπομπή «Χωρίς Απουσιολόγιο» με τον Νίκο Λουτράδη, TV100.

- Ιανουάριος 2009: Συμμετοχή στην μακράς διάρκειας τηλεοπτική εκπομπή με θέμα τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων, Εκπομπή «Κοινωνία Πληροφορίας και Επικοινωνίας» με τον Ιωάννη Ασσιόγλου, 4Ε.

- 12 Νοεμβρίου 2008 - 25 Ιανουαρίου 2009: 1η παρουσίαση του κατασκευασμένου στο Α.Π.Θ. ομοιώματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων στο πλαίσιο της έκθεσης «Ελλάδα και Τεχνολογία: μια διαχρονική προσέγγιση», Τελλόγλειο Ίδρυμα Τεχνών Α.Π.Θ.

- 30 Ιουλίου 2008: Συμμετοχή στην τηλεοπτική εκπομπή με θέμα τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων, Εκπομπή «Ανιχνεύσεις» με τον Παντελή Σαββίδη, ΕΤ 3.

Βιβλιογραφία

Alcyone software (Lange R.), διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://www.alcyone.de/

Anastasiou M., Seiradakis J.H., Carman C.C. and Efstathiou K. (2014), "The Antikythera Mechanism: The construction of the back plate spirals", *Journal for the History of Astronomy* (accepted (August 2014)).

Anastasiou M., Seiradakis J.H., Evans J., Drougou S. and Efstathiou K. (2013), "The astronomical events of the parapegma of the Antikythera Mechanism", *Journal for the History of Astronomy*, **44**, No. 2, 173-86.

Anastasiou M., Seiradakis J.H., Evans J., Drougou S. and Efstathiou K. (2012), "Positional astronomy and the Parapegma of the Antikythera Mechanism", Proceedings of the meeting: *From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients (Antikythera & SKA)*, Kerastari, Greece, 12-15 June 2012. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=170

Berthold R.M. (2009), *Rhodes in the Hellenistic Age*, Ithaca.

Bickerman E. (1968), *Chronology of the Ancient World*, London.

Blackwell H. R. (1946), "Contrast thresholds of the human eye", *Journal of the Optical Society of America*, **36**, 624-643.

Bromley A. G. (1985), "The Design of Astronomical Gear Trains", *Horological Journal*, **128**, Issue 6, 19–23.

Bromley A. G. (1986a), "The Design of Astronomical Gear Trains", *Horological Journal*, **128**, Issue 9, 10-11.

Bromley A. G. (1986b), "Notes on the Antikythera Mechanism", *Centaurus*, **29**, Issue 5.

Bromley A. G. (1990a), "The Antikythera Mechanism", *Horological Journal*, **132**, 412-415.

Bromley A. G. (1990b), "Observations of the Antikythera Mechanism", *Antiquarian Horology*, **18**, Issue 6, 641-652.

Bromley A. G. (1990c), "The Antikythera Mechanism: A Reconstruction", *Horological Journal*, **133**, Issue 1, 28-31.

Bromley A. G. (1993), "Antikythera: An Australian-Made Greek Icon", *Bassernet*, **2**, No. 3.

Cabanes P. (1988), "Les concours des Naia de Dodone", *Nikephoros - Zeitschrift Fur Sport und Kultur Im Altertum*, **1**, 49–84.

Cabanes, P. (2011), "Le Mécanisme d'Anticythère, Les NAA de Dodone et Le Calendrier Épirote", *Tekmeria*, **10**, 249-260.

Carman C. C., Thorndike A. S. and Evans J. (2012), "On the pin-and-slot device of the Antikythera Mechanism, with a new application to the superior planets", *Journal for the History of Astronomy*, **43**, No. 1, 93-116

Duffett-Smith P. (1990), *Astronomy with your personal computer*, New York.

Duffet-Smith P. (1995), *Practical Astronomy with your Calculator*, Cambridge.

Edmunds M. (2011), "An Initial Assessment of the Accuracy of the Gear Trains in the Antikythera Mechanism", *Journal for the History of Astronomy*, **42**, No. 3, 307-320.

Edmunds M and Morgan P. (2000), "The Antikythera Mechanism: still a mystery of Greek Astronomy?", *Astronomy & Geophysics*, **41**, 10-17.

Edmunds M.G. and Freeth T. (2011), "Using Computation to Decode the First Known Computer", *Computer*, **44**, No. 7, 32-39.

Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H. (2012), "Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism", *Mechanism and Machine Theory*, **52**, 219–231.

Eftasthiou K., Basiakoulis A,, Efstathiou M., Anastasiou M., Boutbaras P. and Seiradakis J.H. (2012), "Operational model of full size Antikythera mechanism", *Journal of Terraspace Science and Engineering*, *History of Mechanism and Machine Science*, **5**, No. 2, 21-30.

Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H. (2011), "Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism", Proceedings of the meeting: *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011, 477-492.

Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M., Boutbaras P. and Seiradakis J.H. (2011), "Construction of an operational model of the Antikythera Mechanism in real dimensions", Proceedings of the meeting: *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011, 493-508.

Evans J. (1998), *The history and practice of ancient astronomy*, New York.

Evans J. and Berggren J. L. (2006), *Geminos's Introduction to the Phenomena*, Princeton.

Evans J., Carman C. C. and Thorndike A. S. (2010), "Solar anomaly and planetary displays in the Antikythera Mechanism", *Journal for the History of Astronomy*, **41**, No. 1, 1-39.

Evans, J. and Carman, C.C. (2014), "Mechanical Astronomy: A Route to the Ancient Discovery of Epicycles and Eccentrics", στο Sidoli N. and Brummelen G. V. (επιμ.), *From Alexandria, Through Baghdad: Surveys and Studies in the Ancient Greek and Medieval Islamic Mathematical Sciences in Honour of J.L. Berggren*, 145-174, Berlin.

Fotheringham, J. K. (1924), "The Metonic and Callippic Cycles", *Monthly Notices of the RoyalAstronomical Society*, 84, 383-392.

Freeth T. (2002a), "The Antikythera Mechanism: 1. Challenging the Classic Research", *Mediterranean Archaeology & Archaeometry*, **2**, No. 1, 21-35.

Freeth T. (2002b), "The Antikythera Mechanism: 2. Is it Posidonius' Orrery?", *Mediterranean Archaeology & Archaeometry*, **2**, No. 2, 45-58.

Freeth T., Bitsakis Y., Moussas X., Seiradakis J. H., Tselikas A., Mangou H., Zafeiropoulou M., Hadland R., Bate D., Ramsey A., Allen M., Crawley A., Hockley P., Malzbender T., Gelb D., Ambrisco W. and Edmunds M. G. (2006), "Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism", *Nature*, **444**, 587–91. Γι' αυτό το άρθρο υπάρχει σημαντικότατο συμπληρωματικό τμήμα "Supplementary information" διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.nature.com/nature/journal/v444/n7119/suppinfo/nature05357.html

Freeth T., Jones A., Steele J. M. and Bitsakis Y. (2008), "Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism", *Nature*, **454**, 614–17. Γι' αυτό το άρθρο υπάρχει σημαντικότατο συμπληρωματικό τμήμα "Supplementary information" διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.nature.com/nature/journal/v454/n7204/suppinfo/nature07130.html

Freeth T. (2009), "Decoding an ancient computer", *Scientific American*, **301**, 52-59.

Freeth T. and Jones A. (2012), "The Cosmos in the Antikythera Mechanism", *ISAW Papers*, **4**.

Gourtsoyannis E. (2010), "Hipparchus vs. Ptolemy and the Antikythera Mechanism: Pin-Slot device models lunar motions", *Advances in Space Research*, **46**, 540-544.

Hannah R. (2005), *Greek and Roman Calendars: Constructions of Time in the Classical World*, London.

Heiberg J. L. (επιμ.) (1907), "Claudii Ptolemaei Opera quae exstant omnia, vol. II", *Opera astronomica minora*, Leipzig.

Jones A. (1991), "The Adaptation of Babylonian Methods in Greek Numerical Astronomy", *Isis*, **82**, No. 3, 440-453.

Jones A. (2000), "Calendrica I. New Callippic dates", *Zeitschrift für Papyrologie und Epigraphik*, **129**, 141–158.

Jones A. (2004), *Provisional translation of Ptolemy's Phaseis*, διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://www.classicalastrologer.com/Phaseis.pdf

Jones, A. (2012), "The Antikythera Mechanism and the Public Face of Greek Science", στο Proceedings of Science, *From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients*, Kerastari, Greece, 11-16 June 2012. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=170

Koomen M. J., Lock C., Packer D. M., Scolnik R., Tousey R. and Hulburt E. O. (1952), "Measurements of the brightness of the twilight sky", *Journal of the Optical Society of America*, **42**, 353–6.

Lehoux D. (2007), *Astronomy, weather, and calendars in the ancient world: Parapegmata and related texts in classical and Near Eastern societies*, New York.

Malzbender, T. & Gelb, D. (2006), Polynomial texture mapping. http://www.hpl.hp.com/research/ptm/

Marchant J. (2006), "In search of lost time", *Nature*, **444**, 534-538.

Marchant J. (2008), *Decoding the Heavens: Solving the Mystery of the World's First Computer*, London.

Marchant J. (2010), "Mechanical inspiration", *Nature*, **468**, 496-498.

Meeus J. (1998), *Astronomical Algorithms*, Richmond.

Moussas X., Bampasidis G., Bitsakis Y., Tassios T., Anastasiou M., Efstathiou K., Fasoulopoulos G., Kioleoglou I., Edmunds M., Zafeiropoulou M., Roumeliotis M., Malzbender T., Ramsey A., Kriaris D., Spandagos E., Giannopoulos N., Porligi A., Daniels E., Wright M.T., Sabry R., El-Mikaty H., Henriksson G., Munktell I., Vafea F., Koufos S., Prassopoulos D., Zafiropoulos V., Karakonstantis A., Aggeioplasti K., Delidou E., Papoulias C., Papoulias G., Haley P., Mimouni J., Valls-Gabaud D., Biggs M., Chochol D., Szubiakowski J., Plucinska E., Jacyno A., Kakouris A., Pal'uš P., Jančušková D., Feriančiková M., Czart K., Xenakis N., Gkini M.E., Perpyraki E., Tziannoudakis L. and Antoniou P. (2011), "The gears of the Antikythera Mechanism: an educational pathfinder to the solar system", Proceedings of the *International*

Astronomical Union, IAU Symposium, No. 260, E1.

Moussas X. (2011), "The Antikythera Mechanism: The oldest mechanical universe in its scientific milieu", Proceedings of the *International Astronomical Union, IAU Symposium*, No. 260, 135 - 148.

Moussas X. (2010), "The Antikythera Mechanism", στο Kokkotas P. V., Malamitsa K. S. and Rizaki A. A. (επιμ.), *Adapting Historical Knowledge Production to the Classroom*, 113-128, Rotterdam.

Nawar S. (1983), "Sky twilight brightness and colour during high solar activity", *The Moon and the planets*, **29**, 99-105.

Neugebauer O. (1975), *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, New York.

Nikoli M. and Seiradakis J.H. (2012), "The first newspaper references to the Antikythera shipwreck discoveries", στο Proceedings of Science, From *Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients*, Kerastari, Greece, 11-16 June 2012. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:
http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=170

Papathanasiou M.K. (2010), "Reflections on the antikythera mechanism inscriptions", *Advances in Space Research*, **46**, Issue 4, 545-551.

Pinotsis A. D., "The Antikythera mechanism: who was its creator and what was its use and purpose?", *Astronomical and Astrophysical Transactions*, **26**, Nos. 4–5, 211–226.

Price D. de S. (1955), "Clockwork before the Clock", *Horological Journal*, **97**, 811-813.

Price D. de S. (1956), "Clockwork before the Clock", *Horological Journal*, **98**, 31-34.

Price D. de S. (1959a), "On the Origin of Clockwork, Perpetual Motion Devices, and the Compass", *United States National Museum Bulletin,* **218**, Washington D.C.

Price D. de S. (1959b), "An Ancient Greek Computer," *Scientific American,* **200**, p.60-67.

Price, D. de S. (1964), "Automata and the Origins of Mechanism and Mechanistic Philosophy", *Technology and Culture*, **5**, 9-23.

Price D. de S. (1974), "Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism – A calendar computer from ca. 80 B.C.", *Transactions of the American Philosophical Society*, New Series, **64**, No 7, 1-70 (reprinted New York, 1975).

Ralph E.K. (1965), "Carbon C-14 Date for the Antikythera Shipwreck", στο Weinberg G.D., Grace V.R., Edwards G.R., Robinson H.S., Thockmorton P. and E. K. Ralph, "The Antikythera shipwreck reconsidered", *Transactions of the American Philosophical Society*, New Series, **55**, No. 3, p.48.

Ramsey A. (2012), "X-ray Tomography of the Antikythera Mechanism", στο Proceedings of Science (PoS), *From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients*, Kerastari, Greece, 12-15 June 2012. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=170

Robinson M. (2009), "Ardua et astra: on the calculation of the dates of the rising and setting of stars," *Classical Philology*, **104**, 354-375.

Roumeliotis M. (1998), Antikythera Mechanism Simulation, διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://www.etl.uom.gr/mr/index.php?mypage=antikythera_sim

Roumeliotis M. (2008), Antikythera Mechanism animation files according to Price, διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:
http://www.etl.uom.gr/mr/index.php?mypage=antikythera_ani

Roumeliotis M. (2008), Antikythera Mechanism animation files according to the Research Project, διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:
http://www.etl.uom.gr/mr/index.php?mypage=antikythera_ani_new

Russo L. (2004), *The Forgotten Revolution: How Science Was Born in 300 Bc and Why It Had to Be Reborn*, Berlin.

Schaefer B. E. (1985), "Predicting Heliacal Risings and Settings", *Sky and Telescope*, **70**, 261-263.

Schaefer B. E. (1987), "Heliacal rise phenomena", *Archaeoastronomy*, **11**, 19-33.

Schaefer B. E. (1993), "Astronomy and the limits of vision", *Vistas in Astronomy*, **36**, 311-361.

Schoch C. (1924), "The 'arcus visionis' of the planets in the Babylonian observations", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **84**, 731-734.

Stahlman W. D. (1960), *The astronomical tables of codex vaticanus graecus 1291*, διδακτορική διατριβή, Brown University.

Stuckenrath R. Jr., Coe W.R. and Ralph E. (1966), "University of Pennsylvania radiocarbon dates IX", *Radiocarbon*, **8**, 348-385.

The Astronomical Almanac for the Year 2012

Throckmorton P. (1964), "Roman shipwrecks and modern Aegean ships", *Mariner's Mirror*, **50**, 205-216.

Toomer G. J. (1984), *Ptolemy's Almagest*, London.

Tousey R. and Koomen M. J. (1953), "The visibility of stars and planets during twilight", *Journal of the Optical Society of America*, **43**, 177–83.

Trümpy C. (1997), *Untersuchungen zu den altgriechischen Monatsnamen und Monatsfolgen*, Heidelberg.

Urschel B. (2011), Analemma (http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html)

Weinberg G. D., Grace V. R., Edwards G. R., Robinson H. S, Throckmorton, P. and Ralph E. K. (1965), "The Antikythera Shipwreck Reconsidered", *Transactions of the American Philosophical Society*, **55**, Issue 3, 3-48.

Woodhead A. G. (1981), *The Study of Greek Inscriptions*, Cambridge.

Wright M.T. (1990), "Rational and Irrational Reconstruction: the London Sundial-Calendar and the Early History of Geared Mechanisms", *History of Technology*, **12**, 65-102.

Wright M.T., Bromley, A. G. and Magkou, E. (1995), "Simple X-Ray Tomography and the Antikythera Mechanism", *PACT*, **45**, 531-543.

Wright M. T. (2002), "A Planetarium Display for the Antikythera Mechanism", *Horological Journal*, **144**,169-173; 144(6), 193.

Wright M. T. (2003a), "Epicyclic gearing and the Antikythera Mechanism, Part I", *Antiquarian Horology*, **27**, 270–279.

Wright M. T. (2003b), "The Scholar, the Mechanic and the Antikythera Mechanism", *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, **80**, 4-11.

Wright M. T. (2003c), "In the Steps of the Master Mechanic", στο *Greece and the Modern World*, *Proceedings of a conference in Ancient Olympia 2002,* Πανεπιστήμιο Πατρών, 86 – 97.

Wright M. T. (2005a), "The Antikythera Mechanism: A new gearing scheme", *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, **85**, 2–7.

Wright M. T. (2005b), "Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων", *Αρχαιολογία και Τέχνες*, **95**, 54 – 60.

Wright M. T. (2005c), "Epicyclic gearing and the Antikythera Mechanism, Part II". *Antiquarian Horology*, **29**, 51–63.

Wright M. T. (2005d), "Counting months and years: The upper back dial of the AntikytheraMechanism", *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, **87**, 8–13.

Wright M. T. (2005e), "Understanding the Antikythera Mechanism", Proceedings of the *2nd International Conference on Ancient Greek Technology*, Athens, 49 – 60.

Wright M. T. (2005f), "Response to the Discussion", Proceedings of the *2nd International Conference on Ancient Greek Technology*, Athens, 833 – 835.

Wright M. T. (2005g), "Il meccanismo di Anticitera: l'antica tradizione dei meccanismi ad ingranaggio", στο Sardo L. E. (επιμ.), *Eureka: Il genio degli antichi*, 241 – 244, Naples.

Wright, M. T. (2006α), "The Antikythera Mechanism and the early history of the moonphase display", *Antiquarian Horology*, **29**, 319–329.

Wright, M. T. (2006β), "The Antikythera Mechanism: a review of work in progress", Proceedings of the *XXV Scientific Instrument Symposium*, 327 – 330.

Wright M. T. (2007), "The Antikythera Mechanism reconsidered", *Interdisciplinary science reviews*, **32**, No. 1, 27–43.

Wright M.T. (2012), "The Antikythera Mechanism: Compound Gear Trains for Planetary Indications", *Almagest*, **IV**, issue 2.

Wright M. T. και Bromley A.G. (1997), "Current Work on the Antikythera Mechanism", Proceedings of the *1st International Conference on Ancient Greek Technology*, Thessaloniki, 19-25.

Wright M. T. και Bromley A.G. (2003), "Towards a New Reconstruction of the Antikythera Mechanism", στο S.A. Paipetis (επιμ.), *Extraordinary Machines and Structures in Antiquity, Proceedings of a conference of Archaeometry in South Eastern Europe in Ancient Olympia 2001*, Πανεπιστήμιο Πατρών, 81 – 94.

X-Tek Systems Ltd. (2006) 3-D computed tomography: http://www.xtek.co.uk/ct

Yan H.S. and Lin J.L, (2013), "Reconstruction synthesis of the lost interior mechanism for the solar anomaly motion of the Antikythera mechanism", *Mechanism and Machine Theory*, **70**, 354-371.

Αυγολούπη Σ.Ι. και Σειραδάκη Ι.Χ. (2009), *Παρατηρησιακή Αστρονομία*, Θεσσαλονίκη.

Ευσταθίου Κ., Σειραδάκης Ι., Αναστασίου Μ., Μπασιακούλης Α. και Ευσταθίου Μ. (2012), "Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων", Περιοδικό του Συλλόγου Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων Βορείου Ελλάδος *e-Τεχνολογία*, **8**.

Ζαφειροπούλου Μ. (2012), "Παλαιά και νέα θραύσματα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων και επιγραφές", στο *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων: το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*, Ν. Καλτσάς, Ε. Βλαχογιάννη και Π. Μπούγια (επιμ.), 241-248, Κατάλογος έκθ)εσης Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου.

Καλτσάς Ν. (2012), "Εισαγωγή", στο *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων: το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*, Ν. Καλτσάς, Ε. Βλαχογιάννη και Π. Μπούγια (επιμ.), 14-16, Κατάλογος έκθεσης Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου.

Κολώνας Λ. (2012), "Οι έρευνες του 1976", στο *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων: το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*, Ν. Καλτσάς, Ε. Βλαχογιάννη και Π. Μπούγια (επιμ.), 32-34, Κατάλογος έκθεσης Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου.

Μουσάς Ξ.Δ. (2012), *Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων «ΠΙΝΑΞ». Ο αρχαιότερος υπολογιστής και αστρονομικό όργανο*, Αθήνα.

Μπούγια Π. (2012), "Το πλοίο", στο *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων: το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*, Ν. Καλτσάς, Ε. Βλαχογιάννη και Π. Μπούγια (επιμ.), 36-49, Κατάλογος έκθ)εσης Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου.

Νικολή Μ. (2012), *Οι πρώτες αναφορές στην ανακάλυψη του ναυαγίου και του Μηχανισμού των Αντικυθήρων*, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, διαθέσιμη στην ιστοσελίδα:
http://www.astro.auth.gr/diplomas.html

Τάσιος Θ. (2012), "Η ελληνιστική κορύφωση της τεχνολογίας", στο *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων: Η τεχνολογία του πλοίου, του φορτίου, του Μηχανισμού*, Α. Χριστοπούλου, Α. Γκαδόλου και Π. Μπούγια (επιμ.), 14-25, Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο.

Τσελέκας Π. (2012), "Τα νομίσματα", στο *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων: το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*, Ν. Καλτσάς, Ε. Βλαχογιάννη και Π. Μπούγια (επιμ.), 216-226, Κατάλογος έκθεσης Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου.

Τσιποπούλου Μ., Αντωνίου Μ. και Μασουρίδη Σ. (2012), "Οι έρευνες των ετών 1900-1901", στο *Το ναυάγιο των Αντικυθήρων: το πλοίο, οι θησαυροί, ο μηχανισμός*, Ν. Καλτσάς, Ε. Βλαχογιάννη και Π. Μπούγια (επιμ.), 18-31, Κατάλογος έκθεσης Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου.

Φράγκου Β. (2010), *Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων: Ιστορική αναδρομή και αστρονομικές προεκτάσεις*, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, διαθέσιμη στην ιστοσελίδα:
http://www.astro.auth.gr/diplomas.html (η ίδια η εργασία διατίθεται και στα αγγλικά: Fragkou V. (2010), *The Antikythera Mechanism: Historical Reference and Astronomical Extensions*, Diploma Thesis, Department of Physics, Aristotle University of Thessaloniki)

Βιογραφικό Σημείωμα

Ονοματεπώνυμο : Αναστασίου Μαγδαληνή
Όνομα πατρός : Απόστολος
Οικογενειακή κατάσταση : Έγγαμη με 1 παιδί
Διεύθυνση κατοικίας : Αντ. Τούσα 45, 54250 Θεσσαλονίκη
Τηλέφωνα επικοινωνίας : 6976680777
E-mail :anastasiou@astro.auth.gr

ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ :

2008-2014 : Διδακτορική διατριβή με θέμα: «Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων: Αστρονομία και Τεχνολογία στην Αρχαία Ελλάδα», Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

2004-2007 : Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Υπολογιστικής Φυσικής, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Βαθμός πτυχίου: 9.33

1999-2004 : Πτυχίο Φυσικής, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Βαθμός πτυχίου: 8.08, Κατεύθυνση : Αστρονομία

1994-1999 : Πτυχίο Αρχαιολογίας, Τμήμα Ιστορίας και Αρχαιολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Βαθμός πτυχίου: 7.82, Ειδίκευση : Αρχαιολογία

ΔΙΑΚΡΙΣΕΙΣ/ΒΡΑΒΕΙΑ :

2002-2003 : Διορθώτρια, ύστερα από επιλογή λόγω υψηλής βαθμολογίας από τους διδάσκοντες καθηγητές, των γραπτών ασκήσεων των φοιτητών, στο πλαίσιο του υποχρεωτικού μαθήματος *Αστρονομία και Αστροφυσική* του Ε΄ εξαμήνου του τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ.

1996-1997 : Υποτροφία Ι.Κ.Υ. για την επίδοση κατά τη διάρκεια του τρίτου έτους των προπτυχιακών σπουδών στο τμήμα Ιστορίας και Αρχαιολογίας.

ΞΕΝΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ :

Αγγλικά (Proficiency), Γαλλικά (Sorbonne 1), Ιταλικά (Diploma di Lingua Italiana και Celi 3), Γερμανικά (Zertifikat (Grundstufe))

ΕΙΔΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ :

Λειτουργικά συστήματα: Windows, Προγραμματισμός: C++, Προγράμματα: Word, Excel, PowerPoint, Mathematica, Corel, Photoshop, Origin, Latex, εφαρμογές διαδικτύου.

ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ – ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ:

2010-2012 : Ερευνητικό Επιστημονικό Προσωπικό (Academic Assistant) για την υποστήριξη της εκπαιδευτικής και ερευνητικής διαδικασίας των Προγραμμάτων Μεταπτυχιακών Σπουδών της Σχολής Ανθρωπιστικών Επιστημών του Διεθνούς Πανεπιστημίου Ελλάδος. Συμμετοχή στη σχεδίαση και προετοιμασία του υπό λειτουργία από το 2013 θερινού σχολείου «Αρχαία τεχνολογία και τέχνες». Συμμετοχή στη σχεδίαση του προσεχούς νέου προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «Πολιτισμικό Περιβάλλον και Τεχνολογία στον Αρχαίο Ελληνικό Κόσμο».

2008-2011 : Διδασκαλία του εργαστηρίου της Ουράνιας Σφαίρας στο πλαίσιο του υποχρεωτικού μαθήματος *Παρατηρησιακή Αστρονομία* του 8^{ου} εξαμήνου του τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ. και του μαθήματος ελεύθερης επιλογής *Παρατηρησιακή Αστρονομία και Αστροφυσική* του 7^{ου} εξαμήνου του τμήματος Μαθηματικών του Α.Π.Θ.

2005-2013 : Διδασκαλία του μαθήματος της Φυσικής σε σχολεία της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης.

2003 – 2004 : Σύμβαση με την Επιτροπή Ερευνών του Α.Π.Θ. για το ερευνητικό πρόγραμμα: «Συγκριτική μελέτη των υλικών και της τεχνολογίας των τοιχογραφιών σε ναούς της υστεροβυζαντινής και μεταβυζαντινής περιόδου στην περιοχή της Αλβανίας: Διερεύνηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ Ελλάδος και Αλβανίας στην εικονογραφία».

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΕ ΔΙΕΘΝΗ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ ΜΕ ΚΡΙΤΕΣ:

1. Anastasiou M., Seiradakis J.H., Carman C.C. and Efstathiou K. (2014), The Antikythera Mechanism: The construction of the Metonic pointer and the back plate spirals, *Journal for the History of Astronomy*, (accepted, 2014).

2. Anastasiou M., Seiradakis J.H., Evans J., Drougou S. and Efstathiou K., The astronomical events of the parapegma of the Antikythera Mechanism, *Journal for the History of Astronomy*, **44** Part 2 (2013), 173-86.

3. Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H., Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism, *Mechanism and Machine Theory*, **52** (2012), 219–231.

4. Civici N., Anastasiou M., Zorba T., Paraskevopoulos K.M., Dilo T., Stamati F., Arapi M., Studying wall paintings in Berati Castle (Albania): Comparative examination of materials and techniques in XIVth and XVIth century churches, *Journal of Cultural Heritage*, **9** (2008), 207-213.

5. Anastasiou M., Hasapis Th., Zorba T., Pavlidou E., Chrissafis K. and Paraskevopoulos K.M., TG-DTA and FTIR analyses of plasters from byzantine monuments in Balkan region. Comparative study, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **84** (2006), 27-32.

6. Pavlidou E, Arapi M., Zorba T., Anastasiou M., Civici N., Stamati F., Paraskevopoulos K.M., Onoufrios, the famous XVI's century iconographer, creator of the "Berati School": studying the technique and materials used in wall paintings of inscribed churches, *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, **83** (2006), 709-717.

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΕ ΑΛΛΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ:

1. Eftasthiou K., Basiakoulis A,, Efstathiou M., Anastasiou M., Boutbaras P. and Seiradakis J.H., Operational model of full size Antikythera Mechanism, Journal of Terraspace Science and Engineering, *History of Mechanism and Machine Science*, **5** (2012), No. 2, 21-30.

2. Ευσταθίου Κ., Σειραδάκης Ι., Αναστασίου Μ., Μπασιακούλης Α. και Ευσταθίου Μ., "Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων", Περιοδικό του Συλλόγου Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων Βορείου Ελλάδος *e-Τεχνολογία*, **8** (2012).

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΕ ΔΙΕΘΝΗ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΜΕ ΚΡΙΤΕΣ:

1. Anastasiou M., Seiradakis J.H., Evans J., Drougou S. and Efstathiou K. (2012), Positional astronomy and the Parapegma of the Antikythera Mechanism, Proceedings of the meeting: *From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients (Antikythera & SKA)*, Kerastari, Greece, 12-15 June 2012. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=170

2. Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H. (2011), Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism, Proceedings of the meeting: *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011, 477-492.

3. Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M., Boutbaras P. and Seiradakis J.H. (2011), Construction of an operational model of the Antikythera Mechanism in real dimensions, Proceedings of the meeting: *4th International Conference on Manufacturing Engineering "ICMEN"*, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011, 493-508.

4. Moussas X., Bampasidis G., Bitsakis Y., Tassios T., Anastasiou M., Efstathiou K., Fasoulopoulos G., Kioleoglou I., Edmunds M., Zafeiropoulou M., Roumeliotis M., Malzbender T., Ramsey A., Kriaris D., Spandagos E., Giannopoulos N., Porligi A., Daniels E., Wright M.T., Sabry R., El-Mikaty H., Henriksson G., Munktell I., Vafea F., Koufos S., Prassopoulos D., Zafiropoulos V., Karakonstantis A., Aggeioplasti K., Delidou E., Papoulias C., Papoulias G., Haley P., Mimouni J., Valls-Gabaud D., Biggs M., Chochol D., Szubiakowski J., Plucinska E., Jacyno A., Kakouris A., Pal'uš P., Jančušková D., Feriančiková M., Czart K., Xenakis N., Gkini M.E., Perpyraki E., Tziannoudakis L. and Antoniou P. (2011), The gears of the Antikythera Mechanism: an educational pathfinder to the solar system, Proceedings of the *International Astronomical Union, IAU Symposium*, No. 260, E1.

ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΕΙΣ ΣΕ ΣΥΝΕΔΡΙΑ :

1. Anastasiou M., Seiradakis J.H., Carman C.C. and Efstathiou K., *The Antikythera Mechanism: the structure of the mounting of the back plate's pointer and the construction of the spirals*, oral presentation, 5th International Conference of the European Society of History of Science, Athens, Greece, 1-3 November 2012.

2. Anastasiou M., Seiradakis J.H., Evans J., Drougou S. and Efstathiou K., *Positional astronomy and the Parapegma of the Antikythera Mechanism*, Proceedings of the meeting: From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients (Antikythera & SKA), Kerastari, Greece, 12-15 June 2012, διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=170

3. Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H., *The Reconstruction of the Antikythera Mechanism*, Poster presentation, From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients, Kerastari, Greece, 12-15 June 2012.

4. Anastasiou M., Seiradakis J.H., Carman C.C. and Efstathiou K., The Antikythera Mechanism: *The construction of the back dial spirals and their spirals*, oral presentation, The A' Coatings 2011 - ICMEN 2011 - Balkantrib 2011, 4th International Conference on Manufacturing Engineering, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011.

5. Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H., *Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism*, Proceedings of the meeting: The A' Coatings 2011 - ICMEN 2011 - Balkantrib 2011, 4th International Conference on Manufacturing Engineering, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011.

6. Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M., Boutbaras P. and Seiradakis J.H., *Construction of an operational model of the Antikythera Mechanism in real dimensions*, Proceedings of the meeting: The A' Coatings 2011 - ICMEN 2011 - Balkantrib 2011, 4th International Conference on Manufacturing Engineering, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011.

7. Efstathiou K., Basiakoulis A., Efstathiou M., Anastasiou M. and Seiradakis J.H., *The Equation of Time calculated by the Antikythera Mechanism*, oral presentation, The A' Coatings 2011 - ICMEN 2011 - Balkantrib 2011, 4th International Conference on Manufacturing Engineering, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011.

8. Anastasiou M. and Seiradakis J.H., *Astronomical implications of the parapegma of the Antikythera Mechanism*, oral presentation, XXIII ICHST (International Congress of History of Science and Technology) Ideas and Instruments in Social Context, Budapest, Hungary, 28 July - 2 August 2009.

9. Efstathiou K., Zacharopoulou T., Anastasiou M. and Seiradakis J.H., *A new model of the Antikythera Mechanism*, oral presentation, XXIII ICHST (International Congress of History of Science and Technology) Ideas and Instruments in Social Context, (Budapest, Hungary, 28 July - 2 August 2009.

10. Pavlidou E., Kyriakou A., Mirtsou E., Anastasiou L., Zorba T., Hatzikraniotis E. and Paraskevopoulos K. M., *Painted Decoration Studies in a Fourth Century BC Vergina Tomb*, Materials Issues in Art and Archaeology VIII MRS Proceedings Volume 1047: MRS Fall Meeting, 26 - 30 November 2007 Boston, USA, pp. Y03-04.

11. Pavlidou E., Civici N., Caushi E., Anastasiou L., Zorba T., Hatzikraniotis E. and Paraskevopoulos K. M., *Study of Painting Materials and Techniques in the 18th Century St.Athanasius Church in Moschopolis, Albania*, Materials Issues in Art and Archaeology VIII MRS Proceedings Volume 1047: MRS Fall Meeting, 26 - 30 November, 2007 Boston, USA, pp. Y03-05.

12. Pavlidou E., Kyriakou A., Mirtsou E., Anastasiou M., Zorba T., Paraskevopoulos K.M., *The Coloration of Wall Paintings From a Vergina Tomb (Fourth Century BC)*, 21st IIC (International Institute for Conservation for Historic and Artistic Works) International Congress: The Object in Context: Crossing Conservation Boundaries: Contributions to the Munich Congress 28 August – 1 September 2006, pp. 330.

13. Pavlidou E., Civici N., Caushi E., Anastasiou M., Zorba T. and Paraskevopoulos K.M., *Contributions to the Restoration of the Eighteenth-Century St Athanasius Church in Moschopolis, Albania*, 21st IIC (International Institute for Conservation for Historic and Artistic Works) International Congress: The Object in Context: Crossing Conservation Boundaries: Contributions to the Munich Congress 28 August – 1 September 2006, pp. 328.

14. Anastasiou M., Hasapis Th., Zorba T., Pavlidou E., Chrissafis K. and Paraskevopoulos K.M., *Comparative Examination of Historic Plasters from Balkan Peninsula Byzantine Monuments: TG-DTA and FTIR Analyses*, Proceedings of the 7th Mediterranean Conference on Calorimetry and Thermal Analysis, MEDICTA 2-6 July 2005, Thessaloniki, pp. 238.

15. Pavlidou E, Arapi M., Zorba T., Anastasiou M., Civici N., Stamati F. and Paraskevopoulos K.M., *Onoufrios, the famous XVI's Century Iconographer, creator of the "Berati School": Studying the Technique and Materials used in*

Wall Paintings of Inscribed Churches", E-MRS Conference on "Materials Science and Cultural Heritage" Strasbourg May 31 –June 3, 2005.

16. Civici N., Paraskevopoulos K.M., Zorba T., Dilo T., Stamati F., Anastasiou M. and Arapi M., *Identification of materials and techniques of late-Byzantine and post-Byzantine wall paintings in Albania, with spectroscopic methods*, Proceedings of 8th International Conference on Non-Destructive Testing and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of the Cultural and Environmental Heritage: ART'05, 15-19 May 2005, Lecce Italy, pp. B-165.

17. Dagounaki K., Zorba T., Anastasiou M., Chatzistavrou X. and Paraskevopoulos K.M., *Comparative Spectroscopic Study of Carbonate Rocks from Western Macedonia in Greece*, 5th European Conference on Minerals and Spectroscopy, Wien, 4-8 September 2004, Mitteilungen der Osterreichischen Mineralogischen Gesellschaft, (Book of Ext. Abstracts), vol. 149, pp. 22.

18. Zorba T., Anastasiou M., Dagounaki K., Chatzistavrou X. and Paraskevopoulos K.M., *Qualitative and quantitative mineral analysis by FTIR spectroscopy: A case study*, XIX Greek Conference on "Solid State Physics" & "Materials Science", 2003, Thessaloniki.

ΜΕΛΟΣ ΤΩΝ ΣΥΛΛΟΓΩΝ:

1. Ελληνική Αστρονομική Εταιρεία (Hellenic Astronomical Society)

2. ΕΜΑΕΤ (Εταιρεία Μελέτης Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας)

3. Commission for the History of Ancient and Medieval Astronomy

Summary

The Antikythera Mechanism is a unique archaeological artifact that displays the astronomical knowledge of its time (around 150 BC) and at the same time reveals a level of ancient engineering and technology for which there was hardly any expectation. In this thesis, various features of the Mechanism, either unexamined before or reexamined with new results, are presented.

Chapter 1 is an introduction to the Antikythera Mechanism and to our current knowledge of this ancient machine. The original research conducted in this thesis is presented in Chapters 2 to 5 while Chapter 6 presents the Aristotle University models of the Antikythera Mechanism that were constructed based on measurements taken during this doctoral thesis.

More precisely, in Chapter 2 the original form of the pointer of the Meton spiral as well as of the mechanism that supported and rotated it are described. The pointer actually slid at its hub end (and was not fixed there and extendible at its other end as it was previously published). The mechanism that transferred the motion of the axis to the pointer allowing it at the same time to freely move so as to follow the gap between the windings of the spiral is reconstructed from its few remains and is proven to be brilliantly designed. The proposed structure is nicely confirmed from its description on the back cover inscriptions of the Mechanism. In the same chapter, the type of both spirals of the back face of the Mechanism is examined and both the Metonic and the Saros dial of the back face of the Antikythera Mechanism are proven to have been designed as Half Circles Spirals, drawn from two different centres (as it was also supported by two previous publications). The unwanted eccentricity that would be produced, by the half-circle spiral construction, to the readings of the semicircles that were not drawn from the pointer centre is shown (by three different analyses) to be skilfully avoided by the drawing of these cell divisions so that they all point to the pointer centre. In Chapter 3, some of the new readings, related mainly to the identification of the intercalary month of the calendar of the Meton spiral, are presented. The month names of this calendar are also compared, through a new map, to the known to date month names of the calendars of the ancient Greek cites and three locations are identified as possible places of use of the Mechanism. The readings of the divisions of the Saros spiral increased by 1 the number of the surviving spiral's divisions with engraved symbols. In Chapter 4, the star events of the main surviving fragment of the Parapegma of the Mechanism are very thoroughly studied. A new method of analysis of these events is applied based on a new software program that was written from first principles and calculates the dates of these visible star risings and settings. From this analysis, a possible range of latitudes where the Mechanism could have been used is found. The method was also applied to other parapegmata and in the case of Ptolemy, the results corroborate very well the geographic region

that Ptolemy describes. Finally, in Chapter 5, the form of the equation of time at the Mechanism's epoch is calculated. The equation of time must have been understood around 150 B.C. and so could have also been displayed on the Mechanism. The structure of the indecipherable fragment D is presented and the first results show a nice correlation with the curve of the equation of time.

Προγραμματισμός και ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων: η ανάλυση του παραπήγματος

- Μαγδαληνή Αναστασίου, Διδάκτωρ του Τμήματος Φυσικής, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
- Ιωάννης Χιού Σειραδάκης, Καθηγητής Αστρονομίας του Τμήματος Φυσικής, της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

ISSN: 2241-5599

Προγραμματισμός και ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων:
η ανάλυση του παραπήγματος.

Μαγδαληνή Αναστασίου, Διδάκτωρ του Τμήματος Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, anastasiou@astro.auth.gr
Ιωάννης Χ. Σειραδάκης , Καθηγητής Αστρονομίας του Τμήματος Φυσικής της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, jhs@astro.auth.gr

Ο όρος *παράπηγμα* χρησιμοποιήθηκε από τους αρχαίους Έλληνες για την περιγραφή των αστρονομικών και μετεωρολογικών ημερολογίων τα οποία χρησιμοποιούσαν για την οργάνωση πρακτικών δραστηριοτήτων όπως η γεωργία και η ναυσιπλοΐα. Τα αστρικά γεγονότα που αναφέρονται στα παραπήγματα είναι γεγονότα που συμβαίνουν μια φορά στη διάρκεια ενός ηλιακού έτους και σχετίζονται με τις ανατολές ή τις δύσεις αστέρων ή αστερισμών του ουρανού κατά την ανατολή ή τη δύση του Ήλιου. Σε ένα από τα θραύσματα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, το θραύσμα C το οποίο προέρχεται από τη μπροστινή πλευρά του Μηχανισμού, βρίσκουμε γραμμένα εννέα τέτοια αστρικά γεγονότα. Καθώς η σειρά των φαινομένων αυτών εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, το παράπηγμα του Μηχανισμού μπορεί να υποδεικνύει τον πιθανό τόπο χρήσης ή ίσως και κατασκευής του αρχαίου αυτού υπολογιστή. Για τη διερεύνηση αυτής της εξάρτησης από το γεωγραφικό πλάτος δημιουργήθηκε εξολοκλήρου από την αρχή ένα νέο πρόγραμμα (κώδικας), μέσω του λογισμικού προγράμματος της Mathematica, το οποίο υπολογίζει τις ημερομηνίες των αστρικών γεγονότων σε διάφορα γεωγραφικά πλάτη. Η νέα αυτή μέθοδος ανάλυσης – σε αντίθεση με όλες τις σχετικές υπάρχουσες μεθόδους μέχρι τώρα – δεν αφήνει καμία ελεύθερη παράμετρο.

Λέξεις-κλειδιά: Μηχανισμός των Αντικυθήρων – ιστορία της αστρονομίας – ουράνια μηχανική – παράπηγμα – προγραμματισμός.

1. Εισαγωγή

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων, ο εκπληκτικός αρχαίος ελληνικός αστρονομικός υπολογιστής που χρονολογείται πιθανότατα γύρω στο 150-100

π.Χ., ανασύρθηκε από το ναυάγιο των Αντικυθήρων το 1901 (Freeth *et al*. 2006, Price 1974). Εξαιτίας της παρατεταμένης παραμονής του στο βυθό της θάλασσας, ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων διατηρείται σήμερα ιδιαίτερα διαβρωμένος και απολιθωμένος, έχοντας σπάσει σε 7 μεγάλα και 75 μικρά θραύσματα. Τα πολύτιμα τμήματά του εκτίθενται στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο Αθηνών.

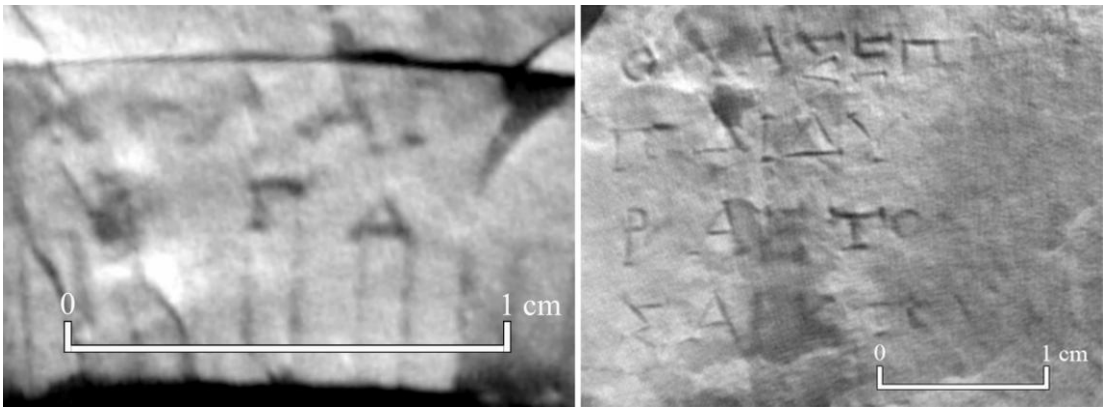
Σήμερα είναι πλέον αποδεδειγμένο ότι ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων ήταν ένας πολύ εξελιγμένος μηχανισμός με πάρα πολλές λειτουργίες. Χρησιμοποιώντας πληθώρα κλιμάκων και δεικτών και στις δύο πλευρές του, υπολόγιζε με ακρίβεια τη θέση του Ήλιου, της Σελήνης και πιθανότατα των πλανητών στον ουρανό, έδειχνε τις φάσεις της Σελήνης, εναρμόνιζε τους σεληνιακούς μήνες με το ηλιακό έτος μέσα από τη χρήση ενός τοπικού πολιτικού ημερολογίου το οποίο ήταν δομημένο με βάση την περίοδο ή κύκλο του Μέτωνα – κι ίσως και την περίοδο του Καλλίππου -, προέβλεπε εκλείψεις και προσδιόριζε την ημερομηνία τέλεσης των αρχαίων στεφανιτών αγώνων (Freeth *et al*. 2008, Wright 2007). Κάθε κενός χώρος γύρω από τις κλίμακες των δύο πλευρών καλύπτονταν με επιγραφές ενώ εκτεταμένα αστρονομικά και τεχνικά κείμενα αναγράφονταν επίσης στα μπροστινά και πίσω καλύμματά του.

Η μπροστινή πλάκα του Μηχανισμού διατηρείται ουσιαστικά μόνο στο θραύσμα C όπου περίπου το ¼ από μια διπλή ομόκεντρη κυκλική κλίμακα έχει σωθεί (Εικόνα 1). Η εσωτερική κυκλική κλίμακα απεικονίζει το ζωδιακό κύκλο (ΠΑΡΘΕΝΟΣ, ΧΗΛΑΙ, κτλ.) με καθέναν από τους 12 ζωδιακούς αστερισμούς να έχει 30 υποδιαιρέσεις. Η εξωτερική κυκλική κλίμακα απεικονίζει τους μήνες του αιγυπτιακού ημερολογίου (ΠΑΧΩΝ, ΠΑΥΝΙ, κτλ.), γραμμένους στην ελληνική γλώσσα, με καθέναν από τους 12 αιγυπτιακούς μήνες να έχει 30 υποδιαιρέσεις ενώ στο τέλος του ημερολογίου υπήρχαν πιθανώς και 5 συμπληρωματικές «έπαγόμεναι» ημέρες. Κοιτάζοντας προσεκτικά τη ζωδιακή κλίμακα, πάνω από κάποιες από τις υποδιαιρέσεις των ζωδιακών αστερισμών, διαβάζονται χαραγμένα κεφαλαία γράμματα μικρού μεγέθους (Α, Β, Γ...) τα οποία ακολουθούν τη σειρά των γραμμάτων του ελληνικού αλφαβήτου (Εικόνα 2). Η ίδια σειρά γραμμάτων αναγράφεται επίσης και σε κάποια πολύ χαρακτηριστικά τμήματα επιγραφών με αστρονομικά γεγονότα. Στην αρχή κάθε γραμμής με αστρονομικό γεγονός υπάρχει ένα γράμμα του ελληνικού αλφάβητου (εικόνα 2).



Εικόνα 1: PTM εικόνα από το θραύσμα C όπου διακρίνεται ένα μέρος από το τμήμα των κλιμάκων της μπροστινής πλευράς του Μηχανισμού που έχει σωθεί. Κάποια από τα γράμματα και τις υποδιαιρέσεις των δύο δακτυλίων έχουν αποτυπωθεί με λευκό χρώμα για να είναι ευδιάκριτα.

Αυτά τα «γράμματα–δείκτες» αντιστοιχούν κατά πάσα πιθανότητα στα γράμματα των υποδιαιρέσεων της ζωδιακής κλίμακας, σχηματίζοντας έτσι ένα «παράπηγμα» (Price 1974).



Εικόνα 2: *Αριστερά*: Τομογραφία από το θραύσμα C όπου διακρίνονται τα γράμματα του ελληνικού αλφαβήτου (Β, Γ, Δ) πάνω από τις υποδιαιρέσεις του ζωδιακού αστερισμού Χηλαί. *Δεξιά*: Τομογραφία από το θραύσμα C όπου

διακρίνονται τα "γράμματα–δείκτες" του ελληνικού αλφαβήτου (Ο, Π, Ρ, Σ) στην αρχή κάθε γραμμής αστρονομικών γεγονότων.

Στην αρχαία Ελλάδα ο όρος παράπηγμα περιέγραφε ένα ημερολόγιο αστρονομικών κυρίως γεγονότων τα οποία αρκετές φορές συσχετίζονταν και με μετεωρολογικές αναφορές (Evans 1998). Τα αστρονομικά γεγονότα που αναφέρονται στα παραπήγματα είναι γεγονότα που συμβαίνουν σε σταθερές (ανά 1-2 αιώνες) ημερομηνίες, μια φορά στη διάρκεια ενός ηλιακού έτους, και σχετίζονται με τις ανατολές και τις δύσεις αστέρων ή αστερισμών του ουρανού λίγο πριν την ανατολή ή λίγο μετά τη δύση του Ήλιου. Αναλυτικά, τα ορατά αυτά αστρονομικά γεγονότα είναι τα εξής:
i) ο αστέρας επιτέλλει εώιος (morning rising (*mr*)) → η πρώτη ημέρα του έτους που ο αστέρας γίνεται ορατός στον ανατολικό ορίζοντα λίγο πριν την ανατολή του Ήλιου, μετά από μια περίοδο που βρισκόταν κάτω από τον ορίζοντα ή είχε περάσει πάνω από τον ορίζοντα αλλά ήταν αμυδρός ως προς το υπόβαθρο του ουρανού
ii) ο αστέρας δύνει εσπέριος (evening setting (*es*)) → η τελευταία ημέρα του έτους που ο αστέρας είναι ορατός πάνω από τον δυτικό ορίζοντα λίγο μετά τη δύση του Ήλιου
iii) ο αστέρας επιτέλλει εσπέριος (evening rising (*er*)) → η τελευταία μέρα που ο αστέρας φαίνεται να ανατέλλει λίγο μετά τη δύση του Ήλιου
iv) ο αστέρας δύνει εώιος (morning setting (*ms*)) → η πρώτη μέρα που ο αστέρας φαίνεται να δύει λίγο πριν την ανατολή του Ήλιου.

Εξαιτίας της σταθερής περιοδικής επανάληψης των αστρονομικών γεγονότων, τα παραπήγματα βοηθούσαν στην οργάνωση πρακτικών δραστηριοτήτων όπως η γεωργία και η ναυσιπλοΐα (π.χ. η πρωινή επιτολή των Πλειάδων σηματοδοτούσε τον θερισμό του σιταριού και την έναρξη του καλοκαιριού) κι έτσι αποτέλεσαν σημαντικό μέρος και της πρώιμης ελληνικής και της πρώιμης βαβυλωνιακής αστρονομίας (Lehoux 2005). Στη Βαβυλωνία τα αστρονομικά αυτά ημερολόγια ήταν λίγο παλαιότερα. Στην Ελλάδα οι πρώτες αναφορές τέτοιων αστρονομικών γεγονότων συναντώνται στον Όμηρο (8ος αι. π.Χ.) και στον Ησίοδο (7ος αι. π.Χ.) ενώ η συστηματοποίησή τους σε ημερολόγιο έγινε περίπου τον 5ο αι. π.Χ.

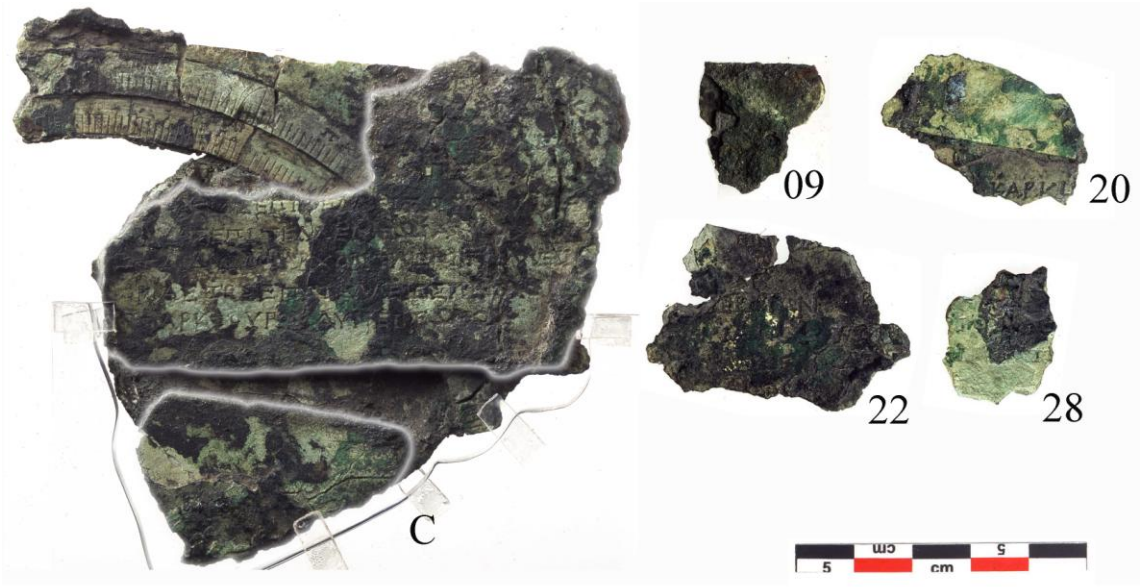
Η λέξη «παράπηγμα» προέρχεται από το ρήμα «παραπήγνυμι» που σημαίνει «εμπήγω παραπλεύρως». Η προέλευση από το συγκεκριμένο ρήμα έγινε κατανοητή μόλις στις αρχές του 20ου αιώνα όταν ανακαλύφθηκε το λίθινο παράπηγμα της Μιλήτου (2ος -1ος αι. π.Χ.), με οπές να διατηρούνται δίπλα και ανάμεσα στις αναφορές των αστρονομικών γεγονότων. Άλλα αρχαία ελληνικά παραπήγματα που έχουν σωθεί είναι: τα παραπήγματα του Ευκτήμονα, του Εύδοξου και του Καλλίππου, τα οποία κατέγραψε ο Γέμινος (1ος αι. π.Χ.) στο έργο του *Εισαγωγή εις τα Φαινόμενα* (Evans and Berggren 2006) και το παράπηγμα του Πτολεμαίου, όπως έχει σωθεί στο έργο του *Φάσεις* (Heiberg 2007, Jones). Αν και το παράπηγμα μπορεί να θεωρηθεί όχι ιδιαίτερα επιστημονικό (μια λίστα αστρονομικών γεγονότων, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στα παραπήγματα, μπορεί να γίνει με απλές παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια ενός έτους), από τους πρώτους στόχους της αρχαίας ελληνικής αστρονομίας ήταν η κατανόηση αυτών των κύκλων εμφανίσεων και εξαφανίσεων των αστέρων. Το έργο του Αυτόλυκου *Περί ανατολών και δύσεων των ουράνιων σωμάτων* (320 π.Χ.) είναι αφιερωμένο σε αυτό ακριβώς το θέμα, σε μια προσπάθεια να βρει μια θεωρία να ερμηνεύσει τα γεγονότα και χωρίς να αναφέρει κανένα όνομα αστέρα (Evans 1998).

2. Το παράπηγμα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων

Από τα 4 διαφορετικά τμήματα που συνθέτουν σήμερα το θραύσμα C, υπάρχουν προσκολλημένα πάνω στη μπροστινή πλάκα ενδείξεων δύο τμήματα επίπεδης πλάκας (Εικόνα 3). Το μεγαλύτερο από τα τμήματα αυτά (C1-a) αποτελεί και το μεγαλύτερο τμήμα του παραπήγματος που σώζεται με εννέα γραμμές κειμένου που περιγράφουν αστρονομικά γεγονότα (Εικόνα 3). Από τα γεγονότα που αντιστοιχούν στα γράμματα Λ, Μ και Ν, μόνο οι τελευταίες λέξεις είναι σήμερα ορατές. Τα υπόλοιπα γράμματα διαβάζονταν την εποχή που μελέτησε τον Μηχανισμό ο Albert Rehm[1] (αρχές του 20ου αιώνα) αλλά έκτοτε τμήμα από την ενεπίγραφη πλάκα έσπασε και χάθηκε. Το άλλο τμήμα επίπεδης πλάκας (C1-b) που είναι προσκολλημένο στο θραύσμα C – το τμήμα αυτό έχει με κάποιο τρόπο αναποδογυρίσει και η επιγραφή του διαβάζεται από την πίσω όψη του

[1] Προσωπική επικοινωνία με τον A. Jones.

θραύσματος C – ανήκει κι αυτό στο κείμενο του παραπήγματος κι αποτελεί ένα μικρό αλλά πολύ σημαντικό διατηρημένο τμήμα του. Τέλος, υπάρχουν επίσης και τέσσερα μικρότερα θραύσματα του παραπήγματος (τα θραύσματα 9, 20, 22 and 28 (Εικόνα 3)), με το κείμενο όμως των περισσοτέρων από αυτά να είναι αρκετά αποσπασματικό.



Κ	ΕΙΕΣΠΕΡΙΑ	Κ	in the evening
Λ	ΥΑΔΕΣΔΥΟΝΤΑΙΕΣΠΕΡΙΑΙ	Λ	The Hyades set in the evening
Μ	ΤΑΥΡΟΣΑΡΧΕΤΑΙΑΝΑΤΕΛΛΕΙΝ	Μ	Taurus begins to rise
Ν	ΛΥΡΑΕΠΙΤΕΛΛΕΙ ΕΣΠΕΡΙΑ	Ν	Lyra rises in the evening
Ξ	ΠΛΕΙΑΣΕΠΙΤΕΛΛΕΙΕΩΙΑ	Ξ	The Pleiades rise in the morning
Ο	ΥΑΣΕΠΙΤΕΛΛΕΙ ΕΩΙΑ	Ο	The Hyades rise in the morning
Π	ΔΙΔΥΜΟΙΑΡΧΟΝΤΑΙΕΠΙΤΕΛΛΕΙΝ	Π	Gemini begins to rise
Ρ	ΑΕΤΟΣΕΠΙΤΕΛΛΕΙΕΣΠΕΡΙΟΣ	Ρ	Aquila rises in the evening
Σ	ΑΡΚΤΟΥΡΟΣ ΔΥΝΕΙ ΕΩΙΟΣ	Σ	Arcturus sets in the morning

Εικόνα 3: *Επάνω*: Τα θραύσματα του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Στο θραύσμα C έχει μαρκαριστεί με λευκό χρώμα το περίγραμμα των δύο τμημάτων (C1-a και C1-b) του παραπήγματος. *Κάτω*: Τα εννέα αστρονομικά γεγονότα του C1-a κι η μετάφρασή τους στα αγγλικά. Τα υπογραμμισμένα γράμματα είναι γράμματα αβέβαια ή μη ορατά σήμερα.

Αναλύοντας τα 9 αστρονομικά γεγονότα που αναφέρονται στην πλάκα C1-a, παρατηρούμε ότι (Anastasiou *et al*. 2013, Anastasiou *et al*. 2012):

i) υπάρχουν 7 γεγονότα τα οποία είναι της ίδιας κατηγορίας με αυτά που περιγράφηκαν παραπάνω (τα γεγονότα αυτά από εδώ και στο εξής θα

αναφέρονται ως *αστρικά γεγονότα*). Σε αυτήν την κατηγορία γεγονότων, το υποκείμενο της πρότασης είναι πάντοτε ένας αστέρας, ένα σμήνος αστέρων ή ένας αστερισμός και ακολουθείται από το ρήμα «ΕΠΙΤΕΛΛΕΙ» (ανατέλλει) ή «ΔΥΝΕΙ» (δύει), το οποίο θέτει τον αστέρα στην ανατολή ή τη δύση αντίστοιχα. Το ρήμα ακολουθείται από το επίθετο «ΕΩΙΟΣ» (κατά το πρωί) ή «ΕΣΠΕΡΙΟΣ» (κατά το απόγευμα) το οποίο τώρα αναφέρεται στον Ήλιο και καθορίζει τη θέση του Ήλιου στην ανατολή ή τη δύση αντίστοιχα. Συνδυάζοντας τα δύο ρήματα με τα δύο επίθετα, τα τέσσερα αστρικά γεγονότα σχηματίζονται: ΕΠΙΤΕΛΛΕΙ ΕΩΙΟΣ, ΕΠΙΤΕΛΛΕΙ ΕΣΠΕΡΙΟΣ, ΔΥΝΕΙ ΕΩΙΟΣ και ΔΥΝΕΙ ΕΣΠΕΡΙΟΣ. ii) υπάρχουν 2 γεγονότα τα οποία αναφέρονται στους ζωδιακούς αστερισμούς (γεγονότα τα οποία από εδώ και στο εξής θα αναφέρονται ως *ζωδιακές αναφορές*). Η διαφορετική σύνταξη των αναφορών αυτών αποτελείται από το ζωδιακό αστερισμό που είναι πάντα το υποκείμενο και τη φράση «ΑΡΧΕΤΑΙ / ΑΡΧΟΝΤΑΙ ΑΝΑΤΕΛΛΕΙΝ / ΕΠΙΤΕΛΛΕΙΝ» που ακολουθεί αμέσως μετά θέτοντας τον ζωδιακό αστερισμό στην ανατολή. Καθώς στο διατηρημένο τμήμα της ζωδιακής κλίμακας της μπροστινής πλευράς του Μηχανισμού των Αντικυθήρων διαβάζουμε πάντοτε χαραγμένο ένα γράμμα του ελληνικού αλφαβήτου στην πρώτη υποδιαίρεση του κάθε ζωδιακού αστερισμού, αυτές οι ζωδιακές αναφορές πάσα πιθανότητα σηματοδοτούν τη μετάβαση του Ήλιου από τον ένα ζωδιακό αστερισμό στον επόμενο. Όπως δείχνει το θραύσμα C1-a, μετά από κάθε ζωδιακή αναφορά φαίνεται να ακολουθούν συνήθως 2 ή 3 αστρικά γεγονότα.

Το άλλο μικρό τμήμα του παραπήγματος του θραύσματος C, η πλάκα C1-b, διατηρεί τέλος μια τρίτη κατηγορία αναγραφόμενων γεγονότων στο παράπηγμα του Μηχανισμού. Σε αυτήν την πλάκα (Εικόνα 4) διαβάζουμε ότι την ημέρα που ο Ήλιος εισέρχεται στο ζωδιακό αστερισμό «ΧΗΛΑΙ» (Ζυγός), δηλαδή στο «Α ΧΗΛΑΙ» [2], πραγματοποιείται η φθινοπωρινή ισημερία. Επομένως:

[2] Η ανάγνωση της φθινοπωρινής ισημερίας έγινε από τους A. Jones, T. Freeth και Y. Bitsakis και ανακοινώθηκε από τον T. Freeth στο XXIII ICHST (International Congress of History of Science and Technology) Ideas and Instruments in Social Context, 28 July – 2 August 2009, Budapest, Hungary,

iii) υπάρχουν αναφορές των ισημεριών και των ηλιοστασίων. Αυτά τα γεγονότα είναι συσχετισμένα με την αρχή των ζωδιακών αστερισμών και έτσι αναγράφονται μετά τις ζωδιακές αναφορές και πριν τη λίστα των 2 ή 3 αστρικών γεγονότων.



Εικόνα 4: Το τμήμα του παραπήγματος που σώζεται στο C1-b. Στην 1η γραμμή διαβάζεται τμήμα της ζωδιακής αναφοράς «ΧΗΛΑΙΑΡΧΟΝΤΑΙΕΠΙΤΕΛΛΕΙΝ» και στη 2η τμήμα της φράσης «ΙΣΗΜΕΡΙΑΦΘΙΝΟΠΩΡΙΝΗ». Στην 3η και 4η γραμμή ακολουθούν πιθανότατα 2 αστρικά γεγονότα.

Η πιθανότερη ανασύνθεση της μορφής του παραπήγματος (Freeth and Jones 2012) προτείνει την οργάνωσή του σε 4 τεταρτημόρια επάνω και κάτω από τη ζωδιακή κλίμακα, σύμφωνα με τις 4 αστρονομικές εποχές, έτσι ώστε να υπάρχει αντιστοίχηση της κάθε αστρονομικής εποχής της κλίμακας του ζωδιακού κύκλου με το αντίστοιχο τεταρτημόριο του κειμένου του παραπήγματος. Ξεκινώντας από την επάνω αριστερά γωνία της μπροστινής πλάκας, οι εποχές ακολουθούν, με τη φορά των δεικτών του ρολογιού, τη σειρά χειμώνας-άνοιξη-καλοκαίρι-φθινόπωρο(Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Η ανασύνθεση του παραπήγματος του Μηχανισμού σύμφωνα με τους Freeth και Jones (2012).

3. Η εξάρτηση των αστρικών γεγονότων του παραπήγματος από το γεωγραφικό πλάτος

Οι ημερομηνίες των αστρικών γεγονότων μπορεί να είναι σταθερές για πολύ μεγάλες χρονικές περιόδους (όπως αναφέρθηκε παραπάνω), μεταβάλλονται όμως εάν ο παρατηρητής μεταβεί σε διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος (Anastasiou *et al*. 2013). Όπως φαίνεται στο διάγραμμα της εικόνας 6, η χρονική σειρά δύο αστρικών γεγονότων μπορεί να αντιστραφεί από χαμηλότερα σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη, έχοντας ως αποτέλεσμα η σειρά των αστρικών γεγονότων ενός παραπήγματος να εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου όπου παρατηρούνται. Η σειρά των αστρικών γεγονότων του

παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων εξαρτάται άμεσα από την περιοχή στην οποία συντάχθηκε το παράπηγμα.

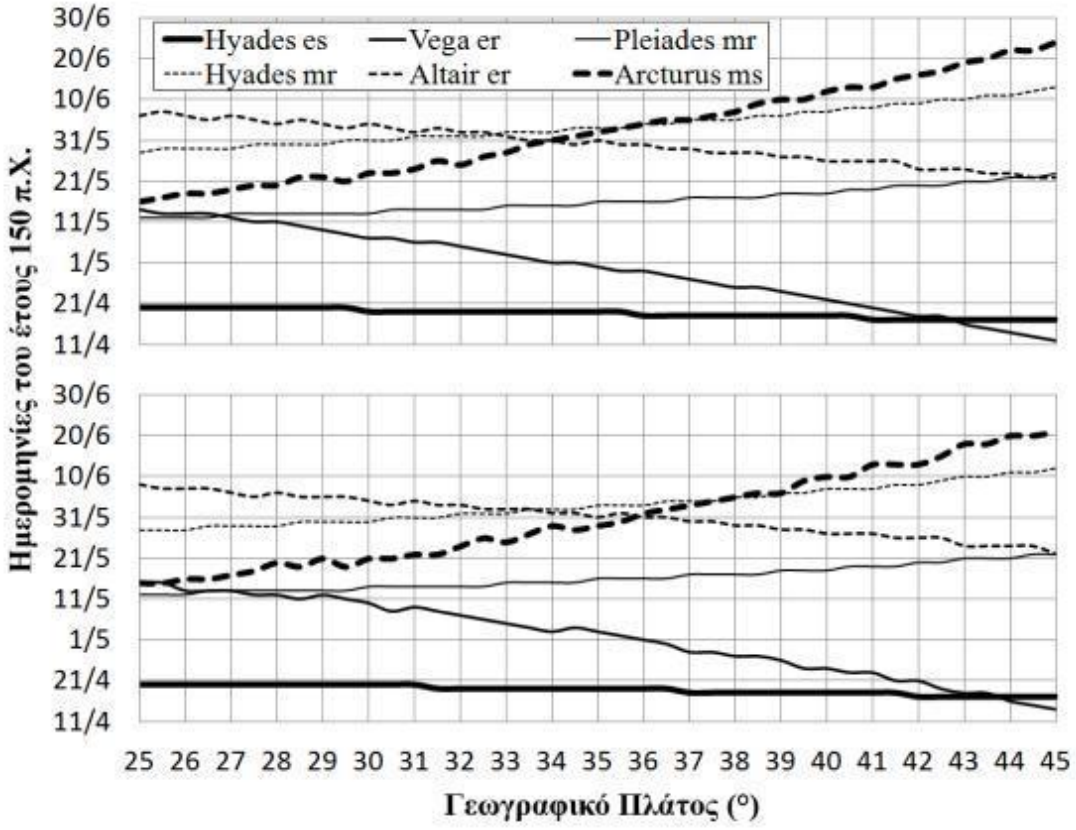


Figure 6: Διάγραμμα των ημερομηνιών των φαινόμενων αστρικών γεγονότων του C1-a ως προς το γεωγραφικό πλάτος για το 150 π.Χ. έχοντας χρησιμοποιήσει (*επάνω*) τις τιμές φωτεινότητας του ουρανού του Nawar (1983) και (*κάτω*) των Koomen *et al*. (1952). k = 0.23.

Ο υπολογισμός των ημερομηνιών των έξι[3] αστρικών γεγονότων του παραπήγματος του Μηχανισμού που σώζονται για διάφορα γεωγραφικά πλάτη και η σύγκριση της σειράς που πραγματοποιούνται και της κατανομής τους στους ζωδιακούς αστερισμούς με τα εννέα αστρονομικά γεγονότα της πλάκας C1-a του Μηχανισμού θα υποδείκνυε για τον Μηχανισμό τον πιθανό τόπο κατασκευής ή χρήσης του.

[3] Για το ένα αστρικό γεγονός δεν σώζεται το υποκείμενό του, δεν γνωρίζουμε δηλαδή τον αστέρα στον οποίο αναφέρεται.

Ο υπολογισμός των ημερομηνιών των φαινόμενων αυτών γεγονότων όμως είναι δύσκολος καθώς είναι άγνωστο εκ των προτέρων και το ύψος κάτω από τον ορίζοντα στο οποίο βρίσκεται ο Ήλιος και το ύψος του αστέρα στο οποίο γίνεται ορατός (Schoch 1924, Schaefer 1993, Schaefer 1987, Schaefer 1985, Robinson 2009, Alcyone software (λογισμικό)). Όλες οι σχετικές υπάρχουσες μέθοδοι υπολογισμού μέχρι τώρα άφηναν ελεύθερες τις δύο αυτές παραμέτρους.

4. Προγραμματισμός για τον υπολογισμό των φαινόμενων αστρικών γεγονότων του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων

Χρησιμοποιώντας προγραμματισμό αναπτύχθηκε μια νέα μέθοδος ανάλυσης και υπολογισμού των ημερομηνιών των φαινόμενων αυτών αστρικών γεγονότων. Χάρη στη χρήση πολλαπλών επαναλήψεων, ο υπολογισμός των ημερομηνιών αυτών των γεγονότων γίνεται **χωρίς καμία ελεύθερη παράμετρο** (Anastasiou *et al*. 2013, Anastasiou *et al*. 2012). Η βασική ιδέα του προγράμματος που δημιουργήθηκε ήταν, υποθέτοντας αρχικά μία τιμή ύψους του Ήλιου κάτω από τον ορίζοντα, να υπολογιστεί η θέση του αστέρα και στη συνέχεια να βρεθεί ένα κριτήριο το οποίο θα καθορίζει το εάν ο αστέρας είναι ορατός ή όχι στη θέση που βρίσκεται. Επαναλαμβάνοντας τους υπολογισμούς αυτούς για όλες τις δυνατές τιμές ύψους του Ήλιου κάτω από τον ορίζοντα, οι σωστές ημερομηνίες των γεγονότων εντοπίζονται εύκολα και το ύψος του Ήλιου παύει να είναι πλέον μια υποθετική παράμετρος. Τα αναλυτικά βήματα του νέου προγράμματος (κώδικας) που αναπτύχθηκε και χρησιμοποιεί το λογισμικό πρόγραμμα της Mathematica, περιγράφονται αμέσως παρακάτω.
Με δεδομένα:
i) τις ουρανογραφικές συντεταγμένες (α_{Sun}, δ_{Sun}) του Ήλιου (365 ζεύγη τιμών – εξαιτίας της περιφοράς της Γης γύρω από τον Ήλιο και της λόξωσης της εκλειπτικής, οι ουρανογραφικές συντεταγμένες του Ήλιου χρειάζεται να καθορίζονται σε ημερήσια βάση (i = 1 to 365)) και
ii) το γεωγραφικό πλάτος (φ) του παρατηρητή
και ορίζοντας μία τιμή ύψους του Ήλιου κάτω από τον ορίζοντα (υ_{Sun}), υπολογίζονται το αζιμούθιο του Ήλιου(A) και ο αντίστοιχος αστρικός χρόνος

(*ST*) χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες βασικές εξισώσεις της σφαιρικής τριγωνομετρίας:

$$\cos A = \frac{\sin\delta - \sin\varphi \sin\upsilon}{\cos\varphi \cos\upsilon} \quad (1)$$

$$\sin\upsilon = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos H \quad (2)$$

$$ST = \alpha + H \quad (3)$$

όπου H η ωριαία γωνία του Ήλιου. Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται για δύο φυσικά περιπτώσεις, προς την ανατολή και προς τη δύση – καθώς χρειάζεται να διερευνηθούν και τα τέσσερα αστρικά γεγονότα – κι έτσι προκύπτουν δύο πίνακες με 365 τιμές για κάθε μία από τις υπολογιζόμενες ποσότητες ($A_{i\text{-}SunEast}$, $A_{i\text{-}SunWest}$, $ST_{i\text{-}SunEast}$, $ST_{i\text{-}SunWest}$).

Με δεδομένα τους πίνακες του αστρικού χρόνου του Ήλιου ($ST_{i\text{-}SunEast}$, $ST_{i\text{-}SunWest}$) και

iii) τις ουρανογραφικές συντεταγμένες (α_{Star}, δ_{Star}) ενός αστέρα

και χρησιμοποιώντας ξανά τις ίδιες εξισώσεις (1-3), υπολογίζονται οι αντίστοιχες οριζόντιες συντεταγμένες του αστέρα ($A_{i\text{-}Star\text{-}SunEast}$, $\upsilon_{i\text{-}Star\text{-}SunEast}$) και ($A_{i\text{-}Star\text{-}SunWest}$, $\upsilon_{i\text{-}Star\text{-}SunWest}$), για δύο πάλι περιπτώσεις, με τον ήλιο στην ανατολή και στη δύση.

Προκειμένου το ύψος του Ήλιου να μην είναι πλέον ελεύθερη παράμετρος, όλοι οι παραπάνω υπολογισμοί ορίστηκαν να επαναλαμβάνονται για όλες τις πιθανές τιμές (αρνητικού) ύψους του Ήλιου j μεταξύ -15° και -1° ανά 0.1°, δηλαδή για 141 τιμές ύψους του Ήλιου (j = 1 to 141). Με τις επαναλήψεις αυτές, δημιουργούνται τελικά για όλες τις υπολογιζόμενες ποσότητες πίνακες 141 × 365 τιμών ($A_{i,j\text{-}SunEast}$, $A_{i,j\text{-}SunWest}$, $ST_{i,j\text{-}SunEast}$, $ST_{i,j\text{-}SunWest}$, $A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$, $\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$, $A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$, $\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$).

Γνωρίζοντας επομένως τη θέση του Ήλιου (($A_{i,j\text{-}SunEast}$, $\upsilon_{j\text{-}SunEast}$) και ($A_{i,j\text{-}SunWest}$, $\upsilon_{j\text{-}SunWest}$)) και του αστέρα (($A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$, $\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$) και ($A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$, $\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$)), χρειάζεται ένα κριτήριο που θα καθορίσει εάν ο αστέρας είναι ορατός στη θέση που βρίσκεται. Η ορατότητα ενός αστέρα φαινόμενου μεγέθους m_{Star} εξαρτάται από τη φωτεινότητα του υποβάθρου του, δηλαδή από τη φωτεινότητα του ουρανού. Χρησιμοποιώντας δύο πηγές μετρήσεων φωτεινότητας του ουρανού (i) Nawar (1983) και (ii) Koomen *et al*. (1952), που

δημοσίευσαν ανεξάρτητες μετρήσεις φωτεινότητας του ουρανού με τη μορφή πινάκων για αρκετές τιμές ύψους του σημείου του ουρανού πάνω από τον ορίζοντα, αρκετές αζιμουθιακές αποστάσεις από τον Ήλιο και αρκετές τιμές (αρνητικού) ύψους του Ήλιου κάτω από τον ορίζοντα, δημιουργήθηκαν δύο ανεξάρτητες συναρτήσεις "interpolating functions" οι οποίες υπολογίζουν τη φωτεινότητα σε οποιοδήποτε σημείο του ουρανού για οποιοδήποτε ύψος του Ήλιου από −15.0° έως −1.0° (ανά 0.1°).

Γνωρίζοντας τη θέση του αστέρα στον ουρανό και τη φωτεινότητα του ουρανού στο σημείο εκείνο, χρειάζεται τέλος μια συνάρτηση η οποία να καθορίζει κατά πόσο ο αστέρας φαινόμενου μεγέθους m_{Star} είναι ορατός ή όχι σε αυτές τις συνθήκες φωτεινότητας. Η συνάρτηση αυτή μελετήθηκε από τους Tousey and Koomen (1953) οι οποίοι δημοσίευσαν τιμές του μέγιστου φαινόμενου μεγέθους m που μπορεί να έχει ένας αστέρας ώστε να είναι ορατός σε μια δεδομένη τιμή φωτεινότητας B του ουρανού. Χρησιμοποιώντας τις τιμές αυτές, δημιουργήθηκε μια νέα "interpolation function" ώστε να μπορεί να καθορίζεται αν είναι ορατός ή όχι ο αστέρας σε κάθε μία από τις 141 × 365 θέσεις του $((A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}, \upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast})$ και $(A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}, \upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}))$ στον ανατολικό και στο δυτικό ουρανό αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα των υπολογισμών αυτών αποθηκεύεται σε δύο νέους πίνακες με 141 × 365 τιμές «ορατός / μη ορατός» για τον ανατολικό και το δυτικό ουρανό.

Διερευνώντας αυτές τις 141 × 365 τιμές «ορατός / μη ορατός» για τον ανατολικό ουρανό, το πρόγραμμα αποθηκεύει για κάθε τιμή (αρνητικού) ύψους του Ήλιου την πρώτη και την τελευταία ημέρα που ο αστέρας είναι ορατός, δηλαδή το πότε ο αστέρας ανατέλλει και δύει κατά το λυκαυγές. Διερευνώντας τις αντίστοιχες 141 × 365 τιμές «ορατός / μη ορατός» για το δυτικό ουρανό, το πρόγραμμα πάλι αποθηκεύει για κάθε τιμή (αρνητικού) ύψους του Ήλιου την πρώτη και την τελευταία ημέρα που ο αστέρας είναι ορατός, δηλαδή το πότε τώρα ο αστέρας ανατέλλει και δύει κατά το λυκόφως. Οι ημερομηνίες των τεσσάρων αστρικών γεγονότων *mr*, *ms*, *er* και *es* εντοπίζονται εύκολα πια εξετάζοντας όλες αυτές τις αποθηκευμένες τιμές για όλες τις τιμές ύψους του Ήλιου, όπως φαίνεται στον ακόλουθο Πίνακα 1 που δίνει ένα παράδειγμα αποτελεσμάτων, ανά 1°, για το φαινόμενο της πρωινής επιτολής (*mr*) του αστέρα Αρκτούρου για το γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας το 150 π.Χ. Η ημέρα

που ο Αρκτούρος «επιτέλλει εώιος» (*mr*) (03/10), η πρώτη δηλαδή μέρα του έτους που ο Αρκτούρος είναι ορατός στον ανατολικό ορίζοντα λίγο πριν την ανατολή του Ήλιου και είναι επομένως και στη μικρότερη δυνατή απόσταση ύψους από τον Ήλιο, εντοπίζεται εύκολα. Οι ημερομηνίες των τριών άλλων αστρικών φαινομένων, *es* (η τελευταία ημέρα του έτους που ο αστέρας είναι ορατός πάνω από τον δυτικό ορίζοντα λίγο μετά τη δύση του Ήλιου), *ms* (η πρώτη ημέρα του έτους που ο αστέρας γίνεται ορατός να δύει κατά το λυκαυγές) και *er* (η τελευταία ημέρα του έτους που ο αστέρας γίνεται ορατός να ανατέλλει κατά το λυκόφως) εντοπίζονται με παρόμοιο τρόπο.

Table 1. Αποτελέσματα του προγράμματος για το φαινόμενο *mr* του αστέρα Αρκτούρου, για το γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας το 150 π.Χ., με βάση τις μετρήσεις φωτεινότητας του Nawar (1983) (k = 0.23).

Ύψος Ήλιου (°)	Ημερομηνία στο ιουλιανό ημερολόγιο	Φαινόμενο ύψος αστέρα (°)	Διαφορά ύψους Ήλιου-αστέρα
-15	08/10	1.94	16.94
-14	07/10	1.96	15.96
-13	06/10	1.98	14.98
-12	05/10	2.00	14.00
-11	04/10	2.02	13.02
-10	04/10	2.76	12.76
-9	03/10	2.78	11.78
-8	03/10	3.54	11.54
-7	03/10	4.32	11.32
-6	**03/10**	**5.11**	**11.11**
-5	05/10	7.49	12.49
-4	11/10	13.32	17.32
-3	26/10	27.71	30.71
-2	08/11	41.24	43.24
-1	05/12	69.00	70.00

Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν:

- Η ατμοσφαιρική διάθλαση R, η οποία λαμβάνει σημαντικές τιμές όταν ο αστέρας βρίσκεται κοντά στον ορίζοντα, υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση (Schaefer 1993, p. 314, Meeus 1998, p. 106):

$$R = \frac{1.02'}{\tan\left(h + \frac{10.3}{h + 5.11}\right)} \qquad (4)$$

όπου h (°) είναι το πραγματικό ύψος.

- Η ατμοσφαιρική απορρόφηση, η οποία μειώνει τη φωτεινότητα ενός αστέρα όπως φαίνεται από τη Γη, υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση (Schaefer 1993, p. 315):

$$\Delta m = m' - m = k \cdot X = k \cdot \left[\cos Z + 0.025 \cdot e^{-11 \cdot \cos Z} \right]^{-1} \quad (5)$$

όπου m' το διορθωμένο φαινόμενο μέγεθος ενός αστέρα, k ο συντελεστής απορρόφησης, X η αέρια μάζα και Z (°) η φαινόμενη, λόγω ατμοσφαιρικής διάθλασης, ζενίθια απόσταση του αστέρα. Στην ανάλυση των αστρικών γεγονότων του C1-a του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, εξετάστηκαν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις με το k = 0.17, 0.23, 0.30, καλύπτοντας έτσι όλες τις λογικές τιμές k για τις αρχαίες παρατηρήσεις. Η ατμοσφαιρική απορρόφηση υπολογίστηκε και με δεύτερο τρόπο, χρησιμοποιώντας τους πιο ακριβείς τύπους για την απορρόφηση κοντά στον ορίζοντα που έχει δημοσιεύσει ο Schaefer (1993, p. 315-19), τα αποτελέσματα όμως ήταν ασήμαντα διαφοροποιημένα.

- Οι ουρανογραφικές συντεταγμένες του Ήλιου και των αστέρων υπολογίστηκαν για το 150 π.Χ. χρησιμοποιώντας τους κώδικες του Duffett-Smith (1990). Οι κώδικες αυτοί λαμβάνουν υπόψη την μετάπτωση των ισημεριών, τη μείωση της λόξωσης της εκλειπτικής, την κλόνιση του άξονα της Γης και την αποπλάνηση από την κίνησή της. Για κάθε αστέρα επίσης λήφθηκε υπόψη και το φαινόμενο της ιδίας κίνησής του. Οι δύο αστερισμοί (Λύρα και Αετός) ταυτίστηκαν με τον λαμπρότερο αστέρα τους (Βέγα και Altair αντίστοιχα). Οι Υάδες ταυτίστηκαν με τον Aldebaran (Λαμπαδίας) ενώ για τις Πλειάδες υπολογίστηκε το φαινόμενο μέγεθός τους και οι μέσες ουρανογραφικές συντεταγμένες τους χρησιμοποιώντας τους 10 λαμπρότερους αστέρες του σμήνους (τα αποτελέσματα για τα αστρικά γεγονότα των Πλειάδων δεν διαφοροποιούνται σχεδόν καθόλου εάν χρησιμοποιήσει κανείς το σημερινά υπολογισμένο φαινόμενο μέγεθος του σμήνους). Ο συσχετισμός των ζωδιακών αστερισμών με τις ημέρες του έτους καθορίστηκε από το μικρό τμήμα παραπήγματος του θραύσματος C, την πλάκα C1-b, όπου αναγράφεται ότι η φθινοπωρινή ισημερία πραγματοποιείται την πρώτη ημέρα που ο Ήλιος εισέρχεται στο ζωδιακό αστερισμό «ΧΗΛΑΙ» (Ζυγός).

Αποτελέσματα:

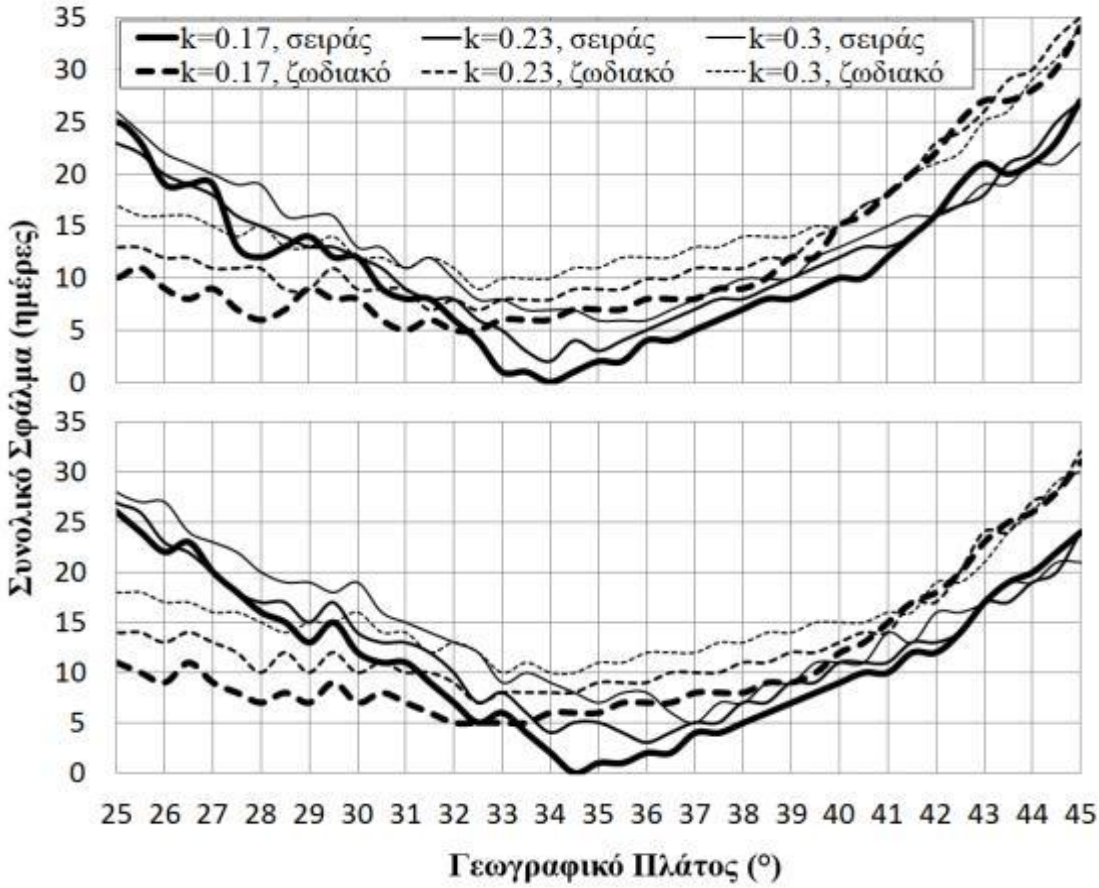
Όλοι οι υπολογισμοί που περιγράφηκαν παραπάνω στην §4 επαναλήφθηκαν για όλα τα γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 25°N – 45°N (ανά 0.5°). Οι υπολογισμοί έγιναν για το 150 π.Χ. που αποτελεί την καλύτερη μέχρι στιγμής εκτίμηση για την χρονολογία κατασκευής του Μηχανισμού. Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν ως προς δύο κριτήρια:

i) τη σειρά των αστρικών γεγονότων και

ii) το ζωδιακό αστερισμό στον οποίο πραγματοποιούνται.

«Σφάλματα σειράς» ορίστηκαν τοποθετώντας τα υπολογισμένα γεγονότα με την σειρά που διατηρούνται στο C1-a και ακολουθώντας την παρακάτω λογική: όταν δύο υπολογισμένα γεγονότα συμφωνούν χρονικά με την αναγραφόμενη σειρά τότε ορίζεται μηδενικό (0) σφάλμα ενώ στην αντίθεση περίπτωση το σφάλμα ορίζεται ίσο με τον αριθμό των ημερών κατά τις οποίες το πρώτο γεγονός απέχει χρονικά από το επόμενο. Για κάθε γεωγραφικό πλάτος (φ), υπολογίστηκε το άθροισμα των σφαλμάτων αυτών (που από εδώ και στο εξής θα αναφέρεται ως συνολικό σφάλμα σειράς (total sequence error (e_s)) (Εικόνα 7).

Χρησιμοποιώντας τις ζωδιακές αναφορές του θραύσματος C1-a, υπολογίστηκαν επίσης «ζωδιακά σφάλματα» για καθένα από τα έξι αστρικά γεγονότα. Όταν ένα υπολογισμένο αστρικό γεγονός πραγματοποιείται μέσα στα χρονικά όρια του σωστού (όπως αναφέρεται δηλαδή στο C1-a) ζωδιακού αστερισμού, τότε ορίζεται μηδενικό (0) σφάλμα ενώ στην αντίθεση περίπτωση το σφάλμα ορίζεται ίσο με τον αριθμό των ημερών κατά τις οποίες αποκλίνει το γεγονός από το σωστό ζωδιακό αστερισμό. Για κάθε γεωγραφικό πλάτος (φ), υπολογίστηκε το άθροισμα των σφαλμάτων αυτών (που από εδώ και στο εξής θα αναφέρεται ως συνολικό ζωδιακό σφάλμα (total zodiac error (e_z)) (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Διάγραμμα του συνολικού σφάλματος σειράς (e_s συμπαγείς γραμμές) και του συνολικού ζωδιακού σφάλματος (e_z διακεκομμένες γραμμές) ως προς το γεωγραφικό πλάτος για τα αστρικά γεγονότα του C1-a έχοντας χρησιμοποιήσει (*επάνω*) τις τιμές φωτεινότητας του ουρανού του Nawar (1983) και (*κάτω*) των Koomen *et al*. (1952). k = 0.17, 0.23, 0.30.

Στο διάγραμμα της Εικόνας 7 φαίνεται το συνολικό σφάλμα σειράς (e_s) και το συνολικό ζωδιακό σφάλμα (e_z) ανά γεωγραφικό πλάτος (φ), έχοντας χρησιμοποιήσει (*επάνω*) τις τιμές φωτεινότητας του ουρανού του Nawar (1983) και (*κάτω*) των Koomen *et al*. (1952). Οι ημερομηνίες των αστρικών γεγονότων που έχουν υπολογιστεί με τις 2 πηγές τιμών φωτεινότητας του ουρανού (του Nawar (1983) και των Koomen et al. (1952)) μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους από 0 έως 5 ημέρες και γι' αυτό ως γεωγραφικά πλάτη καλύτερης προσαρμογής ορίστηκαν όσα βρίσκονται μέσα σε ένα εύρος 5 ημερών από το ελάχιστο των καμπυλών.

Λαμβάνοντας υπόψη και τις δύο αναλύσεις, όλες τις περιπτώσεις τιμών φωτεινότητας του ουρανού και όλες τις τιμές *k*, τα αστρικά

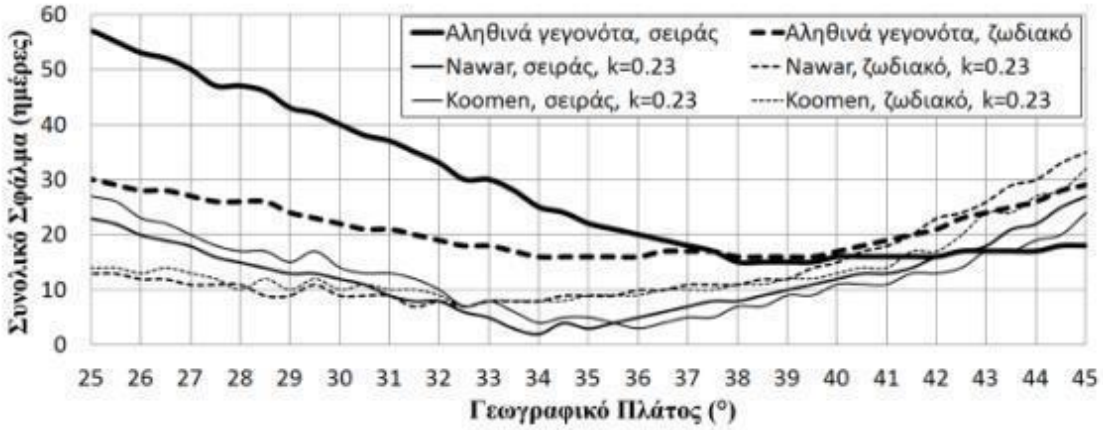
γεγονότα του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων προσαρμόζονται καλύτερα στη γεωγραφική ζώνη 33.3°N – 37.0°N.

Από τις αρκετές αρχαίες ελληνικές πόλεις που βρίσκονται εντός ή γειτονικά των ορίων αυτής της ζώνης, η Ρόδος (36.4°N) και οι Συρακούσες (37.1°N) έχουν κατά καιρούς προταθεί συχνά ως περιοχές προέλευσης και/ή χρήσης του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Τα αστρικά γεγονότα του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων που έχουν διατηρηθεί όμως είναι πολύ λίγα σε αριθμό, κάτι που δεν επιτρέπει να συσχετιστεί ο Μηχανισμός αδιαμφισβήτητα με κάποια γεωγραφική περιοχή. Και φυσικά δεν είναι πραγματικά σίγουρο το πώς πραγματικά δημιουργήθηκε το παράπηγμα του Μηχανισμού αν και το γεγονός ότι τα δεδομένα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων ταιριάζουν καλά με τις αριθμητικές λύσεις των πραγματικών (υπολογισμένων από την ανάλυση) γεγονότων αποτελεί ισχυρή ένδειξη και για την ακρίβεια του παραπήγματος του Μηχανισμού και για την προέλευσή του από πραγματικές παρατηρήσεις.

5. Προγραμματισμός για τον υπολογισμό των αληθινών αστρικών γεγονότων

Κατά την αρχαιότητα, πέρα από τα ορατά («φαινόμενα») γεγονότα, περιγράφονταν και τα «αληθινά» γεγονότα, δηλαδή τα γεγονότα τα οποία συμβαίνουν όταν και τα δύο σώματα (ο αστέρας κι ο Ήλιος) βρίσκονται ταυτόχρονα στον ορίζοντα κι είναι επομένως μη ορατά. Οι ημερομηνίες των γεγονότων αυτών μπορούν εύκολα να υπολογιστούν. Καθώς ο Ήλιος κι ο αστέρας βρίσκονται σε ύψος 0°, με δεδομένα:
i) τις ουρανογραφικές συντεταγμένες (α_{Sun}, δ_{Sun}) του Ήλιου (365 ζεύγη τιμών),
ii) τις ουρανογραφικές συντεταγμένες (α_{Star}, δ_{Star}) του αστέρα και
iii) το γεωγραφικό πλάτος (φ) του παρατηρητή
και χρησιμοποιώντας τις βασικές εξισώσεις (2-3), υπολογίζεται ο αστρικός χρόνος του Ήλιου και του αστέρα για τον ανατολικό και το δυτικό ουρανό ($ST_{i\text{-}SunRise}/ST_{StarRise}$ and $ST_{i\text{-}SunSet}/ ST_{StarSet}$, i = 1 to 365). Ο αστέρας αληθινά «ΕΠΙΤΕΛΛΕΙ ΕΩΙΟΣ» (*mr*) και αληθινά «ΕΠΙΤΕΛΛΕΙ ΕΣΠΕΡΙΟΣ» (*er*) όταν ο αστρικός χρόνος του αστέρα $ST_{StarRise}$ εξισώνεται με τον ηλιακό αστρικό χρόνο $ST_{i\text{-}SunRise}$ and the $ST_{i\text{-}SunSet}$ αντίστοιχα. Παρομοίως ο αστέρας αληθινά «ΔΥΝΕΙ

ΕΩΙΟΣ» (*ms*) και αληθινά «ΔΥΝΕΙ ΕΣΠΕΡΙΟΣ» (*es*) όταν ο αστρικός χρόνος του αστέρα $ST_{StarSet}$ εξισώνεται με τον ηλιακό αστρικό χρόνο $ST_{i\text{-}SunRise}$ and the $ST_{i\text{-}SunSet}$ αντίστοιχα. Το διάγραμμα της Εικόνας 8 απεικονίζει με έντονες καμπύλες το συνολικό σφάλμα σειράς (e_s) και το συνολικό ζωδιακό σφάλμα (e_z) ανά γεωγραφικό πλάτος (φ) για το 150 π.Χ. για τα έξι αστρικά γεγονότα του παραπήγματος, έτσι όπως υπολογίστηκαν με την παραπάνω μέθοδο, δηλαδή θεωρώντας τα ως αληθινά αστρικά γεγονότα. Συγκρίνοντας τις καμπύλες αυτές με τις αντίστοιχες των φαινόμενων αστρικών γεγονότων, για k = 0.23, παρατηρούνται πολύ υψηλότερα σφάλματα και στις δύο αναλύσεις για τα αληθινά γεγονότα, επιβεβαιώνοντας έτσι το αναμενόμενο, ότι δηλαδή κατά πάσα πιθανότητα τα χαραγμένα γεγονότα του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων αναφέρονται στις φαινόμενες αστρικές ανατολές και δύσεις, δηλαδή στα γεγονότα πρακτικού ενδιαφέροντος.

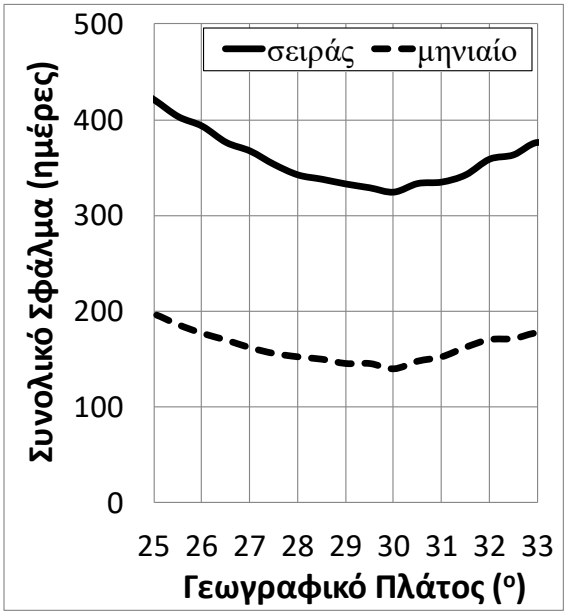


Εικόνα 8: Διάγραμμα των συνολικών σφαλμάτων ως προς το γεωγραφικό πλάτος (φ) εξετάζοντας εάν το παράπηγμα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων χρησιμοποιεί τα αληθινά ή τα φαινόμενα αστρικά γεγονότα. Ο συντελεστής απορρόφησης k = 0.23 έχει χρησιμοποιηθεί για τα φαινόμενα αστρικά γεγονότα.

6. Προγραμματισμός για τον υπολογισμό των φαινόμενων αστρικών γεγονότων άλλων παραπηγμάτων

Η νέα μέθοδος ανάλυσης και υπολογισμού των ημερομηνιών των φαινόμενων αστρικών γεγονότων που αναπτύχθηκε για την ανάλυση του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων εφαρμόστηκε σε τρία ακόμαπαραπήγματα:

- στο παράπηγμα του Ευκτήμονα, όπου τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλά σφάλματα σειράς
- στο παράπηγμα του Εύδοξου, όπου εντοπίστηκαν εσφαλμένες αναφορές
- στο παράπηγμα του Πτολεμαίου για το κλίμα των 14 ωρών, όπου τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν πολύ καλά την γεωγραφική περιοχή που περιγράφει ο Πτολεμαίος. Στο έργο του *Η Μεγίστη* (ή *Μαθηματική Σύνταξις*), ο Πτολεμαίος ταυτίζει το κλίμα των 14 ωρών με την Κάτω Αίγυπτο και το γεωγραφικό πλάτος των 30° 22΄. Επίσης το γεωγραφικό πλάτος όπου η μεγαλύτερη ημέρα αντιστοιχεί σε 14 ώρες υπολογίζεται χρησιμοποιώντας σφαιρική τριγωνομετρία σε 30°33΄ για την εποχή του Πτολεμαίου. Και το πραγματικό γεωγραφικό πλάτος της Αλεξάνδρειας, όπου έζησε κι εργάστηκε ο Πτολεμαίος, είναι 31° 13΄. Όπως δείχνει η εικόνα 9, χρησιμοποιώντας τη νέα μέθοδο που αναπτύχθηκε, η σειρά των αστρικών γεγονότων και η κατανομή τους στους μήνες του Αλεξανδρινού ημερολογίου (η ανάλυση αυτή είναι στην ουσία η ίδια με αυτή της κατανομής στους ζωδιακούς αστερισμούς) δίνουν καλύτερη προσαρμογή γεωγραφικών πλατών μεταξύ 27.8° – 31.5°N. Αυτό αποτελεί μια καλή επιβεβαίωση ότι η νέα μέθοδος ανάλυσης δίνει καλά αποτελέσματα.



Εικόνα 9: Διάγραμμα του συνολικού σφάλματος σειράς (e_s συμπαγείς γραμμές) και του συνολικού μηνιαίου σφάλματος (e_m διακεκομμένες γραμμές) ως προς το γεωγραφικό πλάτος (φ), για k = 0.23, για τα αστρικά γεγονότα που καταγράφονται στο παράπηγμα του Πτολεμαίου στις *Φάσεις* για το κλίμα των 14

ωρών. Τα αστρικά γεγονότα των αστέρων α Sagittarii και θ Eridani έχουν παραληφθεί. Οι καμπύλες έχουν σχεδιαστεί έως το γεωγραφικό πλάτος των 33°N και αναπαριστάνουν τη μέση τιμή των e_s και e_z σφαλμάτων με τις 2 πηγές τιμών φωτεινότητας του ουρανού (Nawar (1983) και Koomen *et al*. (1952)).

7. Συμπεράσματα

Χρησιμοποιώντας προγραμματισμό, αναπτύχθηκε μια νέα μέθοδος ανάλυσης η οποία μπορεί να υπολογίζει τις ημερομηνίες στις οποίες πραγματοποιούνται τα φαινόμενα αστρικά γεγονότα χωρίς ελεύθερες παραμέτρους. Η εφαρμογή της μεθόδου στο μεγαλύτερο τμήμα του παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων δείχνει ότι τα δεδομένα του Μηχανισμού ταιριάζουν ωραία με τις αριθμητικές λύσεις των πραγματικών (υπολογισμένων από την ανάλυση) γεγονότων, δίνοντας καλύτερη προσαρμογή για τα γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 33.3°N – 37.0°N. Ωστόσο, ο περιορισμένος αριθμός των συνεχόμενων αστρικών γεγονότων του παραπήγματος που σώζονται δεν επιτρέπουν να καθοριστεί αδιαμφισβήτητα το γεωγραφικό πλάτος για το οποίο παράχθηκε το παράπηγμα αυτό ούτε επίσης να γίνουν ισχυροί ισχυρισμοί για τον πιθανό τόπο κατασκευής ή χρήσης του Μηχανισμού. Τα αστρικά αυτά γεγονότα είναι καλύτερο να θεωρηθεί ότι υποδεικνύουν ένα πιθανό εύρος γεωγραφικών πλατών 33.3°N – 37.0°N. Η εφαρμογή της νέα μεθόδου σε άλλα παραπήγματα επιβεβαίωσε την αξία της ως νέα μέθοδο ανάλυσης.

Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς ευχαριστούν για τη συνεργασία τους τα μέλη του Προγράμματος Έρευνας για τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων (Antikythera Mechanism Research Project) και το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο στην Αθήνα. Η Μ Αναστασίου εκφράζει την ευγνωμοσύνη της στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο για την υποτροφία για την εκπόνηση της διδακτορικής διατριβής. Όλες οι τομογραφίες (CT slices) αποτελούν πνευματική ιδιοκτησία του Antikythera Mechanism Research Project.

References

Alcyone software (Lange, R.), available at http://www.alcyone.de/

Anastasiou M., Seiradakis J. H., Evans J., Drougou S. and Efstathiou K. (2012), "Positional astronomy and the Parapegma of the Antikythera Mechanism", Proceedings of the meeting: *From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients (Antikythera & SKA)*, Kerastari, Greece, 12-15 June 2012. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=170

Anastasiou M., Seiradakis J. H., Evans J., Drougou S. and Efstathiou K., *The astronomical events of the Parapegma of the Antikythera Mechanism*, Journal for the History of Astronomy 44 (2013), No. 2, 173-86.

Duffett-Smith P., *Astronomy with your personal computer*, New York, 1990.

Evans J., *The history and practice of ancient astronomy*, New York, 1998.

Evans J. and Berggren J. L., *Geminos's Introduction to the Phenomena*, Princeton, 2006.

Freeth T., Bitsakis Y., Moussas X., Seiradakis J. H., Tselikas A., Mangou H., Zafeiropoulou M., Hadland R., Bate D., Ramsey A., Allen M., Crawley A., Hockley, P., Malzbender T., Gelb D., Ambrisco W. and Edmunds M. G., *Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism*, Nature 444 (2006), 587–91. For this paper there is substantial "Supplementary information" available at http://www.nature.com/nature/journal/v444/n7119/suppinfo/nature05357.html

Freeth T., Jones A., Steele J. M. and Bitsakis Y., *Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism*, Nature, 454 (2008), 614–17. For this paper there is substantial "Supplementary information" available at http://www.nature.com/nature/journal/v454/n7204/suppinfo/nature07130.html

Freeth T. and Jones A., *The Cosmos in the Antikythera Mechanism*, *ISAW Papers* (2012).

Heiberg J. L., ed., *Claudii Ptolemaei Opera quae exstant omnia*, vol. II, *Opera astronomica minora,* Leipzig, 1907.

Jones A., *Provisional translation of Ptolemy's Phaseis*, available at www.classicalastrologer.com/Phaseis.pdf

Koomen M. J., Lock C., Packer D. M., Scolnik R., Tousey R. and Hulburt E. O., *Measurements of the brightness of the twilight sky*, Journal of the Optical Society of America 42 (1952), 353-356.

Lehoux D., *Astronomy, weather, and calendars in the ancient world: parapegmata and related texts in classical and Near Eastern societies*, New York, 2007.

Meeus J., *Astronomical Algorithms*, Richmond, 1998.

Nawar S., *Sky twilight brightness and colour during high solar activity*, *The Moon and the Planets* 29 (1983), 99-105.

Price D. de Solla, *Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism – A calendar computer from ca. 80 B.C.*, Transactions of the American Philosophical Society, n.s., 64/7 (1974).

Robinson M., *Ardua et astra: on the calculation of the dates of the rising and setting of stars*, Classical Philology, 104 (2009), 354-375.

Schaefer B. E., *Predicting Heliacal Risings and Settings*, Sky and Telescope, 70 (1985), 261-263.

Schaefer B. E., *Heliacal rise phenomena*, Archaeoastronomy, 11 (1987), 19-33.

Schaefer B. E., *Astronomy and the limits of vision*, Vistas in Astronomy 36 (1993), 311-361.

Schoch C., *The 'arcus visionis' of the planets in the Babylonian observations*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 84 (1924), 731-734.

Tousey R. and Koomen M. J., *The visibility of stars and planets during twilight*, Journal of the Optical Society of America 43 (1953), 177-183.

Wright M. T., *The Antikythera Mechanism reconsidered*, Interdisciplinary Science Reviews, 32/1 (2007), 27-43.

Computer programming and the Antikythera Mechanism: the analysis of the parapegma

- Magdalini Anastasiou, Ph.D. in Physics, Aristotle University of Thessaloniki
- John Huhg Seiradakis, Professor of Astronomy, School of Physics, Faculty of Sciences, Aristotle University of Thessaloniki

ISSN: 2241-5599

Computer programming and the Antikythera Mechanism:
the analysis of the parapegma.

Magdalini Anastasiou, PhD in Physics, Aristotle University of Thessaloniki, anastasiou@astro.auth.gr
John H. Seiradakis, Professor of Astronomy, School of Physics, Faculty of Sciences, Aristotle University of Thessaloniki, jhs@astro.auth.gr

The term *parapegma* was used by the ancient Greeks to describe an astronomical and meteorological calendar of events that was used to assist agricultural or nautical activities through the year. The astronomical events described in parapegmata are events that take place annually and refer to the first or last appearances of stars or constellations at sunrise or sunset. On one of the fragments of the Antikythera Mechanism, the fragment that mainly preserves the front plate of the Mechanism, nine parapegma events have been read. As the sequence of these events is sensitively depended on geographic latitude, the parapegma of the Mechanism may indicate the place of use or even origin of the Antikythera Mechanism. In order to examine the sequence of these events at several latitudes, a new software program that calculates the dates of the risings and settings of the stars was written, from first principles, using the Mathematica software package. This new method of analysis – unlike all relevant existing methods until now - has no free parameters.

Key words: Antikythera Mechanism – history of astronomy – celestial mechanics – parapegma – computer programming.

1. Introduction

The Antikythera Mechanism, the extraordinary ancient Greek astronomical geared device of about, most probably, 150 – 100 B.C., was discovered in the Antikythera shipwreck in A.D. 1901 (Freeth *et al*. 2006, Price 1974). Due to its prolonged stay at the bottom of the sea, the Antikythera Mechanism is preserved nowadays corroded and calcified, having broken to 7 large and 75 smaller fragments. Its valuable pieces are exhibited at the National Archaeological Museum of Athens.

The Antikythera Mechanism was a very sophisticated mechanism with multiple functions. Using lots of dials and pointers to both of its sides, the Antikythera Mechanism calculated with precision the position of the Sun, the Moon and most possibly the planets in the sky, displayed the phases of the Moon, reconciled the solar year with the lunar months through the use of a local civil calendar that was based on the Metonic – and perhaps the Callippic as well – cycle, predicted eclipses and determined the date of the ancient panhellenic crown games (Freeth *et al*. 2008, Wright 2007). Each space left vacant from the dials of the plates was covered with inscriptions while extended astronomical and technical texts were also inscribed to its front and back covers.

The front face of the Antikythera Mechanism is mainly preserved in Fragment C where about 1/4 of two concentric scales can be seen (Figure 1). The inner scale displayed the signs of the zodiac (ΠΑΡΘΕΝΟΣ, ΧΗΛΑΙ, etc) with each of the 12 zodiac constellations being divided into 30 degrees. The outer scale

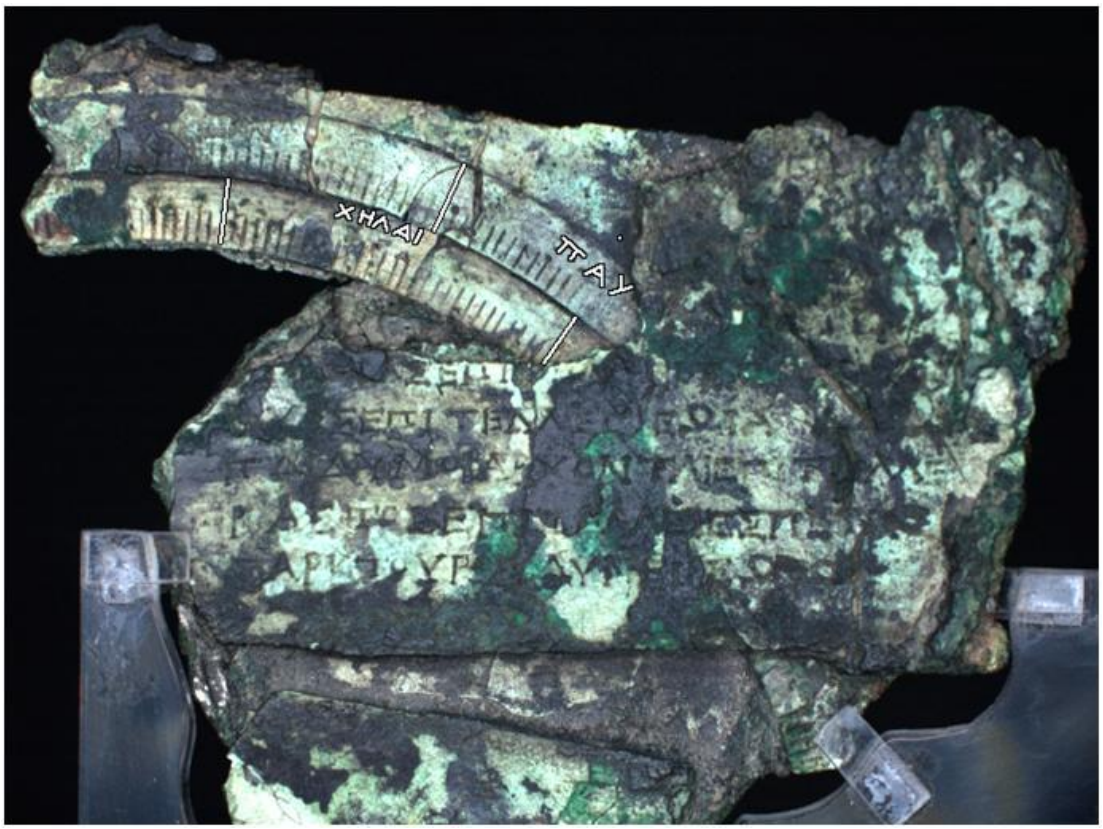


Figure 1: PTM image of Fragment C where part of the preserved scales can be seen. Some of the letters and the divisions of the two scales are traced with white color.

displayed the months of the Egyptian calendar (ΠΑΧΩΝ, ΠΑΥΝΙ, etc.), written in Greek, with each of the 12 Egyptian months having 30 days while at the end of the calendar there were most probably five extra "epagomenai" days. On the zodiac dial, above some of the scale divisions of each zodiac sign, small capital letters (Α, Β, Γ,...) can be read, that follow the sequence of the letters of the Greek alphabet (Figure 2). The same sequence is also found on some lines of text describing astronomical phenomena. At the beginning of each line there is a separate letter of the Greek alphabet (Figure 2). These "index letters" almost certainly correspond to the small capital letters found on the zodiac dial, thus forming a "parapegma" (Price 1974).

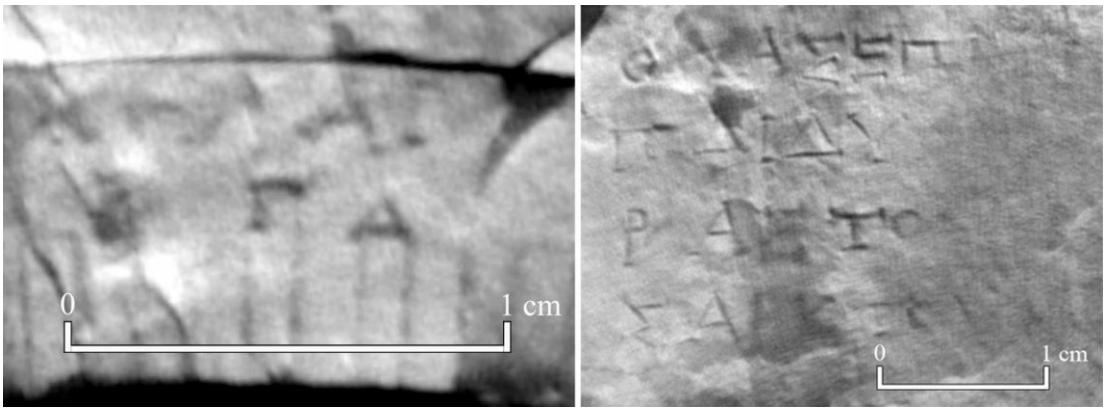


Figure 2: *Left*: CT slice from Fragment C showing letters of the Greek alphabet (Β, Γ, Δ) above the scale divisions of the zodiac sign of Libra. *Right*: CT slice from Fragment C showing the "index letters" of the Greek alphabet (Ο, Π, Ρ, Σ) at the beginning of each line of astronomical events.

The term parapegma was used by the ancient Greeks to describe a calendar of mainly astronomical events that were sometimes also associated with meteorological reports (Evans 1998). The astronomical events of the ancient parapegmata are events that take place at fixed (over 1-2 centuries) dates, once every year, and refer to the first and last appearances of stars or constellations just before sunrise or just after sunset. Analytically, these visible star events are:

i) *Morning rising* (*mr*) of a star → the first day a star becomes visible above the eastern horizon in the morning twilight, after a period when it was hidden below

the horizon or when it was just above the horizon but hidden by the brightness of the Sun (known also as *heliacal rising*)
ii) *Evening setting* of a star (*es*) → the last day a star is visible in the sky in the evening twilight (known also as *heliacal setting*)
iii) *Morning setting* of a star (*ms*) → the first day that the star is seen setting before sunrise (known also as *cosmical setting*)
iv) *Evening Rising* of a star (*er*) → the last day that the star is seen rising after sunset (known also as *acronychal rising*)

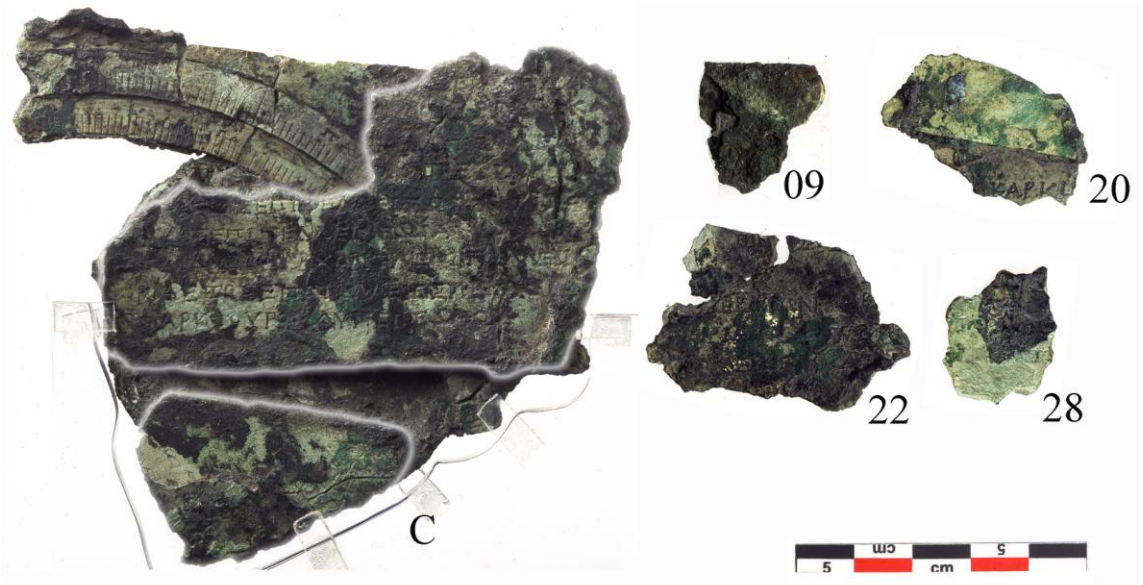
Due to the stable repetition of these events over time, the parapegmata became quite popular as a way to assist agricultural or nautical activities through the year (e.g. the morning rising of Pleiades signaled the wheat harvest and the beginning of summer) and they were an important part of both early Greek and early Babylonian astronomy (Lehoux 2005). In Babylonia the star calendar was a bit older. In Greece the first reports of such astronomical events are found in Homer (8th century B.C.) and Hesiod (7th century B.C.). Their systematization into calendars occurred by the 5th century B.C.

The word "parapegma" derives from the ancient Greek verb *παραπήγνυμι* which means to "fix or plant beside". The origin from this verb was understood just at the beginning of the 20th century when the stone parapegma of Miletus (2nd -1st century B.C.) was found, with holes for a peg to be moved next to the reports of the astronomical events. Other Greek parapegmata that have been preserved are: the parapegmata of Euctemon, Eudoxus and Callippus, reported by Geminus (1st century B.C.) in his work *Introduction to the Phenomena* (Evans and Berggren 2006) and Ptolemy's parapegma, reported in his work *Phaseis* (Heiberg 2007, Jones). Although one may consider the parapegma as prescientific (a list of parapegma star events could be made simply by observations over the course of a year), an important early goal of Greek astronomy was to understand these cycles of appearances and disappearances of the fixed stars. Autolycus' work *On Risings and Settings* (320 B.C.) is devoted to this subject, mentioning no star name and providing a theory for explaining the phenomena (Evans 1998).

2. The parapegma of the Antikythera Mechanism

Among the four different components that constitute nowadays Fragment C, there are two pieces of flat plate that are attached on the main front dial plate of Fragment C (Figure 3). The largest of these two pieces (C1-a) preserves the most extensive parapegma inscription with 9 lines of text describing astronomical phenomena (Figure 3). From the lines bearing the index letters Λ, M and N, only the last words are nowadays visible. The first part of the text of these lines was though visible at the early stages of the Antikythera Mechanism's research – Albert Rehm's archive preserves photos of it[1] – but has broken away since then. The other piece of flat plate(C1-b) attached to Fragment C – this piece has somehow reversed and faces backwards – belongs also to the parapegma text and constitutes a small but also very important preserved part of it. Finally, there are also 4 smaller fragments with parapegma inscriptions (Fragment 09, Fragment 20, Fragment 22 and Fragment 28), with the text though read on most of these fragments being quite incomplete.

[1] A. Jones private communication.



Κ	ΕΙΕΣΠΕΡΙΑ	Κ	in the evening
Λ	ΥΑΔΕΣΔΥΟΝΤΑΙΕΣΠΕΡΙΑΙ	Λ	The Hyades set in the evening
Μ	ΤΑΥΡΟΣΑΡΧΕΤΑΙΑΝΑΤΕΛΛΕΙΝ	Μ	Taurus begins to rise
Ν	ΛΥΡΑΕΠΙΤΕΛΛΕΙ ΕΣΠΕΡΙΑ	Ν	Lyra rises in the evening
Ξ	ΠΛΕΙΑΣΕΠΙΤΕΛΛΕΙΕΩΙΑ	Ξ	The Pleiades rise in the morning
ο	ΥΑΣΕΠΙΤΕΛΛΕΙ ΕΩΙΑ	ο	The Hyades rise in the morning
Π	ΔΙΔΥΜΟΙΑΡΧΟΝΤΑΙΕΠΙΤΕΛΛΕΙΝ	Π	Gemini begins to rise
Ρ	ΑΕΤΟΣΕΠΙΤΕΛΛΕΙΕΣΠΕΡΙΟΣ	Ρ	Aquila rises in the evening
Σ	ΑΡΚΤΟΥΡΟΣ ΔΥΝΕΙ ΕΩΙΟΣ	Σ	Arcturus sets in the morning

Figure 3: *Upper*: The fragments with the preserved parts of the Antikythera Mechanism's parapegma. The white line in Fragment C traces the two plates C1-a and C1-b. *Lower*: The nine astronomical events of plate C1-a and their translation in English. Underlined letters are uncertain or can no longer be read today.

Analyzing the 9 astronomical events that are mentioned on plate C1-a, we see that (Anastasiou *et al*. 2013, Anastasiou *et al*. 2012):

i) there are 7 *star events* that are of the same category as the star events that we described above, i.e. their morning rising, their morning setting, their evening rising and their evening setting. In this type of events, the subject is always a star, a star cluster or a constellation, followed by a verb, "ΕΠΙΤΕΛΛΕΙ" (rises) or "ΔΥΝΕΙ" (sets), that places the star in the east or the west respectively. After the verb comes an adjective, "ΕΩΙΟΣ" (in the morning) or "ΕΣΠΕΡΙΟΣ" (in the evening), that places the Sun in the east or the west respectively. The combination of the 2 verbs with the 2 adjectives results in the 4 described star events.

ii) there are also 2 events that refer to the signs of the zodiac (*zodiac statements*). In this type of events, we have a different syntax. The subject is always a zodiac constellation/sign, followed by the phrase "ΑΡΧΕΤΑΙ / ΑΡΧΟΝΤΑΙ ΑΝΑΤΕΛΛΕΙΝ / ΕΠΙΤΕΛΛΕΙΝ" (begins to rise), that places the constellation in the east. As the preserved evidence shows that there is always an index letter inscribed at the first scale division of each sign of the zodiac on the inner dial of the Mechanism, these statements are used to mark the position of the Sun, when it crosses the boundaries from one zodiac constellation to the next. Fragment C1-a shows that after each zodiac statement usually 2 or 3 star events are reported.

The small other parapegma part of Fragment C, Fragment C1-b, preserves finally a third category of mentioned events. On this plate (Figure 4) we read that the autumn equinox takes place when the Sun enters the sign of "ΧΗΛΑΙ [Libra]", i.e. at "Α ΧΗΛΑΙ"[2]. Thus:

iii) there are also reports of the equinoxes and the solstices. These events are placed at the beginning of the zodiac signs and are reported just after the zodiac statements and before the list of the 2or 3 star events.

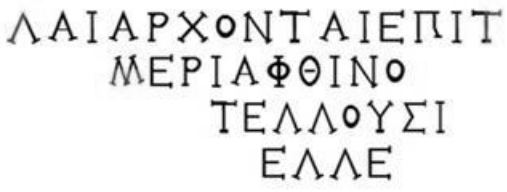


Figure 4: The parapegma text that is preserved on plate C1-b. To the first line we read part of the zodiac statement "ΧΗΛΑΙΑΡΧΟΝΤΑΙΕΠΙΤΕΛΛΕΙΝ" and to the second line part of the report of the autumn equinox «ΙΣΗΜΕΡΙΑΦΘΙΝΟΠΩΡΙΝΗ». To the following lines, 2 star events were probably mentioned.

The most likely reconstruction of the structure of the parapegma (Freeth and Jones 2012) organizes the parapegma text in 4 quarters above and below the Zodiac dial, according to the 4 astronomical seasons, so that each season of the dial corresponds to the closest quarter of the parapegma text. Beginning from

[2] This is work of A. Jones, T. Freeth and Y. Bitsakis, presented by T. Freeth in XXIII ICHST (International Congress of History of Science and Technology) Ideas and Instruments in Social Context, 28 July – 2 August 2009, Budapest, Hungary,

the upper left corner of the front plate, the seasons run clockwise and are in the order winter – spring – summer – autumn, as it can be seen in Figure 5.



Figure 5: The reconstruction of the Mechanism's parapegma according to Freeth and Jones (2012).

3. The dependence of the parapegma star events on geographic latitude

The dates of the parapegmata star events may be stable for long periods of time (as mentioned above) but they change if one moves to different geographic latitude (Anastasiou *et al*. 2013). As Figure 6 shows, the time order of two star events can reverse as one moves from lower to higher latitude, resulting in the sequence of the astronomical events of a parapegma being sensitively dependant on the geographic latitude that they are observed. The sequence of the star

events of the parapegma of the Antikythera Mechanism depends directly on the region where the Mechanism's parapegma was compiled.

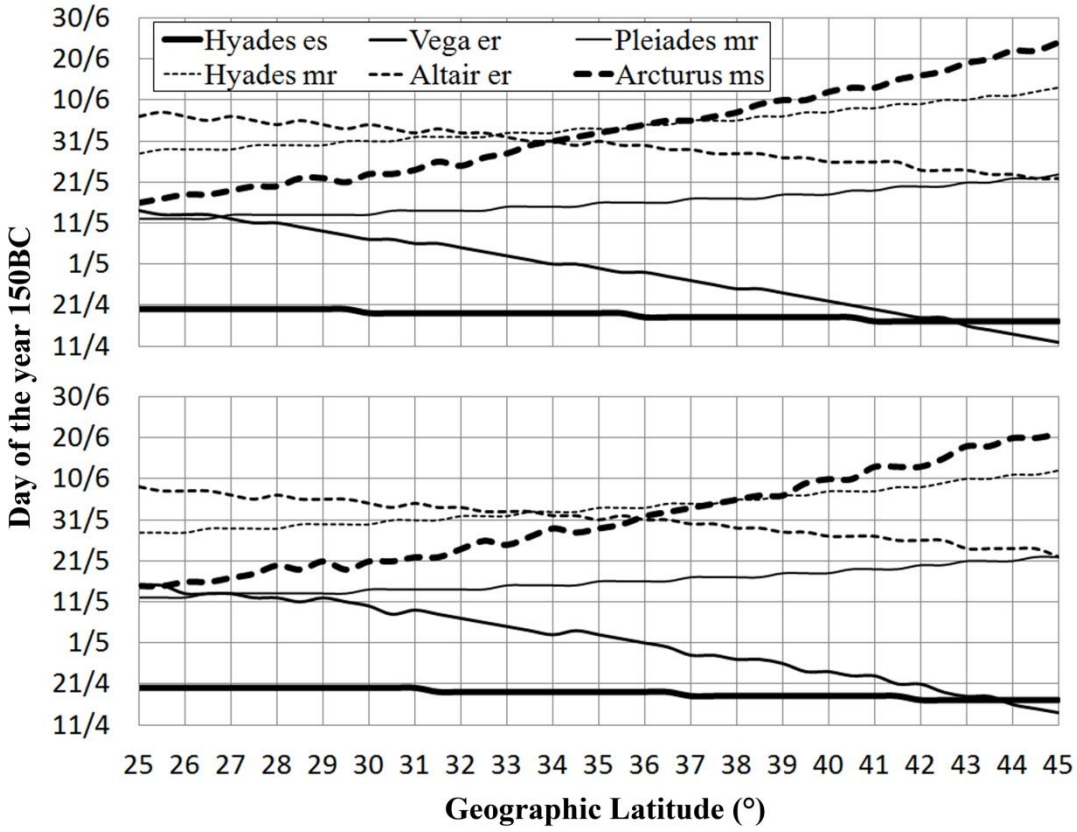


Figure 6: Diagram of the dates of the stars' visible risings and settings v. geographic latitude for the events on plate C1-a using (above) the Nawar (1983) and (below) the Koomen (1952) sky brightness values. k = 0.23.

The calculation of the dates of the six[3] star events of the parapegma of the Antikythera Mechanism for different latitudes and the comparison of the resulting star event sequences and distributions among zodiac statements to the 9 events of the largest parapegma fragment of the Mechanism could lead to a possible latitude where the Mechanism was built or used.

The computation though of these visible events is complicated as both the depression of the Sun below the horizon and the altitude of the star in order to be visible are not known a priori (Schoch 1924, Schaefer 1993, Schaefer 1987,

[3] The subject of one star event is not preserved, i.e. we do not know the star that makes the event.

Schaefer 1985, Robinson 2009, Alcyone software). All relevant existing methods until now depended on these two free parameters.

4. Computer programming for the analysis of the Mechanism's parapegma visible star events

Using computer programming, a new method of analysis and calculation of the dates of the visible events was developed. The use of iterations made possible the calculation of these dates **with no free parameters** (Anastasiou *et al*. 2013, Anastasiou *et al*. 2012). The main idea was, assuming initially a certain depression of the Sun, to calculate the position of the star and to find a criterion to determine whether the star is visible at its position. By repeating the calculations for all possible depression values of the Sun, the correct dates are to be found and the Sun's depression value serves no longer as an assumption. The detailed steps of the new program, that uses the Mathematica software package, are presented below.

Given:

i) the equatorial coordinates (α_{Sun}, δ_{Sun}) of the Sun (365 pairs of values – due to the orbit of the Earth around the Sun and the obliquity of the ecliptic, the Sun's equatorial coordinates need to be set on a daily basis (i = 1 to 365)) and

ii) the geographic latitude (φ) of the observer

and setting the Sun's altitude (υ_{Sun}), the Sun's azimuth (A) and the corresponding sidereal time (ST) are calculated using the following basic equations of spherical trigonometry:

$$\cos A = \frac{\sin\delta - \sin\varphi \sin\upsilon}{\cos\varphi \cos\upsilon} \tag{1}$$

$$\sin\upsilon = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos H \tag{2}$$

$$ST = \alpha + H \tag{3}$$

where H the Sun's hour angle. All calculations are done for two cases, at sunrise and at sunset – as all 4 visible events have to be investigated – resulting thus in 2 tables of 365 values for each of the calculated quantities ($A_{i\text{-}SunEast}$, $A_{i\text{-}SunWest}$, $ST_{i\text{-}SunEast}$, $ST_{i\text{-}SunWest}$).

Given the tables of the Sun's sidereal time ($ST_{i\text{-}SunEast}$, $ST_{i\text{-}SunWest}$) and the

iii) the equatorial coordinates (α_{Star}, δ_{Star}) of a star
and using again the above equations (1-3), the star's respective horizon coordinates ($A_{i\text{ -}Star\text{-}SunEast}$, $\upsilon_{i\text{ -}Star\text{-}SunEast}$) and ($A_{i\text{ -}Star\text{-}SunWest}$, $\upsilon_{i\text{-}Star\text{-}SunWest}$) are calculated, again for two cases, with the Sun in the east and in the west.

In order for the Sun's altitude (depression) to no longer be a free parameter, all calculations were repeated for all values of Sun's depression j in the range between -15° and -1°, in steps of 0.1°, thus for 141 values of Sun's depression (j = 1 to 141). By these iterations, all quantities were calculated again in the form of tables of 141×365 values ($A_{i,j\text{-}SunEast}$, $A_{i,j\text{-}SunWest}$, $ST_{i,j\text{-}SunEast}$, $ST_{i,j\text{-}SunWest}$, $A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$, $\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$, $A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$, $\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$).

So knowing the position of the Sun (($A_{i,j\text{-}SunEast}$, $\upsilon_{j\text{-}SunEast}$) and ($A_{i,j\text{-}SunWest}$, $\upsilon_{j\text{-}SunWest}$)) and the star (($A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$, $\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$) and ($A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$, $\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$)), a criterion is needed to determine whether the star is visible at its position. The visibility of a star of apparent magnitude m_{Star} depends on the sky background brightness. By using two sources of measured values of sky brightness (i) Nawar (1983) and (ii) Koomen *et al*. (1952), who published independent measurements of sky brightness B, in the form of tables at several altitudes of the place in the sky above the horizon and several azimuthal distances from the Sun, for several depressions of the Sun, two independent interpolating functions were calculated, that provide the sky's background brightness for any position on the sky, for any altitude of the Sun between –15.0° and –1.0° (in steps of 0.1°).

The function that determines whether the star of magnitude m_{Star} will be visible on the given sky brightness B was published by Tousey and Koomen (1953). Using their values of the maximum star's apparent magnitude m in order to be visible at a given sky brightness B, another interpolating function was formed. Using this function, we calculated whether the star of magnitude m_{Star} was visible or not at each of the star's 141 x 365 positions (($A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$, $\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunEast}$) and ($A_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$, $\upsilon_{i,j\text{-}Star\text{-}SunWest}$)) in the eastern and in the western sky respectively, ending up with 2 tables of 141×365 "visible/not visible" values, again for the eastern and the western sky.

Looking through the 141×365 values of "visible/not visible" values in the eastern sky, the first and the last day of the year that the star is visible (the star rises and sets in the morning) is recorded, for each depression of the Sun.

Looking through the 141×365 values of "visible/not visible" values in the western sky, the first and the last day of the year that the star is visible (the star rises and sets in the evening) is recorded, again for each depression of the Sun. The dates of the visible *mr*, *ms*, *er* and *es* are easily located by examining these recordings at all values of Sun's depression, as it can be seen at the following table (Table 1) that shows an example of such recording for the visible *mr* of Arcturus in Athens, in 150 B.C. The Sun's depression changes per 1° in these examples. The day of the visible *mr* of Arcturus (03/10), the first day of the year that Arcturus is visible and is thus at minimum altitude difference from the Sun, is easily located. The dates of the 3 other events, the *es* of Arcturus (the last day of the year that Arcturus is visible), the *ms* (the first day the star is seen setting) and the *er* (the last day it is seen rising), are similarly located.

Table 1. Results using Nawar's sky brightness values for the visible *mr* and *es* of Arcturus in Athens, in 150 B.C. (k = 0.23).

Sun's altitude (°)	Date in the Julian calendar	Star's apparent altitude (°)	Difference between the Sun's and the star's altitude
-15	08/10	1.94	16.94
-14	07/10	1.96	15.96
-13	06/10	1.98	14.98
-12	05/10	2.00	14.00
-11	04/10	2.02	13.02
-10	04/10	2.76	12.76
-9	03/10	2.78	11.78
-8	03/10	3.54	11.54
-7	03/10	4.32	11.32
-6	**03/10**	**5.11**	**11.11**
-5	05/10	7.49	12.49
-4	11/10	13.32	17.32
-3	26/10	27.71	30.71
-2	08/11	41.24	43.24
-1	05/12	69.00	70.00

Parameters used:

- Atmospheric refraction R, which is significant when the star is near the horizon, was taken into account, using the following equation (Schaefer 1993, p. 314, Meeus 1998, p. 106):

$$R = \frac{1.02'}{\tan\left(h + \frac{10.3}{h + 5.11}\right)} \quad (4)$$

where h (°) is the true altitude.

- Atmospheric extinction, which reduces the brightness of a star as seen from Earth, was calculated using the formula (Schaefer 1993, p. 315):

$$\Delta m = m' - m = k \cdot X = k \cdot \left[\cos Z + 0.025 \cdot e^{-11 \cdot \cos Z}\right]^{-1} \quad (5)$$

where m' the corrected apparent magnitude of a star, k the extinction coefficient, X the air mass and Z (°) the apparent zenith distance of the star, due to atmospheric refraction. Three different cases with k = 0.17, 0.23, 0.30 were examined, covering thus reasonable values for ancient observations. More accurate formulas (Schaefer 1993, p. 315-19) for the extinction near the horizon were also tested, with insignificantly different results.

- The equatorial coordinates of both the Sun and the stars were computed for 150 B.C. using the procedures described by Peter Duffett-Smith (1990). These procedures take into account changes due to the precession of the equinoxes, the decrease in the obliquity of the ecliptic, nutation and aberration. For the stars, the effects of proper motion were also calculated. The two constellations (Lyra and Aquila) were identified with their prominent star (Vega and Altair respectively). The Hyades were identified with Aldebaran while for the Pleiades, a total apparent magnitude and mean equatorial coordinates were calculated from the ten brightest stars of the cluster (results hardly differ if one uses the total cluster magnitude). The linking of the signs of the zodiac to the days of the year was determined from the small parapegma part of Fragment C, plate C1-b, that reports the autumn equinox taking place the first day that the Sun enters the sign of Libra.

Results:

All calculations described above in §4 were repeated for all geographic latitudes in the range 25°N – 45°N (in steps of 0.5°). The calculations were done for 150 B.C. as the present best estimate of the construction date of the Antikythera Mechanism is around 150-100 B.C. The results were analyzed according to:

i) the sequence of the star events and

ii) the zodiac sign to which they occur.

"Sequence errors" were determined by comparing the calculated sequence by the program to the sequence of the events of plate C1-a: when two events in the parapegma are listed in the time order that agrees with the actual phenomena an error of 0 days is assigned, while in the opposite case the assigned error equals the number of days that the first event lies back of the following event. For each latitude (φ), the sum of the "sequence" errors (the total sequence error (e_s)) was calculated (Figure 7).

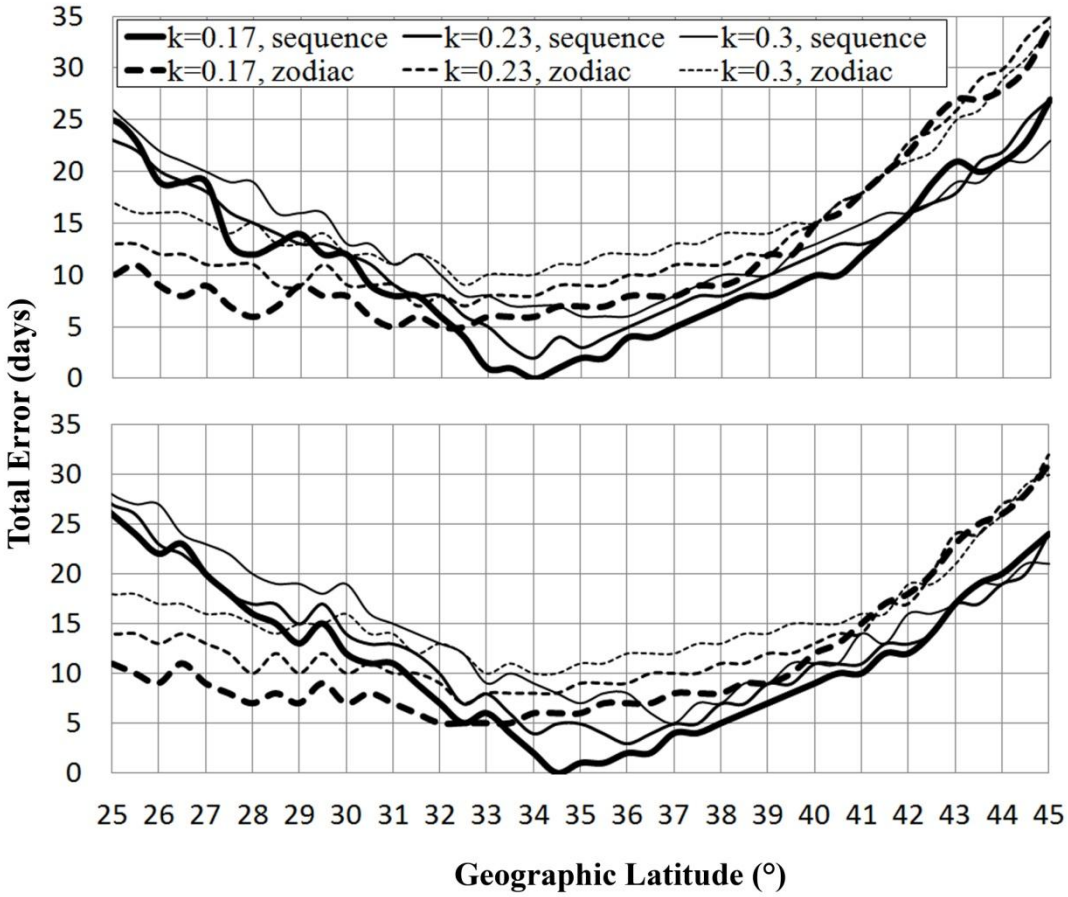


Figure 7: The total sequence error (e_s solid curves) and the total zodiac error (e_z dashed curves) vs. geographic latitude for the events on plate C1-a using the Nawar (*top*) and the Koomen (*bottom*) sky brightness values. k = 0.17, 0.23, 0.30.

"Zodiac errors" were calculated by comparing the calculated zodiac sign to which each event occurs to the distribution among the zodiac signs of the star events of plate C1-a: when the event takes place within the boundaries of the correct (as mentioned on plate C1-a) zodiac sign, an error of 0 days is assigned

while in the opposite case the assigned error is set equal to the number of days by which the event deviates from the correct sign. For each latitude (φ), the sum of the "zodiac" errors (the total zodiac error (e_z)) was calculated (Figure 7).

Figure 7 shows the resulting curves for both the sequence (e_s solid curves) and the zodiac (e_z dashed curves) analyses for all geographic latitudes examined, using independently the Nawar (1983) and the Koomen *et al.* (1952) sky brightness values. The dates of the events calculated with these two sky brightness measurements can differ from 0 to 5 days, so as latitudes of best fit are taken those lying within a range of about 5 days from the minimum of the curves.

Considering both analyses and all cases of brightness values and *k*, the parapegma events are best fitted for latitudes in the range 33.3° – 37.0°N.

Among the several ancient Greek cities that lie within or immediately adjacent to this zone, Rhodes (36.4°N) and Syracuse (37.1°N) have often been suggested as places of origin and/or use of the Antikythera Mechanism. Yet, the preserved part of the Parapegma, adequate for analysis, is very small and thus no strong statements about the geographic association of the Antikythera Mechanism can be made. Furthermore, there are uncertainties as to how the Parapegma was actually created although the fact that the Antikythera Mechanism data fit reasonably well with our numerical solutions of the real events strongly supports the accuracy of the Mechanism's parapegma and its origination from real observations.

5. Computer programming for the true star events

In antiquity, apart from the visible star events, the ancient people also named the true star events, i.e. the events that occur when the Sun and the star are on the horizon and so they are unobservable as well as not of practical value. The calculation of the dates of these events is easy. As the altitude of the both the Sun and the star is 0 ($\upsilon = 0°$), given:

i) the equatorial coordinates (α_{Sun}, δ_{Sun}) of the Sun (365 pairs of values),

ii) the equatorial coordinates (α_{Star}, δ_{Star}) of the star and

iii) the geographic latitude (φ) of the observer

and using again the basic equations (2-3), the sidereal time of the Sun and the star in the east and the west can be calculated($ST_{i\text{-}SunRise}$/$ST_{StarRise}$ and $ST_{i\text{-}SunSet}$/ $ST_{StarSet}$, i = 1 to 365). The true *mr* and the true *er* of the star occur when the $ST_{StarRise}$ value is closest to the $ST_{i\text{-}SunRise}$ and the $ST_{i\text{-}SunSet}$ respectively. Similarly, the star's true *ms* and true *es* occur when the $ST_{StarSet}$ value is closest to the $ST_{i\text{-}SunRise}$ and the $ST_{i\text{-}SunSet}$ respectively. The bold curves in Figure 8 show the total sequence error (e_s) and the total zodiac error (e_z) for each latitude (φ), for 150 B.C., for the events reported on the plate C1-a considered as true events. Compared to the corresponding curves for the visible events, for k = 0.23, the errors for the true events, in both analyses, are much larger than the ones found for the visible events, confirming thus what it was rather expected, i.e. that the star events of parapegma of the Antikythera Mechanism represent the visible events.

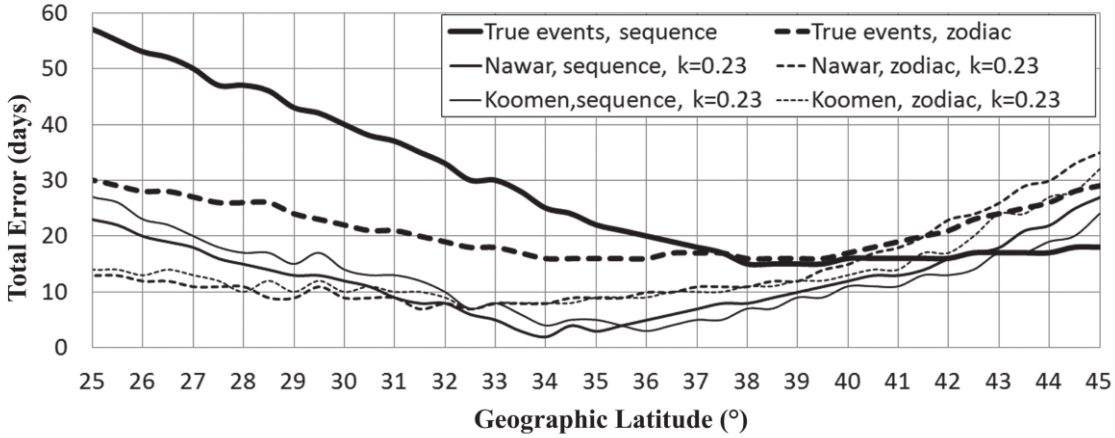


Figure 8: Total error vs. geographic latitude (φ), under the assumptions that the parapegma of the Antikythera Mechanism displays *true* phenomena, or *visible* phenomena. k = 0.23 was used for the visible phenomena.

6. Computer programming for the visible events of other parapegmata

The new method of analysis and calculation of the dates of the visible star events that was developed for the analysis of the parapegma of the Antikythera Mechanism was also applied to three more cases of parapegmata:

- to the parapegma of Euctemon, where quite large sequence error values were found.
- to the parapegma of Eudoxus, where false citations were detected.

- to the parapegma of Ptolemy referring to the clima of 14 hours, where the results corroborate very well the geographic region that Ptolemy describes. In the tables of ascensions in the *Almagest*, Ptolemy identifies the clima of 14 hours with lower Egypt and a latitude of 30°22′. Using spherical trigonometry, the latitude where the longest day was 14 hours in Ptolemy's day is found to be 30°33′. And the actual latitude of Alexandria, where Ptolemy lived and worked, is 31°13′. As Figure 9 shows, using the new developed method, the sequence of the star events and their position among the months of the Alexandrian calendar (which is a similar analysis to the distribution among the signs of the zodiac) give a best fit between 27.8° – 31.5°N. This is a very good confirmation that the new method of analysis yields sensible results.

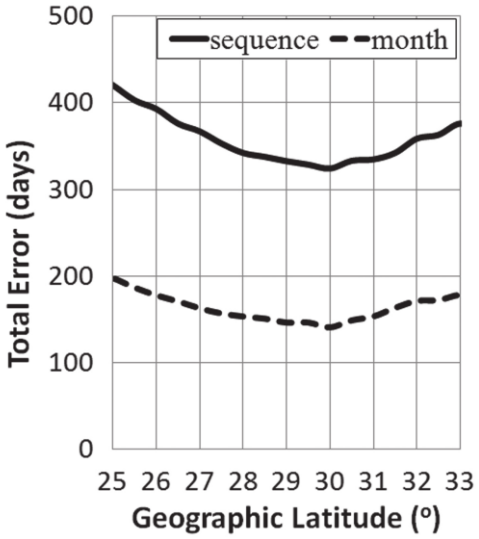


Figure 9: Total sequence (e_s solid curves) and month (e_m dashed curves) error vs. geographic latitude (φ), for k = 0.23, for the star events reported in Ptolemy's *Phaseis* for the clima of 14 hours, omitting the events of α Sagittarii and θ Eridani. The curves are plotted from 25°N to 33°N and represent the average of the e_s and e_m values calculated using the Nawar and the Koomen sky brightness values.

7. Conclusions

Using computer programming, a new method of analysis that can calculate the dates of the visible star events with no free parameters was developed. The application of the method to the largest part of consecutive events of the parapegma of the Antikythera Mechanism shows a nice fitting of the Mechanism's data with the numerical solutions of the real events, giving an area

of best fit in the range of geographic latitudes 33.3°N – 37.0°N. The limited though number of preserved consecutive events does not allow for the latitude where this Parapegma was composed to be decisively established or any strong statements about where the Mechanism was probably constructed or used to be made. Rather, the star phases can be taken as suggesting a likely band of latitudes 33.3°N – 37.0°N. The application of the new method to other parapegmata confirmed its value as a new method of analysis.

Acknowledgements

The authors acknowledge the cooperation of the Antikythera Mechanism Research Project and the National Archaeological Museum in Athens. M. Anastasiou would like to express her gratitude to the Aristotle University for a Ph.D. scholarship. All CT slices are copyright of the Antikythera Mechanism Research Project.

References

Alcyone software (Lange, R.), available at http://www.alcyone.de/

Anastasiou M., Seiradakis J. H., Evans J., Drougou S. and Efstathiou K. (2012), "Positional astronomy and the Parapegma of the Antikythera Mechanism", Proceedings of the meeting: *From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients (Antikythera & SKA)*, Kerastari, Greece, 12-15 June 2012. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=170

Anastasiou M., Seiradakis J. H., Evans J., Drougou S. and Efstathiou K., *The astronomical events of the Parapegma of the Antikythera Mechanism*, Journal for the History of Astronomy 44 (2013), No. 2, 173-86.

Duffett-Smith P., *Astronomy with your personal computer*, New York, 1990.

Evans J., *The history and practice of ancient astronomy*, New York, 1998.

Evans J. and Berggren J. L., *Geminos's Introduction to the Phenomena*, Princeton, 2006.

Freeth T., Bitsakis Y., Moussas X., Seiradakis J. H., Tselikas A., Mangou H., Zafeiropoulou M., Hadland R., Bate D., Ramsey A., Allen M., Crawley A., Hockley, P., Malzbender T., Gelb D., Ambrisco W. and Edmunds M. G., *Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism*, Nature 444 (2006), 587–91. For this paper there is substantial "Supplementary information" available at http://www.nature.com/nature/journal/v444/n7119/suppinfo/nature05357.html

Freeth T., Jones A., Steele J. M. and Bitsakis Y., *Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism*, Nature, 454 (2008), 614–17. For this paper there is substantial "Supplementary information" available at http://www.nature.com/nature/journal/v454/n7204/suppinfo/nature07130.html

Freeth T. and Jones A., *The Cosmos in the Antikythera Mechanism*, *ISAW Papers* (2012).

Heiberg J. L., ed., *Claudii Ptolemaei Opera quae exstant omnia*, vol. II, *Opera astronomica minora,* Leipzig, 1907.

Jones A., *Provisional translation of Ptolemy's Phaseis*, available at www.classicalastrologer.com/Phaseis.pdf

Koomen M. J., Lock C., Packer D. M., Scolnik R., Tousey R. and Hulburt E. O., *Measurements of the brightness of the twilight sky*, Journal of the Optical Society of America 42 (1952), 353-356.

Lehoux D., *Astronomy, weather, and calendars in the ancient world: parapegmata and related texts in classical and Near Eastern societies*, New York, 2007.

Meeus J., *Astronomical Algorithms*, Richmond, 1998.

Nawar S., *Sky twilight brightness and colour during high solar activity*, *The Moon and the Planets* 29 (1983), 99-105.

Price D. de Solla, *Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism – A calendar computer from ca. 80 B.C.*, Transactions of the American Philosophical Society, n.s., 64/7 (1974).

Robinson M., *Ardua et astra: on the calculation of the dates of the rising and setting of stars*, Classical Philology, 104 (2009), 354-375.

Schaefer B. E., *Predicting Heliacal Risings and Settings*, Sky and Telescope, 70 (1985), 261-263.

Schaefer B. E., *Heliacal rise phenomena*, Archaeoastronomy, 11 (1987), 19-33.

Schaefer B. E., *Astronomy and the limits of vision*, Vistas in Astronomy 36 (1993), 311-361.

Schoch C., *The 'arcus visionis' of the planets in the Babylonian observations*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 84 (1924), 731-734.

Tousey R. and Koomen M. J., *The visibility of stars and planets during twilight*, Journal of the Optical Society of America 43 (1953), 177-183.

Wright M. T., *The Antikythera Mechanism reconsidered*, Interdisciplinary Science Reviews, 32/1 (2007), 27-43.

Ακαδημια Θεσμων και Πολιτισμων
Academy of Institutions and Cultures

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

Διεύθυνση- Direction
ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΙΟΥ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗΣ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
JOHN HUGH SEIRADAKIS, Aristotle University of Thessaloniki

Μαριάννα Ευσταθίου – Αλέξανδρος Μπασιακούλης et al.

Marianna Efstathiou – Alexandros Mpasiakoulis et al.

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

The Reconstruction of the Antikythera Mechanism

by

M. Efstathiou, A. Basiakoulis, K. Efstathiou, M. Anastasiou, P. Boutbaras and J.H. Seiradakis

Reprinted from

International Journal of **Heritage in the Digital Era**

volume 2 number 3 2013

The Reconstruction of the Antikythera Mechanism

M. Efstathiou[1], A. Basiakoulis[1], K. Efstathiou[1,*], M. Anastasiou[2], P. Boutbaras[1] and J.H. Seiradakis[2]

[1]Laboratory for Machine Tools and Manufacturing Engineering, Department of Mechanical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, GR-54124, Greece
efstathi@auth.gr

[2]Department of Physics, Section of Astrophysics, Astronomy and Mechanics, Aristotle University of Thessaloniki

The Reconstruction of the Antikythera Mechanism

M. Efstathiou, A. Basiakoulis, K. Efstathiou, M. Anastasiou, P. Boutbaras and J.H. Seiradakis

Abstract:

The construction of the original model of the Antikythera Mechanism is placed during the 2nd century B.C. It is the first device of the human history in which gears are used, with the form that are used in modern applications. Incorporating the most recent findings that came to light, a new design study is attempted in this paper, following an engineering approach. Final purpose is the construction of Antikythera Mechanism's replicas as close to the prototype as possible. The models and their several parts were designed parametrically, using modern 3D CAD systems, intending to a geometrically flexible final output. The related geometries among the parts are constrained to each other. Prior to the construction, the simulation of the movement of the different parts in the assembly and the operational check took place. Finally, the manufacturing designs are generated so as for the last part of the design study to take place, which is the manufacture of the model. With the approach that was followed in every step of the study, the derived models are some of the most consistent constructed models yet, by means of form, dimensioning, material, assembling and inscriptions that brings on their plates.

Key words: Antikythera Mechanism, ancient technology, gears, parametric design, simulation test

1. Introduction

The Antikythera mechanism was a technologically amazing analog computer. It was constructed 2100 years ago and was used to calculate the exact position of the Sun, the Moon and possibly the planets in the sky. It calculated the phases of the Moon, predicted

eclipses and indicated the date of the panhellenic games. It had front and back doors, with astronomical, geographical and technological inscriptions covering much of the exterior of the Mechanism. Thanks to the innovative research techniques used, were read texts lost for over 2000 years. All inscriptions are written in Greek.

In De Re Publica I (Cicero, ca. 50 B.C.) and De Natura Deorum II (Cicero, ca. 50 B.C.), Cicero describes the existence and use of astronomical devices (sphaerae) that he had encountered in Rome and in Rhodes, that could have been the Antikythera Mechanism.

Its dimensions were approximately 30 × 20 × 10 cm - slightly larger than a current Laptop - and contained over 30 gears. It had three main dials, one on the front with two concentric scales, and two on the back in the form of spirals.

It is so important for the evolution of technology as the Acropolis for the evolution of architecture. Similar ancient mechanism has not so far been found.

In 1900 a party of sponge-fishers from the island of Syme discovered accidentally an ancient shipwreck off the coast of the island of Antikythera. The excavation began at the end of November 1900 and a few months later were recovered important findings, such as the famous Antikythera Ephebe, many of which are nowadays exhibited at the National Archaeological Museum of Athens. Among the findings, was the Antikythera Mechanism, which - broken, corroded and petrified after 2000 years on the seabed - was going to change the knowledge that we had so far on the technological skills of our ancestors. From Pergamon coins that were retrieved, the wreck is dated between 85 and 67 BC. The detailed form of the lettering of the Antikythera Mechanism can be dated to the second half of the 2nd Century BC, implying that the Mechanism was constructed during the period 150-100 BC (Carman, 2013; Freeth, 2006).

The Antikythera Mechanism contained at least 30 cooperating gears and several pointers. Detailed studies of the Mechanism indicate that it had at least 37 gears, 27 of which have been identified in the largest of the calcified fragments (Fragment A). The existence of ten more gears has been determined taking into account astronomical calculations (Efstathiou, 2012; Freeth, 2006; Freeth, 2008; Price, 1975; Wright, 2004). The Antikythera Mechanism incorporated also 2 crown gears, 17 shafts, a double axle bearing 2 off-centered axes and one axle-shaft. It has 8 pointers, which give 9 readings in the scales of the Mechanism (the pointer of the Moon gives two readings).

On the front side, there were two concentric circular scales, see figures 1 and 3. The outer scale had 365 subdivisions and the names of the 12 egyptian months in greek. The inner scale had 360 subdivisions and the names of the 12 zodiac constellations. The operator, by turning a crank handle, moved the gears that in their





Figure 1. Model V1.1 of Antikythera Mechanism built by the "Aristotle's University of Thessaloniki Antikythera Mechanism Research Team".

turn rotated on the front side three pointers that indicated the date and the position of the Sun and the Moon on the sky. Beneath the outer scale, which was removable, there were 365 holes. Every four years the operator could detach it and shift it by one hole, thus taking into account leap years. A rotating sphere, adapted with a crown to the pointer of the Moon, displayed the phases of the Moon. The movement of the Moon is not circular but elliptical. The display of this movement, taking into account the anomaly caused by its

eccentric orbit around the Earth, was achieved by the use of two eccentric gears, the axes of which are distanced by 1.1 mm. The lower gear has a pin that engages with a slot on the upper gear, forcing it thus to rotate by the pin-and-slot arrangement. The epicyclical movement of the upper gear tracked the motion of the Moon in the sky with great accuracy (Freeth, 2006; Freeth, 2008; Gourtsoyannis, 2010; Price, 1975).

This study of the Mechanism started at 2007 in Aristotle's University of Thessaloniki (AUTH) and leads to the construction of models. The first model (V1.1) was built at 2008, see figure 1 (Efstathiou, 2009).

2. New Facts

Modern studies of the mechanism's fragments were made using an innovative and state of the art high power micro-focusing X-ray tomography, constructed by X-Tek Systems, UK, and the Hewlett Packard, USA, PTM Dome technique representation devices, built especially for that purpose. The three-dimensional images retrieved by modern tomography, see figure 2, brought to light unknown aspects of its interior, which stayed hidden for more than 2000 years at the bottom of Ionian Sea. These methods indicate, for the first time, the existence of writings less than a tenth of a millimeter thick. Also, important data about the interior structure, complex gear system, shafts and axles became evident (Freeth, 2006; Freeth, 2008; Ramsey, 2007; Ramsey, 2012; Maltbender).

2.1 The mechanisms' back-side scales (Metonic and Saros scales)

At the back side of the mechanism were two spiral scales, whose curve was followed by the corresponding pointer. The upper spiral consists of 5 windings, with its total length divided in 235 sections, corresponding to the 235 months of metonic period. On these sections were carved the ancient names of the 12 months and were repeated

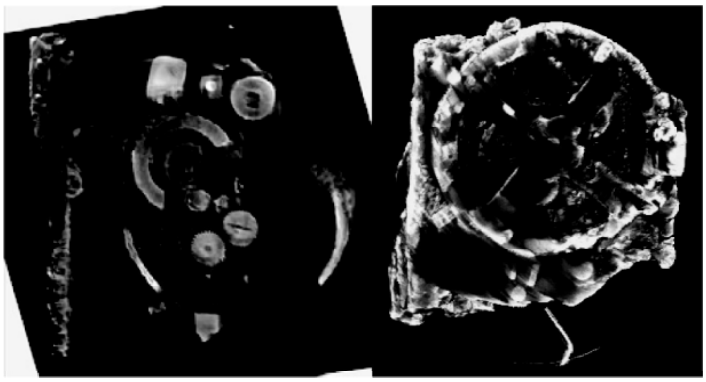


Figure 2. Images retrieved by the X-ray tomography.

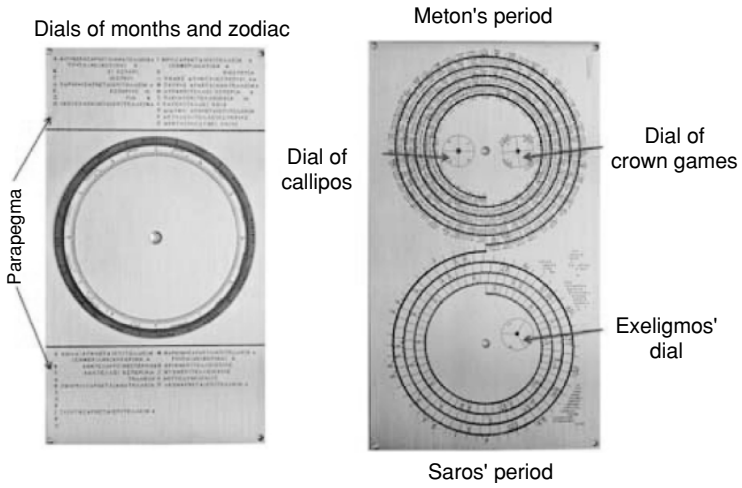


Figure 3. The front and back plates with their dials.

until all 235 months were completed (19 years), see right part of figure 3. The definition of the scale's full size as well as of the glyphs of which it consists was made only recently possible, thanks to the high fidelity tomographer built for that purpose, since the maximum carving depth does not exceed a tenth of a millimeter. The lower back dial is a Saros eclipse-prediction dial, arranged as a four-turn spiral of 223 lunar months, with glyphs indicating eclipse predictions.

The analysis of the type of the spirals confirms Wright's (2004) first report that the spirals are Half Circles Spirals. The results of Anastasiou (2012) analysis show that both the Metonic and the Saros dial of the back side of the Antikythera Mechanism were designed as Half Circles Spirals, drawn from two different centres. The two centres of the Metonic dial are the pointer centre and an *upper centre* while the two centres of the Saros dial are the pointer centre and a *lower centre*. The difference between the placement of the two centres in the two spirals may seem at first as a peculiarity in the way the mechanic worked, as one would expect the extra centres to be either both upper or both lower centres. This difference though is due to the different structure of the two spirals. The mechanic worked in the same way in both spirals, e.g. beginning from the extra centre in order to draw the first semicircle of each spiral (the left one for the Metonic dial, the right one for the Saros dial) and moving on to the pointer centre in order to draw the opposite semicircle (Anastasiou, 2012).

2.2 Inscriptions

The mechanism brought two additional plates adjusted on its doors. Tomography's latest findings indicate a script also carved on them. Up to date, there have been read more than 3000 carved Greek letters,

forming words and sentences, referring to astronomical, geographic and technical terms. Most letters height ranges from 1.5 to 2.5 mm and were carved by a calligrapher.

The representation of the mechanism scales at its two outer sides as well as the script on the two plates adjusted on the inner sides of the wooden case, which are also carved, have been made with great precision as shown in VG Studio Max measurements, a program which computes X-ray tomography creating a 3D representation of the mechanism. A new true type font (Antikythera True Type Font), an exact replica of the letters inscribed on the Mechanism has been created, by "Aristotle's University of Thessaloniki Antikythera Mechanism Research Team", for the impression and carving of the letters which simulates the style of the artist who carved the original inscription, see figure 4 (Efstathiou, 2009; Efstathiou, 2012).

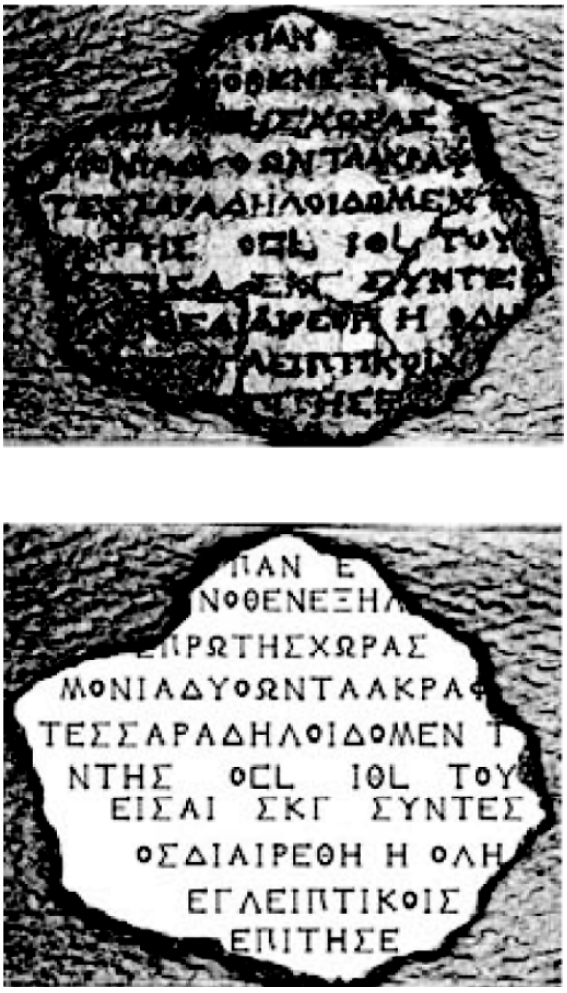


Figure 4. Reconstruction of the text found on fragment 19, with the aid of the Antikythera True Type Font.

2.3 Gears

Gears constitute the main feature of the mechanism. Their use in a rather technologically premature time is what makes it spectacular. Fragments analysis confirms the existence of 27 gears. The study of the scales and measurements that the mechanism supposedly could do, from astronomical aspect, led to the conclusion that the original device had at least 10 more gears (see figures 5 and 6). Tomography studies showed the triangular shape of the gear teeth (Efstathiou, 2012; Freeth, 2006; Wright, 2004).

The featured values of each gear that should be defined, in order to built true and operating models, are the tip radius, root radius and the number of its teeth, dimensions that cannot be completely exact as the teeth sides and their diameters are not clearly distinguishable.

At first it was considered that the manufacturer was aware of the relation between the angular velocities and thus the teeth number of all working gears. Then, various sets of dimensions of the aforementioned values were tested so that their geometry is in the

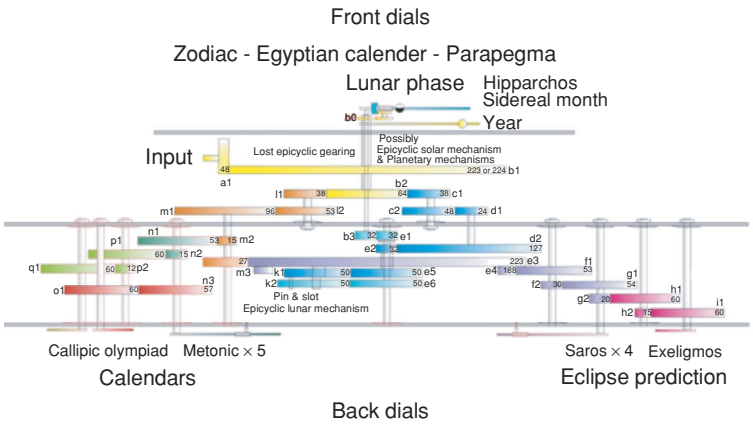


Figure 5. Diagram showing the kinematic relations and the various pointers (Freeth, 2006).

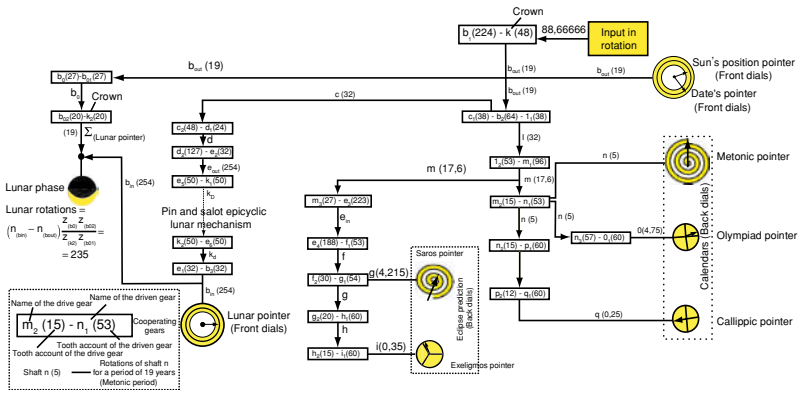


Figure 6. Gears' trains of the Antikythera Mechanism.

tolerable range resulting from the tomography scanning but also fulfilling their function. The method followed (Efstathiou, 2012), lies in the identification of common sizes between the gears. The root angle, tip radius, root radius, the number of teeth and the length of the chord formed by the peaks of two successive teeth were studied along with the proportions given by their combinations. Finally, values which ensure the smooth operation of the mechanism but also maintain the same dimensions to the original were selected. The gears in the Mechanism differ in form only in the way of their support. There are gears that rest on shafts, so they have a square center hole, and gears that rest on axles, so they bear hole of circular shape.

2.4 Moving pointers

As moving pointers (see figure 7) are referenced the two pointers on the back side of the Mechanism that give indication on the two spirals of Meton and Saros. The upper back dial was a complex luni-solar calendar within the Metonic cycle of 19 tropical years, which is almost exactly equal to 235 synodic (lunar) months. The lower ring was divided into 223 cells (each corresponding to a synodic month) distributed over four turns of a spiral. Most cells are empty, but in the months in which an eclipse would take place, the cell indicated that an eclipse would happen, the time at which it would happen, and whether it would be a solar or a lunar eclipse. Eclipses repeat every 223 months in a pattern known as the Saros cycle. If a solar eclipse took place today, then 223 months from now a very similar solar eclipse would take place. Therefore, that pointer could be used for predicting eclipses indefinitely. But the prediction of the succeeding cycles is not perfect. From one cycle to another, the occurrence of eclipses shifts 8 hours. The shift is compensated for by a subsidiary mechanism inside the Saros ring: a pointer on this subsidiary mechanism turns very slowly (one turn every 54 years, that is, every three Saros cycles), indicating whether one needs to add 8 hours, 16 hours, or nothing to the value of the time inscribed in the cell (Carman, 2013).

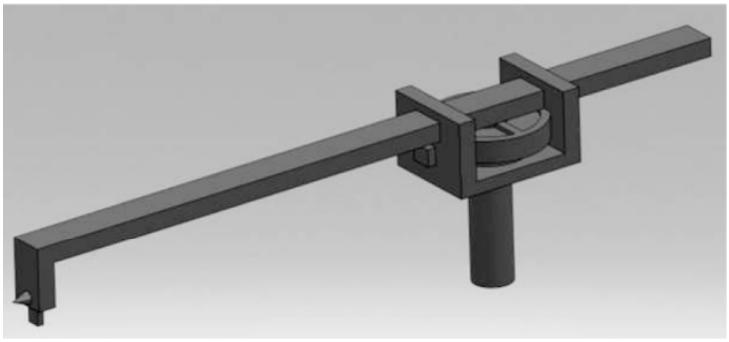


Figure 7. The moving pointer of the back side (Anastasiou, 2012).

The pointers for the Metonic and Saros scales follow each spiral during their movement. This is feasible due to a point-ended finish. Their length is determined by their position fully extended when they point at the outer endpoint of each spiral.

Finally, they must be able to be set at the start of the calculations prior to the user's enforcement of motion. To satisfy the above kinematic requirements, careful design of their support must take place, so as to be firmly connected to the shaft whose angular velocity receive, while they are able to move along the longitudinal axis and to be detachable.

The reconstruction of the entire pointer mechanism is shown in figures 7 and 8 (Anastasiou, 2012). The cylindrical *rotating shaft* is trimmed to a square-shaped end so that another *head cup* component can fit on it. The head cup is a cylindrical component with a square hole at its bottom surface to fit on the shaft. The head cup gradually becomes larger, taking at its top the form of a much larger disk with some rather strange formed quadrant cavities. The circular shape of this disk is cut to straight vertical surfaces, which fit to the two sides of the *holder of the pointer*. The holder of the pointer has the form of a rectangular base with two vertical sides. The pointer goes through the upper hole which is larger than the lower one. A square shaped pin goes through the bottom hole fastening the head cup component to the holder of the pointer, serving thus a crucial double role: (a) transferring the rotation of the shaft to the holder of the pointer and thus to the pointer and (b) securing the holder of the pointer to its right position allowing thus the pointer to freely move through the upper hole and follow the full Metonic spiral.

The holder of the pointer has a circular opening at its bottom, much larger than the cylindrical base of the head cup. Probably this gap was intentionally created to facilitate the resetting of the pointer. When the pointer reached the end of the spiral, it could easily be set again at the start by removing the square pin, lifting the holder of the pointer by ~2 mm (so that the pointer's guiding pin could be lifted from the gaps of the spiral) and sliding the pointer back to the start. As

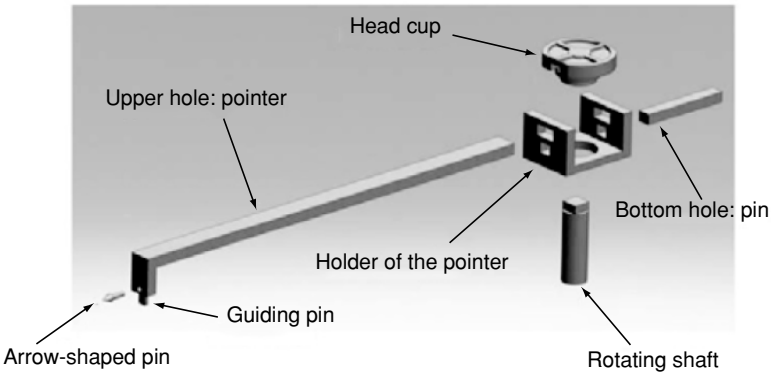


Figure 8. Exploded view of the reconstruction of the pointer mechanism (Anastasiou, 2012).

the holder of the pointer was securely adjusted to the disk, there could be no other displacement of the pointer other than its vertical shifting and so no errors could occur in the accuracy of its position. A simpler idea about the resetting of the pointer could be that the pointer was perhaps just bent a little and slid back.

3. Design Study and Operational Simulation

3.1 Parametric design

The continuous study on the Mechanism and the breakthroughs of modern tomography and technology in general, make the results concerning the functions and design of its models continuously evolving. For the afore-mentioned reason, it was decided that the design should take place in such a way that the geometric and dimensional values that are under study could be easily changed without the need of redesigning the functional elements. This approach accommodates the process of examining the effects of various sets of geometric forms and values to the operability of the final model, see figure 9.

With the use of the parametric design method, initially the basic form of each part is selected. For each part, are determined the basic geometric shapes and dimensions that the kinematic limitations impose. Afterwards, the geometries whose properties are under study and are prone to change, are selected. As a result, an adaptive model is produced with geometric elements that can be changed at will. Especially for the determination and check of the center-

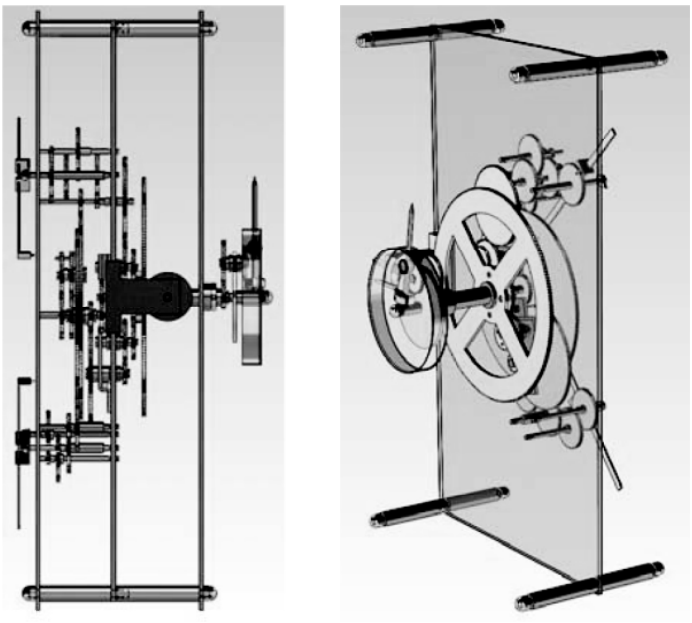


Figure 9. Different views of the designed model.

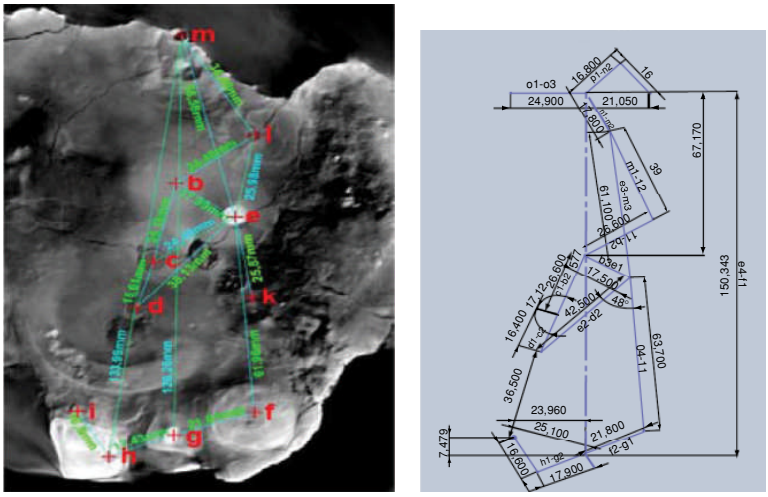


Figure 10. The centers of the shafts as measured in tomography of fragment A (left). The zero-DOF kinematic mechanism (right).

distances of the cooperating gears, the diagram that defines the position of the centers of the holes on the plates, through which pass the shafts and axles, see figure 10(left), was simulated by a planar kinematic mechanism that consists of several parts and has well-defined degrees of freedom (DOF), see figure 10(right). The length of each part represents the corresponding center-distance of the cooperating gears. The nodes of the parts represent the center of each hole, see figures 11 and 12. In the diagram of figure 10(right) were registered the angles between the different members, as measured in the results of the tomography, resulting in a zero-DOF model.

Parametric design, as described above, demands the use of CAD software. In the following paragraphs is described the application of the afore-mentioned methodologies in the design of the various elements of the Mechanism, with use of general principles that can be applied identically in every 3D CAD system.

3.1.1 Gears

The gears are the most important part of the Mechanism. The study of the parts that were found gives results only for some of them and not precise. The basic values that need to be defined is the diameter of the root and tip cycles, the root angle and the number of the teeth for each gear, since it has been selected planar face of tooth. In addition, it must be determined whether they have an orthogonal or circular hole in their center. This depends on whether they transmit or receive motion from the shaft they rest on, moving with the same angular velocity, thus having orthogonal hole, or they move independently to the shaft, leading to different velocities and circular

Figure 11. The zero-DOF mechanism projected on the middle plate, defining the centers of the holes, through which pass the shafts and the axles.

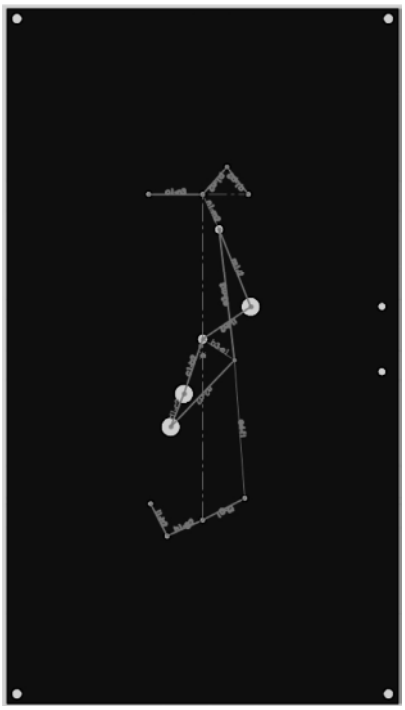
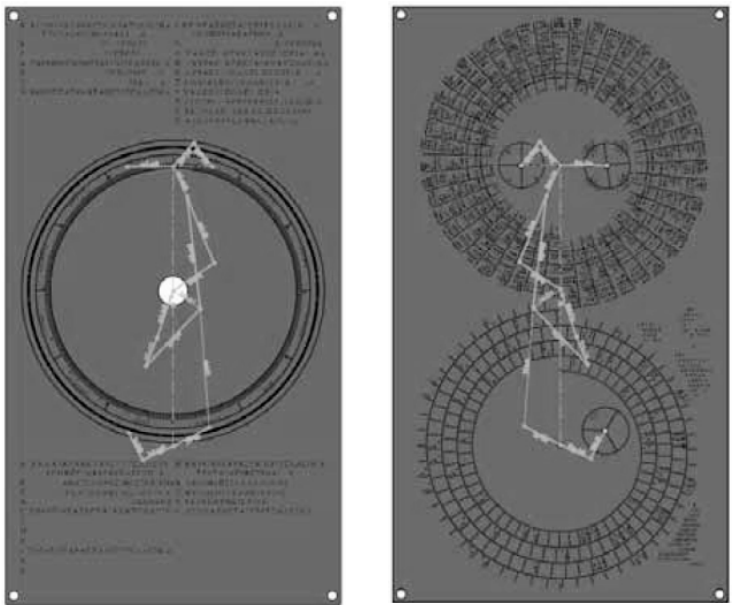


Figure 12. The zero-DOF mechanism projected on the front and the back dial plates, defining the position of the pointers' centers.



center hole. Having decided the above (Efstathiou, 2012), the gears are designed in such a way that the diameters of the root and tip cycles along with the number of the teeth are designated to be

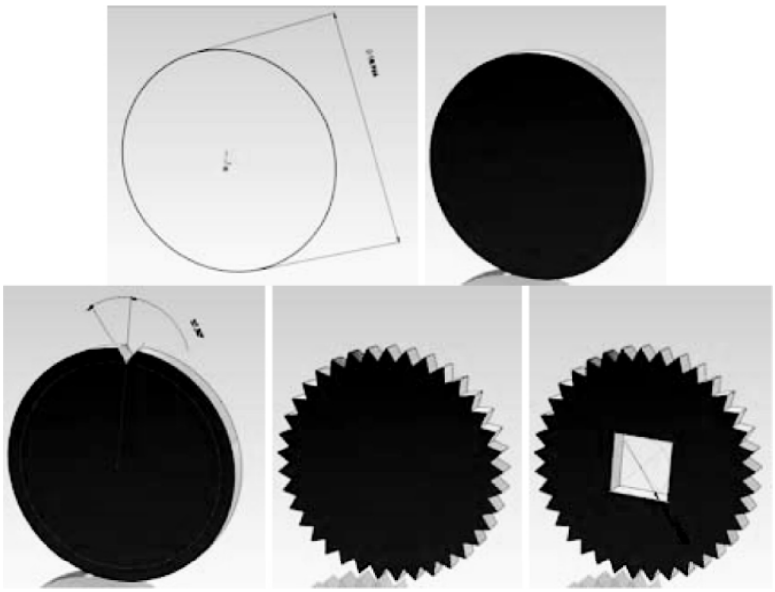


Figure 13. Steps of the parametric design of the gears.

varying values, see figure 13. Finally, to improve manageability, a table with the values of the selected geometries is constructed. Changes in these values lead directly to changes in the geometry of the gears. This way it is possible to test different sets of dimensional and geometric combinations for their operational and assembly ability without the need of redesigning the various elements that need to be readjusted.

3.1.2 Shafts and axles

The geometry of the shafts and axles that lie in the Mechanism is basically described by the number, position and type of support of the gears that rest on them, their length and the way they are attached on the plates. For the determination of the points on the shafts that bear the gears, planes were defined with regard to a stationary reference point. These planes define the position of the according shaping on which the gear rests, see figure 14 (left). There is also the capability of choosing whether the designed shaft rests on one or two points and whether it bears pointer or not, which leads in different base geometry.

The common circular elements of the pairs of internal and external shafts were linked for accommodating the redesign process. Similarly, the total length of the shafts changes according to the type of support and the presence of pointer on their ends. The aforementioned linkage of the selected values along the various parts allows their dimensions to be set universally and controlled at any point of the design reducing drastically the time needed to impose any desired

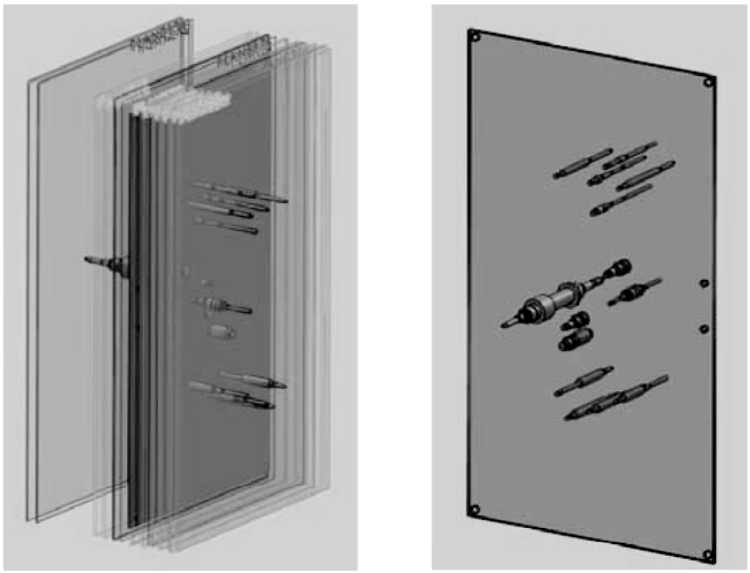


Figure 14. The various planes for the design of shafts and axles (left) and the final assembly of these shafts and axles on the middle plane (right).

change. Finally, a table is created containing geometric elements and their dimensions. Changes in this table lead directly in the creation of new models for the selected component.

3.1.3 Plates

The plates of the Mechanism are described by the position and diameter of the holes for the shafts and axles through which they run or rest. The simulation of their positional diagram with planar kinematic mechanism (see paragraph 3.1)allows changes in any of its degrees of freedom. This way many configurations of center-distances and member angles can be checked for their consistency. In addition, the holes were designed in such a way that their diameter can be adjusted without the need of redesigning the affected parts. The existence of a hole for a given shaft as well as its diameter can be selected for each plate. The plates and the positional diagram of the shaft holes during the design process were arranged in such a way that their centers are projected onto the correct position and thus not needing geometric recalculations for every plate.

3.1.4 Pointers

The geometry of the pointers is directly defined by the scales on which they give measurement. Initially, the pointers are arranged by their form in stationary, moving along their length and these of the moon and sun creating a different basic geometric model for each

group. The total length of each model was given as a parameter. For the stationary pointers the length is derived by the diameter of the small circular scales inside the spirals; for the moving ones, see figure 7, it is defined by the maximum diameter of the spiral raised by some millimeters due to its special support; for the pointers of the sun and moon the total length is defined by the diameters of the circles of the scales of year days and Zodiac in the front side of the Mechanism. Figure 15 shows the mechanical system of the Lunar pointer. The two colored sphere represents the moon and indicates its phases.

3.1.5 Various components

In this group are rated all these components of the Mechanism that could not be put in larger groups due to their special use or their geometric divergence, see figure 16. For this reason, parametric design of these objects was limited to linking their dimensions that depend directly on other parts to these values. Below, these values are referenced for the individual parts:

Wooden case: the dimensions of the walls were associated with the corresponding dimensions of the plates. Their thickness was defined as a common parameter in order to change for all by regulating a single variable.

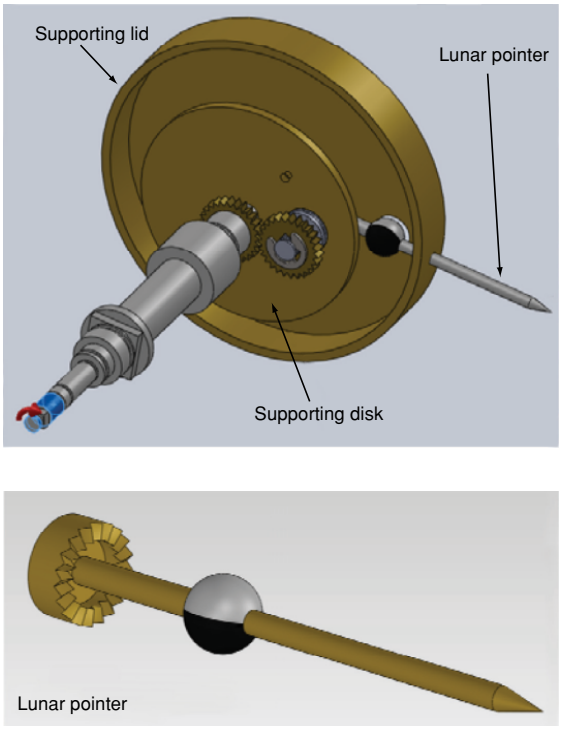
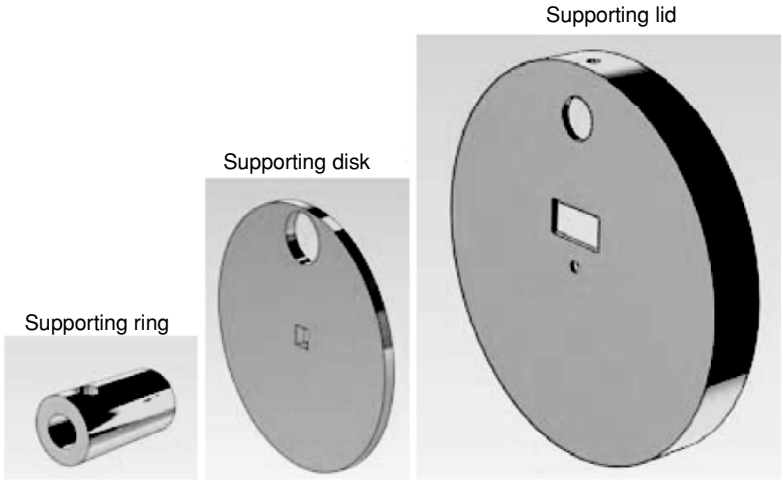


Figure 15. Mechanical device of the Lunar pointer (up) and the Lunar pointer with the crown-gear a_2 (down).

Figure 16. Various components of the Mechanism.



Supporting ring of the moon pointer (see figure 16): the position of this ring is between the supporting disk and the supporting lid and rested on b_{in} axle. The diameter of the hole perpendicular to the axis of the ring was connected with the diameter of the pointer of the moon. Also, the diameter of the central internal hole of the ring was connected with the diameter of the b_{in}-axle on which rests.
Supporting disc of b_0-shaft (see figure 16): this disc is defined by the hole which bears the b_0-shaft. The position is determined by the center-diastance of gears b_0 and b_{01}. Furthermore, its diameter was linked to the diameter of b_0-shaft at that point.
Supporting lid of the moon shaft-pointer (see figure 16): the position of the crown and sphere on the moon pointer determines the position of the rectangular and circular holes that are on the front surface of the lid. Finally, the diameter of the hole in the side surface was linked to the diameter of the moon pointer at that point.
Support of crown-gear a_1 (see figure 17): for this support, the position of the hole bearing the a_1-crown-shaft was linked to the distance of gear b_1 from the middle plate so as to ensure the unobstructed mesh of the crown and gear. Its diameter was also linked to the diameter of the shaft that runs through it.

3.2 Assembled arrangement

While in the classic design process the formation of the assembled model follows the creation of individual components, in the present work, because of the effort to design the model parametrically, the assembly was constructed prior to the parts following a top-down approach. Thereby, it was possible to establish fixed points in space that determine the construction details of the components directly

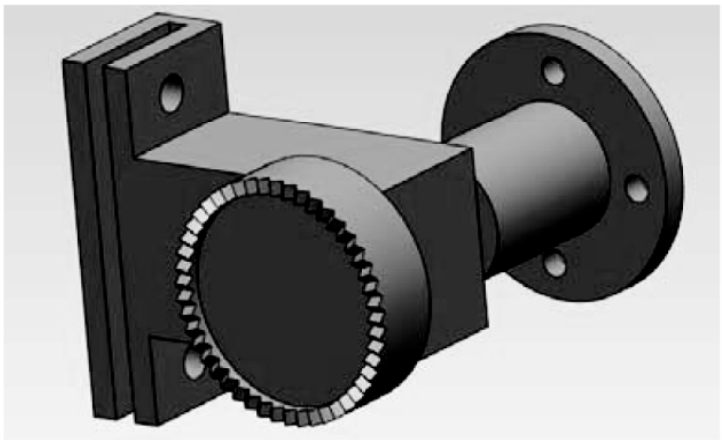


Figure 17. Support system of crown-gear a_1.

and in batch. For example, setting the surface of the middle plate of the Mechanism as a fixed reference point and defining the distances of the planes at which the gears rest based on that, shafts and axles are designed so that their length is a function of the position of these planes. In this way, a change in any of these distances directly updates the geometry of the shaft or axle without requiring inspection and redesign of the individual parts.

With the construction of an operational replica to be the ultimate objective of the study, an assembly guide of the constructed components is essential. The design of the model using three-dimensional imaging software, administered all the necessary exploded views of the final arrangement, see figures 18 and 19, that guide the assembly of both components and the entire Mechanism.

3.3 Simulation and operational inspection

The object of this study is the manufacturing of a working model of the Mechanism for its operational control. For this to be achieved, the standard practice dictates the construction of the model in

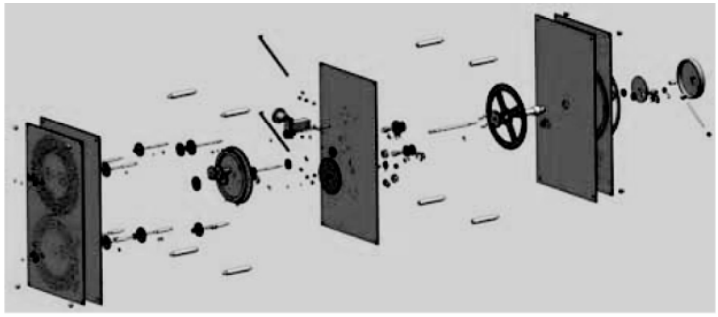


Figure 18. Exploded view of the Mechanism.

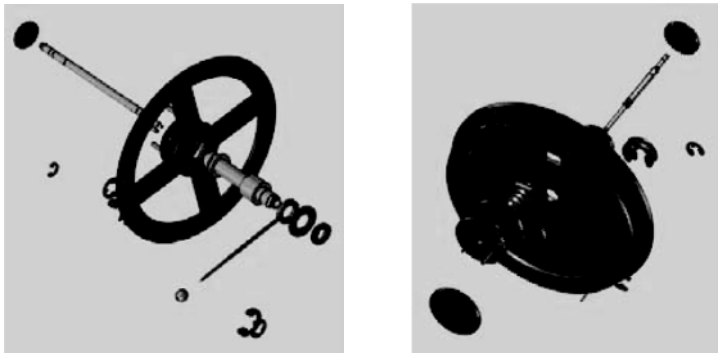


Figure 19. Exploded views of different stages to guide the assembly.

phase one and its function control in phase two, in this particular order. However, the use of bronze as a construction material and the precision forming processes required for the construction of most components would make this methodology expensive and time consuming. Thus, after the 3D modeling of the various elements, the use of simulation of motion, contact and loading of rigid bodies software was selected for operational analysis.

The operation of the Mechanism is based on its external excitation by the rotating handle that bears on its side and so the crown-gear a_1 which is directly connected to it. The load is applied manually and so the angular velocities of the rotating parts do not exceed the range of the externally forced velocity which varies between 30 – 50 rounds per minute. Additionally, the interrupted pattern of the load due to the anatomic limitations of the human limb, which plays the part of the stimulator in the system, prevents vibrations due to rotational masses. For the above reasons, the model was tested statically, whereas for the gears the ability of engagement and transmission as well as the possibility of jamming was verified.

The assembled arrangement was then tested through simulation. Initially, all the properties of the material had to be defined. Bronze was selected as construction material, which was also the construction material of the ancient prototype. Then the motion limitations and degrees of freedom were defined. The way the shafts and axles rest includes immobilization of the ones supported on the middle plate. This way, the support disallows the motion of the shafts along their geometric axis while it allows rotational motion. Similarly, the motion limitations of the support of the gears on each shaft are imposed. The gears with square center hole behave as a rigid body along with the corresponding shaft on which they rest. They do not move relative to the supporting shaft, neither along its axis, nor around it. Contrary to this, the gears with circular center holes do

not move along the axis of the shaft, but they are able to freely move around it. Additionally, the connections of internal-external shafts are defined as clearance fit, with the desired allowances, while the support of the solar and lunar spheres to the corresponding pointers is achieved through interference fit, for which the corresponding allowances are also defined. As point of excitation the shaft of the rotating handle and the crown-gear a_1 is selected, while the type of the load is described as continuous with fixed angular velocity.

The motion study was based on linear static analysis, using the Finite Element Method (FEM), to calculate stresses. This method is a reliable numerical technique for analyzing engineering designs. FEM replaces a complex problem with many simple problems. The model is divided into many small pieces of simple shapes called elements. Elements share common points called nodes. The behavior of these elements is well-known under all possible support and load scenarios. The motion of each node is fully described by translations in the X, Y, and Z directions, called degrees of freedom. Analysis using FEM is called Finite Element Analysis (FEA). Next, the equations governing the behavior of each element are formulated taking into consideration its connectivity to other elements. These equations relate the displacements to known material properties, fixtures, and loads. Then, the equations are organized into a large set of simultaneous algebraic equations. Solving of these equations leads to the displacements in the X, Y, and Z directions at each node. Using the displacements, the strains in various directions are calculated. Finally, mathematical expressions are used to calculate stresses.

Primarily, the engagement of the gears was tested to avoid jamming possibilities. This was achieved by rotating the corresponding items to identify areas of overlapping volumes. Where this was the case, the distances between the shafts or axles where recalculated, with regard to the calculated acceptable tolerances (Efstathiou, 2012). The representation of the system by a planar kinematic mechanism allowed direct application of the changes, while preserving the rest of the distance relations which ensure the cooperation of the gears already tested. Next, the rest of the construction was tested, mainly with the purpose to investigate the shafts-axles durability due to the small diameters that appear on occasion. Where the results were not considered satisfactory, the corresponding geometry was re-adjusted to achieve the desirable operational endurance.

In figure 20 the final version of the designed gear system of the Antikythera Mechanism is shown. Figures 21–23 show the separated

Figure 20. The gear system of the Antikythera Mechanism.

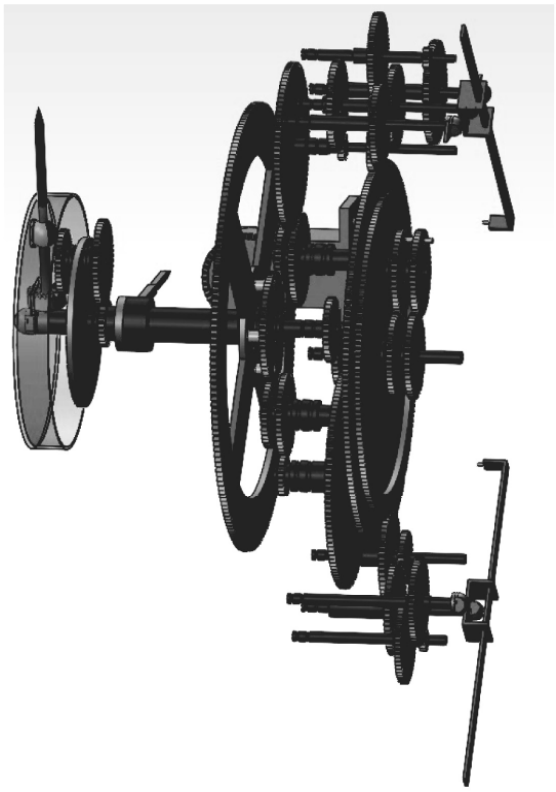
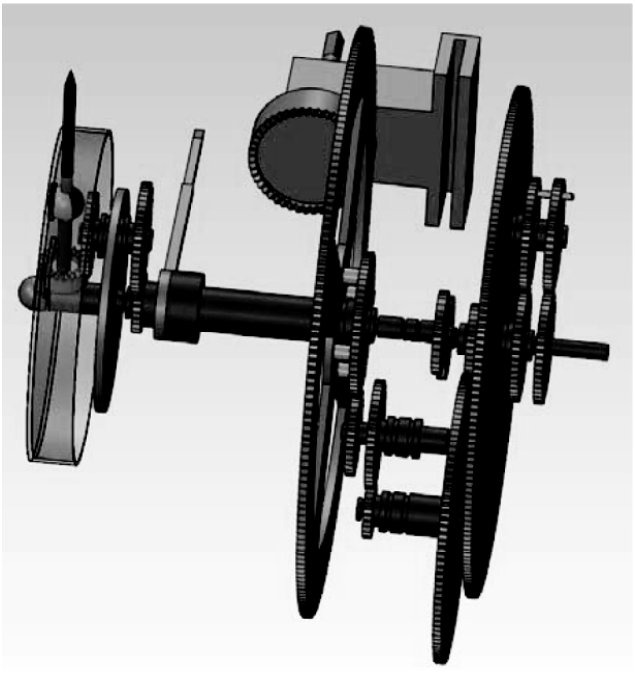


Figure 21. The Solar-Lunar gears' train.



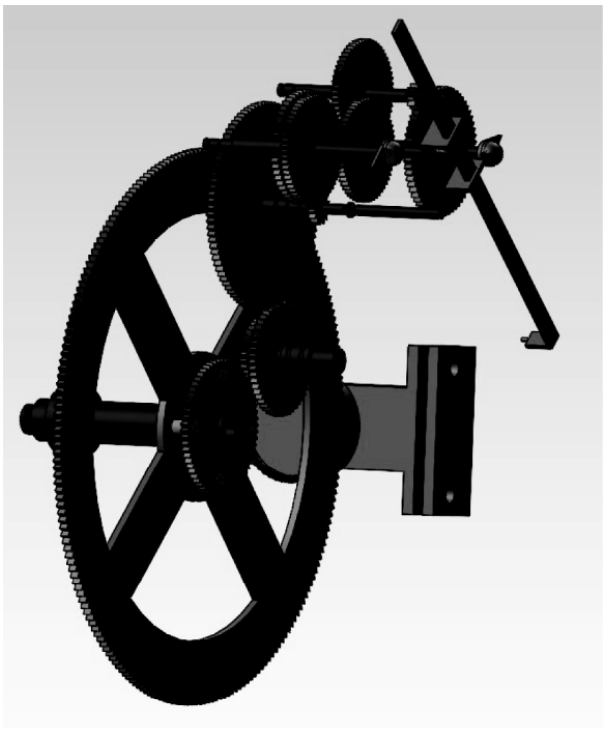


Figure 22. The back upper dial's (Metonic dial) gears' train.

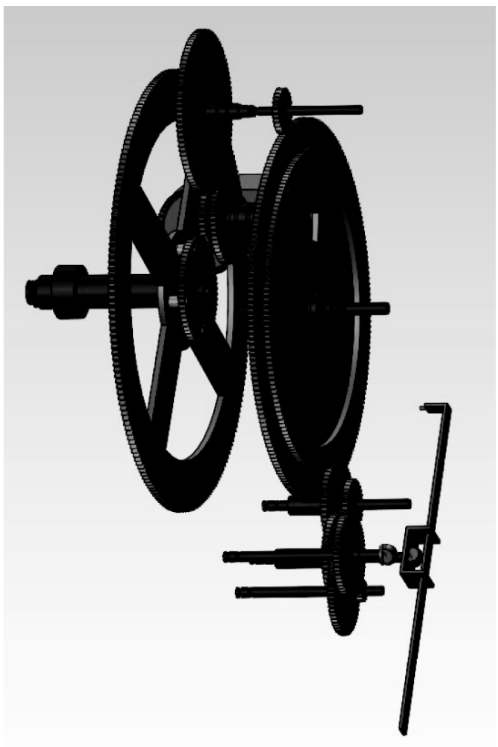


Figure 23. The back lower dial's (Saros dial) gears' train.

gears' trains for the Solar-Lunar system, the Metonic dial system and the Saros dial system.

4. Construction

This study of the Mechanism started at 2007 in Aristotle's University of Thessaloniki and is completed with the construction of models. The first model (V1.1) was built in year 2008, see figure1. Three years later the second version of the Antikythera Mechanism replica was constructed (V2.1), see figures 24 and 25.

The complexity of the elements of the Mechanism requires the use of several machining methods for the construction of its individual components. The 37 gears were constructed using electrical-discharge wire cutting (V1.1) and laser cutting (V2.1). For the construction of the 2 crowns multi-axis milling was implemented. The 19 axles and shafts were machined with the use of 3-axis turning. The glyphs and inscriptions markings of the plates required laser-beam marking and CNC milling with formed tool. The processing of the grooves between the spiral scales was made using 3-axis CNC milling while the 365 holes on the front dial used CNC drilling.

Today the "Aristotle's University Antikythera Mechanism Research Team" has completed the design of the third version of the Mechanism (V3.1) and is ready to start the manufacturing. In figure 26

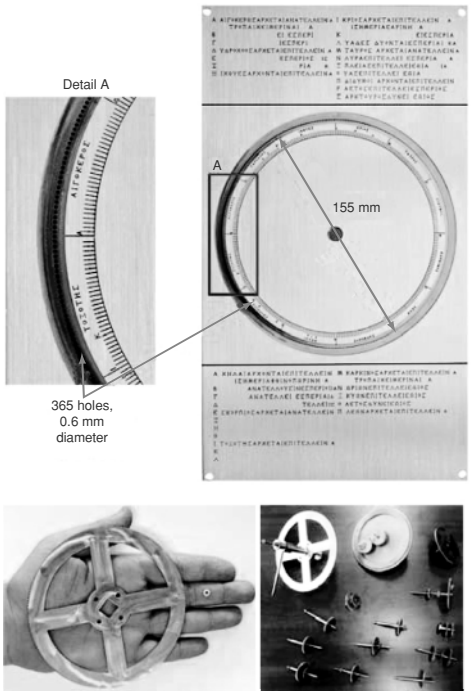


Figure 24. Final constructed parts of the Mechanism's replica V2.1.

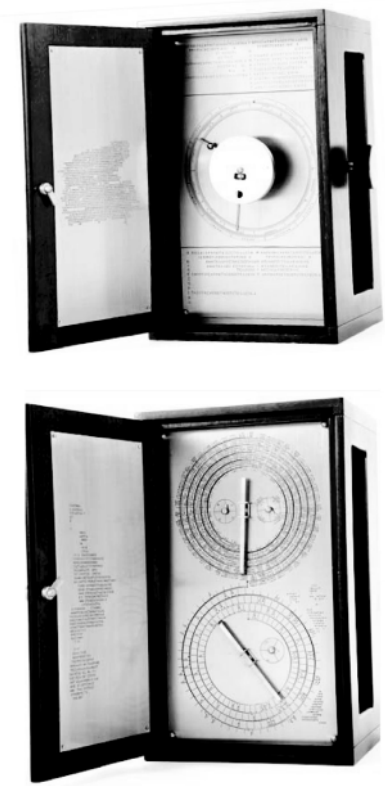


Figure 25. Replica V2.1 of Antikythera Mechanism.

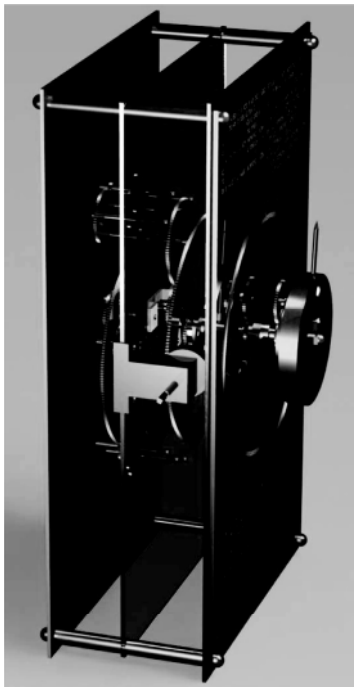


Figure 26. Photorealistic picture of the new designed model V3.1, without the wooden case.

is shown a photorealistic picture of the new designed model V3.1, without the wooden case.

5. Conclusions

As it becomes clear from the preceding analysis the design study of the Mechanism with the intent of constructing true and functional models presents multiple challenges. The most recent findings that accrue from the study of the fragments were considered as the base for the definition of the geometry of its parts. While selecting the material, form and dimensions of the different components particular attention was paid so as to preserve the basic working principles of the prototype, with the purpose to achieve the highest possible fidelity of the copy.

The design of the various elements followed. Because the research regarding the Mechanism is ongoing, it was considered best to create a model that is adaptive to various combinations of dimensions and forms minimizing the time required for redesign. The principles of parametric design were applied for the creation of the models. Initially, for each set of similar functioning items, the basic elements that describe their geometry were defined. The relationships that connect these elements were given, as they are dictated from their operating requirements. Next, the values of the dimensions were given as parameters capable of changing. Last, the common elements of geometry among the items were linked so that a change to the geometry of one item leads to direct readjustment of the dependent items.

Following this, the various models that derived from the different combinations of geometric values were simulated to identify possible

Figure 27. Metonic dial.





Figure 28. Panhellenic games dial.

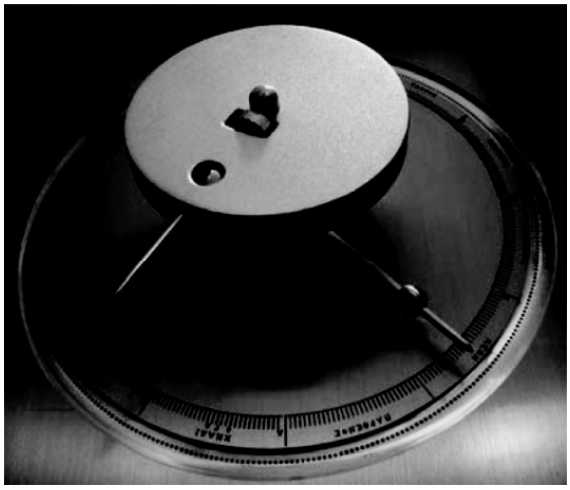


Figure 29. Front side's dial.

problems. The results of the simulation led every time to re-evaluation and re-adjustment of the dimensions causing failure. Finally, the ideal form of the model emerged, at least from a functional standpoint.

The final result of the study was the creation of the manufacturing designs for the final stage which is the model's construction. In addition, designs were created to lead the assembly of the Mechanism through the necessary exploded 3D model views. The use of several manufacturing methods resulted to the final

Figure 30. Saros and exeligmos dials.



operational model, dimensionally consistent to the prototype and using the same material. In figures 27-30 are shown detailed photos of several areas of the constructed model V2.1.

6. Acknowledgements

The authors acknowledge the cooperation of the Antikythera Mechanism Research Project and the National Archaeological Museum in Athens.

7. References

Anastasiou M., (et al.), 2012, The Antikythera Mechanism: The structure of the mounting of the back plate's pointer and the construction of the spirals, 5th ESHS (European Society for the History of Science) Congress, Athens.

Carman C., 2013. Decoding the Heavens: A 2,000-Year-Old Computer— and the Century-Long Search to Discover Its Secrets, Notices of the AMC, Volume 60, Number 6, pp. 741–744.

Cicero Marcus Tullius, De Re Publica, I (ca. 50B.C.), XIV, 21–2.

Cicero Marcus Tullius, De Natura Deorum II (ca. 50B.C.), XXX.

Efstathiou K. (et al.), 2009, A New Model of the Antikythera Mechanism, XXIII ICHST (International Congress of History of Science and Technology) Ideas and Instruments in Social Context, Budapest, Hungary.

Efstathiou K. (et al.), 2012, Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism, Mechanism and Machine Theory, 52, pp. 219–231.

Freeth T. (et al.), 2006, Decoding the Antikythera Mechanism: Investigation of an Ancient Astronomical Calculator, Nature, pp. 444, 587.

Freeth T. (et al.), 2008, Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism, Nature, pp. 454,614.

Gourtsoyannis E., 2010, Hipparchus vs. Ptolemy and the antikythera mechanism: pin-slot device models lunar motion, Journal of Advances in Space Research 46, pp. 540–544.

Malzbender T. (et al.), Polynomial Texture Maps, http://www.hpl.hp.com/research/ptm/papers/ptm.pdf.

Price D. de Solla, 1975, "Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism – A calendar computer from ca. 80 B.C.", Transactions of the American Philosophical Society, n.s., lxiv/7 (1974) (reprinted New York, 1975).

Ramsey A., 2007, Proceedings of the International Symposium on Digital industrial Radiology and Computed Tomography, Lyon - France.

Ramsey A., 2012, "X-ray Tomography of the Antikythera Mechanism", in Proceedings of Science (PoS), From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients, Kerastari, Greece, 12-15 June 2012, published online at http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid =170

Wright M.T., 2004 "The Scholar, the Mechanic and the Antikythera Mechanism", Bulletin of the Scientific Instrument Society, lxxx, pp. 4–11.

ΣΥΜΠΟΣΙΟ
ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ
ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΟΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

SYMPOSIUM
NEW TECHNOLOGIES IN SERVICE
TO OUR KNOWLEDGE OF ANTIQUITY

Τρισδιάστατη σχεδίαση και κατασκευή πιστού λειτουργικού αντιγράφου του Μηχανισμού των Αντικυθήρων*
3D design and construction of an accurate operational model of the Antikythera Mechanism

Παρουσίαση: ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΜΠΑΣΙΑΚΟΥΛΗΣ, Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός, Υποψήφιος Διδάκτωρ του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Ελλάς, και
ΜΑΡΙΑΝΝΑ ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ, Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός, Υποψηφία Διδάκτωρ του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Ελλάς
Presentation: ALEXANDROS BASIAKOULIS, Diploma in Engineering, Ph.D. Candidate, Department of Mechanical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki. Hellas
Email: alexbasiak@yahoo.gr and
MARIANNA EFSTATHIOU, Diploma in Engineering, Ph.D. Candidate, Department of Mechanical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki. Hellas
Email: mefsta@yahoo.gr

Εργασία των Επιστημόνων: ΚΥΡΙΑΚΟΥ ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Ελλάς
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ ΜΠΑΣΙΑΚΟΥΛΗ, ΜΑΡΙΑΝΝΑΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ,
ΜΑΓΔΑΛΗΝΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ, Πτυχιούχου του Τμήματος Ιστορίας και Αρχαιολογίας, Πτυχιούχου του Τμήματος Φυσικής, Μεταπτυχιακό Τμήματος Φυσικής, Υποψηφία Διδάκτωρ του Τμήματος Φυσικής, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Ελλάς
ΙΩΑΝΝΗ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗ, Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Ελλάς
Work of Scientists: KYRIAKOS EFSTATHIOU, Professor, Department of Mechanical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki. Hellas
Email: efstathi@auth.gr
ALEXANDROS BASIAKOULIS, MARIANNA EFSTATHIOU,
MAGDALINI ANASTASIOU, Graduate Degree, Department of History and Archaeology; Graduate Degree, Department of Physics; MSc in computational physics; Ph.D. Candidate, Department of Physics, Aristotle University of Thessaloniki. Hellas
JOHN H. SEIRADAKIS, Professor, Department of Physics, Aristotle University of Thessaloniki. Hellas
email: jhs@astro.auth.gr

**Η εργασία αυτή είναι η ελληνική έκδοση της εργασίας "The Reconstruction of the Antikythera Mechanism", η οποία δημοσιεύτηκε στο περιοδικό IJHDE (volume 2 number 3, 2013).*

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΜΠΑΣΙΑΚΟΥΛΗΣ, ΜΑΡΙΑΝΝΑ ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ, ΚΥΡΙΑΚΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ

Εργαστήριο Εργαλειομηχανών και Διαμορφωτικής Μηχανολογίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Ελλάς

ΜΑΓΔΑΛΗΝΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ, ΙΩΑΝΝΗΣ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗΣ

Τομέας Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Ελλάς

ALEXANDROS BASIAKOULIS, MARIANNA EFSTATHIOU, KYRIAKOS EFSTATHIOU

Laboratory for Machine Tools and Manufacturing Engineering, Department of Mechanical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki. Hellas

MAGDALINI ANASTASIOU, JOHN H. SEIRADAKIS

Department of Astrophysics, Astronomy and Mechanics, School of Physics, Aristotle University of Thessaloniki. Hellas

Τρισδιάστατη σχεδίαση και κατασκευή πιστού λειτουργικού αντιγράφου του Μηχανισμού των Αντικυθήρων
3D design and construction of an accurate operational model of the Antikythera Mechanism

Παρουσίαση: ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΜΠΑΣΙΑΚΟΥΛΗΣ και ΜΑΡΙΑΝΝΑ ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ
Εργασία των Επιστημόνων: ΚΥΡΙΑΚΟΥ ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ, ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ ΜΠΑΣΙΑΚΟΥΛΗ, ΜΑΡΙΑΝΝΑΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ, ΜΑΓΔΑΛΗΝΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ, ΙΩΑΝΝΗ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗ

Presentation: ALEXANDROS BASIAKOULIS and MARIANNA EFSTATHIOU
Work of Scientists: KYRIAKOS EFSTATHIOU, ALEXANDROS BASIAKOULIS, MARIANNA EFSTATHIOU, MAGDALINI ANASTASIOU, JOHN H. SEIRADAKIS

1. Εισαγωγή

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων ήταν ένας αναλογικός υπολογιστής εκπληκτικής τεχνολογίας. Κατασκευάστηκε πριν από σχεδόν 2100 χρόνια και χρησιμοποιούνταν για τον υπολογισμό της ακριβούς θέσης του Ήλιου, της Σελήνης και πιθανώς κάποιων πλανητών, στον ουρανό. Υπολόγιζε τις φάσεις της Σελήνης και προέβλεπε εκλείψεις Ηλίου και Σελήνης. Επίσης μπορούσε να προσδιορίσει τις ημερομηνίες τέλεσης των πανελλήνιων αγώνων. Είχε εμπρόσθια και οπίσθια πόρτα, στο εσωτερικό των οποίων υπήρχαν εγχάρακετες πλάκες, με αστρονομικές, γεωγραφικές και τεχνικές οδηγίες. Χάρη σε καινοτόμες τεχνικές διερεύνησης, κατάφεραν να διαβαστούν κείμενα χαμένα για πάνω από 2000 χρόνια. Όλα τα κείμενα είναι γραμμένα στα Ελληνικά.

Ο Κικέρων στα έργα του De Re Publica I (Cicero, ca. 50 B.C.) και De Natura Deorum II (Cicero, ca. 50 B.C.), περιγράφει την ύπαρξη και χρήση αστρονομικών κατασκευών ("σφαίραι" όπως τις ονομάζει), τις οποίες είδε στη Ρόδο και στην Ρώμη, κάποια από τις οποίες θα μπορούσε να είναι ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων.

Οι διαστάσεις του Μηχανισμού είναι περίπου 30x20x10 εκατοστά, ελαφρώς μεγαλύτερος από ένα σημερινό φορητό υπολογιστή (laptop) και περιέχει πάνω από 30 συνεργαζόμενους οδοντωτούς τροχούς. Έχει τρείς κύριες κλίμακες ενδείξεων, μία διπλή στην εμπρόσθια όψη η οποία αποτελείται από δύο ομόκεντρες κυκλικές κλίμακες και δύο στην οπίσθια όψη με σπειροειδή μορφή.

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων είναι τόσο σημαντικός για την εξέλιξη της τεχνολογίας, όσο και η Ακρόπολη για την εξέλιξη της αρχιτεκτονικής. Παρόμοιος αρχαίος μηχανισμός δεν έχει βρεθεί μέχρι σήμερα.

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων ανακαλύφθηκε τυχαία το 1900 στις ακτές των Αντικυθήρων από Συμιακούς σφουγγαράδες. Λίγους μήνες αργότερα η Αρχαιολογική Υπηρεσία πραγματοποίησε μια σειρά συστηματικών ενάλιων ανασκαφών, κατά τη διάρκεια των οποίων ανασύρθηκαν σημαντικά ευρήματα, όπως για παράδειγμα ο περίφημος Έφηβος των Αντικυθήρων, πολλά από τα οποία εκτίθενται στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο στην Αθήνα. Ανάμεσά στα ευρήματα αυτά κατέχει σπουδαία θέση ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων, ο οποίος, διαβρωμένος, κομματιασμένος και α-

πολιθωμένος πλέον μετά από 2100 χρόνια στο βυθό της θάλασσας, έμελλε να αλλάξει τη γνώμη που είχαμε μέχρι σήμερα για τις τεχνολογικές ικανότητες των προγόνων μας κατά την αρχαιότητα. Η κατασκευή του Μηχανισμού των Αντικυθήρων χρονολογείται στην περίοδο 150 – 100 π.Χ. (Carman 2013, Freeth 2006). Περιείχε πάνω από 30 συνεργαζόμενα γρανάζια και πολλούς δείκτες. Λεπτομερείς μελέτες του μηχανισμού δείχνουν ότι είχε τουλάχιστον 37 γρανάζια, 27 από τα οποία έχουν εντοπιστεί στο μεγαλύτερο από τα θραύσματα του πρωτοτύπου (θραύσμα Α). Η ύπαρξης δέκα επιπλέον γραναζιών προέκυψε από έρευνες, οι οποίες βασίστηκαν σε αστρονομικούς υπολογισμούς (Efstathiou 2012, Freeth 2006, Freeth 2008, Price 1975, Wright 2004). Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων ενσωμάτωνε επίσης 2 κορώνες, 17 ατράκτους, ένα διπλό άξονα (φέρει 2 έκκεντρους άξονες) και μία άτρακτο, ένα μέρος της οποίας λειτουργεί ως άξονας. Διαθέτει 8 δείκτες, οι οποίοι δίνουν 9 ενδείξεις στις κλίμακες του Μηχανισμού (ο δείκτης της Σελήνης δίνει δύο ενδείξεις).

Στη μπροστινή επιφάνεια έφερε δύο ομόκεντρες κυκλικές κλίμακες (σχήματα 1 και 3). Η εξωτερική κλίμακα είχε 365 υποδιαιρέσεις και τα ονόματα των 12 μηνών στην αιγυπτιακή γλώσσα με ελληνικούς χαρακτήρες (ΦΑΟΦΙ, ΘΩΘ, κτλ). Η εσωτερική κλίμακα είχε 360 υποδιαιρέσεις και τα ονόματα των 12 ζωδιακών αστερισμών (ΠΑΡΘΕΝΟΣ, ΣΚΟΡΠΙΟΣ κ.τ.λ.).

Ο χειριστής περιστρέφοντας ένα στροφείο έδινε κίνηση στους οδοντωτούς τροχούς, οι οποίοι μέσω αλυσιδωτών συζεύξεων κινούσαν ταυτόχρονα και τους 8 δείκτες. Στην μπροστινή επιφάνεια κινούσαν τρεις δείκτες που έδειχναν ο ένας την ημέρα του χρόνου στην εξωτερική κλίμακα των 365 υποδιαιρέσεων και οι άλλοι δύο τη θέση του ήλιου και της σελήνης στον ουρανό, δείχνοντας τες πάνω στην εσωτερική κλίμακα της μπροστινής πλευράς που περιείχε τα 12 ζώδια (ζωδιακός κύκλος). Με απλά λόγια έδειχναν τη θέση ηλίου και σελήνης στο ουρανό. Κάτω από την εξωτερική (ετήσια) κλίμακα, η οποία ήταν αποσπώμενη, υπήρχαν 365 οπές. Κάθε τέσσερα χρόνια ο χειριστής μπορούσε να την αποσπάσει και να τη μετατοπίσει κατά μία οπή, λαμβάνοντας έτσι υπόψη τα δίσεκτα έτη. Ο δείκτης της σελήνης, ο οποίος έφερε στο άκρο ένα σφαιρίδιο χρωματισμένο μισό μαύρο και μισό άσπρο , εκτελούσε δύο περιστροφές, μια γύρω από το σημείο στήριξης του και μια γύρω από τον επιμήκη άξονα του. Η δεύτερη αυτή περιστροφή έδειχνε τις φάσεις της σελήνης. Όταν ο χειριστής π.χ. έβλεπε όλο το άσπρο του σφαιριδίου ήξερε ότι ήταν πανσέληνος. Για την περιστροφή αυτή ο δείκτης έπαιρνε κίνηση από μία κορώνα (οδοντωτός τροχός κάθετος προς τους υπόλοιπους). Η προσομοίωση της ελλειπτικής κίνησης της Σελήνης γύρω από την Γή, επιτεύχθηκε με την χρήση δύο έκκεντρα τοποθετημένων μεταξύ τους γραναζιών, οι άξονες των οποίων απέχουν 1,1 χιλιοστό. Το ένα γρανάζι είχε έναν πείρο που έμπαινε μέσα σε μία σχισμή του άλλου γραναζιού, παρασύροντάς το σε περιστροφή. Με αυτό τον τρόπο έγινε μία πολύ ακριβής προσομοίωση της επικυκλικής κίνησης της Σελήνης στον ουρανό (Freeth 2006, Freeth 2008, Gourtsoyannis 2010, Price 1975).

Η μελέτη του Μηχανισμού από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, ξεκίνησε το 2007 και οδήγησε στην κατασκευή πολλών αντιγράφων. Το πρώτο μοντέλο (V1.1) κατασκευάστηκε το 2008, εικόνα 1 (Efstathiou 2009).

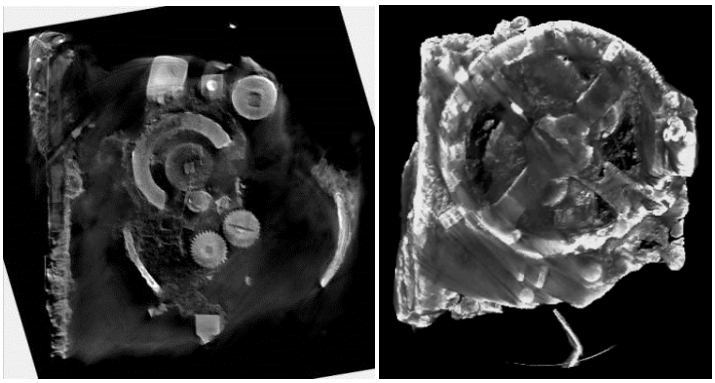
2. Νέα στοιχεία

Η σύγχρονη μελέτη των θραυσμάτων του Μηχανισμού περιλαμβάνει τη χρήση ενός υπερσύγχρονου και πρωτοποριακού τομογράφου ακτινών Χ με δυνατότητα μέτρησης 450 kVA, της X-Tek Systems Αγγλίας και ενός συστήματος ψηφιακής απεικόνισης (PTM Dome) της Hewlett Packard, τα οποία εξελίχθησαν ειδικά για τη μελέτη του Μηχανισμού. Οι τρισδιάστατες εικόνες που προέκυψαν από τα συστήματα αυτά, όπως οι τομογραφίες που φαίνονται στο σχήμα 2, αποκαλύπτουν άγνωστες πτυχές του εσωτερικού του, οι οποίες παρέμεναν κρυμμένες στον βυθό της θάλασσας των Αντικυθήρων περισσότερο από δύο χιλιάδες χρόνια. Με αυτές τις μεθόδους αποκαλύφθηκαν

για πρώτη φορά επιγραφές το πάχος των οποίων δεν ξεπερνά το ένα δέκατο του χιλιοστού. Προέκυψαν επίσης σημαντικά δεδομένα για την εσωτερική δομή με τα περίπλοκα γρανάζια και τους άξονες (Freeth 2006, Freeth 2008, Ramsey 2007, Ramsey 2012, Malzbender).



Σχήμα 1: Μοντέλο V1.1 του Μηχανισμού των Αντικυθήρων κατασκευασμένο από την ερευνητική ομάδα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

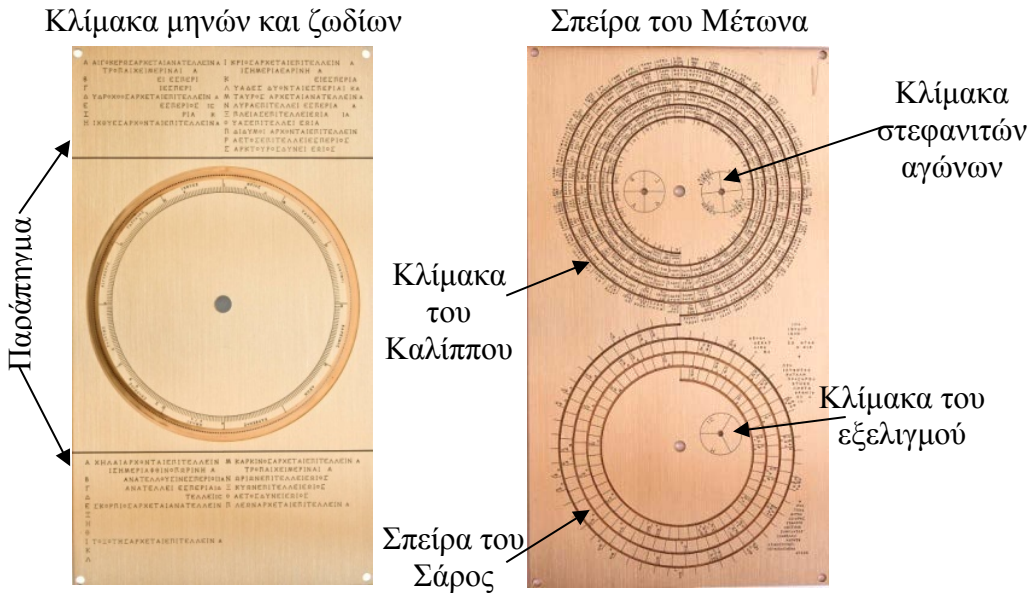


Σχήμα 2: Εικόνες του θραύσματος Α του Μηχανισμού όπως προέκυψαν από τομογραφίες ακτινών Χ.

2.1. Κλίμακες της πίσω πλευράς του Μηχανισμού (Κλίμακες Μέτωνα και Σάρος)

Η πίσω πλευρά του Μηχανισμού είχε χαραγμένες δύο κλίμακες σπειροειδούς μορφής, την καμπύλη των οποίων ακολουθούσαν οι αντίστοιχοι δείκτες. Η άνω σπείρα είχε 5 περιελίξεις, με το συνολικό μήκος της να είναι διαιρεμένο σε 235 τμήματα, τα οποία αντιστοιχούν στους 235 μήνες της περιόδου του Μέτωνα. Στα τμήματα αυτά ήταν χαραγμένα τα αρχαία ονόματα των δώδεκα μηνών κι επαναλαμβάνονταν μέχρι να συμπληρωθούν κι οι 235 μήνες (19 έτη), (βλέπε δεξιό άνω μέρος του σχήματος 3). Ο προσδιορισμός του πλήρους μεγέθους της κλίμακας αλλά και των επιμέρους χαρακτήρων που την απαρτίζουν κατέστει δυνατός μόλις πρόσφατα, χάρη στην εξαιρετικής ακρίβειας

απεικόνιση που προσφέρουν οι νέες τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν για τη μελέτη των θραυσμάτων, αφού το μέγιστο βάθος χάραξης των γραμμάτων δεν ξεπερνά το ένα δέκατο του χιλιοστού.
Η κάτω ελικοειδής σπείρα χρησίμευε για την πρόβλεψη εκλείψεων Ηλίου και Σελήνης. Είχε 4 περιελίξεις (βλέπε δεξιό κάτω μέρος του σχήματος 3) και το συνολικό μήκος της ήταν διαιρεμένο σε 223 τμήματα, που αντιστοιχούν στους 223 μήνες της περιόδου Σάρος.



Σχήμα 3: Η εμπρόσθια και η οπίσθια πλάκα του Μηχανισμού με τις κλίμακές τους.

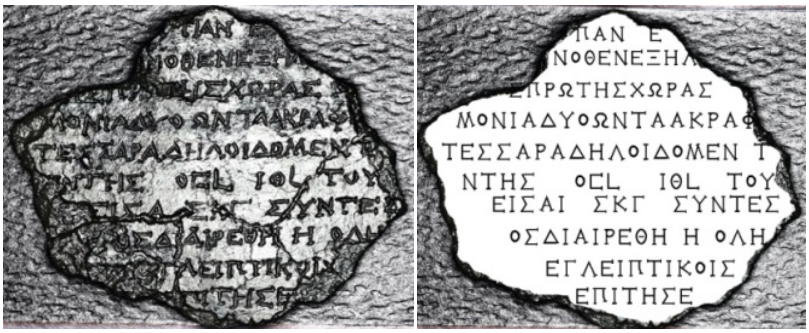
Πρόσφατη ανάλυση της μορφής των σπειρών (Anastasiou 2012), επιβεβαίωσε την αρχική εκτίμηση του Wright (2004), ότι οι σπείρες είναι στην πραγματικότητα σπείρες σχηματισμένες από ημικύκλια. Τα αποτελέσματα της ανάλυση της Anastasiou (2012) δείχνουν ότι αμφότερες οι κλίμακες, του Μέτωνα και του Σάρος, σχεδιάστηκαν ως σπείρες ημικυκλίων με δύο διαφορετικά κέντρα για τα ημικύκλιά τους. Τα δύο κέντρα της κλίμακας του Μέτωνα είναι το κέντρο περιστροφής του δείκτη και ένα λίγο πιο επάνω από αυτό. Τα δύο κέντρα της κλίμακας του Σάρος είναι το κέντρο περιστροφής του δείκτη και ένα λίγο πιο κάτω από αυτό. Ο διαφορετικός τρόπος με τον οποίο επιλέχθηκαν τα κέντρα μπορεί αρχικά να φαίνεται περίεργος κατασκευαστικά, αφού θα περίμενε κάποιος και τα δύο επιπλέον κέντρα να είναι αμφότερα πιο πάνω ή πιο κάτω από τα κέντρα περιστροφής του εκάστοτε δείκτη. Αυτό οφείλεται στον διαφορετικό τρόπο κατασκευής των δύο σπειρών. Η τεχνίτης δούλεψε με την ίδια λογική και τις δύο σπείρες, π.χ. ξεκινώντας από το επιπλέον κέντρο χάραξε το πρώτο ημικύκλιο (το αριστερό για τον Μέτωνα και το δεξί για τον Σάρο) και εν συνεχεία με κέντρο, το κέντρο περιστροφής του εκάστοτε δείκτη χάραξε το επόμενο ημικύκλιο (Anastasiou 2012).

2.2 Επιγραφές

Ο Μηχανισμός έφερε δύο επιπλέον πλάκες που βρίσκονταν προσαρμοσμένες στο εσωτερικό των θυρών του ξύλινου περιβλήματος (πυξίδα) του Μηχανισμού. Πρόσφατα με τη βοήθεια νέων καινοτόμων τεχνολογιών όπως τομογραφιών ακτινών Χ και της ψηφιακής απεικόνισης (PTM Dome) , αποκαλύφθηκαν και τμήματα του κειμένου που είναι χαραγμένο σε αυτές. Μέχρι τώρα έχουν διαβαστεί περισσότερα από 3.000 εγχάρακτα γράμματα, όλα της ελληνικής αλφαβήτου, τα οποία σχηματίζουν λέξεις και προτάσεις, που αναφέρονται σε αστρονομικούς, γεωγραφικούς και τεχνικούς

όρους. Το ύψος των περισσότερων γραμμάτων είναι μεταξύ 1,5 και 2,5 mm και είναι χαραγμένα από έναν καλλιγράφο.

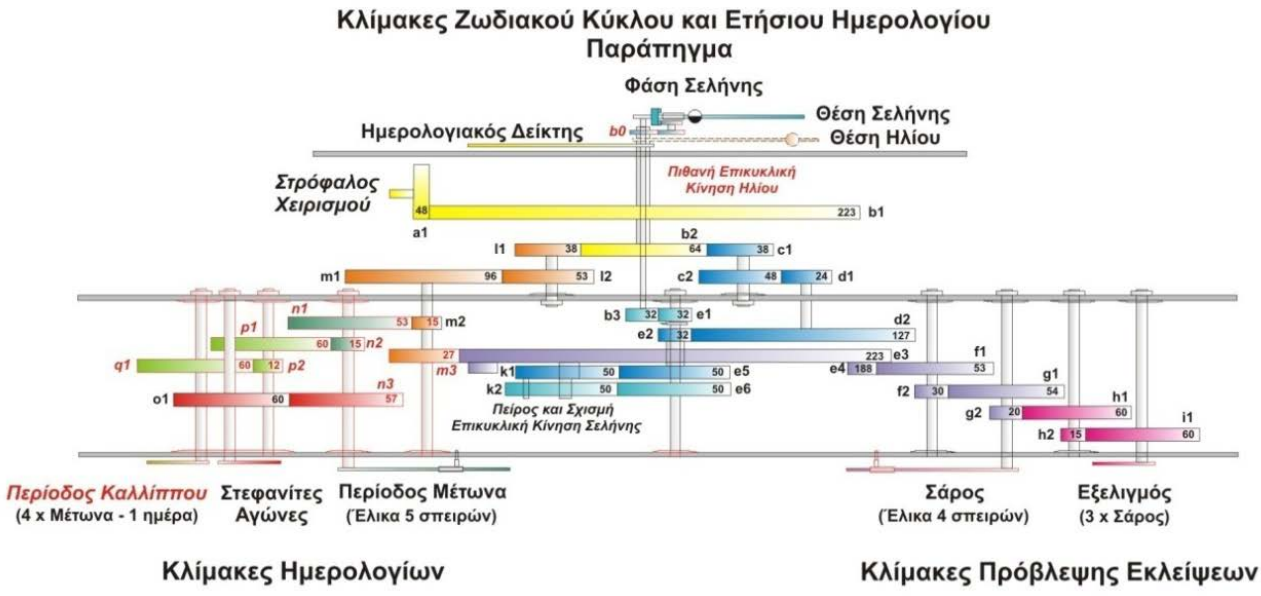
Οι αναπαραστάσεις των κλιμάκων του Μηχανισμού που βρίσκονταν στις δύο εξωτερικές πλευρές του Μηχανισμού καθώς και του κειμένου των δύο πλακών που ήταν προσαρτημένες στις εσωτερικές πλευρές των θυρών της ξύλινης θήκης, τα οποία είναι εγχάρακτα, έχουν γίνει με πολύ μεγάλη ακρίβεια μέσα από μετρήσεις που έγιναν στο πρόγραμμα VG Studio Max, πρόγραμμα που επεξεργάζεται τις τομογραφίες ακτινών Χ δημιουργώντας τρισδιάστατη απεικόνιση του Μηχανισμού. Για την αποτύπωση και χάραξη των γραμμάτων δημιουργήθηκε από την ερευνητική ομάδα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης ειδική γραμματοσειρά ("Antikythera True Type Font"), η οποία προσομοιώνει το στυλ των γραμμάτων του καλλιτέχνη που χάραξε τις επιγραφές στον πρωτότυπο κατά την αρχαιότητα (Efstathiou 2009, Efstathiou 2012).



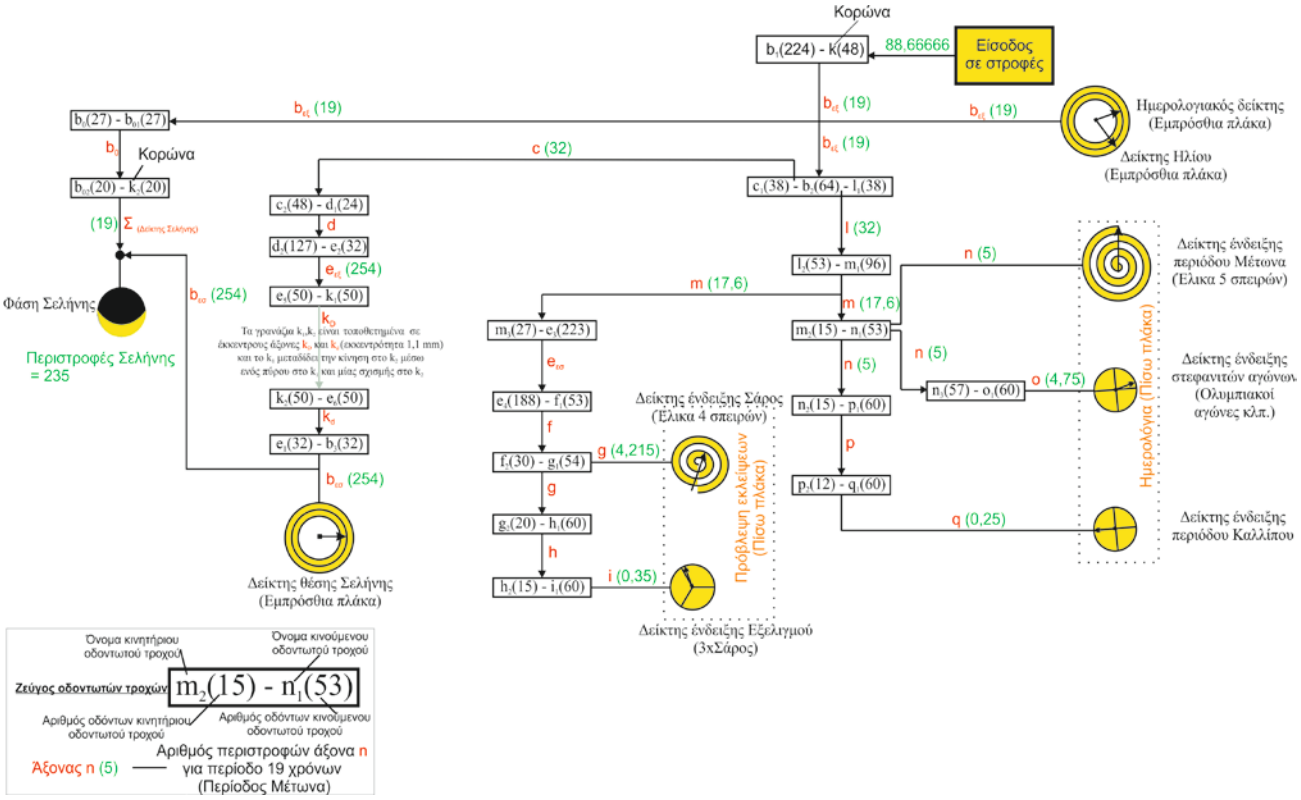
Σχήμα 4: Ανακατασκευή του κειμένου (δεξιά) που βρέθηκε στο θραύσμα 19 (αριστερά) με τη βοήθεια της γραμματοσειράς "Antikythera True Type Font".

2.3 Οδοντωτοί τροχοί

Οι οδοντωτοί τροχοί αποτελούν το ποιο χαρακτηριστικό στοιχείο του Μηχανισμού. Αυτό που εντυπωσιάζει είναι η χρήση τους σε μια τόσο πρώιμη τεχνολογικά περίοδο.
Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των θραυσμάτων είναι δεδομένη η ύπαρξη 27 οδοντωτών τροχών. Η μελέτη των κλιμάκων και των υπολογισμών-προβλέψεων που θεωρείται ότι μπορούσε να κάνει ο Μηχανισμός, από αστρονομικής πλευράς, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι στο πρωτότυπο πρέπει να υπήρχαν τουλάχιστον 10 επιπλέον τροχοί (βλέπε σχήματα 5 και 6) (Efstathiou 2012, Freeth 2006, Wright 2004).



Σχήμα 5: Διάγραμμα των οδοντωτών τροχών του Μηχανισμού που δείχνει τις κινηματικές τους σχέσεις και τους σημαντικούς δείκτες (Freeth 2006).



Σχήμα 6: Αλυσίδες των οδοντωτών τροχών του Μηχανισμού των Αντικυθήρων.

Από τις τομογραφίες που μελετήθηκαν προκύπτει ότι τα δόντια τους έχουν τριγωνική μορφή και ήταν μόνο για μετάδοση κίνησης και όχι ισχύος. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του κάθε οδοντωτού τροχού που πρέπει να προσδιοριστούν είναι η ακτίνα κεφαλής, η ακτίνα ποδός, η γωνία ποδός και ο αριθμός των δοντιών, τιμές για τις οποίες όμως δεν μπορούν να προκύψουν ακριβείς μετρήσεις, καθώς οι πλευρές των δοντιών κι οι διάμετροί τους δεν είναι απόλυτα ευδιάκριτες.

Αρχικά θεωρήθηκε ότι ο τεχνίτης είχε σαν δεδομένο, από τις αστρονομικές μελέτες, τη σχέση των γωνιακών ταχυτήτων όλων των δεικτών κι άρα τον αριθμό των δοντιών των αντίστοιχων εμπλεκόμενων οδοντωτών τροχών. Στη συνέχεια δοκιμάστηκαν διάφοροι συνδυασμοί τιμών των χαρακτηριστικών μεγεθών έτσι ώστε η γεωμετρία τους να είναι εντός του εύρους των μετρημένων ανοχών που προκύπτει από τις τομογραφίες αλλά και να επιτελούν την προβλεπόμενη λειτουργία. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, παρόλο που δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας, επιγραμματικά έγκειται στον προσδιορισμό κοινών μεγεθών μεταξύ των τροχών. Μελετήθηκαν η γωνία ποδός, οι ακτίνες ποδός και κεφαλής, ο αριθμός δοντιών, το μήκος χορδής που σχηματίζουν οι κορυφές δύο διαδοχικών δοντιών καθώς κι οι αναλογίες που προκύπτουν με συνδυασμό αυτών. Τελικά, επιλέχθηκαν τιμές οι οποίες εγγυώνται την απρόσκοπτη λειτουργία του μηχανισμού αλλά παράλληλα διατηρούν ίδιες τις διαστάσεις με το πρωτότυπο, όπου αυτές μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια (Efstathiou 2012).

Οι οδοντωτοί τροχοί που αποτελούν το Μηχανισμό διαφοροποιούνται στη μορφή μόνο ως προς τον τρόπο έδρασης τους. Εντοπίζονται τροχοί οι οποίοι εδράζονται σε ατράκτους, οπότε φέρουν στο κέντρο τους οπή τετραγωνικής διατομής, και τροχοί οι οποίοι εδράζονται σε άξονες, οπότε φέρουν οπή κυκλικής διατομής.

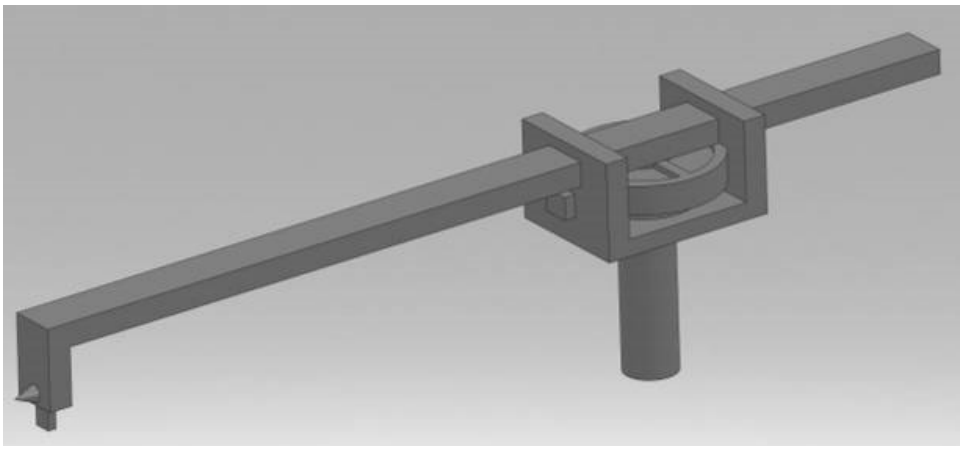
2.4 Συρόμενοι δείκτες

Ως συρόμενοι περιγράφονται οι δύο δείκτες της πίσω πλευράς του Μηχανισμού που δίνουν ενδείξεις στις σπείρες του Μέτωνα και του Σάρος αντίστοιχα (βλέπε σχήμα 7). Η άνω σπείρα ενδείξεων είναι ένα πολύπλοκο ηλιακό-σεληνιακό ημερολόγιο και είχε 5 περιελίξεις. Το συνολικό μήκος της ήταν διαιρεμένο σε 235 τμήματα, που αντιστοιχούν στους 235 συνοδικούς (σεληνιακούς) μήνες της περιόδου του Μέτωνα. Τα αρχαία ονόματα δώδεκα μηνών ήταν χαραγμένα στα τμήματα αυτά και επαναλαμβάνονταν μέχρι να συμπληρωθούν και οι 235 μήνες (19 έτη). Η κάτω ελικοειδής σπείρα είχε 4 περιελίξεις και το συνολικό μήκος της ήταν διαιρεμένο σε 223 τμήματα, που αντιστοιχούν στους 223 συνοδικούς μήνες της περιόδου Σάρος.

Τα περισσότερα κελιά είναι κενά αλλά στους μήνες στους οποίους γινόταν μιά έκλειψη, το κελί υποδεικνύει εάν θα είναι έκλειψη ηλίου ή σελήνης, καθώς επίσης και την ακριβή ώρα στην οποία θα συμβεί αυτό το φαινόμενο. Οι εκλείψεις επαναλαμβάνονται κάθε 223 μήνες, που αποτελούν την περίοδο του Σάρος. Αυτό σημαίνει ότι εάν μία έκλειψη ηλίου συνέβαινε σήμερα, μετά από 223 μήνες θα επαναλαμβανόταν μία ίδια έκλειψη. Έτσι, ο δείκτης αυτός θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη εκλείψεων εσαεί. Όμως η περίοδος αυτή δεν είναι απολύτως τέλεια, διότι κάθε φορά που επαναλαμβάνεται το φαινόμενο είναι μετατοπισμένο χρονικά κατά 8 ώρες. Η διαφορά αυτή αντισταθμίζεται στον Μηχανισμό των Αντικυθήρων με έναν επικουρικό δείκτη, που βρίσκεται στο εσωτερικό της σπείρας του Σάρος. Ο δείκτης αυτός περιστρέφεται πολύ αργά (μία περιστροφή κάθε 54 χρόνια, δηλαδή κάθε τρείς περιόδου του Σάρος) και δείχνει πότε πρέπει να προστεθούν 8 ώρες, 16 ώρες ή καθόλου ώρες, ώστε η ένδειξη της ώρας στο κελί της σπείρας του Σάρος να είναι σωστή (Carman 2013).

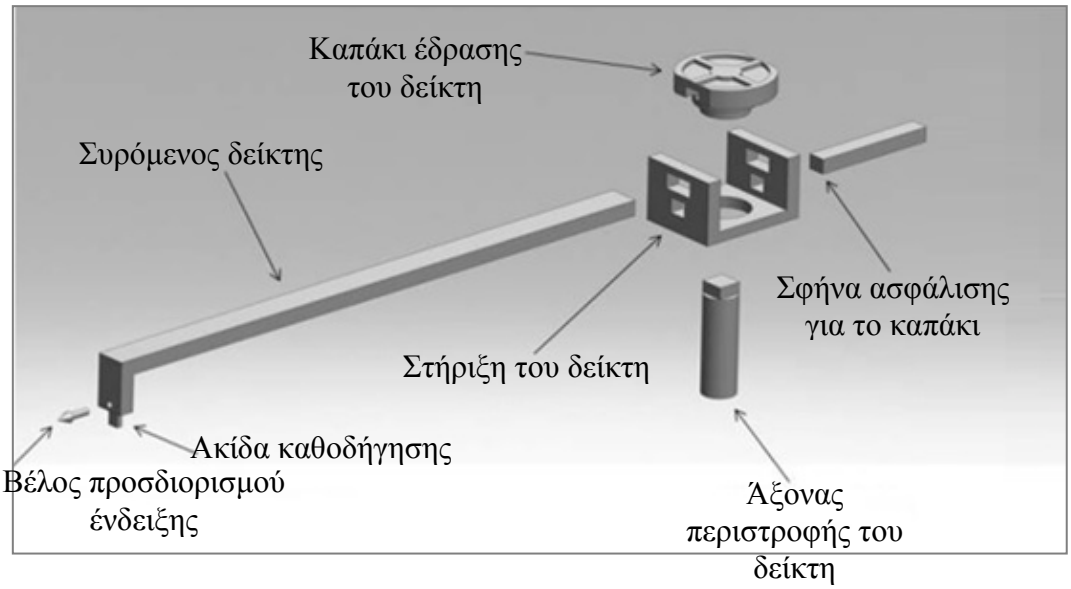
Οι δείκτες των σπειρών του Μέτωνα και του Σάρου ακολουθούν κατά την κίνησή τους την εκάστοτε σπείρα. Αυτό είναι εφικτό λόγω της μορφής του δείκτη στην άκρη του, η οποία μοιάζει με βελόνα του πικ-απ που διατρέχει το αυλάκι της σπείρας. Το μήκος του δείκτη εξαρτάται από την θέση στην οποία βρίσκεται, με το μέγιστο μήκος του να είναι όταν βρίσκεται στο εξωτερικό ακραίο σημείο της σπείρας.

Τέλος θα πρέπει να είναι τέτοια η κατασκευή τους, ώστε ο χρήστης να μπορεί να τους τοποθετήσει εύκολα σε κάποιο σημείο, για να κάνει την αρχική ρύθμιση του Μηχανισμού.



Σχήμα 7: Συρόμενος δείκτης των σπειρών του Μέτωνα και του Σάρος.

Για να ικανοποιηθεί αυτή η κινηματική συνθήκη, έπρεπε να γίνει εξαιρετικά προσεκτικός ο σχεδιασμός της βάσης των δεικτών, ώστε αφενός να μπορούν οι δείκτες να εδραστούν στον άξονα περιστροφής τους λαμβάνοντας περιστροφική κίνηση και αφετέρου να έχουν τη ελευθερία να κινηθούν γραμμικά. Επίσης πρέπει να είναι δυνατή ή απεμπλοκή τους από τον άξονα για να γίνει η αρχική ρύθμιση.
Η ανακατασκευή ολόκληρης της διάταξης του δείκτη φαίνεται στις εικόνες 7 και 8 (Anastasiou 2012). Ο άξονας περιστροφής του δείκτη καταλήγει σε τετραγωνική διατομή, όπου εφαρμόζει ένα καπάκι. Το καπάκι έδρασης στην κορυφή του αυξάνει την διάμετρό του, παίρνοντας τη μορφή ενός δίσκου με περίεργες κοιλότητες, οι οποίες δημιουργούν τεταρτημόρια. Το κυκλικό σχήμα από το καπάκι κόβεται καθέτως από τις δύο μεριές του ώστε να χωράει μέσα στη στήριξη του συρόμενου δείκτη. Το εξάρτημα της στήριξης του δείκτη έχει τη μορφή ενός ορθογώνιου παραλληλόγραμμου, με δύο κάθετες πλευρές. Ο συρόμενος δείκτης περνάει μέσα από τις άνω οπές, οι οποίες είναι μεγαλύτερες από τις κάτω.



Σχήμα 8: Εξαρτήματα των συρόμενων δεικτών των κλιμάκων του Μέτωνα και του Σάρος (Anastasiou 2012).

Από τις κάτω οπές περνάει η σφήνα ασφάλισης η οποία περνάει και μέσα από την οπή που βρίσκεται στο καπάκι έδρασης και τα κρατάει σταθερά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Έτσι ο άξονας περιστροφής δίνει κίνηση στη στήριξη του δείκτη και μέσω αυτού στον ίδιο τον δείκτη. Επίσης επιτρέπει στον συρόμενο δείκτη να ολισθαίνει στην άνω οπή ελεύθερα και να αυξομειώνει το μήκος του ανάλογα με το σημείο που βρίσκεται η ακίδα καθοδήγησης μέσα στην σπείρα. Ο κατασκευαστής χρησιμοποίησε τη σφήνα για να δώσει τη δυνατότητα στον χειριστή του Μηχανισμού να ασφαλίζει και να απασφαλίζει εύκολα το δείκτη. Αυτό είναι απαραίτητο διότι μόλις οι δείκτες φτάσουν στο τέλος των σπειρών του Μέτωνα και του Σάρος, ο χειριστής πρέπει να επαναφέρει τους δείκτες χειροκίνητα στην αρχή των σπειρών.

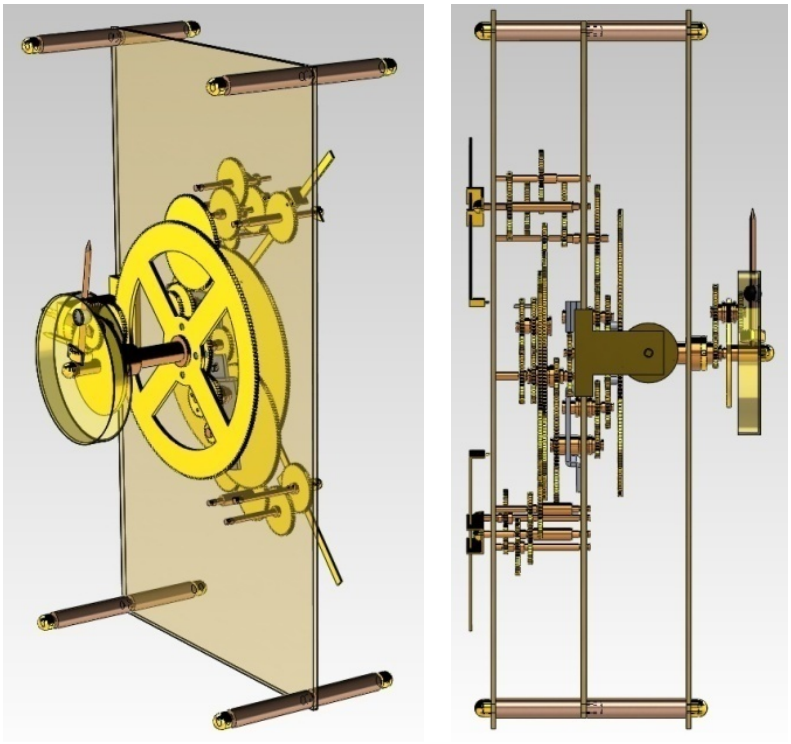
3. Σχεδιομελέτη και προσομοίωση λειτουργίας του Μηχανισμού

3.1. Παραμετρική σχεδίαση

Η συνεχιζόμενη μελέτη του Μηχανισμού και οι όλο γρηγορότερες εξελίξεις των τομογράφων και της τεχνολογίας δίνουν στα αποτελέσματα των μελετών δυναμική μορφή. Θεωρήθηκε απαραίτητη η σχεδίαση του Μηχανισμού με τέτοιο τρόπο ώστε τα γεωμετρικά δεδομένα που αποτελούν αντικείμενο υπολογισμών και παραδοχών να δύνανται να αλλάζουν χωρίς να απαιτείται επανασχεδιασμός των λειτουργικών στοιχείων. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να ελέγχεται η λειτουργικότητα και το τελικό μοντέλο διαφόρων συνδυασμών γεωμετρικών τιμών των τεμαχίων του Μηχανισμού, (βλέπε σχήμα 9).

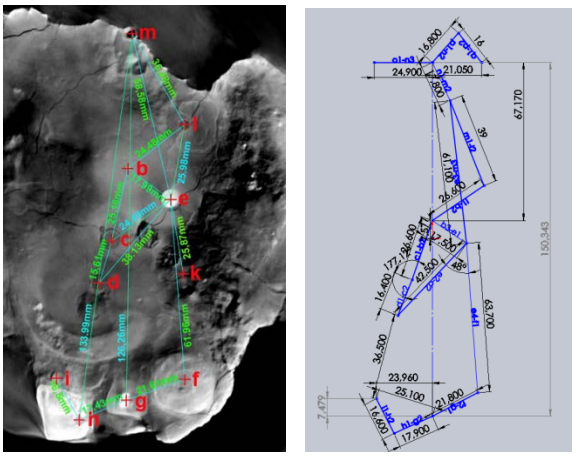
Με τη μέθοδο της παραμετρικής σχεδίασης, αρχικά ορίζεται η βασική μορφή του τεμαχίου. Καθορίζονται οι βασικές γεωμετρίες και διαστάσεις που επιβάλλουν οι λειτουργικές απαιτήσεις. Στη συνέχεια, προσδιορίζονται οι γεωμετρίες των οποίων η τιμή αποτελεί αντικείμενο μελέτης και μπορεί να μεταβληθεί. Τελικό αποτέλεσμα είναι ένα τεμάχιο «μήτρα» του οποίου στοιχεία της γεωμετρίας μπορούν να μεταβάλλονται κατά βούληση. Ειδικά για τον ορισμό κι έλεγχο των αξονικών αποστάσεων των οδοντωτών τροχών, το διάγραμμα θέσης των οπών των πλακών από τις οποίες διέρχονται

οι άτρακτοι, βλέπε σχήμα 10 (αριστερά), προσομοιώθηκε με επίπεδο κινηματικό μηχανισμό διαφόρων μελών και συγκεκριμένων βαθμών ελευθερίας, βλέπε σχήμα 10 (δεξιά).

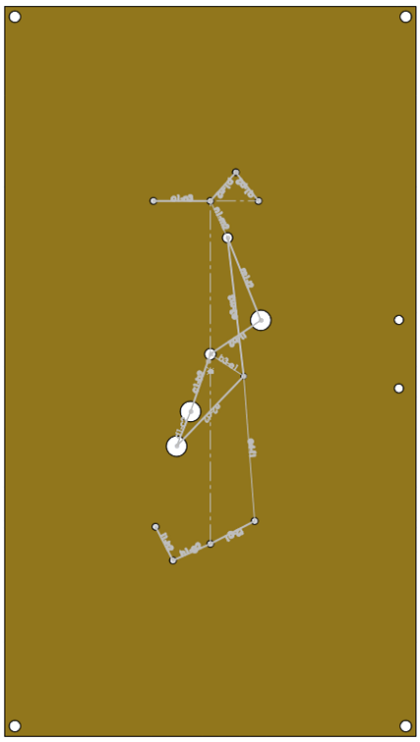


Σχήμα 9: Διάφορες όψεις του μοντέλου κατά το σχεδιασμό.

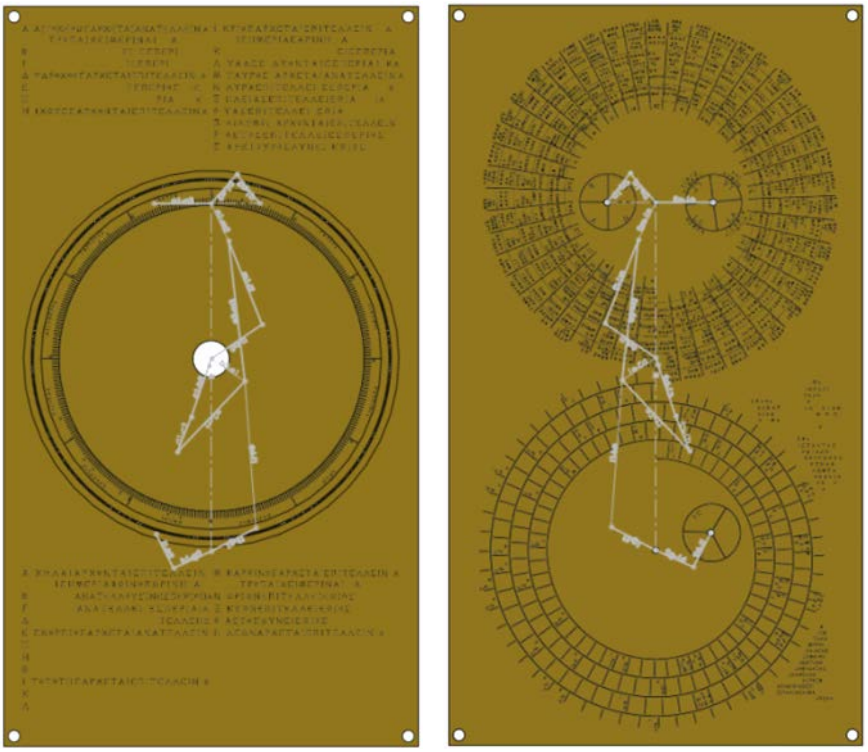
Το μήκος του κάθε μέλους αποτελεί την αξονική απόσταση των εκάστοτε συνεργαζόμενων οδοντωτών τροχών. Οι αρθρώσεις των μελών υποδεικνύουν τη θέση των οπών (βλέπε σχήματα 11 και 12). Στο διάγραμμα του σχήματος 10 (δεξιά), καταχωρήθηκαν οι γωνίες που σχηματίζονται ανάμεσα στα μέλη, όπως αυτές μετρήθηκαν στις τομογραφίες των θραυσμάτων, δημιουργώντας ένα μοντέλο με μηδενικό βαθμό ελευθερίας.



Σχήμα 10: Εξομοίωση του διαγράμματος θέσης των οπών των πλακών με επίπεδο κινηματικό μηχανισμό. Αριστερά τα κέντρα των ατράκτων όπως μετρήθηκαν στις τομογραφίες και δεξιά ο κινηματικός μηχανισμός με μηδενικό βαθμό ελευθερίας.



Σχήμα 11: Προσδιορισμός των θέσεων των κέντρων των οπών, από τις οποίες διέρχονται οι άξονες στη μεσαία πλάκα, μέσω της προβολής σε αυτή του μηδενικής ελευθερίας κινηματικού μηχανισμού.

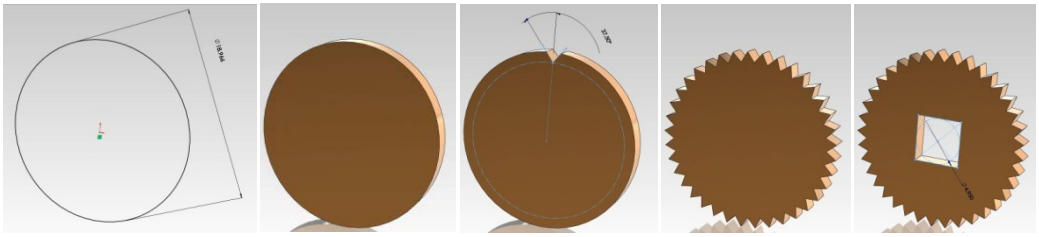


Σχήμα 12: Προσδιορισμός των θέσεων των δεικτών στην εμπρόσθια και οπίσθια πλάκα, μέσω της προβολής σε αυτές του μηδενικής ελευθερίας κινηματικού μηχανισμού.

Η παραμετρική σχεδίαση, όπως αυτή αναλύεται παραπάνω, προϋποθέτει τη χρήση προγραμμάτων CAD. Στη συνέχεια περιγράφεται εκτενέστερα η εφαρμογή των παραπάνω μεθοδολογιών στο σχεδιασμό των διαφόρων στοιχείων του Μηχανισμού, με τη χρήση βασικών αρχών οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν σε οποιοδήποτε λογισμικό CAD.

3.1.1. Οδοντωτοί τροχοί

Οι οδοντωτοί τροχοί αποτελούν το σημαντικότερο κομμάτι του Μηχανισμού. Από τη μελέτη των ευρημάτων, όπως έχει ήδη αναφερθεί, προκύπτουν στοιχεία μόνο για κάποιους από τους τροχούς κι αυτά όχι απολύτως ακριβή. Τα βασικά μεγέθη που πρέπει να προσδιοριστούν είναι ο κύκλος ποδός, ο κύκλος κεφαλής, η γωνία ποδός κι ο αριθμός δοντιών, αφού έχουν επιλεγεί τροχοί με επίπεδη παρειά. Ακόμη, πρέπει να προσδιοριστεί αν στο κέντρο τους φέρουν οπή τετραγωνικής ή κυκλικής διατομής. Αυτό προκύπτει από το αν ο τροχός μεταφέρει κίνηση από ή προς τον άξονα κι άρα έχουν τις ίδιες γωνιακές ταχύτητες οπότε επιλέγεται η τετραγωνική διατομή, ή κινείται ελεύθερα πάνω σε αυτόν, με διαφορετική γωνιακή ταχύτητα οπότε κι επιλέγεται η κυκλική διατομή. Έχοντας καταλήξει στα παραπάνω (Efstathiou 2012), σχεδιάστηκαν οι οδοντωτοί τροχοί με τέτοιο τρόπο ώστε οι διάμετροι των κύκλων ποδός και κεφαλής καθώς κι ο αριθμός των δοντιών να ορίζονται ως μεταβλητά μεγέθη, (βλέπε σχήμα 13). Τελικά, για ευχρηστία, δημιουργήθηκε ένας πίνακας με τα υπό μελέτη γεωμετρικά μεγέθη και τις τιμές τους. Έτσι, προέκυψε το σύνολο των οδοντωτών τροχών συνοδευόμενο από ένα πίνακα τιμών. Αλλαγές στις τιμές αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την απευθείας αλλαγή της γεωμετρίας των τροχών. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατό να ελέγχονται η συναρμολόγηση κι η λειτουργία διαφόρων συνδυασμών τιμών χωρίς να απαιτείται επανασχεδιασμός των στοιχείων.



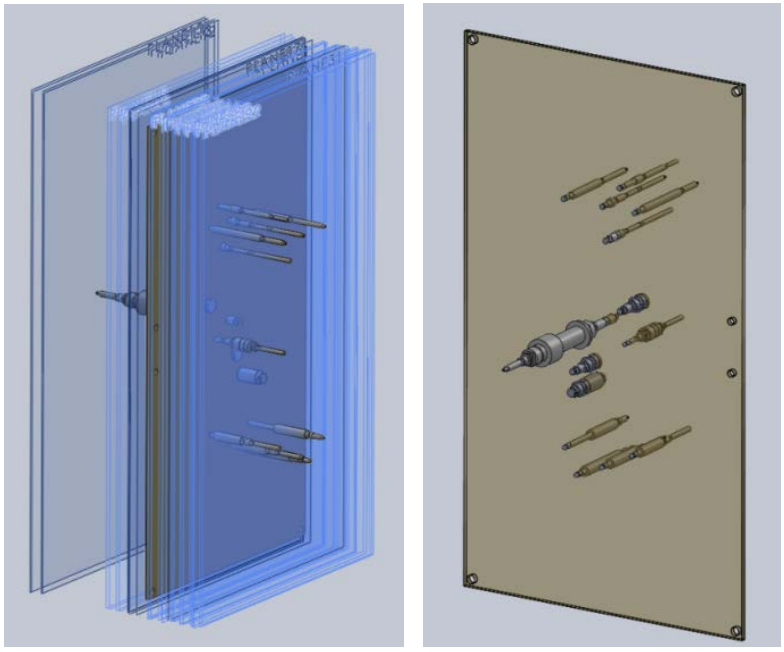
Σχήμα 11: Τα βήματα της παραμετρικής σχεδίασης των οδοντωτών τροχών.

3.1.2. Άτρακτοι κι άξονες

Η γεωμετρία των ατράκτων κι των αξόνων περιγράφεται από τον αριθμό, τη θέση και τον τρόπο έδρασης των οδοντωτών τροχών που φέρουν, το μήκος τους και τον τρόπο στήριξής τους στις πλάκες. Ορίστηκαν επίπεδα αναφοράς για τη θέση έδρασης των οδοντωτών τροχών στο χώρο ως προς σταθερό σημείο αναφοράς ώστε να προκύπτει η θέση των εδράσεων των συνεργαζόμενων τροχών στις εκάστοτε ατράκτους, (βλέπε σχήμα 14 αριστερά). Υπάρχει επίσης η δυνατότητα επιλογής του είδους στήριξης της ατράκτου, αν δηλαδή η άτρακτος εδράζεται σε ένα ή δύο σημεία ή αν φέρει δείκτη ή όχι.

Για τη διευκόλυνση του επανασχεδιασμού του μοντέλου σε περίπτωση αλλαγών, ορίστηκαν ως μεταβλητές και συνδέθηκαν οι τιμές τους στα αντίστοιχα τεμάχια, τα κοινά στοιχεία διατομής των ζευγών εσωτερικών-εξωτερικών ατράκτων. Επίσης, συνδέθηκε το συνολικό μήκος των ατράκτων κι αξόνων ανάλογα με τα σημεία έδρασης και το αν φέρουν δείκτη ή όχι. Η σύνδεση των τιμών των διαφόρων μεγεθών ανάμεσα στα τεμάχια επιτρέπει στα μεγέθη αυτά να αποκτούν κοινή τιμή η οποία αλλάζει με αλλαγή του μεγέθους σε οποιοδήποτε από τα συνδεδεμένα τεμάχια μειώνοντας έτσι δραστικά το χρόνο επανασχεδίασης.

Τελικά, προέκυψε ο πίνακας τιμών γεωμετρικών μεγεθών και στοιχείων, αλλαγές του οποίου έχουν ως άμεσο αποτέλεσμα τη δημιουργία νέου τεμαχίου. Έτσι, γίνεται απευθείας ο έλεγχος πλήθους συνδυασμών παραμέτρων σχεδιασμού ως προς τη λειτουργικότητα και τη δυνατότητα κατασκευής.



Σχήμα 12: Τα διάφορα επίπεδα για το σχεδιασμό των ατράκτων (αριστερά)
και η τελική συναρμολογημένη διάταξή των ατράκτων στη μεσαία πλάκα (δεξιά).

3.1.3. Πλάκες

Οι πλάκες χαρακτηρίζονται από τη θέση και τη διάμετρο των οπών των ατράκτων ή αξόνων που διέρχονται ή στηρίζονται σε αυτές. Η προσομοίωση του διαγράμματος της θέσης των κέντρων τους με επίπεδο κινηματικό μηχανισμό (βλέπε παράγραφο 3.1), επιτρέπει στην αλλαγή οποιασδήποτε τιμής των βαθμών ελευθερίας του, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα να ελέγχονται διάφορες τιμές αξονικών αποστάσεων και γωνιών μεταξύ των μελών. Επιπλέον, οι οπές ορίστηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η αλλαγή των διαμέτρων τους χωρίς επανασχεδιασμό. Για κάθε πλάκα, μπορούν να επιλεγούν οι άξονες για τους οποίους θα φέρει οπές καθώς επίσης κι οι διάμετροι τους. Οι πλάκες και το διάγραμμα θέσης των κέντρων των οπών τοποθετήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να μην απαιτείται ο υπολογισμός για κάθε πλάκα αφού τα κέντρα προβάλλονται σε όλες, θεωρώντας ως σταθερό σημείο αναφοράς το κέντρο της ατράκτου $b_{εσ}$.

Τέλος, θεωρήθηκε χρήσιμο να δοθούν ως μεταβλητές διαστάσεις το πλάτος, το ύψος και το πάχος των πλακών, αφού δεν υπάρχουν σαφή στοιχεία για αυτά κι άρα υπόκεινται σε αλλαγές.

3.1.4. Δείκτες

Η γεωμετρία των δεικτών καθορίζεται άμεσα από τις κλίμακες στις οποίες αυτοί δίνουν ένδειξη. Οι δείκτες αρχικά διαχωρίζονται, ανάλογα με τη μορφή τους, σε σταθερούς, συρόμενους κι αυτούς της σελήνης και του ήλιου, δημιουργώντας διαφορετικά αρχικά μοντέλα για κάθε ομάδα. Το μήκος του δείκτη δίνεται παραμετρικά. Για τους σταθερούς δείκτες αυτό προκύπτει από τη διάμετρο των μικρών κυκλικών κλιμάκων στις οποίες ανήκουν, για τους συρόμενους το μήκος καθορίζεται από τη μέγιστη διάμετρο της σπείρας προσαυξημένο κατά κάποια χιλιοστά λόγω της ειδικής έδρασης και για τους δείκτες του ήλιου και της σελήνης, το μήκος καθορίζεται από τις διαμέτρους των κλιμά-

κων των ημερών και του Ζωδιακού κύκλου αντίστοιχα, που βρίσκονται στην εμπρός πλευρά του Μηχανισμού.

3.1.5. Διάφορα άλλα εξαρτήματα του Μηχανισμού

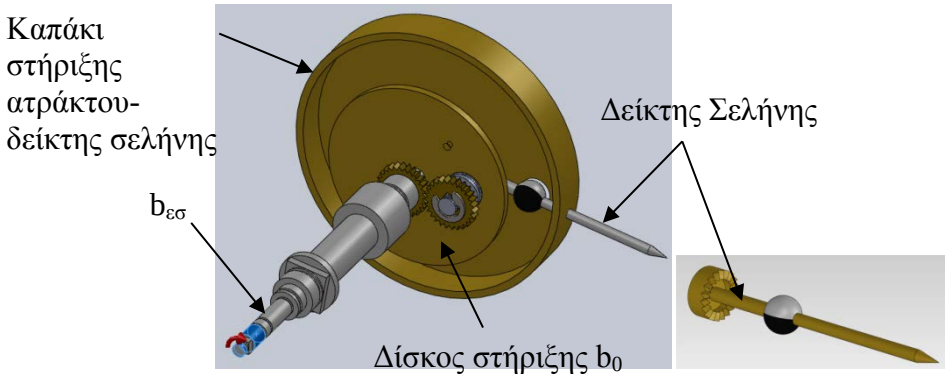
Σε αυτήν την κατηγορία κατατάσσονται τεμάχια, τα οποία δεν μπορούν να ομαδοποιηθούν, λόγω της ειδικής τους χρήσης ή της γεωμετρικής τους ιδιαιτερότητας, (βλέπε σχήματα 15 και 16). Για το λόγο αυτό, η παραμετροποίηση στο σχεδιασμό τους περιορίζεται στη σύνδεση των διαστάσεων τους, οι τιμές των οποίων εξαρτώνται από άλλα στοιχεία του Μηχανισμού. Παρακάτω παρατίθενται οι τιμές αυτές για τα διάφορα εξαρτήματα:

- Ξύλινο περίβλημα: οι διαστάσεις των τοιχωμάτων συνδέθηκαν με τις αντίστοιχες διαστάσεις των πλακών. Το πάχος τους ορίστηκε ως κοινή παράμετρος, ώστε να αλλάζει για όλα με τον έλεγχο μίας μόνο μεταβλητής.

- Δακτύλιος στήριξης δείκτη σελήνης (βλέπε σχήματα 15 και 16): συνδέθηκε η διάμετρος της οπής στον κάθετο προς τον άξονα του δακτυλίου άξονα με τη διάμετρο του δείκτη της σελήνης. Επίσης, συνδέθηκε η διάμετρος της εσωτερικής οπής του δακτυλίου με τη διάμετρο της ατράκτου $b_{\varepsilon\sigma}$ πάνω στην οποία εδράζεται.

- Δίσκος στήριξης ατράκτου b_0 (βλέπε σχήμα 16): ο δίσκος αυτός χαρακτηρίζεται από την οπή η οποία φέρει την άτρακτο b_0. Η θέση της καθορίζεται από την αξονική απόσταση των οδοντωτών τροχών b_0 και b_{01}. Επιπλέον, η διάμετρός της συνδέθηκε με τη διάμετρο της ατράκτου b_0 σε εκείνο το σημείο.

- Καπάκι στήριξης ατράκτου-δείκτη σελήνης (βλέπε σχήμα 16): η θέση της κορώνας και της σφαίρας στον δείκτη της σελήνης καθορίζει τη θέση της ορθογωνικής και της κυκλικής διατομής που φέρει το καπάκι στην εμπρός του επιφάνεια. Τέλος, συνδέθηκε η διάμετρος της οπής στην παράπλευρη επιφάνεια, με τη διάμετρο του δείκτη της σελήνης σε εκείνο το σημείο.

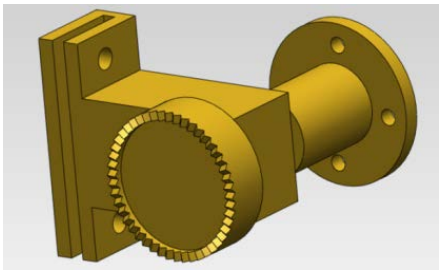


Σχήμα 13: Μηχανική διάταξη του δείκτη της σελήνης (αριστερά) και ο δείκτης με τη κορώνα α_2 (δεξιά).



Σχήμα 16: Κάποια από τα εξαρτήματα του Μηχανισμού.

- Έδραση κορώνας a_1: για την έδραση αυτή, συνδέθηκε η θέση της οπής που φέρει την άτρακτο της κορώνας με την απόσταση του οδοντωτού τροχού b1 από τη μεσαία πλάκα έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη σύμπλεξη τους. Ακόμη, συνδέθηκε η διάμετρός της με τη διάμετρο της ατράκτου στην οποία εδράζεται η κορώνα, (βλέπε σχήματα 17 και 5).

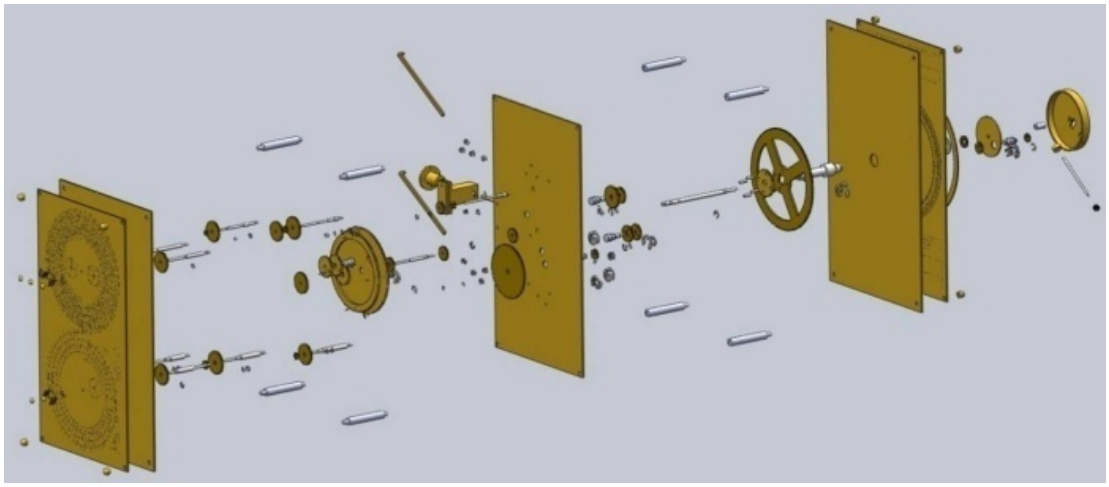


Σχήμα 17: Έδραση κορώνας α_1.

3.2. Συναρμολογημένη διάταξη

Ενώ κατά τον κλασικό σχεδιασμό η δημιουργία συναρμολογημένης διάταξης έπεται της σχεδίασης των επιμέρους τεμαχίων, λόγω της προσπάθειας να σχεδιαστεί το μοντέλο παραμετρικά, στην παρούσα εργασία αυτή προηγήθηκε, εφαρμόζοντας την τεχνική του αντίστροφου σχεδιασμού (top-down). Έτσι, κατέστει δυνατό να οριστούν σταθερά σημεία στο χώρο τα οποία καθορίζουν τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες των επιμέρους στοιχείων απευθείας και μαζικά. Για παράδειγμα, θέτοντας την επιφάνεια της μεσαίας πλάκας του μηχανισμού ως σταθερό σημείο αναφοράς κι ορίζοντας τις αποστάσεις των επιπέδων στα οποία εδράζονται οι οδοντωτοί τροχοί με βάση αυτήν, σχεδιάζονται οι άξονες κι άτρακτοι με τέτοιο τρόπο ώστε το μήκος τους να αποτελεί συνάρτηση της θέσης των επιπέδων. Έτσι, αλλαγή σε κάποια από αυτές αναπροσαρμόζει απευθείας τη γεωμετρία της ατράκτου ή του άξονα χωρίς να απαιτείται έλεγχος κι επανασχεδίαση των επιμέρους τεμαχίων.

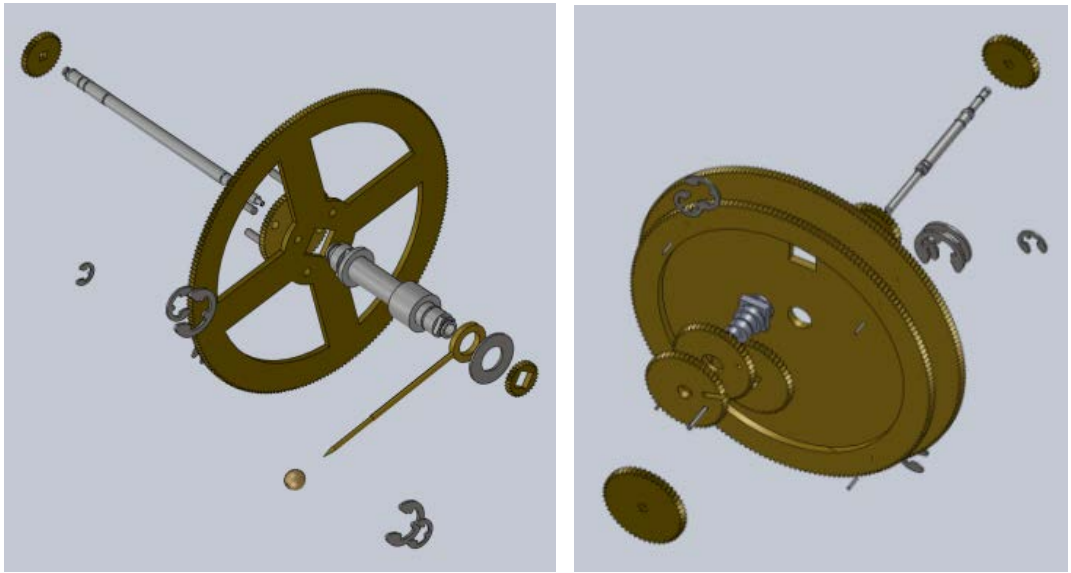
Με την κατασκευή πιστού λειτουργικού αντιγράφου να είναι ο τελικός στόχος της μελέτης, απαιτείται κι ένας οδηγός συναρμολόγησης των κατασκευασμένων τεμαχίων. Η σχεδίαση του μοντέλου με τη χρήση λογισμικού τρισδιάστατης απεικόνισης επέτρεψε να δημιουργηθούν όλες οι απαραίτητες ανεπτυγμένες όψεις της τελικής διάταξης οι οποίες καθοδηγούν τη συναρμολόγηση τόσο των επιμέρους στοιχείων όσο και του συνόλου του Μηχανισμού, (βλέπε σχήματα 18 και 19).



Σχήμα 18: Ανάπτυγμα του Μηχανισμού.

3.3. Προσομοίωση κι έλεγχος λειτουργίας

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η κατασκευή πιστού λειτουργικού μοντέλου του Μηχανισμού για τον έλεγχο της λειτουργίας του. Για να γίνει αυτό, η καθιερωμένη πρακτική επιβάλλει την κατασκευή του μοντέλου σε πρώτη φάση και τον έλεγχο της λειτουργίας του σε δεύτερο στάδιο, υποχρεωτικά με αυτήν τη σειρά. Αφενός όμως η χρήση μπρούντζου ως υλικό κατασκευής κι αφετέρου οι κατεργασίες ακριβείας που απαιτούνται για την κατασκευή των περισσοτέρων τεμαχίων, θα έκαναν τη χρήση αυτής της μεθοδολογίας ιδιαίτερα δαπανηρή και χρονοβόρα. Έτσι, μετά τη δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων των στοιχείων σε ηλεκτρονική μορφή, επιλέχθηκε η χρήση προγραμμάτων προσομοίωσης κίνησης, επαφής και φόρτισης στερεών σωμάτων για τον έλεγχο λειτουργίας.



Σχήμα 19: Ανεπτυγμένες όψεις διαφόρων σταδίων συναρμολόγησης.

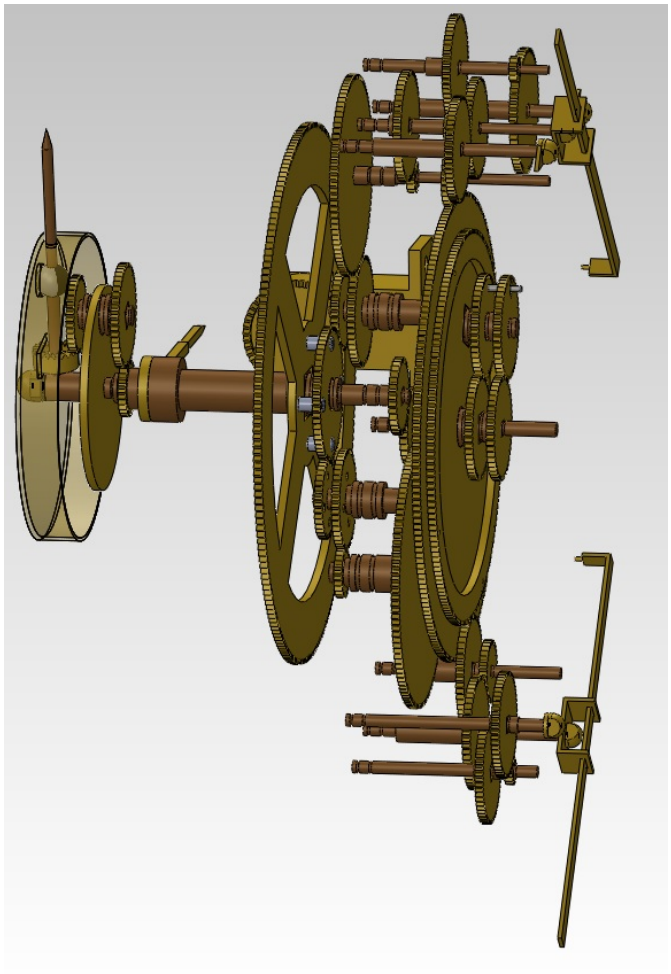
Ο τρόπος λειτουργίας του Μηχανισμού βασίζεται στην εξωτερική φόρτιση αυτού μέσω του στροφείου χειρισμού κι άρα της κορώνας a_1 που είναι άμεσα συνδεδεμένη με αυτό. Αυτή γίνεται χειροκίνητα οπότε οι γωνιακές ταχύτητες των περιστρεφόμενων στοιχείων είναι κοντά στην τάξη της εξωτερικά επιβαλλόμενης γωνιακής ταχύτητας, που κυμαίνεται στις 30 – 50 στροφές ανά λεπτό.

Επίσης, η διακοπτόμενη μορφή της φόρτισης λόγω των ανατομικών περιορισμών του ανθρώπινου χεριού, το οποίο παίζει το ρόλο του διεγέρτη στο εν λόγω σύστημα, αποτρέπει την εμφάνιση ταλαντωτικών συμπεριφορών λόγω των περιστρεφόμενων μαζών. Για τους παραπάνω λόγους, το μοντέλο ελέγχθηκε στατικά ενώ ειδικά για τους οδοντωτούς τροχούς ελέγχθηκε κι η ικανότητα σύμπλεξης και μετάδοσης της επιθυμητής κίνησης καθώς επίσης κι η πιθανότητα εμπλοκής.

Η συναρμολογημένη διάταξη που δημιουργήθηκε, υποβάλλεται πλέον σε ελέγχους μέσω προσομοίωσης. Αρχικά, πρέπει να οριστούν όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που αποτελούν ιδιότητες του υλικού. Ως υλικό κατασκευής επιλέχθηκε ο μπρούντζος, που αποτελούσε και το υλικό κατασκευής του πρωτότυπου. Στη συνέχεια, ορίζονται οι περιορισμοί κίνησης κι οι βαθμοί ελευθερίας των συνδέσεων. Ο τρόπος στήριξης των ατράκτων κι αξόνων στις πλάκες περιλαμβάνει αμφιέριστη ασφάλιση αυτών που στηρίζονται στη μεσαία πλάκα. Με αυτόν τον τρόπο, αυτές οι εδράσεις δεν επιτρέπουν την κίνηση των ατράκτων κατά μήκος του γεωμετρικού τους άξονα, ενώ αντιθέτως επιτρέπουν την περιστροφική κίνηση. Ομοίως, ορίζονται κι οι περιορισμοί κίνησης της έδρασης των οδοντωτών τροχών στον εκάστοτε άξονα. Οι οδοντωτοί τροχοί με οπή στήριξης τετραγωνικής διατομής συμπεριφέρονται ως ένα σώμα με τις αντίστοιχες ατράκτους στις οποίες εδράζονται. Δεν παραλαμβάνουν κίνηση, σε σχέση με την άτρακτο στήριξης, ούτε κατά μήκος του άξονά της ούτε γύρω από αυτόν. Αντίθετα, οι οδοντωτοί με οπή κυκλικής διατομής δεν κινούνται κατά μήκος του άξονα, μπορούν όμως να κινηθούν ελεύθερα γύρω από αυτόν. Ακόμη, ορίζονται ως συναρμογές ολίσθησης, με τις αντίστοιχες επιθυμητές χάρες, οι συνδέσεις εσωτερικών-εξωτερικών ατράκτων κι αξόνων, ενώ η στήριξη των σφαιρών του ήλιου και της σελήνης στους αντίστοιχους δείκτες γίνεται μέσω συναρμογής σύσφιξης, για την οποία ορίζονται οι αντίστοιχες χάρες. Ως σημείο επιβολής της διέγερσης επιλέγεται η άτρακτος του στροφείου χειρισμού και της κορώνας a1, ενώ το είδος της φόρτισης περιγράφεται ως περιστροφή σταθερής γωνιακής ταχύτητας ως προς το χρόνο.

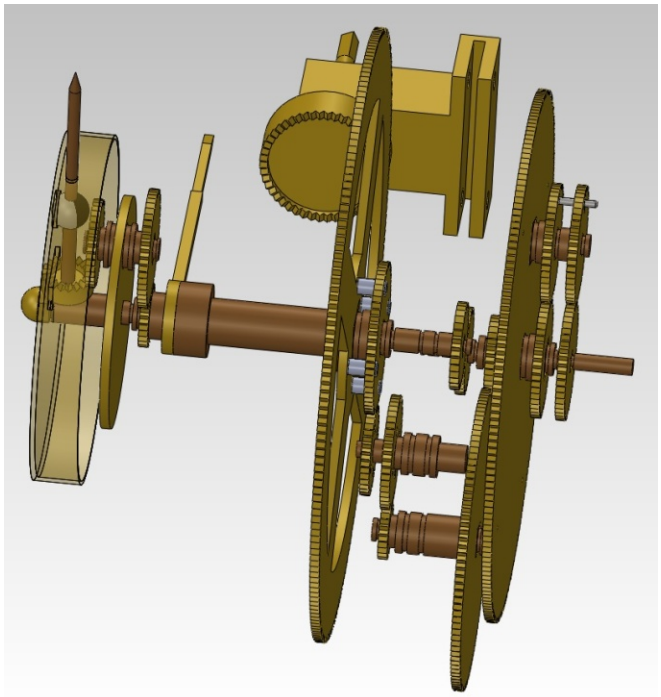
Η ανάλυσή της κίνησης βασίζεται στη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων (FEM). Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια αξιόπιστη τεχνική αριθμητική ανάλυσης μηχανολογικών κατασκευών. Η FEM αντικαθιστά ένα σύνθετο πρόβλημα φόρτισης με πολλά απλούστερα. Το μοντέλο χωρίζεται σε πολλά μικρά κομμάτια απλού σχήματος που καλούνται στοιχεία. Τα διάφορα στοιχεία μοιράζονται κοινά σημεία τα οποία καλούνται κόμβοι. Η συμπεριφορά των στοιχείων είναι γνωστή κάτω από κάθε πιθανή φόρτιση και στήριξη. Η κίνηση του κάθε κόμβου περιγράφεται πλήρως από μετατοπίσεις στους τρισορθογώνιους άξονες X, Y και Z, οι οποίες αποτελούν τους βαθμούς ελευθερίας του. Η ανάλυση με τη χρήση της FEM καλείται ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (FEA). Στη συνέχεια, σχηματίζονται οι εξισώσεις κίνησης του κάθε στοιχείου λαμβάνοντάς υπόψη τη σύνδεσή του με τα γειτονικά στοιχεία. Οι εξισώσεις αυτές συνδέουν τις μετατοπίσεις των στοιχείων με γνωστές ιδιότητες του υλικού, εδράσεις και φορτία. Τελικά, οι εξισώσεις αυτές οργανώνονται σε σύστημα εξισώσεων, των οποίων η ταυτόχρονη επίλυση οδηγεί στον υπολογισμό των μετατοπίσεων του κάθε κόμβου στις διευθύνσεις X, Y και Z. Με τη χρήση αυτών των μετατοπίσεων υπολογίζονται οι παραμορφώσεις και τελικά οι τάσεις σε διάφορες κατευθύνσεις.

Σε πρώτη φάση έγινε έλεγχος της συνεργασίας των οδοντωτών τροχών για την αποφυγή περιπτώσεων εμπλοκής. Αυτό συνέβη περιστρέφοντας τα τεμάχια κι εντοπίζοντας περιοχές επικάλυψης όγκων. Όπου αυτό εντοπίστηκε, οι αξονικές αποστάσεις αναπροσαρμόστηκαν, εντός των ορίων των υπολογισμένων ανοχών (Ευσταθίου 2012). Η έκφραση του συστήματος με επίπεδο κινηματικό μηχανισμό, επέτρεψε σε άμεση εφαρμογή των αλλαγών, ώστε να διατηρούνται οι υπόλοιπες σχέσεις απόστασης που διασφαλίζουν τη συνεργασία των οδοντωτών τροχών που ήδη ελέγχθηκαν.

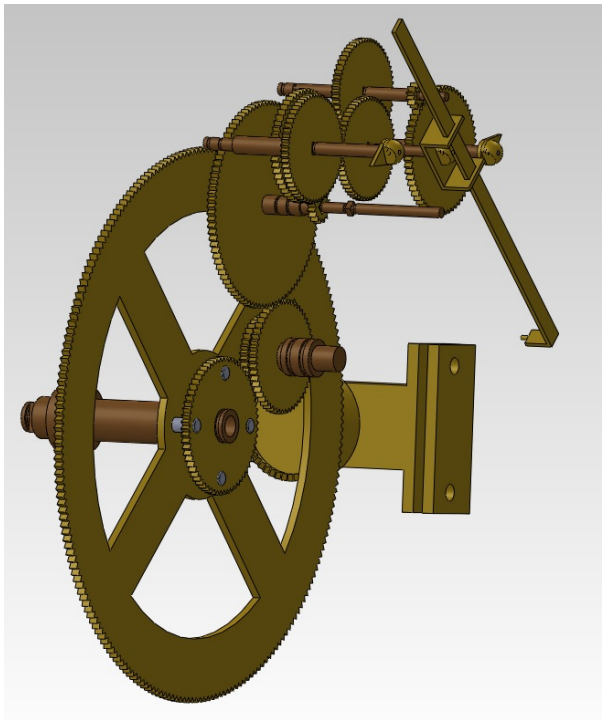


Στη συνέχεια, ελέγχθηκε και το υπόλοιπο της κατασκευής με σκοπό κυρίως τον έλεγχο αντοχής των αξόνων, λόγω των μικρών διατομών που έχουν κατά περίπτωση. Όπου τα αποτελέσματα δε θεωρήθηκαν ικανοποιητικά, αναπροσαρμόστηκε η αντίστοιχη γεωμετρία, ώστε να επιτευχθούν τα επιθυμητά όρια αντοχής. Στο σχήμα 20 φαίνεται η τελική έκδοση της γεωμετρίας του συστήματος οδοντωτών τροχών. Στα σχήματα 21 έως 23 φαίνονται αντίστοιχα οι τρείς βασικές αλυσίδες οδοντωτών τροχών του Μηχανισμού, δηλαδή η αλυσίδα γραναζιών που κινεί τους δείκτες ηλίου και σελήνης, αυτή των ενδείξεων της κλίμακας του Μέτωνα και η αλυσίδα για τις ενδείξεις στη κλίμακα Σάρος.

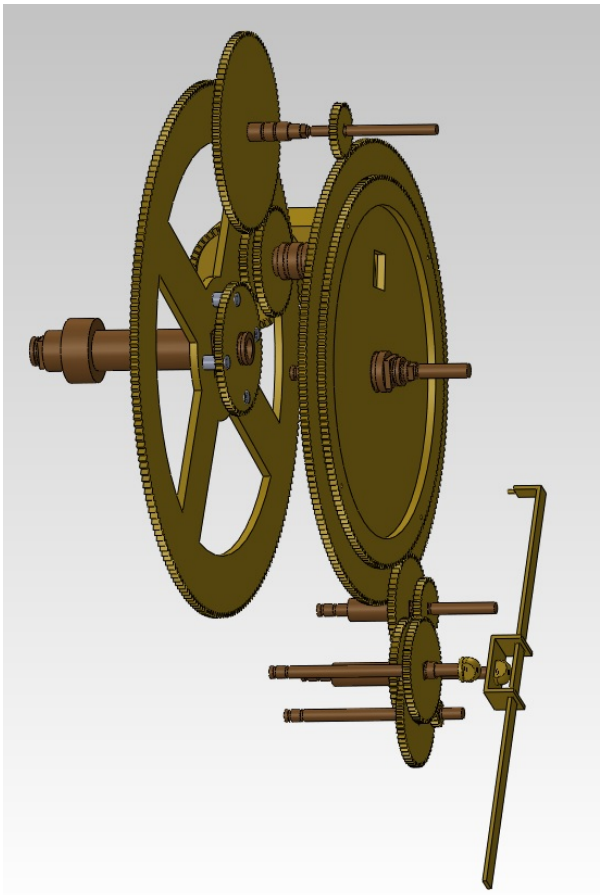
Σχήμα 20: Το σύστημα οδοντωτών τροχών του Μηχανισμού των Αντικυθήρων.



Σχήμα 21: Η αλυσίδα οδοντωτών τροχών της κλίμακας ηλίου – σελήνης.



Σχήμα 22: Η αλυσίδα οδοντωτών τροχών της κλίμακας Μέτωνα.

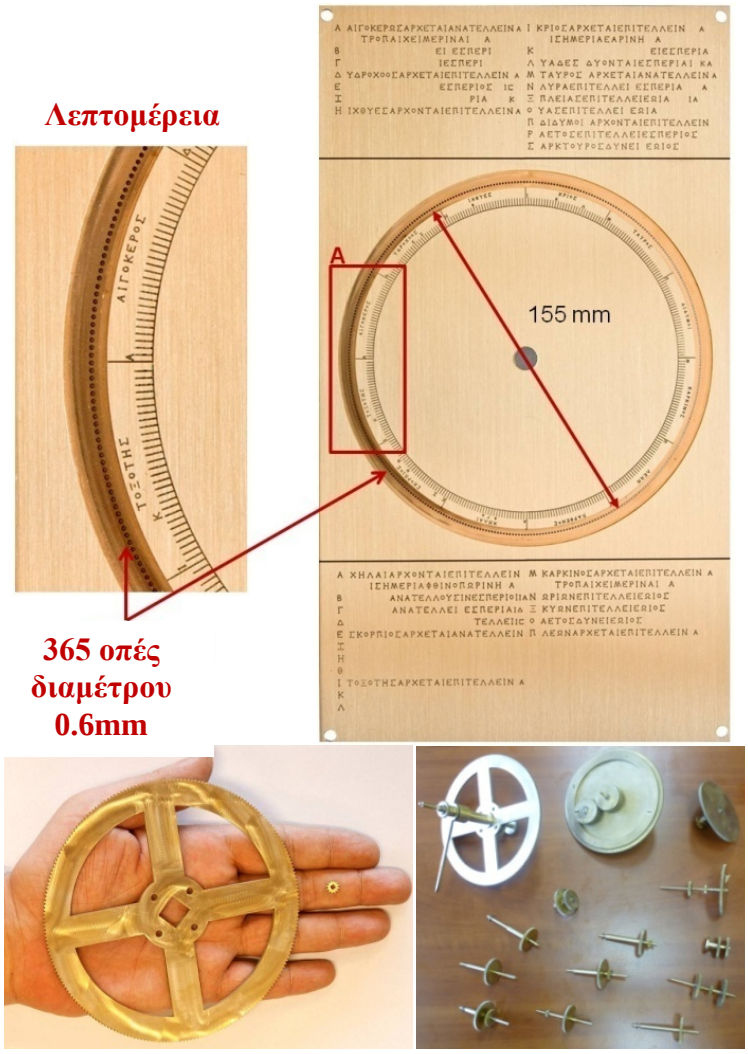


Σχήμα 23: Η αλυσίδα οδοντωτών τροχών της κλίμακας Σάρος.

4. Κατασκευή μηχανικών αντιγράφων του Μηχανισμού

Η μηχανολογική μελέτη του Μηχανισμού άρχισε το 2007 στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και ολοκληρώθηκε με την κατασκευή πιστών αντιγράφων-μοντέλων. Το πρώτο μοντέλο (V1.1) κατασκευάστηκε το 2008 (σχήμα 1). Τρία χρόνια αργότερα κατασκευάστηκε η δεύτερη έκδοση του Μηχανισμού των Αντικυθήρων (V2.1) (σχήμα 24 και 25).

Η πολυπλοκότητα των στοιχείων του Μηχανισμού απαιτεί τη χρήση διαφόρων μεθόδων κατεργασίας για την κατασκευή των επιμέρους τεμαχίων. Για τους 37 οδοντωτούς τροχούς χρησιμοποιήθηκε η CNC ηλεκτροδιαβρωτική κοπή με σύρμα (V1.1) και κοπή με λέιζερ (V2.1). Για τις 2 κορώνες εφαρμόστηκε πολύ-αξονικό CNC φρεζάρισμα ενώ για τις 19 ατράκτους κι άξονες πολύ-αξονικό CNC τορνάρισμα. Η χάραξη των επιγραφών κι ενδείξεων των πλακών έγινε με ακτίνα λέιζερ και CNC φρεζάρισμα με εργαλείο μορφής. Η κατεργασία των αυλακώσεων των πλακών έγινε με 3-αξονικό CNC φρεζάρισμα ενώ η κατεργασία των 365 οπών της εμπρός πλάκας ενδείξεων έγινε με CNC διάτρηση. Τέλος, οι δείκτες κατεργάστηκαν με CNC ηλεκτροδιαβρωτική κοπή με σύρμα.

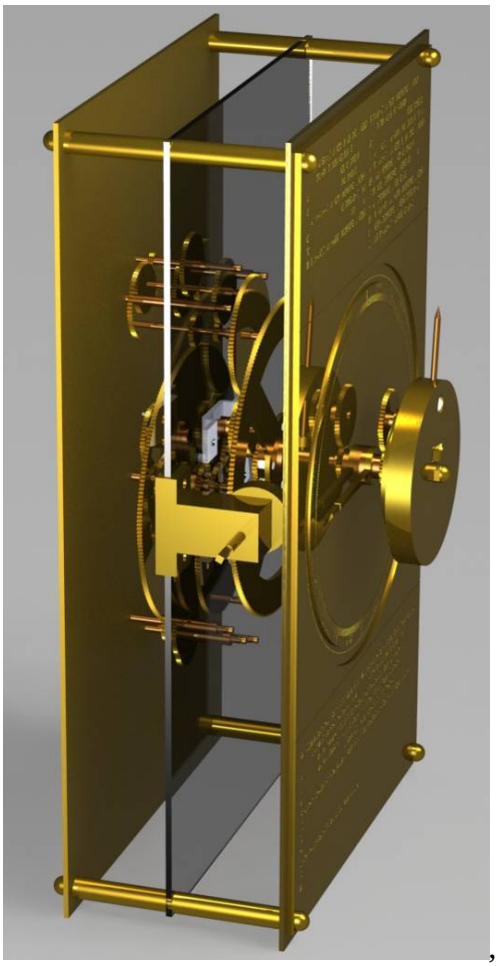


Σχήμα 24: Κατασκευασμένα μέρη του αντιγράφου του Μηχανισμού των Αντικυθήρων V2.1.



Σχήμα 25: Αντίγραφο του Μηχανισμού του Μηχανισμού των Αντικυθήρων V2.1.

Σήμερα η ερευνητική ομάδα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου έχει ήδη ολοκληρώσει την σχεδίαση της τρίτης έκδοσης του Μηχανισμού (V3.1) και είναι έτοιμη να ξεκινήσει την κατασκευή του. Στην εικόνα 26 φαίνεται φωτορεαλιστική εικόνα του νέου μοντέλου V3.1, χωρίς την ξύλινη πυξίδα του.



Σχήμα 26: Φωτορεαλιστική απεικόνιση του νέου μοντέλου V3.1, χωρίς την ξύλινη πυξίδα.

5. Συμπεράσματα

Όπως γίνεται σαφές από την ανάλυση που προηγήθηκε, η σχεδιομελέτη του Μηχανισμού με σκοπό την κατασκευή λειτουργικού αντιγράφου παρουσιάζει πολλές προκλήσεις. Τα πιο πρόσφατα ευρήματα που προέκυψαν από τη μελέτη των θραυσμάτων αποτέλεσαν τη βάση για τον καθορισμό της γεωμετρίας των τμημάτων του. Κατά τον προσδιορισμό του υλικού, της μορφής και των διαστάσεων των διαφόρων τεμαχίων του, δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στη διατήρηση των βασικών λειτουργικών αρχών του πρωτοτύπου, με στόχο τη μεγαλύτερη δυνατή πιστότητα του αντιγράφου.

Ακολούθησε η σχεδίαση των διαφόρων εξαρτημάτων. Επειδή η έρευνα επί του Μηχανισμού είναι σε εξέλιξη, θεωρήθηκε χρηστικό να δημιουργηθεί ένα μοντέλο το οποίο θα μπορεί να προσαρμόζεται εύκολα σε διάφορους συνδυασμούς διαστάσεων και μορφών, ελαχιστοποιώντας το χρόνο που απαιτείται για τον επανασχεδιασμό. Έτσι, εφαρμόστηκαν οι αρχές της παραμετρικής σχεδίασης για τη δημιουργία των μοντέλων. Αρχικά, για κάθε ομάδα ομοειδών από άποψη λειτουργίας τεμαχίων, προσδιορίστηκαν τα βασικά στοιχεία που περιγράφουν τη γεωμετρία τους. Δόθηκαν οι σχέσεις που συνδέουν τα στοιχεία αυτά, όπως αυτές υπαγορεύονται από τις απαιτήσεις λειτουργίας. Στη συνέχεια, δόθηκαν οι τιμές των διαστάσεων ως παράμετροι ικανές να μεταβληθούν. Τέλος, συνδέθηκαν τα κοινά στοιχεία γεωμετρίας μεταξύ των τεμαχίων ώστε αλλαγή της γεωμετρίας ενός τεμαχίου να αναπροσαρμόζει τη γεωμετρία των άμεσα εξαρτώμενων τεμαχίων.

Στη συνέχεια έγινε προσομοίωση της λειτουργίας του μοντέλου που προέκυπτε από τον κάθε συνδυασμό τιμών ώστε να εντοπισθούν τυχόν προβλήματα. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης οδηγούσαν κάθε φορά σε επαναξιολόγηση κι αναπροσαρμογή των διαστάσεων που παρουσίαζαν πρόβλημα. Τελικά, προέκυψε η ιδανική μορφή του μοντέλου, τουλάχιστον από λειτουργικής άποψης.

Τελικό αποτέλεσμα της μελέτης ήταν η δημιουργία κατασκευαστικών σχεδίων για το τελικό στάδιο της κατασκευής του αντιγράφου. Επίσης, δημιουργήθηκαν και σχέδια που καθοδηγούν τη συναρμολόγηση του Μηχανισμού μέσω των απαραίτητων ανεπτυγμένων τρισδιάστατων όψεων. Η χρήση διαφόρων μεθόδων κατεργασίας οδήγησε στο τελικό κατασκευασμένο μοντέλο το οποίο διατηρεί πιστές διαστάσεις ως προς το πρωτότυπο και χρησιμοποιεί το ίδιο υλικό κατασκευής.

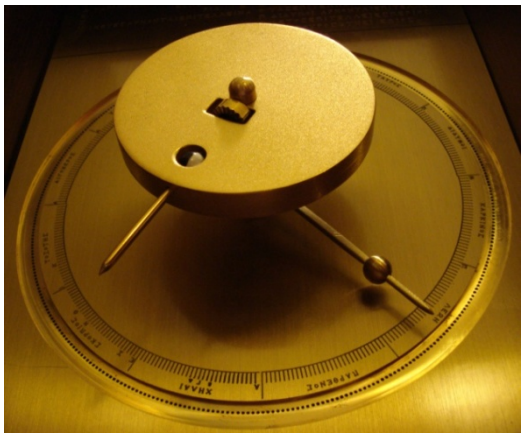
Στα σχήματα 27 έως 30 φαίνονται φωτογραφίες λεπτομερειών του κατασκευασμένου μοντέλου V2.1.



Σχήμα 27: Σπείρα του Μέτωνα.



Σχήμα 28: Δείκτης πανελλήνιων αγώνων



Σχήμα 29: Εμπρόσθια όψη



Σχήμα 30: Σπείρα του Σάρος και δείκτης του εξελιγμού.

6. Ευχαριστίες

Η παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε με την υποστήριξη του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Οι συγγραφείς θέλουν να ευχαριστήσουν την διεθνή ομάδα έρευνας του Μηχανισμού "Antikythera Mechanism Research Project" καθώς επίσης και το Αρχαιολογικό Μουσείο Αθηνών για τη συνεργασία τους.

7. Βιβλιογραφία

- Anastasiou M., (et al.), 2012, The Antikythera Mechanism: The structure of the mounting of the back plate's pointer and the construction of the spirals, 5th ESHS (European Society for the History of Science) Congress, Athens.
- Carman C., 2013. Decoding the Heavens: A 2,000-Year-Old Computer— and the Century-Long Search to Discover Its Secrets, Notices of the AMC, Volume 60, Number 6, pp. 741-744.
- Cicero Marcus Tullius, De Re Publica, I (ca. 50B.C.), XIV, 21-2.
- Cicero Marcus Tullius, De Natura Deorum II (ca. 50B.C.), XXX.
- Efstathiou K. (et al.), 2009, A New Model of the Antikythera Mechanism, XXIII ICHST (International Congress of History of Science and Technology) Ideas and Instruments in Social Context, Budapest, Hungary.
- Efstathiou K. (et al.), 2012, Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism, Mechanism and Machine Theory, 52, pp. 219-231.
- Freeth T. (et al.), 2006, Decoding the Antikythera Mechanism: Investigation of an Ancient Astronomical Calculator, Nature, pp. 444,587.
- Freeth T. (et al.), 2008, Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism, Nature, pp. 454,614.
- Gourtsoyannis E., 2010, Hipparchus vs. Ptolemy and the antikythera mechanism: pin-slot device models lunar motion, Journal of Advances in Space Research 46, pp. 540–544.
- Malzbender T. (et al.), Polynomial Texture Maps, http://www.hpl.hp.com/research/ptm/papers/ptm.pdf.
- Price D. de Solla, 1975, "Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism – A calendar computer from ca. 80 B.C.", Transactions of the American Philosophical Society, n.s., lxiv/7 (1974) (reprinted New York, 1975).
- Ramsey A., 2007, Proceedings of the International Symposium on Digital industrial Radiology and Computed Tomography, Lyon - France.
- Ramsey A., 2012, "X-ray Tomography of the Antikythera Mechanism", in Proceedings of Science (PoS), From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients, Kerastari, Greece, 12-15 June 2012, published online at http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=170
- Wright M.T., 2004 "The Scholar, the Mechanic and the Antikythera Mechanism", Bulletin of the Scientific Instrument Society, lxxx, pp. 4-11.

Ντοκιμαντέρ

Μηχανισμός των Αντικυθήρων: Κατασκευή πιστού αντιγράφου

Documentary

The Antikyhtera Mechanism: Construction of precise replica

ISSN: 2241-9993

Simulation of mechanism's gears precise replica

ISSN: 2241-9993

Ακαδημια Θεσμων και Πολιτισμων
Academy of Institutions and Cultures

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

Διεύθυνση- Direction
ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΙΟΥ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗΣ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
JOHN HUGH SEIRADAKIS, Aristotle University of Thessaloniki

Μαγδαληνή Νικολή - Ιωάννης Χιού Σειραδάκης

Magdalini Nikoli - John Hugh Seiradakis

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

PROCEEDINGS OF SCIENCE

THE FIRST NEWSPAPER REFERENCES TO THE ANTIKYTHERA SHIPWRECK DISCOVERIES

Magdalene Nikoli[1]
Aristotle University
Department of Physics
Laboratory of Astronomy
GR-541 24, Thessaloniki, Greece
E-mail: manikoli@physics.auth.gr

John H. Seiradakis
Aristotle University
Department of Physics
Laboratory of Astronomy
GR-541 24, Thessaloniki, Greece
E-mail: jhs@astro.auth.gr

The Antikythera Mechanism is an ancient Greek bronze, geared device, often quoted as the world's first computer [1,2,3]. But when, where and how was this extraordinary technological device, which has attracted widespread interest, discovered? The sequence of events, following the discovery of the Antikythera shipwreck and the Mechanism, are investigated through a series of newspapers articles dated from November 1900 to December 1902. The difficulties of the marine excavation, the financial and technical problems and the excitement that followed the discovery are described step by step.

1. Introduction

In order to unfold the thread of this unique and interesting story five contemporary Greek newspapers were thoroughly investigated between the 1st November 1900 and the 31st December 1902. In total about 440 articles were found in: Empros (161 articles), Estia (76 articles), Proia (9 articles), Skrip (154 articles) and Sfaira (42 articles).

From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients,
Kerastari, Greece
12-15 June 2012

[1] Speaker

© Copyright owned by the author(s) under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike Licence.

2. The discovery of the Antikythera shipwreck

The unique path of the discoveries [4] began on Holy Tuesday of 1900 (according to the Julian calendar used at that time) when a group of Symiot sponge divers, including 6 divers and 22 rowers in 2 boats, probably sailing to Africa, were confronted by stormy weather in the passage between the islands of Crete and Kythera (Fig.1). Thus, they were forced to resort in the Ormos of Potamos in Antikythera where they anchored.



Figure 1. The location of Antikythera between Crete and Peloponnese.

Antikythera is a small island, only 6 miles in length and 2 miles in width, located halfway between Kythera and the peninsula of Gramvousa in western Crete. The highest peak of its rocky and stony surface is 378 meters above sea level. In ancient times it was called *Aigila* or *Aigilia* while nowadays the locals call it Lious and Sigilio and the sailors refer to it as Tsirigoto. This particular passage, from ancient times until now, is extremely dangerous for ships as it is a region with moving sand, shallow water and irregular currents.

When the storm passed, one of the two boats sailed to nearby cape Glyfadia, in the northeast of Antikythera, probably in search of seafood for the days of fasting. Elias Lykopandis a strong and experienced diver (also called Stadiatis, due to his origin from Stadia of Asia Minor) dived, not far from the shore, at the position of Pinakakia. When he reached a depth of about 35 fathoms, he signaled to be pulled up. Captain D. Kontos and the crew were utterly surprised seeing what Elias had brought up with him from the bottom of the sea. Elias Lykopandis had discovered an ancient shipwreck full of marble and bronze statues and other ancient items, lying on the seabed. As evidence he had brought with him an oversized right forearm which was part of a bronze statue. And this was the beginning of the remarkable course of events that followed.

2.1 Reporting the discovery

After the discovery, the group continued its journey to the shores of North Africa, searching for sponges and later returned to Symi, without any incidents worth mentioning. Back home, they spent some months enjoying the fruits of a successful mission, while lively discussions were held and advice was requested from the elderly, about what to do with the treasure of the ship. Eventually, the Symiot professor of Archaeology at the University of Athens, A. Economou, convinced them to report the findings to the Government, rather than engage in an unlawful adventure. Thus, on November 6, Dimitrios Kontos and Elias Lykopandis went to Athens taking with them the bronze forearm as evidence and presented themselves to the Minister of Education, Spyridon Stais. This was the day when the first announcement about the shipwreck was published in the newspapers of the time. However, according to other information the divers had informed the Government about the treasure

immediately after its discovery but nobody paid attention to them or did anything in order to confirm their words. Therefore, only when they brought the forearm as evidence they attracted the interest of the Minister and things started moving straight away.

3. The marine excavations

According to the newspaper articles the sponge divers agreed to participate in the marine excavation and they were promised to receive adequate remuneration for the treasures they would pull out and deliver to the Government. At the same time, during the excavation they would have a navy boat at their disposal with the necessary equipment, for the lifting of heavy objects. It was also agreed that an accredited archaeologist would be onboard in order to oversee the whole operation and this particular mission was entrusted to the friend of the sponge divers, professor Economou.

3.1 Organizational matters

The troopship "*Mykali*" was immediately made available and with captain Andreas Sotiriadis and officers assembled from other ships at the last minute, she sailed on November 24, 1900. Right from the beginning the divers had to deal not only with the bad weather and the rough sea but also with the unsuitability of "*Mykali*" which due to her size many times could not approach the site of the excavation and assist the divers in their work. This is why the assistance of other, smaller ships ("*Aigialia*", "*Kissa*" and "*Syros*") was often requested. Despite these difficulties the divers were not prevented from doing their job and they recovered antiquities immediately, from the first day of their mission. Initially, it was assumed that a week or even a month would be enough for the hoisting of the antiquities but soon they realized that more time was required as the statues lying on the seabed were not only numerous but also they were of unique archaeological value and thus the divers would have to be extra careful.

3.1.1 Diving techniques

Despite the initial difficulties the chronicle of the excavation began immediately and soon a large number of archaeological treasures was brought to light. The divers work was very hard and they had to put a lot of effort and labor. They could stay in the water only for 8 minutes from which 5 were needed for descend and ascend and thus only 3 minutes were left to work on the seabed. When they worked more than that they returned to the surface almost unconscious and "pale-green". Apart from that, according to some articles, an earthquake that had occurred the previous years had caused damage and had accumulated boulders on the wreck smashing a large part of the treasure. The bonding of the marble objects with the natural rocks was so strong that the divers were unable to separate them, so their work became more and more difficult, day by day. Moreover, the long stay in the sea (almost for 2000 years) had also destroyed and damaged many of the statues while others had been transformed into lumps of calcified objects. Even the ones that had remained relatively intact were probably being destroyed during the hoisting, due to their delicate state.

It should be mentioned that during these two years many articles were published describing the efforts of the Greek Government to come to an agreement with expert companies from abroad, which would undertake the excavation of the rest of the antiquities that were lying on the seafloor. The most famous of these companies was from Genoa but its demands were excessive and thus they never came to an agreement.

Some newspapers suggested that more suitable equipment should be brought from abroad or even stop the excavation altogether and leave the antiquities to be discovered by later generations with more appropriate technology. On the other hand, many specialists as well as the Ministry's personnel disagreed and expressed the opinion that the damage seen in many statues was not caused by the divers and that in no case should they leave them to get more corroded by the sea water.

3.2 Difficulties during the excavation

Bad weather, prevailing for long intervals, forced the divers to often interrupt their work. By the end of February 1901 they were frustrated and wanted to abandon the excavation, saying that they believed that there was nothing else left to be found. However, the Minister, who had visited them at Antikythera [5], convinced that more antiquities lied on the seafloor to be discovered, taking into account that there were missing parts of many statues, tried to persuade them to continue their work by giving them additional financial reward. And he did so! The divers at the end of March 1901 repeated the excavation.

On April 28, 1901 a sad event was published in the newspapers. The sudden death of the diver Georgios Kritikos shocked everyone while 2 days later a human skeleton was found in the vicinity of the shipwreck.

During the months that followed, they extracted a few antiquities that were thought not to be of great archaeological value and finally, by the end of September 1901, the excavation was halted permanently. The divers could not recover any further antiquities anymore and being disappointed abandoned the excavation and returned to their home at Symi.

Another important issue that occupied the journalist's interest for a long time was the compensation of the divers. The amount of their reward was set at 150.000 drachmas and despite their demands and objections and a dispute with the Ministry, they finally signed the contract of payment in January of 1902.

4.The Antikythera treasures

Despite the above mentioned adversities, the interval between November 1900 and February 1901 was very productive and during this period, most of the antiquities were found. Among these there were: marble and bronze statues, parts of statues (head, arms, legs or bodies), sculptures, pottery, bronze vessels, jugs, cups, plates, utensils and food containers, bronze and gold jewelry, a war sword, parts of a decorated bed, the head of a bronze lion, parts of horses, an anchor as well as parts of the ship, some statues representing boxers in action, athletes and other adolescents.



Figure 2. Antikythera: Divers in action.

All these statues and items were transferred with "*Mykali*" and "*Syros*" every time they returned to Piraeus from Antikythera. During these frequent journeys the Minister of Education, the curators of the antiquities, as well as other important people, often sailed from Piraeus to Antikythera and vice versa in order to supervise the work of the divers. (Fig.2)

4.1 The exhibition of the treasures

In the beginning the antiquities were exhibited in the Ministry of Education, where people could visit them until the end of January 1901. Every day, crowds of people visited the Ministry mainly Greeks but also scholars from abroad, who admired the antiquities and mostly the imposing *statue of Hermes* (nowadays known as the *Antikythera Youth*), which caused admiration, enthusiasm and emotion. Everyone agreed that these antiquities were unique and their value was immeasurable. On February 3, 1901 they started being transferred to the Archaeological Museum where they were placed in a special room that Minister Stais had ordered to be prepared only for them. Outside the room there was the label "*Kythera finds*".

Many archaeologists studied the findings and proposed different cities as the origin of the shipwreck, including Attica, Istanbul, Milos, Rhodes or even Argos. According to the newspapers published in 1901 and 1902, there was also another suggestion, stating that this could have been one of the ships with which Sullas (138 BCE – 78 BCE) had transferred stolen masterpieces in order to sell them or decorate important buildings in Rome. But all these were only guesses. The only certain thing was that the wreck had occurred during the Roman times and this was determined by the utensils and vessels that had been found.

4.2 The statue of *Hermes*

In early July of 1901 the cleaning of the Antikythera's finds was completed except for the welding of the *statue of Hermes* [6]. That's why on October 6, 1901 the famous Austrian technician Wilhelm Sturm finally came to Athens from Vienna in order to undertake the welding of the statue, after many discussions and despite his initial reluctance. He examined the statue at the Archaeological Museum and characterized it as one of the best that existed in the world's museums. He said that the welding wouldn't be difficult but it would require 4–8 months, a rather long period, which he didn't have due to his responsibilities in the Archaeological Institute of Vienna. A week later he left Greece, suggesting that the statue should be sent in Vienna in order to restore it there. The proposal was rejected for obvious reasons.

Apart from W. Sturm many other technicians showed their interest to undertake the welding of the magnificent statue and attracted the journalist's attention at times. A dispute was raised by a Greek technician, Nikolaos Vranakis, who claimed that he had proposed the same method of welding as Sturm's, 10 months earlier. On February 1902 an Armenian technician from the Imperial Museum of Istanbul asked to be assigned the task of welding the *statue of Hermes*. But the Minister was very reluctant in choosing one of them as he had someone else in mind. And this man was the famous French sculptor Alfred André who had initially refused to come and that's why the director of the French Archaeological School of Athens was asked to mediate in order to convince him to come. And indeed he came! On May 6th 1902 the expert technician arrived in Athens. After examining the statue he decided that the welding wouldn't be difficult. He would do it with a mixture that he had personally invented. He also indicated that he would place an iron frame in the interior of the statue in order to make it stronger. But he suggested that it would be preferable to do at a cooler epoch, so he left a few days later renewing his appointment for August 1902. His award was set at 20.000 francs. The whole work was completed by the 2nd of October and the statue had become majestic. Alfred André had done an amazing work, which was warmly praised by the press.

5. The discovery of the Antikythera Mechanism

On May 1902 a modest but most important announcement appeared in the newspapers. It reported the discovery of the "*Antikythera Mechanism*". On the 20th of May the former Minister of Education, Spyridon Stais, who was visiting the Archaeological Museum with his wife and her sister, while admiring the *statue of Hermes*, he investigated some scattered pieces of bronze antiquities, lying around the statue. Observing one of them more carefully he noticed part of a small gear on it. He was able to assemble a few more pieces to form a plate on which the whole gear could be distinguished. Then he noticed that around the gear there was an inscription with distinct greek letters. Immediately everyone tried to read the inscription and got really excited hoping that by this reading the time and place of origin of the ancient artifact could be verified. After a thorough examination the phrase "…*ray from the Sun*…" ("*ΗΛΙΟΥ ΑΚΤΙΣ*") was read. The first impression was that this plate was part of a nautical device, probably of a gnomon, which was used as a compass. The numismatist Ioannis Svoronos on the other hand insisted that this was an astrolabe, an instrument that the ancients used in order to determine the position of

their ship. Despite the original enthusiasm about the discovery of the geared device only 7 articles about it were published in the newspapers in the next few days. Probably the archaeologists couldn't fully understand the incredible astronomical and technological knowledge hidden in it so they lost interest and finally ignored it and dealt with other more comprehensible and closer to their expertise issues.

6. The Cousteau excavation

The site of the shipwreck remained unexplored for the next decades until Jacques Yves Cousteau started his explorations on June 12, 1976. He was most interested in finding bronze items, which were considered to be rare and precious. His contribution was very important. He excavated several bronze items, jewelry and -most important- a handful of coins from Pergamum, with which the Antikythera shipwreck was dated between 85 and 67 BCE. He was the last to visit and search the site of the shipwreck.

7. Concluding remarks

These were the most important events discovered during a 2 year "journey" through the contemporary greek press about the Antikythera wreck, which even though it had its difficulties, it brought to light a great part of the Greek legacy, for which everyone felt proud. It should also be stated that the role played by the Minister of Education was very important. During this time three Ministers of Education assumed duties: Spyridon Stais (May 1900-November 1901), Antonios Momferratos (November 1901-December 1902) and Alexandros Romas (December 1902).

In the following pages some important early newspapers reports (with their English translation) are presented.

Skrip November 6, 1900
The first announcement in the newspapers

ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΕΣ ΕΙΣ ΤΗΝ ΘΑΛΑΣΣΑΝ

Κατ' εἰδήσεις ἐκ Κυθήρων, δύται ἐργαζόμενοι μεταξὺ τῆς νήσου καὶ τοῦ ἀκρωτηρίου Μαλέα, ἀνεκάλυψαν εἰς τὸν βυθὸν τῆς θαλάσσης ἀγάλματα καὶ ἀνδριάντας ἐκ χαλκοῦ, χωρὶς ὅμως ν' ἀνελκύσωσι κανένα ἐξ αὐτῶν ἐλλείψει τῶν ἀναγκαίων μέσων. Ἀνεσύρθη μόνον ὁλόκληρος ἡ χεὶρ χαλκίνου ἀγάλματος, ἥτις εἶνε σπουδαίας τέχνης καὶ φαίνεται ἀνήκουσε εἰς ὑπερφυσικὸν ἄγαλμα τοῦ Ποσειδῶνος.

Ὁ κ. Στάης συνεννοήθη μετὰ τοῦ κ. Βουδούρη, ὅπως ἀποσταλῇ ἐκεῖ τόπου πολεμικὸν πλοῖον, σὺτινος θὰ ἐκβῇ ὁ Γεν. Ἔφορος τῶν ἀρχαιοτήτων κ. Καββαδίας, ὁ καθηγητὴς τοῦ Πανεπιστημίου κ. Οἰκονόμου καὶ ἄλλοι ἀρχαιολόγοι. Εἰς τοὺς δύτας θὰ δοθῇ ἱκανοποιητικὴ ἀμοιβή, ἵνα ὑποδείξωσι τὸ μέρος, εἰς ὃ ὑπάρχουσιν αἱ ἀρχαιότητες, αἵτινες ἐλπίζεται, ὅτι θὰ εἶνε μεγάλης ἀξίας.

Ἡ «Κρήτη» εἰς τὰ Κύθηρα

Τὸ ὑπουργεῖον τῶν Ναυτικῶν διέταξε χθὲς, ὅπως ἀποπλεύσῃ εἰς Κύθηρα τὸ ὁπλιταγωγὸν «Κρήτη» παραλαμβάνουσα τὸν κ. Καββαδίαν καὶ τοὺς λοιποὺς ἀρχαιολόγους.

ANTIQUITIES IN THE SEA

According to reports from Kythera, divers working between the island and cape Malea [*This is a mistake: the island of Antikythera is located between Kythera and the Gramvousa peninsula in Crete*] discovered, in the seabed, several copper statues, without though hauling them, due to the absence of the necessary means. Only the hand of a copper statue was pulled up. It is of great art and seems to belong to an oversized statue of Poseidon.

Mr. Stais came in agreement with Mr. Voudouris to send a warship bringing with her the general curator of the antiquities Mr. Kavvadias, professor Oikonomou from the University [*of Athens*] and other archaeologists. The divers will be given adequate remuneration in order to point out the site where the antiquities lie, which hopefully are of great value.

"Kriti"to Kythera

The Navy Ministry ordered yesterday the troopship ''Kriti'' to sail to Kythera bringing with her Mr. Kavvadias and the rest of the archaeologists.

Empros March 3, 1901
Temporary interruption of works and questions

ΤΑ ΕΥΡΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΚΥΘΗΡΩΝ

Οἱ Συμαῖοι παρὰ τῷ Ὑπουργῷ

Χθὲς ἐπεσκέφθησαν τὸν ὑπουργὸν κ. Στάην οἱ ἐνταῦθα παραμένοντες Συμαῖοι δύται, οἵτινες ἐδήλωσαν ὅτι ἀναλαμβάνουσι τὴν ἐξακολούθησιν τῆς ἀνελκύσεως μετὰ τὰς ἑορτὰς τοῦ Πάσχα, τὸ ὁποῖον θὰ διέλθωσιν εἰς τὴν πατρίδα των.

Κατὰ τὸ διάστημα τοῦτο οἱ ἰδιοκτῆται τῶν σπογγαλιευτικῶν πλοίων θὰ παραμείνωσιν ἐν Πειραιεῖ.

Τὰ μαρμάρινα ἀγάλματα.—Τὸν λέγον ὁ κ. Μητσόπουλος

Τὸ ὑπουργεῖον τῆς Παιδείας προσεκάλεσε τὸν ἐν τῷ Πανεπιστημίῳ καθηγητὴν τῆς Ὀρυκτολογίας καὶ πρύτανιν κ. Μητσόπουλον, ὅπως ἀποφανθῇ ἐπὶ τῆς παρατηρουμένης διαφόρου ἀλλοιώσεως ἐν ἑκάστῳ τῶν ἀνελκυσθέντων μαρμαρίνων ἀγαλμάτων.

Τὰ ἐρωτήματα ἐφ' ὧν ἐκλήθη ν' ἀποφανθῇ ὁ κ. Μητσόπουλος εἶνε :

1ον) Διατί τινὰ τῶν ἀγαλμάτων παρέμειναν ἐν τῷ βυθῷ τῆς θαλάσσης ἐντελῶς ἀμετάβλητα καὶ ἄλλα κατεφαγώθησαν ὑπὸ τῶν θαλασσίων ἁλάτων.

2ον) Διατί τινὰ τούτων ἐκαλύφθησαν ὑπὸ πετρωμάτων καὶ

3ον) Πόσος χρόνος ἀπῃτήθη δι' ὅλην τὴν χημικὴν ταύτην ἀλλοίωσιν.

Ἐκ τῆς ἀπαντήσεως ἐπὶ τῶν ἐρωτημάτων τούτων δύναται μέγα νὰ προκύψῃ φῶς εἰς τὴν καθόλου ἀρχαιολογικὴν ἔρευναν τῶν ἀνελκυσθεισῶν ἀρχαιοτήτων.

THE KYTHERA FINDINGS

The Symiots to the Minister

Yesterday, the Symiot divers, who are still in Athens, visited the Minister Mr. Stais, and said that they agree to continue the excavation after the Easter holidays, which they will spend in their home island.

During this period the owners of the sponge-fishing boats will remain in Piraeus.

The marble statues. What Mr. Mitsopoulos says

The Ministry of Education invited the Mineralogy Professor and Rector of the University Mr. Mitsopoulos to give his opinion about the variable extent of decay that individual marble statues have suffered.

The questions which Mr. Mitsopoulos was asked to answer are:

1) Why some of the statues had remained on the seabed completely unchanged, while others were eroded by sea salt?

2) Why some of them were covered by calcification?

3) How long did it take for this chemical decay to occur?

The answers to these questions, will shed light on the archaeological investigation of the antiquities.

Skrip May 22, 1902
The discovery of the Antikythera Mechanism

ΑΙ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΩΝ

Η ΕΝΕΠΙΓΡΑΦΟΣ ΠΛΑΞ

Ἡ χάρις εἰς τὴν παρασημειωτικότητα τοῦ πρώην ὑπουργοῦ κ. Στάη ἀνακαλυφθεῖσα μεταξὺ τῶν ἀρχαιοτήτων τῶν Ἀντικυθήρων χαλκίνη ἐνεπίγραφος πλάξ, περὶ ἧς ἐγράψαμεν χθές, εἶνε μεγίστης σπουδαιότητος, διότι ἐκ ταύτης.— ἀναγνωσθησομένης τῆς ἐπιγραφῆς θὰ ἐξακριβωθῇ τίνος ἐποχῆς καὶ τίνος μέρους εἶναι αἱ ἀρχαιότητες. σήτινες κατεστοναπίσθησαν μετὰ τοῦ φέροντος αὐτὰς πλοίου εἰς τὰ Ἀντικύθηρα. Εὐνόητον ἑπομένως εἶνε τὸ ἐνδιαφέρον, ὅπερ ἐξήγειρε τὸ ἀγγελμα τῆς τυχαίας ταύτης ἀνακαλύψεως παρὰ τῷ ἀρχαιολογικῷ κόσμῳ. ὅστις θὰ δυνηθῇ ἤδη νὰ καθορίσῃ τίνα παριστᾷ τὸ θαυμάσιον χάλκινον ἄγαλμα τὸ ἀνελκυσθὲν ἐκ τοῦ βυθοῦ τῆς θαλάσσης τῶν Ἀντικυθήρων, τὸ ὁποῖον τόσας διαμάχας καὶ συζητήσεις προυκάλεσεν. διὰ νὰ βαπτισθῇ Ἑρμῆς ἐν μέσῳ πολλῶν καὶ ζωηρῶν ἐντυπώσεων καὶ διαμαρτυριῶν.

Πρῶτος ἔσπευσε χθὲς εἰς τὸ Κεντρικὸν Μουσεῖον ὅπως ἐξετάσῃ τὴν πλάκα ὁ διακεκριμένος ἀρχαιολόγος κ. Βυζαντινός, ὅστις κατόπιν μακρᾶς καὶ ἐπιμελοῦς ἐρεύνης ἠδυνήθη ν' ἀναγνώσῃ. ἀφοῦ συνεμολόγησεν ὡς ἦτο δυνατὸν καλλίτερον τὰ τεμάχια. τὰ ἑξῆς γράμματα :

ΤΩΝ....
ΙΝΟΝ....

Ἐπὶ ἄλλης δέ τινος πλακός, ἥτις πεφανῶς ἦτο ἐπικεκολλημένη ἐπὶ τῆς πρώτης ἐν τῷ βυθῷ τῆς θαλάσσης. ἀνέγνω ὁ κ. Βυζαντινὸς τὰ ἑξῆς ἔκτυπα γράμματα :

...ΓΝΩΜΩΝ...
...ΦΙΡΜΙΟΣ...

Ὁ κ. Βυζαντινὸς ἐσχημάτισε τὴν γνώμην ὅτε αἱ ἀρχαιότητες τῶν Ἀντικυθήρων εἶνε τέχνης τῆς ἐποχῆς τῶν ἐσῶν ΙΣΟ π.Χ. μέχρι 200 μ. Χ. σήμερον ὅμως, ἐκ νέου ἐξετάζων τὴν ἐπιγραφὴν διὰ φακοῦ θὰ δυνηθῇ, ὡς ἐλπίζομεν. νὰ ἐπιγρευθῇ ὁριστικώτερον περὶ τῆς ἐποχῆς.

Ἴσως ἐπιμελεστέρα ἔρευνα ὁδηγήσῃ εἰς τὸν ἀσφαλῆ προσδιορισμὸν τοῦ χρόνου τῶν ἀρχαιοτήτων καὶ τοῦ ναυαγήσαντος πλοίου ἐν ᾧ αὗται εἶχον φορτωθῇ.

Σήμερον θὰ μεταβῇ εἰς τὸ Μουσεῖον καὶ ὁ διευθυντὴς τοῦ Αὐστριακοῦ Ἰνστιτούτου κ. Μπιλμὲν καὶ πολλοὶ ἄλλοι ἀρχαιολόγοι ἔχοντες εἰδικότητα εἰς τὴν ἀνάγνωσιν τῶν ἀρχαίων ἐπιγραφῶν.

THE ANTIKYTHERA ANTIQUITIES

The inscribed plate

The copper inscribed plate, which was discovered among the Antikythera antiquities thanks to the former Minister's Mr. Stais insight, is of outmost importance because its reading will reveal from when and where the antiquities, which sank with the shipwreck at Antikythera, came from. Therefore the interest that the announcement of this accidental discovery among the archaeologists is well justified. Now, they will be able to determine what the wonderful copper statue, which was excavated from the sea of Antikythera and has provoked so many conflicts and discussions in order to be named "Hermes", among many and lively objections and protests, represents.

The eminent archaeologist Mr. Vyzantinos was the first to visit the Museum yesterday in order to examine the plate. After a long and careful research he managed to assemble the pieces as well as he could and was able to read the following letters:

ΤΩΝ…. ΙΝΟΝ….

On another plate which was apparently stuck on top of the first one, at the bottom of the sea, he read the following:

….ΓΝΩΜΩΝ
….ΦΙΡΜΙΟΣ…

Mr. Vyzantinos's opinion is that the style of the Antikythera antiquities belongs to the epoch 150 BCE to 200 AD. However, today after re-examining the inscription with a lens, he will be able, hopefully, to give a definite answer about the epoch.

A more thorough investigation will probably lead to a safe determination of the epoch of the antiquities and of the shipwreck which carried them.

Today, the director of the Austrian Institute Mr. Bilmen will also visit the Museum, together with many other archaeologists, who are experts in reading ancient inscriptions.

Empros October 6, 1902
The completion of the Hermes welding by mister Andre

Η ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΙΣ ΤΟΥ ΕΡΜΟΥ

Παρασημοφορία τοῦ κ. Ἀνδρὲ

Ὁ Γάλλος συγκολλητὴς κ. Ἀνδρὲ ἀνεχώρησε χθὲς ἐπιστρέφων εἰς Γαλλίαν μετὰ τῶν βοηθῶν του.

Πρὸ τῆς ἀναχωρήσεώς του ἐπεσκέφθη τὸν πρωθυπουργὸν κ. Ζαΐμην καὶ τὸν ὑπουργὸν τῆς Παιδείας κ. Μομφερράτον.

Μετὰ τὴν ἀναχώρησίν του ὁ κ. Μομφερράτος δι' ἐπιστολῆς του πρὸς τὸν κ. Ζαΐμην ἐπρότεινε τὴν παρασημοφορίαν του εἰς ἔνδειξιν ἐκτιμήσεως διὰ τὴν θαυμασίαν συγκόλλησιν τοῦ χαλκίνου ἀριστουργήματος τῶν Ἀντικυθήρων.

Τὸ συγκολληθὲν ἄγαλμα ἐτοποθετήθη ἐπὶ βάσεως προχείρου, ἀπὸ σήμερον δὲ θὰ ἐπιτραπῇ εἰς τὸν κόσμον ἡ ἐπίσκεψις αὐτοῦ.

Οἱ Ὑπουργοὶ εἰς τὸ Μουσεῖον

Χθὲς τὴν πρωΐαν τὸν χαλκοῦν Ἑρμῆν ἐπεσκέφθησαν ὁ πρωθυπουργὸς κ. Ζαΐμης, ὁ ὑπουργὸς τῆς Παιδείας κ. Μομφερράτος, ὁ ἀπὸ τῶν Οἰκονομικῶν κ. Νέγρης καὶ ὁ γενικὸς γραμματεὺς τοῦ ὑπουργείου τῆς Παιδείας κ. Κολλυβᾶς.

Οἱ κ. κ. Ὑπουργοὶ παρέμειναν μίαν περίπου ὥραν θαυμάζοντες τὸ συγκολληθὲν ἄγαλμα.

HERMES WELDING

Mister Andre's decoration

The French sculptor Mr. André departed yesterday, returning to France with his assistants.

Before his departure he visited the Prime Minister, Mr. Zaimis and the Minister of Education Mr. Momferratos.

After his departure Mr. Momferratos with a letter to the Prime Minister proposed to honour Mr. André, as a token of appreciation for performing such an excellent welding on the Antikythera masterpiece.

The welded statue has been placed on a temporary base and will be open for public viewing today.

The Ministers in the Museum

Yesterday morning the Prime Minister Mr. Zaimis, the Minister of Education Mr. Momferratos, Mr. Negris from the Ministry of Finances and the secretary general of the Ministry of Education Mr. Kollivas, visited the copper statue of Hermes.

The Ministers stayed for about an hour admiring the welded statue.

Acknowledgements

It is a pleasure to thank the Antikythera Research Project group and the National Archaeological Museum of Athens. Without their research efforts and the safeguarding of the Antikythera fragments respectively, this work wouldn't have been initiated. We would also like to acknowledge the in-situ assistance of the personnel of the Library of the Hellenic parliament and for their efforts to digitize several early newspapers.

References

[1] D. de S. Price, *Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism-A calendar computer from ca. 80 BC. Trans. Am. Phil. Soc.*, New Series, **64**, 1-70 (1974) (reprinted by Science History Publications, New York, 1975).

[2] M. T. Wright, *Epicyclic gearing and the Antikythera Mechanism, Part I. Antiquar. Horol.* **27**, 270-279 (2003).

[3] T. Freeth et *al*., *Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism. Nature* **444**, 587–591 (2006).

[4] M. Tsipopoulou, M. Antoniou, S. Massouridi, *The 1900-1901 investigations.*, Eds N. Kaltsas, E. Vlachogianni & P. Bouyia, National Archaeological Museum, Athens, p 18-31, 2012.

[5] E. Lykoudis, *The Archaeological treasures of Antikythera* (in greek). Selides, eds Kollaros, Athens, 1921

[6] E.S. Myers, *The Antikythera Youth in its context* (MSc Thesis). Louisiana State University, USA, 2006.

Ακαδημια Θεσμων και Πολιτισμων
Academy of Institutions and Cultures

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

Διεύθυνση- Direction
ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΙΟΥ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗΣ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
JOHN HUGH SEIRADAKIS, Aristotle University of Thessaloniki

Κυριάκος Ευσταθίου

Kyriakos Efstathiou

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

Η ανακατασκευή του Μηχανισμού των Αντικυθήρων στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
The reconstruction of the Antikythera Mechanism at the Aristotle University of Thessaloniki

- Κυριάκος Ευσταθίου, Καθηγητής του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
  Kyriakos Efstathiou, Professor, Department of Mechanical Engineering,
  Aristotle University of Thessaloniki
  E-mail: efstathi@meng.auth.gr

ISSN: 2241-9993

Στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, έχουν σχεδιαστεί και πραγματοποιηθεί, συνεχώς εξελισσόμενες ανακατασκευές του ***Μηχανισμού των Αντικυθήρων*** (2008, 2011, 2015 και 2016), στις οποίες, ενσωματώνονται τα εκάστοτε γνωστά δημοσιευμένα ερευνητικά αποτελέσματα. Εν προκειμένω και σε σχέση με την χρονική εξέλιξη της έρευνας του Μηχανισμού, κατασκευάστηκαν διάφορα αντίγραφα του Μηχανισμού, σε πραγματικές διαστάσεις (κλίμακα 1:1) και με πραγματικό τρόπο συναρμολόγησης, καθώς και διαφανή εποπτικά αντίγραφα σε κλίμακα 3:1 και 4:1, με πραγματικό τρόπο συναρμολόγησης. Συνολικά ερευνήθηκαν, σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν 6 διαφορετικά μοντέλα του ***Μηχανισμού των Αντικυθήρων.***

Τα τρία μοντέλα σε κλίμακα 1:1, κατασκευάστηκαν σε πραγματικές διαστάσεις και με τα υλικά που είχε κατασκευαστεί, το 2^{ο} αιώνα π. Χ., ο πρωτότυπος αρχαίος μηχανισμός. Η προστατευτική θήκη κατασκευάστηκε εξ ολοκλήρου από ξύλο. Όλα τα εξαρτήματα είναι κατασκευασμένα, όπως και το πρωτότυπο, από κράμα χαλκού (κρατέρωμα – μπρούντζο). Τα αντίγραφα φέρουν και δύο προστατευτικές ξύλινες θύρες, μία στην εμπρόσθια και μία στην οπίσθια όψη του, στις εσωτερικές επιφάνειες των οποίων υπάρχουν εγκιβωτισμένες πλάκες από κράμα χαλκού. Στις πλάκες αυτές έχει χαραχθεί, το μέχρι της χρονικής στιγμής της κατασκευής του κάθε μοντέλου, αναγνωσμένο κείμενο, που αποτελεί μέρος του εγχειριδίου χρήσης του *Μηχανισμού*. Για να υπάρχει η δυνατότητα ο επισκέπτης να βλέπει την εσωτερική δομή του Μηχανισμού και τις αλυσίδες των οδοντωτών τροχών, στο 1^{ο} και 2^{ο} μοντέλο αυξήθηκαν οι διαστάσεις του πλάτους του Μηχανισμού και έχουν ανοιχθεί διευρυμένες οπές στις δύο πλάγιες πλευρές του. Η αύξηση των διαστάσεων του πλάτους του Μηχανισμού, οδήγησε σε μεγαλύτερου μήκους άξονες έδρασης των γραναζιών και συνεπακόλουθα, αυξημένες αποστάσεις μεταξύ των γραναζιών, γεγονός που μείωσε τη στιβαρότητα της εσωτερικής δομής του. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα, το 1^{ο} μοντέλο **(1:1-V1/2008)** να μην είναι λειτουργικό και το 2^{ο} **(1:1-V2/2011)** να είναι μέρει λειτουργικό. Στο 3^{ο} μοντέλο **(1:1-V3/2016)** το πλάτος του, κατασκευάστηκε όσο και στο πρωτότυπο και είναι πιστό και πλήρως λειτουργικό. Ο επισκέπτης μπορεί να θέσει σε κίνηση τους οδοντωτούς τροχούς και να παρατηρήσει τη λειτουργία του μηχανισμού

Για να μπορεί ο επισκέπτης, να βλέπει ταυτόχρονά τις εξωτερικές καθώς και τις εσωτερικές δομές και εξαρτήματα του Μηχανισμού, κατασκευάστηκε ένα μοντέλο τριπλάσιο σε μέγεθος, σε σχέση με το πρωτότυπο **(μοντέλο 3:1-V1/2016).** Εκτός από τους άξονες και τους δείκτες των ενδείξεων, που είναι κατασκευασμένοι από μπρούντζο, το μοντέλο είναι κατασκευασμένο από διαφανές υλικό (Plexiglas), με ειδικό φωτισμό. Το μοντέλο αυτό είναι πλήρως λειτουργικό και ο επισκέπτης μπορεί να θέσει σε κίνηση τους οδοντωτούς τροχούς και να παρατηρήσει την λειτουργία του μηχανισμού.

Η δημιουργία των ανακατασκευών έγινε σε τρεις φάσεις:

1^{η} φάση: Μελέτη του *Μηχανισμού* και καθορισμός των επιμέρους εξαρτημάτων του καθώς και των βασικών του διαστάσεων.

2^{η} φάση: Σχεδιομελέτη της ανακατασκευής του *Μηχανισμού*.

3^{η} φάση: Προμήθεια υλικών, κατεργασία των επιμέρους εξαρτημάτων και συναρμολόγησή τους.

Υπεύθυνος των ανακατασκευών είναι ο Καθηγητής του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, Κυριάκος Ευσταθίου. Στην Ομάδα συμμετέχουν ο Αλέξανδρος Μπασιακούλης, η Μαριάννα Ευσταθίου η Δρ. Μαγδαληνή Αναστασίου και ο Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής, Ιωάννης Σειραδάκης.

ISSN: 2241-9993

Αντίγραφα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων του ΑΠΘ εκτίθενται:

Μόνιμες εκθέσεις

- Αστεροσκοπείο Α.Π.Θ. – Μοντέλο 1:1-V1/2008 (από το 2008)
- Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο Αθηνών Μοντέλο 1:1-V2/2011 (από το 2012)
- Κτίριο Επιτροπής Ερευνών Α.Π.Θ. - Μοντέλο 1:1-V2/2011 (από το 2012)
- Εθνικό Ίδρυμα ερευνών - Μοντέλο 1:1-V2/2011 (από το 2013)
- Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών - Μοντέλο 3:1-V1/2016 (από το 2015)
- Κέντρο διάδοσης επιστημών και μουσείο τεχνολογίας NOESIS Μοντέλο 1:1-V2/2011 και 1:1-V3/2011
- Δήμος Κυθήρων - Μοντέλο 4:1-V1/2015 (από το 2016)

Περιοδικές εκθέσεις

- Musée des Arts et Métiers, Paris 27/06/11 - 29/01/12
- Σε ειδική έκθεση στην Πάφο της Κύπρου 2/7/11 - 15/8/11
- University of Liege" Liege 15/09/11 - 15/12/11
- Λεβέντειο Μουσείο & Πανεπιστήμιο Frederic, Λευκωσία, Κύπρος
- Μουσείο Ολυμπιακών Αγώνων, Γενεύη Ελβετία

ISSN: 2241-9993

At the Aristotle University of Thessaloniki, progressing models (in 2008, 2011, 2015 and 2016) of the ***Antikythera Mechanism***, which incorporate the most recent published research, have been designed and reconstructed. Consequently, several models of the Mechanism have been constructed, in actual dimensions (scale 1:1) or transparent, educational large models (scales 3:1 and 4:1). In summary, six different models of the Antikythera Mechanism have been investigated, designed and constructed.

The three, 1:1 scale, models, are made in exact dimensions and similar materials as the original, 2nd century B.C., ancient, mechanism. The protecting housing is constructed entirely of wood. All metal components are made, as in the original, of copper alloy (bronze). The models bear two protecting wooden doors, one in the front and one in the rear face, in the inside surfaces of which, plates of copper alloy are encased. On these plates, most of the hitherto deciphered text, which is part of the user's manual of the Mechanism, is engraved.

The width of the 1st and, in particular, the 2nd reconstruction is larger than the original. In the 2nd reconstruction (**1:1-V2/2011**), two large openings were curved on the two lateral sides, that allow the visitor to see the inside of the reconstruction and the gears. Increasing the width of the Mechanism, resulted to longer bearing axes and consequently increased the distances between the gears, which reduced the robustness of the internal structure. The result is that the first model (**1:1-V1/2008**) was not functional and the 2nd (**1:1-V2/2011**) partly functional. The third model (**1:1-V3/2016**), in which the width, is similar to the original, is fully functional. The visitor may set in motion the gears and observe the operation of the mechanism.

In order that the visitor can see simultaneously the external and internal structures and the components of the Mechanism, models four and three times the size of the original (models **4:1-V1/2015** and **3:1-V1/2016**) have been constructed. With the exception of the axes and the display indicators, which are made of bronze, these models are made from transparent material (Plexiglas), with special illumination. Model 3:1-V1/2016 is fully functional. The visitor can set the gears in motion and observe the operation of the Mechanism.

The creation of the models was achieved in three phases:

Phase 1: Study of the Mechanism and determination of the individual components as well as its basic dimensions.

Phase 2: Study and design of the Mechanism reconstruction.

Phase 3: Procurement of materials, machining of individual components and their assembly.

In charge of the reconstructions is Kyriakos Efstathiou, Professor of Mechanical Engineering of the Aristotle University of Thessaloniki. Alexander Basiakoulis, Marianna Efstathiou, Dr. Magdalene Anastasiou and Professor of Physics, John Seiradakis were involved in the overall study.

ISSN: 2241-9993

Replicas of Antikythera Mechanism of Aristotle University of Thessaloniki are exhibited:

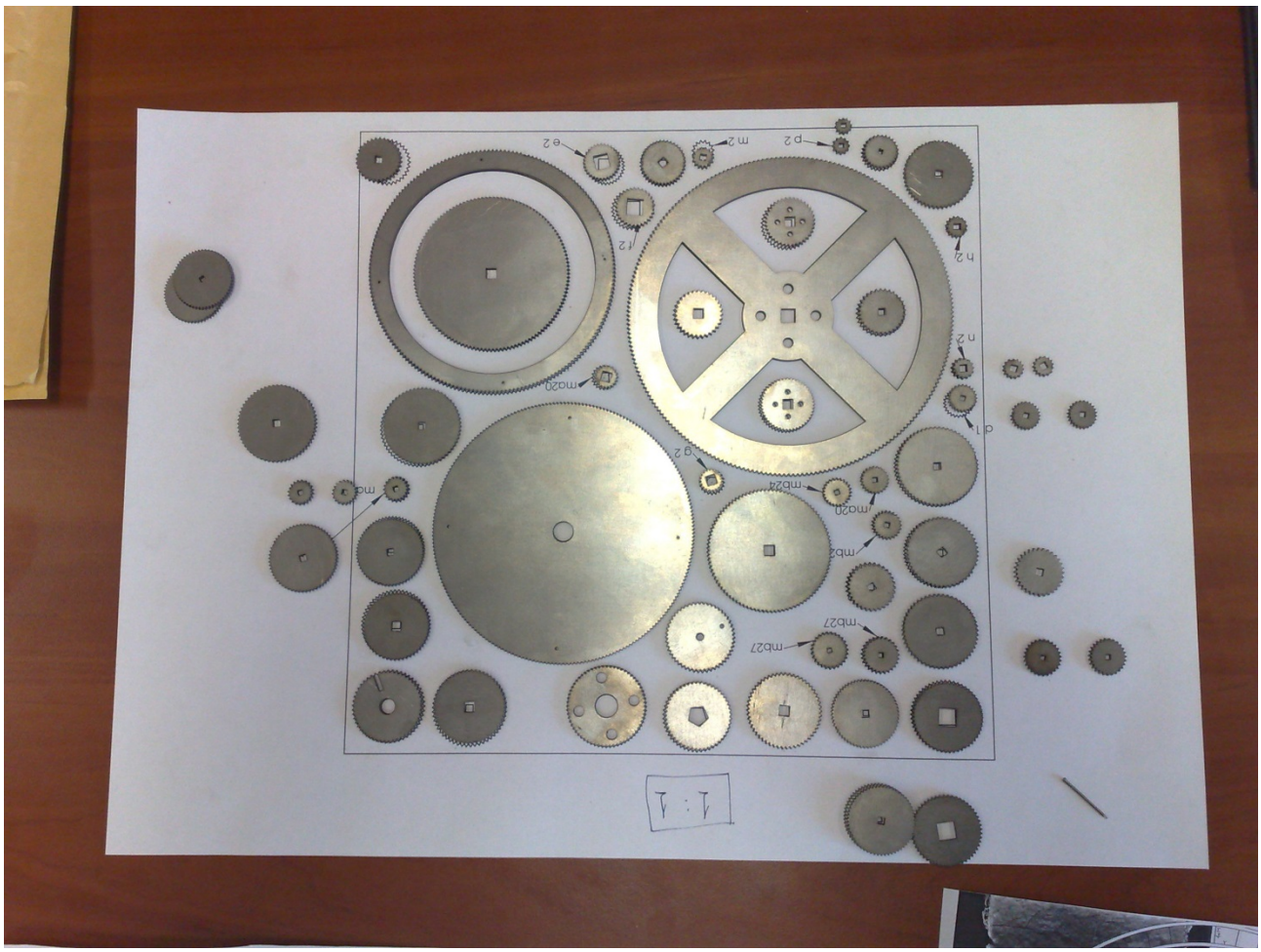
Permanent exhibitions

- Observatory of Aristotle University of Thessaloniki. – Model 1:1-V1/2008 (since 2008)
- National Archaeological Museum Model 1:1-V2/2011 (since 2012)
- Aristotle University Research Dissemination Center. - Model 1:1-V2/2011 (since 2012)
- National Hellenic Research Foundation - Model 1:1-V2/2011 (since 2013)
- National Observatory of Athens - Model 3:1-V1/2016 (since 2015)
- Thessaloniki Science Center and Technology Museum NOESIS Model 1:1-V2/2011 και 1:1-V3/2011
- Municipality of Kythera - Model 4:1-V1/2015 (since 2016)

Temporary exhibitions

- Musée des Arts et Métiers, Paris 27/06/11 - 29/01/12
- At an Exhibition in Paphos, Cyprus 2/7/11 - 15/8/11
- University of Liege, Liege 15/09/11 - 15/12/11
- The Leventis Municipal Museum of Nicosia & Frederic University, Nicosia, Cyprus
- Olympic Museum Lausanne, Geneva, Switzerland

ISSN: 2241-9993



Εικ. 1. Οι οδοντωτοί τροχοί που χρησιμοποιήθηκαν για την 1η ανακατασκευή του Μηχανισμού των Αντικυθήρων
Fig. 1. The gears that were used for the 1st model of the Antikythera Mechanism

ISSN: 2241-9993



Εικ. 2. Η 1η ανακατασκευή του Μηχανισμού των Αντικυθήρων
Fig. 2. The reconstruction of the 1st model of the Antikythera Mechanism



Εικ. 3. Η 2η ανακατασκευή του Μηχανισμού των Αντικυθήρων
Fig. 3. The reconstruction of the 2nd model of the Antikythera Mechanism

ISSN: 2241-9993



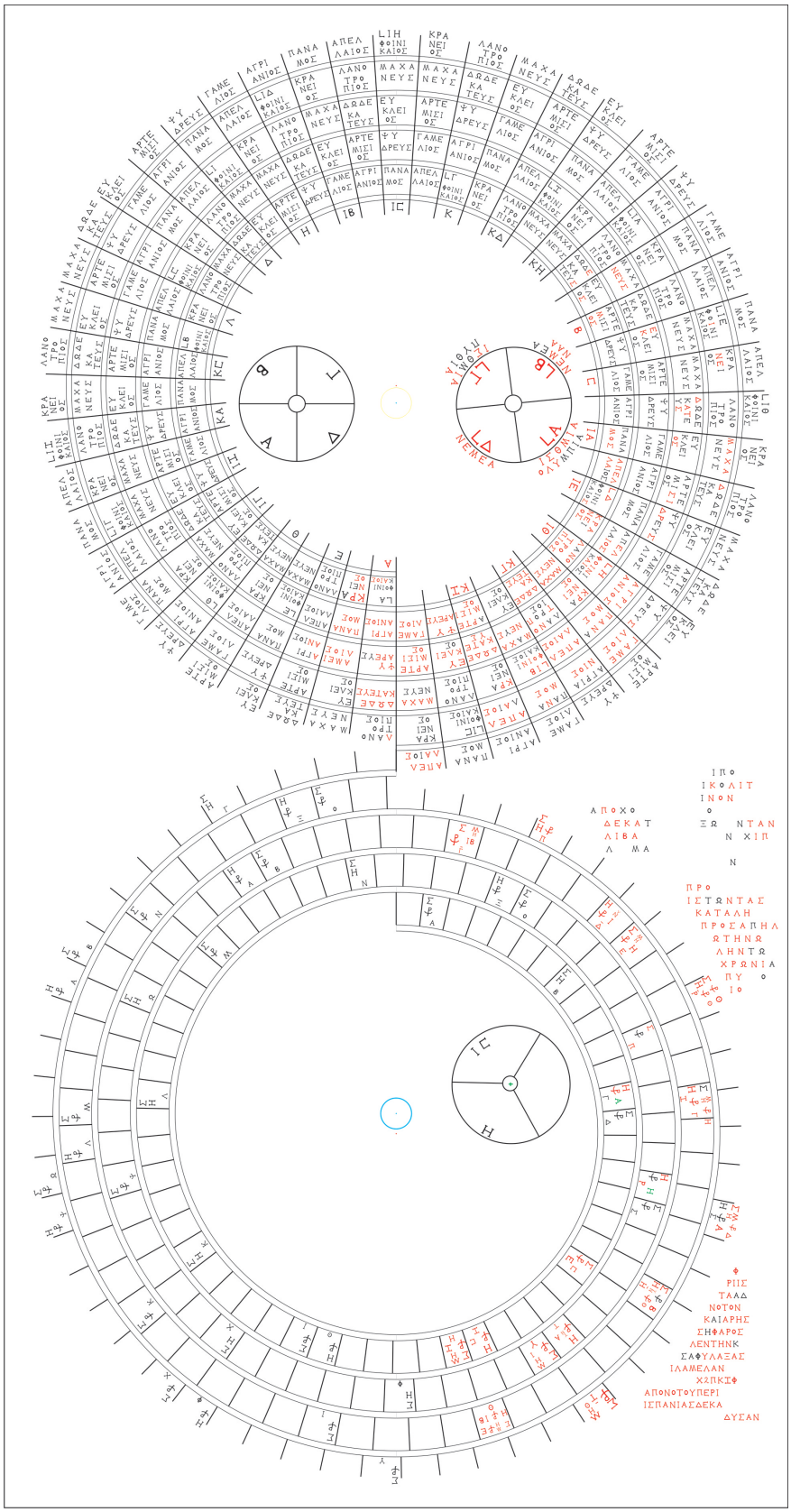
Εικ. 4. Η 3η ανακατασκευή του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Φωτογράφιση από την εμπρόσθια πλευρά
Fig. 4. The reconstruction of the 3rd model of the Antikythera Mechanism. Photograph from the front plate

ISSN: 2241-9993



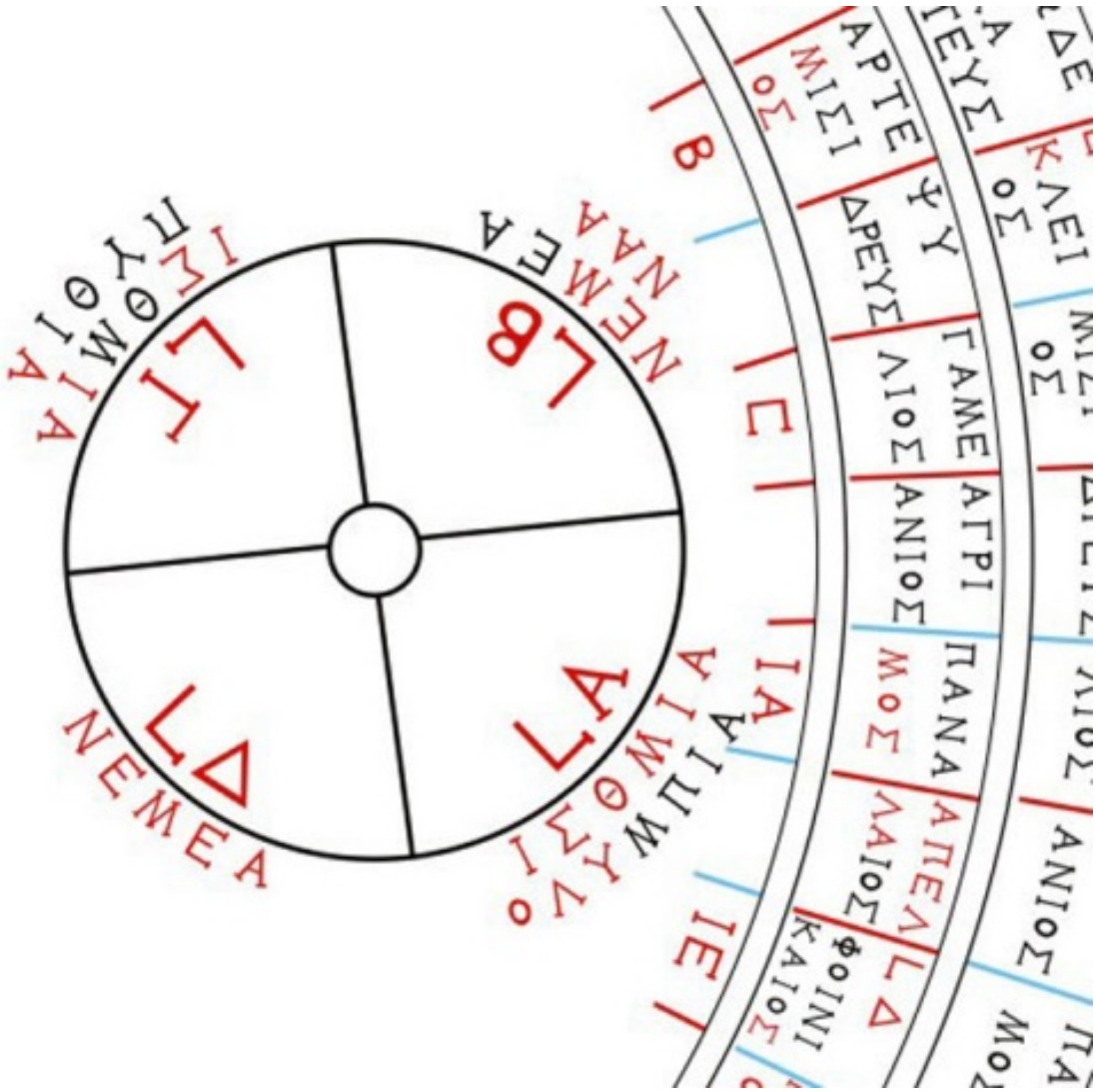
Εικ. 5. Η 3η ανακατασκευή του Μηχανισμού των Αντικυθήρων. Φωτογράφιση από την οπίσθια πλευρά
Fig. 5. The reconstruction of the 3rd model of the Antikythera Mechanism. Photograph from the back plate

ISSN: 2241-9993



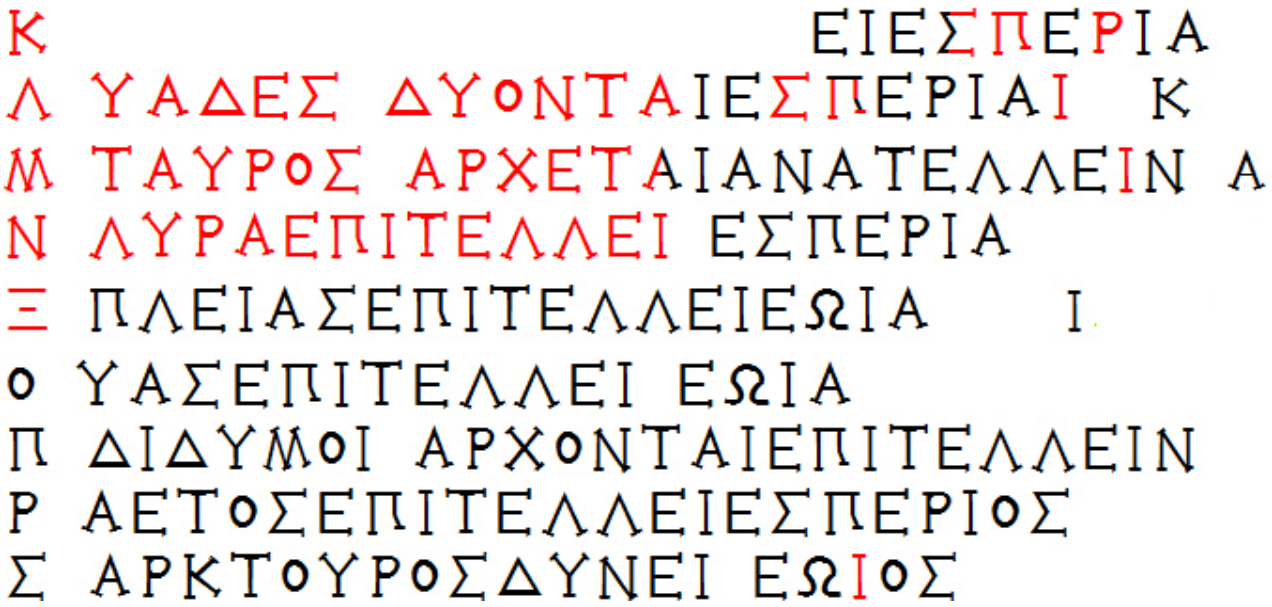
Εικ. 7. Αναπαράσταση της οπίσθιας πλευρά του Μηχανισμού των Αντικυθήρων
Fig. 7. Reconstruction of the back plate of the Antikythera Mechanism

ISSN: 2241-9993



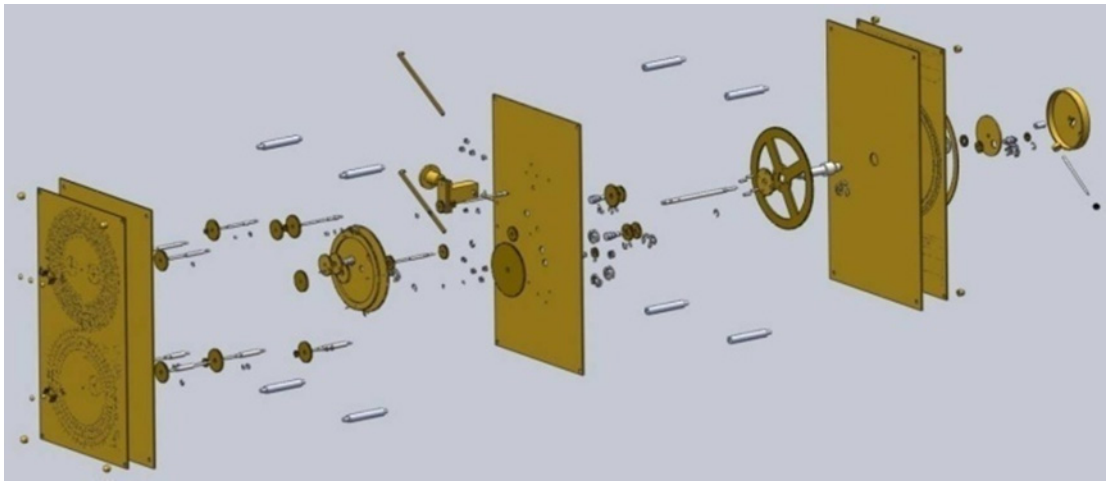
Εικ. 8. Αναπαράσταση της κλίμακας των Στεφανιτών Αγώνων του Μηχανισμού των Αντικυθήρων (π.χ. «ΟΛΥΜΠΙΑ» για τους Ολυμπιακούς Αγώνες)
Fig. 8. Reconstruction of the Crown Games dial of the Antikythera Mechanism ("ΟΛΥΜΠΙΑ" for the Olympic Games)

ISSN: 2241-9993

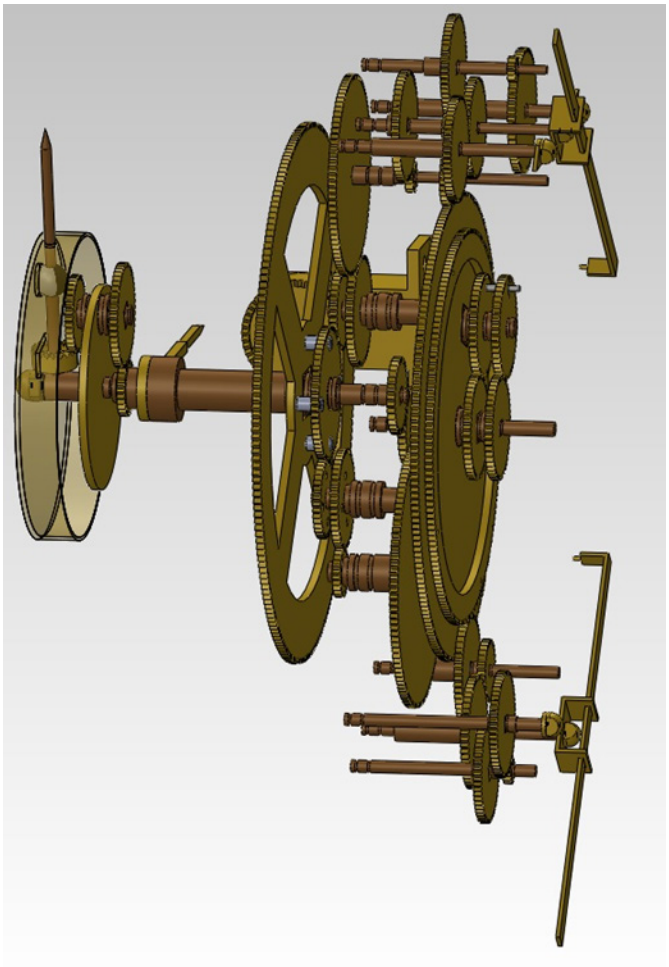


Εικ.9. Αναπαράσταση τμήματος του Παραπήγματος του Μηχανισμού των Αντικυθήρων
Fig. 9. Reconstruction of part of the Parapegma of the Antikythera Mechanism

ISSN: 2241-9993

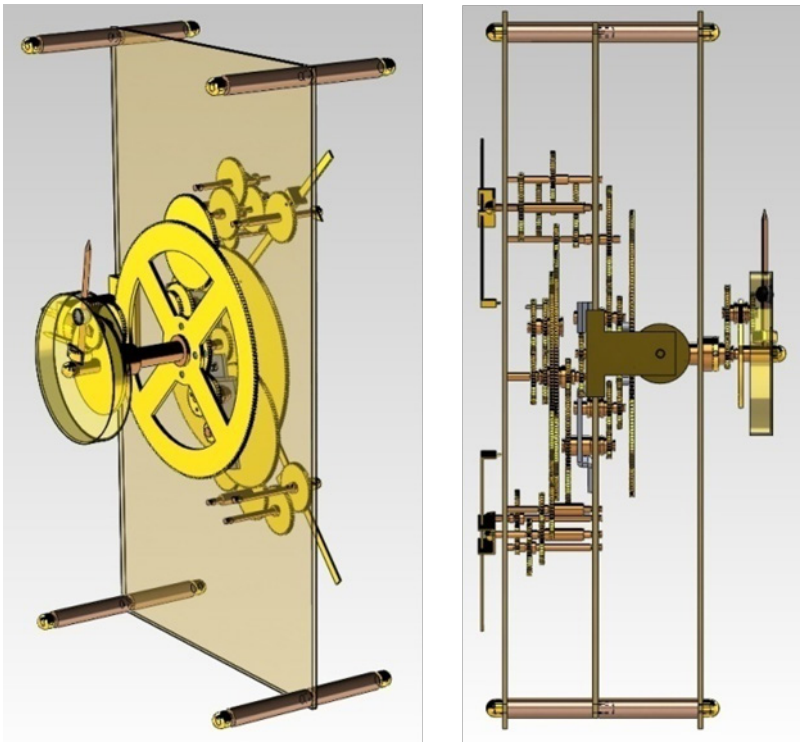


Εικ. 10: Ανάπτυγμα του Μηχανισμού

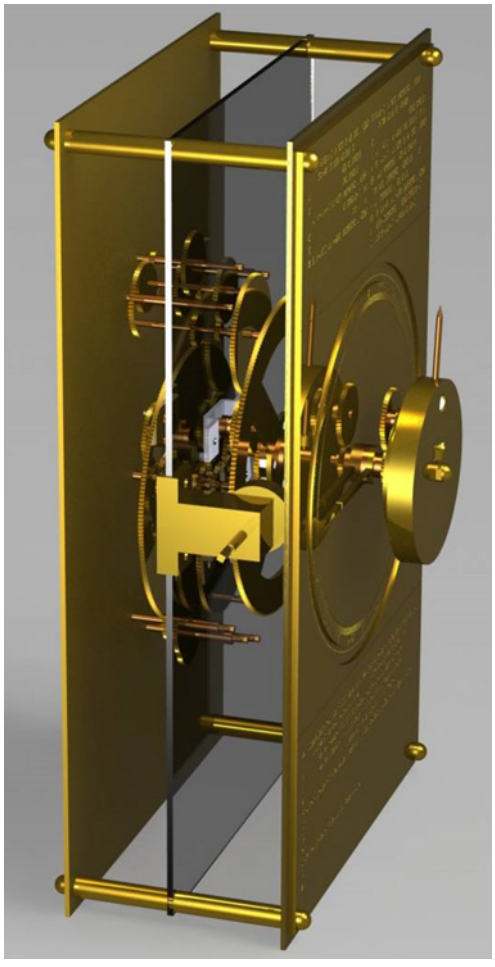


Εικ. 11: Το σύστημα οδοντωτών τροχών του Μηχανισμού των Αντικυθήρων

ISSN: 2241-9993



Εικ. 12: Διάφορες όψεις του μοντέλου κατά το σχεδιασμό



Εικ. 13: Φωτορεαλιστική απεικόνιση του νέου μοντέλου V3.1, χωρίς την ξύλινη πυξίδα

ISSN: 2241-9993



Εικ. 14: Σπείρα του Μέτωνα



Εικ. 15: Σπείρα του Σάρος και δείκτης του εξελιγμού



Εικ. 16: Δείκτης πανελλήνιων αγώνων

ISSN: 2241-9993

Documentary

The Antikythera Mechanism- Design and Construction

ISSN: 2241-9993

Animation

The Antikythera Mechanism

ISSN: 2241-9993

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

Διεύθυνση- Direction
ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΙΟΥ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗΣ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
JOHN HUGH SEIRADAKIS, Aristotle University of Thessaloniki

Διονύσιος Κριάρης - Οι Κατασκευές και τα Εργαλεία
Dionysios Kriaris - The Constructions and the Tools

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

Διονύσιος Κριάρης
Οι Κατασκευές και τα Εργαλεία
Dionysios Kriaris
The Constructions and the Tools

- Διονύσιος Κριάρης, Μαθηματικός, κατασκευαστής λειτουργικών αντιγράφων αρχαίας ελληνικής Τεχνολογίας
  Dionysios Kriaris, Mathematician, manufacturer of functional copies of Ancient Greek Technology
  Email: apiliotis@yahoo.com

ISSN: 2241-9993

Το πρώτο αντίγραφο του Υπολογιστή των Αντικυθήρων, το κατασκεύασα το 1999, δύο χρόνια μετά την Έκθεση και το Συνέδριο για την Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία, το οποίο διεξήχθη το 1997 στην Θεσσαλονίκη. Εγνώριζα ήδη την πρώτη απόπειρα κατασκευής, που παρέμεινε ημιτελής, εκείνη του Θεοφανίδη, κατά την δεκαετία του 30.

Ερέθισμα για να κατασκευάσω το δικό μου αντίγραφο, ήταν αυτή η ίδια η Έκθεση, στην οποία είδα πρώτη φορά το αντίγραφο του Υπολογιστή που δημιούργησε ο Derek John de Solla Price και το παρουσίασε δημόσια για πρώτη φορά, το Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο.

Εν συνεχεία, βασίστηκα στις ακτινογραφίες του Χαράλαμπου Καράκαλου. Μετά από διετή σχεδιασμό και μελέτη των ακτινογραφιών, καθώς και την μελέτη του Price έφτιαξα το αντίγραφο που με ικανοποιούσε. Όμως, κάποια σημεία στον Υπολογιστή παρέμειναν αδιευκρίνιστα, έτσι κατέφυγα σε πρακτικές λύσεις προκειμένου να τον ολοκληρώσω.

Όλα τα γρανάζια του και οι άξονες, καθώς και τα επιμέρους εξαρτήματα, κατασκευάστηκαν με τα χέρια και με εργαλεία που χρησιμοποιούσαν και οι αρχαίοι τεχνίτες.

Εν συνεχεία, παρακολούθησα την έρευνα του 2005, από την διεθνή ομάδα Μελέτης του Υπολογιστή των Αντικυθήρων. Νέα ευρήματα έρχονται στο φως και αξιολογούνται. Όλα τα νέα αυτά ευρήματα από την τελευταία έρευνα, περιλαμβάνονται στο νεώτερο αντίγραφο του Υπολογιστή, που έχω κατασκευάσει.

Κατόπιν, προχώρησα στην δημιουργία και άλλων αντιγράφων του, που βρίσκονται σε διάφορα Μουσεία και περιοδικές Εκθέσεις ανά την Ελλάδα και τον κόσμο. Το πρώτο από αυτά, παρουσιάστηκε στο Children Museum of Manhattan στην νέα Υόρκη το 2007 και στο Μουσείο του Απόδημου Ελληνισμού, στο Σικάγο.

ISSN: 2241-9993

ΜΟΝΙΜΕΣ ΕΚΘΕΣΕΙΣ

Τα πιστά και λειτουργικά αντίγραφα του Υπολογιστή των Αντικυθήρων και των Φορητών Ωρολογίων που έχω κατασκευάσει, εκτίθενται στις μόνιμες Εκθέσεις:

● Βιβλιοθήκη Αλεξάνδρειας Αιγύπτου ● Μουσείο Επιστημών Γαλλίας ● Κέντρο Διάδοσης Επιστημών και Μουσείο Τεχνολογίας Θεσσαλονίκη ● Πολεμικό Μουσείο Αθηνών ● Μουσείο Ναυτικής Παράδοσης Πειραιάς ● Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδας (Ε.Μ.Α.Ε.Τ) ● Παιδικό Μουσείο, Μανχάταν Νέα Υόρκη (Children Museum of Manhattan) ● Μουσείο Αρχαίας Τεχνολογίας Δήμου Ζεφυρίου ● Μουσείο Αστεροσκοπείου Αθηνών ● Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο ● Αρχαιολογικό Μουσείο Θεσσαλονίκης ● Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών – Λόφος Νυμφών ● Μουσείο Ηρακλειδών 2016 Αθήνα

ΠΕΡΙΟΔΙΚΕΣ ΕΚΘΕΣΕΙΣ

● Διεθνής Έκθεση EXPO 2000 Αννόβερο Γερμανία ● Διεθνής Έκθεση Βιβλίου Φρανκφούρτη 2001 Γερμανία ● Έκθεση με τίτλο Eureka 2005 στο Αρχαιολογικό Μουσείο Νάπολης ● Θεσσαλονίκη 1997, Πολιτιστική Πρωτεύουσα της Ευρώπης ● Τεχνικό Επιμελητήριο Ρεθύμνου, 1999 ● Έκθεση βιβλίου Πεδίο Άρεως, 1996-1997 ● Ζωσιμαία Βιβλιοθήκη Ιωαννίνων, 1997 ● Δήμος Αγ. Αναργύρων, 1998 ● Δήμος Κορυδαλλού, 1998 ● Δήμος Πυθαγορείου Σάμου, 1998 ● Οργανισμός Λιμένος Πειραιώς, 1998 ● Δήμος Λαμιέων, 1999 ● Δήμος Αμμοχώστου, 1999 ● Δήμος Χανίων, 1999 ● Στοά του Βιβλίου Αθήνα, 2000 ● Πολεμικό Μουσείο Αθηνών, 2001 ● Δήμος Λευκωσίας, 2001 ● Δήμος Τρικάλων, 2002 ● Δήμος Αλεξανδρουπόλεως, 2003 ● Δήμος Ορεστιάδας, 2003 ● Δήμος Κορθίου Άνδρου, 2005 ● Δήμος Ροδίων, 2008 ● Πέτρινη Αποθήκη, Οργανισμός Λιμένος Πειραιώς, 2000 ● Εμπορικό Επιμελητήριο Πειραιώς, 2001 ● Αρχαία Ολυμπία, 2001 ● Βιβλιοπωλείο Βιβλιορυθμός, 2001 ● Τεχνόπολις, Γκάζι, 2002 ● Δήμος Ζεφυρίου, 2002 ● Πολεμικό Μουσείο Αθηνών, 2005 ● Ιονικό Κέντρο, 2008-2009 ● Τελλόγλειο Ίδρυμα Θεσσαλονίκης ,2008-2009 ● Ερευνητικό Κέντρο Δημόκριτος, 2012 ● Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, 2013 ● Τεχνόπολη, Γκάζι Αθήνα, 2014 ● Δημος Περιστερίου, 2016 ● Νάξος, Φεστιβάλ Επιστημών, 2016 ● Πάρος, Διαδρομές στην Μάρπησσα, 2016 ● Έκθεση για τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων, Μόσχα, Μουσείο Αρχιτεκτονικής και Πανεπιστήμιο Πομονόσοφ, Μόσχας.

ISSN: 2241-9993

I had constructed the first replica of the Antikythera Mechanism two years after the Exhibition and the Conference on Ancient Greek Technology, which was held in 1997 in Thessaloniki. I was already aware, that Theophanidis attempted to create a model of the Antikythera Mechanism in the 30s, but his model remained unfinished.

The stimulus to construct my own replica was that Exhibition, where I saw for the first time the replica of the Antikythera Mechanism, constructed by Derek John de Solla Price and presented publicly for the first time at the National Archaeological Museum.

Subsequently, I based on the X-ray radiographs of Charalambos Caracalou. After two years of planning and studying the X-rays and the Price's research, I made the replica, which satisfied me. However, some points of the Mechanism remained unclear, so I resorted to practical solutions in order to finish it.

All the gears, the axles and the other components of the replica of the Antikythera Mechanism were constructed by hand and with tools, which were used also by craftsmen in antiquity.

Afterwards, I attended the 2005 research of the international team of the Antikythera Mechanism Research Project. New findings come to light and they are evaluated. All these new findings from the latest research are included in the latest replica of the Antikythera Mechanism, which I created.

Then, I proceeded with the creation of further replicas, which are exhibited in various museums and periodic Exhibitions in Greece and worldwide. The first replica was presented at the Children Museum of Manhattan in New York in 2007 and at the National Hellenic Museum in Chicago.

ISSN: 2241-9993

PERMANENT EXHIBITIONS

The precise and the functional replicas of the Antikythera Mechanism and of the Portable Clocks that I constructed, are exhibited at the following permanent Exhibitions:

● Bibliotheca Alexandrina, Egypt ● Cité des Sciences et de l'Industrie, France ● Thessaloniki Science Center and Technology Museum (NOESIS) ● Athens War Museum ● Maritime Tradition Museum, Piraeus ● Technical Chamber of Greece (TEE-TCG) ● Children Museum of Manhattan, New York ● Museum of the Ancient Greek Technology, Athens ● Museum of Geoastrophysics at National Observatory of Athens ● National Archaeological Museum of Athens ● Archaeological Museum of Thessaloniki ● National Observatory of Athens (NOA) ● Museum Herakleidon 2016, Athens

PERIODIC EXHIBITIONS

● International Exhibition EXPO 2000, Hannover, Germany ● International Book Fair 2001, Frankfurt, Germany ● Exhibition (with the title "Eureka") 2005 at the National Archaeological Museum in Naples ● Thessaloniki 1997, Cultural Capital of Europe ● Technical Chamber of Rethymno, 1999 ● Book Fair Champ de Mars, 1996-1997 ● Zosimaia Central Public Historical Library Ioannina, 1997 ● Municipality of St. Anargiri, 1998 ● Municipality of Korydallos, 1998 ● Municipality of Pythagorio Samos, 1998 ● Piraeus Port Authority, 1998 ● Municipality of Lamia, 1999 ● Famagusta Municipality, 1999 ● Municipality Chania, 1999 ● Book Arcade Athens, 2000 ● Athens War Museum, 2001 ● Municipality of Nicosia, 2001 ● Municipality of Trikala, 2002 ● Municipality of Alexandroupoli, 2003 ● Municipality of Orestiada, 2003 ● Municipality of Korthi Andros, 2005 ● Municipality of Rhodes, 2008 ● Stone Warehouse, Piraeus Port Authority, 2000 ● Piraeus Chamber of Commerce, 2001 ● Ancient Olympia, 2001 ● Vivliorythmos Bookshop, 2001 ● Technopolis, Gazi, 2002 ● Municipality of Zefiri, 2002 ● Athens War Museum, 2005 ● Ionic Centre, 2008-2009 ● Teloglion Institute of Thessaloniki, 2008-2009 ● Research Center Demokritos, 2012 ● National Research Foundation, 2013 ● Technopolis, Gazi Athens, 2014 ● Municipality of Peristeri, 2016 ● Naxos, Science Festival, 2016 ● Paros, Routes in Marpissa, 2016 ● Report on the Antikythera Mechanism, Moscow Museum of Architecture and University Lomonosof, Moscow.

ISSN: 2241-9993



Αντίγραφα των θραυσμάτων του Υπολογιστή των Αντικυθήρων,
στην συλλογή του Children Museum of Manhattan
Replica of the Antikythera Mechanism's fragments, Children Museum of Manhattan

ISSN: 2241-9993



Το πρώτο ολοκληρωμένο αντίγραφο του Υπολογιστή από το CMoM το 2006
The first completed replica of the Antikythera Mechanism, CMoM, 2006

ISSN: 2241-9993



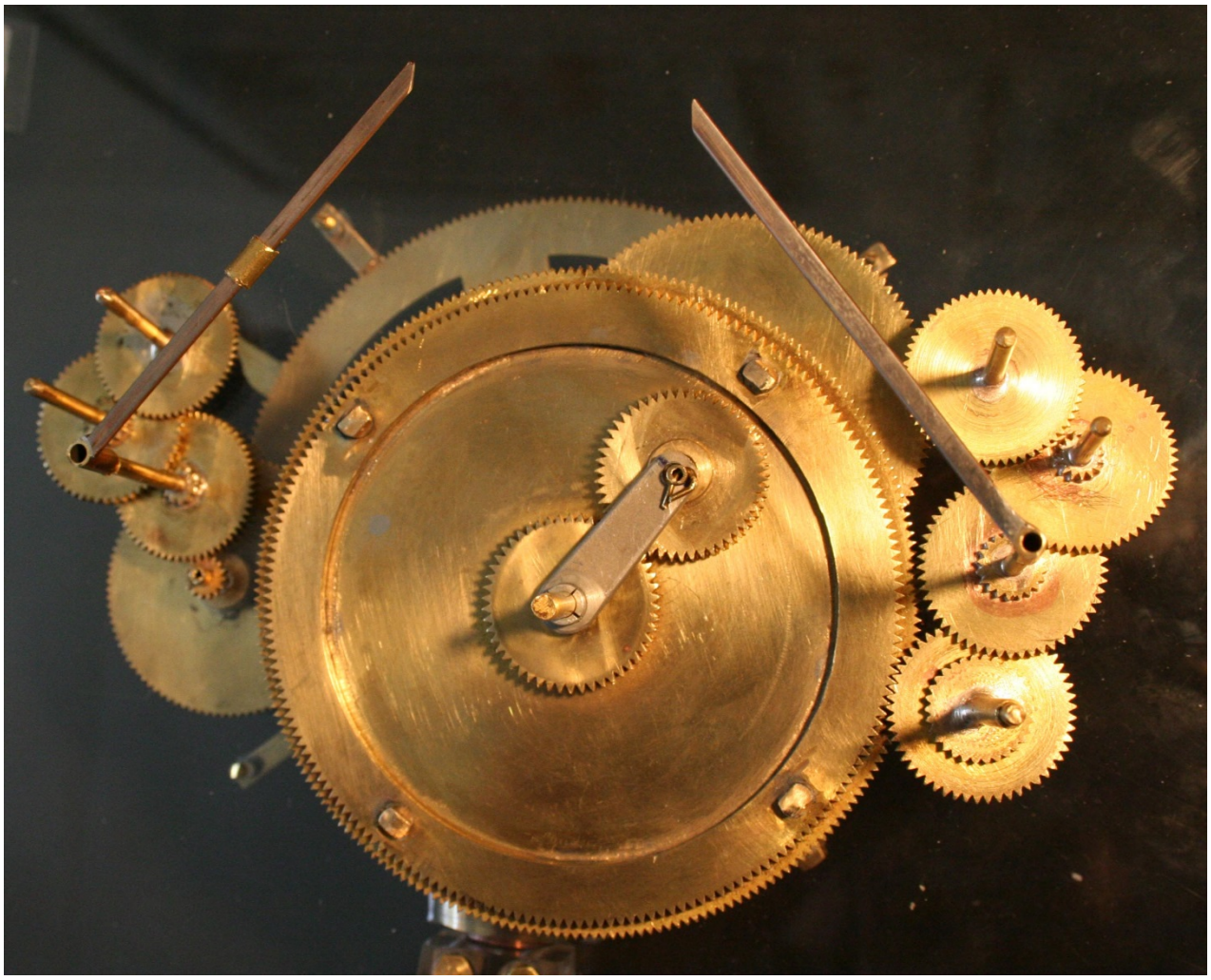
Η πίσω όψη του Υπολογιστή χωρίς τους δείκτες από το CMoM
The back face of the Antikythera Mechanism without the pointer, CMoM, 2006

ISSN: 2241-9993



Το αντίγραφο του Υπολογιστή κατά την διάρκεια της κατασκευής του
Replica of the Antikythera Mechanism during its contruction

ISSN: 2241-9993



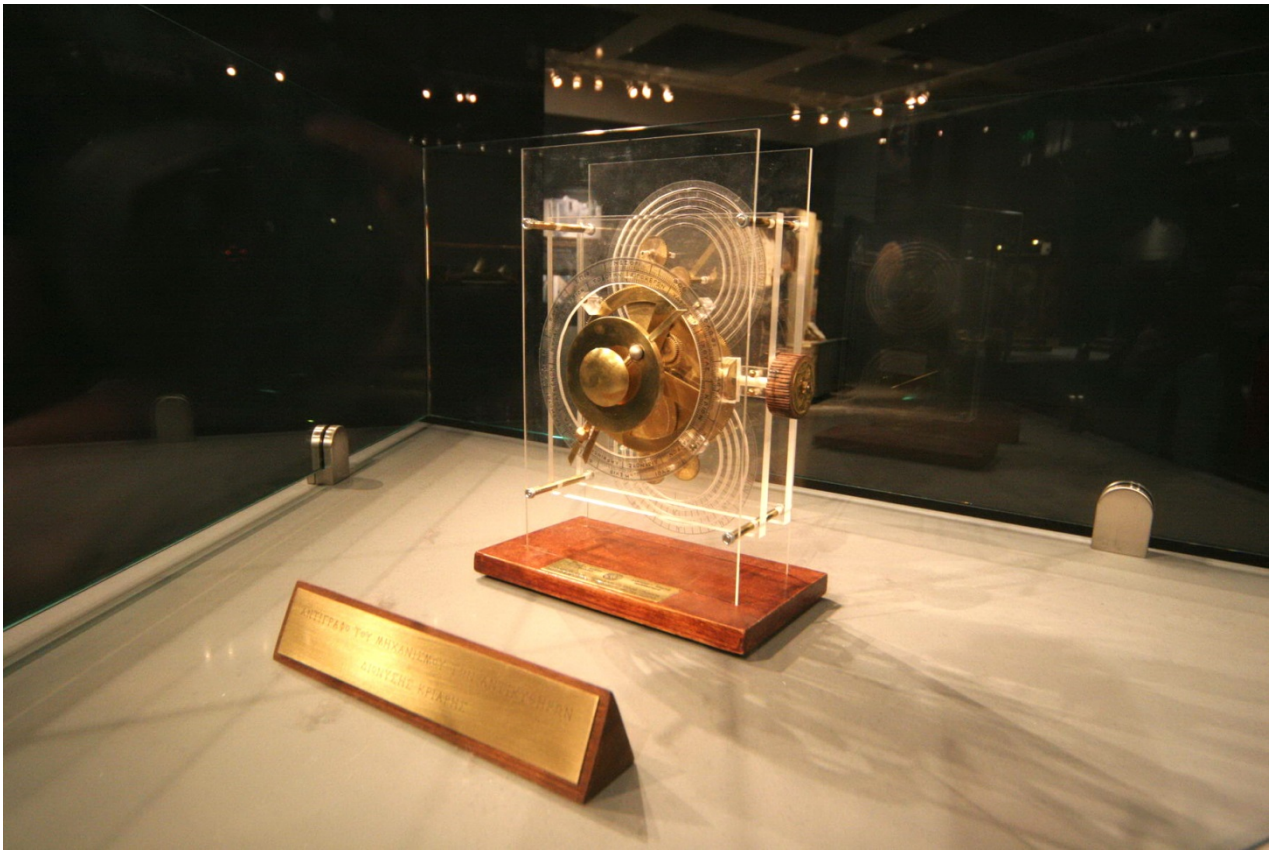
Η εσωτερική διάταξη των γραναζιών του Υπολογιστή των Αντικυθήρων
The internal arrangement of gears of Antikythera Mechanism

ISSN: 2241-9993



Λεπτομέρεια των δεικτών του Ήλιου και της Σελήνης
Detail of the Sun's and Luna's pointers

ISSN: 2241-9993



Το αντίγραφο του Υπολογιστή των Αντικυθήρων σε έκθεση στο Τελλόγλειο Ίδρυμα, εκπαιδευτικό μοντέλο χωρίς το ξύλινο κουτί
The replica of the Antikythera Mechanism, exhibited in Telloglion Foundation, educational model without the wooden box

ISSN: 2241-9993

Ακαδημια Θεσμων και Πολιτισμων
Academy of Institutions and Cultures

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΩΝ
ACADEMY OF INSTITUTIONS AND CULTURES

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

Διεύθυνση- Direction
ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΙΟΥ ΣΕΙΡΑΔΑΚΗΣ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
JOHN HUGH SEIRADAKIS, Aristotle University of Thessaloniki

Αριστείδης Βούλγαρης- Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων Λειτουργικό Μοντέλο

Aristeidis Voulgaris- The Antikythera Mechanism Functional Reconstruction Model

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
Λειτουργικό Μοντέλο
The Antikythera Mechanism
Functional Reconstruction Model

- Αριστείδης Βούλγαρης, Σχεδιαστής-κατεσκευαστής Οπτομηχανικών και Αστρονομικών οργάνων ακριβείας.
  Aristeidis Voulgaris, Precision Optomechanical and Astronomical instruments designer-constructor
  Email: frameproject2016@gmail.com arisvoulgaris@gmail.com

ISSN: 2241-9993

Η ομάδα του «Functional Reconstruction of Antikythera Mechanism» project, (FRAMe) μελέτησε, επεξεργάστηκε και ανέλυσε ένα μεγάλο αριθμό τομογραφιών του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, οι οποίες ελήφθησαν μέσω ακτίνων Χ το 2005, στην διάρκεια του προγράμματος AMRP. Το αποτέλεσμα αυτής της μαθηματικής επεξεργασίας έδωσε εικόνες εξαιρετικής ευκρίνειας, εμφανίζοντας λεπτομέρειες οι οποίες δεν είχαν γίνει αντιληπτές.
Αυτές οι λεπτομέρειες απεδείχθησαν ουσιαστικές για την κατασκευή από την ομάδα του FRAMe project, του λειτουργικού αντιγράφου, του Υπολογιστή των Αντικυθήρων. Με βάση τις επεξεργασμένες εικόνες, τα μέλη της ομάδας, σχεδίασαν και κατασκεύασαν όλα τα εξαρτήματα που απαρτίζουν τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων, εν συνεχεία δε συναρμολόγησαν δύο αντίγραφα, τα οποία είναι σε λειτουργικά, χωρίς σχεδιαστική ή μηχανολογική απόκλιση από το σχέδιο του πρωτοτύπου. Κατά τη διαδικασία της συναρμολογήσεως, δόθηκαν απαντήσεις σε ερωτήματα της ύπαρξης, αγνώστων μέχρι σήμερα, μηχανολογικών εξαρτημάτων του πρωτοτύπου. Επιπλέον, λόγω του εντοπισμού κάποιων, καθοριστικής σημασίας, λεπτομερειών σε ένα θραύσμα του αρχαίου Μηχανισμού, η πρόσθια πλευρά του λειτουργικού μοντέλου, διαφέρει από την, έως σήμερα αποδεκτή εκδοχή. Και τα δυο αντίγραφα της ομάδας, λειτουργουν με περιστροφή του δίσκου της Σελήνης και όχι απο το στροφείο, όπως πιστεύονταν έως τώρα.
Η ομάδα FRAMe Project σχεδίασε και κατασκεύασε επίσης το μηχάνημα κοπής των σπειρών της οπίσθιας όψεως του Μηχανισμού. Κατόπιν βρέθηκε ο πολύπλοκος αλγόριθμος βαθμονόμησης των 8 δεικτών και ενδείξεων του Μηχανισμού. Ο κατασκευαστής του αρχαίου αναλογικού Υπολογιστή, είχε προσχεδιάσει τον τρόπο βαθμονόμησης και προχώρησε σε προσθήκες και τροποποιήσεις, σε συγκεκριμενα σημεία του, έτσι ώστε να είναι δυνατή η βαθμονόμηση αφού τοποθετηθεί η οπίσθια πλάκα.
Κατά την εν συνεχεία μελέτη των επεξεργασμένων τομογραφιών, εντοπίστηκαν στοιχεία που οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, ο αρχαίος κατασκευαστής χρησιμοποίησε μηχανουργικό τόρνο για την κατασκευή των εξαρτημάτων. Η ομάδα του FRAMe project, αφού ανακατασκεύασε τα συγκεκριμένα εργαλεία (χειροκίνητος τόρνος και χειροκίνητο τρυπάνι) προέβη σε πειραματική χρήση τους, για να μελετηθεί η αποτελεσματικότητά τους. Το αποτέλεσμα, ήταν πλήρως επιτεχές.
Για τον σχεδιασμό και την κατασκευή των εξαρτημάτων των λειτουργικών αντιγράφων του Μηχανισμού (γρανάζια, άτρακτοι και άξονες), η ομάδα FRAMe project υιοθέτησε τεχνικές, ως επί το πλείστον ομόλογες προς τον αρχαίο τρόπο κατασκευής, με χρήση απλών συμβατικών χειροκίνητων ή ηλεκτροκίνητων μηχανημάτων και δεν χρησιμοποίησε κανενός είδους σύγχρονη τεχνολογία.
Η ομάδα FRAMe Project, σε συνεργασία με τον ακτινολόγο γιατρό Γ. Γιαταγάνα και τους χειριστές του ακτινογραφικου μηχανήματος Κ. Κασλάρη και Α. Οβαλιάδη, του τμήματος Αγγειογραφίας του Νοσοκομείου Παπαγεωργίου της Θεσσαλονίκης, προχώρησε στη λήψη ραδιογραφιών με ακτίνες Χ, μερών του λειτουργικού αντιγράφου της ομάδας, ώστε να αντιπαραβληθούν με τις τομογραφίες του αρχαίου πρωτοτύπου.
Στο πρόγραμμα FRAMe project, το οποίο τελεί υπό εξέλιξιν, συνεργάζονται οι, Αριστείδης Βούλγαρης (σχεδιασμός, επεξεργασία εικόνας - κατασκευή των εξαρτημάτων-συναρμολόγηση), Χριστόφορος Μουρατίδης (επεξεργασία εικόνας-μαθηματική υποστήριξη) και Ανδρέας Βοσινάκης (βιομηχανικό σχέδιο).

ISSN: 2241-9993

The group of the "Functional Reconstruction of Antikythera Mechanism" Project, (FRAMe), studied, processed and analyzed a large number of X-ray tomographies of the Antikythera Mechanism, obtained in 2005, during the AMRP project. The result of the mathematical processing were pictures of exceptional resolution, displaying previously undetected details.

These details proved to be essential for the construction, by the FRAMe Project group, of the functional copy of the Antikythera Mechanism. Based on the processed images, the members of the group designed and constructed all of the parts comprising the Antikythera Mechanism, and then assembled two functional copies, without deviating from the design and mechanical parameters of the prototype's plan. During the assembling process, answers were given to the questions about the existence, of unknown up to now, mechanical parts of the prototype. Furthermore, due to the detection of some, of crucial importance, details in a fragment of the ancient Mechanism, the front face of the functional model differs from the up to now acceptable version. Both of the copies constructed by the FRAMe Project group function by the rotation of the Lunar Disc, and not by the rotation of the input crank handle, as usually considered.

The FRAMe Project group also planned and constructed the cutting tool for the spirals on the rear face of the Mechanism. Then, the group specified the complex algorithm for the calibration of the 8 pointers and the indications of the Mechanism. The ancient manufacturer of the analog Antikythera Mechanism computer had premeditated the way of calibration, and then proceeded to additions and modifications, in specific parts, in order for the calibration process to be realizable, after the placement of the rear face.

During the consequently study of the processed tomographies, elements have been located, which lead to the conclusion that the ancient manufacturer used a mechanical lathe for the construction of the parts of the Antikythera Mechanism. The FRAMe Project group, after the reconstruction of the specific tools (manually controlled lathe and manually controlled driller), proceeded to their experimental use, for studying their effectiveness. The results were absolutely successful.

For the designing and the construction of the parts of the functional copies of the Antikythera Mechanism (gears, shafts and axles) the FRAMe Project group adopted techniques, mostly homologous to these applied by the ancient manufacturer, by the use of simple conventional manual or electrically operated machinery, and without any use of modern technology.

The FRAMe Project group, in collaboration with radiologist doctor of the Interventional Radiology Department of Papageorgiou Hospital of Thessaloniki Mr. M. Giataganas, and the operators of the radiograph-angiograph Mr. M. Kaslaris and A. Ovaliades, of the Angiography Department of Papageorgiou Hospital of Thessaloniki, proceeded to the taking of X-ray radiographies of parts of the functional copy constructed by the group, for juxtaposing them with the tomographies of the ancient prototype.

In the FRAMe Project, which is under development, collaborate Voulgaris Aristeidis (precision astronomical and optomechanical instruments designer/constructor, image processing-construction of parts-assembly-instruments), Mouratidis Christophoros (PhD Mathematics, image processing-mathematical support), and Vossinakis Andreas (industrial design-astronomical map designer).

ISSN: 2241-9993



ΦΩΤΟ 1: Το λειτουργικό ομοίωμα του Υπολογιστή των Αντικυθήρων, κατακευασμένο από την ομάδα *The FRAMe Project.* Στην Πρόσθια Όψη διακρίνεται ο Δίσκος της Σελήνης, το Χρυσούν Σφαιρίον-Ήλιος και το Παράπηγμα του Υπολογιστή
FIGURE 1: The functional model of the Antikythera Computer, designed and constructed by our team *The FRAMe Project*. In front phase stands the Lunar Disc, the Golden Sphere-Sun and the Parapegma of the Computer

ISSN: 2241-9993

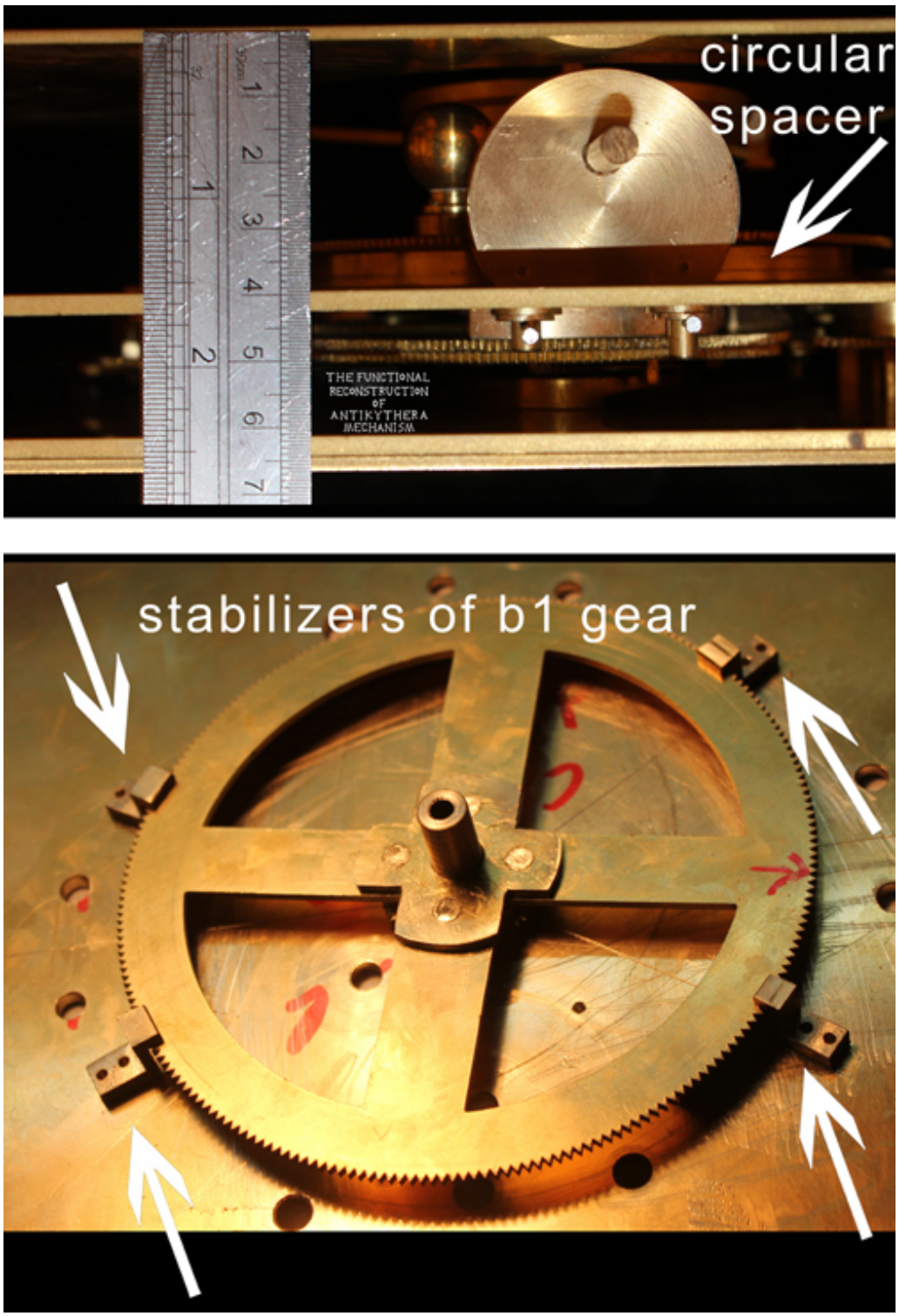


ΦΩΤΟ 2: Το λειτουργικό ομοίωμα του Υπολογιστή των Αντικυθήρων, κατασκευασμένο από την ομάδα *The FRAMe Project.* Στην Πίσω Πλευρά διακρίνονται οι Σπείρες και οι δείκτες του Μέτωνα και του Σάρου, καθώς και οι μικρότεροι δείκτες των Στεφανιτών Αγώνων και του Εξελιγμού
FIGURE 2: The functional model of the Antikythera Computer, designed and constructed by our team *The FRAMe Project*. In Back plate are visible the Spirals and the indicators of Meton and Saros and the smaller pointers of athletic Games and Exeligmos

ISSN: 2241-9993

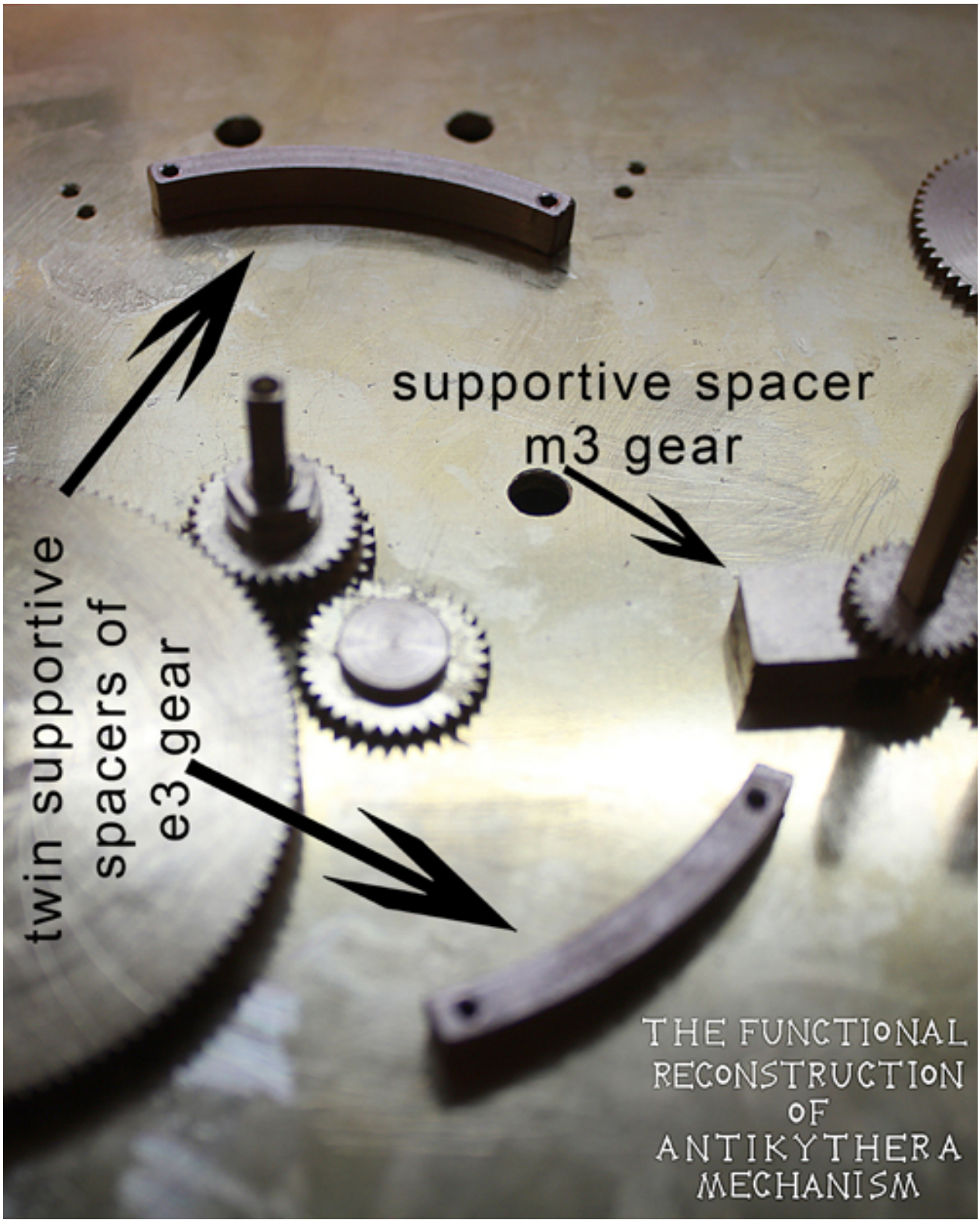


ISSN: 2241-9993



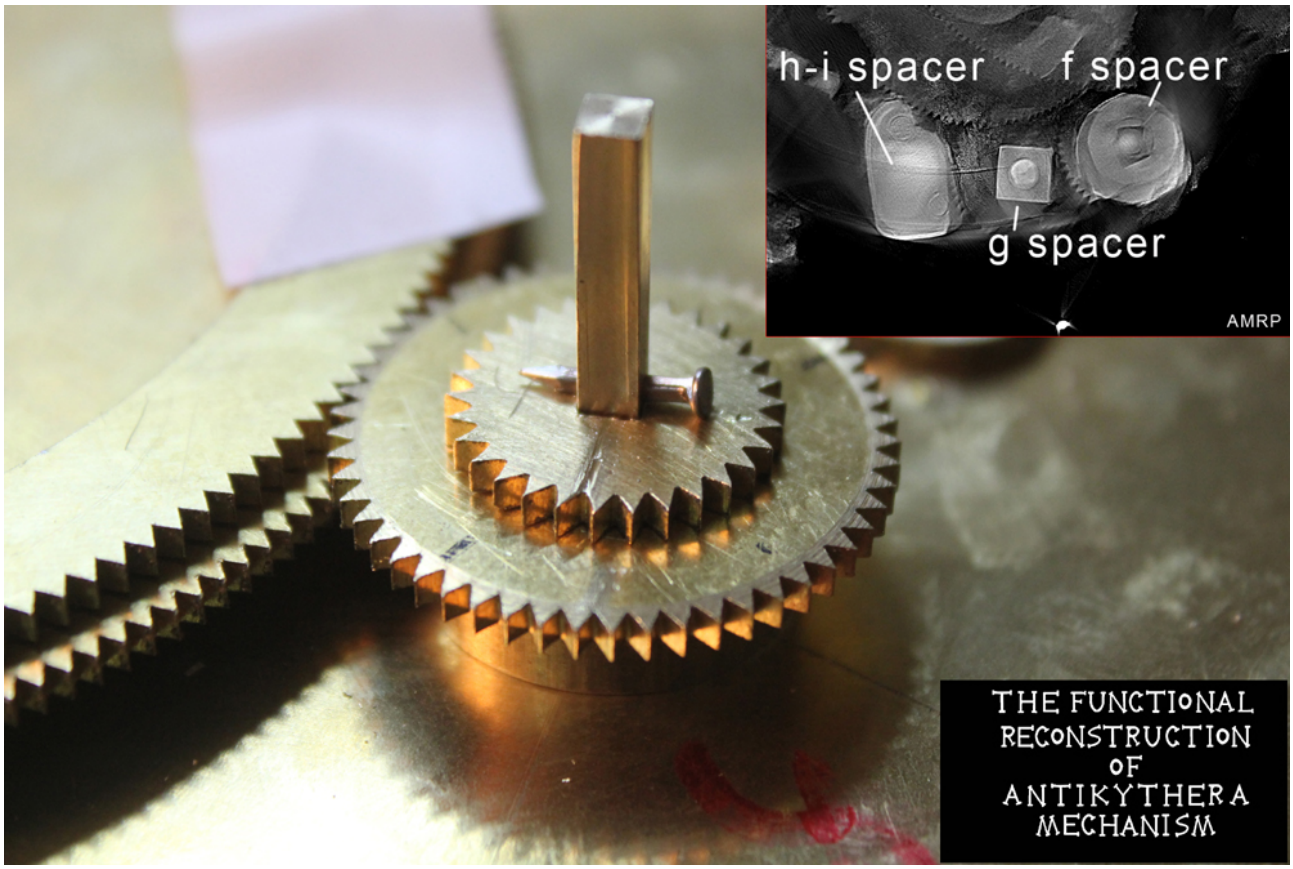
ΦΩΤΟ 4: Επάνω: Το συνολικό πάχος του Υπολογιστή δεν ξεπερνά τα 67 χιλιοστά. Ο κυκλικός αποστάτης του γραναζιού b1, το Χρυσούν Σφαιρίον και η πιθανή έδραση της κορώνας a1. Κάτω: Απεικονίζονται οι τέσσερις σταθεροποιητές του γραναζιού b1
FIGURE 4: Above: The total thickness of the Antikythera Computer does not exceed 67 mm. The partial circular spacer of gear b1, the Golden Sphere and the possible seating of the crown a1. Bottom: Depicts the four stabilizers of gear b1

ISSN: 2241-9993



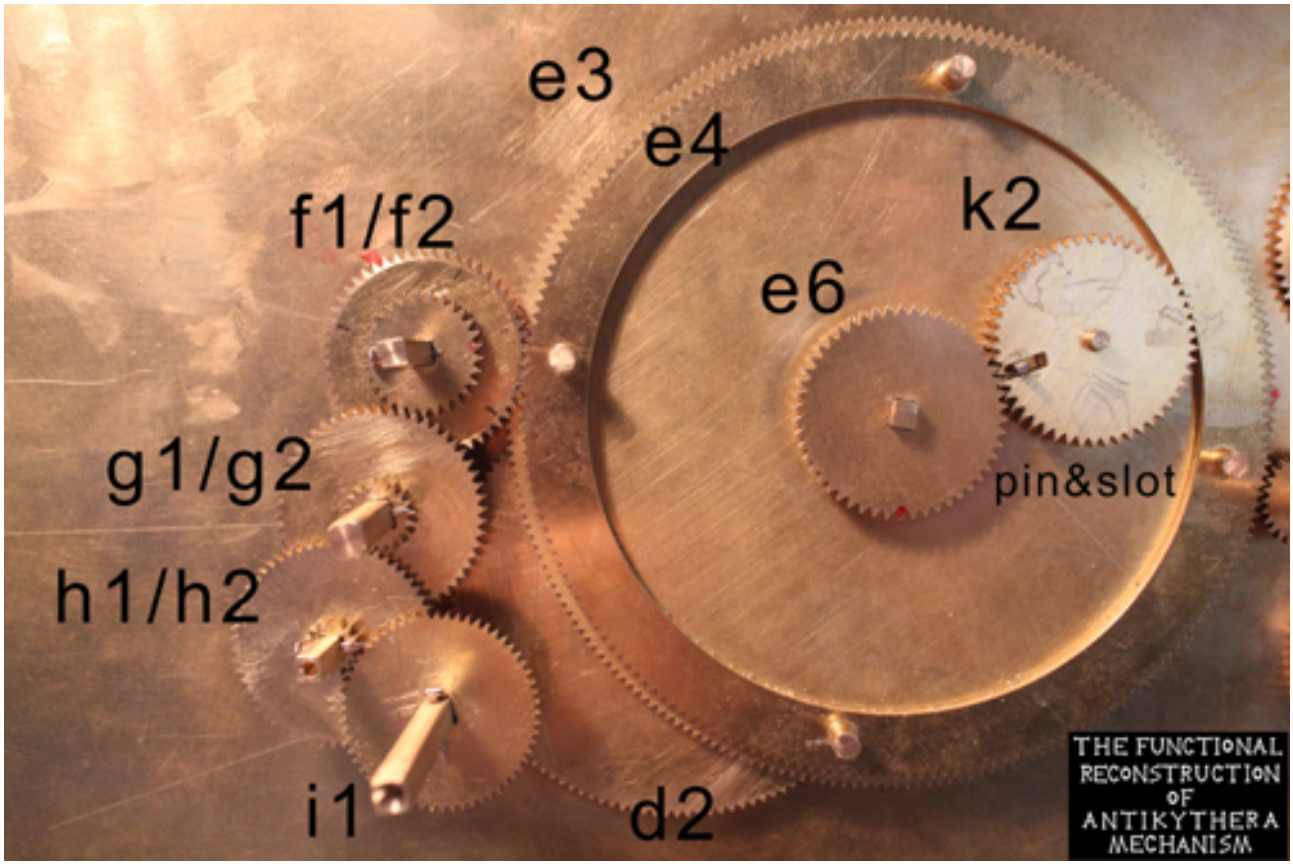
ΦΩΤΟ 5: Οι δίδυμοι αποστάτες του γραναζιού e3, καθώς και ο αποστάτης m3
FIGURE 5: The twin spacers of gear e3 and the spacer of gear m3

ISSN: 2241-9993



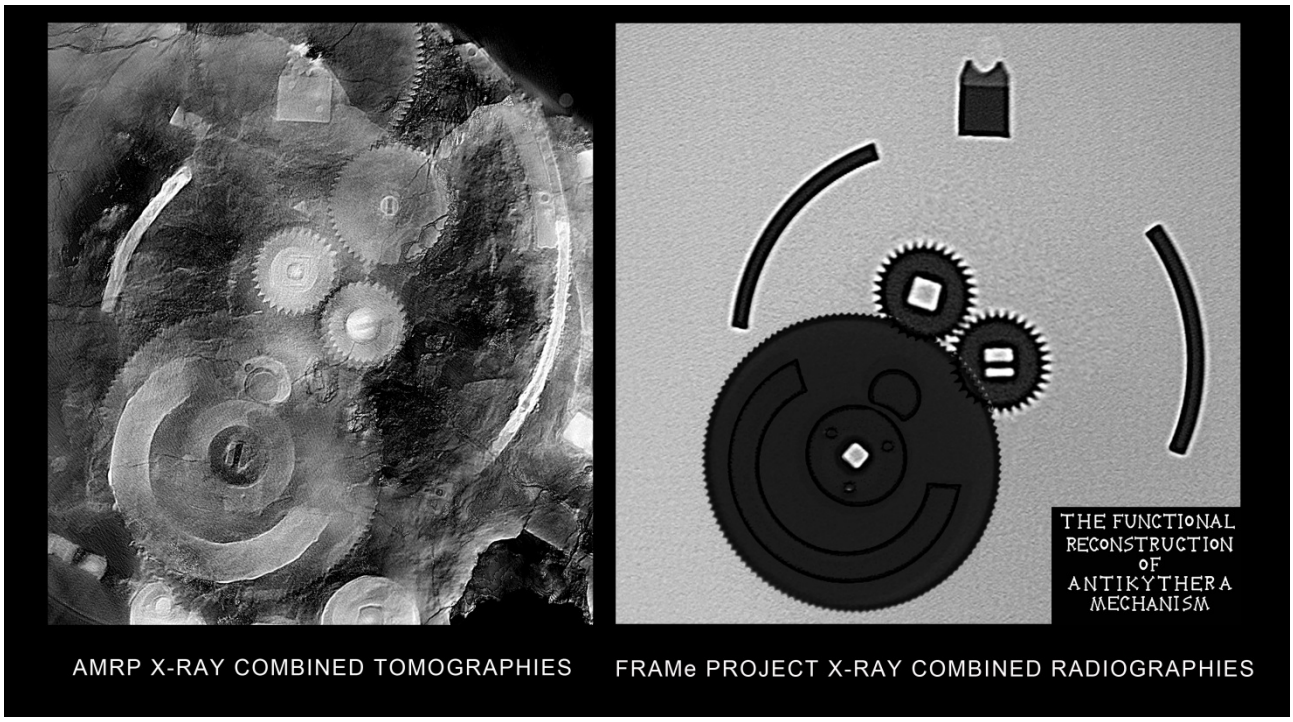
ΦΩΤΟ 6: Αριστερά, τμήμα των γραναζιών e3-e4, δεξιά τα γρανάζια f1/f2. Διακρίνεται επίσης και ο αποστάτης τους. Δεξιά επάνω η τομογραφία των αποστατών των γραναζιών f, g και h-i.
FIGURE 6: On the left, close up of e3-e4 gears, on the right the f1/f2 gears. Also it is visible the f-spacer. On top right the tomography of the spacers of gears f, g and h-i

ISSN: 2241-9993



ΦΩΤΟ 7: Στιγμιότυπο της συναρμολογημένης περιοχής των γραναζιών e3-e4, e5-e6, k1-k2, f1-f2, g1-g2, h1-h2 και i1
FIGURE 7: Snapshot of the assembled area of gears e3-e4, e5-e6, k1-k2, f1-f2, g1-g2, h1-h2 and i1

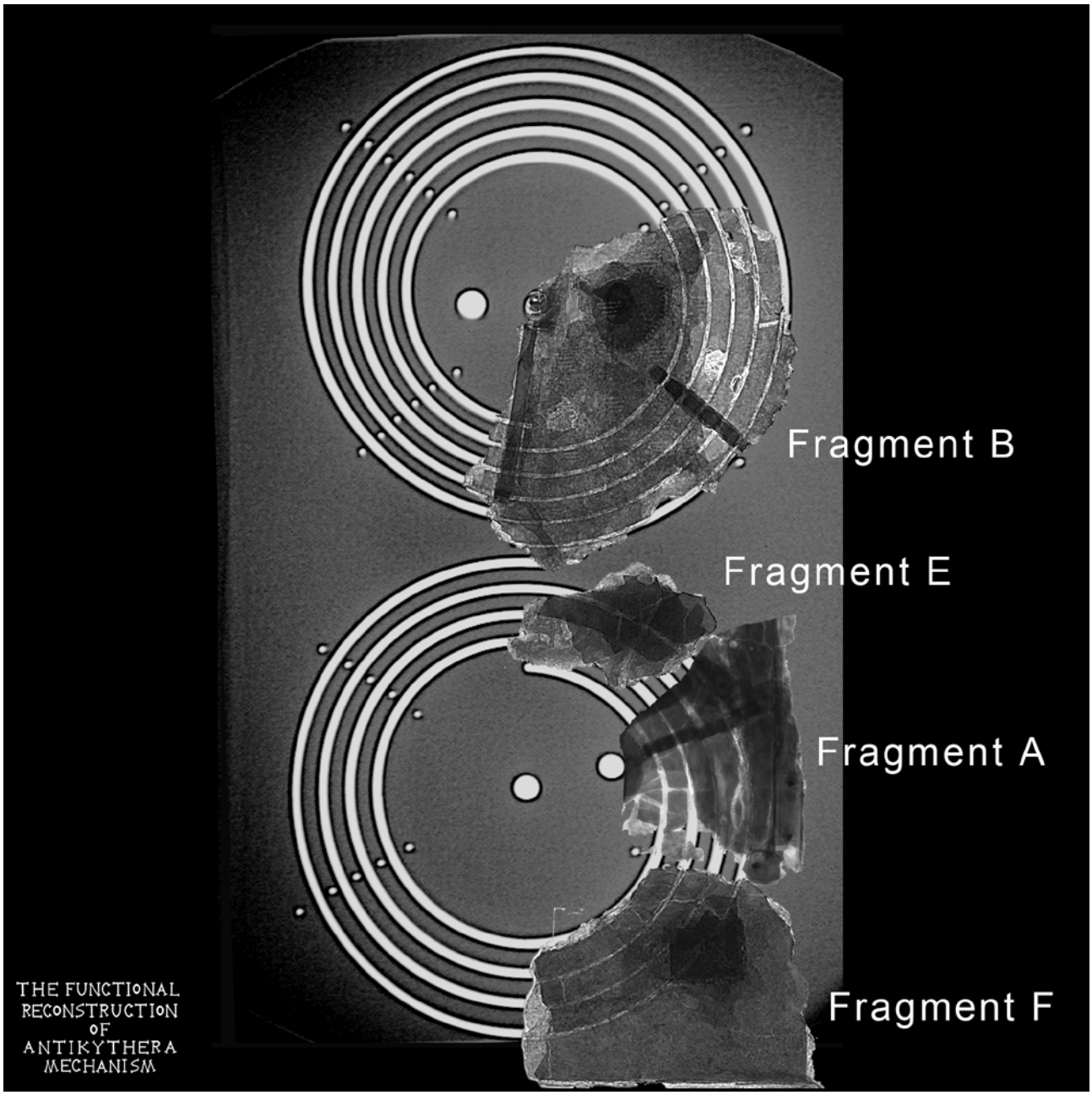
ISSN: 2241-9993



ΦΩΤΟ 8: Συγκριτική φωτογραφία σύνθεσης τομογραφιών του αρχαίου πρωτοτύπου (αριστερά), που ελήφθησαν από τον αξονικό τομογράφο ακτίνων Χ του AMRP και της σύνθεσης ραδιογραφιών του ομοιώματος της ομάδας FRAMe (δεξιά), που ελήφθησαν από το ακτινογραφικό μηχάνημα 100 kV του Νοσοκομείου Παπαγεωργίου Θεσσαλονίκης. Απεικονίζεται ο αποστάτης σχήματος ‘’C’’ στον οποίο εδράζεται το γρανάζι d2, οι δίδυμοι αποστάτες του γραναζιού e3, καθώς και ο αποστάτης του γραναζιού m3

FIGURE 8: Comparative of a digital composition of X-ray computed tomography scans of the ancient Computer (on the left) received from the CT X-ray of AMRP and a radiographic composition of the FRAMe model (on the right) obtained by X-ray radiograph 100 kV of Papageorgiou Hospital Thessaloniki. Illustrated are " C " shape supportive spacer in which is seated the gear d2, the twin spacers of the gear e3 and the spacer of the gear m3

ISSN: 2241-9993



ΦΩΤΟ 9: Σύνθεση των τομογραφιών του AMRP των θραυσμάτων Α, Ε και F – σωζόμενα τμήματα των Σπειρών του αρχαίου πρωτοτύπου επάνω σε ραδιογραφία της οπίσθιας πλάκας του ομοιώματος της ομάδας *The FRAMe Project* που ελήφθησαν από τον ακτινογραφικό μηχάνημα 100 kV του Νοσοκομείου Παπαγεωργίου Θεσσαλονίκης. (Σημείωση: τα διάκενα των σπειρών της ραδιογραφίας φαίνονται πιο διευρυμένα, λόγω της περίθλασης που υφίστανται οι ακτίνων Χ καθώς διέρχονται από τα διάκενα των σπειρών)
FIGURE 9: Composition of AMRP scans of the fragments A, E and F - the survived parts of the spirals of the ancient prototype and the radiography of the backplate of the the FRAMe model received from the X-ray radiograph of 100 kV Papageorgiou Hospital Thessaloniki. (Note: the gaps of the spirals in radiography are more enlarged due to the diffraction caused to X-rays as they pass through the gaps of the spirals. Also is visible the geometric distortion)

ISSN: 2241-9993



ΦΩΤΟ 10: Πραγματική φωτογραφία ταυτόχρονης λήψης του ομοιώματος της ομάδας *The FRAMe Project*, με φόντο τις τις τροχιές των αστέρων στην ευρύτερη περιοχή του Πολικού Αστέρα. Συνολικός χρόνος λήψης 68 λεπτά
FIGURE 10: A real photo of simultaneous capturing of the FRAMe model, with background the orbits of the stars in the region of the Polar Star. Total exposure time 68 minutes

ISSN: 2241-9993



ΦΩΤΟ 11: Πραγματική φωτογραφία ταυτόχρονης λήψης του ομοιώματος της ομάδας *The FRAMe Project*, με φόντο την ευρύτερη περιοχή του κέντρου του Γαλαξία. Η φωτογραφική μηχανή και το ομοίωμα τοποθετήθηκαν σε κοινή βάση και η οποία προσαρμόστηκε σε ισημερινή στήριξη με ωρολογιακό μηχανισμό κίνησης. Συνολικός χρόνος λήψης 24 λεπτά

FIGURE 11: A real photo simultaneous reception of the FRAMe model, with the background of the central region of Milky Way. The camera and the model placed on a common metallic base, which was adapted to equatorial mount with clock drive motion. Total exposure time 24 minutes

ISSN: 2241-9993

Ακαδημια Θεσμων και Πολιτισμων
Academy of Institutions and Cultures

Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση

Stoa of Sciences-Scientific Review

Τόμος 1
Volume 1

Ελληνιστική Αστρονομία και Μηχανική
Hellenistic Astronomy and Mechanics

Τεύχος B
Issue B

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων
The Antikythera Mechanism

Corpus operae I

ISSN: 2241-9993
©: Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών - Academy of Institutions and Cultures
Έτος εκδόσεως - Year of issue : 2017