



**3<sup>ο</sup> Διεθνές Συνέδριο  
Αρχαίας Ελληνικής  
και Βυζαντινής Τεχνολογίας**

**19-21 Νοεμβρίου 2024**  
**ΜΕΓΑΡΟΝ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΑΘΗΝΩΝ**

**3<sup>rd</sup> 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](http://www.edabyt.gr)), σε ψηφιακή μορφή, των εργασιών του 3<sup>ου</sup> 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](http://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.



## Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΩΝ: ΕΝΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΓΙΑ ΣΧΟΛΕΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ Ή ΕΝΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΟΡΓΑΝΟ ΑΚΡΙΒΟΥΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ.

Κυριάκος Ευσταθίου<sup>1,2\*</sup>, Μαριάννα Ευσταθίου<sup>1</sup>, Αλέξανδρος Μπασιακούλης<sup>1</sup> και Νεόφυτος Κόκκινος<sup>2</sup>

1 Διεπιστημονικό Κέντρο Έρευνας & Προβολής του Μηχανισμού των Αντικυθήρων «Ιωάννης Σειραδάκης», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ομότιμος Καθηγητής ΑΠΘ διευθυντής του κέντρου

2 Εργαστήριο Ψηφιακής Πολιτιστικής Κληρονομιάς, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών και Πληροφορικής, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου  
Email: [efstathi@auth.gr](mailto:efstathi@auth.gr)

**Περίληψη.** Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων είναι μια συσκευή με οδοντωτούς τροχούς, κατασκευασμένη μεταξύ 100 και 200 π.Χ., η οποία λειτουργούσε με το χέρι και προέβλεπε τη θέση του ήλιου και της σελήνης στον ουρανό, τη φάση της σελήνης, εκλείψεις του Ήλιου και της Σελήνης, τις ημερομηνίες έναρξης των στεφανιτών αγώνων που γίνονταν στην αρχαία Ελλάδα (π.χ. Ολυμπιακοί Αγώνες) κ.α. (Price 1974, Wright 2003, Wright 2005, Freeth et al. 2006, Ramsey 2007, Efstathiou et al. 2012, Kaltsas et al. 2012, Anastasiou et al. 2013, Jones 2017, Seiradakis, Edmunds 2018, Efstathiou K., Efstathiou M. 2018, Efstathiou K, Efstathiou M, Basiakoulis 2022).

Ένα από τα ερωτήματα που απασχολεί τη διεθνή επιστημονική ερευνητική κοινότητα είναι αν ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων ήταν ένα επιστημονικό όργανο για την ασφαλή πρόβλεψη αστρονομικών φαινομένων ή ένα εκπαιδευτικό εργαλείο για τις σχολές αστρονομίας της αρχαιότητας.

Αυτό το άρθρο ασχολείται με την ακρίβεια των προβλέψεων του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, προσπαθώντας να δώσει απάντηση σε αυτό το ερώτημα.

**Λέξεις-κλειδιά:** Μηχανισμός Αντικυθήρων, Οδοντωτοί τροχοί, Αρχαία Αστρονομία, Αρχαία Τεχνολογία.

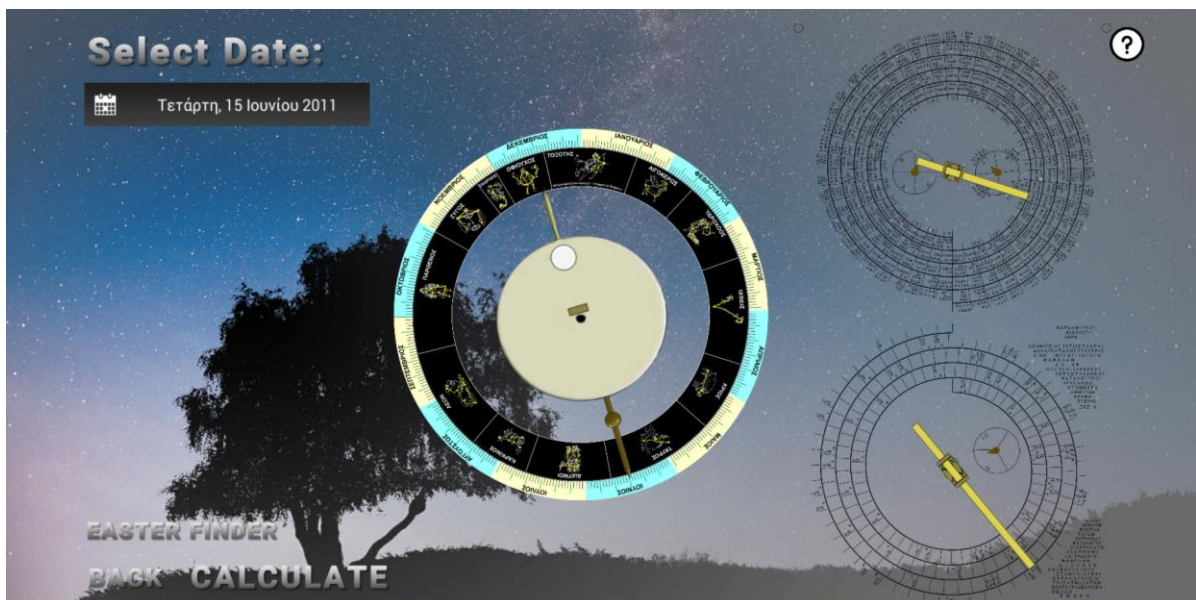
### 1 Εισαγωγή

Για την επαλήθευση της ακρίβειας των προβλέψεων του Μηχανισμού έχει κατασκευαστεί ένα φυσικό λειτουργικό μοντέλο του Μηχανισμού προσαρμοσμένο στην σημερινή εποχή (σχήμα 1) και αντίστοιχα έχει αναπτυχθεί μια εφαρμογή σε εικονική πραγματικότητα χρησιμοποιώντας λειτουργικό σύστημα Windows. Στην εφαρμογή οι ενδείξεις των δεικτών και στις δύο πλευρές του Μηχανισμού παρουσιάζονται σε μορφή εικόνας (όπως και στο

φυσικό μοντέλο) και όχι σαν αριθμητικό αποτέλεσμα (σχήμα 2). Η εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα πρόβλεψης σε βάθος χρόνου γρήγορα. Για να γίνει κατανοητό, αν το ζητούμενο είναι μια πρόβλεψη για 50 χρόνια από σήμερα, ο δείκτης της σελήνης θα έπρεπε να περιστραφεί περισσότερες από 655 φορές για να βρεθεί ο δείκτης ηλίου–ημερομηνίας εντός του 50ού έτους (Basiakoulis 2017). Είναι κατανοητό ότι με το φυσικό μοντέλο είναι δύσκολες και χρονοβόρες τέτοιες προβλέψεις σε βάθος χρόνου. Με την αναπτυχθείσα εφαρμογή αυτό είναι δυνατό μέσα σε μερικά δευτερόλεπτα. Η εφαρμογή βοηθά επίσης και στην πιο εύκολη κατανόηση του μηχανισμού, καθιστώντας τον πιο προσιτό στο ευρύ κοινό.



Σχήμα 1. Φυσικό λειτουργικό μοντέλο του Μηχανισμού προσαρμοσμένο στην σημερινή εποχή (αριστερά η εμπρόσθια όψη, δεξιά η οπίσθια όψη)

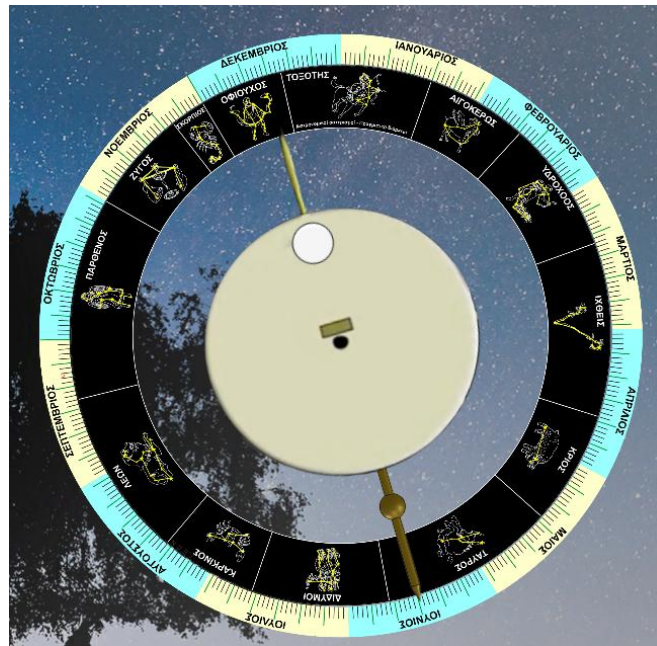


Σχήμα 2. Εφαρμογή σε εικονική πραγματικότητα προσομοίωσης του Μηχανισμού των Αντικυθήρων

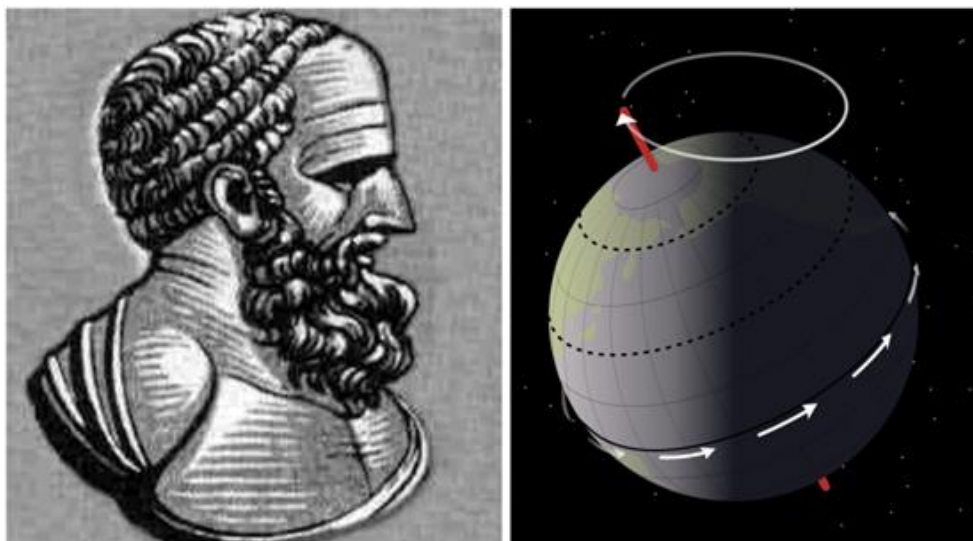
Μια ιδιαιτερότητα της εφαρμογής, καθώς και του αντίστοιχου φυσικού μοντέλου σχετίζεται με την κλίμακα των ζωδίων. Οι ομόκεντρες κλίμακες των ημερομηνιών και των ζωδίων στην εμπρόσθια πλευρά του Μηχανισμού έχουν επανασχεδιαστεί ώστε να αντιστοιχούν στο

παρόν. Η μόνη διαφορά του μοντέλου αυτού από τον αρχαίο Μηχανισμό είναι αυτές οι δύο ομόκεντρες κλίμακες των ενδείξεων στην εμπρόσθια πλάκα. (Σχήμα 3).

Λόγω της παρέλευσης περίπου 2150 ετών από την εποχή κατασκευής του Μηχανισμού και λόγω του φαινομένου της μετάπτωσης των ισημεριών, οι αστερισμοί του ζωδιακού κύκλου έχουν περιστραφεί κατά 30 μοίρες περίπου. Το φαινόμενο της μεταπτωτικής κίνησης της γης ήταν γνωστό στην αρχαιότητα την εποχή κατασκευής του μηχανισμού και ο Ίππαρχος ήταν ο πρώτος που υπολόγισε αυτήν την κίνηση (Σχήμα 4). Θεωρείται ο πατέρας της αστρονομίας, και πιθανότατα ο κατασκευαστής του Μηχανισμού.



Σχήμα 3. Οι ομόκεντρες κλίμακες των ημερομηνιών και των ζωδίων όπως έχουν επανασχεδιαστεί ώστε να αντιστοιχούν στο παρόν.



Σχήμα 4. Ο Ίππαρχος αριστερά και η μεταπτωτική πορεία της γης με διάρκεια 25772 ετών δεξιά

Η μετάπτωση των ισημεριών είναι η κίνηση των ισημεριών κατά μήκος της εκλειπτικής, που προκαλείται από την κυκλική μετάπτωση του άξονα περιστροφής της Γης με περίοδο

25.772 ετών. Αυτό σημαίνει ότι 25.772 χρόνια αντιστοιχούν σε 360 μοίρες μετάπτωσης των ισημεριών. Αν αναλογιστούμε ότι ο Μηχανισμός κατασκευάστηκε γύρω στο 150 π.Χ., σημαίνει ότι έχουν περάσει περίπου 2.170 χρόνια. Επομένως, οι ισημερίες, και αντίστοιχα ο Ζωδιακός κύκλος έχει μετατοπιστεί κατά 30 μοίρες  $(2170 \times 360)/25.772 = 30,1$  μοίρες).

Η επανασχεδίαση των κλιμάκων των ημερομηνιών και των ζωδίων έγινε για να είναι δυνατόν να διεξαχθούν προβλέψεις στη σημερινή εποχή που να μπορούν στη συνέχεια να ελεγχθούν με ακρίβεια, συγκρίνοντας τις με επιστημονικά δεδομένα όπως π.χ. από την ιστοσελίδα της NASA.

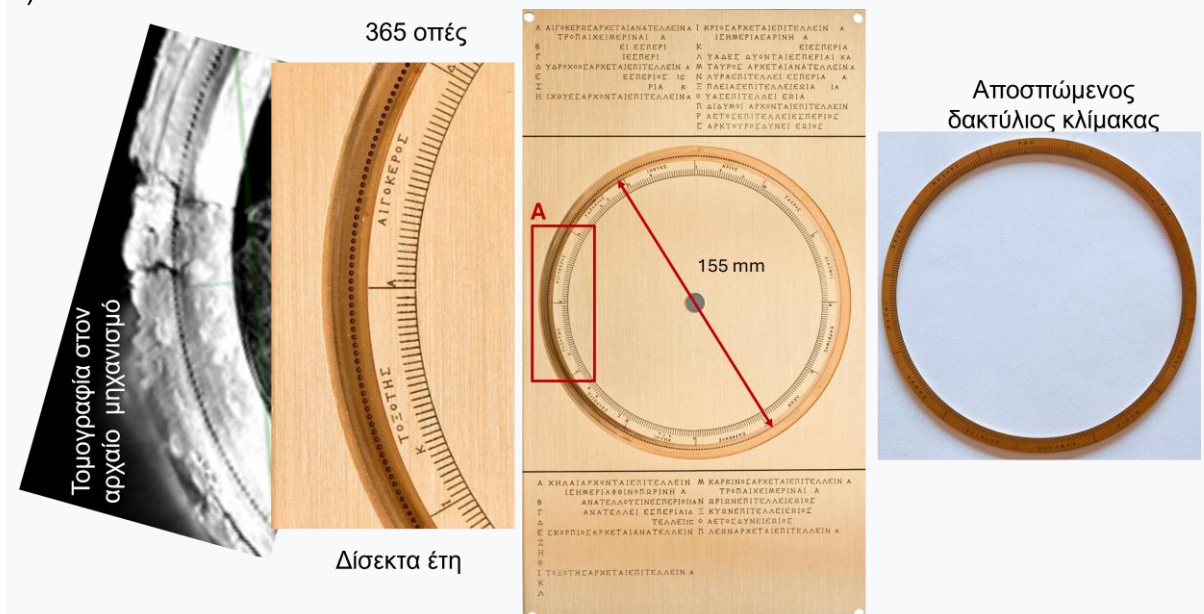
## 2 Επιστημονικό όργανο για την ασφαλή πρόβλεψη αστρονομικών φαινομένων ή ένα εκπαιδευτικό εργαλείο για τις σχολές αστρονομίας της αρχαιότητας.

### 2.1 Πολυπλοκότητα της κατασκευής του Μηχανισμού

Αν ο Μηχανισμός ήταν απλός ένα εκπαιδευτικό εργαλείο δεν θα ήταν απαραίτητη η ακρίβεια και λεπτομέρειες που λήφθηκαν υπόψη στο σχεδιασμό του και καθιστούσαν πολύ δυσκολότερο το σχεδιασμό του και την κατασκευή του. Τρία ενδεικτικά παραδείγματα:

#### 1<sup>ο</sup> παράδειγμα, το διάτρητο αυλάκι στην εμπρόσθια πλευρά του μηχανισμού

Κάτω από την εξωτερική ετήσια κλίμακα, η οποία είχε την μορφή ενός αποσπώμενου δακτυλίου, υπήρχαν 365 οπές, διαμέτρου περίπου μισού χιλιοστού. Ο δακτύλιος στερεωνόταν σε μια από τις τρύπες χρησιμοποιώντας ένα πείρο. Οι οπές ευρίσκονται εντός ενός κυκλικού αύλακα διαμέτρου 155mm, μέσα στον οποίο κούμπωνε ο δακτύλιος (Σχήμα 5).



Σχήμα 5. Ο αποσπώμενος δακτύλιος των ημερομηνιών και ο κυκλικός αύλακας με τις 365 οπές

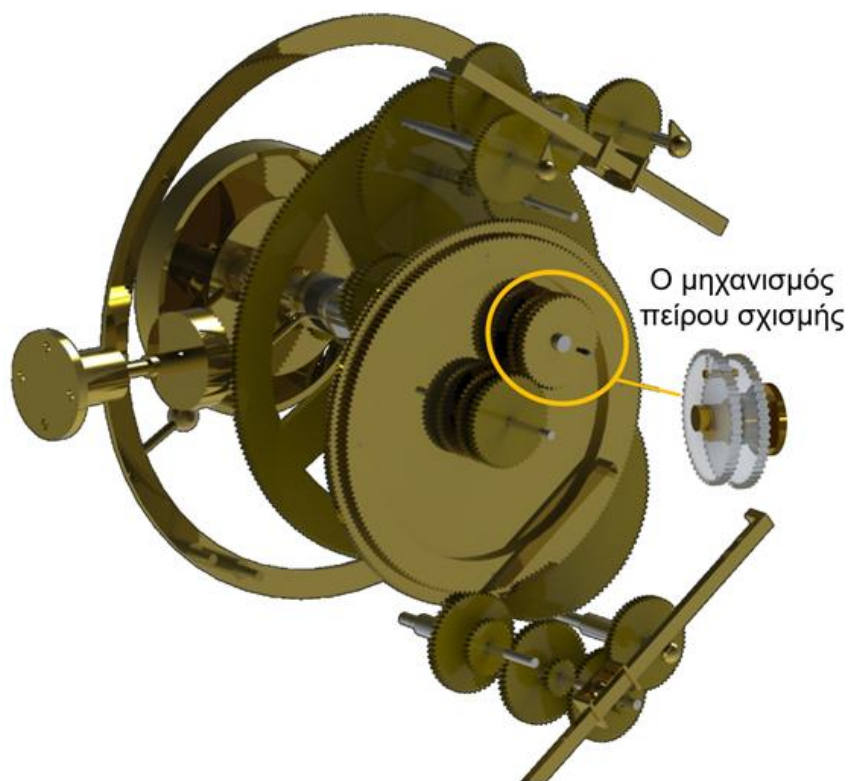
Κάθε τέσσερα χρόνια ο χειριστής μπορούσε να αποσπάσει τον δακτύλιο και περιστρέφοντάς τον, να τον μετατοπίσει κατά μία οπή λαμβάνοντας έτσι υπόψη τα δίσεκτα έτη. Για την κατασκευή του έπρεπε πρώτα να προσδιοριστούν με ακρίβεια και να

σχεδιαστούν οι θέσεις των οπών. Η διαίρεση σε 365 ίσα τόξα, της περιφέρειας του κύκλου πάνω στον οποίο ευρίσκονται οι οπές στον κυκλικό αύλακα διαμέτρου 155mm, χωρίς τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, είναι και σήμερα μια πολύ δύσκολη διαδικασία, που πολλοί λίγοι θα μπορούσαν να τη φέρουν εις πέρας. Στη συνέχεια έπρεπε να γίνει η διάτρηση των 365 οπών διαμέτρου περίπου 0,6mm κάτι δύσκολο και για τη σημερινή εποχή. Επιπλέον έπρεπε να κατασκευαστεί η εγχάρκτη κλίμακα των ημερομηνιών σαν ξεχωριστό στοιχείο μορφής κυκλικού δακτυλίου. Τίθεται το ερώτημα αν μια τόσο πολύπλοκη κατασκευή ήταν αναγκαία για ένα εκπαιδευτικό εργαλείο? Η γνώμη μας είναι όχι.

## **2<sup>ο</sup> παράδειγμα, ο μηχανισμός πείρου σχισμής (προσομοίωση ελλειπτικής πορείας της σελήνης).**

Ενδιαφέρον τμήμα του Μηχανισμού είναι η αλυσίδα των γραναζιών που υπολογίζει τις φάσεις της σελήνης και την ανώμαλη τροχιά της. Ο Μηχανισμός περιλάμβανε ένα σύστημα γραναζιών που προσομοιώνει αυτήν την κίνηση με εκπληκτική ακρίβεια (Wright 2005, Wright 2005, Seiradakis, Edmunds 2018, Freeth et al. 2006, Efstathiou K., Efstathiou M. 2018, Gourtsoyannis 2010).

Η προσομοίωση αυτής της κίνησης βασιζόταν στη χρήση δύο εκκεντρων γραναζιών (σχήμα 6). Η αξονική απόσταση του άξονα περιστροφής των δύο γραναζιών ήταν περίπου 1,1 mm. Το ένα γρανάτζι είχε έναν πείρο, ο οποίος ολίσθαινε μέσα σε μια σχισμή του δεύτερου γραναζιού αναγκάζοντάς το να περιστραφεί. Λόγω της εκκεντρότητας των αξόνων περιστροφής των δύο συνεργαζόμενων γραναζιών, κατά τη διάρκεια περιστροφής του δεύτερου γραναζιού μεταβαλλόταν η ακτίνα περιστροφής του, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται και η γωνιακή του ταχύτητα.



Σχήμα 6. Ο μηχανισμός πείρου σχισμής που προσομοιώνει την ελλειπτική πορεία της σελήνης (Efstathiou M. 2018)

Έπειτα από μια αλληλουχία συνεργαζόμενων γριναζιών, η περιστροφική αυτή κίνηση, με μεταβαλλόμενη τη γωνιακή ταχύτητα, μεταδίδεται στο δείκτη της σελήνης, έτσι ώστε να προσομοιωθεί σωστά η τροχιά της γύρω από τη Γη με μεταβαλλόμενη γωνιακή ταχύτητα. Ουσιαστικά πρόκειται για προσομοίωση του 2<sup>ου</sup> νόμου του Κέπλερ.

Σύμφωνα με μία έρευνα που έγινε από το Τμήμα Μαθηματικών Επιστημών σε Πανεπιστήμιο της Σαουδικής Αραβίας, η συγκεκριμένη διάταξη προσομοιώνει την πραγματική κίνηση της Σελήνης, με ακρίβεια 99.65% (Gourtsoyannis 2010).

Λαμβάνοντας υπόψη το βαθμό δυσκολίας αυτής της κατασκευής, τίθεται ξανά το ερώτημα αν ήταν αναγκαία μια τόσο ακριβής προσομοίωση για ένα εκπαιδευτικό εργαλείο?

Η ύπαρξη του συστήματος πείρου σχισμής, δημιουργεί μία μεταβολή στην κίνηση του δείκτη της σελήνης, η οποία δεν γίνεται εύκολα αισθητή από το ανθρώπινο μάτι. Σε μία εκπαιδευτική διάταξη κάτι τέτοιο δεν θα είχε νόημα ύπαρξης καθώς η ένδειξη θα ήταν αρκετά κοντά στην πραγματικότητα. Η διάταξη αυτή, με την ακρίβεια που προσθέτει στις ενδείξεις του Μηχανισμού, είναι ένα σημαντικό επιχείρημα ως προς την χρήση του, καθώς τέτοια ακρίβεια κίνησης θα είχε νόημα και θα ήταν απαραίτητη μόνο σε ένα επιστημονικό όργανο.

### **3<sup>ο</sup> παράδειγμα, η κλίμακα των εκλείψεων Σάρως**

Στο πίσω μέρος του Μηχανισμού υπάρχουν δύο σπειροειδής κλίμακες (Freeth, Jones, Steele, Bitsakis 2008, Anastasiou, Seiradakis, Carman, Efstathiou 2014, Wright 2003). Οι κλίμακες εικονίζονται στο σχήμα 7. Στο πάνω μέρος της πλάκας υπήρχε η κλίμακα του Μέτωνα, μία σπείρα με 5 περιελίξεις, διαιρεμένη σε 235 τμήματα, που αντιστοιχούν στους 235 σεληνιακούς μήνες (19 έτη) της περιόδου του Μέτωνα.

Στο κάτω μέρος της πλάκας υπήρχε η κλίμακα της περιόδου Σάρως, μια ελικοειδής κλίμακα που είχε 4 περιελίξεις. Το συνολικό μήκος της ήταν διαιρεμένο σε 223 τμήματα, που αντιστοιχούν στους 223 μήνες της περιόδου των εκλείψεων. Στους μήνες της περιόδου του Σάρως, στους οποίους προβλέπεται ότι θα γίνει μια έκλειψη, υπήρχαν εγχάρακτα σύμβολα που δήλωναν το είδος της έκλειψης, Ηλιακή ή Σεληνιακή καθώς και την ώρα που θα συμβεί.

Τόσο η σπείρα του Μέτωνα όσο και αυτή του Σάρως είναι σχεδιασμένες με δύο ημικύκλια με διαφορετικό κέντρο. Ο δείκτης είναι στερεωμένος στο ένα από τα δύο κέντρα (Anastasiou, Seiradakis, Carman, Efstathiou 2014, Anastasiou 2014).

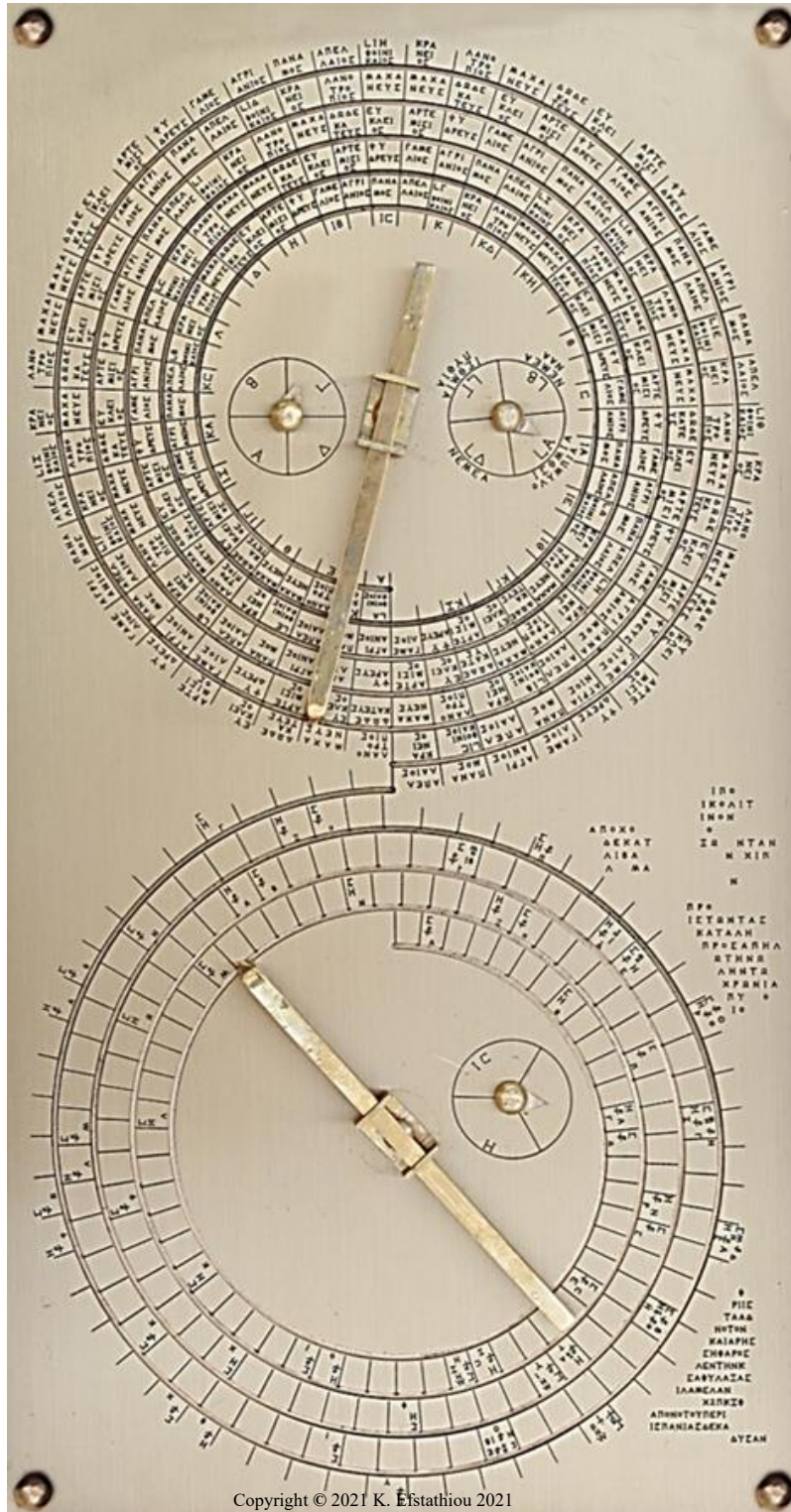
Στην περίπτωση της κλίμακας του Σάρως (βλέπε σχήμα 8) ο δείκτης είναι στερεωμένος στο κέντρο των ημικυκλίων που βρίσκονται αριστερά του κατακόρυφου άξονα. Η εκκεντρότητα που δημιουργείται, εξαιτίας της κατασκευής της σπείρας ως σπείρας ημικυκλίων θα είχε σαν αποτέλεσμα όταν το άκρο του δείκτη ευρίσκεται σε υποδιαιρέσεις στο δεξιό μέρος των σπειρών ο δείκτης να μην δείχνει σωστά τις ενδείξεις.

Ο σχεδιαστής του μηχανισμού σκέφτηκε και εργάστηκε με ένα ευφυή τρόπο για να λύση το πρόβλημα και να αντισταθμίσει το σφάλμα έτσι ώστε ο μηχανισμός να προβλέπει σωστά τις εκλείψεις.

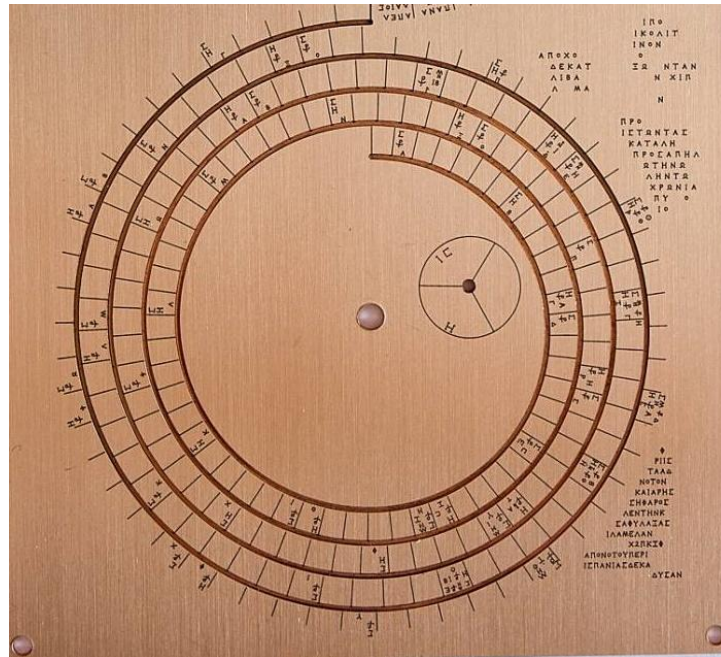
Η εκκεντρότητα που θα δημιουργούνταν, εξαιτίας της κατασκευής των σπειρών ως σπείρες ημικυκλίων, στην ανάγνωση των ενδείξεων του δείκτη για εκείνο το ήμισυ της σπείρας του οποίου το κέντρο δεν συμπίπτει με το κέντρο του δείκτη αποφεύγεται επιδέξια καθώς αποδείχτηκε από αναλυτικές μελέτες ότι οι διαχωριστικές γραμμές αυτών των υποδιαιρέσεων έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε το κέντρο στο οποίο δείχνουν να είναι το κέντρο του δείκτη. Η τεχνική αυτή έχει ως αποτέλεσμα ολοένα αυξανόμενα σε μήκος τόξα σε εκείνο το ήμισυ της σπείρας του οποίου το κέντρο δεν συμπίπτει με το κέντρο του δείκτη (δεξιό μέρος της σπείρας του Σάρως) (Anastasiou, Seiradakis, Carman, Efstathiou 2014,



Anastasiou 2014). Με αυτό τον τρόπο αντισταθμίζεται το σφάλμα και ο μηχανισμός δείχνει σωστά. Θέτω πάλι το ερώτημα, ήταν όλες αυτές οι λεπτομέρειες απαραίτητες για ένα εκπαιδευτικό εργαλείο? Η γνώμη μας είναι όχι.



Σχήμα 7. Οι σπειροειδείς κλίμακες του Μέτωνα (πάνω) και του Σάρος (κάτω)



Σχήμα 8. Οι σπειροειδής κλίμακα του Σάρου

## 2.2 Ρύθμιση και λειτουργία του Μηχανισμού

Όπως είναι γνωστό κάθε επιστημονικό όργανο πρέπει:

- προτού τεθεί σε λειτουργία να ρυθμιστεί
- να ελέγχεται και να αναρυθμίζεται σε τακτά χρονικά διαστήματα
- να χρησιμοποιείται από έμπειρο προσωπικό που έχει τις απαραίτητες δεξιότητες να χειριστεί το όργανο καθώς και τις απαραίτητες γνώσεις του αντικειμένου με το οποίο σχετίζεται το όργανο, ακολουθώντας πιστά τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Υποθέτοντας ότι ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων είναι επιστημονικό όργανο πρέπει και για αυτόν να ισχύουν οι παραπάνω προϋποθέσεις.

## 2.3 Ρύθμιση – βαθμονόμηση του Μηχανισμού

Για να γίνει σωστή ρύθμιση του Μηχανισμού ήταν και είναι απαραίτητη η γνώση των ενδείξεων του Μηχανισμού, δηλ. το πότε θα συμβούν τα διάφορα αστρονομικά φαινόμενα και τα άλλα γεγονότα (όπως οι στεφανίτες αγώνες) που προβλέπει ο Μηχανισμός, για μια διάρκεια περίπου ενός αιώνα, γιατί τόση είναι η περίπου ακρίβεια του κύκλου του Σάρου, με βάση τον οποίο ο Μηχανισμός προβλέπει τις εκλείψεις. Υποθέτουμε ότι την εποχή κατασκευής του Μηχανισμού, εποχή στην οποία έζησε ο πατέρας της αστρονομίας και μεγαλύτερος αστρονόμος όλων των εποχών ο Ίππαρχος, οι κατασκευαστές του Μηχανισμού είχαν αυτή γνώση. Να επισημανθεί ότι ο Ίππαρχος θεωρείται ως ο πιθανότερος κατασκευαστής του Μηχανισμού (Seiradakis, Edmunds 2018, Efstathiou K., Efstathiou M. 2018).

Στην αρχική ρύθμιση του Μηχανισμού υπάρχει μια σημαντική λεπτομέρεια, που σχετίζεται με τον μηχανισμό πείρου σχισμής που αναφέρθηκε παραπάνω, ο οποίος προσομοιώνει την ελλειπτική πορεία της σελήνης γύρω από τη γη. Πρέπει ο Μηχανισμός να ρυθμιστεί έτσι ώστε στο περίγειο της σελήνης, οπότε η σελήνη έχει τη μεγαλύτερη ταχύτητα περιφοράς της γύρω από την γη, ο πείρος να βρίσκεται στην μεγαλύτερη απόσταση από το κέντρο του οδοντωτού τροχού (σχήμα 6) που έχει τη σχισμή. Αυτός ο οδοντωτός τροχός μεταδίδει τη

κίνηση μέσω μιας αλυσίδας οδοντωτών τροχών στο δείκτη της σελήνης. Με αυτή τη ρύθμιση ο δείκτης της σελήνης αποκτά τη μέγιστη ταχύτητα περιστροφής την ημέρα που η σελήνη βρίσκεται στο περίγειο της.

Οι ενδείξεις του μηχανισμού πρέπει να ελέγχονται διαχρονικά και ο Μηχανισμός να αναρυθμίζεται. Η αναρύθμιση πρέπει να γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Τα διαστήματα αυτά πρέπει στην χειρότερη περίπτωση να αντιστοιχούν στη διάρκεια ακριβούς πρόβλεψης του κύκλου του Σάρος. Θυμίζω ότι ο δείκτης του κύκλου του Σάρος πάνω στο Μηχανισμό (βλέπε σήμα 7) ολοκληρώνει τη περιστροφή του, ολισθαίνοντας μέσα στο σπειροειδές αυλάκι της κλίμακας και πρέπει να επανατοποθετείται στην αρχή της σπείρας κάθε 223 σεληνιακούς μήνες, περίπου 18 έτη (18 έτη 11 ημέρες και 8 ώρες). Μετά την επανατοποθέτηση οι εκλείψεις που προβλέπονται θα συμβούν με 8 ώρες καθυστέρηση και μετά τη δεύτερη επανατοποθέτηση με 16 ώρες καθυστέρηση. Αυτό λαμβάνεται υπόψη στο Μηχανισμό μέσω του δείκτη του εξελιγμού. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη και το δείκτη του εξελιγμού, μια λογική αναρύθμιση, για να είναι ακριβείς οι προβλέψεις, θα ήταν κάθε τρεις πλήρης περιστροφές και επανατοποθετήσεις του δείκτη του Σάρος (54 έτη και 34 ημέρες).

## **2.4 Λειτουργία του Μηχανισμού**

Σημαντικά στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη για ακριβείς προβλέψεις του Μηχανισμού είναι:

### **Η ακρίβεια των ισημεριών**

Στο φυσικό μοντέλο του Μηχανισμού (σχήμα 1) που κατασκευάσαμε για τη διερεύνησή των προβλέψεων του καθώς και στη αντίστοιχη ψηφιακή εφαρμογή (σχήμα2) η ακρίβεια των ισημεριών, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταπτωτική κίνηση της γης, λήφθηκε υπόψη και οι ημερομηνίες και οι ζωδιακές κλίμακες της μπροστινής πλευράς του Μηχανισμού έχουν επανασχεδιαστεί ώστε να αντιστοιχούν στο παρόν.

Η επικαιροποίηση αυτή έγινε για να είναι δυνατόν να διεξαχθούν προβλέψεις στη σημερινή εποχή, οι οποίες στη συνέχεια να μπορούν να ελεγχθούν με ακρίβεια, συγκρίνοντας τις με επιστημονικά δεδομένα όπως π.χ. από την ιστοσελίδα της NASA.

### **Η ανακρίβεια της κλίμακας Σάρος**

Η ανακρίβεια του μηχανισμού, κυρίως της κλίμακας Σάρος για εις βάθος χρόνου προβλέψεις.. Αυτό αντιμετωπίζεται με επαναρύθμιση – βαθμονόμηση του Μηχανισμού όπως περιεγράφηκε παραπάνω. Ο κύκλος Σάρος μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια την ημέρα που θα συμβεί μια έκλειψη. Προβλέπει και την ώρα αλλά για μακροχρόνιες προβλέψεις η ακρίβεια μπορεί να αποκλίνει λίγες ώρες

### **Ανακρίβειες στη κατασκευή του Μηχανισμού.**

Λόγω του τριγωνικού σχήματος των οδόντων των γριναζιών του Μηχανισμού και πιθανών ανακρίβειών κατά την κατασκευή του είναι αναμενόμενο να υπάρχουν τζόγοι και να δημιουργούνται μικρές ασυνέχειες της κίνησης κατά τη λειτουργία του.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο Μηχανισμός λειτουργεί είναι πασιφανές ότι αναφερόμαστε σε μικρής τάξης ανακρίβειες. Διαφορετικά τα γριναζία είτε θα μπλόκαραν είτε θα έχαναν την επαφή τους.

Στη ψηφιακή εφαρμογή του Μηχανισμού οι ανακρίβειες αυτές δεν υφίστανται. Οι οδοντωτοί τροχοί θεωρούνται ιδανικοί, χωρίς ανακρίβειες και κενά.

Όσον αφορά το φυσικό μοντέλο, το πρόβλημα με τους τζόγους αντιμετωπίζεται μέσω του σωστού χειρισμού από έμπειρο χειριστή και γνώση των αστρονομικών φαινομένων.

Τα βήματα του χειρισμού του φυσικού μοντέλου για την ακριβή πρόβλεψη μελλοντικών φαινομένων είναι τα εξής:

- Περιστροφή των γραναζιών μέχρι να αρχίσουν να κινούνται όλοι οι δείκτες ταυτόχρονα. Αυτό θα οδηγήσει στην εμπλοκή όλων των συνεργαζόμενων γραναζιών, εξαλείφοντας τα κενά και τους τζόγους που εμφανίζονται λόγω του τριγωνικού σχήματος των δοντιών τους και πιθανών ανακρίβειών κατά την κατασκευή των οδοντωτών τροχών.
- Ρύθμιση βαθμονόμηση των ενδείξεων. Προσαρμογή της θέσης των δεικτών, επιλέγοντας κοντινή ημερομηνία με γνωστά τα αστρονομικά φαινόμενα. Καλό είναι να χρησιμοποιηθούν δεδομένα πρόσφατης έκλειψης. Ακόμη καλύτερα επιλογή σεληνικού μήνα που έχει δύο συνεχόμενες εκλείψεις, μια ηλίου και μία σελήνης.
- Προβλέψεις φαινομένων

#### Πρόβλεψη μελλοντικού φαινομένου.

Εάν η επόμενη πρόβλεψη αναφέρεται σε ημερομηνία μεταγενέστερη από την προηγούμενη, ο χειριστής περιστρέφει τους δείκτες προς τα εμπρός μέχρι τη συγκεκριμένη ημερομηνία και διαβάξει τις ενδείξεις. Δεν απαιτείται περαιτέρω ενέργεια από τον χειριστή. Επισημαίνω ότι εφόσον συνεχίζουμε να περιστρέφουμε τους δείκτες μπρος την ίδια κατεύθυνση, στη συγκεκριμένη περίπτωση προς τα εμπρός, όλα τα γρανάζια συνεχίζουν να είναι σε εμπλοκή και δεν παρουσιάζονται ασυνέχειες στη κίνηση οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν την ανακρίβεια των ενδείξεων.

Για να γίνει κατανοητό, ένα παράδειγμα με δύο συνεργαζόμενα γρανάζια το ένα με διπλάσιο αριθμό δοντιών σε σχέση με το άλλο. Καταρχάς, για να μπορούν δύο οδοντωτοί τροχοί να συνεργαστούν πρέπει να έχουν το ίδιο μοντούλ (λόγος διαμέτρου προς αριθμό οδόντων), που σημαίνει ότι το βήμα οδόντωσης ( απόσταση ανάμεσα στις κορυφές των διαδοχικών δοντιών) και στα δύο γρανάζια είναι ίδιο. Εφόσον τα γρανάζια εμπλεκόμενα λειτουργούν σημαίνει ότι μόνο μικρά σφάλματα μπορεί να υπάρχουν στο βήμα οδόντωσης. Αν έχω δύο γρανάζια το ένα με διπλάσιο αριθμό δοντιών σε σχέση με το άλλο, τότε σε μία πλήρη περιστροφή του ενός το άλλο θα κάνει δύο περιστροφές ή αν το πρώτο κάνει 50 το άλλο θα κάνει 100.

Αυτό που μπορεί να συμβεί είναι σε κάποιες χρονικές στιγμές, η ταχύτητα περιστροφής, κατά την μετάδοση της κίνησης από ένα δόντι ενός γραναζιού στο αντίστοιχο δόντι του συνεργαζόμενου γραναζιού, να είναι ελαφρώς διαφοροποιημένη, αλλά ο αριθμός των περιστροφών δεν διαφοροποιείται. Ο Μηχανισμός σαν αναλογικός υπολογιστής που είναι, αυτό που κάνει για να υπολογίσει τα διάφορα φαινόμενα είναι το πλήθος των περιστροφών που μεταδίδονται από το ένα γρανάζι στο άλλο μέχρι τον εκάστοτε δείκτη στις ενδείξεις. Για τους υπολογισμούς δεν χρησιμοποιεί τις ταχύτητες περιστροφής, που πιθανόν στιγμιαία να διαφοροποιηθούν, αλλά το συνολικό αριθμό περιστροφών των γραναζιών.

### Πρόβλεψη φαινομένων του παρελθόντος

Εάν η επόμενη πρόβλεψη αναφέρεται σε ημερομηνία προγενέστερη από την προηγούμενη οι δείκτες θα πρέπει να κινηθούν προς τα πίσω. Επειδή αντιστρέφεται η φορά περιστροφής των γριναζιών, στην αρχή θα έχουμε κάποιες ασυνέχειες μέχρι πάλι να εμπλακούν όλα τα γριναζία. Κατά τη διάρκεια αυτής της κίνησης οι ενδείξεις πιθανόν να παρουσιάζουν μικρές ανακρίβειες. Ο χειριστής πρέπει να περιστρέψει τους δείκτες προς τα πίσω σε μια ημερομηνία προγενέστερη από την επιθυμητή. Στη συνέχεια ο χειριστής περιστρέφει τους δείκτες πάλι προς τα μπρος μέχρι την επιθυμητή ημερομηνία. Με αυτόν τον τρόπο εξαλείφονται όλα τα κενά που μπορεί να προκύψουν, λόγω της αντίθετης περιστροφής των γριναζιών πηγαίνοντας προς τα πίσω.

### **Ακρίβεια Προβλέψεων**

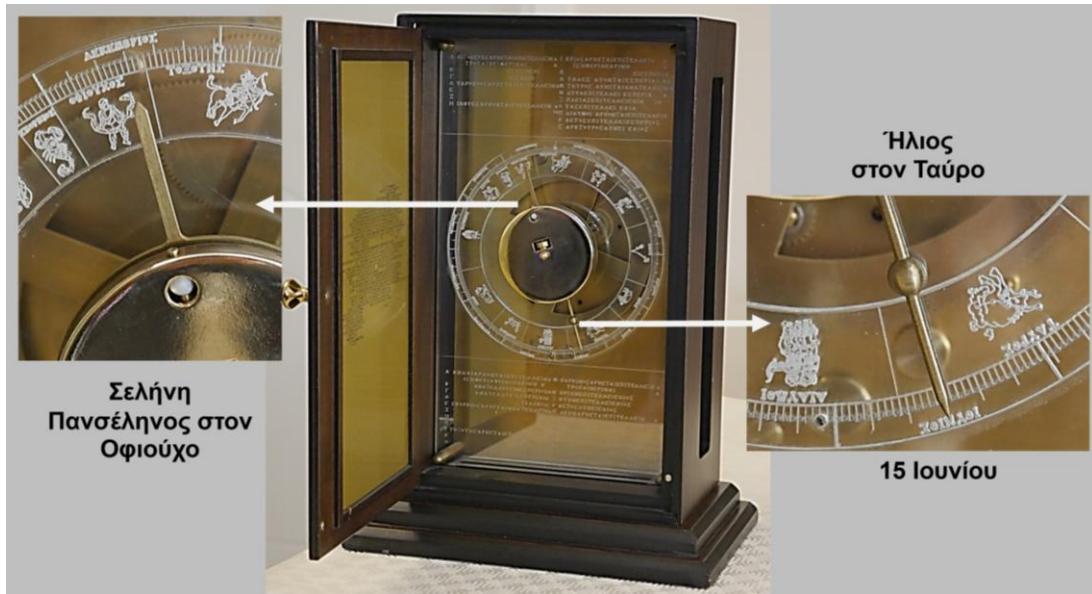
Όπως αναφέρθηκε στην αρχή, αναπτύξαμε μια εφαρμογή, η οποία προσομοιώνει την ακριβή λειτουργία του φυσικού μοντέλου του Μηχανισμού. Η εφαρμογή έχει αναπτυχθεί σε εικονική πραγματικότητα χρησιμοποιώντας λειτουργικό σύστημα Windows. Οι δείκτες και στις δύο πλευρές του Μηχανισμού παρουσιάζονται σε μορφή εικόνας και όχι σαν αριθμητικό αποτέλεσμα. Αυτή η εφαρμογή μας βοηθά να κάνουμε προβλέψεις σε βάθος χρόνου πολύ γρήγορα, χωρίς να χρειάζεται να περιστρέψουμε τους δείκτες του μηχανισμού, στην περίπτωση του φυσικού μοντέλου, δεκάδες και εκατοντάδες φορές ανάλογα με το βάθος της πρόβλεψης. Χρησιμοποιείται επίσης για την επαλήθευση της ακρίβειας των προβλέψεων των φυσικών μοντέλων που αναπτύχθηκαν από την ερευνητική ομάδα του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Η εφαρμογή έχει αναπτυχθεί στην πλατφόρμα Unity σε μορφή 2D. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων κάθε πρόβλεψης προσδιορίζεται συγκρίνοντας τα αποτελέσματά της με αντίστοιχες προβλέψεις στην ιστοσελίδα της NASA.

Όσον αφορά την αρχική ρύθμιση τόσο του φυσικού μοντέλου όσο και της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της 15<sup>ης</sup> Ιουνίου του 2011. Την ημέρα εκείνη είχαμε ολική σεληνιακή έκλειψη ορατή στην Ελλάδα, όπως φαίνεται στο σχήμα 9.

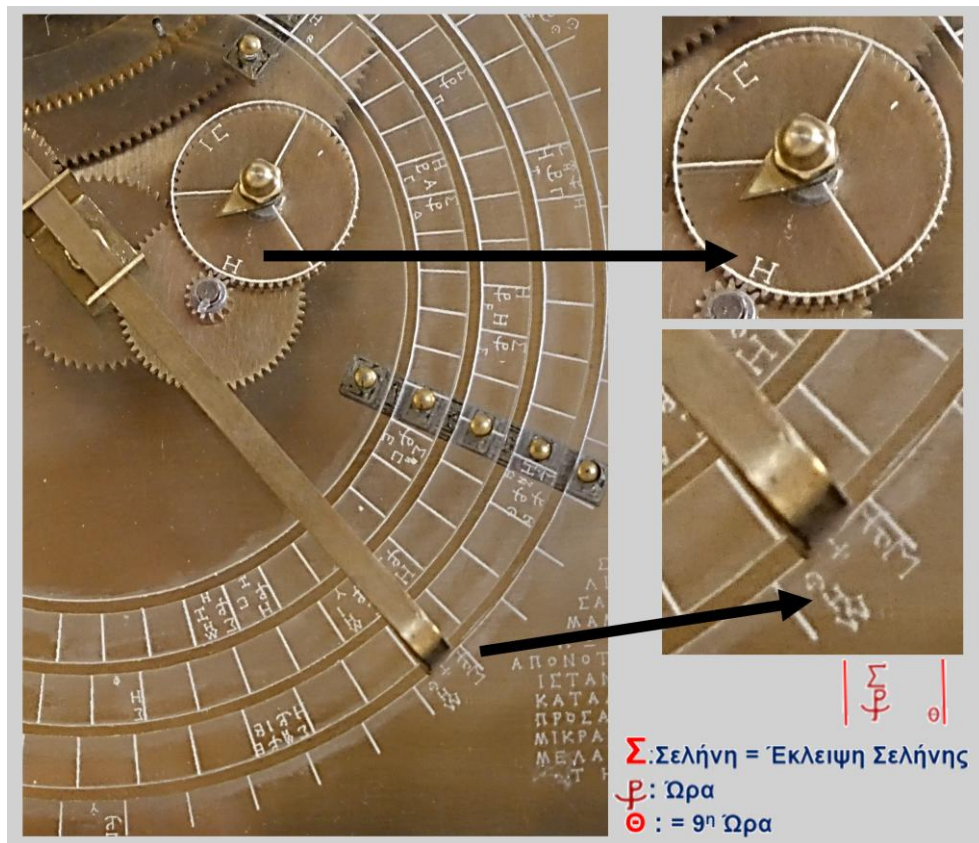


Σχήμα 9. 15 Ιουνίου 2011, Αθήνα ώρα 23:00, ολική έκλειψη σελήνης όπως φάνηκε από το βράχο της Ακρόπολης

Οι αρχικές ρυθμίσεις του φυσικού μοντέλου, οι οποίες αντιστοιχούν στα αστρονομικά φαινόμενα της 15<sup>ης</sup> Ιουνίου του 2011 φαίνονται στα σχήματα 10 και 11.

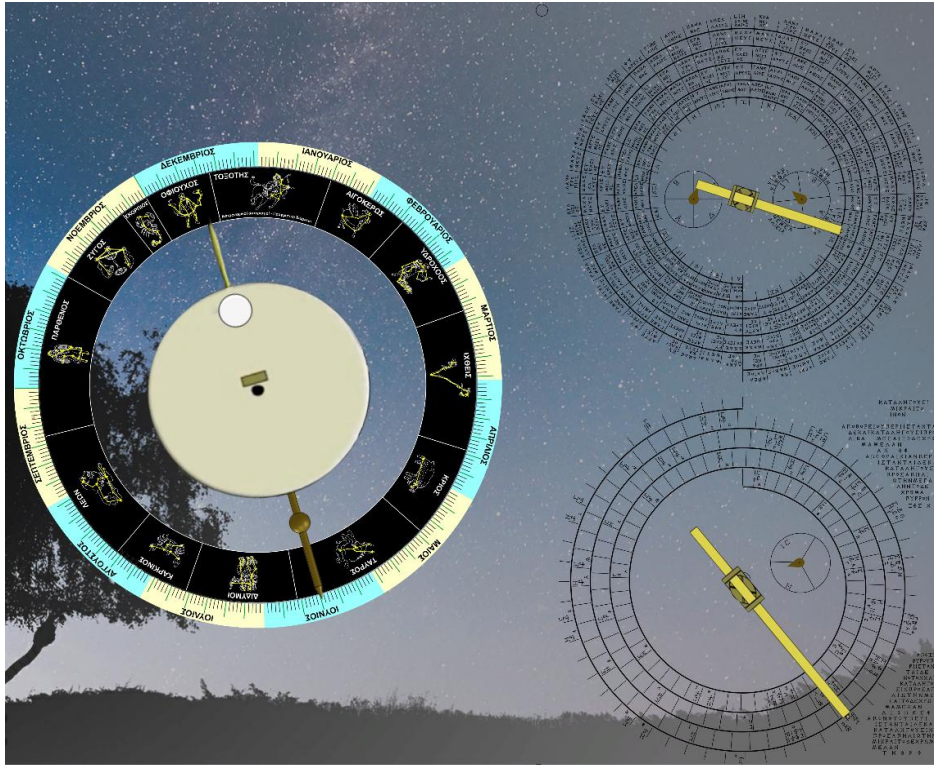


Σχήμα 10. Αρχική ρύθμιση του φυσικού μοντέλου του Μηχανισμού, εμπρός όψη



Σχήμα 11. Αρχική ρύθμιση του φυσικού μοντέλου του Μηχανισμού, οπίσθια όψη, κλίμακες εκλείψεων και εξελιγμού.

Αντίστοιχα οι αρχικές ρυθμίσεις της εφαρμογής για την ίδια ημέρα φαίνονται στο σχήμα 12.



Σχήμα 12. Αρχική ρύθμιση της εφαρμογής, 15 Ιουνίου 2011

### 3 Παραδείγματα προβλέψεων και ακρίβεια αποτελεσμάτων

#### 3.1 Παραδείγματα προβλέψεων για εκλείψεις σελήνης

##### Έκλειψη σελήνης, 7 Σεπτεμβρίου 2025

Στο σχήμα 13 φαίνονται τα αποτελέσματα της πρόβλεψης που έγινε με την εφαρμογή. Εκείνη την ημέρα ο Ήλιος θα ευρίσκεται στον αστερισμό του Λέοντα, η Σελήνη στον Αστερισμό του Υδροχόου, θα είναι Πανσέληνος και θα έχουμε έκλειψη Σελήνης (“Σ” στη κλίμακα του Σάρος).

Στην συγκεκριμένη ένδειξη στη κλίμακα Σάρος υπάρχουν και τα δύο σύμβολά, “Σ” για έκλειψη Σελήνης και “Η” για έκλειψη Ηλίου. Σε αυτές τις περιπτώσεις ξέρουμε τι από τα δύο θα συμβεί ανάλογα με τη φάση της σελήνης που δείχνει η εμπρόσθια όψη του Μηχανισμού. (Πανσέληνος = έκλειψη Σελήνης, Νέα Σελήνη = έκλειψη Ηλίου).

Μια ιδιαιτερότητα για το 2025 που αξίζει να επισημανθεί σχετίζεται με την κλίμακα των στεφανιτών αγώνων (βλέπε πάνω δεξιά στο σχήμα 13). Στην κλίμακα αυτή φαίνεται ότι το 2025 θα ήταν Ολυμπιακή χρονιά. Στο πάνω μέρος της οθόνης της εφαρμογής στο σχήμα 13 αναφέρεται ότι το 2025 και συγκεκριμένα στις 10 Ιουλίου θα ξεκινούσαν οι Ολυμπιακοί αγώνες. Αυτό βέβαια θα ίσχυε αν οι αγώνες συνέχιζαν να διεξάγονται χωρίς διακοπή από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα (Efsthathiou K, Efsthathiou M, Basiakoulis, Kokkinos, 2022).

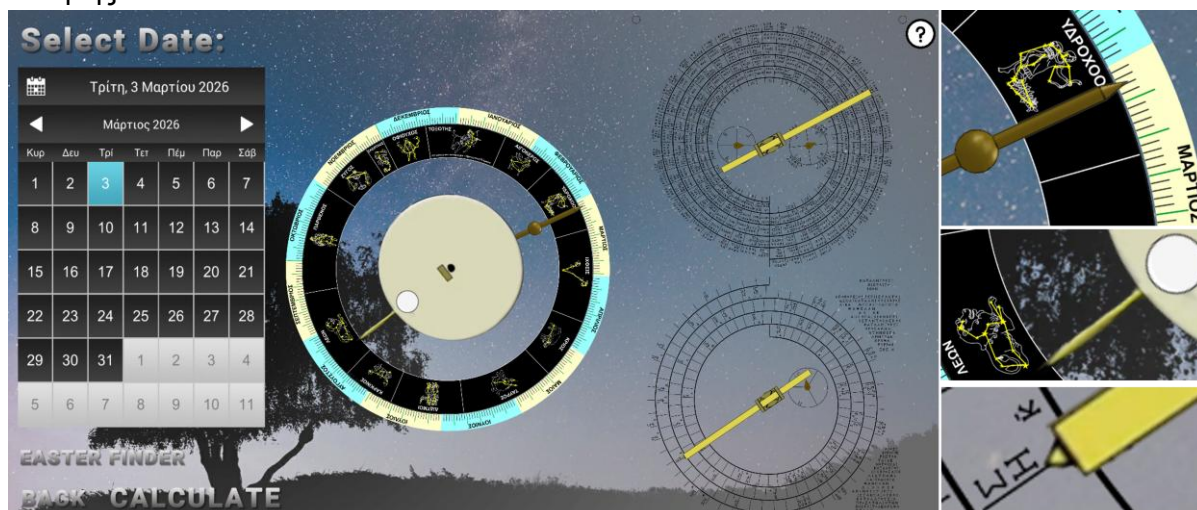
Ενεργοποιώντας το ερωτηματικό (πάνω δεξιά στην εικόνα) η εφαρμογή συνδέεται με την ιστοσελίδα της NASA (<https://eclipse.gsfc.nasa.gov/>) για να γίνει ο έλεγχος.





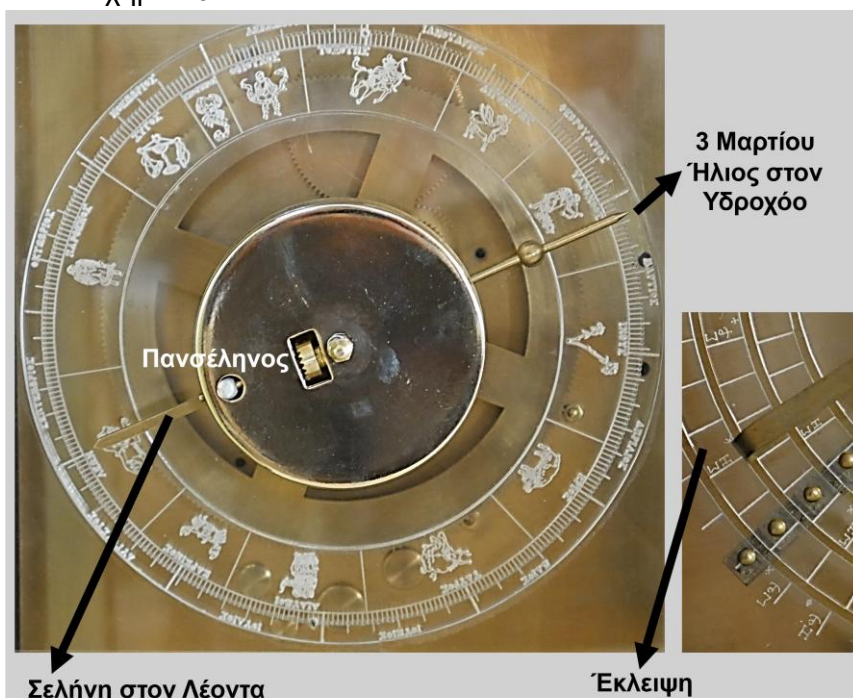
## Έκλειψη σελήνης στις 3 Μαρτίου 2026

Στο σχήμα 15 φαίνονται τα αποτελέσματα της πρόβλεψης που έγινε με την εφαρμογή για τις 3 Μαρτίου 2026. Εκείνη την ημέρα ο Ήλιος θα ευρίσκεται στον αστερισμό του Υδροχόου και, η Σελήνη στον Αστερισμό του Λέοντα, θα είναι Πανσέληνος και θα έχουμε έκλειψη Σελήνης.



Σχήμα 15. Προβλέψεις του Μηχανισμού για τις 3 Μαρτίου 2026 (έκλειψη Σελήνης)

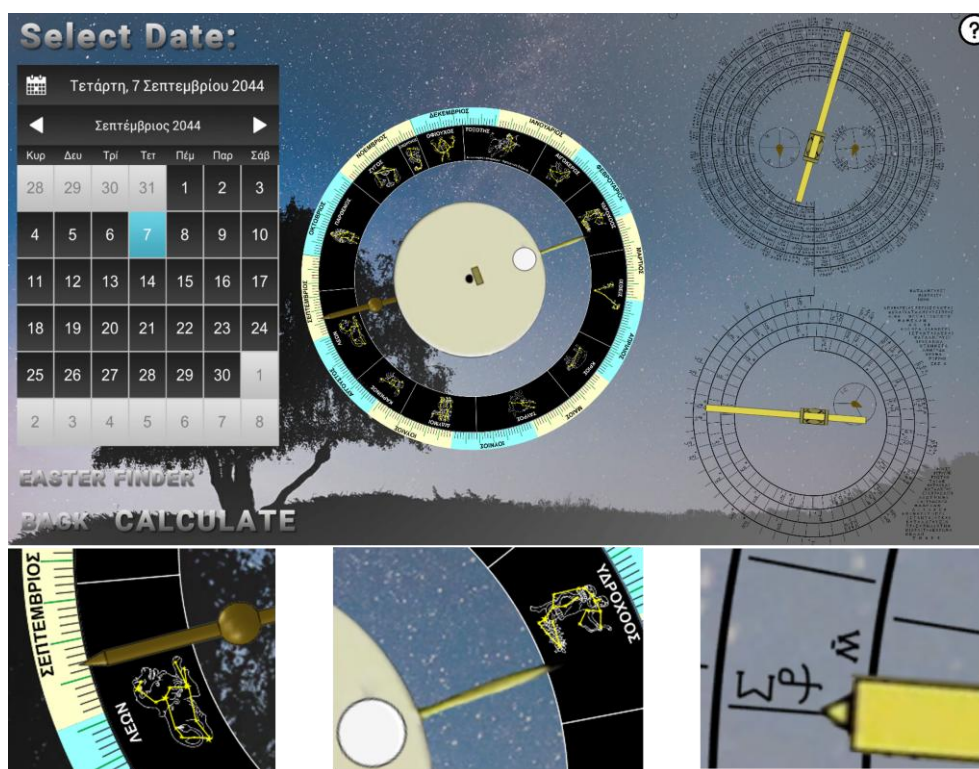
Η NASA επιβεβαιώνει την πρόβλεψη για έκλειψη Σελήνης. Η έκλειψη αυτή δεν θα είναι ορατή στην Ευρώπη. Την πρόβλεψη αυτή για τις 3 Μαρτίου 2026, επειδή και αυτή είναι σχετικά κοντινή χρονικά, την κάναμε και με το φυσικό μοντέλο. Τα αποτελέσματα είναι καταχωρημένα στο σχήμα 16.



Σχήμα 16. Προβλέψεις για τις 3 Μαρτίου 2026 με το φυσικό μοντέλο (έκλειψη Σελήνης)

## Έκλειψη σελήνης στις 7 Σεπτεμβρίου 2044

Στο σχήμα 17 φαίνονται τα αποτελέσματα της πρόβλεψης που έγινε με την εφαρμογή.



Σχήμα 17. Προβλέψεις του Μηχανισμού για τις 7 Σεπτεμβρίου 2044 (έκλειψη Σελήνης)

Εκείνη την ημέρα ο Ήλιος θα ευρίσκεται στον αστερισμό του Λέοντα και, η Σελήνη στον Αστερισμό του Υδροχόου, θα είναι Πανσέληνος και θα έχουμε έκλειψη Σελήνης, όπως προκύπτει από το γράμμα "Σ" (Σελήνη) στη κλίμακα του Σάρως.

Η NASA επιβεβαιώνει την πρόβλεψη για έκλειψη Σελήνης. Η έκλειψη αυτή δεν θα είναι ορατή στην Ελλάδα.

### 3.2 Παραδείγματα προβλέψεων για εκλείψεις Ηλίου

#### Έκλειψη Ηλίου στην 1 Ιουνίου 2030

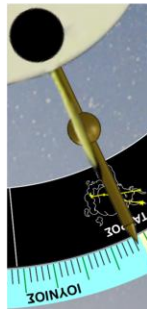
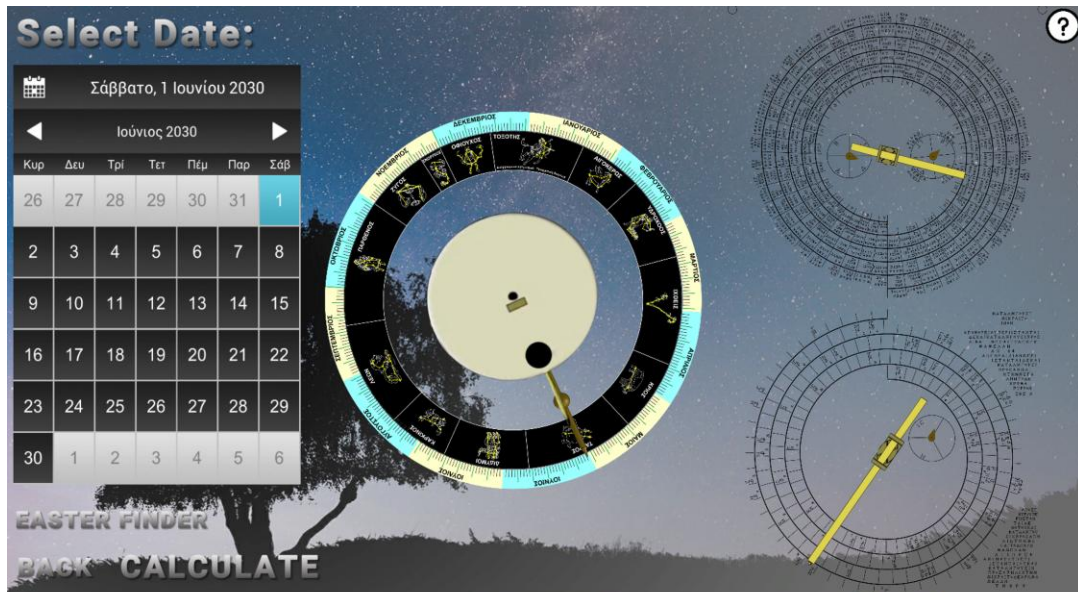
Στο σχήμα 18 φαίνονται τα αποτελέσματα της πρόβλεψης που έγινε με την εφαρμογή για την 1 Ιουνίου του 2030. Εκείνη την ημέρα τόσο ο Ήλιος όσο και η Σελήνη θα ευρίσκονται στον αστερισμό του Ταύρου, θα έχουμε νέα Σελήνη (το σφαιρίδιο της σελήνης είναι όλο μαύρο) και έκλειψη Ηλίου, όπως προκύπτει από το γράμμα "Η" (Ήλιος) στη κλίμακα του Σάρως.

Η NASA επιβεβαιώνει την πρόβλεψη για έκλειψη Ηλίου την 1 Ιουνίου 2030. Η έκλειψη αυτή θα είναι δακτυλιοειδής και θα είναι ορατή και στην Ευρώπη. Να σημειώσω ότι αυτή θα είναι η επόμενη έκλειψη Ηλίου που θα είναι ορατή και στην Ελλάδα.

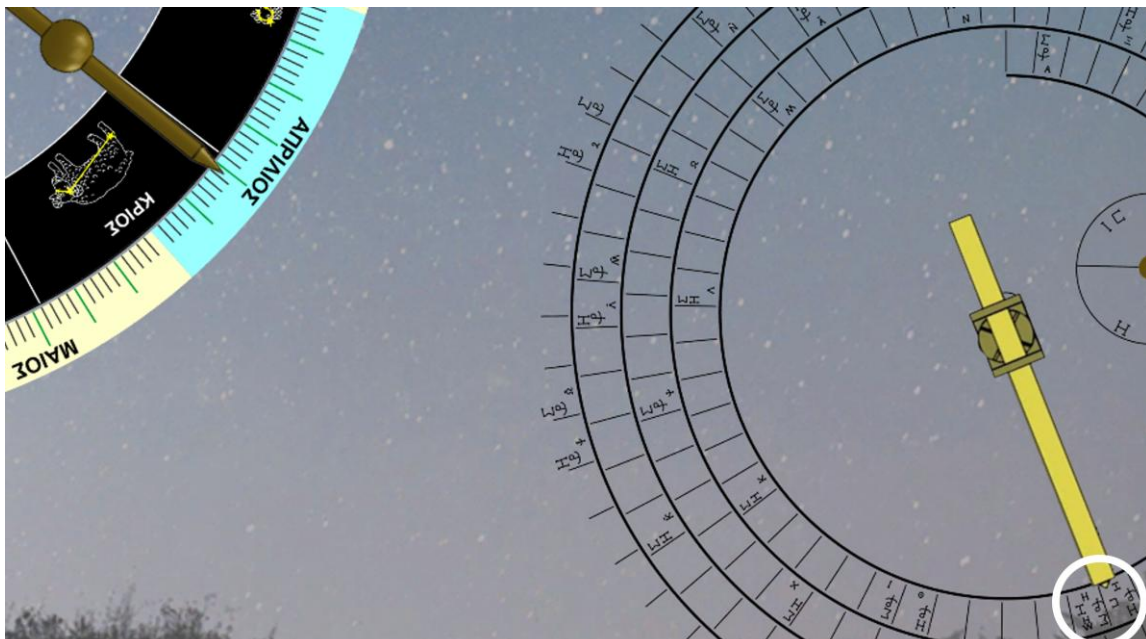
Η προηγούμενη έκλειψη ηλίου ορατή στην Ελλάδα έγινε στις 29 Μαρτίου του 2006. Ως ολική ήταν ορατή από το Καστελλόριζο και ως μερική από την υπόλοιπη χώρα.

Η αμέσως επόμενη ορατή, στην Ελλάδα, ολική έκλειψη ηλίου μετά την 1η Ιουνίου 2030 θα συμβεί στις 21 Απριλίου 2088. Στο σχήμα 19 φαίνονται τα αποτελέσματα της πρόβλεψης της

εφαρμογής του Μηχανισμού τα οποία επιβεβαιώνουν το γεγονός της έκλειψης Ηλίου στις 21 Απριλίου 2088, με τον Ήλιο και τη σελήνη να προβάλλονται στον αστερισμό του Κριού.



Σχήμα 18. Προβλέψεις του Μηχανισμού για την 1η Ιουνίου 2030 (έκλειψη Ηλίου)



Σχήμα 19. Προβλέψεις του Μηχανισμού για την 21η Απριλίου 2088 (έκλειψη Ηλίου)

## 4 Συμπεράσματα

Ένα από τα ερωτήματα που απασχολεί τη διεθνή επιστημονική ερευνητική κοινότητα είναι αν ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων ήταν ένα επιστημονικό όργανο για την ασφαλή πρόβλεψη αστρονομικών φαινομένων ή ένα εκπαιδευτικό εργαλείο για τις σχολές αστρονομίας της αρχαιότητας. Με βασικό στόχο την απάντηση σε αυτό το ερώτημα, αλλά και για να κάνουμε τον μηχανισμό πιο προσιτό στο ευρύ κοινό, κατασκευάσαμε ένα φυσικό λειτουργικό μοντέλο του Μηχανισμού σε κλίμακα 1:1 και παράλληλα αναπτύξαμε μια εφαρμογή, η οποία προσομοιώνει την ακριβή λειτουργία του φυσικού μοντέλου του Μηχανισμού. Μια ιδιαιτερότητα της εφαρμογής, καθώς και του αντίστοιχου φυσικού μοντέλου σχετίζεται με την κλίμακα των ζωδίων. Τόσο το μοντέλο όσο και η εφαρμογή είναι προσαρμοσμένα στην σημερινή εποχή.

Οι ομόκεντρες κλίμακες των ημερομηνιών και των ζωδίων στην εμπρόσθια πλευρά του Μηχανισμού έχουν επανασχεδιαστεί ώστε να αντιστοιχούν στο παρόν. Η μόνη διαφορά του μοντέλου αυτού από τον αρχαίο Μηχανισμό είναι αυτές οι δύο ομόκεντρες κλίμακες των ενδείξεων στην εμπρόσθια πλάκα.

Η εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα πρόβλεψης σε βάθος χρόνου γρήγορα.

Από όλες τις δοκιμές που έχουν γίνει, συμπεραίνεται ότι ο Μηχανισμός προβλέπει με ακρίβεια τα αστρονομικά φαινόμενα. Για σχετικά κοντινά μελλοντικά φαινόμενα μέχρι και το 2030 έγιναν δοκιμές με το φυσικό μοντέλο, οι οποίες επιβεβαιώθηκαν τόσο από την αντίστοιχη εφαρμογή όσο και από την ιστοσελίδα της NASA. Με χρήση μόνο της εφαρμογής έγιναν προβλέψεις μέχρι και το 2088, οι οποίες επίσης επιβεβαιώθηκαν από την ιστοσελίδα της NASA.

Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, συμπεραίνεται ότι ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων ήταν ένα επιστημονικό όργανο, ο πρώτος υπολογιστής στην παγκόσμια ιστορία, που προβλέπει με ακρίβεια αστρονομικά φαινόμενα. Αυτό βέβαια δεν αποκλείει και τη δυνατότητα να χρησιμοποιήθηκε και σαν εκπαιδευτικό εργαλείο για τις σχολές αστρονομίας της αρχαιότητας.

Να τονιστεί ότι όπως κάθε επιστημονικό όργανο ο Μηχανισμός για να λειτουργεί και να υπολογίζει σωστά πρέπει πρωτίστως να ρυθμιστεί σωστά και να επαναρυθμίζεται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Όσον αφορά το πρόβλημα με μικρά κατασκευαστικά σφάλματα, τα οποία κατά τη λειτουργία του μοντέλου δημιουργούν τζόγους αυτό αντιμετωπίζεται μέσω του σωστού χειρισμού από έμπειρο χειριστή όπως περιγράφεται παραπάνω στο κεφάλαιο *“Ρύθμιση και λειτουργία του Μηχανισμού”*.

## Βιβλιογραφία

- Anastasiou, M., Seiradakis, J.H., Evans, J., Drougou, S., Efstathiou, K., **2013**. The astronomical events of the Parapegma of the Antikythera Mechanism. *J. Hist. Astron.*, *44*, 125–138.
- Anastasiou, M., Seiradakis J., Carman, C.C., Efstathiou, K., **2014**. The Antikythera Mechanism: The structure of the mounting of the back-plate’s pointer and the construction of the spirals. *J. Hist. Astron.*, *45*, 418–441.
- Anastasiou, M., **2014**. The Antikythera Mechanism: Astronomy and Technology in Ancient Greece. Ph.D. Thesis, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece. (In Greek)

- Basiakoulis A., Efstathiou M., Efstathiou K.; Skordaris G., Seiradakis J.H., **2017**. The handling of the Antikythera Mechanism. In Proceedings of the 6th International Conference on Manufacturing Engineering ICMEN, Thessaloniki, Greece, 5–6 October; pp 281–292.
- Efstathiou, K., Basiakoulis, A., Efstathiou, M., Anastasiou, M., Seiradakis, J.H., **2012**. Determination of the gears geometrical parameters necessary for the construction of an operational model of the Antikythera Mechanism. *Mech. Mach. Theory*, 52, 219–231.
- Efstathiou, K., Efstathiou, M., **2018**. Gearbox, C. The oldest known computer is a mechanism designed to calculate the location of the sun, moon, and planets (Cover Story) Mechanical Engineering. *ASME Magazine*, 31–35 September.
- Efstathiou K., Efstathiou M., Basiakoulis A., Kokkinos N., **2022**. Determination of the celebration of the next Pythian games using the Antikythera Mechanism, considering that they are celebrated uninterrupted until today. *SCIENTIFIC CULTURE*, Vol. 8, No. 1, (2022), pp. 81-93
- Efstathiou K., Efstathiou M., Basiakoulis, A., **2022**. The artistic complexity of the Antikythera Mechanism. *Proceedings of the European Academy of Sciences & Arts*, Vol. XX, No X, (20xx),
- Efstathiou, M., **2018**. The usage of innovative techniques of 3d design, 3d scanning and 3d printing in the investigation of ancient artifacts and other objects so as, among others, to construct their accurate replicas—Case Study of The Antikythera Mechanism. Ph.D. Thesis, School of Mechanical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Greece. (In Greek)
- Freeth T., Bitsakis Y., Moussas X., Seiradakis J.H., Tselikas A., Mangou H., Zafeiropoulou M., Hadland R., Bate D., Ramsey, A., et al., **2006**. Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism. *Nature*, 444, 587–591.
- Freeth T., Jones A., Steele J.M., Bitsakis Y., **2008**. Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism. *Nature*, 454, 614–617.
- Gourtsoyannis E., **2010**. Hipparchus vs. Ptolemy and the Antikythera Mechanism: Pin-slot device models lunar motion. *J. Adv. Space Res.* 46, 540–544.
- Jones A., **2017**. *A portable Cosmos*; Oxford University: New York, NY, USA.
- Kaltsas N. and all, **2012**. The Antikythera Shipwreck; National Archaeological Museum of Athens: Athens, Greece (In Greek).
- Price de Solla D., **1974**. Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism—A calendar computer from ca 80 BC. *Trans. Am. Phil. Soc. New Ser.* 64, 1–70.
- Ramsey A., **2007**. The latest techniques reveal the earliest technology – A new inspection of the Antikythera Mechanism, International Symposium on Digital industrial Radiology and Computed Tomography, Lyon, France, 25–27.
- Seiradakis J.H., Edmunds M., **2018**. Our current knowledge of the Antikythera Mechanism. *Nat. Astron*, 2, 35–42.
- Wright M.T., **2003**. “The scholar, the mechanic and the Antikythera Mechanism”, *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, lxxx (2003), 4–11.
- Wright M.T., **2005**. Epicyclic Gearing and the Antikythera Mechanism, part 2. *Antiqu. Horol.* 29, 51–63.



ΑΙΓΙΔΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Υπουργείο Πολιτισμού

ΧΟΡΗΓΟΙ



ΤΕΧΝΙΚΟ  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟ  
ΕΛΛΑΔΑΣ



ΟΜΙΛΟΣ ΤΕΕ ΤΕΡΝΑ

ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ



ΜΕΓΑΡΟ  
ΜΟΥΣΙΚΗΣ  
ΑΘΗΝΩΝ