



**3^ο Διεθνές Συνέδριο
Αρχαίας Ελληνικής
και Βυζαντινής Τεχνολογίας**

19-21 Νοεμβρίου 2024
ΜΕΓΑΡΟΝ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΑΘΗΝΩΝ

**3rd International Conference
Ancient Greek
and Byzantine Technology**

19-21 November 2024
MEGARON THE ATHENS CONCERT HALL

ΟΡΓΑΝΩΣΗ



ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ
ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΟΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΒΥΖΑΝΤΙΝΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Το Διοικητικό Συμβούλιο της Εταιρείας Διερεύνησης της Αρχαιοελληνικής και Βυζαντινής Τεχνολογίας (ΕΔΑΒΥΤ) ανέλαβε την ανάρτηση στην ιστοσελίδα της (www.edabyt.gr), σε ψηφιακή μορφή, των εργασιών του 3^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου Αρχαιοελληνικής και Βυζαντινής Τεχνολογίας (Αθήνα 19-21 Νοεμβρίου 2024).

Οι εργασίες είχαν γίνει αντικείμενο κρίσεων και σχολιασμού από την Επιστημονική Επιτροπή. Επι πλέον, έγιναν κι άλλες παρατηρήσεις και σχόλια κατά την συζήτηση που ακολούθησε μετά την προφορική τους παρουσίαση στο Συνέδριο.

Οι εργασίες αναρτώνται όπως κατατέθηκαν από τους συγγραφείς μετά την ολοκλήρωση του Συνεδρίου. Οι συγγραφείς φέρουν την ευθύνη του περιεχομένου της εργασίας τους, τόσο ως προς τις απόψεις τους όσο και ως προς την ακρίβεια και την ορθότητα των στοιχείων που παραθέτουν.

The Board of Directors of the Association for Research on Ancient Greek and Byzantine Technology (EDABYΤ) undertook the posting on its website (www.edabyt.gr) of the papers presented at the 3rd International Conference on Ancient Greek and Byzantine Technology (Athens, November 19-21, 2024).

The papers had been subject to reviews and comments by the Scientific Committee. Additionally, further observations and comments were made during the discussion that followed their oral presentation at the Conference.

The papers are posted as submitted by the authors after the conclusion of the Conference. The authors are responsible for the content of their work, both in terms of their views and the accuracy and correctness of the data they present.



ΤΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΩΡΟ(ΗΜΕΡΟ)ΛΟΓΙΟ-ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ ΤΟΥ ΑΝΔΡΟΝΙΚΟΥ ΚΥΡΡΗΣΤΟΥ

Κώστας Κοτσανάς¹

¹ Μουσείο Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας, e-mail: kkotsanas@hotmail.com

Περίληψη

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η υποθετική ανασύσταση του «υδραυλικού ωρολογίου» του Ανδρόνικου Κυρρήστου στο λεγόμενο «πύργο των ανέμων» στην Αθήνα, ως ένα πλήρως αυτοματοποιημένο και σύνθετο υδραυλικό ωρολόγιο - ημερολογιακός υπολογιστής και πλανητάριο, που ενσωμάτωνε όλη την καινοτόμα τεχνολογία της εποχής του, σχετικά με τη μέτρηση του χρόνου, σε όλες του τις εκδοχές. Ο εντυπωσιακός αυτός μηχανισμός θα έπρεπε να υπολογίζει αυτόματα (χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση) και με ακρίβεια τις σημαντικότερες επιθυμητές ενδείξεις είτε για το απλό κοινό, είτε για τους επόπτες χειριστές και τους αστρονόμους όπως: α) τις τροπικές και τις ισόχρονες ώρες κάθε νυχθημέρου του έτους των 365,25 ημερών, β) την ημερομηνία του αττικού σεληνοηλιακού ημερολογίου, με τους δύο εναλλακτικούς τρόπους διαχωρισμού των 125 πλήρων και 110 κοίλων μηνών (σταθερών κατ' όνομα ή μεταβλητών), με την κατάλληλη διάταξη εμβόλιμων μηνών και τη μετάπτωση ενός κοίλου σε πλήρη μήνα κάθε 19/4 έτη, (σύμφωνα με τους κύκλους Μέτωνος, Καλίππου), ή την εναλλακτική δημιουργία κοίλων μηνών κάθε 64 ημέρες (σύμφωνα με το Γεμίνο), γ) τη θέση και τη φάση της σελήνης στην εκλειπτική, την εκάστοτε απόσταση από τη Γη και τη γωνιακή ημερολογιακή απόσταση από τον ήλιο, δ) τη θέση του αληθούς ηλίου στην εκλειπτική, τα ηλιοστάσια και ισημερίες για την έναρξη κάθε άνισης εποχής, ε) τις φαινόμενες τροχιές των πλανητών (ορθές και ανάδρομες κινήσεις, σύνοδοι, στηριγμοί), στ) το εποχιακό (αστρικό) και το πλανητικό ημερολόγιο, ζ) τις εκλείψεις και την προσομοίωσή τους κ.ά. Οι προσομοιώσεις στο μηχανισμό πραγματοποιήθηκαν με τις πλέον αποδεκτές θέσεις των Ελλήνων «επιστημόνων» του 2ου - 1ου αι. π.Χ. ενώ η αυτοματοποιημένη, μηχανική και υδραυλική λειτουργία του βασίστηκε στις σχετικές τεχνολογίες των αυτομάτων της εποχής τους. Η ωρολογόπλακα του αναφορικού ωρολογίου σχεδιάστηκε σύμφωνα με το σωζόμενο δίσκο του αναφορικού ωρολογίου του μουσείου του Σάλτσμπουργκ, σταθμισμένη για το γεωγραφικό πλάτος των Αθηνών. Τα βοηθητικά μηχανικά μέρη (τροχαλία, κασάνια, τερματικοί πύροι, έκκεντρο τύμπανο, κ.ά.), οι κύριοι οδοντωτοί τροχοί, οι βραχίονες και οι άξονες του μηχανισμού υπολογίστηκαν σύμφωνα με την αρχή της μέγιστης οικονομίας. Το υδραυλικό μέρος σχεδιάστηκε, έτσι ώστε να συνάδει με τις σχετικές χαρακτηριστικές αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις του κτηρίου. Τέλος, η πραγματική ανακατασκευή του αυτόματου ωρο(ημερο)λογίου-πλανηταρίου και η απρόσκοπτη λειτουργία του καταδεικνύει ως πειραματική τεχνολογία τη δυνατότητα ύπαρξης ενός τέτοιου πολύπλοκου μηχανισμού στην αρχαιότητα που πιθανότατα αποτελούσε τον πυλώνα της τεχνολογικής αιχμής της Ελληνιστικής Αθήνας.

Λέξεις Κλειδιά: ωρολόγιο, ημερολόγιο, πλανητάριο, Κύρρηστος, Αντικύθηρα.

1. Εισαγωγή

Ο περίφημος οκταγωνικός μαρμάρινος «πύργος των ανέμων», του Ανδρόνικου Κυρρήστου, βρίσκεται στους βόρειους πρόποδες της Ακρόπολης των Αθηνών, στο χώρο της Ρωμαϊκής Αγοράς.

Ανεγέρθηκε πιθανότατα στο τέλος του 2ου ή στην αρχή του 1ου αι. π.Χ. και αποτελεί τον αρχαιότερο μετεωρολογικό, χρονομετρικό και αστρονομικό σταθμό παγκοσμίως. Σκοπός του ήταν η πληροφόρηση του κοινού σχετικά με την τρέχουσα ώρα, την ημερομηνία, την κατεύθυνση του ανέμου, κ.ά. Παράλληλα ίσως χρησιμοποιούνταν και ως κέντρο επιστημονικής έρευνας.

Το υδραυλικό μέρος του ωρολογίου βρισκόταν στο μικρό (ημι)κυλινδρικό πρόκτισμα του πύργου ενώ το μηχανικό του μέρος ήταν τοποθετημένο στο κεντρικό τμήμα του δαπέδου του, επιτελώντας έτσι τον κύριο σκοπό ανέγερσης του κτηρίου. Αν και δεν έχει διασωθεί κάποιο τμήμα του, μπορεί να ανακατασκευαστεί υποθετικά σύμφωνα με:

α) τη γνωστή τεχνολογία των άλλων υδραυλικών ωρολογίων της εποχής του (π.χ. «αναφορικού», «αναλογικού», Κτησιβίου, Αρχιμήδη, κ.ά.) που έχουν διασωθεί μέσω της αρχαίας ελληνικής, λατινικής και αραβικής γραμματείας

β) το μοναδικό αρχαιολογικό εύρημα του τμήματος του τυμπάνου ενός υδραυλικού ωρολογίου της ρωμαϊκής περιόδου που εκτίθεται στο Μουσείο του Σάλτσμπουργκ και γ) τις διασωθείσες αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις στο κτίσμα που υλοποιήθηκαν για την υποστήριξη της λειτουργίας του υδραυλικού ωρολογίου.

Η ανακατασκευή της μακέτας του μνημείου, (Εικόνα 1) στηρίχτηκε στο μνημειώδες έργο του Herman Kienast "Der Turm der Winde in Athens".



Εικόνα 1. Ο πύργος των ανέμων του Ανδρόνικου Κυρρήστου (Μακέτα Μουσείου Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας)

2. Είδη Καταγεγραμμένων Υδραυλικών Ωρολογίων στην Αρχαιότητα

Τα αρχαιοελληνικά υδραυλικά ωρολόγια (Vitruv. On Archit. 9.8.4-15) θα μπορούσαμε να τα διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους ως προς την εξασφάλιση της μεταβαλλόμενης διάρκειας της ώρας της τροπικής ημέρας:

α) Ωρολόγια με σταθερή παροχή ύδατος από το κύριο ακροφύσιο.

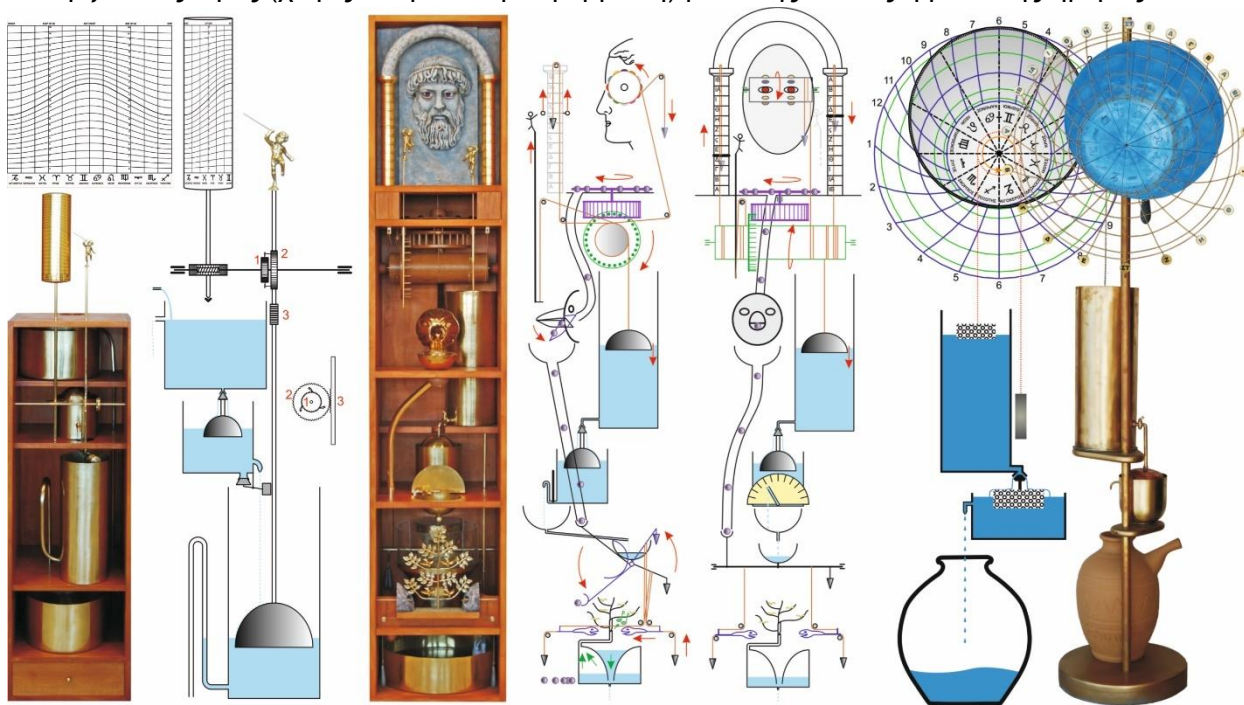
Διαθέτουν είτε μία ιδιάζουσα (με «τροπικές» ωριαίες καμπύλες) μετακινούμενη -κάθε ημέρα- ωρολογό-πλακα, όπως είναι το υδραυλικό ωρολόγιο του Κτησιβίου (3ος αι. π.Χ.), είτε ένα μετακινούμενο σε κάθε ημέρα ωροδείκτη, όπως το λεγόμενο «αναφορικό» ωρολόγιο. Στα πρωιμότερα υδραυλικά ωρολόγια με σταθερή παροχή ύδατος η τροπική ώρα επιτυγχανόταν απλά με την προσθήκη παρεμβυσμάτων.

β) Ωρολόγια με ρυθμιζόμενη παροχή ύδατος από το κύριο ακροφύσιο.

Διαθέτουν μία γραμμική σταθερή ωρολογόπλακα όπως είναι το υδραυλικό ωρολόγιο του Αρχιμήδη (3ος αι. π.Χ.) και το λεγόμενο «αναλογικό» ωρολόγιο.

Τα υδραυλικά ωρολόγια της πρώτης κατηγορίας εκτός από ακριβέστερα λόγω της αρχής λειτουργίας τους είναι και πληρέστερα καθότι:

-Μπορούν να υπολογίζουν χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση διαδοχικά τις 12 νυκτερινές και 12 ημερήσιες τροπικές ώρες ενός νυχθημέρου ενώ της δεύτερης κατηγορίας μπορούν να υπολογίζουν τις ώρες (χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση) μόνο της νύκτας ή μόνο της ημέρας.



Εικόνα 2. Τα υδραυλικά ωρολόγια του Κτησιβίου, του Αρχιμήδη και το «αναφορικό» (Μακέτα Μουσείου Α.Ε.Τ.)

-Είναι ικανά να λειτουργούν αδιάκοπα και αυτόματα, με συνεχή παροχή ύδατος μέσω σιφωνισμού και μηχανικών διατάξεων όπως τα αυτόματα που περιγράφουν ο Φίλων ο Βυζάντιος (3ος αι. π.Χ.) και ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς (1ος αι. μ.Χ.).

2.1 Το Υδραυλικό Ωρολόγιο του Κτησιβίου

Σύμφωνα με το Βιτρούβιο θεωρείται το αρχαιότερο υδραυλικό ωρολόγιο και αποτελεί ένα θαύμα του αυτοματισμού, αφού θα μπορούσε να έχει αέναη αυτόματη λειτουργία (Εικόνα 2), υποδεικνύοντας με ακρίβεια τα 365 διαφορετικά «τροπικά» ωράρια κάθε έτους. (Vitruv. On Archit. 9.8.4-7), (Κοτσανάς, 2004)

2.2 Το Υδραυλικό Ωρολόγιο του Αρχιμήδη

Το ωρολόγιο αυτό, (Εικόνα 2) διασώθηκε με εξαιρετικές λεπτομέρειες σε αραβική μετάφραση όπου αναφέρεται ρητά ο Αρχιμήδης ως κατασκευαστής του. (Ε. Σταμάτης, 1974), (Κοτσανάς, 2004)

2.3 Το «Αναφορικών» Υδραυλικό Ωρολόγιο

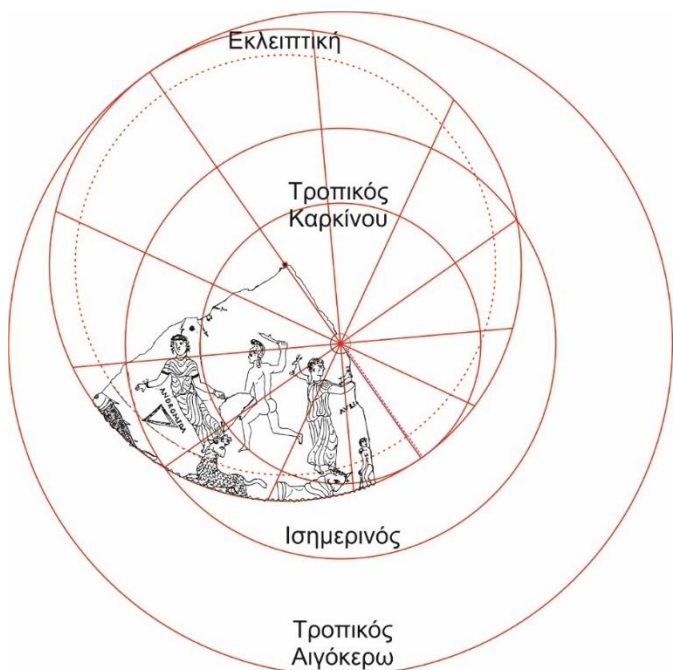
Περιγράφεται αναλυτικά από το Βιτρούβιο ως ένα ευφυές υδραυλικό ωρολόγιο (Εικόνα 2) που έφερε ένα έκκεντρο τύμπανο με ένα μετακινούμενο ωροδείκτη και μία δικτυωτή ωρολογόπλακα. (Vitruv. On Archit. 9.8.8-10), (Κοτσανάς, 2004)

3. Αρχαιολογικά Ευρήματα Υδραυλικών Ωρολογίων

3.1 Ο «Αναφορικός» Δίσκος του Σάλτσμπουργκ

Το μοναδικό σημαντικό σωζόμενο εύρημα που τεκμηριώνει και αρχαιολογικά τον τρόπο σχεδιασμού των ελληνιστικών αναφορικών ωρολογίων είναι δύο μικρά θραύσματα που εκτίθενται στο μουσείο του Σάλτσμπουργκ και αποτελούν σαφέστατα τμήματα ενός ρωμαϊκού αναφορικού ωρολογίου του 2ου αι. μ.Χ. (Εικόνα 3).

Από το διασωθέν τόξο με τις διαδοχικές περιμετρικές οπές (του μετακινούμενου δείκτη) στο θραύσμα του έκκεντρου δίσκου μπορούμε να σχεδιάσουμε ολόκληρο τον κύκλο της εκλειπτικής. Εφαρμόζοντας αντίστροφα το είδος στερεογραφικής προβολής της ουράνιας που χρησιμοποιούνταν την Ελληνιστική περίοδο και περιγράφουμε στην παράγραφο 7.3 μπορούμε να διαπιστώσουμε τις ταυτίσεις: α) του χαραγμένου κύκλου με τον αναμενόμενο τροπικό του Καρκίνου στις 24°, β) της σωζόμενης έκκεντρης οπής περιστροφής του τυμπάνου με το κέντρο του κύκλου του Καρκίνου και γ) του επιπρόσθετου χαραγμένου κύκλου (παραλλήλου της εκλειπτικής) με το βόρειο όριο της ζώνης



Εικόνα 3. Ο «αναφορικός» δίσκος του Σάλτσμπουργκ

του ζωδιακού σε απόσταση 10° από αυτήν, διαπιστώνοντας τον αμετάβλητο σχεδιασμό του σε όλη την αρχαιότητα.

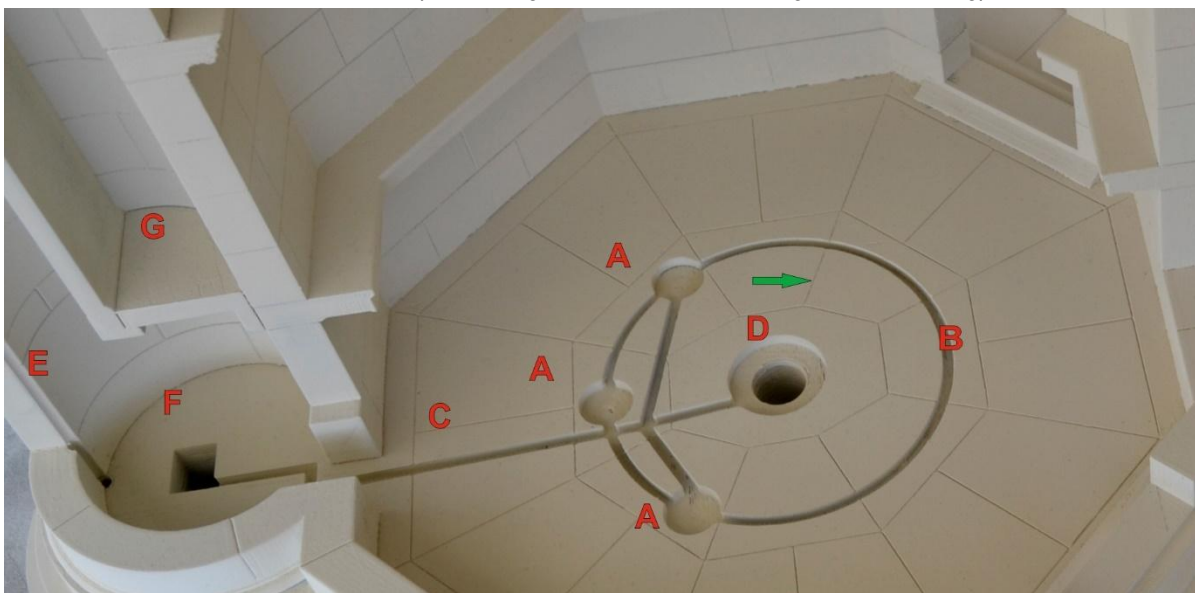
Περιμετρικά του δίσκου απεικονίζονταν εικονογραφημένοι οι αστερισμοί της εκλειπτικής και εσωτερικά του οι αστερισμοί που βρίσκονται βόρεια αυτής (χωρίς όμως τους αστέρες αναφοράς) υποδεικνύοντας μία ανάμνηση της πιθανής χρήσης των τυμπάνων και ως εποχιακών ημερολογίων.

Από τη σωζόμενη κλίμακα συμπεραίνουμε ότι τα ηλιοστάσια και οι ισημερίες βρίσκονταν στις αρχές των αντίστοιχων ζωδίων. Από τις επιγραφές στο έτερο θραύσμα ενός δακτυλίου που αποτελούσε ένα αναπόσπαστο οπίσθιο τμήμα του πρώτου, διαπιστώνουμε ότι περιέχει το ηλιακό ρωμαϊκό ημερολόγιο με τον Απρίλιο και Μάιο να αντιστοιχούν σε Κριό και Ταύρο. Οι ακαθόριστες κλίσεις των γραμμών μεταξύ των ζωδίων και η απρόσμενη υπερβολικά λοξή γραμμή της ισημερίας μεταξύ Ιχθύων και Κριού στο ζωδιακό ίσως απηχεί μία αμήχανη προσπάθεια απόδοσης της μετάπτωσης του άξονα των Ισημεριών και στην υπόδειξη της ανάγκης μετατόπισης των μηνών.

4. Υλικές Ενδείξεις Τεκμηρίωσης του Υδραυλικού Ωρολογίου στο Μνημείο

Είναι ευτυχές το γεγονός ότι επί του πύργου έχουν διασωθεί σημαντικές αρχιτεκτονικές υποδομές (Εικόνα 4) που μας βοηθούν στην τεκμηρίωση της διαστασιολόγησής του και του τρόπου λειτουργίας του, όπως:

- 1) Η κυλινδρική υδατοδεξαμενή στον (ημι)κυκλικό πυργίσκο.
- 2) Οι κυκλικές εγκοπές στο κεντρικό δάπεδο που υποδεικνύουν με βεβαιότητα ένα κυκλικό κιγκλίδωμα (με διασωθέντα τα αρχιτεκτονικά μέλη του) για την προστασία του ωρολογίου.
- 3) Οι τρεις κυλινδρικές εσοχές για τους κίονες που στήριζαν το ωρολόγιο ή και τυχόν πάρεργα.
- 4) Η κεντρική κυκλική εγκοπή για την πάκτωση εικαζόμενης λεκάνης-συντριβανιού ή υδραυλικών-μηχανικών πάρεργων (π.χ. μίας αυτοματοποιημένης παράστασης).



Εικόνα 4. Υλικές αρχιτεκτονικές ενδείξεις τεκμηρίωσης του υδραυλικού ωρολογίου επί του μνημείου (Μακέτα Μουσείου Α.Ε.Τ.)

5) Η κεντρική αύλακα για την απόκρυψη της αλυσίδας λειτουργίας του ωρολογίου και την τοποθέτηση σωληνίσκου για την απομάκρυνση του ύδατος υπερχειλίσης της μαρμάρινης δεξαμενής.

6) Οι τρεις διακλαδώσεις του κεντρικού αύλακα για την προώθηση του ύδατος σε κρήνες και πιθανό συντριβάνι ή σε υδραυλικά συστήματα παρέργων.

7) Η κατακόρυφη οπή (τετραγωνικής διατομής) του δαπέδου του πυργίσκου που καταλήγει σε υπόγειο αποχετευτικό αγωγό (που διατρέχει αξονικά το κτήριο) για την απομάκρυνση του ύδατος από το σιφωνισμό μεγάλου χάλκινου ωρομετρικού δοχείου .

8) Η κεντρική κατακόρυφη οπή (κυκλικής διατομής) στο δάπεδο του πύργου που καταλήγει στον υπόγειο αποχετευτικό αγωγό για την απομάκρυνση του ύδατος από την υπερχειλίση λεκάνης κρουνών-συντριβανιού.

9) Η κατακόρυφη αύλακα (ημικυκλικής διατομής) στο τοίχωμα του κυκλικού πυργίσκου για την τοποθέτηση του ανερχόμενου μεταλλικού σωληνίσκου τροφοδοσίας της υπερκείμενης ημικυλινδρικής μαρμάρινης δεξαμενής.

5. Τρόπος Λειτουργίας του Υδραυλικού Ωρολογίου

Η υπερυψωμένη μαρμάρινη δεξαμενή (Εικόνα 5) γέμιζε νερό μέσω ενός ανυψούμενου υπόγειου μεταλλικού σωληνίσκου που κατέληγε στην κορυφή της. Λίγο χαμηλότερα, ένας δεύτερος μεταλλικός σωληνίσκος λειτουργούσε ως υπερχειλιστής, επιτυγχάνοντας σταθερή στάθμη και

α. Σωλήνας παροχής ύδατος από παρακείμενη πηγή.

β. Σωλήνας υπερχειλίσης της υδατοδεξαμενής, διατήρησης σταθερής στάθμης και τροφοδότησης κρουνών και συντριβανιού.

γ. Σωλήνας ισοταχούς τροφοδότησης χάλκινου ωρομετρικού δοχείου.

δ. Ακροφύσιο υπολογισμένης παροχής για την 24ωρη πλήρωση του δοχείου.

ε. Χάλκινο ωρομετρικό δοχείο.

ζ. Πλωτήρας για την ισοταχή 24ωρη κάθοδο του αντιβάρου του ωρολογίου μέσω αλυσίδας.

η. Καμπύλο σιφώνιο για το ταχύτατο αυτόματο άδειασμα στο πέρας του τρέχοντος 24ώρου και την έναρξη του επομένου.

θ. Αλυσίδα κίνησης.

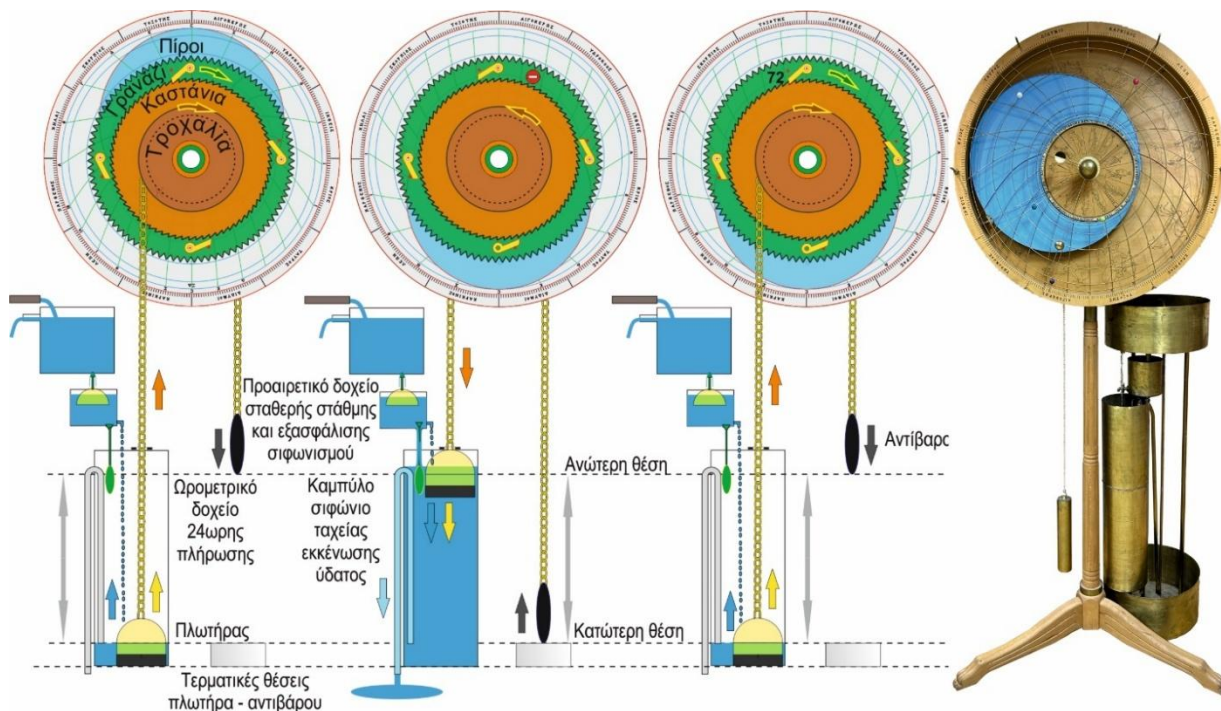


Εικόνα 5. Η χωροθέτηση του υδραυλικού ωρολογίου (Μακέτα Μουσείου Α.Ε.Τ.)

παράλληλα ίσως τροφοδοτούσε δύο κρήνες πόσιμου ύδατος και το σιντριβάνι μιας μεγάλης πιθανόν μαρμάρινης λεκάνης στο κέντρο του δαπέδου (Noble - Price, 1968). Λίγο πάνω από τον πυθμένα της υδατοδεξαμενής, ένας τρίτος μεταλλικός σωληνίσκος τροφοδοτούσε με ισόχρονη, πλέον, εκροή ύδατος, μέσω ενός κατάλληλου ακροφυσίου, ένα χάλκινο κυλινδρικό ωρομετρικό δοχείο.

Το ωρολόγιο ήταν πιθανότατα του «αναφορικού» τύπου, δηλ. με έκκεντρο τύμπανο που έφερε περιμετρικά 365 οπές και περιστρεφόταν πίσω από ένα ορειχάλκινο πλέγμα υπόδειξης των ωρών και στηριζόταν άμεσα ή έμμεσα μέσω κατάλληλων αγαλμάτων (Noble - Price, 1968) στους τρεις κιονίσκους των εγκοπών του δαπέδου. Στο τύμπανο σύμφωνα με το Βιτρούβιο αναπαρίσταντο σχεδιαστικά μέσω στερεογραφικής προβολής ο ουρανός με το ζωδιακό κύκλο. Το πλέγμα αποτελούνταν από 7 ομόκεντρους κύκλους που όριζαν τα διαστήματα των ζωδίων («ηλιακών» μηνών) και 24 τοξωτές ράβδους, που όριζαν τις τροπικές ώρες. Ένας δείκτης τοποθετούνταν στην οπή που αντιστοιχούσε στην τρέχουσα ημέρα σύμφωνα με την θέση του ηλίου στον προσομοιωμένο ζωδιακό. Η περιστροφή του τυμπάνου επιτυγχανόταν μέσω τροχαλίας και αλυσίδας με αντίβαρο και βάρος-πλωτήρα, που ανυψωνόταν χρονισμένα, λόγω της 24ωρης ισόχρονης ανόδου της στάθμης ύδατος στο κυλινδρικό ωρομετρικό δοχείο. Κάθε 24ωρο απαιτούνταν η χειροκίνητη τοποθέτηση του δείκτη στην επόμενη θέση του τυμπάνου και η εκκένωση του δοχείου. Στο τέλος κάθε ημερονυκτίου ο ωροδείκτης επανατοποθετούνταν χειροκίνητα στην επόμενη από τις 365 οπές στην περιφέρεια του τυμπάνου (που όριζαν τις διαδοχικές τροπικές ημέρες του έτους) και υποδείκνυε τις 12 νυχτερινές και 12 ημερήσιες ανισόχρονες ώρες του επόμενου 24ώρου.

Το ωρολόγιο όμως θα μπορούσε εύκολα να λειτουργεί αυτόματα και αδιάκοπα (εικόνες 5, 6, 8) χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, με την κατάλληλη υδραυλική και μηχανολογική διάταξη όπως



Εικόνα 6. Η υδραυλική και μηχανολογική διάταξη για την αέναη αυτόματη λειτουργία του υδραυλικού ωρολογίου και η πειραματική εφαρμογή του.

καμπύλο σιφώνιο, αυτόματη μετατόπιση ωροδείκτη ως ακολούθου στην περιφέρεια του έκκεντρου τυμπάνου, τροχαλία με κασάνια (επίσχεστρο) και γρανάζια με σχέση 366,25/365,25. Παρόμοιες διατάξεις χρησιμοποιούνταν κατά κόρον στην Ελληνιστική Περίοδο λαμβάνοντας υπόψιν τις περιγραφές των Αλεξανδρινών αυτομάτων π.χ. του Φίλωνος του Αλεξανδρέως.

Έτσι, στη διάρκεια ενός 24ώρου, μεταξύ δύο μεσημβριών ή δύο μεσονυκτίων ο ωροδείκτης θα εκτελούσε μια πλήρη περιστροφή υποδεικνύοντας τις 12 ημερήσιες και 12 νυχτερινές ανισόχρονες ώρες (ανάλογα με την εποχή). Το τύμπανο θα προπορευόταν κατά 1/365,25 του δείκτη ο οποίος διαφορικά θα μετακινούνταν στο 1/365,25 της έκκεντρης περιφέρειας, ώστε να υποδείξει με ακρίβεια το ωράριο της επόμενης ημέρας. Στο τέλος κάθε 24ώρου το νερό ξεπερνούσε το ενσωματωμένο στη χάλκινη δεξαμενή παράπλευρο καμπύλο σιφόνι και άδειαζε ταχύτατα. Το βάρος-πλωτήρας, η αλυσίδα και το αντίβαρο επέστρεφαν στην αρχική τους θέση ενώ το τύμπανο και ο δείκτης στέκονταν ακίνητα, λόγω της κασάνιας που έφερε η τροχαλία για να ξαναρχίσει η διαδικασία.

6. Μηχανικά Υπολογιστικά Σεληνοηλιακά και Αστρονομικά (Εποχιακά) και Αστρολογικά Ημερολόγια Πλανητάρια

Υπάρχει πολύ μεγάλη πιθανότητα, λόγω της σπουδαιότητας και του πλούτου του μνημείου αλλά και την αποδεδειγμένη τεχνογνωσία της εποχής του, να είχαν προσαρτηθεί στο υδραυλικό ωρολόγιο, με τις κατάλληλες μηχανολογικές διατάξεις, η αυτόματη υπόδειξη του Αττικού σεληνοηλιακού, του αστρικού (εποχιακού) και ίσως του πλανητικού (αστρολογικού) ημερολογίου με την υπόδειξη των θέσεων του ηλίου και των πλανητών, της θέσης και της φάσης της σελήνης και των πιθανών εκλείψεων.

Η μοναδική περίπτωση ενός χειροκίνητου αλλά όχι αυτόματου μηχανικού σεληνοηλιακού ημερολογίου διασώθηκε στην οπίσθια πλάκα του μηχανισμού των Αντικυθήρων όπου μεταξύ άλλων αντιστοιχίζει ένα ηπειρώτικο ημερολόγιο στον κύκλο του Μέτωνος. Επίσης, εσωτερικά της κλίμακας του ζωδιακού ο κινητός δακτύλιος των 365 ημερών που αναγράφει τους 12 Αιγυπτιακούς μήνες, μπορεί να ακινητοποιείται μέσω πύρου σε κάποια από τις υποκείμενες 365 ή 354 οπές (Budiselic et al.2020) Αυτό μας παραπέμπει στο Αιγυπτιακό ηλιακό ημερολόγιο με την αύξουσα μέτρηση των τετραετιών με την κυκλική διαδοχική αντικατάσταση της δίσεκτης ημέρας κάθε 4 έτη ή σε μία ενσωματωμένη αλλά απολεσθείσα πλέον μηχανική διάταξη του Πτολεμαϊκού σεληνοηλιακού ημερολογίου που δεν υιοθετήθηκε από τους Αιγυπτίους.

Λειτουργώντας αντίστροφα τον ελληνιστικό επίπεδο αστρολάβο (είναι δυνατή από τη θέση του ηλίου ή ενός αστεριού η εύρεση της ημερομηνίας ή της ώρας όταν είναι γνωστό το ένα από τα δύο. Αν θεωρήσουμε ότι ο αστρολάβος ήταν επινόηση του Ερατοσθένους ή του Ιππάρχου τεκμαίρεται ότι μία περιστρεφόμενη διάταξη ενός αστρονομικού ημερολογίου την περίοδο αυτή ήταν και προσιτή και επιθυμητή.

7. Η Ανακατασκευή του Ωρολογίου

7.1 Διαστασιολόγηση (Σύμφωνα με τους Κατασκευαστικούς Περιορισμούς στο Μνημείο)

Από το διαθέσιμο υποκείμενο ελεύθερο ύψος (180cm) του σωζόμενου πυθμένα της μαρμάρινης δεξαμενής (Εικόνες 4, 5) προκύπτουν τα μέγιστα ύψη για το ενσωματωμένο δοχείο σταθερής στάθμης-ακροφυσίου (20cm) και το χάλκινο ωρομετρικό δοχείο (180-20-5=155cm).

Συνεχίζοντας, βάσει της αρχής της μέγιστης οικονομίας και σκεπτόμενοι αντίστροφα από τον αρχαίο κατασκευαστή, μπορούμε να υπολογίσουμε διαδοχικά τη μέγιστη ενεργή διαδρομή ημιβυθισμένου πλωτήρα και αντιβάρου (130cm) και τέλος τη μέγιστη ενεργή διάμετρο ($130/3,14=41\text{cm}$) της τροχαλίας που θα κινεί όλο το μηχανισμό.

Παρατηρούμε ότι οι μετρήσεις μας επιτρέπουν ύψος κέντρου τροχαλίας, επομένως και ωρολογόπλακας (170cm) ίσο με το ύψος θέασης του μέσου παρατηρητή που είναι και το επιδιωκόμενο. Από την απόσταση των σωζόμενων εγκοπών των δύο κιονίσκων στήριξης του ωρολογίου και του ύψους των κιγκλιδωμάτων μπορούμε να εκτιμήσουμε και τη μέση μέγιστη διάμετρο της ωρολογόπλακας (160cm).

7.2 Η Κινητήρια Τροχαλία

Η τροχαλία με το ενσωματωμένο επίσχεστρο (καστάνια) και ο κύριος οδοντωτός τροχός (γρανάζι εισόδου) με τις 4 αρθρωτές σφήνες εμπλοκής, (Εικόνα 8) πρέπει να εκτελούν μία πλήρη περιστροφή κάθε 24ωρο με έναρξη τη μεσημβρία ή το μεσονύκτιο. Αυτό επιτυγχάνεται με την επιλογή κατάλληλης διατομής ακροφυσίου (συνήθως από χρυσό για την αποφυγή της απόφραξης του κατά τη χρήση) για το υπολογισμένο ωφέλιμο μήκος διαδρομής πλωτήρα-αντιβάρου. Μετά το πέρας της 24ωρης κίνησης ακολουθεί η ταχύτατη αυτόματη εκκένωση του ύδατος μέσω σιφωνισμού. Τότε τα ζεύγη πλωτήρα-αντιβάρου και τροχαλίας-καστάνιας επιστρέφουν στην αρχική τους θέση (με ακίνητο τον κύριο οδοντωτό τροχό λόγω απεμπλοκής των σφηνών) προκειμένου να ακολουθήσει αυτόματα η έναρξη του επόμενου 24ώρου.

Για την αποφυγή τυχόν απορρύθμισης αλλά και τον αυτόματο επανασυγχρονισμό του ωρολογίου σε περίπτωση αστοχίας, η απαραίτητη ακριβής περιστροφή (360°) της κινητήριας τροχαλίας, μπορεί να εξασφαλιστεί με τη χρήση ενός αρθρωτού μανδάλου που θα αποτρέπει την κίνησή της εκτός του ορίου που σηματοδοτούν τερματικοί πίροι ή και τερματικές θέσεις πλωτήρα αντιβάρου.

7.3. Η Ωρολογόπλακα και οι Δείκτες

Η ωρολογόπλακα έχει σχεδιαστεί (Εικόνα 7) με το είδος στερεογραφικής προβολής που περιγράφουν ο Πτολεμαίος στο “Planetarium” (που έχει διασωθεί σε λατινική και αραβική μετάφραση) και ο Ιωάννης ο Φιλόππος στο «Περί της του αστρολάβου χρήσεως και κατασκευής» ενώ πιθανότατα πρώτος ο Ερατοσθένης ή ο Ίππαρχος είχε προβάλει την ουράνια σφαίρα στο επίπεδο για την κατασκευή τετράντα, αστρικού χάρτη και ίσως επίπεδου αστρολάβου.

Με σημείο προβολής το Νότιο Πόλο της ουράνιας σφαίρας, προβάλλονται ο πάντα ορατός κύκλος, ο τροπικός του Καρκίνου, ο ισημερινός κύκλος, ο τροπικός του Αιγόκερω, ο κύκλος της εκλειπτικής με το ζωδιακό κύκλο και ο ορίζοντας της Αθήνας, σύμφωνα με το γεωγραφικό πλάτος της πάνω στο Ισημερινό επίπεδο. Η προβολή αυτή έχει ως πλεονέκτημα ότι οι ουράνιοι κύκλοι παραμένουν κύκλοι και οι μορφές των αστερισμών διατηρούνται ενώ ως μειονέκτημα ότι εμφανίζει περιφερειακά σταδιακή μεγεθυντική παραμόρφωση.

Ο έκκεντρος πλέον κύκλος της εκλειπτικής χωρίζεται σε 12 ακτίνες των 30° που ορίζουν τις αλλαγές των ζωδίων. Από τα σημεία τομής τους με τον κύκλο της εκλειπτικής χαράζουμε τους παράλληλους κύκλους περιστροφής των υπόλοιπων ζωδιακών σημείων.

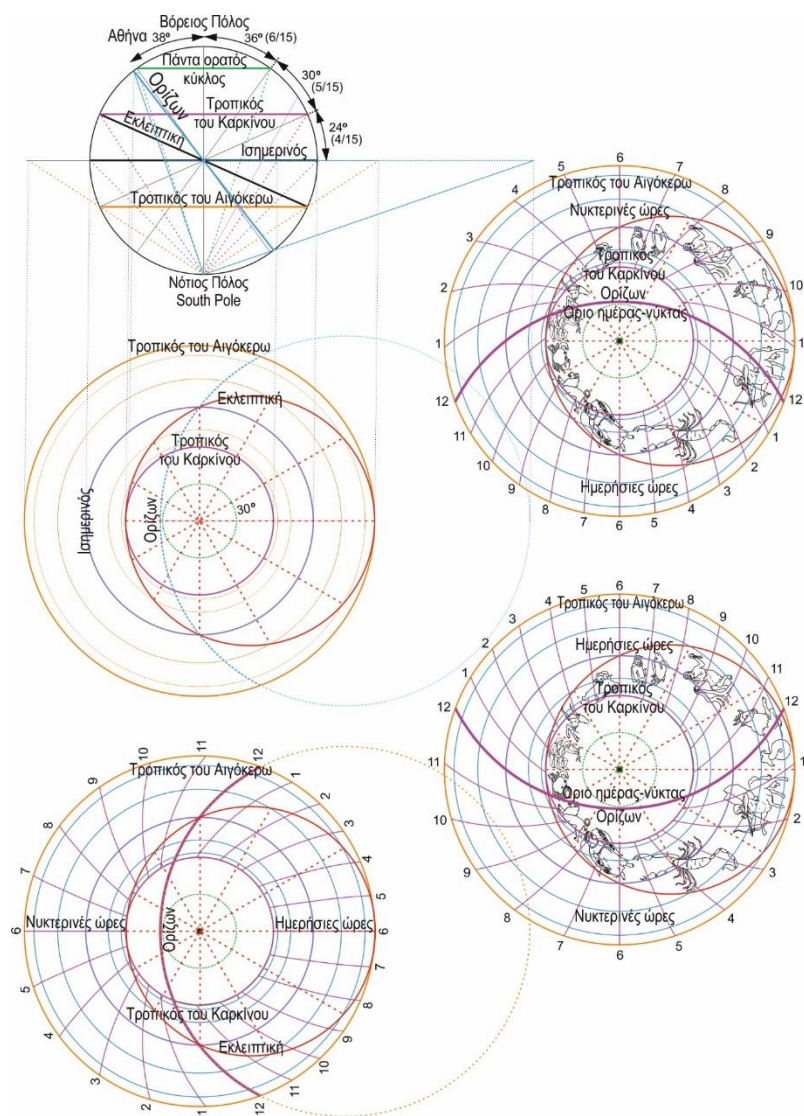
Με βάση τα σημεία τομής του τόξου προβολής του ορίζοντα (που ορίζει το όριο ημέρας νύκτας) και των 7 κύκλων, διαιρούμε και κατασκευάζουμε τις 12 νυκτερινές και 12 ημερήσιες τροπικές

ωριαίες καμπύλες ή προβάλουμε στερεογραφικά στο ισημερινό επίπεδο τους 24 ωριαίους (15°) μεσημβρινούς.

Εκ κατασκευής απαιτούνται:

- α) αντικατοπτρική (αριστερόστροφη) απεικόνιση των ζωδίων,
- β) δεξιόστροφη περιστροφή του τυμπάνου,
- γ) δεξιόστροφη αρίθμηση των ωριαίων καμπυλών και
- δ) προπορεία του τυμπάνου σε σχέση με τον (ηλιακό) ωροδείκτη κατά 366/365 (ή καλύτερα 366,25/365,25) της περιστροφής.

Στον εξωτερικό κύκλο (τροπικό του Αιγόκερω) τα μεγαλύτερα τόξα αντιστοιχούν στις 12 νυκτερινές ωριαίες γραμμές και τα μικρότερα στις 12 ημερήσιες. Η διάταξη ενδείκνυται για την



Εικόνα 7. Η ανακατασκευή του έκκεντρου δίσκου και της ωρολογόπλακας με στερεογραφική προβολή από την ουράνια σφαίρα

πιστή αναπαράσταση του περιστρεφόμενου ουρανού όπως αυτή φαίνεται από έναν εξωτερικό παρατηρητή του και είναι κατάλληλη για την αυτόματη υπόδειξη του τοπικού εποχιακού – αστρικού ημερολογίου.

Είναι επίσης δυνατή η αυτοματοποιημένη υπόδειξη ενός ή περισσότερων σεληνοηλιακών ημερολογίων με αριστερόστροφη καταγραφή των μηνών σε συμπαρασυρόμενους διαβαθμισμένους δακτυλίους ή σπείρες. Παρατηρώντας την ωρολογόπλακα από την οπίσθια πλευρά οι παραπάνω διατάξεις και περιστροφές εμφανίζονται αντίστροφα, προσομοιώνοντας έτσι την ημερήσια (και ετήσια) περιστροφή της ουράνιας σφαίρας όπως φαίνεται πλέον από ένα γήινο παρατηρητή.

Η τοποθέτηση του ωρολογίου στο κέντρο του πύργου με ισοδύναμη τη δυνατότητα εμπρόσθιας και οπίσθιας παρατήρησής του μας επιτρέπει να εικάσουμε ότι πιθανότατα είχε αμφίπλευρη όψη.

Έτσι, στο εμπρόσθιο τμήμα του εφαρμόσαμε το τροπικό ωράριο και το αστρικό ημερολόγιο και στο οπίσθιο το

εκτελώντας επίσης μία πλήρη περιστροφή 360° . Ο αξονίσκος αυτός φέρει το δείκτη υπόδειξης της εκάστοτε ημερομηνίας στους ημερολογιακούς δακτυλίους.

Παράλληλα, το έκκεντρο τύμπανο, συνδεδεμένο μέσω ενός άλλου ομόκεντρου διάτρητου σωληνίσκου με το γρανάζι εξόδου, προηγείται του κινητήριου άξονα του φορείου κατά $1/365$ ή ακριβέστερα κατά $1/365,25$ της πλήρους περιστροφής του ώστε το φορείο με την ωρομετρική ακίδα να μετακινείται και να υποδεικνύει το διαφοροποιημένο τροπικό ωράριο του επόμενου 24ώρου ενώ ο ημεροδείκτης να υποδεικνύει την επόμενη ημέρα.

Με μία συστοιχία 4 γραναζιών $100/60*293/487$ επιτυγχάνεται η επιθυμητή σχέση $366,25/365,25$ της πλήρους περιστροφής του έκκεντρου τυμπάνου. Εναλλακτικά, (Εικόνα 8) με μία συστοιχία 4 γραναζιών $72/73*61/60$, επιτυγχάνεται σχέση $366/365$. Η σχέση αυτή αν εφαρμοστεί δεν επηρεάζει τη λειτουργία ωρολογίου-ημερολογίου-πλανηταρίου αλλά επιβάλλει την 24ωρη ακινησία του ωρολογίου και τη χειροκίνητη προσθήκη μίας δίσεκτης ημέρας κάθε 4 έτη στο ημερολόγιο. Στη συνέχεια το γρανάζι εισόδου μεταφέρει μέσω ενός παράλληλου ισόδοντου γραναζιού 100 (ή 72 αντίστοιχα) οδόντων την κίνηση ως είσοδο της μίας ημέρας (24ώρου) στις λοιπές μηχανολογικές διατάξεις για το ημερολόγιο και το πλανητάριο.

7.4.2 Εκδοχή B: Έκκεντρη Αύλακα και Ολισθαίνων Ακόλουθος

Εναλλακτικά, το έκκεντρο τύμπανο μπορεί να ενσωματωθεί σε ομόκεντρο κυκλικό δίσκο ενώ θα οριοθετείται από μία αντίστοιχη έκκεντρη αύλακα (Εικόνα 8). Ο παράλληλος εγκάρσιος αξονίσκος είναι πλέον σταθερά στερεωμένος με τον ισχυρό εγκάρσιο άξονα που είναι συνδεδεμένος μέσω διάτρητου σωληνίσκου με το γρανάζι εισόδου. Ο αξονίσκος φέρει ένα αξονικό ολισθαίνον φορείο με τον κόκκινο δείκτη (ήλιος) υπόδειξης του τροπικού ωραρίου του τρέχοντος 24ώρου (μεταξύ δύο μεσημβριών ή δύο μεσονυκτίων) και το δείκτη υπόδειξης της εκάστοτε ημερομηνίας σε ημερολογιακούς δακτυλίους.

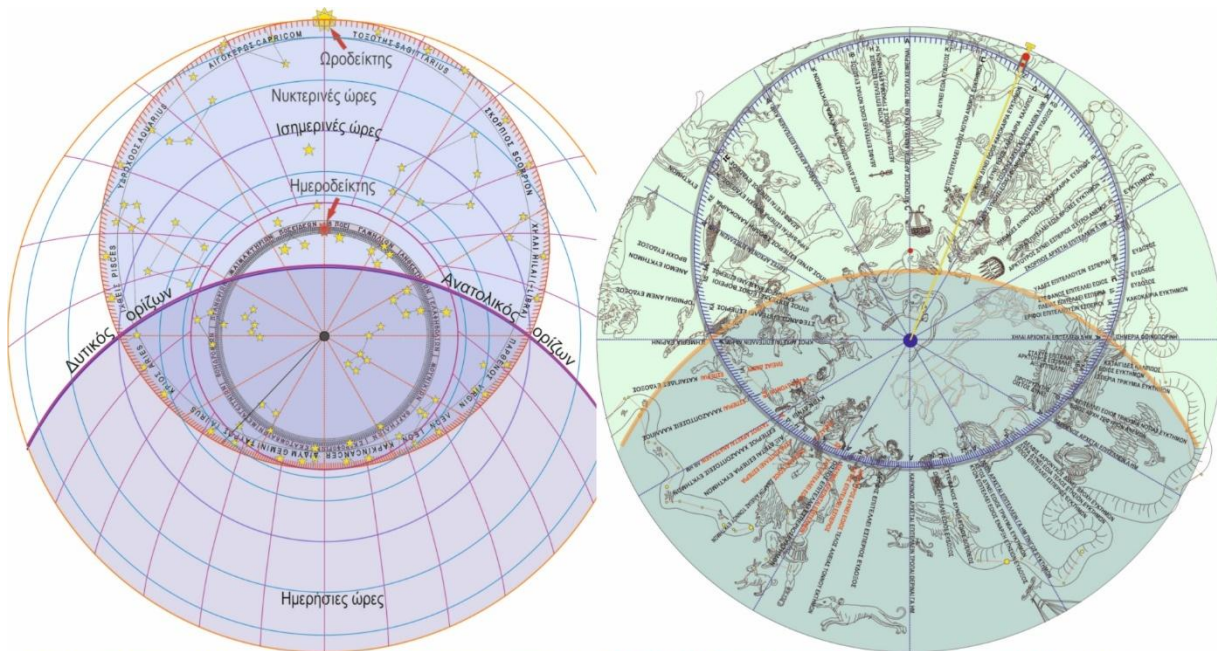
Κατά την προπορεία του δίσκου κατά $1/365$ ($1/365,25$) του φορείου, αυτό εξαναγκάζεται να διολισθήσει ακτινικά κατά μήκος του άξονά του λόγω του ενσωματωμένου πύρου που ακολουθεί την καμπύλη της έκκεντρης αύλακας κατά το $1/365$ ($1/365,25$) αυτής, κάθε ημερονύκτιο. Έτσι, η ωρομετρική ακίδα υποδεικνύει το διαφοροποιημένο πλέον τροπικό ωράριο του επόμενου 24ώρου.

Και στις δύο εκδοχές, το φορείο με τον ωροδείκτη εκτελούν μία πλήρη ακτινική παλινδρόμηση σε 365 ($365,25$) ημέρες.

8. Η Ανακατασκευή του Εποχιακού–Αστρικού Ημερολογίου

8.1 Το Θεωρητικό Υπόβαθρο

Κάθε 24ωρο (π.χ. μεταξύ δύο μεσονυκτίων) ένας αστέρας φαίνεται να περιστρέφεται κατά $360+(1/365,25)$, ενώ κατά τη διάρκεια ενός έτους επανέρχεται στην αρχική του θέση. Ένας αμφιφανής αστέρας ανατέλλει, μεσουρανή και δύει μία φορά κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου αλλά και μία φορά κατά τη διάρκεια του έτους αν τον παρακολουθήσουμε ανά 24ωρα διαστήματα. Στην αρχαιότητα τουλάχιστον 36 φωτεινοί αστέρες (δεκανοί) σε αποστάσεις συνήθως 10° (δεκαμοίρες) σηματοδοτούσαν τη χρονική ακολουθία αστρονομικών γεγονότων της πρώτης ημέρας κάθε ~10ημέρου ή άλλων επιλεγμένων ημερών του έτους προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στο εποχιακό (αστρικό) ημερολόγιο. Παρότι μόνο οι μεσουρανήσεις είναι (σχεδόν) ισόχρονες μεταξύ τους, οι πρώτες λίγο πριν την αυγή και οι τελευταίες λίγο μετά το ηλιοβασίλεμα επιτολές και δύσεις



ΑΙΓΟΚΕΡΩΣ ΑΡΧΕΤΑΙ ΑΝΑΤΕΛΛΕΙΝ ΚΘΉΜΙ ΤΡΟΠΑΙΧΕΙΜΕΡΙΝΑΙ Α
 ΑΕΤΟΣ ΔΥΝΕΙ ΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΧΕΙΜΑΙΝΕΙ ΕΥΚΤΗΜΩΝ Ι
 ΚΥΩΝ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΟΣ Η
 ΔΕΛΦΙΣ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΙΝΟΤΟΣ ΠΝΕΙ ΕΥΔΟΣΟΣ ΙΒ
 ΑΕΤΟΣ ΔΥΝΕΙ ΑΚΡΟΝ ΥΧΟΣ ΘΑΛΛΑΣΙΟΣ ΧΕΙΜΩΝ ΝΙΕΥΔΟΣΟΣ ΙΗ
 ΥΔΡΟΧΟΟΣ ΑΡΧΕΤΑΙ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΝ ΗΛΛΑΉΜ Α
 ΔΕΛΦΙΣ ΔΥΕΤΑΙ ΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΕΥΔΟΣΟΣ ΙC
 ΛΥΡΑ ΔΥΕΤΑΙ ΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΥΕΤΟΣ ΕΥΔΟΣΟΣ Κ
 ΙΠΠΟΣ ΔΥΝΕΙ ΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΦΟΔΡΑΙ ΕΠΙ ΧΕΙΜΑΙΝΕΙ ΕΥΚΤΗΜΩΝ ΚΕ
 ΙΧΘΥΕΣ ΑΡΧΟΝΤΑΙ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΝ ΗΛΛΑΉΜ Α
 ΑΛΚΥΟΝΙΔΕΣ ΗΜΕΡΑ ΠΙΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ Δ
 ΑΡΚΤΟΥΡΟΣ ΑΝΑΤΕΛΛΕΙ ΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΒΟΡΕΑΣ ΕΥΔΟΣΟΣ ΙΑ
 ΙΠΠΟΣ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΒΟΡΕΑΣ ΨΥΧΡΟΣ ΕΥΚΤΗΜΩΝ ΙΔ
 ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΙΑΡΧΗ ΟΡΝΙΘΙΩΝ ΝΙΕΥΔΟΣΟΣ ΚΑ
 ΚΡΙΟΣ ΑΡΧΕΤΑΙ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΝ ΗΛΛΑΉΜ Η ΣΗΜΕΡΙΑ ΕΑΡΙΝΗ Α
 ΥΕΤΟΣ ΗΝΙΦΕΤΟΣ ΚΑΛΛΙΠΠΟΣ Γ
 ΠΛΕΙΑΣ ΔΥΝΕΙ ΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΥΕΤΟΣ ΕΥΔΟΣΟΣ ΙΑ
 ΥΑΔΕΣ ΔΥΟΝΤΑΙ ΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΧΑΛΑΣΙΑΚΑΙ ΕΦΥΡΟΣΙ ΚΑΛΛΙΠΠΟΣ ΚΑ
 ΤΑΥΡΟΣ ΑΡΧΕΤΑΙ ΑΝΑΤΕΛΛΕΙΝ ΗΛΛΑΉΜ Α
 ΚΥΩΝ ΔΥΝΕΙ ΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΧΑΛΑΣΙΑ ΕΥΚΤΗΜΩΝ Δ
 ΑΙΣ ΔΥΕΤΑΙ ΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΕΥΚΤΗΜΩΝ Η
 ΛΥΡΑ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΥΕΤΟΣ ΕΥΔΟΣΟΣ ΙΑ
 ΠΛΕΙΑΣ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΑΙ ΑΙΣΙΑ ΤΟΝ ΝΟΥ ΕΥΚΤΗΜΩΝ ΙΙ
 ΥΑΣ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΚΕ
 ΟΙΣ ΤΟΣ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΕΥΚΤΗΜΩΝ ΚΘ
 ΔΙΔΥΜΟΙ ΑΡΧΟΝΤΑΙ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΝ ΗΛΛΑΉΜ Α
 ΑΕΤΟΣ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΟΣ Ι
 ΑΡΚΤΟΥΡΟΣ ΔΥΝΕΙ ΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΠΕΛΟΣ ΑΙΣΙΑ ΤΟΝ ΝΟΥ ΕΥΚΤΗΜΩΝ Ι
 ΔΕΛΦΙΣ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΕΥΔΟΣΟΣ ΙΗ
 ΩΡΙΩΝ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΕΥΚΤΗΜΩΝ ΚΔ

ΚΑΡΚΙΝΟΣ ΑΡΧΕΤΑΙ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΝ ΤΡΟΠΑΙΘΕΡΙΝΑΙ ΗΛΛΑΉΜ Α
 ΩΡΙΩΝ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΕΥΔΟΣΟΣ ΙΑ
 ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΔΥΝΕΙ ΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΙΔΟΣΙΘΕΟΣ ΙC
 ΚΥΩΝ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΙΑΡΧΗ ΤΗΣ ΙΩΝ ΝΙΕΥΔΟΣΟΣ ΚΓ
 ΑΕΤΟΣ ΔΥΝΕΙ ΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΘΑΛΛΑΣΙΟΣ ΧΕΙΜΩΝ ΝΙΕΥΚΤΗΜΩΝ ΚΗ
 ΛΕΩΝ ΑΡΧΕΤΑΙ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΝ ΗΛΛΑΉΜ ΠΝΙΓΟΣ ΕΥΚΤΗΜΩΝ Α
 ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΕΣ ΔΥΝΕΙ ΕΥΔΟΣΟΣ Ι
 ΛΥΡΑ ΔΥΝΕΙ ΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΥΕΤΟΣ ΕΥΔΟΣΟΣ ΙΙ
 ΔΕΛΦΙΣ ΕΣ ΔΥΝΕΙ ΥΕΤΟΣ ΕΥΚΤΗΜΩΝ ΙΗ
 ΠΑΡΘΕΝΟΣ ΑΡΧΕΤΑΙ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΝ ΗΛΛΑΉΜ Α
 ΩΜΟΙΠΑΡΘΕΝΟΥ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΝ ΗΛΛΑΉΜ ΠΝΙΓΟΣ Ε
 ΠΡΟΤΡΥΓΗ ΤΗΣ ΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΠΕΡΙΑΙ ΧΕΙΜΑΙΝΕΙ ΕΥΚΤΗΜΩΝ
 ΑΡΚΤΟΥΡΟΣ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΑΝΕΜΟΙ ΕΉΜ ΠΝΕΟΥΣ ΝΙΕΥΔΟΣΟΣ ΙΘ
 ΑΙΣ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΘΑΛΛΑΣΙΟΣ ΧΕΙΜΩΝ ΝΙΕΥΚΤΗΜΩΝ ΚΑ
 ΣΤΑΧΥΣ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΚΑΛΛΙΠΠΟΣ ΚΔ
 ΧΗΛΑΙΑ ΑΡΧΟΝΤΑΙ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΝ ΗΛΛΑΉΜ Η ΣΗΜΕΡΙΑ ΕΜΕΤΟ ΠΟΡΙΝΗ Α
 ΕΡΙΦΟΙ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΘΑΛΛΑΣΙΟΣ ΧΕΙΜΩΝ ΝΙΕΥΚΤΗΜΩΝ ΙΑ
 ΠΛΕΙΑΣ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΕΥΔΟΣΟΣ ΙΔ
 ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΧΕΙΜΑΙΝΕΙ ΕΥΔΟΣΟΣ ΙC
 ΥΑΔΕΣ ΕΠΙ ΤΕΛΛΟΥΣ ΙΝ ΑΚΡΟΝ ΥΧΟΣ ΒΟΡΕΑΙΑΝ ΕΜΟΙ ΕΥΔΟΣΟΣ ΚΒ
 ΣΚΟΡΠΙΟΣ ΑΡΧΕΤΑΙ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΝ ΗΛΛΑΉΜ Α
 ΑΡΚΤΟΥΡΟΣ ΔΥΝΕΙ ΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΦΟΔΡΑΙΝΕΙ ΕΥΚΤΗΜΩΝ Ε
 ΛΥΡΑ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΥΕΤΟΣ ΕΥΚΤΗΜΩΝ Ι
 ΠΛΕΙΑΣ ΔΥΝΟΥΣΙ ΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΦΟΔΡΑ ΧΕΙΜΑΙΝΕΙ ΕΥΔΟΣΟΣ ΙΕ
 ΥΑΔΕΣ ΔΥΝΟΥΣΙ ΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΦΟΔΡΑ ΧΕΙΜΑΙΝΕΙ ΕΥΔΟΣΟΣ ΚΘ
 ΤΟΣ ΤΗΣ ΑΡΧΕΤΑΙ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΝ ΗΛΛΑΉΜ Α
 ΩΡΙΩΝ ΔΥΝΕΙ ΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΧΕΙΜΑΙΝΕΙ ΚΑΛΛΙΠΠΟΣ Δ
 ΚΥΩΝ ΔΥΝΕΙ ΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΧΕΙΜΑΙΝΕΙ ΕΥΚΤΗΜΩΝ Ι
 ΑΕΤΟΣ ΕΠΙ ΤΕΛΛΕΙΕΣ ΠΕΡΙΟΣ ΙΝΟΤΟΣ ΠΝΕΙ ΕΥΚΤΗΜΩΝ ΙC
 ΑΙΣ ΔΥΝΕΙ ΕΣ ΠΕΡΙΑΙ ΕΥΔΟΣΟΣ ΚΓ

Εικόνα 9. α. Η θέση ημερολογιακών δακτυλίων και του έκκεντρο τυμπάνου κατά το μεσονύκτιο του χειμερινού ηλιοστασίου όπου απεικονίζονται το σεληνοηλιακό και το αστρικό ημερολόγιο του 150 π.Χ. (πάνω αριστερά). β. Ο δίσκος με την έκκεντρη αύλακα της εκλειπτικής και το αστρικό-εποχιακό ημερολόγιο με τις εποχιακές-καιρικές προβλέψεις όπου με κόκκινο χρώμα σημειώνονται οι διασωθείσες από το παράτηγμα του μηχανισμού των Αντικυθήρων. (πάνω δεξιά). γ. Το ανακατασκευασμένο αστρονομικό (εποχιακό) ημερολόγιο με τα μοναδικά διακριτά αστρονομικά φαινόμενα που συμβαίνουν τη στιγμή της χαραυγής ή του ηλιοβασιλέματος και τις μετεωρολογικές-βιολογικές προβλέψεις (σε πράσινο και μπλε χρώμα) βασισμένα στα παρατήγματα του Γεμίνου και του μηχανισμού των Αντικυθήρων (κάτω).

αστέρων αποτελούσαν τα ευχερέστερα χρονικά σημεία αναφοράς καθότι η στιγμή παρατήρησής τους από έναν παρατηρητή είναι προφανής χωρίς χρήση ωρολογίου και δείκτη.

Ένα παρόμοιο ημερο-λόγιο, βασισμένο στις γεωγραφικές και κλιματο-λογικές συνθήκες της Αττικής, χρησιμοποιούνταν για τον εντοπισμό των κατάλληλων εποχιακών δραστηριοτήτων (π.χ. όργωμα, σπορά, θερισμός, βοσκή, αλιεία, πλεύση, κ.ά.).

Εκτενή αστρονομικά ημερολόγια έχουν διασωθεί όπως α) στο τελευταίο κεφάλαιο της «Εισαγωγής στα φαινόμενα» του Γεμίνου, β) στην εμπρόσθια πλάκα του μηχανισμού των Αντικυθήρων δυστυχώς όμως χωρίς τη σχετική πρόβλεψη (Bitsakis - Jones, 2016, 108), γ) στις σχετικές μαρμάρινες πλάκες της Μιλήτου (Jones, 2017, 97-100), κ.α.

8.2 Η Αυτοματοποιημένη Διάταξη και Λειτουργία του Εποχιακού Ημερολογίου

Στο τύμπανο έχουν αναπαρασταθεί στερεογραφικά οι κυριότεροι αστέρες των αστερισμών βόρεια της εκλειπτικής όπως θα φαίνονταν από έναν αρχαίο αστρονόμο το 150 π.Χ. (Εικόνα 9α).

Η ενσωμάτωση του έκκεντρου τυμπάνου σε μεγαλύτερο ομόκεντρο κυκλικό δίσκο επιτρέπει την αναπαράσταση ολόκληρης της ουράνιας σφαίρας μέχρι τα όρια του Αιγόκερω.

Η αυτοματοποιημένη εκάστοτε θέση του κόκκινου ωροδείκτη (δηλ. του ηλίου) επί της εκλειπτικής σηματοδοτεί και την τρέχουσα ημέρα στο ζωδιακό κύκλο. Κατά τη λειτουργία του ωρολογίου και την ημερήσια περιστροφή του τυμπάνου υποδεικνύεται στο κοίλο τμήμα του κυκλικού ορίου ημέρας και νύκτας το τρέχον ορατό τμήμα του περιστρεφόμενου νυχτερινού ουρανού με τις επιτολές και δύσεις των άστρων που συμβαίνουν με την άφιξη του ημεροδείκτη στην καμπύλη του (ανατολικού ή δυτικού) ορίζοντα. Η έναρξη και το τέλος των σημαντικότερων μετεωρολογικών προβλέψεων, εποχιακών εργασιών ή βιολογικών δραστηριοτήτων του τόπου θα ήταν συντομογραφικά καταγεγραμμένες στο περιστρεφόμενο τύμπανο δίπλα στα αντίστοιχα μοναδικά διακριτά αστρονομικά φαινόμενα του έτους συμπεριλαμβανομένου του ονόματος της αυθεντίας που τα είχε αναδείξει (εικόνες 9β, 9γ), όπως δηλαδή περιγράφονταν και στα σχετικά «*παραπήγματα*». Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η άμεση γνώση του τρέχοντος εποχιακού γεγονότος αλλά και η άμεση σφαιρική εκτίμηση της χρονικής απόστασης οποιουδήποτε άλλου στη διάρκεια του έτους.

Παράλληλα, τα διαδοχικά αστρονομικά γεγονότα του έτους με τις αντίστοιχες μετεωρολογικές προβλέψεις ή εποχιακές εργασίες (και τα μεταξύ τους χρονικά διαστήματα) θα είχαν χαραχθεί σε πλάκες όπως στα αστρονομικά παραπήγματα της Μιλήτου και πιθανότατα θα είχαν τοποθετηθεί πάνω από το περιμετρικό ράφι της αίθουσας του πύργου. Αυτές πιθανότατα θα αποτελούσαν από 12 στήλες (=12 ζωδιακούς «μήνες») των 365 οπών δηλ. 29 (Τοξ-Αιγόκ), 30 (Παρθ-Χηλ.-Σκορπ-Υδροχ-Ιχθ), 31 (Καρκ-Λέων-Κριός) και 32 (Ταύρ-Δίδ) ημερών. Ένας κινητός στύλος θα μετακινούνταν καθημερινά από οπή σε οπή για την επίδειξη της τρέχουσας ημέρας.

Η καταγραφή της μοναδικής ημέρας του έτους ενός αστρονομικού ημερολογίου που εφαρμόστηκε και στο δίσκο του ωρολογίου είχε συνήθως τη μορφή: Αστέρι - (ανατέλλει ή δύει) - (λίγο πριν την αυγή ή λίγο μετά το ηλιοβασίλεμα) - πρόβλεψη - αυθεντία πρόβλεψης, [αριθμός ημέρας], [εκλειπτικό μήκος] (από την αρχή του ζωδίου), π.χ. Όταν ο Αρκτούρος δύει (για τελευταία φορά) λίγο πριν την αυγή τελειώνει η κατάλληλη εποχή αλιείας τόννων σύμφωνα με τον Ε υκτήμονα [11η ημέρα], [10°] Διδύμων (δηλ. ~ την 1η Ιουνίου).

9. Η Προσομοίωση της Τροχιάς της Σελήνης και του Μέσου Ηλίου

9.1 Το Θεωρητικό Υπόβαθρο

Από τον 5ο αι. π.Χ. εφαρμόζεται στην Αθήνα στο σεληνοηλιακό ημερολόγιο ο 19ετής κύκλος του Μέτωνος που ήταν ακριβέστερος της οκταετηρίδας αλλά υποδεέστερος της δύσχροστης 160ετηρίδας. Από τον 4ο αι. π.Χ. διορθώνεται με την αφαίρεση μίας ημέρας κάθε 4 κύκλους, σύμφωνα με τον 76ετή κύκλο του Καλλίππου ώστε να αποδίδει ηλιακό έτος 365,25 ημερών. Παράλληλα για την πρόβλεψη των πιθανών εκλείψεων εφαρμόζεται ο δημοφιλής κύκλος επαναληψιμότητας του Σάρου. Τον 2ο αι. π.Χ. ο ίππαρχος ανακαλύπτει (ή επαληθεύει) το δικό του ακριβέστατο κύκλο επαναληψιμότητας εκλείψεων. Παράλληλα διαχωρίζει το τροπικό από το αστρικό έτος και υπολογίζει με εξαιρετική ακρίβεια τη διάρκειά τους.

Η γεωμετρική και μηχανική προσομοίωση των τροχιών της σελήνης, του αληθούς ηλίου και των πλανητών βασίστηκαν στις μαθηματικά ισοδύναμες επικυκλικές και έκκεντρες θεωρίες με τις οποίες ο Απολλώνιος, (ο Αρχιμήδης ίσως) και ο Ίππαρχος εξήγησαν ικανοποιητικά τις φαινομενικά από τη γη «ανώμαλες» τροχιές πλανητών, ηλίου και σελήνης. Με αυτόν τον τρόπο ερμηνεύτηκαν η άνιση διάρκεια των τεσσάρων (τροπικών) εποχών, η αυξομείωση της φαινόμενης διαμέτρου - ταχύτητας της σελήνης, η ταλάντωση της σελήνης εκατέρωθεν της εκλειπτικής, κ.ά.

Σύμφωνα με την επικυκλική θεωρία ένα ουράνιο σώμα κινείται ισοταχώς επί μιας δευτερεύουσας κυκλικής τροχιάς (επίκυκλος) το κέντρο της οποίας κινείται κατά μήκος της κύριας κυκλικής τροχιάς του (φέρων κύκλος) γύρω από τη γη. Σύμφωνα με την έκκεντρη θεωρία ένα ουράνιο σώμα περιστρέφεται ισοταχώς έκκεντρα γύρω από τη γη, με το έκκεντρο να περιστρέφεται ισοταχώς γύρω από τη γη. Οι κύριες, μέσες και δευτερεύουσες κινήσεις των πέντε πλανητών είναι νοτιο(=κοιτάζοντας νότια)αριστερόστροφες, με τα κέντρα επικύκλων και εκκέντρων ευθυγραμμισμένα πάντα με τον ήλιο.

Έτσι αναπαριστώνται πιστά τα περιοδικά φαινόμενα των πλανητών π.χ. σύνοδοι (και αντιθέσεις), μέγιστες αποχές εκατέρωθεν του ηλίου ήλιο, επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις, στάσεις (στηριγμοί) και ανάδρομες κινήσεις.

9.1.1 Ο Διορθωμένος Κύκλος του Μέτωνος

Αποτελείται από την ισοδυναμία 19 ετών, 235 συνοδικών μηνών και $6940\frac{1}{4}$ ημερών (5ος αι. π.Χ.). Απαιτούνται 235 συνοδ. μήνες-(19 έτη*12 συνοδικοί μήνες/έτος) =7 εμβόλιμοι μήνες και περισσεύουν ($235 \text{ συνοδικοί μήνες} * 30 \text{ ημέρες/συνοδικό μήνα}$) – ($6940\frac{1}{4}$) ημέρες.= $110\frac{1}{4}$ ημέρες, οπότε εφαρμόζονται 110 κοίλοι μήνες (και 125 πλήρεις) και η μετατροπή ενός κοίλου μήνα σε πλήρη κάθε 76 έτη.

Κάθε εμβόλιμος μήνας εφαρμοζόταν εμβόλιμα σε διαστήματα 3-3-2-3-3-2 ετών. Ανάλογα με την εφαρμογή της αρχικής έναρξης του πρωταρχικού κύκλου η παραπάνω ακολουθία διολισθαίνει εμπρός ή πίσω προκειμένου ο εκάστοτε πρώτος μήνας να ξεκινά μετά το αντίστοιχο θερινό ηλιοστάσιο. Έτσι π.χ. όταν η έναρξη του κύκλου τυγχάνει εγγύτατα του θερινού ηλιοστασίου (δηλ. η νουμηνία του 1ου μήνα λίγες ημέρες μετά το θερινό ηλιοστάσιο ο εμβόλιμος μήνας επιβάλλεται να τοποθετηθεί στο 1ο, 3ο, 6ο, 9ο, 11ο, 14ο και 17ο έτος του κύκλου.

Επειδή τα 19 έτη (χωρίς τους 7 πλήρεις εμβόλιμους μήνες) περιέχουν $19*12/2=114$ διαδοχικά ζεύγη πλήρων και κοίλων μηνών (βάσει ονόματος) επιβάλλεται $125-114-7=4$ κοίλοι μήνες επί μία

φορά ο καθένας, ή ένας κοίλος μήνας επί 4 φορές, να μετατραπεί εμβόλιμα σε πλήρη, κατά τη διάρκεια του 19ετούς κύκλου.

9.1.2 Ο Περιοδικός Κύκλος Εκλείψεων (Σάρου) και Εξελιγμού

Ο Πτολεμαίος (Μηχανική Σύνταξις, Δ.2.2) περιγράφει (και χαρακτηρίζει αδίκως ως χοντροειδή) το δημοφιλή αυτό κύκλο των «παλαιότερων» του Ιππάρχου αστρονόμων, όπου κάθε $6585+1/3=6585,33333$ ημέρες έχουν πραγματοποιηθεί:

- α) $18+((10+2/3)^\circ/360^\circ)= 18,02963$ «περιφορές του ηλίου στο μήκος»,
- β) 223 συνοδικοί μήνες,
- γ) $241+(10+2/3^\circ/360^\circ)= 241,02963$ «περιφορές της σελήνης στο μήκος» (αστρικοί μήνες) δηλ. περίοδοι που η σελήνη επανέρχεται στο ίδιο αστέρι,
- δ) 242 «αποκαταστάσεις της ανωμαλίας της σελήνης κατά πλάτος» (δρακωνικοί μήνες) δηλ. περίοδοι που η σελήνη ανεβαίνει στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος κατά τη λοξή (5) τροχιά της ως προς το επίπεδο της εκλειπτικής (π.χ. στον ανερχόμενο κόμβο της) και
- ε) 239 «ανωμαλίες της σελήνης στο μήκος» (ανωμαλιστικοί μήνες) δηλ. περίοδοι μεταξύ περιγείων ή απογείων.

Τότε μία συγκεκριμένη έκλειψη επαναλαμβάνεται την ίδια χρονική στιγμή του νυχθημέρου και έχει παρόμοια χαρακτηριστικά δηλ. η Σελήνη έχει την ίδια φάση, είναι στον ίδιο κόμβο και έχει την ίδια απόσταση από τη Γη. Η περίοδος αυτή ονομάστηκε «περιοδικός» κύκλος (Σάρος). Οι διαδοχικές σεληνιακές (και ηλιακές) εκλείψεις εμφανίζονται σε διαστήματα 1, 5 ή 6 συνοδικών μηνών μεταξύ τους. Οι ηλιακές εξαρτώνται ιδιαίτερα από τη μεταβαλλόμενη απόσταση του ηλίου από τη γη λόγω της μικρότερης κωνικής σκιάς, αλλά κυρίως από την τοπική γωνιακή παράλλαξη του ηλίου (δηλ. της γωνίας που σχηματίζει η γραμμή που ενώνει τα κέντρα γης και ηλίου με τη γραμμή σκόπευσης του τελευταίου από τον εκάστοτε τόπο παρατήρησής του.

Επειδή η περίοδος αυτή δεν περιέχει ακέραιο αριθμό ημερών αλλά παρουσιάζει πλεόνασμα $1/3$ της ημέρας, κάθε τέτοια έκλειψη επαναλαμβάνεται $24/3=8$ ώρες αργότερα δηλ. $(1/3*360^\circ)=120^\circ$ δυτικότερα του τόπου εμφάνισης της προηγούμενης έκλειψης (και ειδικότερα οι ηλιακές εκλείψεις θα είναι αφανείς).

Όμως σε μία περίοδο τριών κύκλων Σάρου, που ονομάστηκε «εξελιγμός», δηλ. κάθε $3*(6585+1/3) = 19756$ ημ. $=3*18,029=54,08889$ έτη, 669 συνοδικούς, 723,08889 αστρικούς, 726 δρακωνικούς και 717 ανωμαλιστικούς μήνες, στον ίδιο ακριβώς τόπο, κάθε συγκεκριμένη έκλειψη επαναλαμβάνεται (την ίδια περίπου χρονική στιγμή του νυχθημέρου με παρόμοια χαρακτηριστικά).

9.1.3 Ο Κύκλος Εκλείψεων του Ιππάρχου

Στη συνέχεια (Μηχανική Σύνταξις, Δ.2.3) ο Πτολεμαίος περιγράφει τον ακριβέστερο κύκλο εκλείψεων του Ιππάρχου, όπου κάθε $126007+1/24=126007,04167$ ημέρες έχουν πραγματοποιηθεί:

- α) 4267 συνοδικοί,
- β) 4573 ανωμαλιστικοί,
- γ) $4267*5923/5458=4630,53151$ δρακωνικοί (λόγω της εναλλακτικής σχέσης του ίδιου που αντιστοιχίζει 5458 συνοδικούς με 5923 δρακωνικούς μήνες),
- δ) $4612-(7\frac{1}{2}^\circ/360^\circ)=4611,97917$ αστρικοί μήνες και

ε) $345 - (7\frac{1}{2}^\circ/360^\circ) = 345,97917$ αστρικά έτη.

Επίσης διασώζει (Μηχανική Σύνταξις, Δ.10.1) τη σεληνιακή κατά μήκος ανωμαλίας ως $x/y = (327 + 2/3)/3144 = 0,104$ (επικυκλική θεωρία) ή $(247 + 1/2)/(3122 + 1/2) = 0,079$ (έκκεντρη θεωρία).

9.1.4 Σύγκριση των Τριών Θεωρητικών Κύκλων

Βάσει αυτών προκύπτουν οι περιοδικότητες σελήνης και μέσου ηλίου του παρακάτω πίνακα 1:

Πίνακας 1. Προκύπτουσες τιμές περιοδικότητας σελήνης και μέσου ηλίου σύμφωνα με α) το διορθωμένο κύκλο του Μέτωνος, β) τον κύκλο εκλείψεων του Σάρου και γ) τον κύκλο εκλείψεων του.

	α) Διορθωμένος κύκλος Μέτωνος β) Κύκλος εκλείψεων Σάρου γ) Κύκλος εκλείψεων Ιππάρχου
Τροπικό έτος (ημ.)	α) $6939,75/19 = 365,25$ (Κάλιππος) β) $6585,33333/18,02963 = 365,25062$ γ) $365 + 1/4 - 1/300 = 365,24667$ (Πτολεμ., Μηχ. Σύντ. Γ.2.12-13)
Αστρικό έτος (ημ.)	α) Ίδιο με το τροπικό β) Ίδιο με το τροπικό γ) $126007,04167/344,97917 = 365,25986$
Αστρικός μήνας (ημ.)	α) $365,25 * 19/254 = 27,32185$ β) $6585,33333/241,02963 = 27,32168$ γ) $126007,04167/4611,97917 = 27,32168$
Συνοδικός μήνας (ημ.)	α) $365,25 * 19/235 = 29,53085$ β) $6585,33333/223 = 29,53064$ γ) $126007,04167/4267 = 29,53059$
Δρακωνικός μήνας (ημ.)	α) $29,53085 * 223/242 = 27,21231$ (με αναγωγή από το Σάρο) β) $29,53064 * 223/242 = 27,21212$ γ) $29,53059 * (5458/5923) = 27,21222$
Ανωμαλιστικός μήνας (ημ)	α) $29,53085 * (223/239) = 27,55389$ (με αναγωγή από το Σάρο) β) $29,53064 * 223/239 = 27,55369$ γ) $126007,04167/4573 = 27,55457$
Περιστροφή άξονα κόμβων (έτη)	α) $[1/\{1 - (27,32185/27,21231)\}] * 27,32185/365,25 = 18,581$ β) $[1/\{1 - (27,32168/27,21212)\}] * 27,32168/365,25 = 18,579$ γ) $[1/\{1 - (27,32168/27,21222)\}] * 27,32168/365,25986 = 18,59576$
Περιστροφή άξονα αψίδων (έτη)	α) $[1/\{1 - (27,32185/27,55389)\}] * 27,32185/365,25 = 8,88260$ β) $[1/\{1 - (27,32168/27,55369)\}] * 27,32168/365,25 = 8,88363$ γ) $[1/\{1 - (27,32168/27,55457)\}] * 27,32168/365,25986 = 8,85010$

Ο ημερολογιακός κύκλος του Ιππάρχου εναρμονίζεται με τέσσερις 76ετείς κύκλους Καλλίππου (111036 ημ.) με την προϋπόθεση της αφαίρεσης μιας ημέρας δηλ. 111035 ημέρες (και επομένως τη μετατροπή ενός πλήρους μήνα σε κοίλο). Αντιστοιχεί επομένως σε $(4 * 499) - 1 = 1995$ πλήρεις μήνες και $(4 * 441) + 1 = 1765$ κοίλους. Ο 304ετής κύκλος παρουσιάζει ηλιακό σφάλμα μόνο

9.2.1 Προσομοίωση Σύμφωνα με τους Κύκλους α) Μέτwnος, β) Σάρου και γ) Ιππάρχου

Στην Εικόνα 10 παρουσιάζονται οι 3 εκδοχές για τη διάταξη και τη σχέση των γραναζιών που επιλέχθηκαν για την προσομοίωση της τροχιάς της σελήνης και του μέσου ηλίου.

Μία κυκλική κλίμακα χαραγμένη σε ένα δίσκο ενσωματωμένο στον άξονα του Ηλίου και ένας δείκτης στο σωλήνα της σελήνης υποδεικνύουν την ημέρα του πραγματικού (συνοδικού) μήνα.

Στον Πίνακα 2 υπολογίζονται οι προκύπτουσες τιμές προσομοίωσης σελήνης και ηλίου.

Πίνακας 2. Προκύπτουσες τιμές προσομοίωσης της σελήνης και του μέσου ηλίου (εκδοχές α, β, γ) σε σύγκριση με τις θεωρητικές (διορθ.) Μέτwnος, Σάρου, Ιππάρχου και τις διασωθείσες στο μηχανισμό των Αντικυθήρων.

Θεωρ.κύκλοι: α) Μέτwnος β) Σάρου γ) Ιππάρχου		Μηχανισμός Αντικυθήρων	Αποτέλεσμα προσομοίωσης
Τροπική ημέρα	α) 1/365,25 β) 1/365,25 γ) 1/365,25-	1/365,25	$(100/60 \cdot 293/487) - 1 = 0,00273785 = 1/365,25$ $(72/73 \cdot 61/60) - 1 = 0,00273972602739 = 1/365$
Αστρικός μήνας (ημ.)	α) 27,32185 β) 27,32168 γ) 27,32168	$365,25 \cdot 19/254 =$ $= 27,32185$	α) $57/8 \cdot 487/127 = 27,32185$ β) $97/10 \cdot 169/60 = 27,32167$ γ) $97/10 \cdot 169/60 = 27,32167$
Τροπικό έτος (ημ.)	α) 365,25 β) 365,25 γ) 365,2467	365,25 εξ ορισμού	α) $27,32185 \cdot 254/19 = 365,25$ β) $27,32167 \cdot 170/24 \cdot 134/71 = 365,25$
Αστρ. έτος	γ) 365,25986		γ) $27,32167 \cdot 114/14 \cdot 110/67 = 365,25985$
Συνοδικός μήνας (ημ.)	α) 29,53085 β) 29,53064 γ) 29,53059	$365,25 \cdot 19/235 =$ 29,53085	α) $365,25 \cdot 19/(254-19) = 29,53085$ β) $365,25 \cdot 24 \cdot 71 / ((170 \cdot 134) - (24 \cdot 71)) =$ $= 29,53056$ γ) $365,26037 / ((365,26037/27,32167) - 1) =$ $= 29,53057$
Άξονας κόμβων (έτη)	α) 18,581 β) 18,579 γ) 18,59576	ΕΜΜΕΣΑ ¹ κύκλ. Μέτwnος-Σάρου $223/(235-223) =$ $= 18,5833$	α) $1 / \{1 - (45/33 \cdot 34/49)\} = 18,58632$ β) $1 / \{1 - (89/70 \cdot 64/86)\} = 18,58025$ γ) $1 / (1 - (88/93)) = 1 / (1 - (92/83 \cdot 70/82)) =$ $= 18,59563$
Άξονας αψίδων (έτη)	α) 8,8826 β) 8,8836 γ) 8,85010	$38/64 \cdot 96/53 \cdot$ $\cdot 223/27 = 8,8826$	α) $57/53 \cdot 223/27 = 8,88260$ β) $42/23 \cdot 180/37 = 8,88366$ γ) $177/20 = 59/20 \cdot 60/20 = 8,85000$
Δρακωνι- κός μήνας (ημ.)	α) 27,21231 β) 27,21212 γ) 27,21222	$18,5833 \cdot 365,25 \cdot$ $27,32185 / ((18,5833 \cdot$ $365,25) + 27,32185)$ $= 27,21231$ Προτείν. $27,32185 \cdot 62/63 \cdot 84$ $/83 = 27,21212^1$	α) $18,58209 \cdot 365,25 \cdot 27,32185 / ((18,58209$ $\cdot 365,25) + 27,32185) = 27,21231$ β) $18,58025 \cdot 365,25 \cdot 27,32167 / ((18,58025$ $\cdot 365,25) + 27,32167) = 27,21213$ γ) $18,5999 \cdot 365,26037 \cdot 27,32167 /$ $((18,6 \cdot 365,26037) + 27,32167) = 27,21223$

Ανωμα- λιστικός μήνας (ημ.)	α) 27,55389 β) 27,55369 γ) 27,55457	8,88260*365,25*27 ,32185/ (8,8826*365,25) - 27,32185)= =27,55389	α) 8,88260*365,25*27,32185/ /((8,88260*365,25)-27,32185)=27,55389 β) 8,88366*365,25*27,32167/ /((8,88366*365,25)-27,32167)=27,55368 γ) 8, 8501*365,25985*27,32167/((8, 8501 *365,25985)-27,32167)=27,55456
Κύκλος Σάρου(έτη)	β) 18,02963		α) 89/91*53/10*80/23=18,02962 β) 89/91*53/10*80/23=18,02962

Στον Πίνακα 3 συγκρίνονται οι τιμές των τριών εκδοχών της ανακατασκευής.

Πίνακας 3. Σύγκριση των τριών εκδοχών προσομοίωσης της σελήνης με τις αντίστοιχες θεωρητικές προσεγγίσεις (Διορθωμένη Μέτωνος, Σάρου, Ιππάρχου), τις διασωθείσες στο μηχανισμό των Αντικυθέρων και τις αληθείς. (σε ημέρες).

ΠΡΟΣΟΜΟΙ- -ΩΣΕΙΣ	α) Μέτωνος β) Σάρου	Μηχ/σμό Αντικυθ.	α) Εκδοχή Α β) Εκδοχή Β	Ιππάρχου	Εκδοχή Γ	Σήμερα
Τροπικό έτος (ημ.)	α) 365,25 β) 365,25	365,25	365,25	365,24667	365,24667	365,24219
Αστρ. έτος	Ταυτόσημο με το τροπικό			365,25986	365,26037	365,25636
Αστρικός μήνας (ημ.)	α) 27,32185 β) 27,32168	27,32185	α) 27,32185 β) 27,32167	27,32168	27,32167	27,32166
Συνοδικός μήνας (ημ.)	α) 29,53085 β) 29,53064	29,53085	α) 29,53085 β) 29,53056	29,53059	29,53057	29,53059
Δρακωνικός μήνας (ημ.)	α) 27,21231 β) 27,21212		α) 27,21231 β) 27,21213	27,21222	27,21223	27,21222
Ανωμ/στικός μήνας (ημ.)	α) 27,55389 β) 27,55369	27,55389	α) 27,55389 β) 27,55368	27,55457	27,55457	27,55455
Άξονας κόμβων (έτη)	α) 18,581 β) 18,579		α) 18,58632 β) 18,58025	18,59576	18,59563	18,59993
Άξονας αψίδων (έτη)	α) 8,88260 β) 8,88366	8,88260	α) 8,88260 β) 8,88366	8,85010	8,85000	8,849

¹ Απολεσθείς. Ο συγγραφέας υποθέτει μία απολεσθείσα συστοιχία γριναζιών που περιέχει το αταυτοποίητο θραύσμα D των 63 οδόντων με τη «γέφυρά» του, που έχει είσοδο τον αστρικό μήνα και έξοδο που υποδεικνύει τα διαστήματα των πιθανών εκλείψεων σύμφωνα με την κατά πλάτος ανωμαλία της σελήνης (δρακωνικό μήνα). Επιπλέον υιοθετεί την άνιση (εποχιακή) κατανομή των χαραγών του ζωδιακού κύκλου του μηχανισμού των Αντικυθέρων όπως μετρήθηκε από τους Evans, κ.ά. που επιτρέπει κοινό δείκτη για την ημερομηνία και τον αληθή ήλιο και επομένως απορρίπτει τη γενικευμένη υπόθεση που προσαρμόζει αυτό το γριναζί μεταξύ άλλων υποθετικών για ένα πλανητάριο και το δείκτη του αληθούς ηλίου. Επίσης υιοθετεί την απαρίθμηση 354 οπών αντί των 365 του Αιγυπτιακού δακτυλίου όπως υπολογίστηκαν από τους Budiselic, κ.ά και υποστηρίζει ότι αυτές χρησίμευαν για μία ευφυή εναλλαγή αυτού από ηλιακό σε σεληνιακό ημερολόγιο κοινών μηνών, με την ετήσια εξαίρεση (και επαναφορά) των 11 ημερών που υποδεικνύονται κατά τη διάρκεια των ημερησίων υποχωρήσεων του δακτυλίου από τις 11 εμβόλιμες εισχωρήσεις του πύρου λόγω ευθυγράμμισης με τις υποκείμενες οπές. Η δε οπισθοχώρηση του δακτυλίου κατά μία ημέρα κάθε 4 έτη στο ηλιακό ημερολόγιο επιτυγχάνεται απλά μέσω σταθερής σφήνας.

10. Το Πλανητικό Ημερολόγιο και τα Ωροσκόπια

Πιθανότατα τον 5ο και 2ο αι. π.Χ. οι Έλληνες αστρονόμοι υιοθέτησαν τις μικρές και μεγάλες αντίστοιχα Βαβυλωνιακές πλανητικές συνοδικές περιόδους ενώ παράλληλα ανακάλυψαν και δικές τους όπως π.χ. αποδεικνύεται από την εξαιρετική συνοδική περίοδο της Αφροδίτης που διασώζεται στο παράπηγμα του Μηχανισμού των Αντικυθέρων.

Η ενδελεχής παρατήρηση της φαινομενικής ιδιομορφίας στην κίνηση των πλανητών και η καταγραφή της μέσης διάρκειας σε ημέρες και μοίρες της ορθόδρομης τροχιάς πριν και μετά από μία σύνοδο και της ανάδρομης τροχιάς πριν και μετά από αντίθεση (ή την κατώτερη σύνοδο για τους εσωτερικούς πλανήτες) που οριοθετούνται από τις στάσεις τους καθώς και μέγιστες εκατέρωθεν αποχές από τον ήλιο, υποδεικνύουν την προσπάθεια κατάρτισης πλανητικών κυκλικών ημερολογίων με σημεία αναφοράς την αρχή κάθε συνοδικής πλανητικής περιόδου. Π.χ. το πλανητικό κυκλικό ημερολόγιο της Αφροδίτης θα είχε τη μορφή:

α) από την ανώτερη σύνοδο μέχρι τη μέγιστη εσπερινή αποχή της 221 ημέρες με ορθόδρομη σε σχέση με το ζωδιακό απομάκρυνση από τον ήλιο (με πρώτη εσπερινή εμφάνιση μετά από τις πρώτες 30 ημέρες),

β) από τη μέγιστη εσπερινή αποχή της μέχρι την κατώτερη σύνοδο 71 ημέρες (με ορθόδρομη προσέγγιση του ηλίου μέχρι την πρώτη εσπερινή στάση που συμβαίνει μετά από τις πρώτες 50 ημέρες και με ανάδρομη προσέγγιση του ηλίου τις επόμενες 21 ημέρες με την τελευταία εσπερινή εμφάνισή λίγες ημέρες πριν), γ) από την κατώτερη σύνοδο μέχρι τη μέγιστη εωθινή αποχή της 71 ημέρες (με την ταυτόχρονη σχεδόν πρώτη εωθινή εμφάνιση, την ανάδρομη απομάκρυνση από τον ήλιο για 21 ημέρες μέχρι την εωθινή στάση και την ορθόδρομη προσέγγιση του ηλίου για τις επόμενες 50 ημέρες), και δ) από τη μέγιστη εωθινή αποχή της μέχρι την επόμενη ανώτερη σύνοδο 221 ημέρες (με την τελευταία εωθινή εμφάνισή της 30 ημέρες πριν) που ολοκληρώνουν τις 584 ημέρες του συνοδικού κύκλου της.

Η καταγραφή θα επαναλαμβανόταν με ελαφρώς τροποποιημένα τα παραπάνω χρονικά διαστήματα σύμφωνα με την ουράνια πραγματικότητα και για τις επόμενες 4 περιόδους της Αφροδίτης ώστε να ολοκληρωθεί ο 8ετής συνοδικός κύκλος της. Εφεξής τα φαινόμενα επαναλαμβάνονται ομοίωμα και στις ίδιες πλέον θέσεις του ζωδιακού.

Η γεωμετρική προσομοίωση των τροχιών με την επικυκλική και έκκεντρη θεωρία που εφαρμοζόταν τον 2ο αι. π.Χ., ακόμη και αν χρησιμοποιεί τις μεγάλες ακριβείς συνοδικές περιόδους, θεωρεί ίσα τα ενδιάμεσα διαστήματα μεταξύ των περιόδων ενός συνοδικού κύκλου προκαλώντας σφάλματα στις προβλεπόμενες ημερομηνίες. Ο Ίππαρχος ή κάποιος από την σχολή του εφάρμοσε έκκεντρους πλέον ως προς τη γη φέροντες κύκλους, των επικύκλων των πλανητών, προκειμένου να προσομοιωθούν οι ζωδιακές ανωμαλίες των φαινομένων στη διάρκεια ενός κύκλου παρόμοια με τις διορθώσεις του Πτολεμαίου.

Από τον 3ο αι. π.Χ. ο λαός είχε εντυφίσει στις Βαβυλωνιακές αστρολογικές προκαταλήψεις που θεωρούσαν ότι οι θέσεις του ηλίου, της σελήνης και κάθε πλανήτη στο ζωδιακό, κατά την ημερομηνία γέννησης ενός ατόμου, επηρέαζαν τη ζωή και τον χαρακτήρα του. Οι Έλληνες αστρολόγοι προχώρησαν όμως σε πιο εξατομικευμένες προβλέψεις θεωρώντας εξίσου σημαντικό και τον τόπο του ατόμου κατά την ώρα της γέννησής του, δίνοντας σημασία και στην θέση των ουρανίων σωμάτων στα σημεία του ορίζοντα π.χ. των αστερισμών του ζωδιακού με έμφαση στη θέση τους στον ανατολικό ορίζοντα δηλ. τον ωροσκόπο. Η ανάγκη για τον εντοπισμό των πλανητικών θέσεων και των αστερισμών για κάθε ώρα, κάθε ημέρας, κάθε έτους οδήγησε

τους αστρονόμους σε έναν επιπλέον ικανό λόγο ικανής προσομοίωσης ουρανού και πλανητών, κατασκευής πλανηταρίων και κατάρτισης ωροσκοπίων.

Οι μηχανικές ουράνιες σφαίρες (πλανητάρια) δηλ. μηχανισμοί προσομοίωσης των ουράνιων σωμάτων αλλά και συγγράμματα (απολεσθέντα πλέον) περί σφαιροποιίας πρωτοεμφανίζονται την ελληνιστική περίοδο με πρωτοπόρο τον Αρχιμήδη. Ο Κικέρων περιγράφει γλαφυρά το θαυμαστό μηχανικό σύμπαν του Αρχιμήδη και παράλληλα το αντίστοιχο του Ποσειδωνίου. Πολλοί μεταγενέστεροι αρχαίοι συγγραφείς επιβεβαιώνουν με θαυμασμό την ύπαρξη αυτών των «εξαιρετικών» συσκευών. Δυστυχώς δεν διασώζεται κανένα σύγγραμμα, ούτε κάποια συσκευή από την καταπληκτική παράδοση της σφαιροποιίας. Στις εικόνες 11, 12 παρουσιάζονται η υποθετική ανασύσταση του πλανηταρίου του Αρχιμήδη που βασίστηκε άμεσα στις αρχαίες περιγραφές και έμμεσα στις επιστημονικές και τεχνολογικές τάσεις της εποχής του που διασώζονται στην αρχαία ελληνική και λατινική γραμματεία.

11. Η Ανακατασκευή του Πλανηταρίου

11.1 Το Θεωρητικό Υπόβαθρο

Για την ανασύσταση του πλανηταρίου χρησιμοποιήσαμε επίσης δυο σχεδιαστικές λύσεις, επιλέγοντας: α) τις Βαβυλωνιακές συνοδικές πλανητικές περιόδους του «έτους-στόχος» καλούμενες στη διεθνή βιβλιογραφία ως “Goal -Year periods”, γνωστές τουλάχιστον από τον 4ο αι. π.Χ. (Jones 2017 pp. 170) και β) τις ακριβείς συνοδικές πλανητικές περιόδους Χαλδαίων - Σελευκιδών (καλούμενες στη διεθνή βιβλιογραφία ως “ACT”) σε σύγκριση με τις συνοδικές περιόδους της Αφροδίτης και του Κρόνου που διασώζονται στο παράπηγμα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, γνωστές τουλάχιστον από το 150 π.Χ., (Jones 2017 pp. 171,197). Συγκεκριμένα:



Εικόνα 12. Η ανακατασκευή του πλανηταρίου του Αρχιμήδη. (Μακέτα μουσείου Α.Ε.Τ.)

11.2 Η Προσομοίωση του Αληθούς Ηλίου και των Εσωτερικών Πλανητών

11.2.1 Εκδοχή Α: Σύμφωνα με τις Περιόδους του «Έτους-Στόχος»

Οι διατάξεις για τον αληθή Ήλιο και τους εσωτερικούς πλανήτες χρησιμοποιούν ως στοιχείο εισόδου έναν περιστρεφόμενο κλωβό που είναι διασυνδεδεμένος με το γρανάζι του μέσου Ηλίου.

Για την προσομοίωση των εσωτερικών πλανητών (Ερμή και Αφροδίτης) χρησιμοποιήθηκαν από ένα ζεύγος με σχέσεις οδόντων αντίστοιχες των γνωστών μικρών βαβυλωνιακών συνοδικών περιόδων τους. Τα εσωτερικά γρανάζια είναι τοποθετημένα σταθερά στο κέντρο της βάσης ενώ τα επικυκλικά (με την υπολογισμένη θέση του πύρου τους σε μια ράβδο επέκτασης) έχουν τα κέντρα τους σταθερά στον κλωβό. Μία παρασυρόμενη (από τον πύρο) ράβδος (με σχισμή) πακτωμένη στον κεντρικό διάτρητο σωληνίσκο προσομοιώνει στο αντίστοιχο σφαιρίδιο του δείκτη τη σύνθετη κίνηση της τροχιάς του εσωτερικού πλανήτη επί του ζωδιακού.

Στην Εικόνα 13α (επάνω) παρουσιάζεται το γεωμετρικό μοντέλο ερμηνείας της φαινόμενης τροχιάς του Ερμή με κύκλο επαναληψιμότητας: 145 συνοδικών περιόδων / 46 έτη και μέση μέγιστη αποχή εκατέρωθεν του ηλίου: $\alpha=23^\circ$ ως εξής:

Έστω $R_A=145$ και $r_B=46$ οι ακτίνες ενός σταθερού και ενός επαπτόμενου κυλιόμενου κύκλου με κέντρα Α και Β. Τότε R_A' φέροντος κύκλου = $R_A+r_B=191$ (με $\omega_{B/A}=1$ περιστροφή /έτος - ισοταχή του ηλίου) και r_B' επικύκλου = $(R_A+r_B) \cdot \eta_{\alpha}=74,7$ (όπου $\alpha=23^\circ$ η μέγιστη γωνιακή απομάκρυνση του πλανήτη από τον ήλιο) ή αλλιώς ίση με την ημιχορδή τόξου γωνίας 2α σε κύκλο ακτίνας R_A+r_B από τον πίνακα Ιππάρχου - Πτολεμαίου, (δηλ. $r_B'=[(\text{chord}_{R_{60}2\alpha})/2] \cdot (R_A+r_B)/(2 \cdot 60)$). Η κινηματική γεωμετρία της τροχιάς αποδίδει σωστά $\omega_{C-B}=(145/46)+1=4,15$ περιστροφές/έτος και $\omega_{C-A}=145/46=3,15$ συνοδικές περιόδους/έτος δηλ. 0,317 έτη (115,88 ημ.) / συνοδική περίοδο.

Στην Εικόνα 13α (κάτω) παρουσιάζεται το μηχανικό μοντέλο προσομοίωσης της τροχιάς του Ερμή ως εξής:

Εφαρμόζεται γρανάζι Α σταθερό (με $R_A=145$ μονάδες και 145 οδόντες) και γρανάζι Β (με $r_B=46$ μονάδες και 46 οδόντες) με τον άξονά του Β επί περιστρεφόμενης βάσης ομοαξονικής του Α και ισοταχούς του ηλίου (είσοδος συστήματος). Προσαρμόζεται πείρος C (πλανήτη) επί μίας ράβδου επέκτασης του τροχού Β σε απόσταση $BC=74,7$ (που ισοδυναμεί με την ακτίνα του επικύκλου). Για τη μεταφορά της διεύθυνσης της επικυκλικής κίνησης τοποθετείται μία ακτινική ράβδος με σχισμή που παρασύρεται μέσω του πείρου C. Η ράβδος είναι πακτωμένη επί του κεντρικού σωληνωτού άξονα που φέρει το δείκτη περιφοράς του πλανήτη (έξοδος συστήματος).

Ομοίως υπολογίζεται το γεωμετρικό και μηχανικό μοντέλο της τροχιάς της Αφροδίτης

Για την προσομοίωση του αληθούς ηλίου χρησιμοποιήθηκε περιττός αριθμός γραναζιών με αμετάβλητη σχέση μετάδοσης και με τη διάταξη της εκκεντρότητας του Ιππάρχου (Πτολεμαίος, Μηχανική Σύνταξις, Γ.4.) 1/24 στις $24,5^\circ$ πριν από το θερινό ηλιοστάσιο.

11.2.2 Εκδοχή Β: Σύμφωνα με τις Περιόδους «ACT» και Μηχανισμού Αντικυθήρων

Για την προσομοίωση των εσωτερικών πλανητών (Ερμή και Αφροδίτης) χρησιμοποιήθηκαν από δύο ζεύγη γραναζιών αντί ενός, προκειμένου να υπολογίζονται απόλυτα οι σχέσεις των ακριβέστερων μεγάλων «Βαβυλωνιακών» συνοδικών περιόδων ή των σωζόμενων στο παράπηγμα του μηχανισμού των Αντικυθήρων.

Στον πίνακα 4 υπολογίζονται και συγκρίνονται οι προσομοιώσεις των εσωτερικών πλανητών σύμφωνα με τις περιόδους «έτους- στόχος», «ACT» και Μηχανισμού Αντικυθήρων.

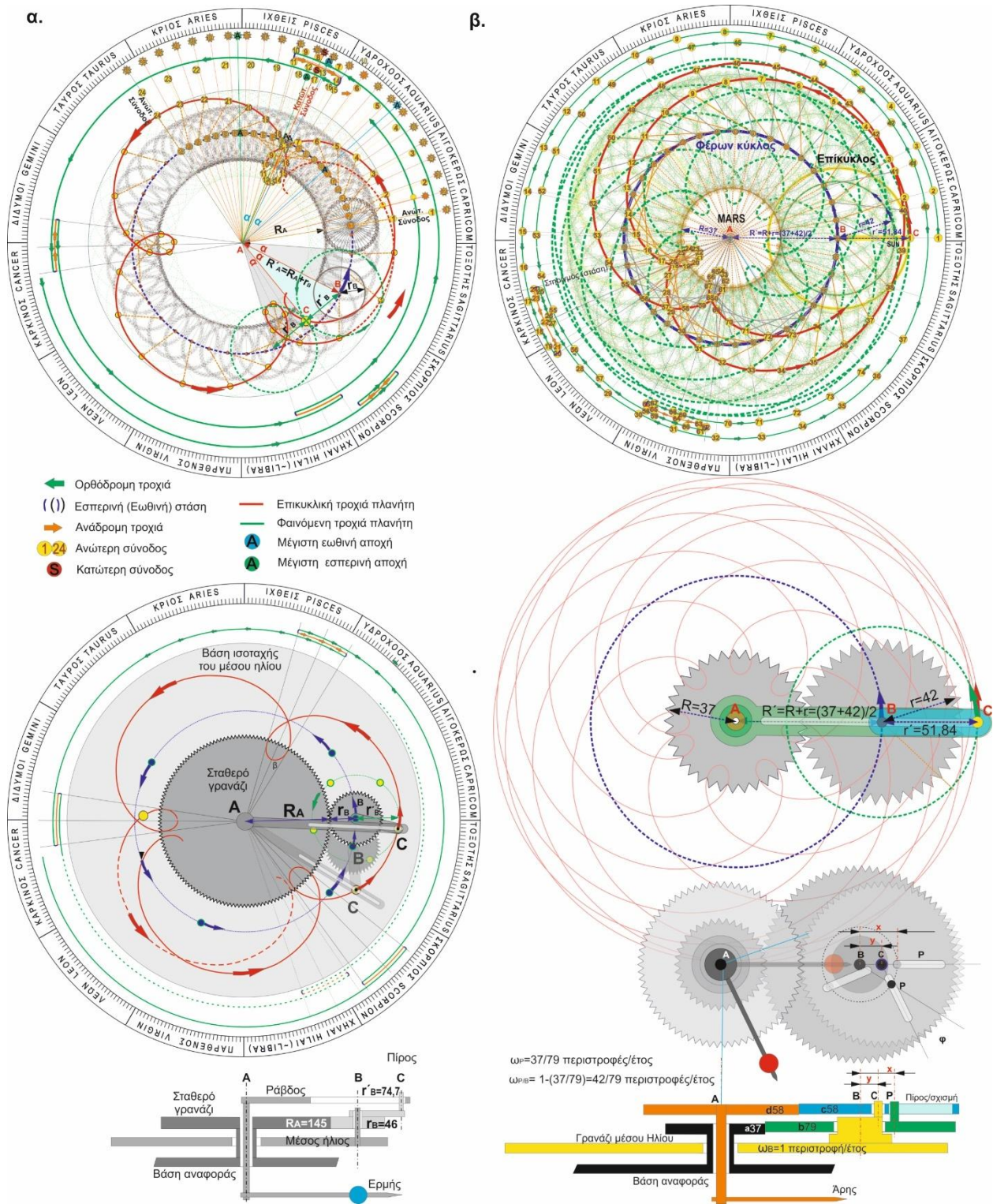
Πίνακας 4. Υπολογισμός της προσομοίωσης των εσωτερικών πλανητών σύμφωνα με τις περιόδους «έτους- στόχος», «ACT» και Μηχανισμού Αντικυθέρων.

	Θεωρ/κές συνοδικές περιόδοι /έτη	Μέση μέγ. αποχή	α) Αριθμός οδόντων β) Αρχικές διαμέτροι (mm)	α) Διάκεντρος επίκυκλου β) Ακτίνα πύρου	Συνοδικές περιόδοι σε ημέρες α) Προκύπτουσες β) Θεωρητικές
Ερμής	Goal year 145/46	23° sin23° =0,391	α) 145/46 β) 72,5-46mm	α) $(72,5+23)/2=$ =47,75 β) $47,75*0,391=$ 18,67	α) $365,25*46/145=$ =115,87 β) 115,87]
	ACT 684/217		α) 38/31/36/14 β) 38-31-36-14	α) 34,5mm β) $(34,5*0,391)=$ =13,49mm	α) $365,25*31/38*14/36=$ =115,88 [β) 115,88
Αφρο- δίτη	Goal year 5/8	46° sin46° =0,719	α) 50/80 β) 25-40	α) $(25+40)/2=$ =32,5 β) $32,5*0,719=$ =23,37mm	α) $365,25*8/5=$ =584,40 β) 584,40
	ACT 720/1151		31/45*79/87	α) 43mm β) $43*0,719=$ =30,92mm	α) $365,25*$ $45/31*87/79=583,89$ β) 583,89
	Μηχ. Αντικ. 289/462 (Freeth et all. 2021)		α) 21/34*44/17 β) 21-34-44-17	α) 43mm β) $43*0,719=$ =30,92mm	α) (Freeth et al. 2021) $365,25*21/34*44/17=$ =583,90 β) 583,90
Αληθής ήλιος		1/24 24,5° πριν το Θ.Ηλ.	α) 50/50/50 β) 25-25-25	α) $50+(25+25)/2$ =100mm β) $100*1/24=$ =4,16mm	

11.3 Η Προσομοίωση των Εξωτερικών Πλανητών

11.3.1 Εκδοχή Α: Σύμφωνα με τις Περιόδους του «Έτους-Στόχος»

Για την προσομοίωση των εξωτερικών πλανητών (Άρη, Δία, Κρόνου) χρησιμοποιήθηκαν ζεύγη γραναζιών με σχέσεις οδόντων αντίστοιχες των μικρών «Βαβυλωνιακών» συνοδικών περιόδων τους, με τα εσωτερικά γρανάζια τοποθετημένα σταθερά στη βάση και τα επικυκλικά (με την υπολογισμένη θέση του πύρου τους) τοποθετημένα σταθερά στον κλωβό. Ένα έκκεντρο σε υπολογισμένη απόσταση γρανάζι με σχισμή παρασύρεται μέσω του πείρου του επικυκλικού γραναζιού και μεταδίδει την διαφοροποιημένη πλέον περιστροφή σε ένα κεντρικό ισόδοντο γρανάζι.



Εικόνα 13. α. Η γεωμετρική και μηχανική προσομοίωση του Ερμή σύμφωνα με την επικυκλική θεωρία. β. Η γεωμετρική προσομοίωση του Άρη και η μηχανική προσομοίωσή του σύμφωνα 1) με το γεωμετρικό μοντέλο, 2) κατά T. Freeth, A. Jones.

Με τη χρήση σε αυτό ενός ενσωματωμένου ομόκεντρου σωληνίσκου και δείκτη υποδεικνύεται η σύνθετη κίνηση της τροχιάς του εξωτερικού πλανήτη στο δακτύλιο του ζωδιακού.

Στην Εικόνα 13β (επάνω) παρουσιάζεται το γεωμετρικό μοντέλο ερμηνείας της φαινόμενης τροχιάς του Άρη με κύκλο επαναληψιμότητας: 37 συνοδικές περιόδους / 42 αστρικές περιφορές / 79 έτη δηλ. 2,135 έτη/συνοδική περίοδο και 1,88 έτη/αστρική περιστροφή, με λόγο αποστάσεων: Άρη-Ηλίου / Ηλίου-γης = 1,524 ως εξής:

Με εφαρμογή της επικυκλικής θεωρίας στο αριοκεντρικό σύστημα και αναγωγή στο γεωκεντρικό με κύκλο επαναληψιμότητας έστω $R_A=37$ μονάδες και $r_B=79-37=42$ μονάδες οι ακτίνες ενός σταθερού και ενός εφαπτόμενου κυλιόμενου κύκλου με κέντρα Α και Β. Επίσης R_A φέροντος κύκλου = $R_A + r_B = 79$ μονάδες και r_B επικύκλου = $(R_A + r_B)/1,524 = 51,84$ μονάδες με $\omega_{B/A} = 1$ περιστροφή / αριανό αστρικό έτος. Το μοντέλο αποδίδει σωστά $\omega_{C-A} = 37/42 = 0,88$ συνοδικές περιόδους/αριανό αστρικό έτος, $\omega_{C-B} = (37/42)+1=79/42=1,88$ ηλιακές περιστροφές/αριανό αστρικό έτος και $\omega' = 79/37=2,135$ ηλιακές περιστροφές/αριανό συνοδικό έτος. Για τη μηχανοποίηση της κίνησης το μοντέλο θα πρέπει να τοποθετηθεί σε δίσκο που κινείται με την μέση ταχύτητα του Άρη.

Στην Εικόνα 13β (κάτω) παρουσιάζεται το μηχανικό μοντέλο προσομοίωσης της φαινόμενης τροχιάς του Άρη που προκύπτει άμεσα από το γεωκεντρικό και εναλλακτικά σύμφωνα με την εργασία των T. Freeth-A. Jones (Freeth-Jones 2012) ως εξής:

Εφαρμόζονται γρανάζι a σταθερό (με $R_a=37$ μονάδες και 37 οδόντες) και επικυκλικό γρανάζι b με ενσωματωμένο πύρο στη θέση P (με $R_b=79$ μονάδες και 79 οδόντες) με τον άξονά του Β επί περιστρεφόμενης βάσης ομοαξονικής του Α και ισοταχούς του ηλίου (είσοδος συστήματος). Τοποθετούνται γρανάζι c έκκεντρο του b στη θέση C (με κατάλληλη σχισμή για τον πείρο) και γρανάζι d ομοαξονικό του a (όπου $R_c=R_d=(37+79)/2=56$ μονάδες και 56 οδόντες). Αν η ακτίνα του πείρου $BP=x$ και η απόσταση της εκκεντρότητας $BC=y$, τότε πρέπει να ισχύει $x/y =$ μέση απόσταση Άρη - Ηλίου / μέση απόσταση Γης- Ηλίου=1,524. Τότε το γρανάζι c παρασύρεται μέσω πείρου - σχισμής προκαλώντας την ανωμαλία της κίνησης και το συνεργαζόμενο γρανάζι d μεταφέρει την επικυκλική κίνηση στον άξονα περιφοράς του πλανήτη (έξοδος συστήματος) ως εξής: $\omega_P=37/79$, $\omega_{P/B}=[1+(37/79)]-1=37/79$, $\omega_A=1-37/79=42/79$ περιστροφές/έτος δηλ. 1,88 έτη / (αστρική) περιστροφή και $\omega'_P=79/37=2,135$ έτη/συνοδική περίοδο.

Ομοίως υπολογίζονται τα γεωμετρικά και τα μηχανικά μοντέλα της τροχιάς του Δία και του Κρόνου.

11.3.2 Εκδοχή Β: Σύμφωνα με τις Περιόδους «ACT» και Μηχανισμού Αντικυθήρων

Για την προσομοίωση των εξωτερικών πλανητών (Άρη, Δία, Κρόνου) χρησιμοποιήθηκαν δύο υπολογιστικά ζεύγη γραναζιών αντί ενός υπολογιστικού και ενός παρασυρόμενου προκειμένου να υπολογίζονται απόλυτα οι σχέσεις των ακριβέστερων μεγάλων βαβυλωνιακών συνοδικών περιόδων ή των σωζόμενων ή των σωζόμενων στο παράπηγμα του μηχανισμού των Αντικυθήρων.

Σε όλες τις περιπτώσεις το τυχόν ελεύθερο γρανάζι διορθώνει τη φορά περιστροφής.

Στην Εικόνα 14α παρουσιάζεται το μηχανικό μοντέλο προσομοίωσης του αληθούς Ηλίου και των πλανητών σύμφωνα με τις περιόδους του «έτους- στόχος» και στην Εικόνα 14β σύμφωνα με τις περιόδους «ACT» και μηχανισμού Αντικυθήρων.

Στον πίνακα 5 υπολογίζονται και συγκρίνονται οι προσομοιώσεις των εξωτερικών πλανητών σύμφωνα με τις περιόδους

- 1) «έτους- στόχος»,
- 2) «ACT» και
- 3) Μηχανισμού Αντικυθήρων.

Πίνακας 5. Υπολογισμός της προσομοίωσης των εξωτερικών πλανητών σύμφωνα με τις περιόδους «έτους- στόχος», «ACT» και Μηχανισμού Αντικυθήρων.

	Θεωρητ. συνοδ. περίοδοι / έτη	Μέση απ/ση από ήλιο	α) Αριθμός οδόντων β) Αρχικές διαμέτροι (mm)	α) Ακτίνα πύρου β) Διάκεντρ επικύκλων	Αστρ. περ/φές σε ημ./περ/φή α) Προκύπτ/σες β) Θεωρητικές	Συνοδ. περίοδοι σε ημέρες α) Προκύπτ/σες β) Θεωρητικές
Αρης	Goal year 37/79	1,524	α) 37/79 β) 37-79	α) 18mm β) 18/1,524 =11,81mm	α) 365,25*1/ {1-(37/79)}= =687,0 β) 687,0	α) 365,25* 79/37= =779,86 β) 779,86
	ACT 133/284		α) 35/40*38/71 β) 35-40-38-71		α) 365,25*1/ {1-(35/40*38/71)}= =687,0 β) 687,0	α) 365,25* 40/35*71/38= =779,93 β) 779,93
Δίας	Goal year 76/83	5,203	α) 76/83 β) 76-83	α) 30,7mm β) 30,7/5,203 =5,9mm	α) 365,25*1/ {1-(76/83)}= 4330,8 β) 4330,8	α) 365,25* 83/76= 398,89 β) 398,89
	ACT 391/427		α) 51/21*23/61 β) 51-21-23-61		α) 365,25*1/ {1-(51/21*23/61)}= 4332,3 β) 4332,3	α) 365,25* 21/51*61/23= 398,88 β) 398,88
Κρόνος	Goal year 57/59	9,537	α) 57/59 β) 57-59	α) 22mm β) 22/9,537 =2,3mm	α) 365,25*1/ {1-(57/59)}=59/2= 10774,9 β) 10774,9	α) 365,25* 59/57= 378,07 β) 378,07
	ACT 256/265		α) 64/53*24/30 β) 64-53-24-30		α) 365,25*1/ {1-(64/53*24/30)}= =10754,6 β) 10755,7	α) 365,25* 53/64*30/24= 378,09 β) 378,09
	Μηχ. Αντικ. 427/442		α) 61/51*21/26 β) 61-51-21-26		α) 365,25*1/ {1-(61/51*21/26)}= =10762,7 β) 10762,7	α) 365,25* 51/61*26/21= =378,08 β) 378,08

Στους πίνακες 6 και 7 παρουσιάζονται οι περίοδοι και οι περιστροφές εσωτερικών – εξωτερικών πλανητών σε σύγκριση με τις αληθείς.

Πίνακας 6. Σύγκριση θεωρητικών και προσομοιωμένων συνόδων των πλανητών («έτους-στόχος» και «ACT» με τις αποκατεστημένες στο Μηχανισμό των Αντικυθήρων και τις αληθείς (σε ημέρες/περίοδο).

	Goal year periods		ACT		Μηχανισμού Αντικυθήρων		Πραγματικές
	Θεωρητικές	Προσομ/ /μένες	Θεωρητικές	Προσομ/ /μένες	Θεωρητικές	Προσομ/ /μένες	
Ερμής	115,87	115,87	115,88	115,88			115,88
Αφροδίτη	584,40	584,4	583,89	583,89	583,90	583,90	583,92
Άρης	779,86	779,86	779,93	779,932			779,94
Δίας	398,89	398,89	398,88	398,88			398,88
Κρόνος	378,07	378,07	378,09	378,09	378,08	378,08	378,09

Πίνακας 7. Σύγκριση θεωρητικών και προσομοιωμένων περιστροφών των πλανητών με τις αποκατεστημένες στο Μηχανισμό των Αντικυθήρων και τις αληθείς (σε ημέρες/περ/φή).

	Goal year periods		ACT		Μηχ. Αντικυθήρων		Πραγματικές
	Θεωρητικές	Προσομ/ /μένες	Θεωρητικές	Προσομ/ /μένες	Θεωρητικές	Προσομ/ /μένες	
Άρης	687,0	687,0	687,0	687,0			687,0
Δίας	4330,8	4330,8	4332,3	4332,3			4332,6
Κρόνος	10774,9	10774,9	10755,7	10754,6	10762,7	10762,7	10755,7

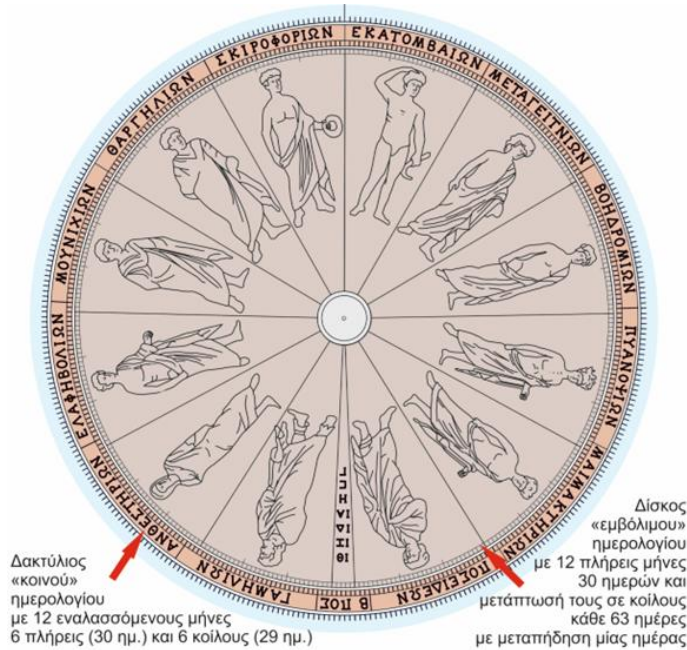
12. Η Ανακατασκευή του Σεληνοηλιακού Ημερολογίου

12.1 Η Ημερολογιακή Πλάκα του Ωρολογίου

Η κυκλική ημερολογιακή πλάκα πρέπει να καλύπτει και τους δύο τρόπους διαχωρισμού των 125 πλήρων και 110 κοίλων μηνών 19ετούς Μετωνικού ημερολογίου των 6940 ημερών) που στο εξής θα καλούμε «παραδοσιακό» και «εμβόλιμο»), δηλ. σταθερών κατ' όνομα σύμφωνα με την παράδοση (Σβορώνος, 1900, pp. 74) ή εμβόλιμα μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στην Αθήνα κατά την ελληνιστική περίοδο. Επίσης σύμφωνα με την έκκεντρη θεωρία του Ιππάρχου για την ερμηνεία των άνισων εποχών (μεταξύ ισημεριών και ηλιοστασίων) το κέντρο του ζωδιακού του τυμπάνου πρέπει (αντιστρόφως) να μετατοπιστεί κατά $-1/24$ σε γωνιακή απόσταση $24,5^\circ$ πριν το θερινό ηλιοστάσιο ώστε να προκύπτουν: θέρος διάρκειας $92 \frac{1}{2}$, φθινόπωρο $88 \frac{1}{8}$, χειμώνα $90 \frac{1}{8}$ και άνοιξη $94 \frac{1}{2}$ ημερών.

12.1.1 Περίπτωση Α: Στο Εμπρόσθιο Τμήμα του Τυμπάνου (2 εκδοχές)

Εκδοχή 1η: Η πλάκα αποτελείται από έναν εσωτερικό και έναν εξωτερικό δακτύλιο (ή δίσκο) με 365 υποδιαιρέσεις ημερών. Οι δακτύλιοι έχουν ενσωματωθεί ομοαξονικά στο τύμπανο και παρασύρονται ισόχρονα μαζί του ενώ παράλληλα έχουν τη δυνατότητα ανεξάρτητης χειροκίνητης

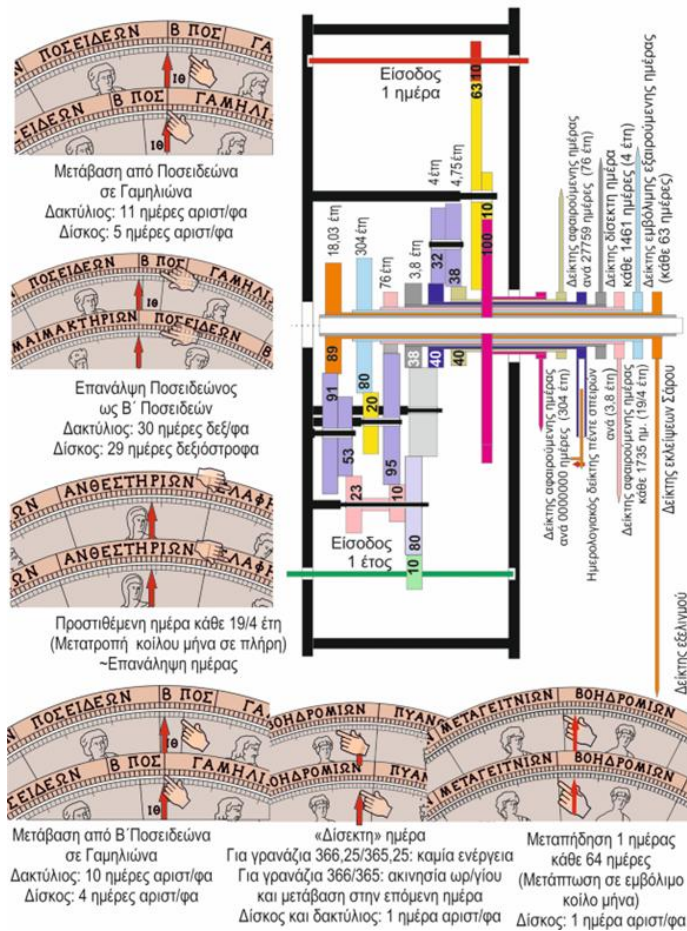


ολίσθησης αν αυτό απαιτηθεί (Εικόνα 15). Οι δακτύλιοι μπορούν να σχεδιασθούν με σωληνοειδή μορφή με εγκάρσια τοποθέτηση σε εγκοπή του τυμπάνου για την αποφυγή απόκρυψης τμήματος του ουρανού λόγω του υποκείμενου τμήματός τους.

Η ετήσια κλίμακα (του εξωτερικού δακτύλιου) αντιστοιχεί στο «παραδοσιακό» ημερολόγιο (και περιλαμβάνει τους 6 πλήρεις και 6 κοίλους μήνες με την σειρά του Πίνακα 8:

Πίνακας 8. Οι ονομασίες των μηνών του Αττικού ημερολογίου και ο παραδοσιακός αριθμός ημερών τους (Σβορώνος, 1900, π. Ζ, Η, pp. 80-81).

	Μήνας	Αρ. ημ.
1	Εκατομβαιών	30
2	Μεταγειτινιών	29
3	Βοηδρομιών	30
4	Πυανεσιών	29
5	Μαιμακτηριών	30
6	Ποσειδεών	29
7	Γαμηλιών	30
8	Ανθεστηριών	29
9	Ελαφηβολιών	30
10	Μουνιχιών	29
11	Θαργηλιών	30
12	Σκιροφοριών	29



Εικόνα 15. (Επάνω) Ο εξωτερικός δακτύλιος και ο εσωτερικός δίσκος (ή δακτύλιος) προσομοίωσης του 19ετούς Μετωνικού ημερολογίου με τις μορφές των μηνών βασισμένες στην εργασία του Ν. Σβορώνου (Σβορώνος, 1900, πιν. Ζ, Η, pp. 80-81) με δεξιόστροφη διάταξη των μηνών κατάλληλη για την οπίσθια πλευρά της ωρολογόπλακας. (Κάτω) Η πληθώρα απαραίτητων δεικτών και χειροκίνητων διορθώσεων υπαγορεύει τη χρήση σπειροειδών ημερολογίων αντί ετήσιων ρυθμιζόμενων δακτυλίων.

Μετά το πέρας του συνοδικού έτους των 12 μηνών (δηλ. μετά τον Σκίροφοριώνα) ο δακτύλιος περιστρέφεται αριστερόστροφα, παραλείποντας τις υπολειπόμενες 11 ημέρες και αρχίζει το επόμενο συνοδικό έτος (αρχή Εκατομβαιώνος). Παράλληλα όμως το 1ο, 3ο, 6ο, 9ο, 11ο, 14ο και 17ο έτος του κύκλου, μετά το πέρας του Ποσειδεώνα ο δακτύλιος περιστρέφεται χειροκίνητα δεξιόστροφα, και επανέρχεται στην αρχή του ώστε ο μήνας να επαναληφθεί ως Β΄ Ποσειδεώνας 30 ημερών). Επειδή τα 19 έτη (χωρίς τους 7 πλήρεις εμβόλιμους μήνες) περιέχουν ονομαστικά $19 \text{ έτη} * 12 \text{ μήνες} / 2 = 114$ διαδοχικά ζεύγη πλήρων και κοίλων μηνών, επιβάλλεται $(125 - 114 - 7)$ ή αλλιώς $(114 - 110) = 4$ κοίλοι μήνες να μετατρέπονται εμβόλιμα σε πλήρεις, κατά τη διάρκεια του 19ετούς κύκλου. Επομένως, πρέπει να επαναλαμβάνεται μία ημέρα στον τρέχοντα κοίλο μήνα μετατρέποντάς τον σε πλήρη, περιστρέφοντας αριστερόστροφα το δακτύλιο κατά μία ημέρα κάθε $(365,25 * 19 / 4) = 1735$ ημέρες γεγονός που υποδεικνύεται αυτόματα από τον αντίστοιχο δείκτη.

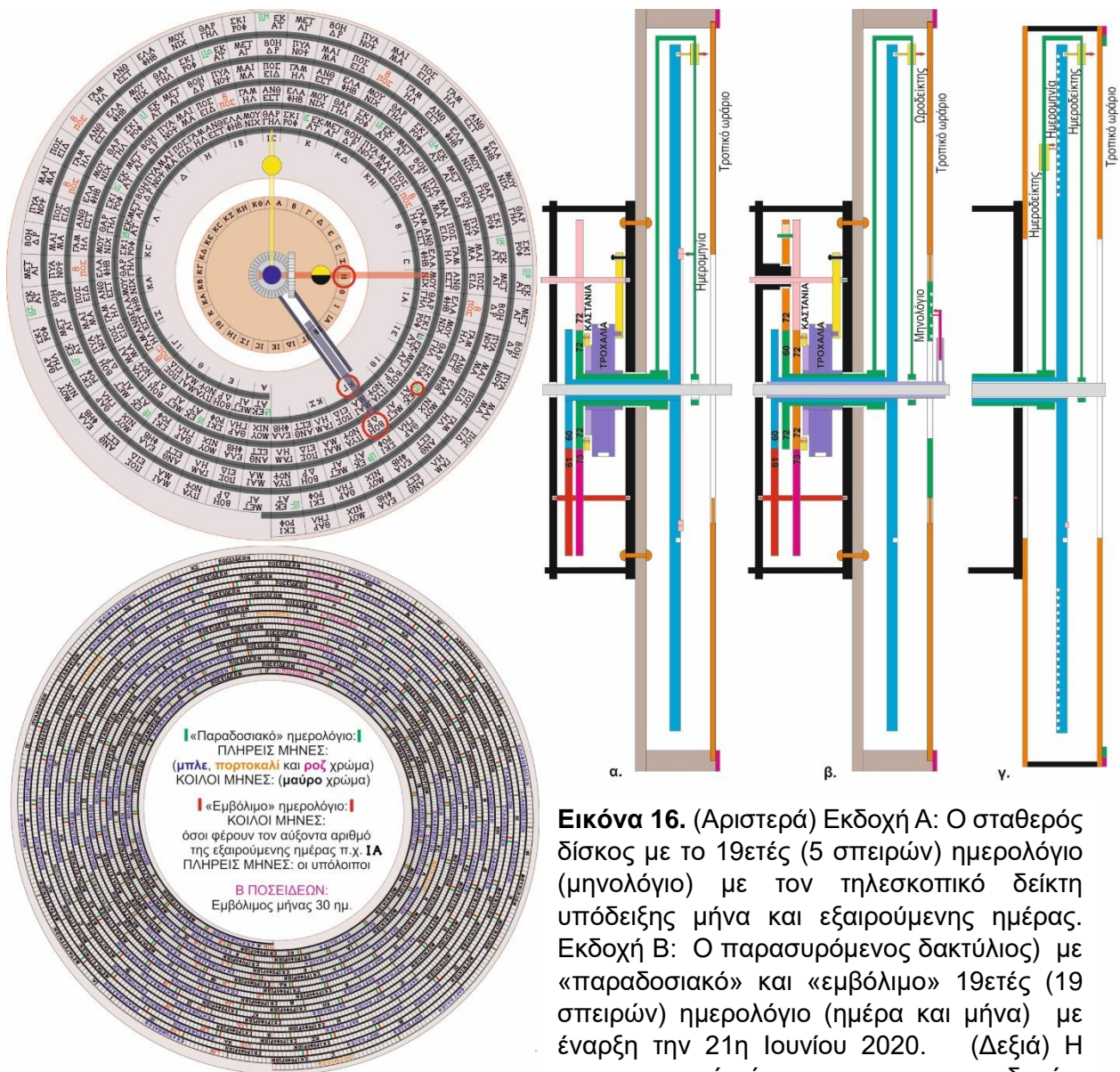
Η ετήσια κλίμακα (του εσωτερικού δακτυλίου) αντιστοιχεί στο «εμβόλιμο» ημερολόγιο (Εικόνα 30) και αποτελείται αποκλειστικά από 12 - θεωρητικά μόνο - πλήρεις (=30 ημερών) μήνες.

Όμως κάθε $235 * 30 / 110 = \sim 64$ «θεωρητικές» ημέρες ή αλλιώς κάθε $6940 / 110 = \sim 63$ «πραγματικές» ημέρες με την υπόδειξη του δείκτη της εξαιρούμενης ημέρας, ο δίσκος περιστρέφεται αριστερόστροφα κατά μία ημέρα, μετατρέποντας τον τρέχοντα μήνα σε κοίλο, ώστε να εξασφαλιστεί η βέλτιστη παρεμβολή των κοίλων μηνών και επομένως καλύτερες προσεγγίσεις για τον αληθή μέσο συνοδικό μήνα (Εικόνα 15). Μετά το πέρας του συνοδικού έτους των 12 μηνών (δηλ. μετά τον Σκίροφοριώνα) ο δακτύλιος περιστρέφεται αριστερόστροφα, παραλείποντας τις 5 υπολειπόμενες ημέρες και αρχίζει το επόμενο συνοδικό έτος (αρχή Εκατομβαιώνος). Για την εφαρμογή των εμβόλιμων μηνών ο δακτύλιος ακολουθεί τη ρύθμιση του εξωτερικού δακτυλίου.

Εκδοχή 2η: Εναλλακτικά, ως ημερολογιακός δίσκος μπορεί να χρησιμοποιηθεί το 19ετές σπειροειδές σεληνοηλιακό ημερολόγιο του Μέτωνος των 235 μηνών (Εικόνα 16) όπως ακριβώς είχε εφαρμοσθεί στο Μηχανισμό των Αντικυθήρων προσαρμοσμένο στο Αττικό μηνολόγιο με εμβόλιμο μήνα τον Ποσειδεώνα. Ο δίσκος αποτελείται από 5 σπείρες διαιρεμένες σε 47 τομείς (Εικόνα 30), όπου έχουν αναγραφεί τα 19 έτη με τους 228 και 7 εμβόλιμους πλήρεις μήνες των 30 ημερών ξεκινώντας από την εσωτερική σπείρα. Στους κατάλληλους 22 τομείς που περιέχουν $(5 * 22) = 110$ μήνες είναι καταγεγραμμένη η ημερομηνία της εξαιρούμενης 64ης ημέρας για την εμβόλιμη μετατροπή τους σε κοίλους. Ο δίσκος είναι σταθερός και συγκρατείται από προεκτάσεις του πλέγματος των ωριαίων γραμμών. Ένας τηλεσκοπικός δείκτης με ακίδα που ακολουθεί την παράλληλη σπειροειδή αύλακα υποδεικνύει αυτόματα το έτος, τον τρέχοντα μήνα και την τυχόν εξαιρούμενη ημέρα του. Ο αριθμός της τρέχουσας ημέρας του μήνα υποδεικνύεται από τον αύξοντα αριθμό του άξονα της σελήνης στον ηλιακό περιστρεφόμενο δίσκο των 30- ημερών (Α-Λ). Π.χ. Ημέρα 8η (Η) του μήνα ΒΟΗΔΡΟΜΙΩΝΟΣ του 8ου έτους (LH) του κύκλου, μήνας κοίλος 29 ημερών με εξαιρούμενη ημέρα την 23η του (ΚΓ). Μόνο στο τέλος των 19 ετών πραγματοποιείται χειροκίνητη ακτινική μετατόπιση της ακίδας του τηλεσκοπικού δείκτη στην αρχή της σπειροειδούς αύλακας για την αυτόματη επίδειξη του επόμενου κύκλου.

12.1.2 Περίπτωση Β: Στο οπίσθιο τμήμα του τυμπάνου

Εκδοχή 3η: Η τοποθέτηση της ημερολογιακής πλάκας στο οπίσθιο τμήμα του τυμπάνου επιτρέπει την παραδοσιακή δεξιόστροφη απεικόνιση των μηνών των σεληνοηλιακών ημερολογίων και το σημαντικότερο: την πλήρη σπειροειδή ανάπτυξή τους λόγω του διαθέσιμου χώρου. Έτσι ο 19ετής ημερολογιακός κύκλος του Μέτωνος (Εικόνα 16) αναπτύσσεται σε 19 σπείρες ετήσιας διάρκειας όπου καταγράφονται οι 6940 ημέρες του, απαριθμούνται τα 19 έτη του,



Εικόνα 16. (Αριστερά) Εκδοχή Α: Ο σταθερός δίσκος με το 19ετές (5 σπειρών) ημερολόγιο (μηνολόγιο) με τον τηλεσκοπικό δείκτη υπόδειξης μήνα και εξαιρούμενης ημέρας. Εκδοχή Β: Ο παρασυρόμενος δακτύλιος με «παραδοσιακό» και «εμβόλιμο» 19ετές (19 σπειρών) ημερολόγιο (ημέρα και μήνα) με έναρξη την 21η Ιουνίου 2020. (Δεξιά) Η ανακατασκευή σύμφωνα με τις τρεις εκδοχές.

ονοματίζονται και διαχωρίζονται οι 225 πλήρεις και 110 κοίλοι μήνες σύμφωνα με το «παραδοσιακό» και το «εμβόλιμο» ημερολόγιο. Παράλληλα στον υπολογισμένο κοίλο μήνα του «εμβόλιμου» ημερολογίου καταγράφεται ο αύξων αριθμός της εμβόλιμης ημέρας που έχει αφαιρεθεί.

Ένας ημερολογιακός δείκτης με έναν πύρο ως ακόλουθο ολισθαίνει στη σπειροειδή αύλακα του ημερολογίου ενώ παρασύρεται από τον ισχυρό εγκάρσιο άξονα του ωροδείκτη και υποδεικνύει αυτόματα το τρέχον έτος, τον τρέχοντα μήνα και την τρέχουσα ημέρα καθ' όλη τη διάρκεια του 19ετούς κύκλου χωρίς καμία χειροκίνητη παρέμβαση.

Στο τέλος των 19 ετών πραγματοποιείται χειροκίνητη ακτινική μετατόπιση της ακίδας του τηλεσκοπικού δείκτη στην αρχή της σπειροειδούς αύλακας για την αυτόματη επίδειξη του επόμενου κύκλου. Κάθε 76 έτη δηλ. 4 Μετωνικούς κύκλους, με την υπόδειξη του δείκτη της

αφαιρούμενης ημέρας του Καλλίππου, ο δακτύλιος περιστρέφεται δεξιόστροφα κατά μία ημέρα, δηλ. ένας πλήρης μήνας μετατρέπεται σε κοίλο, ώστε το σεληνιακό έτος να εναρμονίζεται με το ηλιακό έτος. Η εφαρμογή μίας παρεμφερούς σπειροειδούς διάταξης του Μετωνικού ημερολογίου στην περιορισμένων διαστάσεων πλάκα του Μηχανισμού των Αντικυθίων υποδεικνύει ισχυρά την πιθανολογούμενη χρήση της στο υδραυλικό ωρολόγιο.

Στην Εικόνα 17 απεικονίζονται το αποκατεστημένο 19ετές ημερολόγιο του Μέτωνος 2020-2039

Επρ. ηλ/οσιο	29 ημ./days	Επρ. ηλ/οσιο
1963-81	2001-19	2040-48
1962-81	2000-4	2039-1
1961-81	2000-4	2038-1
1960-81	2000-4	2037-1
1959-81	2000-4	2036-1
1958-81	2000-4	2035-1
1957-81	2000-4	2034-1
1956-81	2000-4	2033-1
1955-81	2000-4	2032-1
1954-81	2000-4	2031-1
1953-81	2000-4	2030-1
1952-81	2000-4	2029-1
1951-81	2000-4	2028-1
1950-81	2000-4	2027-1
1949-81	2000-4	2026-1
1948-81	2000-4	2025-1
1947-81	2000-4	2024-1
1946-81	2000-4	2023-1
1945-81	2000-4	2022-1
1944-81	2000-4	2021-1
1943-81	2000-4	2020-1
1942-81	2000-4	2019-1
1941-81	2000-4	2018-1
1940-81	2000-4	2017-1
1939-81	2000-4	2016-1
1938-81	2000-4	2015-1
1937-81	2000-4	2014-1
1936-81	2000-4	2013-1
1935-81	2000-4	2012-1
1934-81	2000-4	2011-1
1933-81	2000-4	2010-1
1932-81	2000-4	2009-1
1931-81	2000-4	2008-1
1930-81	2000-4	2007-1
1929-81	2000-4	2006-1
1928-81	2000-4	2005-1
1927-81	2000-4	2004-1
1926-81	2000-4	2003-1
1925-81	2000-4	2002-1
1924-81	2000-4	2001-1
1923-81	2000-4	2000-1
1922-81	2000-4	1999-1
1921-81	2000-4	1998-1
1920-81	2000-4	1997-1
1919-81	2000-4	1996-1
1918-81	2000-4	1995-1
1917-81	2000-4	1994-1
1916-81	2000-4	1993-1
1915-81	2000-4	1992-1
1914-81	2000-4	1991-1
1913-81	2000-4	1990-1
1912-81	2000-4	1989-1
1911-81	2000-4	1988-1
1910-81	2000-4	1987-1
1909-81	2000-4	1986-1
1908-81	2000-4	1985-1
1907-81	2000-4	1984-1
1906-81	2000-4	1983-1
1905-81	2000-4	1982-1
1904-81	2000-4	1981-1
1903-81	2000-4	1980-1
1902-81	2000-4	1979-1
1901-81	2000-4	1978-1
1900-81	2000-4	1977-1
1899-81	2000-4	1976-1
1898-81	2000-4	1975-1
1897-81	2000-4	1974-1
1896-81	2000-4	1973-1
1895-81	2000-4	1972-1
1894-81	2000-4	1971-1
1893-81	2000-4	1970-1
1892-81	2000-4	1969-1
1891-81	2000-4	1968-1
1890-81	2000-4	1967-1
1889-81	2000-4	1966-1
1888-81	2000-4	1965-1
1887-81	2000-4	1964-1
1886-81	2000-4	1963-1
1885-81	2000-4	1962-1
1884-81	2000-4	1961-1
1883-81	2000-4	1960-1
1882-81	2000-4	1959-1
1881-81	2000-4	1958-1
1880-81	2000-4	1957-1
1879-81	2000-4	1956-1
1878-81	2000-4	1955-1
1877-81	2000-4	1954-1
1876-81	2000-4	1953-1
1875-81	2000-4	1952-1
1874-81	2000-4	1951-1
1873-81	2000-4	1950-1
1872-81	2000-4	1949-1
1871-81	2000-4	1948-1
1870-81	2000-4	1947-1
1869-81	2000-4	1946-1
1868-81	2000-4	1945-1
1867-81	2000-4	1944-1
1866-81	2000-4	1943-1
1865-81	2000-4	1942-1
1864-81	2000-4	1941-1
1863-81	2000-4	1940-1
1862-81	2000-4	1939-1
1861-81	2000-4	1938-1
1860-81	2000-4	1937-1
1859-81	2000-4	1936-1
1858-81	2000-4	1935-1
1857-81	2000-4	1934-1
1856-81	2000-4	1933-1
1855-81	2000-4	1932-1
1854-81	2000-4	1931-1
1853-81	2000-4	1930-1
1852-81	2000-4	1929-1
1851-81	2000-4	1928-1
1850-81	2000-4	1927-1
1849-81	2000-4	1926-1
1848-81	2000-4	1925-1
1847-81	2000-4	1924-1
1846-81	2000-4	1923-1
1845-81	2000-4	1922-1
1844-81	2000-4	1921-1
1843-81	2000-4	1920-1
1842-81	2000-4	1919-1
1841-81	2000-4	1918-1
1840-81	2000-4	1917-1
1839-81	2000-4	1916-1
1838-81	2000-4	1915-1
1837-81	2000-4	1914-1
1836-81	2000-4	1913-1
1835-81	2000-4	1912-1
1834-81	2000-4	1911-1
1833-81	2000-4	1910-1
1832-81	2000-4	1909-1
1831-81	2000-4	1908-1
1830-81	2000-4	1907-1
1829-81	2000-4	1906-1
1828-81	2000-4	1905-1
1827-81	2000-4	1904-1
1826-81	2000-4	1903-1
1825-81	2000-4	1902-1
1824-81	2000-4	1901-1
1823-81	2000-4	1900-1
1822-81	2000-4	1899-1
1821-81	2000-4	1898-1
1820-81	2000-4	1897-1
1819-81	2000-4	1896-1
1818-81	2000-4	1895-1
1817-81	2000-4	1894-1
1816-81	2000-4	1893-1
1815-81	2000-4	1892-1
1814-81	2000-4	1891-1
1813-81	2000-4	1890-1
1812-81	2000-4	1889-1
1811-81	2000-4	1888-1
1810-81	2000-4	1887-1
1809-81	2000-4	1886-1
1808-81	2000-4	1885-1
1807-81	2000-4	1884-1
1806-81	2000-4	1883-1
1805-81	2000-4	1882-1
1804-81	2000-4	1881-1
1803-81	2000-4	1880-1
1802-81	2000-4	1879-1
1801-81	2000-4	1878-1
1800-81	2000-4	1877-1
1799-81	2000-4	1876-1
1798-81	2000-4	1875-1
1797-81	2000-4	1874-1
1796-81	2000-4	1873-1
1795-81	2000-4	1872-1
1794-81	2000-4	1871-1
1793-81	2000-4	1870-1
1792-81	2000-4	1869-1
1791-81	2000-4	1868-1
1790-81	2000-4	1867-1
1789-81	2000-4	1866-1
1788-81	2000-4	1865-1
1787-81	2000-4	1864-1
1786-81	2000-4	1863-1
1785-81	2000-4	1862-1
1784-81	2000-4	1861-1
1783-81	2000-4	1860-1
1782-81	2000-4	1859-1
1781-81	2000-4	1858-1
1780-81	2000-4	1857-1
1779-81	2000-4	1856-1
1778-81	2000-4	1855-1
1777-81	2000-4	1854-1
1776-81	2000-4	1853-1
1775-81	2000-4	1852-1
1774-81	2000-4	1851-1
1773-81	2000-4	1850-1
1772-81	2000-4	1849-1
1771-81	2000-4	1848-1
1770-81	2000-4	1847-1
1769-81	2000-4	1846-1
1768-81	2000-4	1845-1
1767-81	2000-4	1844-1
1766-81	2000-4	1843-1
1765-81	2000-4	1842-1
1764-81	2000-4	1841-1
1763-81	2000-4	1840-1
1762-81	2000-4	1839-1
1761-81	2000-4	1838-1
1760-81	2000-4	1837-1
1759-81	2000-4	1836-1
1758-81	2000-4	1835-1
1757-81	2000-4	1834-1
1756-81	2000-4	1833-1
1755-81	2000-4	1832-1
1754-81	2000-4	1831-1
1753-81	2000-4	1830-1
1752-81	2000-4	1829-1
1751-81	2000-4	1828-1
1750-81	2000-4	1827-1
1749-81	2000-4	1826-1
1748-81	2000-4	1825-1
1747-81	2000-4	1824-1
1746-81	2000-4	1823-1
1745-81	2000-4	1822-1
1744-81	2000-4	1821-1
1743-81	2000-4	1820-1
1742-81	2000-4	1819-1
1741-81	2000-4	1818-1
1740-81	2000-4	1817-1
1739-81	2000-4	1816-1
1738-81	2000-4	1815-1
1737-81	2000-4	1814-1
1736-81	2000-4	1813-1
1735-81	2000-4	1812-1
1734-81	2000-4	1811-1
1733-81	2000-4	1810-1
1732-81	2000-4	1809-1
1731-81	2000-4	1808-1
1730-81	2000-4	1807-1
1729-81	2000-4	1806-1
1728-81	2000-4	1805-1
1727-81	2000-4	1804-1
1726-81	2000-4	1803-1
1725-81	2000-4	1802-1
1724-81	2000-4	1801-1
1723-81	2000-4	1800-1
1722-81	2000-4	1799-1
1721-81	2000-4	1798-1
1720-81	2000-4	1797-1
1719-81	2000-4	1796-1
1718-81	2000-4	1795-1
1717-81	2000-4	1794-1
1716-81	2000-4	1793-1
1715-81	2000-4	1792-1
1714-81	2000-4	1791-1
1713-81	2000-4	1790-1
1712-81	2000-4	1789-1
1711-81	2000-4	1788-1
1710-81	2000-4	1787-1
1709-81	2000-4	1786-1
1708-81	2000-4	1785-1
1707-81	2000-4	1784-1
1706-81	2000-4	1783-1
1705-81	2000-4	1782-1
1704-81	2000-4	1781-1
1703-81	2000-4	1780-1
1702-81	2000-4	1779-1
1701-81	2000-4	1778-1
1700-81	2000-4	1777-1
1699-81	2000-4	1776-1
1698-81	2000-4	1775-1
1697-81	2000-4	1774-1
1696-81	2000-4	1773-1
1695-81	2000-4	1772-1
1694-81	2000-4	1771-1
1693-81	2000-4	1770-1
1692-81	2000-4	1769-1
1691-81	2000-4	1768-1

Στον πίνακα 9 υπολογίζονται οι συστοιχίες γραναζιών για την υπόδειξη των αυτόματων ενδείξεων και των απαιτούμενων παρεμβάσεων στις τρεις εκδοχές διάταξης του Μετωνικού ημερολογίου.

Πίνακας 9. Οι συστοιχίες γραναζιών για την υπόδειξη των αυτόματων ενδείξεων και των απαιτούμενων παρεμβάσεων στις τρεις ημερολογιακές εκδοχές: 1) με ετήσιους ρυθμιζόμενους ημερολογιακούς δακτυλίους-δίσκους, 2) με 19ετή σπειροειδή διάταξη 5 σπειρών και 3) με 19ετή σπειροειδή διάταξη 19 σπειρών.

	Οι συστοιχίες γραναζιών	Εκδοχές εναλλακτικών ημερολογιακών διατάξεων		
		1η	2η	3η
Δείκτης 64ης εξαιρούμενης ημέρας (μετατροπή πλήρους μήνα σε κοίλο)	$100/10 \cdot 63/10 = 63$ ημέρες	Χειροκίνητη αριστερόστροφη περιστροφή του εσωτερικού ημερολογιακού δακτυλίου κατά μία ημέρα.	Καμία	
Δείκτης δισεκτης ημέρας ανά 4 έτη	$40/10 = 4$ έτη = 1461 ημ.	Μόνο στην περίπτωση προπορείας 1/365 επιβάλλεται 24ωρη ακινησία του ωρολογιού	Καμία	
Δείκτης επαναλαμβανόμενης ημέρας κάθε 19/4 έτη (κοίλος μήνας σε πλήρη)	$80/10 \cdot 38/40 = 4,75$ έτη = 1735 ημ.	Χειροκίνητη δεξιόστροφη περιστροφή του εξωτερικού ημερολογιακού δακτυλίου κατά μία ημέρα.	Καμία	
Δείκτης Μετωνικού ημερολογίου	A: $38/10 = 3,8$ έτη B: Άμεσα	Καμία	Επανατοποθέτηση ακίδας κάθε 19 έτη	
Δείκτης αφαιρούμενης ημέρας (Καλλίπου) κάθε 76 έτη	$80/10 \cdot 95/10 = 76$ έτη = 27759 ημ.	Χειροκίνητη αριστ/στροφη περιστροφή του εσωτερικού ημερολογιακού δακτυλίου κατά μία ημέρα.	Περιστροφή μίας ημέρας κάθε 76 έτη	
Δείκτης αφαιρούμενης ημέρας (Ιππάρχου) κάθε 304 έτη	$80/10 \cdot 95/10 \cdot 80/20 = 304$ έτη = ημ.	Χειροκίνητη αριστ/στροφη περιστροφή του εσωτερικού ημερολογιακού δακτυλίου κατά μία ημέρα.	Περιστροφή μίας ημέρας κάθε 304 έτη	
Δείκτης εκλείψεων Σάρου	$80/10 \cdot 53/23 \cdot 89/91 = 18$, έτη	Καμία	Καμία	
Δείκτης εκλείψεων Εξελιγμού	Άμεσα	Καμία	Καμία	
Αριθμός χειροκίνητων παρεμβάσεων/19 έτη		για τον εσωτερικό δακτύλιο για τον εσωτερικό δακτύλιο	1	1
Παρατηρήσεις		Οι αρκετές χειροκίνητες παρεμβάσεις καθιστούν την εκδοχή 1 ανεπιθύμητη	Αποδεκτή λύση	Βέλτιστη

13. Η Αληθής Θέση του Ωροδείκτη επί της Εκλειπτικής

Η ακριβής θέση του ωροδείκτη (αν και έχει αμελητέα επίπτωση στη λειτουργία του ωρολογίου) μπορεί να επιτευχθεί είτε με τη μετατόπιση του κέντρου του έκκεντρου κύκλου της εκλειπτικής, είτε με το συγχρονισμό του ωροδείκτη με τον αληθή ήλιο.

Στην πρώτη περίπτωση απαιτείται αντίθετη εκκεντρότητα $1/24$, στις $24,5^\circ$ πριν το χειμερινό ηλιοστάσιο. Στη δεύτερη περίπτωση απαιτείται διάταξη μικροδιόρθωσης της μετακίνησης του ωροδείκτη επί της εκλειπτικής σύμφωνα με τον αληθή ήλιο.

Στον πίνακα 10 υπολογίζονται οι λοιπές απαιτούμενες προσαρμογές.

Πίνακας 10. Υπολογισμός των απαιτούμενων προσαρμογών για τη μικροδιόρθωση της προσομοίωσης του ωροδείκτη επί της εκλειπτικής σύμφωνα με τον αληθή ήλιο.

	Αντιστοιχούμενο μέσον	Επιθυμητός αριθμός περιστροφών/24ωρη λειτουργία	Τρέχων αριθμός περιστροφών/24ωρη λειτουργία	Απαιτούμενη προσαρμογή για ταύτιση με τον επιθυμητό αριθμό περιστροφών
Κινητήρια τροχαλία	Μέσος ήλιος	1	1	
Τύμπανο	Μέσος ήλιος	$1+1/365,25$ ή $1+1/365$	$1+1/365,25$ ή $1+1/365$	Δεν απαιτείται
Αστρικό ημ/λόγιο	Μέσος ήλιος	$1+1/365,25$ ή $1+1/365$	$1+1/365,25$ ή $1+1/365$	Δεν απαιτείται
Θέση ωροδείκτη επί της εκλειπτικής	Αληθής ήλιος	1 αυξομειούμενο	1	Προσθήκη ισόδοντων (72, 72) γραναζιών τύπου πύρου σχισμής με εκκεντρότητα $1/24$ $24,5$ προ του Θ.Η.
Θέση ωροδείκτη επί του ωριαίου πλέγματος	Μέσος ήλιος	1	~ 1 Λόγω της προηγούμενης απαραίτητης προσαρμογής	Λόγω της εκκεντρότητας προκαλεί μέγιστη ετήσια απόκλιση $0,62\%$, μηδενική μέση ετήσια και αμελητέα μέγιστη ημερήσια απόκλιση εκατέρωθεν της μέσης.
Θέση ημεροδείκτη στο ημερολόγιο	Μέσος ήλιος	1	~ 1 Ως ακόλουθος του άξονα του ωροδείκτη	Απαιτείται αντίστροφη εκκεντρότητα στο επακόλουθο σπειροειδές Μετωνικό ημερολόγιο
19ετές σεληνοηλιακό ημερολόγιο με 1 σπείρα/έτος	Μέσος ήλιος	1	1	Εφαρμογή εκκεντρότητας $1/24$, $24,5^\circ$ προ του Χειμ. Ηλ. για την αλληλεξουδετέρωση των δύο εκκεντροτήτων.

14. Η Πρόβλεψη των Εκλείψεων

14.1. Το Θεωρητικό Υπόβαθρο

Για να συμβεί μία έκλειψη πρέπει η σελήνη να είναι σε φάση πανσελήνου όπου η γη παρεμβάλλεται μεταξύ σελήνης και ηλίου (σεληνιακή έκλειψη) ή νέας σελήνης όπου η σελήνη παρεμβάλλεται μεταξύ γης και ηλίου (ηλιακή έκλειψη). Εξ ορισμού στις θέσεις αυτές η σελήνη επανέρχεται κάθε συνοδικό μήνα. Επίσης πρέπει να είναι κοντά σε έναν από τους δύο κόμβους της κεκλιμένης τροχιάς της ώστε ο ήλιος, η γη και η σελήνη να βρίσκονται στο εκλειπτικό επίπεδο δηλ. εξ ορισμού κάθε δρακωνικό μήνα. Ηλιακή έκλειψη συμβαίνει όταν ήλιος και σελήνη βρίσκονται στον ίδιο κόμβο και σεληνιακή στον αντίθετο.

Η διάρκεια της έκλειψης και η μορφή της όμως εξαρτώνται από την απόσταση της σελήνης από τη γη. Π.χ. μία ολική ηλιακή έκλειψη, όπου η σελήνη βρίσκεται κοντά στο απόγειο έχει μικρή διάρκεια και θα είναι δακτυλιοειδής (αφού δεν θα μπορεί να καλύψει πλήρως τον ηλιακό δίσκο) ενώ πλησιέστερα στο περιγείο θα έχει μεγάλη διάρκεια και θα είναι πλήρης. Εξ ορισμού η σελήνη επανέρχεται στις ίδιες αποστάσεις από τη γη κάθε ανωμαλιστικό μήνα.

14.2 Η Αυτόματη Υπόδειξη των Πιθανών Εκλείψεων

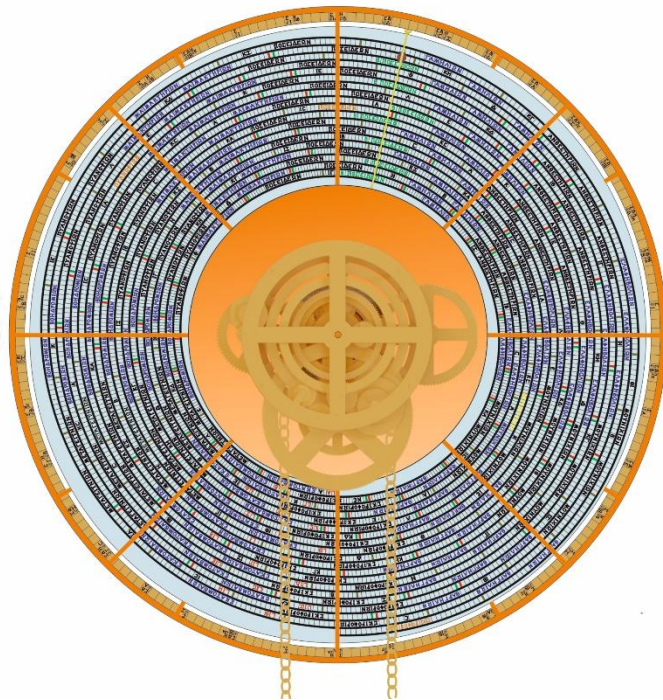
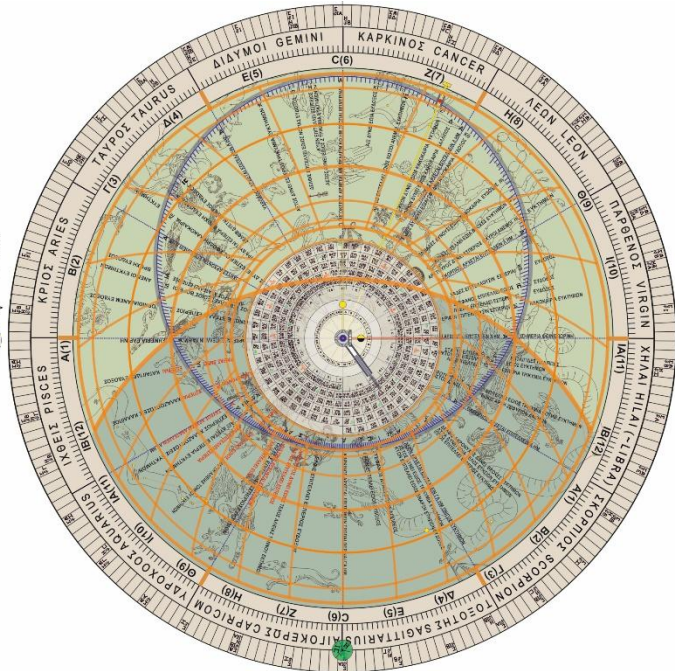
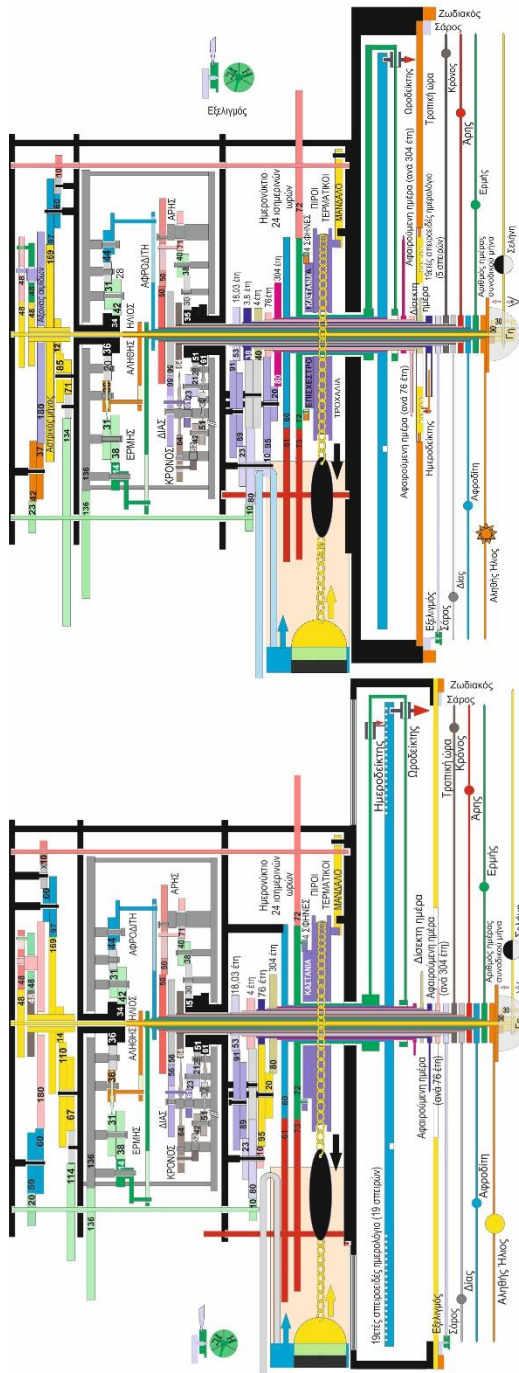
14.2.1 Εκδοχή Α: Σύμφωνα με τον Κύκλο του Σάρου

Περιφερειακά της ωρολογιακής πλάκας τοποθετήθηκε ένας δακτύλιος (Εικόνα 18) που φέρει τους 223 συνοδικούς μήνες του Σάρου με συντομογραφική καταγραφή των δεδομένων των πιθανών εκλείψεων (Η: Ηλίου, Σ: Σελήνης, ωρ: Ωρα, ΗΜ: Ημέρας και ΝΥ: Νύκτας όπως εφαρμόστηκε στο μηχανισμό των Αντικυθήρων). Με είσοδο τον άξονα του ηλίου και 6 γρανάζια με σχέσεις $38/15*48/47*223/32$ προκύπτει ως έξοδος 18,02979 ετών $*365,25=6485,3$ ημερών ίση με τη θεωρητική τιμή του Σάρου. Ένας δείκτης μέσω άξονα υποδεικνύει στο δακτύλιο τον τρέχοντα συνοδικό μήνα που προβλέπεται να πραγματοποιηθεί έκλειψη ηλίου ή σελήνης μαζί με την ώρα εμφάνισής τους. Η ημέρα στο ημερολόγιο προκύπτει άμεσα από την εμφάνιση νέας σελήνης ή πανσελήνου στη μηχανική προσομοίωση σελήνης ηλίου.

Ένα αυτοπεριστρεφόμενο τρίγωνο μέσω του δείκτη υποδεικνύει σε κάθε κύκλο Σάρου το εκάστοτε 8ώρο διόρθωσης της ώρας της έκλειψης (0, +8, +16) σύμφωνα με τον ~54ετή κύκλο του «εξελιγμού»).

14.2.2 Εκδοχή Β: Σύμφωνα με τον Κύκλο Εκλείψεων του Ιππάρχου

Περιφερειακά της ωρολογιακής πλάκας τοποθετήθηκε ένας δακτύλιος που φέρει σε σπειροειδή διάταξη τους 5458 συνοδικούς μήνες των 345,97916 ετών του κύκλου εκλείψεων του Ιππάρχου, κατανεμημένους σε 9 σπείρες των 546 μηνών και μία των 544 μηνών, με συντομογραφική καταγραφή των δεδομένων των πιθανών εκλείψεων. Με είσοδο τον άξονα του ηλίου και 6 γρανάζια με σχέσεις $172/13*12/17*63/*17$ προκύπτει έξοδος 34,610593 ετών δηλ. ίση με την απαιτούμενη τιμή των $34,610593*5458/345,97916=548$ μηνών. Ο άξονας της εξόδου περιστρέφει έναν τηλεσκοπικό δείκτη ο οποίος μέσω ενός εγκάρσιου πύρου ακολουθεί τη σπειροειδή αύλακα και υποδεικνύει στο δακτύλιο τον τρέχοντα συνοδικό μήνα που προβλέπεται να πραγματοποιηθεί έκλειψη ηλίου ή σελήνης μαζί με την ώρα εμφάνισής τους. Το συνολικό σφάλμα της μηχανικής



Εικόνα 20. Η εκδοχή (2) φέρει τον τηλεσκοπικό περιστρεφόμενο δείκτη πλήρων και κοίλων μηνών ως ακόλουθο της σπειροειδούς αύλακας του σταθερού 19ετούς ημερολογιακού δίσκου των 5 σπειρών ενώ η εκδοχή (3) τον παρασυρόμενο ημεροδείκτη πλήρων και κοίλων μηνών ως ακόλουθο της σπειροειδούς (19 σπειρών) αύλακας του περιστρεφόμενου 19ετούς ημερολογιακού δίσκου (οπίσθια όψη). Και οι δύο φέρουν τον ταλαντευόμενο περιστρεφόμενο ωροδείκτη ως ακόλουθο της έκκεντρης αύλακας του δίσκου, το περιστρεφόμενο εποχιακό ημερολόγιο με τις μετεωρολογικές, κ.ά. προβλέψεις, τις προβλεπόμενες εκλείψεις . Απαιτούνται χειροκίνητης παρέμβασης μίας φοράς κάθε 19 έτη στον ημεροδείκτη, μίας ακόμη κάθε 76 και μίας επιπλέον κάθε 304 έτη.

15. Η Προσομοίωση του Μηχανισμού Παραγωγής των Εκλείψεων

Η γλαφυρή σχετική περιγραφή της μηχανικής ουράνιας σφαίρας που περιγράφει ο Κικέρων στο «Περί Πολιτείας 1.3» μας βάζει στην ισχυρή υποψία ότι από την εποχή του Αρχιμήδη είχε επιχειρηθεί η τρισδιάστατη οπτική προσομοίωση των εκλείψεων. Αν αυτό είναι πραγματικό γεγονός τότε θα ήταν μάλλον απίθανο να μην έχει εφαρμοστεί και στο ωρολόγιο του Κυρρήστου.

Για τη μηχανική προσομοίωση των εκλείψεων ηλίου και σελήνης και της μορφής τους (π.χ. μερική, ολική, δακτυλιοειδής, κ.ά.) α) κατασκευάστηκε μία στεφάνη του ζωδιακού κύκλου και τοποθετήθηκαν πλέον όλα τα κινούμενα ουράνια σώματα στο εκλειπτικό επίπεδο, β) τοποθετήθηκε ο δίσκος της σκιάς της γης αντιδιαμετρικά του ηλίου, γ) επιλέχτηκαν διάμετροι ηλίου - μέσης σελήνης που εφάπτονταν σε φαινόμενη γωνία ($360^\circ \cdot 1/640 = 0,5^\circ$) και διάμετρος σκιάς γης εφάπτομενη σε φαινόμενη γωνία $2,5 \cdot 0,5^\circ = 1,25^\circ$ (Ιππάρχος), δ) προσομοιώθηκαν μηχανικά σε δύο ανεξάρτητες εκδοχές (Α και Β) η λοξή τροχιά 5° της σελήνης και η αυξομειούμενη ταχύτητα και απόστασή της από τη γη, ε) τοποθετήθηκαν διπλά κάτοπτρα $\sim 45^\circ$ στο κέντρο της εκλειπτικής για την οπτική παρατήρηση των φαινομένων χωρίς παράλλαξη επί του ζωδιακού (δηλ. εκλειπτικά μήκη και πλάτη χωρίς παραμόρφωση), στ) δημιουργήθηκε ένας απομακρυσμένος σκοπευτικός δακτύλιος επί του οριζοντίου άξονα του μηχανισμού για την ακριβή ανάγνωση (χωρίς παράλλαξη) όλων των ακτινικών ενδείξεων.

Η σχετική τεχνολογία των ελατηρίων, τηλεσκοπικών σωλήνων, επίσχεστρων, έκκεντρων και ακολούθων της Α εκδοχής είχε εφαρμοστεί από τον 3ο αι. π.Χ. στα περίφημα «αυτόματα» της Αλεξάνδρειας ενώ η Β εκδοχή βασίστηκε στον άμεσο μετασχηματισμό επικυκλική θεωρία χωρίς την απαίτηση αυτών των μηχανολογικών διατάξεων.

15.1 Εκδοχή Α: Η Διάταξη για τη Λοξή Τροχιά της Σελήνης και την Αυξομειούμενη Ταχύτητα και Απόστασή της από τη Γη, με τη Χρήση Δύο Έκκεντρων Κύκλων και Ακολούθων.

Για την προσομοίωση της φαινομενικά ανώμαλης τροχιάς της σελήνης κατά πλάτος επί της εκλειπτικής και των (πιθανών) εκλείψεων (εικ. 21) τοποθετήθηκε ένας πύρος στον σωληνίσκο της σελήνης που ακολουθεί ένα λοξό αυλάκι σε έναν (κοίλο) κύλινδρο με την κλίση (5°) της σεληνιακής τροχιάς επί του εκλειπτικού επιπέδου παρόμοια με τον πολυβόλο καταπέλτη του Διονυσίου του Αλεξανδρέως. Παράλληλα σχεδιάστηκε ένα αυξομειούμενο διάκενο (επί του τετράγωνου τμήματος του σωληνίσκου) μεταξύ της σταθερής βάσης του δείκτη του ηλίου και του ολισθαίνοντος γранаζιού του, ώστε αυτό να είναι πάντα σε επαφή με το γρανάζι-κορώνα της διάταξης της σελήνης, με τη βοήθεια του παρεμβαλλόμενου ελατηρίου επαναφοράς. Για την κίνηση του κυλίνδρου υπολογίστηκαν 4 γρανάζια με εναλλακτικές σχέσεις βάσει των κύκλων α) Μέτωνος (με αναγωγή από το Σάρο), β) Σάρου και γ) Ιππάρχου που αποδίδουν διαφορετικά τις τιμές του πίνακα 11. Ο θεατής παρατηρώντας από το κεντρικό σκόπευτρο (μέσω του κατοπτρικού πρισματίου και μηδενικής σχεδόν οπτικής παράλλαξης) θα μπορεί να παρακολουθεί την τροχιά της σελήνης στη ζωδιακή ζώνη και να διακρίνει την πιθανότητα μίας (βόρειας ή νότιας, μερικής ή ολικής) ηλιακής ή σεληνιακής έκλειψης όπως ακριβώς τις περιγράφει ο Κικέρων (εικ. 23α).

Με έναν επιπλέον μηχανισμό ακτινικής μετατόπισης της σελήνης (Εικόνα 21) χρονισμένο με την υπάρχουσα προσομοίωση της φαινόμενης ταχύτητας περιγείου-απογείου και του άξονά τους για κάθε εναλλακτική περίπτωση είναι δυνατή η παρατήρηση επιπλέον χαρακτηριστικών μίας έκλειψης π.χ. αν θα είναι δακτυλιοειδής, αν θα είναι υπερπανσέληνος, κ.ά. (Εικόνα 23β). Ο εγκάρσιος δείκτης που είναι χρονισμένος με τον αστρικό μήνα της σελήνης αντικαταστάθηκε με

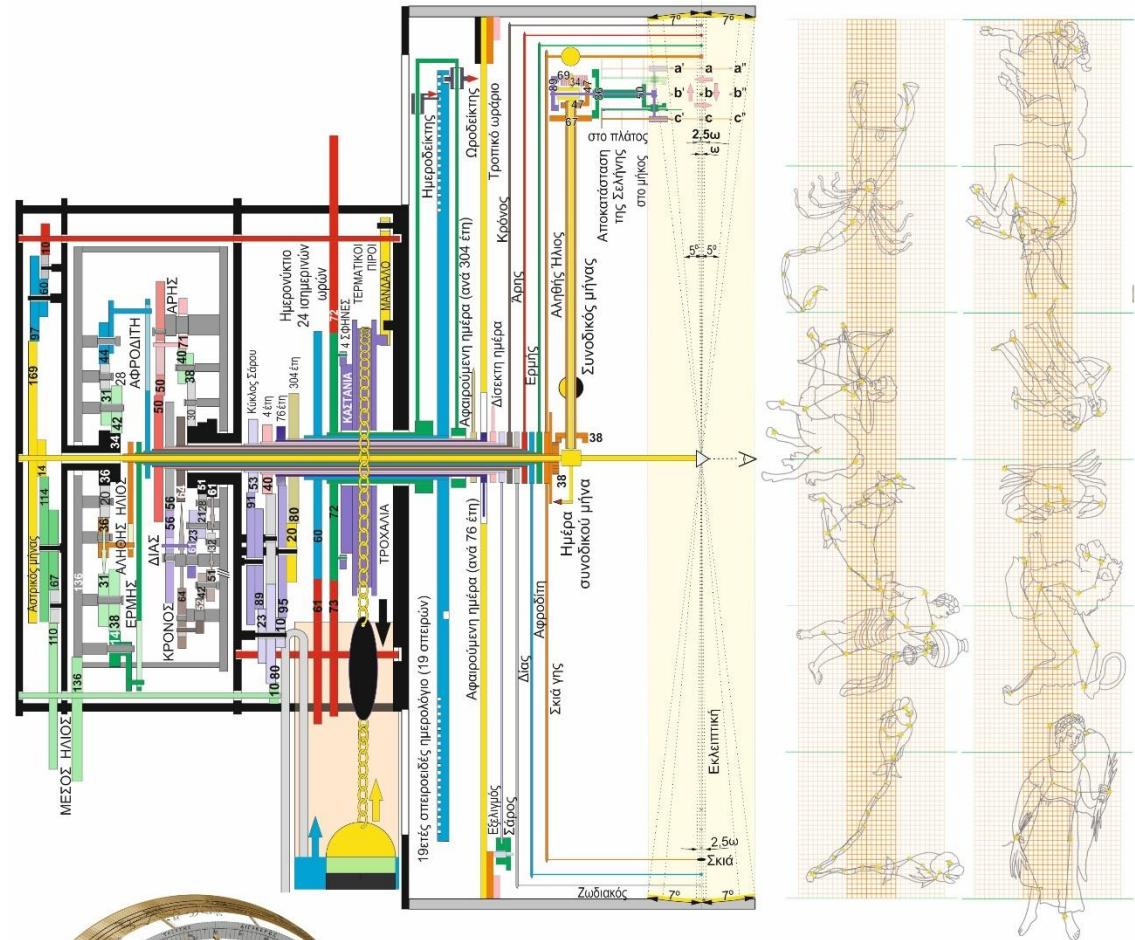
βοήθεια ενός ελατηρίου επαναφοράς. Η διάταξη κορώνας-πινιόν για την μετατροπή του αστρικού σε συνοδικό μήνα μεταφέρεται πλέον στην άκρη της τηλεσκοπικής διάταξης. Από τη διαφορική κίνηση προκύπτουν οι σχετικές τιμές του πίνακα 11.

Πίνακας 11. Προκύπτουσες τιμές του μηχανισμού παραγωγής των εκλείψεων σε σχέση με τις θεωρητικές των κύκλων α) Μένωνος (με αναγωγή από το Σάρο), β) εκλείψεων Σάρου και γ) εκλείψεων Ιππάρχου.

	Θεωρητική	Προσομοιωμένη	Σήμερα
Αστρικός μήνας (ημ.)	α) 27,32185 β) 27,32168 γ) 27,32168	α) 27,32185 [ΠΙΝΑΚΑΣ 2] β) 27,32167 [ΠΙΝΑΚΑΣ 2] γ) 27,32167 [ΠΙΝΑΚΑΣ 2]	27,32166
Άξονας κόμβων (έτη/περιστροφή)	α) 18,58116 β) 18,579 γ) 18,59576	α) $1/\{1-[(57*59)/(95*97)]\}=18,58117$ β) $1/\{1-[(89/70*64/86)]\}=18,58025$ γ) $1/\{1-[(69*89)/(59*110)]\}=18,59599$	
Αριθμός αστρικών μηνών / περ/φή άξονα κόμβων		α) $18,58117*365,25/27,32185=248,401$ β) $18,58025*365,25/27,32167=248,390$ γ) $18,59599*365,24667/27,32167=248,59838$	
Σεληνιακές ταλαντώσεις 5° κατά πλάτος*		α) $248,401+1=249,401$ β) $248,390+1=249,390$ γ) $248,59359+1=249,59838$	
Δρακωνικός μήνας (ημ.)	α) 27,21231 β) 27,21212 γ) 27,21223	α) $18,58117*365,25/249,401=27,21230$ β) $18,58025*365,25/249,390=27,21214$ γ) $18,59599*365,24667/249,59838=27,21221$	27,21222
Άξονας αψίδων (έτη/περιστροφή)	α) 8,88260 β) 8,88366 γ) 8,85010	α) 8,88260 [ΠΙΝΑΚΑΣ 2] β) 8,88366 [ΠΙΝΑΚΑΣ 2] γ) 8,85000 [ΠΙΝΑΚΑΣ 2]	
Αριθμός αστρικών μηνών / περ/φή άξονα αψίδων		α) $8,88260*365,25/27,32185=118,74634$ β) $8,88366*365,25/27,32167=118,76129$ γ) $8,85*365,24667/27,32167=118,31023$	
Σεληνιακές ταλαντώσεις κατά μήκος*		α) $118,74634-1=117,74634$ β) $118,76129-1=117,76129$ γ) $118,31023-1=117,31023$	
Ανωμαλιστικός μήνας (ημ.)	α) 27,55389 β) 27,55369 γ) 27,55457	α) $8,88260*365,25/117,74634=27,55389$ α) $8,88366*365,25/117,76129=27,55368$ γ) $8,85*365,24667/117,31023=27,55457$	27,55455
* της εκλειπτικής			

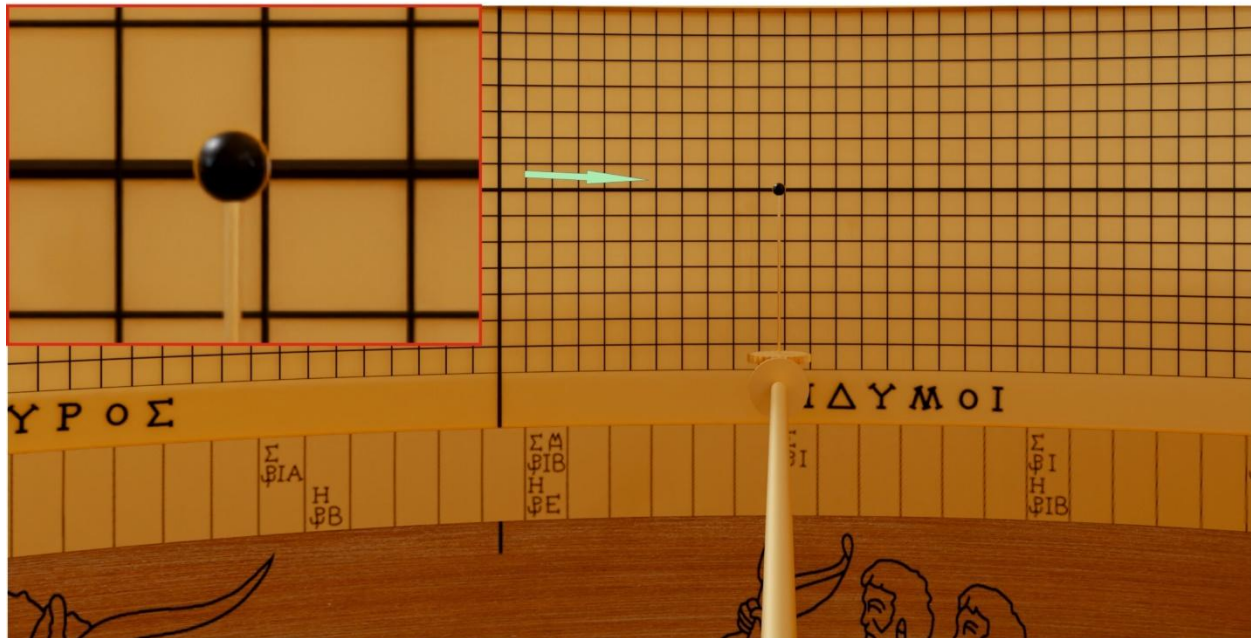
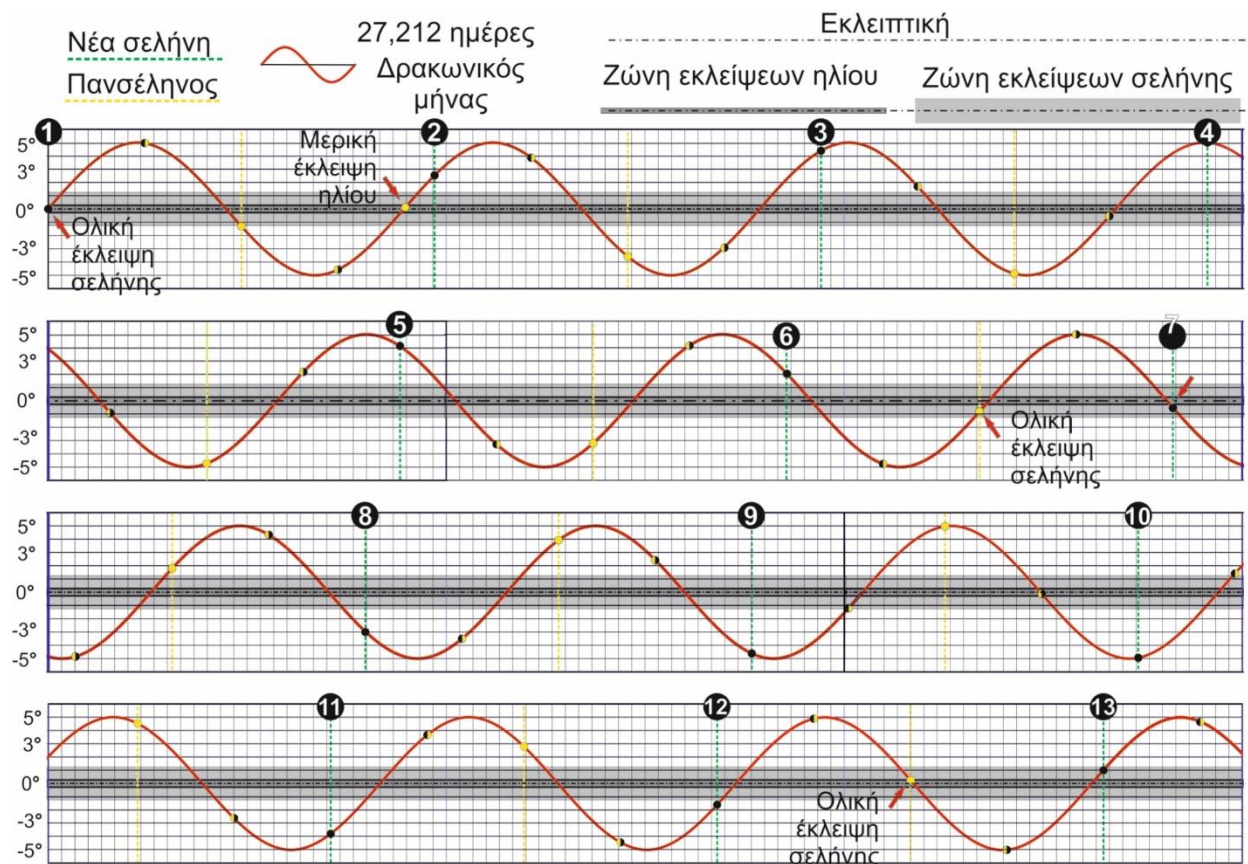
15.2 Εκδοχή Β: Η Διάταξη για τη Λοξή Τροχιά της Σελήνης και την Αυξομειούμενη Ταχύτητα και Απόστασή της από τη Γη με Εφαρμογή της Επικυκλικής Θεωρίας

Στην περίπτωση αυτή η ανώμαλη κατά μήκος τροχιά της σελήνης προσομοιώνεται από τη μηχανική διάταξη φέροντος κύκλου και επικύκλου (Εικόνα 22) με λόγο $(247+1/2)/(3122+1/2)$



Εικόνα 22. Η εκδοχή (5) του αμφίπλευρου ωρολογίου με τις μηχανικές διατάξεις (της εκδοχής Β) της λοξής τροχιάς της σελήνης και της αυξομειούμενης απόστασης από τη γη σύμφωνα με την έκκεντρη και επικυκλική θεωρία. Το ωρολόγιο πλέον υποδεικνύει εκτός των άλλων την απεικόνιση και την 3D προσομοίωση παραγωγής των εκλείψεων, με την απαίτηση χειροκίνητης παρέμβασης μίας φοράς κάθε 19 έτη, μίας ακόμη κάθε 76 και μίας επιπλέον κάθε 304.

=0,10422 σύμφωνα με τη σχετική επικυκλική εκτίμηση του Ιππάρχου και αποδίδει διαφορά ~20%



Εικόνα 23. α) Η προκύπτουσα τρισδιάστατη προσομοίωση των εκλείψεων του ωρολογίου. β) Η πρόβλεψη ως δακτυλιοειδούς στην 11^ο των Διδύμων της επερχόμενης έκλειψης ηλίου της 1/6/2030 στην ψηφιακή προσομοίωσή μας του ωρολογίου με έναρξη την 21/6/2020.

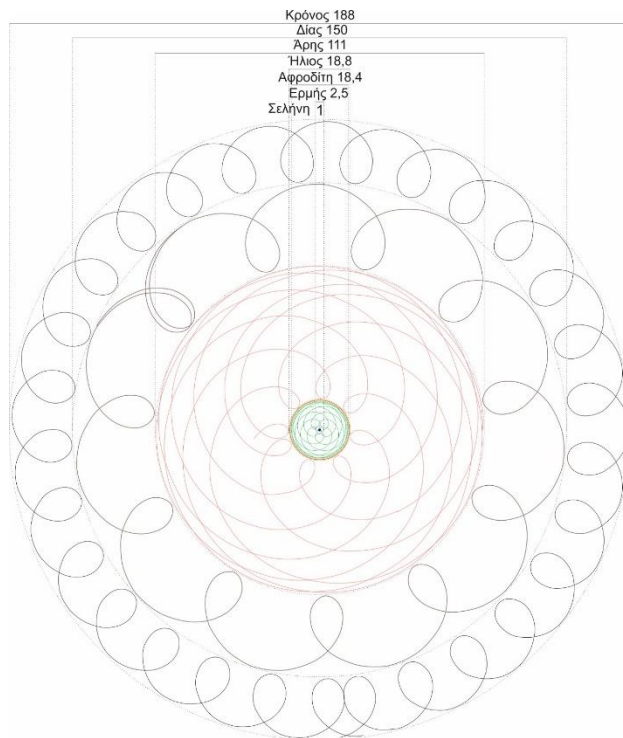
στις φαινόμενες διαστάσεις της σελήνης κατά το περίγειο και το απόγειο. Ο φέρων κύκλος

περιστρέφεται με το μέσο αστρικό μήνα ενώ ο επίκυκλος με τον ανωμαλιστικό.

Η κατά πλάτος τροχιά προσομοιώθηκε από την παλινδρόμηση 5 της σελήνης ως ακόλουθος μίας έκκεντρης ακτινωτής στεφάνης που περιστρέφεται με το δρακωνικό μήνα. Με εναλλακτικές μηχανικές σχέσεις δρακωνικού - ανωμαλιστικού μήνα ως προς το συνοδικό αντίστοιχες των τριών εφαρμοζόμενων κύκλων υπολογίζονται οι τιμές του πίνακα 12.

Πίνακας 12. Προκύπτουσες τιμές του μηχανισμού παραγωγής των εκλείψεων σε σχέση με τις θεωρητικές των κύκλων α) Μέτωνος, β) εκλείψεων Σάρου και γ) εκλείψεων Ιππάρχου.

	Θεωρητική	Προσομοιωμένη	Σήμερα
Αστρικός μήνας (ημ.)	α) 27,32185 β) 27,32168 γ) 27,32168	α) 27,32185 [ΠΙΝΑΚΑΣ 2] β) 27,32167 [ΠΙΝΑΚΑΣ 2] γ) 27,32167 [ΠΙΝΑΚΑΣ 2]	27,32166
Συνοδικός μήνας (ημ.)	α) 29,53085 β) 29,53064 γ) 29,53059	α) 29,53085 [ΠΙΝΑΚΑΣ 2] β) 29,53056 [ΠΙΝΑΚΑΣ 2] γ) 29,53057 [ΠΙΝΑΚΑΣ 2]	29,53059
Δρακωνικός μήνας (ημ.)	α) 27,21231 β) 27,21212 γ) 27,21222	α) $29,53085 \cdot 41/47 \cdot 75/71 = 27,21228$ β) $29,53056 \cdot 49/50 \cdot 63/67 = 27,21219$ γ) $29,53057 \cdot 49/50 \cdot 63/67 = 27,21220$	27,21222
Ανωμαλιστικός μήνας (ημ.)	α) 27,55389 β) 27,55369 γ) 27,55457	α) $29,53085 \cdot 34/47 \cdot 89/69 = 27,55484$ β) $29,53056 \cdot 34/47 \cdot 89/69 = 27,55457$ γ) $29,53057 \cdot 34/47 \cdot 89/69 = 27,55458$	27,55455



Εξωτερική τροχιά Κρόνου = 10 * Εξωτερική τροχιά Ηλίου
= 75 * Εξωτερική τροχιά Ερμή
= 188 * Εξωτερική τροχιά Σελήνης

Εικόνα 24. Η επεκτεινόμενη χωροθέτηση των πλανητικών τροχιών σύμφωνα με την επικυκλική (ή έκκεντρη) θεωρία απαγορεύει στην πράξη τη μηχανική προσομοίωση της θέσης τους. Μάλιστα η εκκεντρότητα των φερόμενων κύκλων επιβάλλει ακόμη μεγαλύτερες αποστάσεις όπως αυτές που υπολογίζει ο Πτολεμαίος μαζί με τις διαμέτρους τους στις «Πλανητικές υποθέσεις» του.

16. Η Τρισδιάστατη Προσομοίωση της Θέσης όλων των Ουρανίων Σωμάτων στο Χώρο

Στην περίπτωση αυτή (που εκτός από τη διεύθυνση εμφανίζεται και η θέση) απαιτούνται από την περιφέρεια προς το κέντρο βαθμιδωτές σμικρύνσεις των επικυκλικών τροχιών των πλανητών ώστε να μην υπάρχει πιθανότητα σύγκρουσης (Εικόνα 24) που είναι όμως αναποτελεσματική λύση στην πράξη αφού π.χ. προκύπτει λόγος διαμέτρων τροχιών Σελήνης/ Κρόνου=1:150 χωρίς να λάβουμε υπόψιν τις εκκεντρότητες των φέροντων κύκλων που είχε επισημάνει πρώτος ο Ίππαρχος και εφάρμοσε ο Πτολεμαίος.

17. Εγκατάσταση του Πλανηταρίου στην Οροφή του Κτηρίου



Εικόνα 25. Η εκδοχή με την εγκατάσταση του πλανηταρίου στην οροφή του κτηρίου. (Μακέτα Μουσείου Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας)

Η δελεαστική πιθανότητα αυτή, κατασκευαστικά δείχνει να συνάδει με τις υψομετρικές θέσεις των εσωτερικών περιμετρικών διαζωμάτων και τη διάμετρο του μνημείου και τα ίχνη ζωγραφισμένων άστρων στην οροφή του και μπορούμε να την αναπαραστήσουμε ως εξής:

Στο 3ο διάζωμα από το δάπεδο στηρίζεται ο μηχανισμός του πλανηταρίου, στο 2ο ο κωνικός δακτύλιος του ζωδιακού, και στο 4ο ο κεντρικός κινητήριος άξονας με το σύστημα αντιβάρου τροχαλιών και αλυσίδας. Από οποιαδήποτε θέση με στόχο την ακμή ενός κατακόρυφου αξονίσκου προέκτασης με σφαιρίδιο (γνώμονα) μπορούν οι παρατηρητές να παρακολουθούν (διαβάζουν) τις εκάστοτε εκλειπτικές συντεταγμένες των ουρανίων σωμάτων, τις εκλείψεις και το είδος τους (εικ. 25).

18. Αξιολόγηση Προτεινόμενων Λύσεων

Στον πίνακα 13 επιχειρείται η αξιολόγηση και επιλογή της πιθανότερης συνδυαστικής εκδοχής για την ανακατασκευή του ωροημερολογίου-πλανηταρίου.

Πίνακας 13. Αξιολόγηση και επιλογή της πιθανότερης συνδυαστικής εκδοχής του ωροημερολογίου-πλανηταρίου.

	Εκδοχές	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<i>Προπορία Τυμπάνου:</i>	1/365	Μικρό μέγεθος γραναζιών	1 χειροκίνητη παρέμβαση κάθε 4 έτη
	1/365,25	Ακριβέστερη προσέγγιση Καμία χειροκίνητη παρέμβαση	Μεγάλο μέγεθος γραναζιών
<i>Προσομοίωση τροχιών σελήνης-ηλίου σύμφωνα με:</i>	Κύκλο Μέτωνος		Υποδεέστερη προσέγγιση
	Κύκλο εκλείψεων Σάρου	Ακριβέστερη προσέγγιση	
	Κύκλο εκλείψεων Ιππάρχου	Ακριβέστερη προσέγγιση	
<i>Προσομοίωση πλανητών σύμφωνα με τις περιόδους:</i>	«Έτους- στόχος»	Απλούστερη κατασκευή	Υποδεέστερες προσεγγίσεις
	Μηχανισμού Αντικυθήρων	Ακριβέστερη προσέγγιση της Αφροδίτης από ACT	Υποδεέστερη από ACT προσέγγιση Κρόνου
	«ACT»	Ακριβέστερη προσέγγιση πλην της Αφροδίτης	
<i>Ωρολόγιο και αστρονομικό (εποχιακό) ημερολόγιο με:</i>	Έκκεντρο τύμπανο		Ανάγκη ζυγοστάθμισης με αντίβαρα
	Έκκεντρη αύλακα σε ομόκεντρο δίσκο	Πληρέστερος αστρικός χάρτης Ευχερέστερη καταγραφή εποχιακών δεδομένων	
<i>Σεληνοηλιακό ημερολόγιο με δακτυλίου:</i>	2 παρασυρόμενους ετήσιους	Άμεση υπόδειξη της ημέρας του μήνα	Αρκετές χειροκίνητες επεμβάσεις ανά 19 έτη Ανάγκη 4 δεικτών
	1 σταθερό σπειροειδή 19 ετή	1 χειροκίνητη παρέμβαση μετά από 19 έτη	Έμμεση υπόδειξη της ημέρας του μήνα στην κλίμακα της σελήνης Ανάγκη 1 δείκτη
	1 παρασυρόμενο σπειροειδή 19 ετή με 1 περιστρ./έτος	Άμεση υπόδειξη της ημέρας του μήνα μέσω του άξονα του ωροδείκτη 1 μόνο χειροκίνητη παρέμβαση μετά από 19 έτη	

Απεικόνιση δίσκου:	Μονόπλευρη	Απλούστερη	
	Αμφίπλευρη	Άμεση υπόδειξη της ημέρας του μήνα Συνάδει με το δίσκο του Σάλτσμπουργκ και τη χωροθέτηση στο κέντρο	
Προσομοίωση θέσης σελήνης κατά μήκος με:	Έκκεντρο δίσκο και ακόλουθο με ελατήριο επαναφοράς	Οικονομία χώρου	
	Επικυκλική μηχανική διάταξη όμοια με τη γεωμετρική	Ακριβής μηχανική προσομοίωση με τη γεωμετρική	
Προσομοίωση θέσης σελήνης σε πλάτος με:	Έκκεντρη αύλακα και ακόλουθο με ελατήριο επαναφοράς		
	Έκκεντρο δίσκο και ακόλουθο	Απλούστερη κατασκευή	
Καταγραφή εκλείψεων:	1 παρασυρόμενο σπειροειδή ~18 ετή με 1 περιστρ./έτος	1 χειροκίνητη παρέμβαση μετά από ~18 έτη	Περιορισμένος χώρος
	Σταθερό ~18ετή δακτύλιο Σάρου	1 χειροκίνητη παρέμβαση μετά από 54 έτη	Χρήση 1 επιπρόσθετου χρονισμένου δείκτη
Άμεση απεικόνιση εκλείψεων:	Με έκκεντρος κύκλους		
	Με έκκεντρο κύκλο και επίκυκλους	Συνάδει με τη θεωρητική ερμηνεία	
Απεικόνιση όλων των πλανητών ως προς τη:	Θέση	Εκτίμηση της θέσης κάθε πλανήτη στο χώρο Επικυκλική μηχανική διάταξη όμοια με τη γεωμετρική	Αδυναμία κατασκευής λόγω της διαδοχικής αυξανόμενης σμίκρυνσης των τροχιών από την πε-ριφέρεια προς το κέντρο
	Διεύθυνση	Απλούστερη κατασκευή	Αδυναμία εκτίμησης της θέσης στο χώρο
Τοποθέτηση πλανηταρίου	Ενσωματωμένο στο ωρο-ημερο-λόγιο	Ένοποιημένη κατασκευή	
	Στην οροφή του μνημείου	Αιτιολόγηση διαζωμάτων	

Οι υπογραμμισμένες εκδοχές αξιολογούνται ως καταλληλότερες και πιθανότερες σε κάθε μία από τις επιμέρους παραμέτρους της ανακατασκευής.

19. Επίλογος

Αρκετά «μηχανικά εγχειρίδια» προς «μαθητευόμενους μηχανικούς» επιβίωσαν ως τις ημέρες μας (στο πρωτότυπο κείμενο ή σε λατινική και αραβική απόδοση). Χαρακτηριστικά παραδείγματα η «Μηχανική σύνταξη» του Φίλωνος του Βυζαντίου (3ος αι. π.Χ.) και τα έργα του Ήρωνος που διασώζουν εξαιρετικές εφευρέσεις των «παλιών» όπως λέγει δηλ. των μηχανικών του 3ου και 2ου αι. π.Χ. Δυστυχώς η πλειονότητα «τεχνικών» βιβλίων και όλων σχεδόν των σχεδιασμάτων απωλέσθησαν, όπως π.χ. τα κορυφαία έργα του Κτησιβίου και οι περιγραφές των περίφημων (άγνωστων σε μας) μηχανών του Αβδάραξου. Έτσι χάθηκαν και οι τρόποι κατασκευής γεωκεντρικών πλανηταρίων που περιγράφονταν στα βιβλία «Περί σφαιροποιίας» του Αρχιμήδη και του Ποσειδωνίου, των οποίων τα πραγματικά μοντέλα ευτύχησε να περιεργαστεί ο Κικέρων. Από την άλλη διασώθηκε έστω και αποσπασματικά το θεωρητικό έργο σπουδαίων αστρονόμων όπως του Ιππάρχου (κυρίως μέσω του Πτολεμαίου) κ.ά. ενώ περιγράφηκαν λεπτομερώς από το Βιτρούβιο η λειτουργία τριών διαφορετικών υδραυλικών ωρολογίων.

Οι φαινόμενες ανώμαλες τροχιές γης, σελήνης, ηλίου και πλανητών είχαν εξηγηθεί προσομοιωθεί με τις επικυκλικές και έκκεντρες θεωρίες που Ιππάρχου (αν όχι ήδη από την εποχή του Απολλωνίου). Συνοδικές περίοδοι και διάρκεια έτους είχαν παρατηρηθεί και υπολογιστεί με ακρίβεια.

Τεχνικά, η δυνατότητα χάραξης και κοπής μετωπικών, κάθετων και πλανητικών γραναζιών και διάταξής τους σε περιορισμένο χώρο με τη μέγιστη οικονομία καθιστούσε πλέον εφικτή και τη μηχανική προσομοίωσή τους. Το καταπληκτικό αρχαιολογικό εύρημα του «Μηχανισμού των Αντικυθήρων» αποδεικνύει την εξαιρετική ικανότητα στην ωρολογοποιία. Επιστημονικά και τεχνικά οι Έλληνες ήταν πλέον ικανοί να μοντελοποιήσουν τον ουράνιο κόσμο.

Στην ανακατασκευή μας προσομοιώθηκαν εναλλακτικά και με εξαιρετική ακρίβεια όλες οι πιθανές θεωρητικές αστρονομικές σχέσεις που ήταν με βεβαιότητα γνωστές στους αστρονόμους του 2ου αι. π.Χ. δηλ.

α) για τις πλανητικές συνοδικές περιόδους οι καταγραφές από το «έτος-στόχος», τις “ACT” ή το μηχανισμό των Αντικυθήρων,

β) για τη σελήνη οι περίοδοι που προκύπτουν από το κύκλο του Μέτωνα, του Σάρου ή του Ιππάρχου,

γ) για τον ήλιο η εκκεντρότητα που αποδίδει το αποδεκτό μήκος εποχών, κ.ά.

Η πλήρης μηχανική μοντελοποίηση και στις τρεις διαστάσεις και η οπτική προσομοίωση των εκλείψεων υποδεικνύουν την τεχνική δυνατότητα επίτευξής τους και στην αρχαιότητα ενώ δικαιολογούν και εξηγούν τη σχετική περιγραφή του Κικέρωνος. Η ψηφιακή προσομοίωση με έναρξη την 21/6/2020 προβλέπει όντως ως δακτυλιοειδή στην 11^ο των Διδύμων την επερχόμενη έκλειψη της 1/6/2030.

Η ευτυχής μαθηματική συγκυρία μηχανοποίησης ημέρας – έτους 1/365,25 που εντοπίσαμε με τέσσερα μόνο γρανάζια, σιγουρεύει την εύρεσή της και από τον αρχαίο σχεδιαστή του ωρολογίου και τη χρήση της στην αυτοματοποίηση της (προηγούμενης) χειροκίνητης μετατόπισης του δείκτη κάθε ημέρα (διαδοχικά στις 365 οπές του έκκεντρου τυμπάνου). Η μονόδρομη φορά της συστοιχίας όλων των εμπλεκόμενων γραναζιών επιτρέπει την κατάλληλη τοποθέτηση των δεικτών ώστε να εξουδετερώνεται το αρχικό συσσωρευμένο σφάλμα που προκύπτει από το λειτουργικό διάκενο των οδόντων τους επιτυγχάνοντας εξαιρετική ακρίβεια.

Το φαινόμενο του σιφωνισμού ήταν η προσφιλής μέθοδος για την αέναη επανάληψη μίας περιοδικής δράσης στα ελληνιστικά αυτόματα. Η άεργη επιστροφή μίας κίνησης (καστάνια) και ο ακόλουθος σε κυλινδρική αύλακα είχαν ήδη επιλυθεί από τον 3ο αι. π.Χ. (π.χ. πολυβόλος καταπέλτης Διονυσίου) ενώ το γραμμικό επίσχεστρο με σφήνες εφαρμοζόταν ακόμη και στους γαστραφέτες. Ασφαλείς τερματικές διατάξεις εξασφάλιζαν τον αυτόματο επανασυγχρονισμό μετά από κάποιο ατυχές περιστατικό. Τα ελάχιστα απαιτούμενα βάρη πλωτήρα και αντιβάρου 3Kg και 1,5Kg αντίστοιχα (στην πράξη 30Kg και 15Kg για λόγους ασφαλείας), η ενεργή διαδρομή τους και τα μεγέθη ωρομετρικού και ενσωματωμένου δοχείου σταθερής στάθμης που προέκυψαν από την πειραματική αρχαιολογία της ανασύστασης, συνάδουν με το διαθέσιμο χώρο κάτω από τον πυθμένα της σωζόμενης δεξαμενής και το επιθυμητό (ανθρωπομετρικά) κέντρο θέασης της ωρολογόπλακας αντίστοιχα. Επομένως η ελκυστική ομοαξονική σωληνωτή διάταξη μεταφοράς της κίνησης πλανητών και ημερολογιακών δεικτών (υπόδειξης ή διόρθωσης) είναι ισχυρά πιθανότερη από μία περιφερειακή διάταξη με πολλαπλά καντράν.

Η ανάγκη των πολιτών (προγραμματισμός πολιτιστικών εορτών, κ.ά.) για την αξιόπιστη υπόδειξη σε ένα δημόσιο χώρο της τρέχουσας σεληνιακής ημερομηνίας επιβάλλει την αυτοματοποιημένη ενσωμάτωση (στο ωρολόγιο) του πολύπλοκου «κοινού» σεληνοηλιακού ημερολογίου καθημερινής χρήσης αλλά ίσως και του «επιστημονικού» με την εμβόλιμη ημέρα (του Γεμίνου).

Η ενσωματωμένη αυτοματοποίηση ενός αστρονομικού (εποχιακού) και πλανητικού ημερολογίου σε πραγματικό χρόνο συνάδει αφενός με την ανάγκη εύρεσης των κατάλληλων εποχιακών δραστηριοτήτων των πολιτών και αφετέρου με τον εντοπισμό κατάλληλων εκπαιδευτικών - επιστημονικών δράσεων των αστρονόμων. Παράλληλα καλύπτει και την ανάγκη αστρολογικών προβλέψεων για τα εύπιστα άτομα του πληθυσμού .

Η χρονική περίοδος κατασκευής του ωρολογίου συμπίπτει με την αιχμή της απόλυτης αυτοματοποίησης και της τέχνης του εντυπωσιασμού (π.χ. αυτόματα πάρεργα στα υδραυλικά ωρολόγια, ποικίλα «πνευματικά» αυτόματα, κ.ά. Αν μάλιστα είχαν υιοθετηθεί οι κύκλοι του Ιππάρχου ο ηλιακός ημερολογιακός του κύκλος θα απέδιδε υπερδιπλάσια ακρίβεια από το υποδεέστερο Ιουλιανό ημερολόγιο που επιβίωσε για 1600 (-2000 σε κάποια έθνη) χρόνια ενώ η μηχανική προσομοίωση της σελήνης (αν εξακολουθούσε να λειτουργεί) θα υποδείκνυε σωστά την επερχόμενη νέα σελήνη μας με σφάλμα μόνο 2 ωρών.

Τέλος, η κυρίαρχη άποψη ότι το ωρολόγιο είναι ευεργέτημα του Ανδρόνικου προς την πόλη συνάδει με την εποχή της οικονομικής ευμάρειας επιφανών Μακεδόνων αλλά και της δημοφιλούς τάσης ανέγερσης εξαιρετικών χορηγικών τεχνολογικών «θαυμάτων» (π.χ. φάρος Δεξιφάνους).

Όλα αυτά προβάλλουν την ισχυρή πεποίθηση ότι υπήρξε ένας αυτόματος σύνθετος ωρο(ημερο)λογιακός μηχανισμός-πλανητάριο σαν αυτόν που περιγράψαμε που αποτελούσε ένα τεχνολογικό-επιστημονικό θαύμα και παράλληλα ένα λαμπρό κομψοτέχνημα αντάξιο του πολυτελούς μαρμάρινου πύργου που το στέγαζε και δυστυχώς αφανίστηκε σε ένα νέο κόσμο που σπαρακτικά θρηνεί ο Παλλαδάς:

Πεθάναμε και ζούμε μόνο στο μυαλό μας,
ω, άνδρες Έλληνες, στη συμφορά σκυφτοί,
πιστεύοντας ότι η ζωή 'ναι στ' όνειρό μας
ή μήπως ζούμε 'μείς κι' είν' η ζωή νεκρή.

16. Βιβλιογραφία

- Αγγελόπουλος, Α., 2007. *Κλαυδίου Πτολεμαίου «Μηχανική σύνταξις» βιβλ. Α-Ι*. Αθήνα: Ελεύθερη σκέψις.
- Θεοδοσίου, Σ., Δανέζης Μ., 1995. *Η Οδύσσεια των ημερολογίων, Αναζητώντας τις ρίζες της γνώσης*. Αθήνα: Δίαυλος.
- Κοτσανάς, Κ. 2006. *Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία*. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Λέφας Π., 2000. *Βιτρουβίου «Περί Αρχιτεκτονικής», βιβλ. Α-Ι*
- Ντεληγιάννης, Ι., 2015. *Κικέρωνα: Περί Πολιτείας*. Αθήνα: Καρδαμίτσα
- Ομάδα Μελέτης Μηχανισμού Αντικυθέρων, 2012. *Λειτουργίες και ομοιώματα του μηχανισμού των Αντικυθέρων, Το ναυάγιο των Αντικυθέρων - το Πλοίο, οι Θησαυροί, ο Μηχανισμός*. Αθήνα: Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο, Κατάλογος έκθεσης.
- Σβορώνος, Ν., 1900, *(Απικόν λαϊκόν ημερολόγιον) Η ζωφόρος του Αγ. Ελευθερίου*. Αθήνα: Αρμονία, Επιστημονικό Περιοδικόν Σύγγραμμα, έτος Α, τεύχος 3.
- Σπανδάγος, Ε., 2002. *Η «Εισαγωγή εις τα φαινόμενα» του Γεμίνου του Ροδίου*. Αθήνα: Αίθρα.
- Σπανδάγος, Ε., 2004. *Η «Μαθηματική συναγωγή» του Πάππου του Αλεξανδρέως, βιβλ. Α-Η*. Αθήνα: Αίθρα.
- Σπανδάγος, Ε., 2002. *Οι «Καταστερισμοί» του Ερατοσθένους του Κυρηναίου*. Αθήνα: Αίθρα.
- Σπανδάγος, Ε., 2002. *Το έργο του Ιππάρχου «Των Αράτου και Ευδόξου φαινομένων εξηγήσεως»*. Αθήνα: Αίθρα.
- Σπανδάγος, Ε., 2002. *Ευκλείδης ο Αλεξανδρεύς «Τα οπτικά και τα κατοπτρικά»*. Αθήνα: Αίθρα.
- Σπανδάγος, Ε., 2002. *Το «Περί μεγεθών και αποστημάτων Ηλίου και Σελήνης» του Αριστάρχου του Σαμίου*. Αθήνα: Αίθρα.
- Σταμάτης, Ε., 1974. *Τα πλήρη έργα του Αρχιμήδη*. Αθήνα: Τ.Ε.Ε.
- Allen M., W. Ambrisco, M. Anastasiou, D. Bate, Y. Bitsakis, A. Crawley, M.G. Edmunds, D. Gelb, R. Hadland, P. Hockley, A. Jones, T. Malzbender, H. Mangou, X. Moussas, A. Ramsey, J. Seiradakis, JM Steele, A.Tselikas, M. Zafeiropoulou, 2016. *General preface to the publication of the inscriptions*. *Almagest: International Journal for the History of Scientific Ideas*, V7.1, pp. 4-35.
- Anagnostakis, C. 1985. *The Arabic Version of Ptolemy's Planisphaerium*. Yale: Ph.D. diss., Yale University.
- Anastasiou, M., Y. Bitsakis, A. Jones, X. Moussas, A. Tselikas, H. Zafeiropoulou, 2016. *The Front Cover Inscriptions*. *Almagest: International Journal for the History of Scientific Ideas*, V7.1. pp.250-297.
- M. Anastasiou, Y. Bitsakis, A. Jones, JM Steele, M. Zafeiropoulou, 2016. *The Back Dial and Back Plate Inscriptions*. *Almagest: International Journal for the History of Scientific Ideas*, V7.1. pp.138-215.
- Bitsakis Y., A. Jones, 2016. *The Front Dial and Parapegma Inscriptions*. *Almagest: International Journal for the History of Scientific Ideas*, V7.1, pp.68-137.
- Bitsakis Y., A. Jones, 2016. *The Back Cover Inscriptions*. *Almagest: International Journal for the History of Scientific Ideas*, V7.1. pp.216-249.
- Budiselic, C. A.Thoeni, M. Dubno, A. Ramsey, 2020. *The Antikythera Mechanism-Evidence of a Lunar Calendar 1*. British Horological Institute <https://bhi.co.uk/wp-content/uploads/2020/12/BHI-Antikythera-Mechanism-Evidence-of-a-Lunar-Calendar.pdf>

- Evans, J., C. Carman C., A. Thorndyke, 2010. *Solar anomaly and planetary displays in the Antikythera Mechanism*. *Journal for the History of Astronomy*. xli (1): 1–39.
- Freeth, T., Y. Bitsakis, X. Moussas, J.H Seiradakis, A. Tselikas, H. Mangou, M. Zafeiropoulou, κ.ά., 2006. *Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism*. *Nature*: 444 (7119): 587–591.
- Freeth, T, A. Jones, J. Steele, Y. Bitsakis, 2008. *Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism*. *Nature*. 454 (7204) pp. 614–617
- Freeth, T, A. Jones, 2012. *The Cosmos in the Antikythera Mechanism*, ISAW Papers 4. Institute for the Study of the Ancient World, <https://dlib.nyu.edu/awdl/isaw/isaw-papers/4/>.
- Freeth, T, D. Higgon, A. Dacanalis, L. MacDonald, M. Georgakopoulou, A. Wojcik, 2021. *A Model of the Cosmos in the ancient Greek Antikythera Mechanism*. *Nature*: 11. 17361 pp. 6.
- Goldstein, B., 1967. *The Arabic Version of Ptolemy's Planetary Hypotheses*. 4 Philadelphia: American Philosophical Society. *Transactions of the American Philosophical Society, New Series, Vol. 57, No. 4*, pp. 3-55.
- Hase., H., 1839. *Ιωάννης Φιλόπονος: Περί τής του αστρολάβου χρήσεως και κατασκευής*. Βόνηη: Ed. Weberi.
- Jones, A., 2016. *Historical Background and Parapegma Inscriptions*. *Almagest: International Journal for the History of Scientific Ideas*, V7.1. pp.36-67.
- Jones, A., 2017. *A Portable Cosmos: Revealing the Antikythera Mechanism, Scientific Wonder of the Ancient World*. Oxford: Oxford University Press.
- Kieanast J. H., 2014, *Der Turm der Winde in Athens*. Berlin: Dr Ludwig Reichert Verlag.
- Noble, J. V.; J. D. Price, 1968. *The Water Clock in the Tower of the Winds*. *American Journal of Archaeology*,V72,N4)
- Sidoli, N., Berggren, J., L., *The Arabic version of Ptolemy's Planisphere or Flattening the Surface of the Sphere: Text, Translation, Commentary*. *SCIAMVS* 8 (2007), 37–139)
- Svoronos, J.N., 1899. *Der athenische Volkskalender* Athen: Barth und von Hirst.
- Toomer, G.J. 1980. Hipparchus' Empirical Basis for His Lunar Mean Motions. *Centaurus* 24: pp. 97-109.
- Wright M., 2006. *Understanding The Antikythera Mechanism*. Athens: Technical Chamber of Greece, Proceedings 2nd International Conference on Ancient Greek Technology, pp. 49-60.
- Wright M., 2013. *Archimedes, Astronomy, and the Planetarium*. New York University, Courant Institute: Archimedes in the 21st Century: Proceedings of a World Conference at the Courant Institute of Mathematical Sciences pp.125-141)

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/planetfact.html>





ΑΙΓΙΔΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Υπουργείο Πολιτισμού

ΧΟΡΗΓΟΙ



ΤΕΧΝΙΚΟ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΤΗΡΙΟ
ΕΛΛΑΔΑΣ



ΟΜΙΛΟΣ ΤΕΚ ΤΕΡΝΑ

ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ



ΜΕΓΑΡΟ
ΜΟΥΣΙΚΗΣ
ΑΘΗΝΩΝ