



ΟΜΙΛΟΣ ΑΣΤΡΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, Υπολογισμός της Πολικής και Ισημερινής Περιφέρειας της Γης

**«ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΟΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΙΣΗΜΕΡΙΝΗΣ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΤΗΣ ΓΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ
ΠΟΣΕΙΔΩΝΙΟΥ»**

ΜΑΘΗΤΕΣ ΟΜΙΛΟΥ:

- 1. ΓΚΑΡΙΝΟΥ ΑΙΜΙΛΙΑ**
- 2. ΚΑΡΚΑΛΕΤΣΗ ΕΛΕΝΗ**
- 3. ΚΟΛΙΟΒΕΤΑ ΣΤΑΜΑΤΟΥΛΑ**
- 4. ΤΑΤΑ ΕΙΡΗΝΗ**
- 5. ΛΑΓΟΥ ΧΡΥΣΟΥΛΑ**

ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

- 1. ΑΜΑΝΑΤΙΔΟΥ ΙΩΑΝΝΑ ΠΕ04.02**
- 2. ΤΡΟΧΟΥΤΣΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΠΕ04.01**

Βασιλικό Σχολικό Έτος 2023-2024



Περίληψη

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε από τους μαθητές σε συνεργασία με τους διδάσκοντες εκπαιδευτικούς και στα πλαίσια του εκπαιδευτικού ομίλου Αστροσωματιδιακής Φυσικής που λειτούργησε το σχολικό έτος 2023-2024 στο Λύκειο Βασιλικού. Αρχικά γίνεται μία σύντομη αναφορά στην ζωή και το έργο του πολύ σπουδαίου, αλλά λιγότερο γνωστού στωικού Φιλοσόφου της μέσης στοάς, Ποσειδώνιου. Ο Ποσειδώνιος υπήρξε ένας πανεπιστήμονας της εποχής του επηρεάζοντας, πολλούς μεταγενέστερους φιλοσόφους καθώς και την σκέψη τους αιώνες που ακολούθησαν μετά τον θάνατό του.

Κατόπιν μελετάμε την μέθοδο υπολογισμού της περιφέρειας της Γης την οποία ανέπτυξε, και παρόλο που δεν ήταν τόσο ακριβής όσο του Ερατοσθένη –δείχνοντας με αυτό τον τρόπο ο φιλόσοφος ότι δεν τον ενδιέφερε τόσο η ακρίβεια, όσο το να δώσει μία μέθοδο υπολογισμού- χρησιμοποιήθηκε από πολλούς μεταγενέστερους. Χρησιμοποιώντας το λογισμικό ανοικτού κώδικα Stellarium καθώς και τους χάρτες Google υπολογίζουμε την πολική και ισημερινή περιφέρεια της Γης επιλέγοντας δύο αστέρες, έναν στην διεύθυνση Βορρά-Νότου και έναν στην διεύθυνση Ανατολή-Δύση. Ο υπολογισμός αυτός όπως προκύπτει από τις παραδεκτές τιμές της βιβλιογραφίας, είναι εξαιρετικά ακριβής, γεγονός που δείχνει ότι η μέθοδος που πρότεινε ο Ποσειδώνιος είναι μία αρκετά καλή μέθοδος υπολογισμού.

Λέξεις – Κλειδιά

Ύψος, πόλοι, Ισημερινός, αστέρι, απόσταση, συντεταγμένες, σφάλμα, στωική φιλοσοφία, γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος, μέτρηση γωνίας.



“GEOCENTRIC-SEOCENTRIC: THE TWO WORLD SYSTEMS”

STUDENTS:

- 1. GKARINOU AIMILIA**
- 2. KARKALETSI ELENI**
- 3. KOLIOVETA STAMATOULA**
- 4. TATA EIRINI**
- 5. LAGOU CHRYSOULA**

RESPONSIBLE TEACHERS:

- 3. AMANATIDOU IOANNA ΠΕ04.02**
- 4. TROHOUTSOS PANAGIOTIS ΠΕ04.01**



Abstract

The present work was carried out by the students in collaboration with the educators within the framework of the Astrophysical Physics educational group that operated during the school year 2023-2024 at Vasiliko High School. Initially, there is a brief reference to the life and work of the very important but less known Stoic philosopher of the Hellenistic period, Poseidonius. Poseidonius was a scholar of his time, influencing many later philosophers and their thinking for centuries following his death.

Following that, we examine the method for calculating the circumference of the Earth developed by Poseidonius. Although it was not as precise as that of Eratosthenes, showing in this way that precision was not as important to the philosopher as providing a method of calculation, it was used by many later scholars. Using the open-source software Stellarium as well as Google Maps, we calculate the polar and equatorial circumference of the Earth by selecting two stars, one in the North-South direction and one in the East-West direction. This calculation, as evidenced by the acceptable values from the literature, is extremely accurate, indicating that the method proposed by Poseidonius is a fairly good method of calculation.

Keywords

Height, poles, Equator, star, distance, coordinates, error, Stoic philosophy, geographic latitude, geographic longitude, angle measurement.



Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Abstract	3
Κατάλογος Σχημάτων, Εικόνων και Πινάκων	4
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
2 ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	6
3 Η ΣΤΩΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΣΤΗΝ ΡΟΔΟ	7
4 ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ.....	7
5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΤΗΣ ΓΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΠΟΣΕΙΔΩΝΙΟΥ	8
6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΟΛΙΚΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΤΗΣ ΓΗΣ.....	10
7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΙΣΗΜΕΡΙΝΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΤΗΣ ΓΗΣ	15
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	22

Κατάλογος Σχημάτων, Εικόνων και Πινάκων

Εικόνα 1: Το εξώφυλλο της πραγματείας του Κλεομήδη σελ.8	
Εικόνα 2:Υπολογισμός της περιφέρειας της Γης με μέτρηση του ύψους του αστέρα Κάνωπου σελ. 9	
Εικόνα 3: Η αναφορά του Κλεομήδη στην μέθοδο του Ποσειδώνιου σελ. 10	
Εικόνα 4: Αρχική τοποθεσία- Χαλκίδα σελ.12	
Εικόνα 5: Αρχική τοποθεσία Χαλκίδα - Αστέρως HIP 64347 – Μέτρηση πολικής περιφέρειας σελ.13	
Εικόνα 6: Τελική τοποθεσία Χαρακτηριστικές τιμές-Μέτρηση πολικής περιφέρειας σελ. 14	
Εικόνα 7: Τελική τοποθεσία - Αστέρως HIP 64347 σελ.14	
Εικόνα 8: Μέτρηση της απόστασης μεταξύ των δύο τοποθεσιών με την βοήθεια των χαρτών Google για τον υπολογισμό της πολικής περιφέρειας σελ.15	
Εικόνα 9: Αρχική τοποθεσία για τον υπολογισμό της ισημερινής περιφέρειας σελ. 16	
Εικόνα 10: Αρχική τοποθεσία υπολογισμού ισημερινής περιφέρειας-Χαρακτηριστικές τιμές σελ.17	
Εικόνα 11: Αρχική τοποθεσία υπολογισμού ισημερινής περιφέρειας-Αστέρως HIP 26893 σελ.18	
Εικόνα 12: Η τελική τοποθεσία υπολογισμού της ισημερινής περιφέρειας-Χαρακτηριστικές μετρήσεις σελ. 19	
Εικόνα 13:Τελική τοποθεσία υπολογισμού της ισημερινής περιφέρειας-Αστέρως HIP 26893 σελ. 20	
Εικόνα 14: Μέτρηση της απόστασης μεταξύ των δύο τοποθεσιών με σκοπό τον υπολογισμό της ισημερινής περιφέρειας της Γης, με την βοήθεια των χαρτών Google σελ.21	
Πίνακας 1: Δεδομένα για τον υπολογισμό της πολικής περιφέρειας της Γης σελ. 11	
Σχήμα 1: Διαστάσεις της Γης σελ. 12	
Πίνακας 2: Δεδομένα για τον υπολογισμό της ισημερινής περιφέρειας της Γης σελ. 15	



1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Στωικισμός είναι μια σχολή της ελληνιστικής φιλοσοφίας που άκμασε στην Αρχαία Ελλάδα και την Αρχαία Ρώμη. Οι Στωικοί πίστευαν ότι η άσκηση της αρετής είναι αρκετή για να επιτευχθεί η ευδαιμονία, μια καλά βιωμένη, ακμάζουσα ζωή. Οι Στωικοί προσδιόρισαν τον δρόμο για την επίτευξή του στόχου τους με μια ζωή που αφιερώθηκε στην άσκηση ορισμένων αρετών στην καθημερινή ζωή, όπως το θάρρος ή η εγκράτεια και η ζωή σύμφωνα με τη φύση. Ιδρύθηκε στην αρχαία Αγορά της Αθήνας από τον Ζήνωνα του Κιτίου γύρω στο 300 π.Χ. Ο Ζήνων πίστευε ότι μόνον η φιλοσοφία και τα αποτελέσματά της τα οποία αυτή επιφέρει στη ζωή του ανθρώπου δίδουν σ' αυτόν την ευτυχία. Ο Ζήνων διδάσκει την ολιγάρκεια, την ανεξαρτησία από τα πράγματα του κόσμου, την απαλλαγή από τα πάθη και το “ζην κατά φύσιν”. Για να μπορέσει όμως ο άνθρωπος να ζει κατά φύσιν, να ζει δηλαδή υγιώς, θα πρέπει πρώτα να τη γνωρίσει. Και για να γνωρίσει κάποιος τη φύση του απαραίτητη προϋπόθεση είναι η αταραξία και η γαλήνη της ψυχής. Εδώ στηρίζεται, κατά τους στωικούς, η έννοια της Ηθικής (Καραμπατζάκη-Περδίκη, 1998).

Οι ιδέες των στωικών δεν έμειναν αμετάβλητες καθ' όλη την διάρκεια της ενεργού ύπαρξης της Σχολής. Αυτές μεταβάλλονταν ανάλογα με τις ιδέες και την προσωπικότητα του εκάστοτε αρχηγού της. Έτσι εμφανίζεται κατά καιρούς μια μεγάλη ποικιλία σχετικά με την κοσμοθεωρία αυτών. Λόγω αυτών γενικά των διαφορών ο Στωικισμός διαιρέθηκε σε τρεις περιόδους: στην αρχαία, τη μέση και τη νεότερη Στοά (Καραμπατζάκη-Περδίκη, 1998). Στην πρώτη περίοδο ανήκουν ο Ζήνων, ο Χρύσιππος και ο Κλεάνθης, στη δεύτερη, ο Παναίτιος¹ και ο Ποσειδώνιος και στην τρίτη, ο Σενέκας, ο Μουσώνιος, ο Επίκτητος και ο Μάρκος Αντωνίνος (Μάρκος Αυρήλιος) (Καραμπατζάκη-Περδίκη, 1998; Τσοκάκης, 2011).

Σκοπός της εργασίας είναι η γνωριμία με τον στωικό φιλόσοφο Ποσειδώνιο, την μέθοδό του για τον υπολογισμό της περιφέρειας της Γης και επανάληψή της με χρήση Τ.Π.Ε και εφαρμογή της σαν δράση Project στο περιβάλλον του σχολείου.

¹ Ο Παναίτιος της Ρόδου ήταν αρχαίος Έλληνας στωικός φιλόσοφος. Ήταν μαθητής του Διογένη της Βαβυλώνας και του Αντιπάτρου της Ταρσού στην Αθήνα, πριν μετακομίσει στη Ρώμη, όπου έκανε πολλά για να εισαγάγει τα στωικά δόγματα στην πόλη, χάρη στην αιγίδα του Σκιπίωνα Αιμιλιανού. Μετά το θάνατο του Σκιπίωνα το 129 π.Χ., επέστρεψε στη στωική σχολή της Αθήνας και ήταν ο τελευταίος αδιαμφισβήτητος λόγιος της. Με τον Παναίτιο ο στωικισμός έγινε πολύ πιο εκλεκτικός.



2 ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Δυστυχώς, όπως και στην περίπτωση άλλων εκπροσώπων της Αρχαίας και της Μέσης Στοάς, και για τον Ποσειδώνιο οι βιογραφικές πληροφορίες είναι ελάχιστες. Από τις ισχνές αυτές μαρτυρίες, οι οποίες διασώζονται κυρίως, στον Αθηναίο, στον Στράβωνα και στα έργα Ρωμαίων θαυμαστών και φίλων του, όπως ο Κικέρων και ο Σενέκας, είναι γνωστόν ότι ο Ποσειδώνιος γεννήθηκε στην Απάμεια της Συρίας περί το 135 π.Χ., αλλά έδρασε κυρίως στην πόλη της Ρόδου, όπου εγκαταστάθηκε μόνιμα και ίδρυσε σχολή, στην οποία δίδαξε μέχρι το θάνατό του το 51 π.Χ. σε ηλικία 84 ετών:

“ Ποσειδώνιος Απαμεύς εκ Συρίας η Ρόδιος, φιλόσοφος Στωϊκός, έπεκλήθη Άθλητής σχολήν δ’ έσχεν εν Ρόδο, διάδοχος γεγονώς και μαθητής Παναίτιου. ήλθε δέ και εις Ρώμην επί Μάρκου Μαρκέλλου και έγγραψε πολλά ”. Ο Ποσειδώνιος υπήρξε μαθητής του Παναίτιου και διάδοχός του με την έννοια της πνευματικής-φιλοσοφικής διαδοχής, δεδομένου ότι δίδαξε μόνο στη Ρόδο, όπου και του απενεμήθη ο τίτλος του πολίτη της *“τιμής ένεκεν”* για το σύνολο της φιλοσοφικής και πολιτικής του δραστηριότητας. Ως προς την τελευταία είναι γνωστό από μαρτυρία του Στράβωνα ότι ο Ποσειδώνιος *“έπρυτάνευσεν , ενώ το 87-86 π.Χ. έλαβε μέρος σε μια πρεσβεία στη Ρώμη (Αράχωβας, 2020; Καραμπατζάκη-Περδίκη, 1998; Τσοκάκης, 2011).*

Η αναγνώριση του φιλοσοφικού και επιστημονικού κύρους του Ποσειδώνιου επιβεβαιώνεται και από τον Στράβωνα, ο οποίος τον χαρακτηρίζει ως *“των καθ’ ημάς φιλοσόφων πολυμαθέστατον ”* ενώ η μαθηματικά θεμελιωμένη επιστημονική διάσταση της σκέψης του προβάλλεται από τον Γαληνό ως η αιτία του αντιδογματισμού του φιλόσοφου-επιστήμονα. Ο Ποσειδώνιος, πνεύμα εμπειρικό και ανήσυχο, είχε πραγματοποιήσει αρκετά ταξίδια στη Δ. Ευρώπη (Ιβηρία, Ν. Γαλατία), στην Ιταλία και Σικελία, καθώς και στη Β. Αφρική, κατά τη διάρκεια των οποίων διεξήγαγε εμπειρικές έρευνες μετεωρολογικού, γεωγραφικού, γεωλογικού και εθνογραφικού περιεχομένου (wikipedia.org, 2024; Καραμπατζάκη-Περδίκη, 1998). Στην Ισπανία , στην ακτή του Ατλαντικού, ο Ποσειδώνιος μπορούσε να παρατηρήσει παλίρροιες πολύ υψηλότερες από ό,τι στην πατρίδα του, τη Μεσόγειο. Έγραψε ότι οι καθημερινές παλίρροιες σχετίζονται με την τροχιά της Σελήνης, ενώ τα παλιρροιακά ύψη ποικίλλουν ανάλογα με τους κύκλους της Σελήνης, και υπέθεσε ότι οι ετήσιοι παλιρροϊκοί κύκλοι συγχρονίζονται με τις ισημερίες και τα ηλιοστάσια. Στη Ρόδο , ο Ποσειδώνιος συμμετείχε ενεργά στην πολιτική ζωή και ανέλαβε υψηλό αξίωμα όταν διορίστηκε ως ένας από τους Πρυτάνεις . Αυτό ήταν το πιο σημαντικό πολιτικό αξίωμα στη Ρόδο, συνδυάζοντας προεδρικές και εκτελεστικές λειτουργίες, και υπήρχαν πέντε (ή πιθανώς έξι) άνδρες που κατείχαν το αξίωμα για μια περίοδο έξι μηνών (wikipedia.org, 2024).



3 Η ΣΤΩΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΣΤΗΝ ΡΟΔΟ

Υπό τον Ποσειδώνιο, η Ρόδος επισκίασε την Αθήνα για να γίνει το νέο κέντρο της στωϊκής φιλοσοφίας τον 1ο αιώνα π.Χ. Η Ρόδος ήταν ελκυστική, όχι μόνο ως ανεξάρτητη πόλη, εμπορικά ακμάζουσα, προχωρημένη και με εύκολους συνδέσμους κίνησης προς όλες τις κατευθύνσεις, αλλά επειδή ήταν φιλόξενη στους διανοούμενους, γιατί είχε ήδη ισχυρή φήμη, ιδιαίτερα για επιστημονική έρευνα από άνδρες όπως ο Ίππαρχος. Αν και λίγα είναι γνωστά για την οργάνωση της σχολής του, είναι σαφές ότι ο Ποσειδώνιος είχε μια σταθερή ροή Ελλήνων και Ρωμαίων μαθητών, όπως έδειξαν οι επιφανείς Ρωμαίοι που την επισκέφθηκαν. Ο Πομπήιος κάθισε σε μια διάλεξη το 66 π.χ. και το έκανε ξανά το 62 π.Χ. επιστρέφοντας από την εκστρατεία στην Ανατολή. Όταν ο Κικέρων ήταν στα είκοσι του, παρακολούθησε ένα μάθημα διαλέξεων του Ποσειδωνίου. Στα μεταγενέστερα γραπτά του ο Κικέρων αναφέρεται επανειλημμένα στον Ποσειδώνιο ως «δάσκαλό μου» και «αγαπητό μου φίλο». Ο Ποσειδώνιος πέθανε στα ογδόντα του το 51 π.Χ. Ο εγγονός του, Ιάσων της Νύσας, τον διαδέχθηκε ως επικεφαλής της σχολής στη Ρόδο. Ο Ποσειδώνιος αναγνωριζόταν ως πολυμαθής σε όλο τον ελληνορωμαϊκό κόσμο επειδή έφτασε κοντά στο να κατακτήσει όλη τη γνώση της εποχής του, συγκρινόμενος με τον Αριστοτέλη και τον Ερατοσθένη. Προσπάθησε να δημιουργήσει ένα ενοποιημένο σύστημα για την κατανόηση της ανθρώπινης νόησης και του σύμπαντος που θα παρείχε μια εξήγηση και έναν οδηγό για την ανθρώπινη συμπεριφορά (wikipedia.org, 2024; Καραμπατζάκη-Περδίκη, 1998).

Ο Ποσειδώνιος έγραψε για τη φυσική (συμπεριλαμβανομένης της μετεωρολογίας και της φυσικής γεωγραφίας), την αστρονομία, την αστρολογία και τη μαντεία, τη σεισμολογία, τη γεωλογία και την ορυκτολογία, την υδρολογία, τη βοτανική, την ηθική, τη λογική, τα μαθηματικά, την ιστορία, τη φυσική ιστορία, την ανθρωπολογία και την τακτική. Οι μελέτες του ήταν σημαντικές για τα θέματά τους, αν και όχι χωρίς λάθη.

Κανένα από τα έργα του δεν σώζεται ακέραιο. Το μόνο που έχουν βρεθεί είναι θραύσματα, αν και οι τίτλοι και τα θέματα πολλών βιβλίων του είναι γνωστά. Συγγραφείς όπως ο Στράβων και ο Σενέκας παρέχουν τις περισσότερες πληροφορίες για τη ζωή και τα έργα του (Καραμπατζάκη-Περδίκη, 1998).

4 ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ

Μερικά αποσπάσματα των γραπτών του για την αστρονομία σώζονται μέσω της πραγματείας του Κλεομήδη² (εικόνα 1), "Περί των κυκλικών κινήσεων των ουράνιων σωμάτων" όπου το πρώτο κεφάλαιο του δεύτερου βιβλίου φαίνεται να έχει αντιγραφεί κυρίως από τον Ποσειδώνιο. Ο Ποσειδώνιος προώθησε τη θεωρία ότι ο Ήλιος εκπέμπει μια ζωτική δύναμη που διαπέρασε τον κόσμο. Προσπάθησε να μετρήσει την απόσταση και το μέγεθος του Ήλιου. Περίπου το 90 π.Χ., ο Ποσειδώνιος υπολόγισε την απόσταση από τη Γη στον Ήλιο (αστρονομική μονάδα) σε 9.893 φορές την ακτίνα της Γης. Κατά τη μέτρηση του μεγέθους του Ήλιου, ωστόσο, έφτασε σε έναν αριθμό μεγαλύτερο και ακριβέστερο από εκείνους που πρότειναν άλλοι Έλληνες αστρονόμοι και ο Αρίσταρχος της Σάμου. Ο Ποσειδώνιος υπολόγισε επίσης το μέγεθος και την απόσταση της Σελήνης. Ο Ποσειδώνιος κατασκεύασε ένα όργανο, πιθανόν παρόμοιο με τον μηχανισμό των Αντικυθήρων. Το όργανο του Ποσειδωνίου, σύμφωνα με τον Κικέρωνα, παρουσίαζε τις ημερήσιες κινήσεις του Ήλιου, της Σελήνης και των πέντε γνωστών πλανητών. Ο Ποσειδώνιος στα γραπτά του

² Ο Κλεομήδης ήταν Έλληνας αστρονόμος που είναι γνωστός κυρίως για το βιβλίο του "Περί των Κυκλικών Κινήσεων των Ουράνιων Σωμάτων" (Κυκλική θεωρία μετεώρων), γνωστό και ως "Οι Ουρανοί" (Λατινικά: Caelesta).



ΟΜΙΛΟΣ ΑΣΤΡΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, Υπολογισμός της Πολικής και Ισημερινής Περιφέρειας της Γης

για τη μετεωρολογία ακολούθησε τον Αριστοτέλη. Ανέπτυξε τη θεωρία για τα αίτια των νεφών, της ομίχλης, του ανέμου και της βροχής καθώς και για τον παγετό, το χαλάζι, τις αστραπές και τα ουράνια τόξα. Εκτίμησε επίσης ότι το όριο μεταξύ των νεφών και των ουρανών βρίσκεται περίπου 40 στάδια πάνω από τη Γη (wikipedia.org, 2024; Καραμπατζάκη-Περδίκη, 1998).

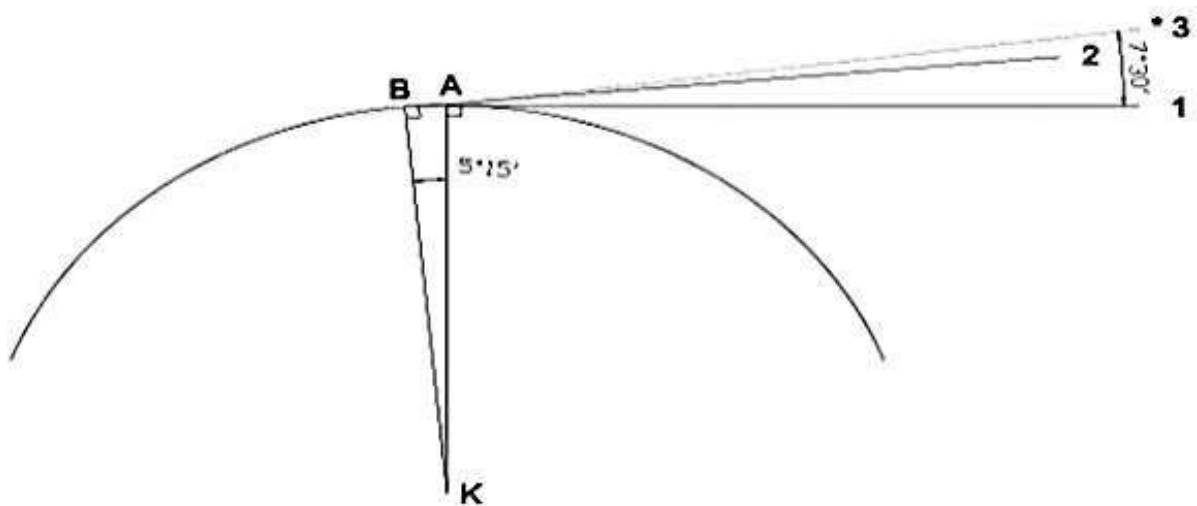


Εικόνα 1: Το εξώφυλλο της πραγματείας του Κλεομήδη. Πηγή (Τσοκάκης, 2011)

5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΤΗΣ ΓΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΠΟΣΕΙΔΩΝΙΟΥ

Ο Ποσειδώνιος υπολόγισε την περιφέρεια της Γης με τη μέθοδο μέτρησης τόξου, με αναφορά στη θέση του αστέρα Κάνωπου. Όπως εξήγησε ο Κλεομήδης (Εικόνα 2), ο Ποσειδώνιος παρατήρησε τον Κάνωπο στη Ρόδο, αλλά ποτέ πάνω από τον ορίζοντα, ενώ στην Αλεξάνδρεια τον είδε να ανεβαίνει έως και $7\frac{1}{2}$ μοίρες πάνω από τον ορίζοντα (το τόξο του μεσημβρινού μεταξύ του γεωγραφικού πλάτους των δύο τοποθεσιών είναι στην πραγματικότητα 5 μοίρες 14 λεπτά). Δεδομένου ότι νόμιζε ότι η Ρόδος ήταν 5.000 στάδια βόρεια της Αλεξάνδρειας και η διαφορά στο υψόμετρο του αστεριού έδειχνε ότι η απόσταση μεταξύ των δύο τοποθεσιών ήταν το $\frac{1}{48}$ του κύκλου, πολλαπλασίασε το 5.000 επί 48 για να φτάσει σε έναν αριθμό 240.000 σταδίων για την περιφέρεια της Γης. Η εκτίμησή του για τη διαφορά γεωγραφικού πλάτους αυτών των δύο σημείων, $360/48=7,5$, είναι μάλλον λανθασμένη. (Η σύγχρονη τιμή είναι περίπου 5 μοίρες.) Επιπλέον, δεν βρίσκονται στον ίδιο μεσημβρινό όπως υποτίθεται ότι είναι. Η διαφορά μήκους των σημείων, ελαφρώς μικρότερη από 2 μοίρες, δεν είναι αμελητέα σε σύγκριση με τη διαφορά γεωγραφικού

πλάτους (Εικόνα 3). Η μετατροπή σταδίων σε σύγχρονες μονάδες απόστασης μπορεί να είναι προβληματική, αλλά γενικά πιστεύεται ότι το στάδιο που χρησιμοποιούσε ο Ποσειδώνιος ήταν σχεδόν ακριβώς το 1/10 του σύγχρονου μιλίου. Έτσι, ο υπολογισμός του Ποσειδώνιου στα 240.000 στάδια μεταφράζεται σε 24.000 μίλια (39.000 km) σε σύγκριση με την πραγματική περιφέρεια των 24.901 μίλια (40.074 km). Η μέθοδος του Ποσειδώνιου για τον υπολογισμό της περιφέρειας της Γης, βασίστηκε στο υψόμετρο του αστέρα Κάνωπου. Ο Ποσειδώνιος γνώριζε τον υπολογισμό της περιφέρειας της Γης από τον Ερατοσθένη , ο οποίος έναν αιώνα νωρίτερα έφτασε σε αριθμό 252.000 σταδίων. Οι υπολογισμοί και των δύο ανδρών για την περιφέρεια της Γης ήταν απίστευτα ακριβείς. Ο Στράβων σημείωσε ότι η απόσταση μεταξύ της Ρόδου και της Αλεξάνδρειας είναι 3.750 στάδια και ανέφερε την εκτίμηση του Ποσειδώνιου για την περιφέρεια της Γης στα 180.000 στάδια ή 18.000 μίλια (29.000 km). Ο Πλίνιος ο Πρεσβύτερος αναφέρει τον Ποσειδώνιο μεταξύ των πηγών του και χωρίς να τον κατονομάσει ανέφερε τη μεθόδου του για την εκτίμηση της περιφέρειας της Γης. Σημείωσε, ωστόσο, ότι ο Ίππαρχος είχε προσθέσει περίπου 26.000 στάδια στην εκτίμηση του Ερατοσθένη. Η μικρότερη τιμή που δίνει ο Στράβωνας και τα διαφορετικά μήκη των ελληνικών και ρωμαϊκών σταδίων έχουν δημιουργήσει μια σύγχυση γύρω από το αποτέλεσμα του Ποσειδώνιου. Ο Πτολεμαίος χρησιμοποίησε τη χαμηλότερη τιμή του Ποσειδώνιου των 180.000 σταδίων (περίπου 33% πολύ χαμηλή) για την περιφέρεια της Γης στη Γεωγραφία του. Αυτός ήταν ο αριθμός που χρησιμοποίησε ο Χριστόφορος Κολόμβος για να υποτιμήσει την απόσταση από την Ινδία ως 70.000 στάδια (wikipedia.org, 2024).



Εικόνα 2: A – Αλεξάνδρεια, B – Ρόδος, 1 - Ορίζοντας Αλεξάνδρειας, 2 – Ορίζοντας Ρόδου, 3 –Κάνωπος ανερχόμενος από τον ορίζοντα της Αλεξάνδρειας κατά 7,5°. Υποθέτει ότι Ρόδος και Αλεξάνδρεια βρίσκονται στον ίδιο μεσημβρινό, η απόσταση των δύο πόλεων είναι περίπου 5000 στάδια, άρα η περιφέρεια της Γης είναι $5000 \times 48=240000$ στάδια. Πηγή (Αράχωβας, 2020)



Εικόνα 3: Η αναφορά του Κλεομήδη στην μέθοδο του Ποσειδώνιου: Πηγή (Τσοκάκης, 2011)

6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΟΛΙΚΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΤΗΣ ΓΗΣ

Η βασική ιδέα στην οποία στηρίζεται η εργασία είναι το γεγονός ότι αν μπορούσαμε να παγώσουμε το χρόνο και να σταματήσουμε τη φαινόμενη περιστροφή της ουράνιας σφαίρας, τότε αν κινούμασταν κατά μήκος μιας συγκεκριμένης κατεύθυνσης πάνω στην επιφάνεια της Γης θα παρατηρούσαμε ένα αστέρι να αλλάζει συνεχώς ύψος. Εάν ολοκληρώναμε κατ' αυτόν τον τρόπο μια πλήρη περιστροφή κατά μήκος ενός μέγιστου κύκλου (θεωρούμε τη Γη τέλεια σφαίρα), το αστέρι θα συμπλήρωνε μια διαδρομή 360 μοιρών. Η διαφορά των υψών αποτελεί τη γωνία που “διέγραψε” το αστέρι ενώ εμείς αντίστοιχα διανύαμε κάποια απόσταση κατά μήκος ενός μέγιστου κύκλου. Γωνία 360 μοιρών για το αστέρι θα αντιστοιχεί σε απόσταση ίση με την περιφέρεια της γης (Βέργος, 2022).

Στο λογισμικό stellarium βάλαμε ως προεπιλεγμένη τοποθεσία την Χαλκίδα. Επιλέξαμε να εμφανίζονται τα σημεία του ορίζοντα και το αζιμουθιακό πλέγμα από την γραμμή εργαλείων που βρίσκεται στο κάτω μέρος της οθόνης. Διαλέξαμε έναν αστέρα όσο το δυνατόν κοντύτερα στον άξονα Βορρά-Νότου, και μετρήσαμε το ύψος του. Όλα τα



προηγούμενα έγιναν αφού πρώτα είχαμε παγώσει τον χρόνο. Κατόπιν από την πλαϊνή μπάρα εργαλείων επιλέξαμε το παράθυρο "τοποθεσία" και αλλάξαμε το γεωγραφικό πλάτος, ενώ το γεωγραφικό μήκος μένει σταθερό, οπότε βρισκόμαστε στον ίδιο μεσημβρινό. Για το νέο γεωγραφικό πλάτος μετρήσαμε το νέο ύψος του αστέρα. Στην συνέχεια ανοίξαμε τους χάρτες Google γράψαμε τις συντεταγμένες της Χαλκίδας ως **38°27'48.74"N, 23°36'10.23"E** στο πλαίσιο πάνω αριστερά, και επιλέξαμε με αριστερό κλικ του ποντικιού "μέτρηση απόστασης". Αυτή είναι η αρχική μας τοποθεσία. Έπειτα γράψαμε τις συντεταγμένες του άλλου σημείου στον χάρτη Google και μόλις εμφανίστηκε η νέα τοποθεσία επιλέξαμε πάλι "μέτρηση απόστασης μέχρι εδώ" και εμφανίζεται αυτόματα η απόσταση S μεταξύ των δύο σημείων την οποία και καταγράψαμε.

Η μία μοίρα όπως είναι γνωστό έχει 60 πρώτα λεπτά και το ένα λεπτό έχει 60 δευτερόλεπτα. Επομένως για να μετατρέψουμε μια γωνία από μοίρες σε δευτερόλεπτα θα πολλαπλασιάσουμε επί $60 \cdot 60 = 3600$. Π.χ $60^\circ = 60 \cdot 3600'' = 216000''$. Πολλές φορές χρειάζεται μια γωνία που είναι μετρημένη σε μοίρες να την μετατρέψουμε σε ακτίνια (rad). Αυτό γίνεται με μια απλή μέθοδο των τριών.

$$\frac{\pi(\text{rad})}{\varphi(\text{rad})} = \frac{180^\circ}{\theta^\circ} \Rightarrow \varphi(\text{rad}) = \frac{\theta^\circ \cdot \pi}{180}$$

Τα στοιχεία για την μέτρηση της πολικής περιφέρειας της Γης που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 1.

Αστέρας	HIP 64347
Ημερομηνία	06-01-2024
Ωρα	18:34:47
Συντεταγμένες αρχικής τοποθεσίας	38°27'48.74"N, 23°36'10.23"E
Αρχικό ύψος αστέρα	11°28'36.9"
Συντεταγμένες τελικής τοποθεσίας	58°27'48.74"N, 23°36'10.23"E
Τελικό ύψος αστέρα	31°28'36.9"
Διαφορά υψών αστέρα ($\Delta\varphi$)	20°
Απόσταση μεταξύ των δύο σημείων	S=2.223,89Km

Πίνακας 1: Δεδομένα για τον υπολογισμό της πολικής περιφέρειας της Γης

Ο υπολογισμός γίνεται με μια απλή μέθοδο των τριών, ως εξής:

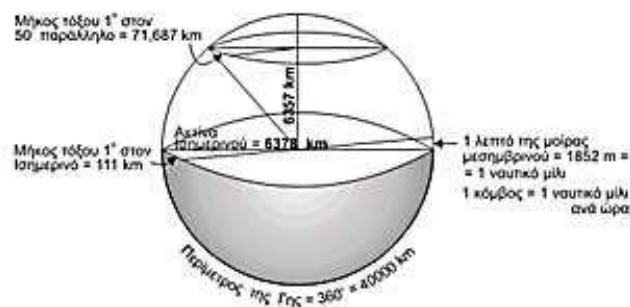
$$\frac{\Sigma \epsilon 360^\circ \text{αντιστοιχεί}}{\Delta\varphi} \frac{S_{\text{πολ.}}}{S} \Rightarrow S_{\text{πολ.}} = \frac{360^\circ \cdot S}{\Delta\varphi} \Rightarrow S_{\text{πολ.}} = 40.030,02\text{Km}$$

Το σφάλμα στην μέτρηση προκύπτει με μέθοδο των τριών,

$$\frac{\Sigma \epsilon S_{\text{πολ.}} \text{ το σφάλμα είναι}}{100} \frac{|S_{\text{πολ.}} - S_{\text{μετρ}}|}{\sigma\%} \Rightarrow \sigma\% = \frac{|S_{\text{πολ.}} - S_{\text{μετρ}}|}{S_{\text{πολ.}}} \cdot 100\% \Rightarrow \sigma\% = 0,0525\%$$

Όπου $S_{Μετρ}$ είναι η τιμή που μετρήσαμε και $S_{Πολ}$ η τιμή όπως προκύπτει από την βιβλιογραφία (Εικόνα 4). Όπως φαίνεται το σφάλμα είναι αρκετά μικρό. Επίσης Παρακάτω ακολουθούν οι φωτογραφίες από το Stellarium και τους χάρτες Google.

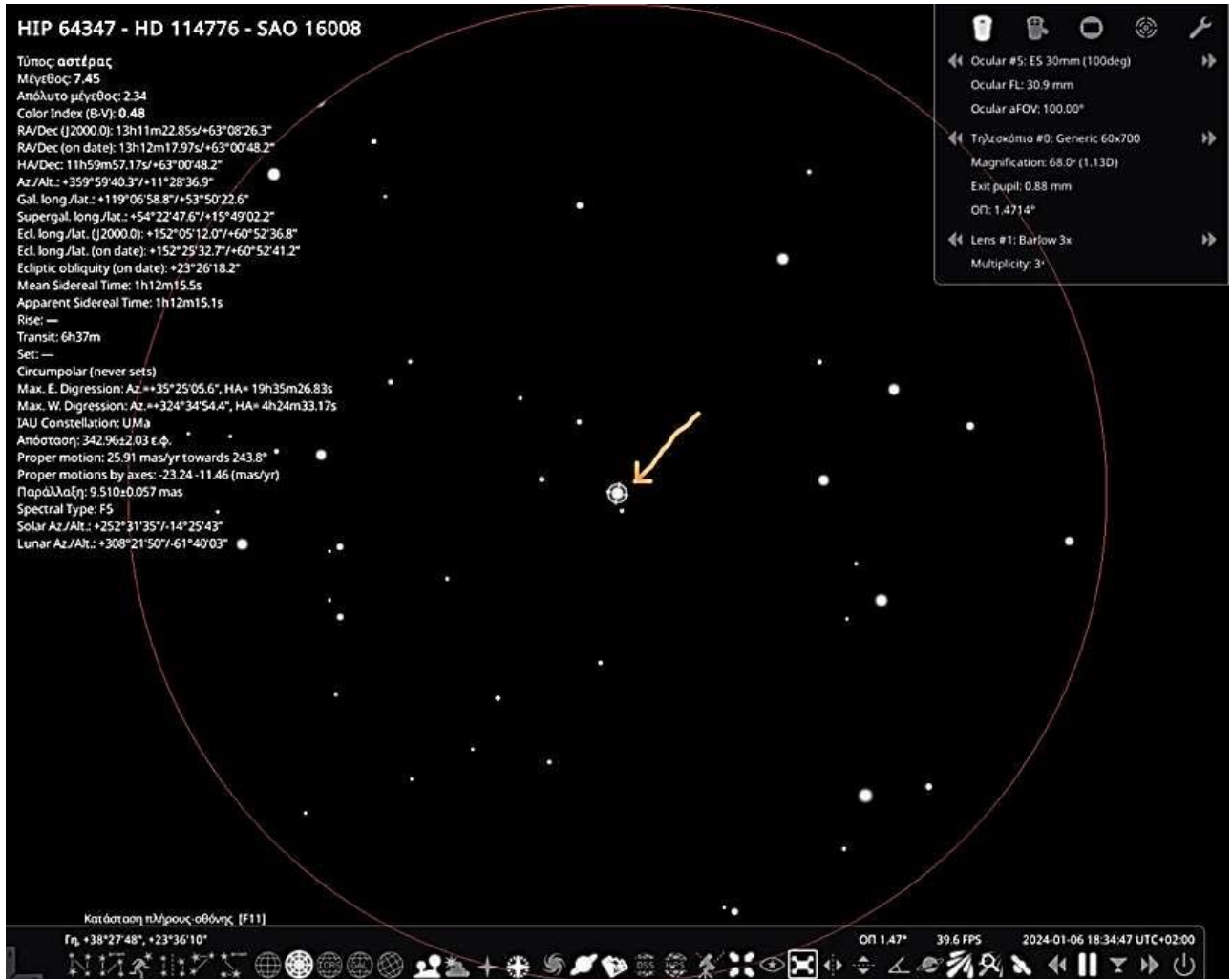
Μεγάλος άξονας του ελλειψοειδούς	12.756 Km
Μικρός άξονας του ελλειψοειδούς	12.714 Km
Μέση ακτίνα της Γης	6.371 Km
Περίμετρος του ισημερινού	40.077 Km
Περίμετρος ενός μεσημβρινού	40.009 Km
Εμβαδά της επιφάνειας της Γης	510 εκατομ. Km ²
Όγκος της Γης	183 δισεκατομ. Km ³
Μέση πυκνότητα της Γης	5,5 gr/cm ³



Σχήμα 1: Διαστάσεις της Γης. Πηγή Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας



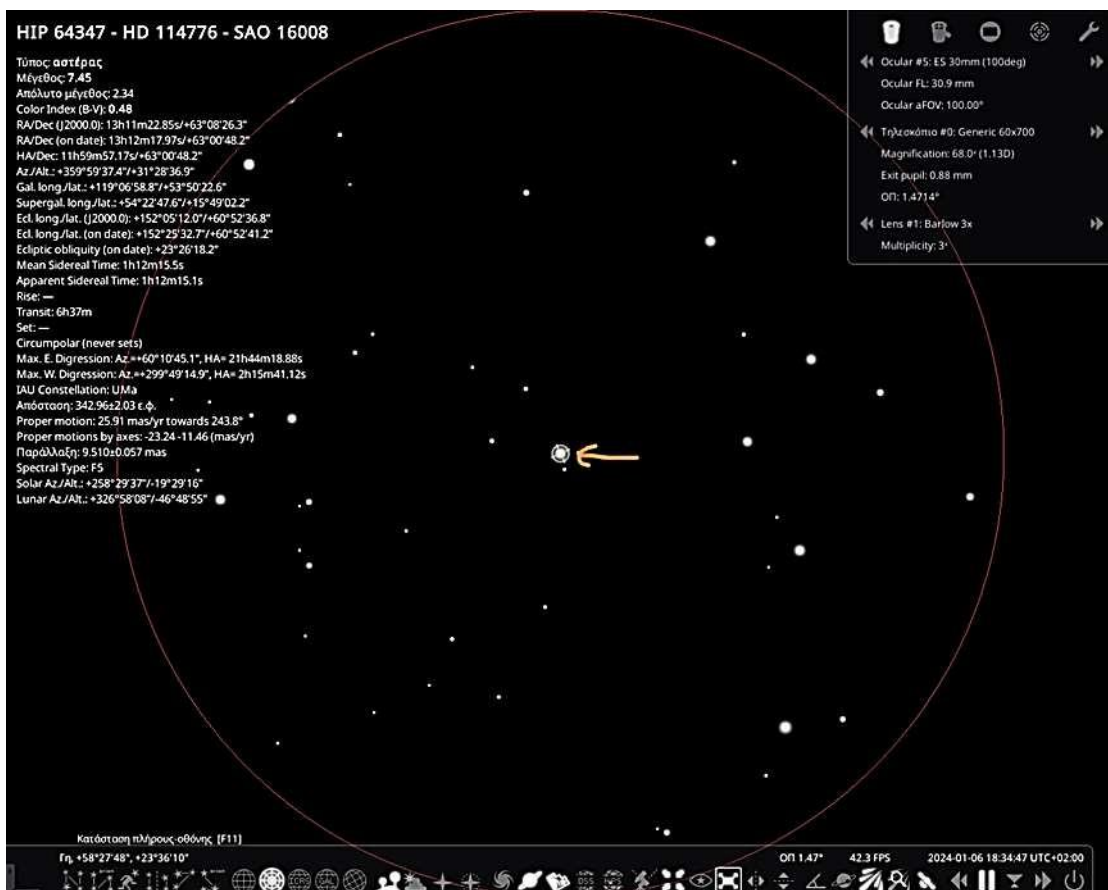
Εικόνα 4: Αρχική τοποθεσία- Χαλκίδα. Πηγή (Zotti & Wolf, 2023)



Εικόνα 5: Αρχική τοποθεσία Χαλκίδα - Αστέρας HIP 64347 – Μέτρηση πολικής περιφέρειας. Πηγή (Zotti & Wolf, 2023)



Εικόνα 6: Τελική τοποθεσία Χαρακτηριστικές τιμές-Μέτρηση πολικής περιφέρειας



Εικόνα 7: Τελική τοποθεσία - Αστέρας HIP 64347. Πηγή (Zotti & Wolf, 2023)

Παρακάτω βλέπουμε την εικόνα 8 από τους χάρτες Google με την μέτρηση της απόστασης μεταξύ των δύο σημείων.



Εικόνα 8: Μέτρηση της απόστασης μεταξύ των δύο τοποθεσιών με την βοήθεια των χαρτών Google για τον υπολογισμό της πολικής περιφέρειας.

7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΙΣΗΜΕΡΙΝΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΤΗΣ ΓΗΣ

Με όμοιο τρόπο υπολογίζουμε την ισημερινή περιφέρεια της Γης στον άξονα Ανατολή-Δύση. Στον παρακάτω πίνακα 2, φαίνονται τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση της ισημερινής περιφέρειας της Γης.

Αστέρας	HIP 26893
Ημερομηνία	05-01-2024
Ώρα	19:18:22
Συντεταγμένες αρχικής τοποθεσίας	0 ⁰ 0'.00" N, 23 ⁰ 36'10.23" E
Αρχικό ύψος αστέρα	32 ⁰ 04'40.2"
Συντεταγμένες τελικής τοποθεσίας	0 ⁰ 0'.00" N, 41 ⁰ 36'10.23" E
Τελικό ύψος αστέρα	50 ⁰ 03'55.1"
Διαφορά υψών αστέρα (Δφ)	64754,9"
Απόσταση μεταξύ των δύο σημείων	S=2.001,51Km

Πίνακας 2: Δεδομένα για τον υπολογισμό της ισημερινής περιφέρειας της Γης

Η διαφορά μεταξύ των υψών έχει εκφραστεί σε δευτερόλεπτα της μοίρας εφόσον είναι συμμιγείς αριθμοί. Δηλαδή,

$$32^{\circ}04'40.2'' = (32 \cdot 3600 + 4 \cdot 60 + 40.2)'' = 115480.2''$$

και

$$50^{\circ}03'55.1'' = (50 \cdot 3600 + 3 \cdot 60 + 55.1)'' = 180235.1''$$

$$\text{ενώ } 360^{\circ} = (360 \cdot 3600)'' = 1296000''$$

Με μέθοδο των τριών έχουμε,

$$\begin{aligned} \text{Σε } 1296000'' \text{ αντιστοιχεί } S_{\text{Πολ.}} &\Rightarrow S_{\text{Πολ.}} = \frac{1296000'' \cdot 2001,51}{64754,9''} \text{ Km} \\ \Delta\phi &\Rightarrow S_{\text{Πολ.}} = 40.058,08 \text{ Km} \end{aligned}$$

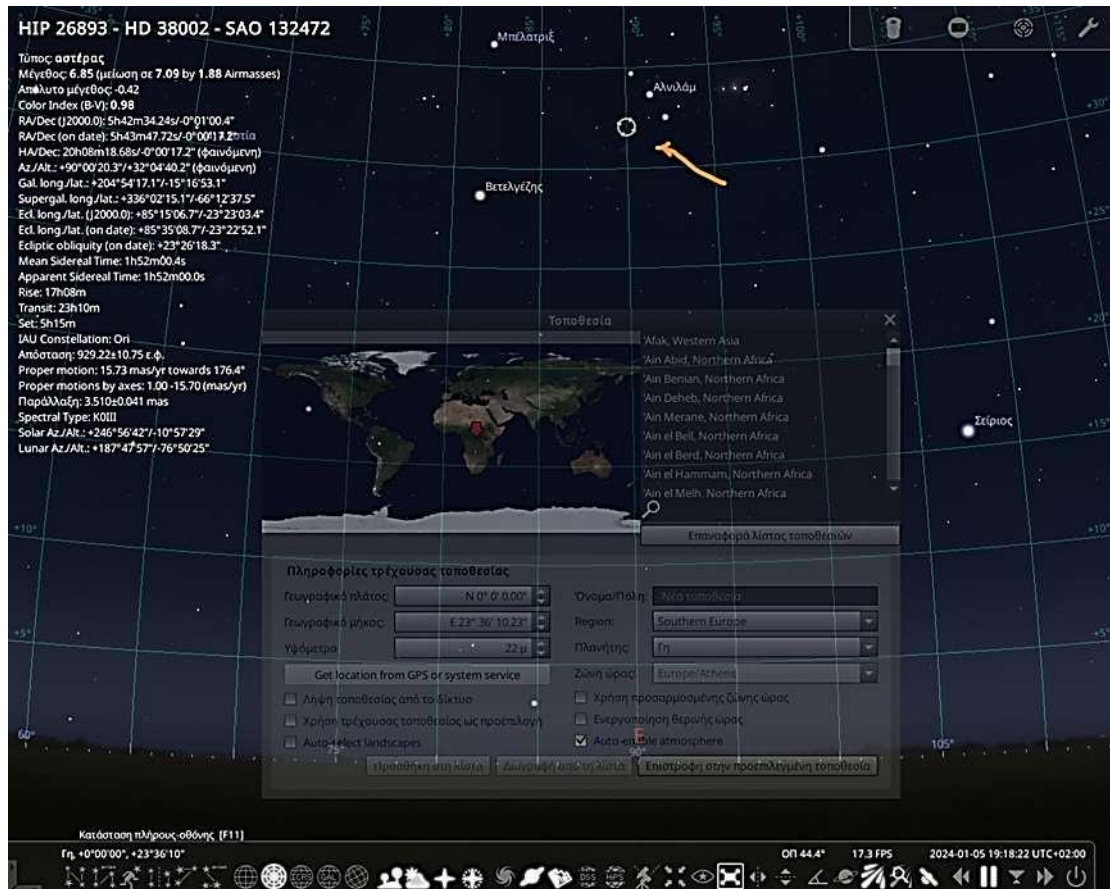
Το σφάλμα της μέτρησης υπολογίζεται όπως προηγουμένως και είναι ίσο με:

$$\sigma\% = 0,0472\%$$

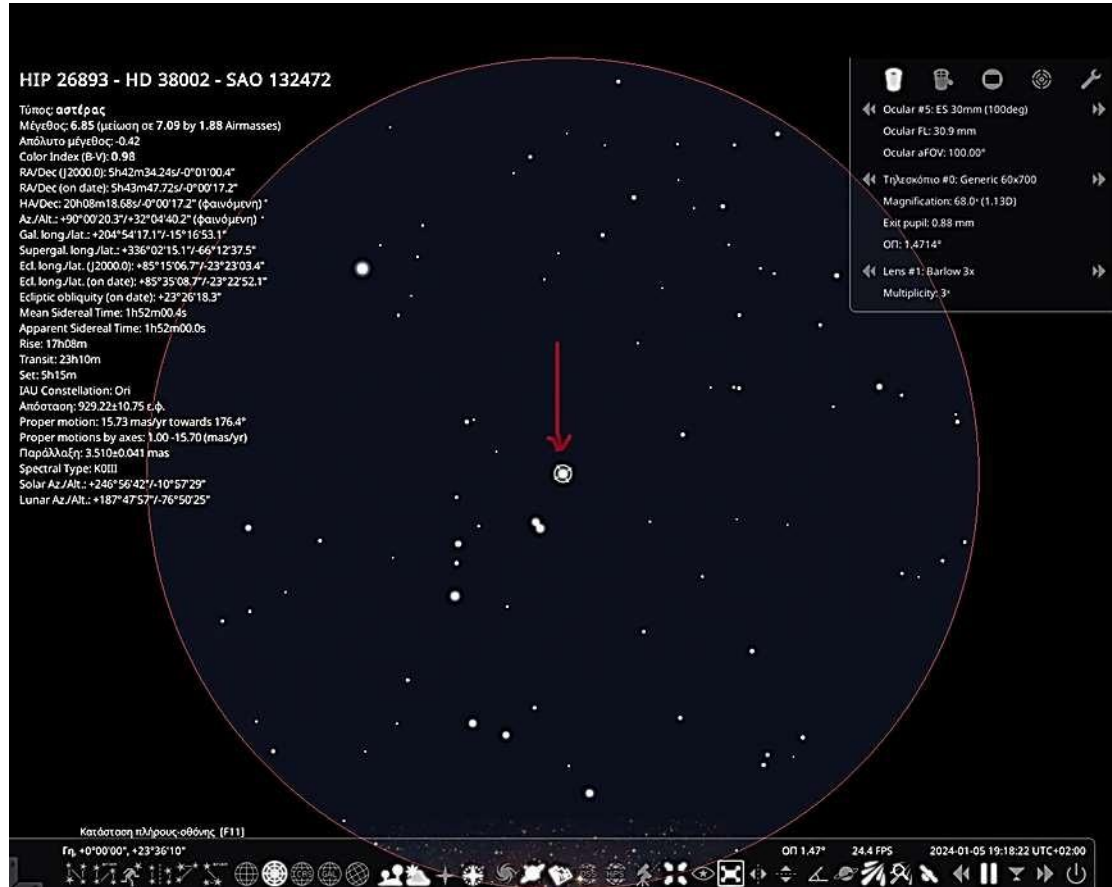
Όπως παρατηρούμε οι μετρήσεις μας έχουν πολύ μεγάλη ακρίβεια. Ακολουθούν οι αντίστοιχες εικόνες των υπολογισμών από το Stellarium και τους χάρτες Google. Στις εικόνες 9,10 και 11 βλέπουμε την αρχική τοποθεσία και τις αντίστοιχες τιμές.



Εικόνα 9: Αρχική τοποθεσία για τον υπολογισμό της ισημερινής περιφέρειας. Πηγή (Zotti & Wolf, 2023)

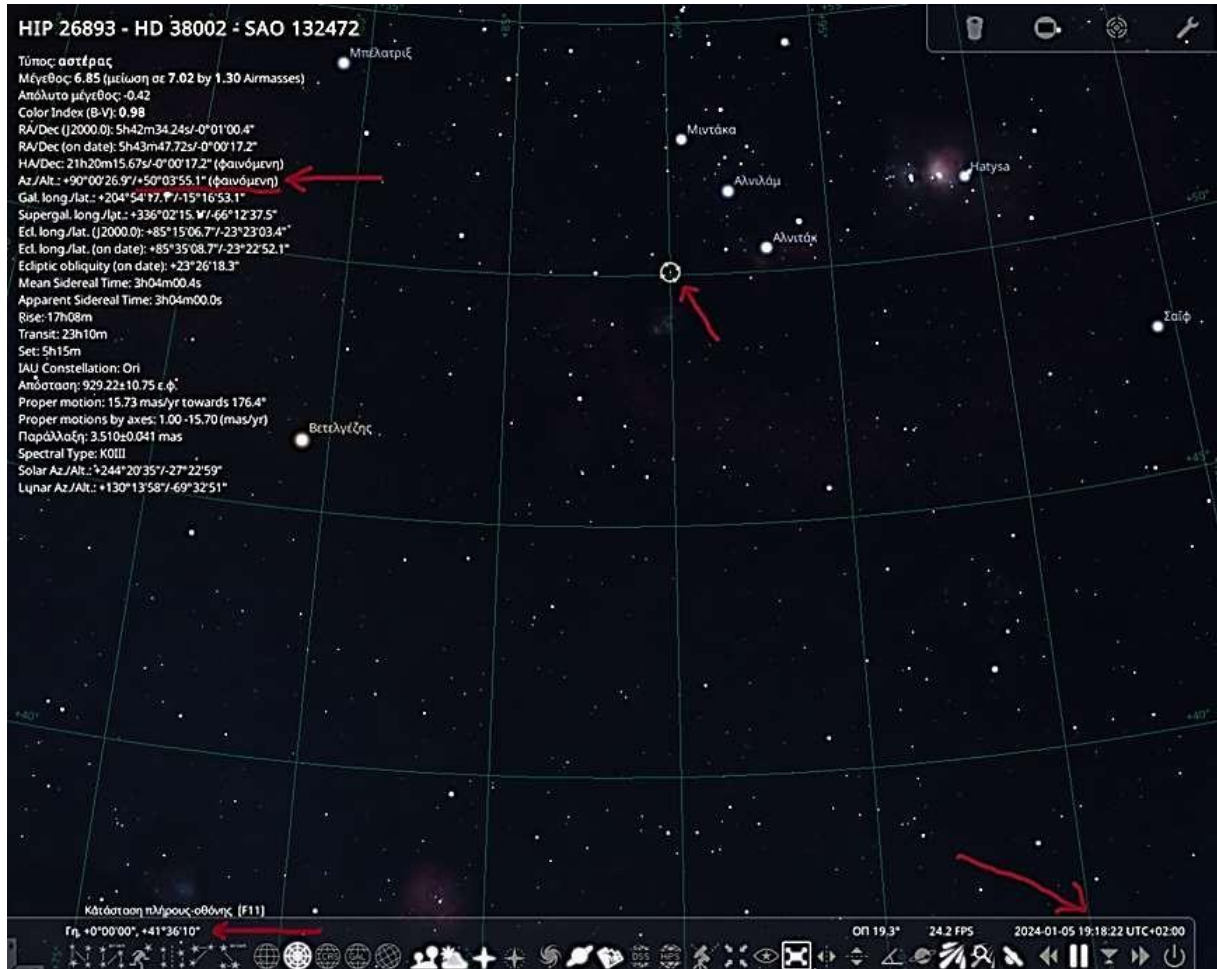


Εικόνα 10: Αρχική τοποθεσία υπολογισμού ισημερινής περιφέρειας-Χαρακτηριστικές τιμές. Πηγή (Zotti & Wolf, 2023)

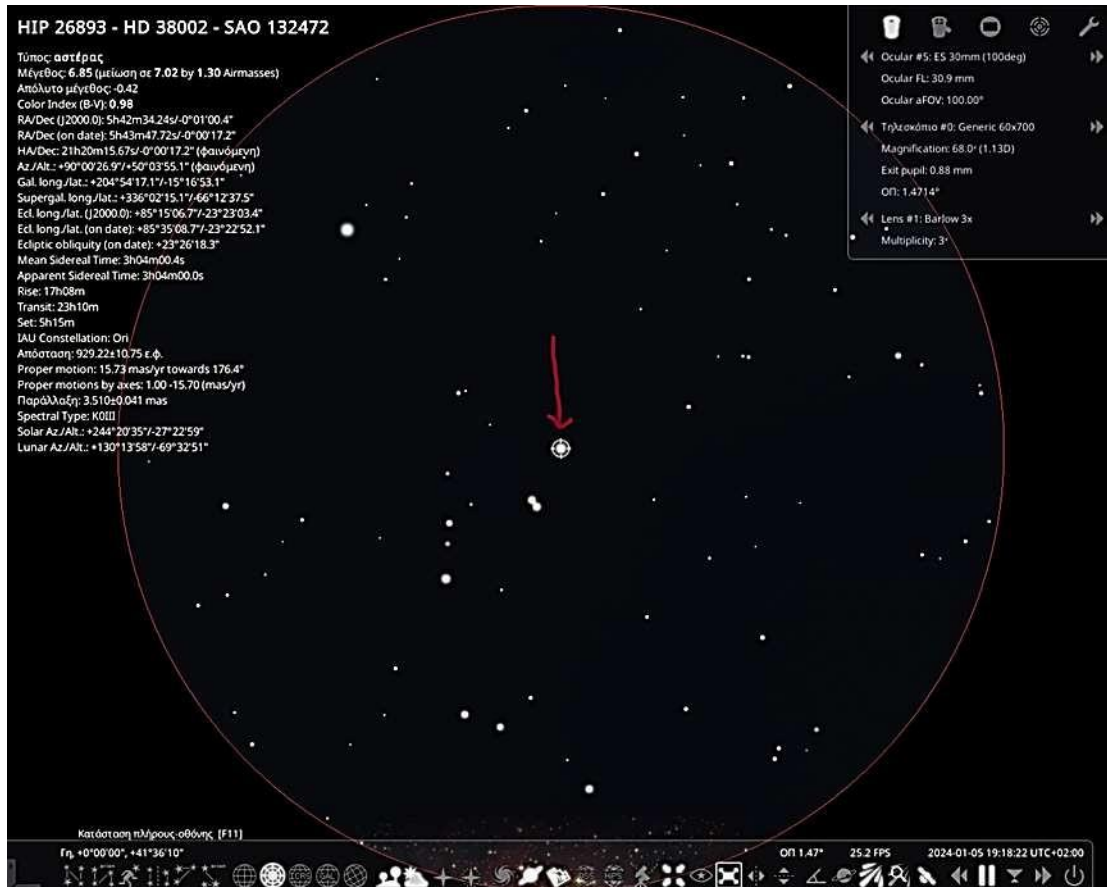


Εικόνα 11: Αρχική τοποθεσία υπολογισμού ισημερινής περιφέρειας-Αστέρας HIP 26893. Πηγή. (Zotti & Wolf, 2023)

Στις επόμενες εικόνες 12 και 13 φαίνεται η τελική τοποθεσία με το αντίστοιχο ύψος του επιλεγμένου αστέρα.

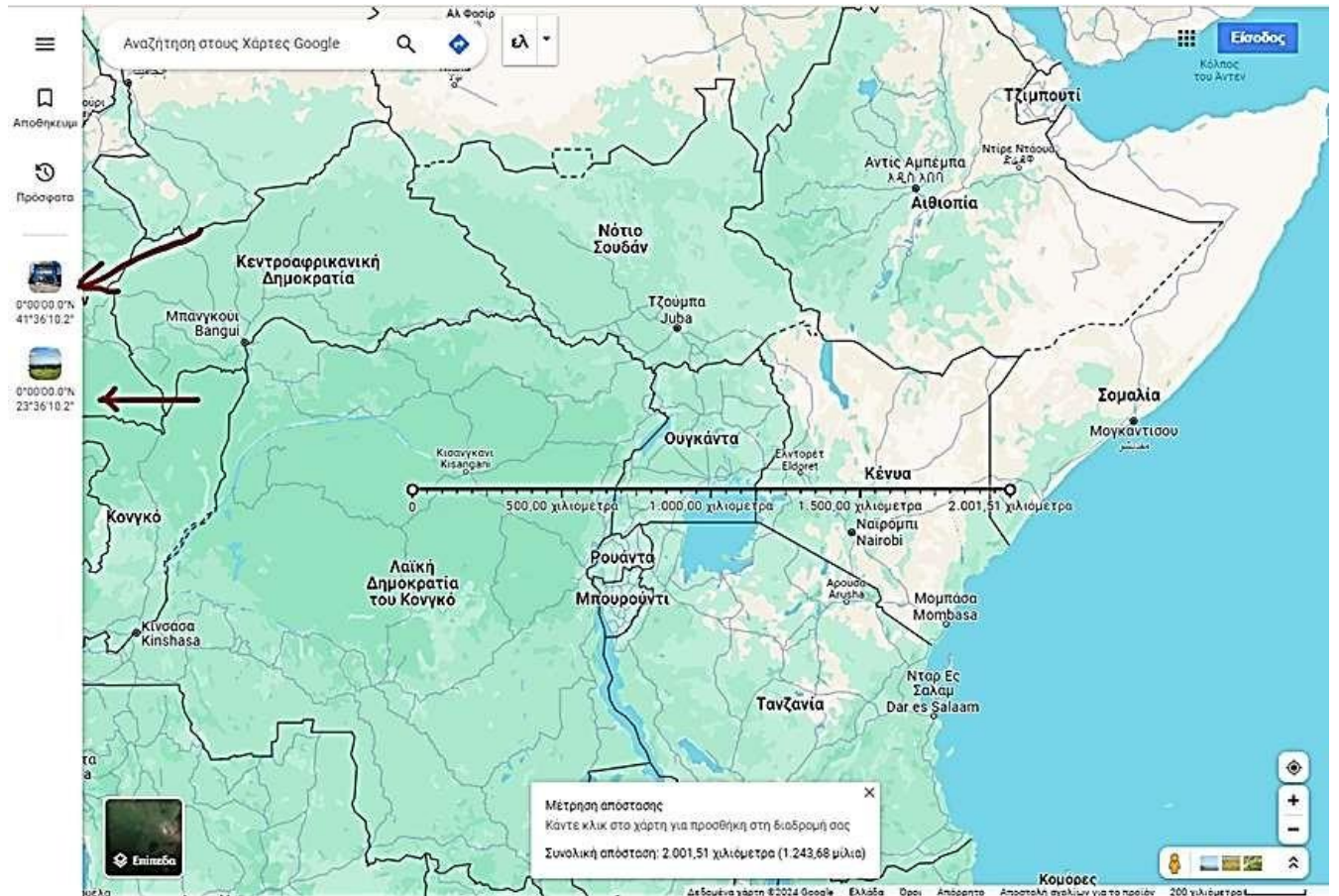


Εικόνα 12: Η τελική τοποθεσία υπολογισμού της ισημερινής περιφέρειας- Χαρακτηριστικές μετρήσεις. Πηγή (Zotti & Wolf, 2023)



Εικόνα 13: Τελική τοποθεσία υπολογισμού της ισημερινής περιφέρειας-Αστέρας Αστέρως HIP 26893. Πηγή (Zotti & Wolf, 2023)

Παρακάτω βλέπουμε την εικόνα 14 από τους χάρτες Google με την μέτρηση της απόστασης μεταξύ των δύο σημείων, ώστε να υπολογιστεί η ισημερινή περιφέρεια της Γης.



Εικόνα 14: Μέτρηση της απόστασης μεταξύ των δύο τοποθεσιών με σκοπό τον υπολογισμό της ισημερινής περιφέρειας της Γης, με την βοήθεια των χαρτών Google



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- wikipedia.org*. (2024, Φεβρουάριος 1). Ανάκτηση Μάρτιος 7, 2024, από <https://en.wikipedia.org/wiki/Posidonius>
- Zotti, G., & Wolf, A. (2023, Σεπτέμβριος 25). *https://stellarium.org/*. Ανάκτηση Φεβρουάριος 28, 2024, από Stellarium: <https://stellarium.org/>
- Αράχωβας, Ν. Π. (2020, Ιούνιος). *Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων*. Ανάκτηση Μάρτιος 15, 2024, από <https://www.blogger.com/profile/04900837647168735171>: <https://arachovasnikos.blogspot.com/p/14.html>
- Βέργος, Ι. (2022). Υπολογίζοντας την περιφέρεια της Γης με τη μέθοδο του Ποσειδώνιου. *12ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ερασιτεχνικής Αστρονομίας* (σ. 11). Πάτρα: ΠΑΣΙΘΕΗ. Ανάκτηση Μάρτιος 4, 2024, από <https://doi.org/10.26220/psea.4046>
- Καραμπατζάκη-Περδίκη, Ε. (1998). *Ο Ποσειδώνιος και η αρχαία στοά: συμβολή στη μελέτη της στωικής φιλοσοφίας*. Ιωάννινα: Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Ανάκτηση Μάρτιος 12, 2024
- Τσοκάκης, Δ. (2011, Αύγουστος). *Ιστορίες στο περιθώριο*. Ανάκτηση Μάρτιος 8, 2024, από <https://dimitristsokakis.blogspot.com/>: <https://dimitristsokakis.blogspot.com/2012/10/o.html>