

Οι αστρονομικοί βοηθοί του Captain Cook: Υπολογίζουμε την απόσταση Γης-Ηλίου

Μαρία Θεοδωροπούλου¹, Ιωάννης Χιωτέλης²

mtheodo@upatras.gr, johnchiotelis@yahoo.gr

¹ Τμήμα Επιστημών της Εκπαίδευσης και Κοινωνικής Εργασίας, Πανεπιστήμιο Πατρών

² Πειραματικό Λύκειο Πανεπιστημίου Πατρών

Περίληψη

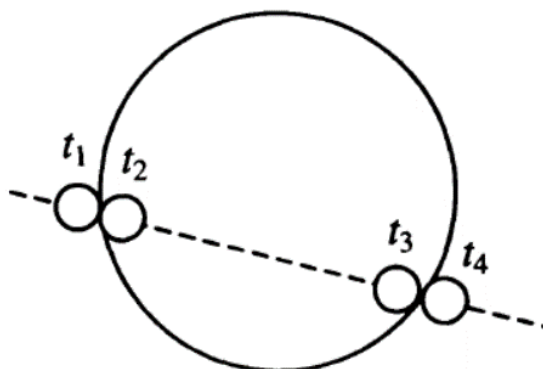
Γινόμεστε οι βοηθοί του Captain James Cook και υπολογίζουμε μαζί του την απόσταση Γης-Ηλίου. Με τη βοήθεια της ελεύθερης, δωρεάν εφαρμογής Stellarium μεταφερόμαστε στην Αϊτή πίσω στο μακρινό 1769, όπου στις 3 Ιουνίου ο Captain James Cook παρατήρησε και κατέγραψε τη διέλευση της Αφροδίτης μπροστά από τον ηλιακό δίσκο, ενώ με την AR εφαρμογή Solar System AR οι μαθητές παρατηρούν τις κινήσεις των πλανητών γύρω από τον Ήλιο και αντλούν πληροφορίες για την Αφροδίτη. Οι μαθητές με τη βοήθεια των εφαρμογών Stellarium και Solar System AR (Augmented Reality εφαρμογή) παρατηρούν ακριβώς ότι παρατήρησε ο Captain James Cook και με απλούς υπολογισμούς προσεγγίζουν την απόσταση Γης – Ηλίου.

Λέξεις κλειδιά: Απόσταση Γης-Ηλίου, Stellarium, Solar System AR, Captain James Cook

Εισαγωγή

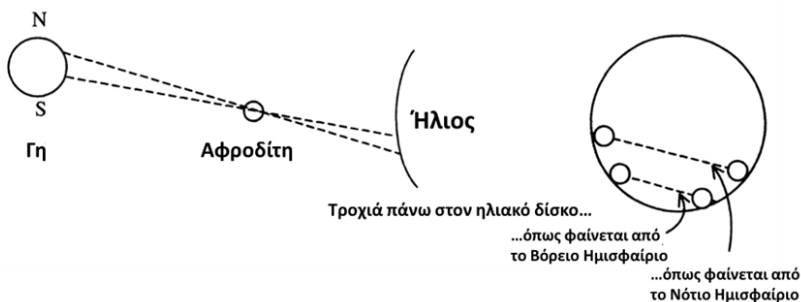
Ιστορική αναδρομή

Ο στενότερος φίλος του Isaak Newton ήταν ο Edmond Halley. Ο Edmond Halley υπήρξε ο άνθρωπος που πρότεινε μια εξαιρετικά ευφυή και ακριβή μέθοδο υπολογισμού της απόστασης Γης – Ηλίου. Η μέθοδός του στηριζόταν στην παρατήρηση της διέλευσης της Αφροδίτης μπροστά από τον ηλιακό δίσκο. Ωστόσο, ο James Short μαθητής του διαπρεπούς μαθηματικού Colin Maclaurin παρατήρησε και ο ίδιος τη διέλευση της Αφροδίτης, ως διακεκριμένος κατασκευαστής τηλεσκοπίων (Maclaurin, C. 1748). Ο James Short δημοσίευσε την εργασία του με τίτλο: «The Observations of the internal Contact of Venus with the Sun's Limb, in the late Transit, made in different Places of Europe, compared with the Time of the Same Contact observed at the Cape of Good Hope, and the Parallax of the Sun from thence determined», όπου παρουσιάζει και τους πρώτους ακριβέστερους υπολογισμούς της απόστασης Γης-Ηλίου. Ας δούμε συνοπτικά τη μέθοδο του James Short για τον υπολογισμό της ακτίνας περιφοράς της Γης γύρω από τον Ήλιο.



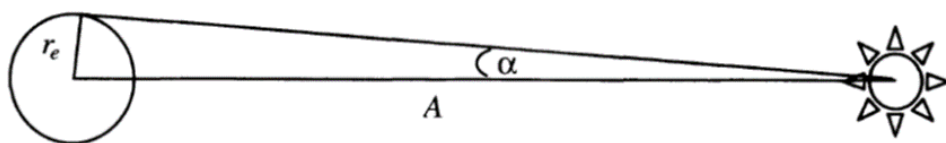
Εικόνα 1

Στην Εικόνα 1 φαίνονται οι τέσσερις καθοριστικές για τους υπολογισμούς μας θέσεις της Αφροδίτης μπροστά από τον ηλιακό δίσκο. Οι χρονικές στιγμές t_1 , t_2 , t_3 , και t_4 είναι αντίστοιχα οι χρονικές στιγμές ακριβώς πριν την είσοδο, ακριβώς μετά την είσοδο και ομοίως κατά την έξοδο. Αντίστοιχα στην Εικόνα 2 φαίνονται οι τροχιές που θα παρατηρήσουν δυο αστρονόμοι στο βόρειο και στο νότιο ημισφαίριο. Παρατηρούμε ότι για έναν παρατηρητή στο Βόρειο Ημισφαίριο ο χρόνος t_3 είναι νωρίτερα απ' ό,τι για έναν παρατηρητή στο Νότιο Ημισφαίριο. Επίσης, το χρονικό διάστημα $t_3 - t_2$ είναι μικρότερο για παρατηρητή στο Βόρειο Ημισφαίριο σε σχέση με παρατηρητή στο Νότιο Ημισφαίριο. Αυτοί οι χρόνοι και οι διαφορές τους είναι σημαντικές για τον υπολογισμό της ακτίνας Ηλίου - Γης (Yule, G. 2023).



Εικόνα 2

Ας δούμε τι μέτρησαν οι ερευνητές το 1761. Αρχικά, ας ορίσουμε την οριζόντια παράλλαξη, βασική πληροφορία για τον υπολογισμό της απόστασης Γης-Ηλίου:



Εικόνα 3

Η γωνία α στην Εικόνα 3 ονομάζεται οριζόντια παράλλαξη του Ηλίου. Το ημίτονο της παράλλαξης είναι ίσο με το λόγο της ακτίνας της Γης προς την απόσταση Γης-Ηλίου:

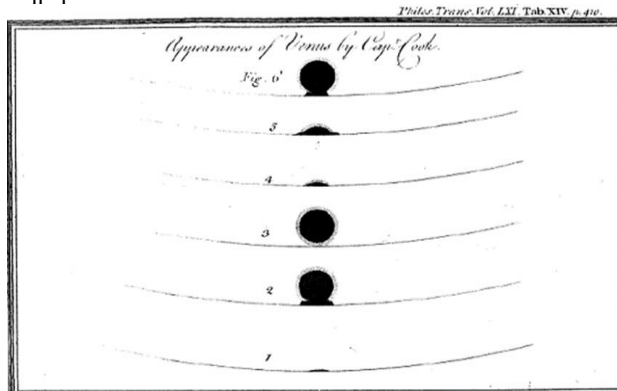
$$\eta\mu\alpha = \frac{r_e}{A}$$

Όπου A η απόσταση Γης-Ηλίου και r_e η ακτίνα της Γης.

Όσον αφορά τη διέλευση της Αφροδίτης μπροστά από τον ηλιακό δίσκο που συνέβη το 1761, οι παρατηρητές στο Greenwich κατέγραψαν χρονική στιγμή εξόδου της Αφροδίτης (t_3) την 8:19:00 AM τοπική ώρα, ενώ οι παρατηρητές στο Ακρωτήριο Καλής Ελπίδας κατέγραψαν αντιστοιχη χρονική στιγμή 9:39:50 AM. Η διαφορά είναι 1 ώρα 20 λεπτά και 50 δευτερόλεπτα. Αν κανείς αφαιρέσει τη διαφορά ώρας μεταξύ των δυο αυτών περιοχών που είναι 1 ώρα 13 λεπτά και 35 δευτερόλεπτα, τότε μένει μια χρονική διαφορά 7 λεπτών και 15 δευτερολέπτων, που αντιστοιχεί σε ηλιακή παράλλαξη ίση με 8,42'' δευτέρα της μοίρας, δηλαδή 8,42/3600 της μοίρας.

Από μετρήσεις που έγιναν σε 15 σημεία σε όλο τον κόσμο καταγράφηκε μέση τιμή ηλιακής παράλλαξης εκείνη τη μέρα ίση με 8,52'' δευτέρα της μοίρας, δηλαδή 8,52/3600 της μοίρας. Αν μετατρέψουμε τη γωνία αυτή σε ακτίνια με τη βοήθεια του τύπου $8,52/3600 \times \pi/180$ τότε βρίσκουμε: $4,1 \times 10^{-5}$. Αν τώρα διαιρέσουμε την ακτίνα της Γης (6378 Km) με αυτόν τον αριθμό θα έχουμε αποτέλεσμα 155.560.976 Km που είναι σε εξαιρετική συμφωνία με την πραγματική τιμή που γνωρίζουμε σήμερα από μετρήσεις με σύγχρονα τεχνολογικά μέσα: 149.600.000 Km (σφάλμα 4%!).

Ωστόσο, στο δικό μας εκπαιδευτικό σενάριο θα ταξιδέψουμε μαζί με τον Captain James Cook και το πλοίο του Endeavour στην Αϊτή και θα παρατηρήσουμε με τη βοήθεια του Stellarium τη διέλευση της Αφροδίτης της 3ης Ιουνίου 1769 (Beaglehole, J. C. 1992). Στην παρακάτω Εικόνα 4 φαίνονται οι ακριβείς μετρήσεις του Captain James Cook. Οι παρατηρήσεις του Captain James Cook ήρθαν να επιβεβαιώσουν και να επαληθεύσουν τις μετρήσεις των ερευνητών της διέλευσης του 1761. Το Stellarium ως διαδραστική εφαρμογή μας δίνει τη δυνατότητα να βρεθούμε στην Αϊτή στις 3 Ιουνίου 1769 δίπλα στον Captain James Cook και να γίνουμε οι βοηθοί του καταγράφοντας τη διέλευση της Αφροδίτης μπροστά από τον ηλιακό δίσκο. Ταυτόχρονα και ακαριαία μπορούμε να μεταφερθούμε στο βόρειο ημισφαίριο και να παρατηρήσουμε τη διαφορά στους χρόνους διέλευσης για το ίδιο φαινόμενο την ίδια ημέρα!



Εικόνα 4

Τελικά, οι μαθητές θα γίνουν βοηθοί του Captain James Cook, θα παρατηρήσουν «δίπλα» του το αστρονομικό φαινόμενο, θα καταγράψουν τους χρόνους διέλευσης και ακαριαία θα μεταφερθούν σε βορειότερο σημείο της υφελίου για να καταγράψουν και από εκεί τους αντίστοιχους χρόνους του ίδιου φαινομένου. Θα είναι έτσι έτοιμοι να υπολογίσουν την παράλλαξη και από εκεί την απόσταση Γης – Ηλίου!

Περιγραφή Εκπαιδευτικού Προβλήματος

Το επιστημονικό πρόβλημα που προσεγγίζουμε σε αυτό το εκπαιδευτικό σενάριο είναι η μέτρηση της απόστασης Γης – Ηλίου. Αρχικά αναφερόμαστε στην ιστορική περίοδο (1760-1770) και στον πόλεμο που είχε ξεσπάσει μεταξύ Αγγλίας και Γαλλίας και δυσκόλεψε την διεξαγωγή της επιστημονικής έρευνας σε ολόκληρο τον κόσμο. Στη συνέχεια αναφέρουμε την πρόταση του Edmond Halley, φίλου του Isaac Newton για τον τρόπο προσδιορισμού της απόστασης Γης-Ηλίου (Newton, I., & Halley, E. 1728). Ο Halley πρότεινε να παρατηρηθεί η διέλευση της Αφροδίτης μπροστά από τον Ήλιο από διαφορετικές περιοχές της Γης. Από τις διαφορές των χρόνων διέλευσης που παρατηρούνται στα διαφορετικά σημεία της υφελίου μπορούμε να υπολογίσουμε γεωμετρικά τη ζητούμενη απόσταση. Το εκπαιδευτικό σενάριο αρχικά παρουσιάζει στους μαθητές, τις κινήσεις περιφοράς των πλανητών γύρω από τον Ήλιο. Αυτό γίνεται εποπτικά με την εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας Solar System AR. Οι μαθητές βρίσκονται «μαγικά» ανάμεσα στους πλανήτες και παρατηρούν τις κινήσεις τους, μεταξύ των οποίων και την κίνηση της Αφροδίτης ανάμεσα στη Γη και στον Ήλιο. Στη συνέχεια με την εφαρμογή Stellarium οι μαθητές παρατηρούν τις διελεύσεις της Αφροδίτης το 1761 και το 1769 από διαφορετικά σημεία του πλανήτη (το Stellarium δίνει τη δυνατότητα παρατήρησης του ουρανού και αστρονομικών φαινομένων στο παρελθόν και στο μέλλον, αλλά και από διαφορετικά σημεία του πλανήτη μας). Οι μαθητές καταγράφουν τους χρόνους διέλευσης της Αφροδίτης από δυο διαφορετικά σημεία της Γης και από τη διαφορά των χρόνων υπολογίζουν με τη χρήση ημιτόνου την απόσταση Γης – Ηλίου. Ο υπολογισμός είναι απλός καθώς οι μαθητές δεν έχουν παρά να διαιρέσουν την ακτίνα της Γης (που δίνεται: περίπου 6400 Km) με το ημίτονο της γωνίας που υπολογίζεται από τις χρονικές διαφορές των διελεύσεων. Συνολικά, στοχεύουμε στον υπολογισμό της απόστασης Γης-Ηλίου, «ταξιδεύοντας» νοητά στο 1760, χρησιμοποιώντας απλή τριγωνομετρία και διαδραστικές εφαρμογές εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας.

Κοινό που Στοχεύει:

Βαθμίδα Εκπαίδευσης: Το σενάριο απευθύνεται στην τελευταία τάξη του Γυμνασίου (Γ' Γυμνασίου) και σε όλες τις τάξεις του Λυκείου. Στάδια του εκπαιδευτικού σεναρίου (χρήση εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας και του Stellarium) μπορούν να παρουσιαστούν και σε μαθητές των τελευταίων τάξεων του Δημοτικού.

Τάξη εφαρμογής: Εφαρμόσαμε το σενάριο με εξαιρετική επιτυχία σε μαθητές της Α' και Β' και Γ' Λυκείου.

Εύρος ηλικίας: 15-18 ετών.

Διαθεματικό: Η κυριότερες γνωστικές περιοχές που εμπλέκονται στο σενάριο είναι τα Μαθηματικά και η Φυσική. Βεβαίως, εμπλέκονται και Ιστορικά στοιχεία και η Αστρονομία. Ειδικά, για την εμπλοκή της Ιστορίας είναι καθοριστική, καθώς ο διεξαγόμενος τότε πόλεμος, επηρέασε τις μετρήσεις και την επιστημονική έρευνα. Πλοίο με Άγγλους ερευνητές που κατευθύνονταν στην Αυστραλία δέχθηκε επίθεση από γαλλικό πλοίο και οι μετρήσεις έγιναν τελικά από το Ακρωτήριο Καλής Ελπίδας, αντί για την Αυστραλία. Από Μαθηματικές σχέσεις

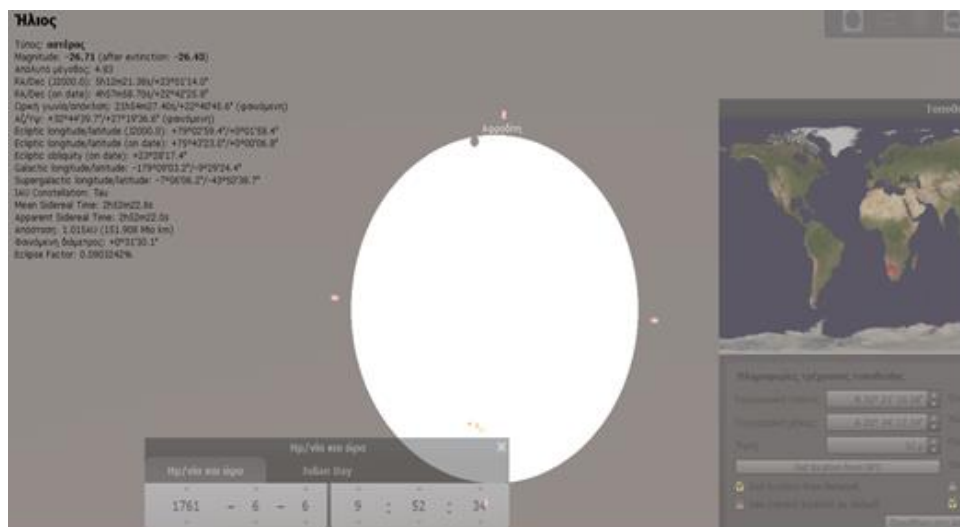
θα χρειαστούμε βασικά στοιχεία τριγωνομετρίας. Τέλος, από την πλευρά της Φυσικής και της Αστρονομίας θα χρειαστούμε στοιχεία κίνησης των πλανητών γύρω από τον Ήλιο.

Σκοπός του Σεναρίου

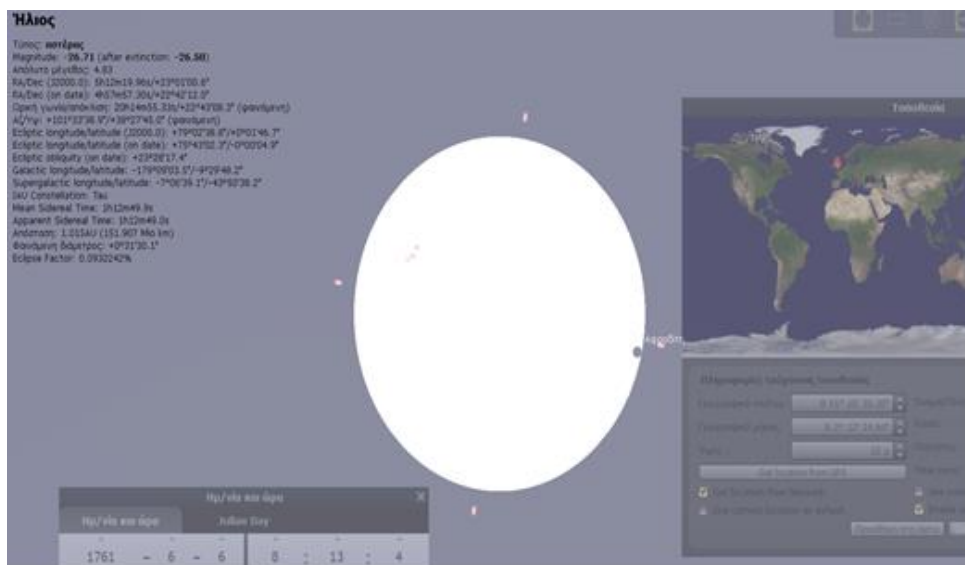
Ο γενικός σκοπός του εκπαιδευτικού σεναρίου είναι οι μαθητές να γνωρίσουν πώς μετρήθηκε για πρώτη φορά η απόσταση Γης-Ηλίου. Επίσης, να εντάξουν το πείραμα στο ιστορικό πλαίσιο στο οποίο έλαβε χώρα, να γνωρίσουν πώς τα ιστορικά γεγονότα επηρεάζουν την επιστήμη και τις δυσκολίες που ανακύπτουν κατά τη διεξαγωγή τέτοιων -ευρείας κλίμακας- πειραμάτων. Παράλληλα, ζητάμε από τους μαθητές να υπολογίσουν οι ίδιοι με δικές τους μετρήσεις την απόσταση Γης-Ηλίου σύμφωνα με τις υποδείξεις και τα βήματα των φύλλων εργασίας του εκπαιδευτικού σεναρίου. Οι μαθητές δηλαδή γίνονται μικροί ερευνητές και καταγράφουν πειραματικές μετρήσεις. Τέλος, στόχος του εκπαιδευτικού σεναρίου είναι οι μαθητές να αντιληφθούν ότι η Επιστήμη προϋποθέτει ολιστική προσέγγιση, αφού για την επίλυση ενός επιστημονικού ερωτήματος (εν προκειμένω της απόστασης Γης-Ηλίου) χρειαζόμαστε τόσο γνώσεις Φυσικής και Μαθηματικών, όσο και Αστρονομίας.

Καινοτομία/πρωτοτυπία

Από όσο γνωρίζουμε είναι η πρώτη φορά που επιχειρείται να παρουσιαστεί και να υλοποιηθεί έστω και εικονικά το πείραμα υπολογισμού της απόστασης Γης - Ηλίου σε περιβάλλον σχολικής τάξης. Για να το πετύχουμε αυτό κάνουμε χρήση του δωρεάν λογισμικού, που λειτουργεί και εκτός σύνδεσης στο διαδίκτυο, το Stellarium (Hughes, S. 2008). Με τη βοήθεια του Stellarium μεταφερόμαστε στο παρελθόν (1761 και 1769) και παρατηρούμε τις διελεύσεις της Αφροδίτης από δύο (τουλάχιστον) ή περισσότερα σημεία σε ολόκληρο τον κόσμο (το λογισμικό δίνει αυτή την εκπληκτική δυνατότητα - Εικόνες 5 & 6).



Εικόνα 5: Παρατήρηση της διέλευσης της Αφροδίτης από το Ακρωτήριο Καλής Ελπίδας στις 6/6/1761



Εικόνα 6: Παρατήρηση της διέλευσης της Αφροδίτης από το Greenwich στις 6/6/1761

Απ' όσο γνωρίζουμε δεν έχει προταθεί υλοποίηση αντίστοιχης μέτρησης σε σχολική τάξη. Παράλληλα, εισάγουμε στο εκπαιδευτικό σενάριο και την εφαρμογή επανξημένης πραγματικότητας Solar System AR, με της μαθητές να «βρίσκονται» μεταξύ των πλανητών και να παρατηρούν της κινήσεις των πλανητών γύρω της.

Αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα

Το βασικότερο μαθησιακό αποτέλεσμα είναι οι μαθητές να μάθουν πως υλοποιήθηκε ένα ιστορικό πείραμα που προϋπέθετε μετρήσεις σε όλα τα πλάτη και μήκη της Γης: αυτό της πρώτης μέτρησης της απόστασης Γης – Ηλίου. Οι μαθητές θα σχεδιάσουν το γεωμετρικό σχήμα (τριγωνο – Εικόνα 3) μέσω του οποίου θα γίνει ο υπολογισμός. Θα διδαχθούν την έννοια της παράλλας που δεν είναι τίποτα περισσότερο από την γωνία υπό την οποία «φαίνεται» η Γη από τον Ήλιο. Θα αποκτήσουν τη δεξιότητα της χρήσης του λογισμικού Stellarium που αποτελεί ένα εντυπωσιακό εργαλείο μελέτης του νυχτερινού ουράνιου θόλου και των αστρονομικών φαινομένων. Θα διδαχθούν πως να ορίζουν της παραμέτρους χρόνου, χώρου, ουρανογραφικών συντεταγμένων κτλ. στο αντίστοιχο λογισμικό έτσι ώστε να μπορούν στο μέλλον μόνοι της να αναζητούν πληροφορίες και να μελετούν αστρονομικά φαινόμενα. Αντίστοιχα, θα εντυπώσουν της δυνατότητες της επανξημένης και εικονικής πραγματικότητας ως εκπαιδευτικό εργαλείο (Mokhun, S., et. al. 2022, September).

Συνοπτικά, οι μαθητές θα ενεργήσουν ως ερευνητές καταγράφοντας πειραματικά δεδομένα, αναλύοντάς τα και εξάγοντας συμπεράσματα με τη βοήθεια λογισμικών.

Εφαρμογή Σεναρίου Διδασκαλίας

Φάση 1^η: Ιστορικό πλαίσιο και βασικές προ-απαιτούμενες γνώσεις:

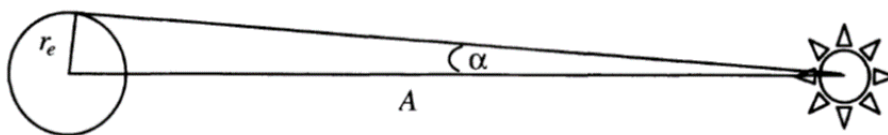
Η χρονική διάρκεια της πρώτης φάσης είναι μια διδακτική ώρα. Στην πρώτη φάση οι μαθητές με τη βοήθεια του εκπαιδευτικού προσεγγίζουν το ιστορικό πλαίσιο από την εποχή του Edmond Halley μέχρι τον Captain James Cook που πραγματοποίησε την επιβεβαιωτική

παρατήρηση της διέλευσης της Αφροδίτης το 1769 στην Αϊτή. Οι μαθητές μπορούν να αναζητήσουν πληροφορίες στην ιστοσελίδα:

https://en.wikipedia.org/wiki/Transit_of_Venus όπου παρέχονται αναλυτικά ιστορικά στοιχεία για της διελεύσεις της Αφροδίτης διαχρονικά. Της, οι μαθητές καλούνται να αναζητήσουν πληροφορίες υπό την καθοδήγηση του καθηγητή της για τον επταετή πόλεμο μεταξύ Γαλλίας και Αγγλίας που διεξαγόταν μέχρι το 1763 και επηρέασε της επιστημονικές αποστολές των πρώτων ερευνητών το 1761. Πληροφορίες οι μαθητές θα αντλήσουν στην ιστοσελίδα:

https://en.wikipedia.org/wiki/Seven_Years%27_War.

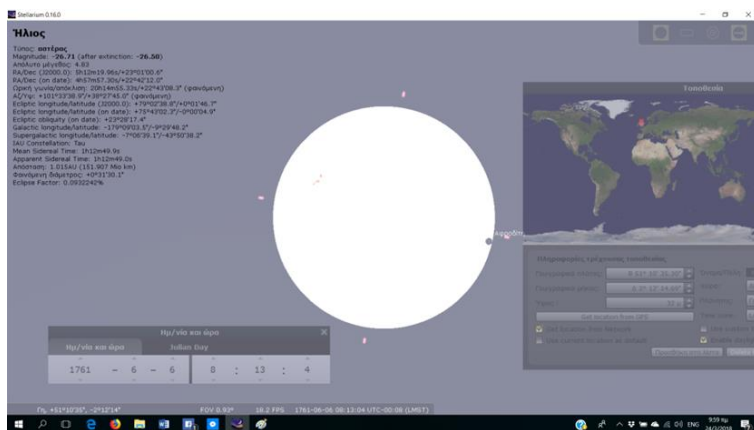
Στη συνέχεια ο εκπαιδευτικός παρουσιάζει της μαθητές την έννοια της παράλλαξης ως η γωνία υπό την οποία φαίνεται η Γη από τον Ήλιο (Εικόνα 8). Η έννοια είναι σχετικά απλή και κατανοητή αν παρουσιαστεί συνοδευόμενη από την αντίστοιχη εικόνα.



Εικόνα 8

Φάση 2η: Εισαγωγή στις εφαρμογές λογισμικού και επαυξημένης πραγματικότητας.

Η φάση αυτή είναι επίσης διάρκειας μιας διδακτικής ώρας. Στη φάση αυτή ο εκπαιδευτικός μοιράζει στους μαθητές φύλλο οδηγιών για τη χρήση του δωρεάν εκπαιδευτικού λογισμικού Stellarium: <http://stellarium.org/> που αφορά την παρατήρηση αστρονομικών φαινομένων στο παρελθόν, στο παρόν αλλά και στο μέλλον. Πρόκειται για ένα επιστημονικό εργαλείο απόλυτης ακρίβειας που διατίθεται δωρεάν και σε οποιαδήποτε έκδοχή λογισμικού και λειτουργεί ακόμα και εκτός σύνδεσης. Οι μαθητές ακολουθώντας τις οδηγίες από το φύλλο οδηγιών που τους έχει δοθεί εξοικειώνονται με τη χρήση του λογισμικού, ώστε στην επόμενη διδακτική φάση να μπορούν να το χρησιμοποιήσουν με ευχέρεια. Στη διδακτική αυτή φάση μαθαίνουν πως να ορίζουν ημερομηνία, να καθορίζουν τοποθεσία θέασης του ουράνιου θόλου, να επιταχύνουν ή να επιβραδύνουν τις κινήσεις των πλανητών και να αναζητούν αστρονομικά δεδομένα. Μπορούμε να ζητήσουμε από τους μαθητές να προσδιορίσουν τη διέλευση της Αφροδίτης της 6ης Ιουνίου 1761, όπως παρατηρήθηκε από το αστεροσκοπείο του Greenwich της Αγγλίας (Εικόνα 9). Αναλυτικές οδηγίες αναφέρονται παρακάτω στο τμήμα Ε. Υποστηρικτικό υλικό/ υλικοτεχνική υποδομή.

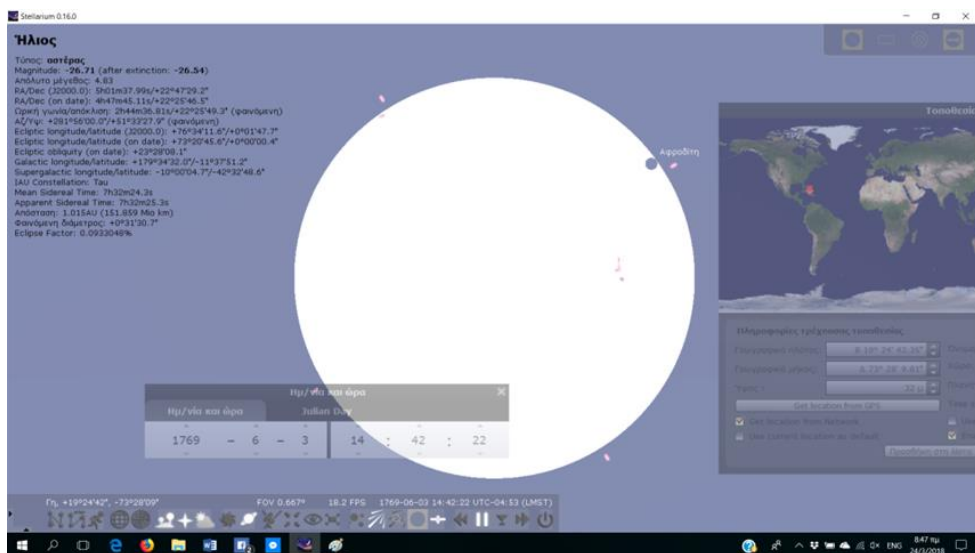


Εικόνα 9

Οι μαθητές θα ορίσουν την τοποθεσία στο αντίστοιχο «παράθυρο» επιλογών και στη συνέχεια την ημερομηνία επίσης στο αντίστοιχο «παράθυρο» επιλογών. Οι μαθητές θα παρατηρήσουν την Αφροδίτη στο κάτω μέρος δεξιά του Ηλίου και στη συνέχεια να διατρέχει τον ηλιακό δίσκο. Μπορούμε βεβαίως να επιταχύνουμε την κίνηση με την κατάλληλη επιλογή εντολών. Τέλος, στο πάνω αριστερά τμήμα της εικόνας βλέπουμε πλήθος αστρονομικών δεδομένων όπως και το χρονικό διάστημα εξέλιξης του φαινομένου που είναι χρήσιμη πληροφορία για τις μετρήσεις μας.

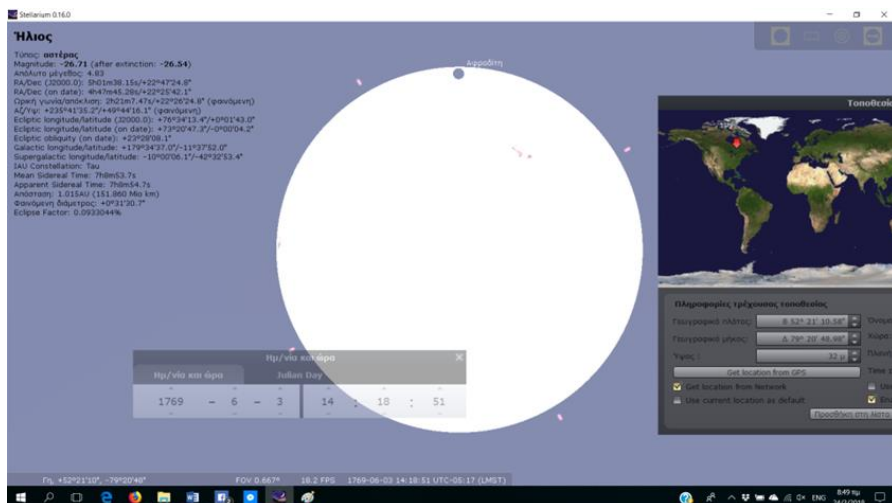
Φάση 3η: Αναλυτικές οδηγίες διεξαγωγή των εικονικών πειραμάτων και καταγραφή πειραματικών δεδομένων.

Στη τρίτη αυτή φάση που διαρκεί μια διδακτική σχολική ώρα οι μαθητές θα διεξάγουν την παρατήρηση του Captain James Cook από την Αϊτή στις 6 Ιουνίου 1769. Για το λόγο αυτό ορίζουν τις κατάλληλες μεταβλητές χρόνου και χώρου στο λογισμικό Stellarium και ξεκινάνε την παρατήρηση του φαινομένου (Εικόνα 10).



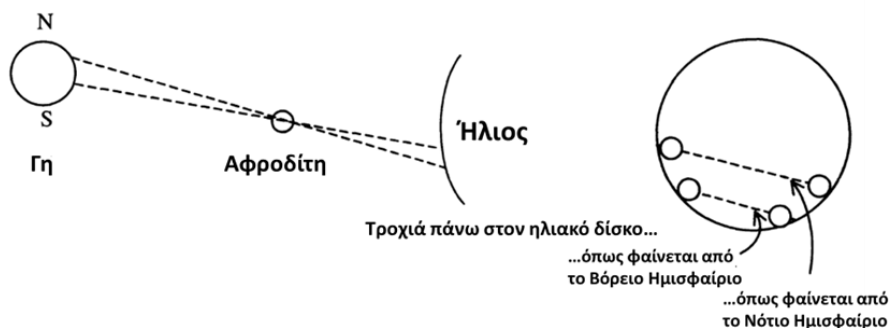
Εικόνα 10

Αυτό που κυρίως ενδιαφέρει τους μαθητές είναι να καταγράψουν τη χρονική διάρκεια διέλευσης της Αφροδίτης μπροστά από τον ηλιακό δίσκο. Προς την κατεύθυνση αυτή βοηθάει απόλυτα η καταγραφή χρόνων στο πάνω δεξιά μέρος της οθόνης, όπου πλήθος αστρονομικών στοιχείων, άρα και ο χρόνος καταγράφονται σε πραγματικές συνθήκες. Στη συνέχεια οι μαθητές, χωρίς να μεταβάλουν τις παραμέτρους χρόνου μεταφέρονται ακαριαία στο βόρειο τμήμα της Αμερικανικής ηπείρου μετακινώντας απλά το κόκκινο βελάκι στο παράθυρο τοποθεσίας βορειότερα (Εικόνα 11).



Εικόνα 11

Αυτό γίνεται αφενός για να παρατηρήσουν οι μαθητές ότι η ευθύγραμμη τροχιά της Αφροδίτης φαίνεται διαφορετικά από διαφορετικές περιοχές της υφελίου, αφετέρου να καταγραφούν οι δυο διαφορετικοί χρόνοι διέλευσης. Οι χρονικές διαφορές είναι σημαντικές για τον υπολογισμό της γωνίας (παράλλαξη) και άρα για τον υπολογισμό της απόστασης Γης - Ηλίου. Αυτό αποτελεί τη βάση και την «καρδιά» της πρωτοπόρου ιδέας του Edmond Halley για τον υπολογισμό της απόστασης Γης - Ηλίου, όπως φαίνεται και στην παρακάτω Εικόνα 12:



Εικόνα 12

Στη φάση αυτή (3η) οι μαθητές ενεργούν αυτόνομα ως παρατηρητές και ερευνητές, ενώ συλλέγουν πειραματικά - παρατηρησιακά δεδομένα σαν να ήταν βοηθοί του Captain Cook και των ερευνητών του 1761.

Φάση 4η: Επεξεργασία των δεδομένων - υπολογισμός απόστασης Γης - Ηλίου από τα καταγεγραμμένα πειραματικά δεδομένα.

Από τις μετρήσεις και τις παρατηρήσεις των μαθητών στην τέταρτη φάση του εκπαιδευτικού σεναρίου που θα διαρκέσει επίσης μια διδακτική ώρα θα υπολογίσουμε μαζί με τους μαθητές την απόσταση Γης - Ηλίου. Χρειαζόμαστε οπωσδήποτε τις χρονικές διάρκειες διέλευσης της Αφροδίτης μπροστά από τον Ηλιακό δίσκο από δυο διαφορετικά σημεία της υφελίου με μεγάλη απόσταση (π.χ. Αϊτή και Καναδάς). Στη συνέχεια θα δώσουμε στους μαθητές ένα παράδειγμα υπολογισμού της απόστασης Γης - Ηλίου όπως προσδιορίστηκε το 1761, ώστε να στηρίξουν το δικό τους αντίστοιχο υπολογισμό. Το παράδειγμα έχει ως εξής:

«Στη διέλευση της Αφροδίτης μπροστά από τον ηλιακό δίσκο που συνέβη το 1761, οι παρατηρητές στο Greenwich κατέγραψαν χρονική στιγμή εξόδου της Αφροδίτης την 8:19:00 AM τοπική ώρα, ενώ οι παρατηρητές στο Ακρωτήριο Καλής Ελπίδας κατέγραψαν αντίστοιχη χρονική στιγμή 9:39:50 AM. Η διαφορά είναι 1 ώρα 20 λεπτά και 50 δευτερόλεπτα. Αν κανείς αφαιρέσει τη διαφορά ώρας μεταξύ των δυο αυτών περιοχών που είναι 1 ώρα 13 λεπτά και 35 δευτερόλεπτα, τότε μένει μια χρονική διαφορά 7 λεπτών και 15 δευτερολέπτων, που αντιστοιχεί σε ηλιακή παράλλαξη ίση με $8,42''$ δεύτερα της μοίρας, δηλαδή $8,42/3600$ της μοίρας. Αν μετατρέψουμε τη γωνία αυτή σε ακτίνια με τη βοήθεια του τύπου $8,42/3600 \times \pi/180$ τότε βρίσκουμε: $4,1 \times 10^{-5}$. Αν τώρα διαιρέσουμε την ακτίνα της Γης (6378 Km) με αυτόν τον αριθμό θα έχουμε αποτέλεσμα 155.560.976 Km που είναι σε εξαιρετική συμφωνία με την πραγματική τιμή που γνωρίζουμε σήμερα από μετρήσεις με σύγχρονα τεχνολογικά μέσα: 149.600.000 Km (σφάλμα 4%).»

Φάση 5η: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Συζήτηση σχετικά με τη διαδικασία, αξιολόγηση και ανατροφοδότηση.

Στο τελευταίο αυτό στάδιο, διάρκειας μιας διδακτικής ώρας, οι μαθητές λαμβάνουν το λόγο και παρουσιάζουν τα πειραματικά τους αποτελέσματα. Οργανώνουν μια παρουσίαση και προβάλλουν ενώπιον των συμμαθητών τους, αλλά και του καθηγητή τους τα ευρήματά τους. Το στάδιο αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς ολοκληρώνει το ρόλο τους ως ερευνητές επιστήμονες, ενώ παράλληλα θα υποστηρίξουν τα αποτελέσματά τους σε τυχόν ερωτήσεις του ακροατηρίου. Οι μαθητές θα παρουσιάσουν τα σφάλματα των μετρήσεών τους δείχνοντας την ακρίβεια της μεθόδου.

Παράλληλα, θα συζητηθούν στην ολομέλεια τα ελκυστικά, αλλά και τα δύσκολα σημεία του εκπαιδευτικού σεναρίου στην ολότητά του, τις πιθανές αλλαγές και βελτιώσεις του σεναρίου και θα γίνει ανατροφοδότηση κυρίως από την πλευρά των μαθητών. Η αξιολόγησή μας θα έγκειται κυρίως στο τι άρεσε στους μαθητές και αν τελικά έμαθαν την ιστορία, τα γεγονότα και την τεχνική πρώτου προσδιορισμού της απόστασης Γης – Ηλίου.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Beaglehole, J. C. (1992). *The life of captain James Cook*. Stanford University Press.
- Hughes, S. (2008). Stellarium-a valuable resource for teaching astronomy in the classroom and beyond. *Science Education News (SEN)*, 57(2), 83-86.
- Maclaurin, C. (1748). *An account of Sir Isaac Newton's philosophical discoveries* (Vol. 87). Georg Olms Verlag.
- Mokhun, S., Fedchyshyn, O., Kasianchuk, M., Chopyk, P., Basistyi, P., & Matsyuk, V. (2022, September). Stellarium software as a means of development of students' research competence while studying physics and astronomy. In *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)* (pp. 587-591). IEEE.
- Newton, I., & Halley, E. (1728). *Universal Arithmetick: Or, A Treatise of Arithmetical Composition and Resolution. To which is Added Dr. Halley's Method of Finding the Roots of Equations Arithmetically*. J. Senex.
- Riley, J. (1967). The Identity of William Gregory. *Music & Letters*, 236-246.
- Simpson, A. D. C. (1992). James Gregory and the reflecting telescope. *Journal for the History of Astronomy*, 23(2), 77-92.
- Yule, G. (2023). James Short. *Yearbook of Astronomy 2024*, 103.
- Solar System AR (ARCore): Retrieved from <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.guidapasquale.solarsystemar&hl=en&gl=US>
- Stellarium: Retrieved from <http://stellarium.org/>