

## Open Schools Journal for Open Science

Τόμ. 3, Αρ. 7 (2020)



### Ο ήλιος σαν πηγή ενέργειας

Ανδρέας Γεωργόπουλος, Ελένη Παρασκευοπούλου,  
Κωνσταντίνος Μπίλιας

doi: [10.12681/osj.24343](https://doi.org/10.12681/osj.24343)

Copyright © 2020, Ανδρέας Γεωργόπουλος, Ελένη  
Παρασκευοπούλου, Κωνσταντίνος Μπίλιας



Άδεια χρήσης [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

### Βιβλιογραφική αναφορά:

Γεωργόπουλος Α., Παρασκευοπούλου Ε., & Μπίλιας Κ. (2020). Ο ήλιος σαν πηγή ενέργειας. *Open Schools Journal for Open Science*, 3(7). <https://doi.org/10.12681/osj.24343>



# Ο ήλιος σαν πηγή ενέργειας

Ανδρέας Γεωργόπουλος<sup>1</sup>, Παρασκευοπούλου Ελένη<sup>2</sup>, Μπίλιας Κων/νος<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Εκπαιδευτήρια Γείτονα, Αθήνα, Ελλάδα

<sup>2</sup> Φυσικός, Εκπαιδευτήρια Γείτονα, Αθήνα, Ελλάδα

<sup>3</sup> Υπεύθυνος Εργαστηρίων Φυσικής Εκπαιδευτηρίων Γείτονα, Αθήνα, Ελλάδα

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη γη είναι η θεμελιώδης αιτία της ύπαρξης και συντήρησης της ζωής πάνω σε αυτήν. Στη συγκεκριμένη εργασία θα αναφερθούμε στο μηχανισμό με τον οποίο παράγονται τα τεράστια ποσά ενέργειας που εκπέμπονται από τον ήλιο, στη δομή του ήλιου, καθώς και στη μέτρηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη. Για τη μέτρηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη χρησιμοποιούμε μία ορισμένη ποσότητα, χρωματισμένου με μελάνη, νερού την οποία εκθέτουμε στο ήλιο για χρονικό διάστημα ικανό για να αυξηθεί η θερμοκρασία του για μερικούς βαθμούς Κελσίου. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τη βασική εξίσωση της θερμιδομετρίας υπολογίζουμε το ποσό ενέργειας που έχει απορροφηθεί από το νερό και προέρχεται από την εκπεμπόμενη από τον ήλιο ενέργεια. Στη συνέχεια υπολογίζουμε την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας και τέλος την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Συγκρίνουμε το αποτέλεσμα των μετρήσεων με τη θεωρητική τιμή που είναι περίπου  $1\text{kw}/\text{m}^2$ .

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Θερμότητα, θερμοκρασία, ηλιακή ενέργεια, ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, πυρηνική σύντηξη.





## Ο ΗΛΙΟΣ ΣΑΝ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Βλέπουμε τον Ήλιο να λάμπει κάθε μέρα. Είναι λαμπερός και θερμός και είναι το φωτεινό αντικείμενο στο Ηλιακό μας σύστημα. Ο Ήλιος είναι το πιο σημαντικό πράγμα για τη Γη. Στη γη η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το έδαφος, τη θάλασσα και την ατμόσφαιρα.

Δημιουργεί τα ρεύματα τόσο στην θάλασσα όσο και στον αέρα, και επηρεάζει δραματικά το κλίμα και τον καιρό. Είναι η πιο σημαντική πηγή ενέργειας για τη ζωή στη Γη. Παρέχει ενέργεια για τη φωτοσύνθεση των φυτών και έτσι στηρίζει τη βάση της τροφικής αλυσίδας στον πλανήτη μας. Εξαιτίας όλων αυτών, πολλοί ενδιαφέρονται να μάθουν περισσότερα για αυτόν.

Ο Ήλιος βρίσκεται στο κέντρο τους ηλιακού μας συστήματος. Οι εννέα πλανήτες, οι δορυφόροι τους και μικρότερα σώματα όπως αστεροειδείς, κομήτες και μικρά παγωμένα σώματα στα άκρα του ηλιακού μας συστήματος γνωστά ως αντικείμενα της ζώνης Kuiper, όλα κινούνται γύρω από τον Ήλιο. Ο κεντρικός ρόλος του Ήλιου πηγάζει από τη μεγάλη του μάζα. Αποτελεί το 99,8% της μάζας του ηλιακού μας συστήματος και άρα καθορίζει την κίνηση των υπόλοιπων σωμάτων αυτού μέσω των βαρυτικών δυνάμεων. Η μάζα του Ήλιου είναι  $1,99 \times 10^{30} \text{kg}$ , ή περίπου 333.000 φορές τη μάζα της Γης. Η ακτίνα του ήλιου είναι 696000km, περίπου 109 φορές την ακτίνα της Γης (<http://lasp.colorado.edu/home/wp-content/uploads/2011/09/59.pdf>). Αν ο ήλιος ήταν μια μπάλα μπάσκετ, η Γη θα είχε το ίδιο μέγεθος με έναν κόκκο άμμου. Η απόσταση του από τη Γη είναι 149,6 εκατομμύρια χιλιόμετρα. Ο ήλιος με βάση την αρχική του μάζα υπολογίζεται ότι θα ζήσει συνολικά 10 δισεκατομμύρια χρόνια, ενώ η ηλικία του εκτιμάται στα 5 δισεκατομμύρια χρόνια.

Ο Ήλιος είναι μία πύρινη αεριώδης σφαίρα, η οποία αποτελείται από 70% υδρογόνο, 28% ήλιο και 2% βαρύτερα στοιχεία όπως άνθρακας, άζωτο, οξυγόνο, νέον, σίδηρος, πυρίτιο, μαγνήσιο και θείο. Στις συνθήκες που επικρατούν μέσα στον Ήλιο, η αεριώδης μάζα είναι πλήρως ιονισμένη (τα άτομα έχουν χάσει ένα ή περισσότερα από τα ηλεκτρόνια τους και έχουν γίνει ιόντα). Αυτή η μορφή του ηλεκτρικά φορτισμένου αερίου ονομάζεται πλάσμα.

Όταν ο Ήλιος παρατηρείται με ειδικά όργανα, φαίνεται να έχει επιφάνεια. Αλλά αφού ο ήλιος είναι μια αέρια μάζα δεν έχει μία στερεά επιφάνεια όπως η Γη. Αντί αυτού η φαινόμενη επιφάνεια του ήλιου,

που μοιάζει κοκκώδης,





είναι η περιοχή από την οποία το φως του ήλιου ξεκινά το ταξίδι του προς τη γη και η περιοχή όπου εμφανίζονται τα ορατά ηλιακά χαρακτηριστικά. Αυτά τα ορατά ηλιακά χαρακτηριστικά είναι οι ηλιακές κηλίδες (σχετικά ψυχρές, σκοτεινές περιοχές), οι προεξοχές (ψυχρό, πυκνό πλάσμα που εκτείνεται προς τα έξω από την "επιφάνεια") και οι λάμπσεις. Η συμπεριφορά αυτών των χαρακτηριστικών της επιφάνειας επηρεάζονται πάρα πολύ από το μαγνητικό πεδίο του Ήλιου.

Το μαγνητικό πεδίο του Ήλιου δημιουργείται από την κινητική ενέργεια του πλάσματος μέσα στον Ήλιο. Ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων στην επιφάνεια του Ήλιου είναι μέτρο της μαγνητικής δραστηριότητας μέσα σε αυτόν. Ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων αλλάζει κατά τη διάρκεια του κύκλου των ηλιακών κηλίδων, που είναι περίπου 11 χρόνια. Κατά το ελάχιστο του ηλιακού κύκλου, σπάνια εμφανίζονται ηλιακές κηλίδες στον Ήλιο και οι κηλίδες που φαίνονται είναι πολύ μικρές και σύντομες. Κατά τη διάρκεια του ηλιακού μέγιστου, υπάρχουν ορατές ηλιακές κηλίδες στον Ήλιο σχεδόν όλο το χρόνο (συχνά υπάρχουν ορατές περισσότερες από εκατό κηλίδες), και ορισμένα από αυτά τα σημεία είναι πολύ μεγάλα (μέχρι 50.000 χλμ. σε διάμετρο) και διαρκούν αρκετές εβδομάδες. Υπήρξε ένα μέγιστο ηλιακό σημείο το 1989-1990 και ένα άλλο το 2000-2001" Nasa.

Η εσωτερική δομή του Ήλιου μπορεί να περιγραφεί με όρους «ζωνών» και «στρωμάτων». Στην καρδιά του Ήλιου βρίσκεται ο **πυρήνας**, ο οποίος έχει ακτίνα ίση με το 20% της ηλιακής. Η μεγαλύτερη θερμοκρασία στον πυρήνα του ξεπερνά τα  $15 \cdot 10^6 \text{K}$ , και από εκεί πηγάζει περίπου όλη ενέργεια του Ήλιου που δημιουργείται μέσω της πυρηνικής σύντηξης. Κατά τη διάρκεια της σύντηξης η πυρηνική ύλη μετατρέπεται σε ενέργεια όταν τα άτομα υδρογόνου ενώνονται και σχηματίζουν ήλιο, και ως αποτέλεσμα απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Η υψηλή θερμοκρασία στον πυρήνα του Ήλιου είναι αναγκαία για τη διαδικασία της σύντηξης, διαφορετικά η διαδικασία της σύντηξης των ατόμων υδρογόνου θα ήταν αδύνατη. Έξω από τον πυρήνα του Ήλιου βρίσκεται η **ζώνη ακτινοβολίας** που παίρνει το όνομά της από τον τρόπο με τον οποίο η ενέργεια, που παράγεται στον πυρήνα, μεταφέρεται από τις εσωτερικές προς τις εξωτερικές περιοχές της ζώνης αυτής, δηλ. μέσω ακτινοβολίας. Η ζώνη ακτινοβολίας είναι ένας σφαιρικός φλοιός που έχει πάχος το 50% της ηλιακής ακτίνας, θερμοκρασία  $2 \cdot 10^6 \text{K}$  έως  $8 \cdot 10^6$





Κ και αποτελείται από ιονισμένη ύλη. Γύρω από τη ζώνη ακτινοβολίας εκτείνεται η **ζώνη μεταφοράς** με πάχος περίπου το 30% της ηλιακής ακτίνας, η οποία φτάνει μέχρι την επιφάνεια του ήλιου. Στην περιοχή αυτή επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες, της τάξεως των  $2 \times 10^6 \text{K}$ . Το όνομα της πηγάζει από το γεγονός ότι η ενέργεια σε αυτή την περιοχή μεταφέρεται μέσω ανοδικών ρευμάτων.

Η **φωτόσφαιρα** είναι το πρώτο στρώμα της Ηλιακής ατμόσφαιρας. Πρόκειται για τη λαμπρή ορατή επιφάνεια του Ήλιου, που έχει μια θερμοκρασία γύρω στους  $5500^\circ\text{C}$ . Η φωτόσφαιρα έχει κοκκώδη υφή, σαν την επιφάνεια ενός παχύρρευστου υγρού που βράζει. Το επόμενο στρώμα είναι η **χρωμόσφαιρα**, το τμήμα της ατμόσφαιρας του Ηλίου ακριβώς πάνω από τη φωτόσφαιρα, που εκτείνεται μόλις 2.000 km μετά από αυτήν. Η θερμοκρασία μέσα σε αυτήν αυξάνεται ραγδαία μαζί με το υψόμετρο. Πάνω από τη χρωμόσφαιρα βρίσκεται το εντυπωσιακό **στέμμα** που μπορούμε να το δούμε ακριβώς τη στιγμή της ολικής ηλιακής έκλειψης. Η λαμπρότητα του στέμματος είναι αντίστοιχη με αυτήν της πανσελήνου. Η θερμοκρασία του κυμαίνεται από  $500.000^\circ\text{C}$  έως και  $6.000.000^\circ\text{C}$ , και είναι πολύ λεπτό. Το αέριο του στέμματος είναι τόσο θερμό που εκπέμπει ακτίνες x και δημιουργεί τον ηλιακό άνεμο. Ο ηλιακός άνεμος μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι προέκταση της ατμόσφαιρας του Ηλίου. Σχηματίζεται από την ηλιακή ακτινοβολία μαζί με την έντονη ροή πρωτονίων, ηλεκτρονίων και πυρήνων ηλίου, που εκτοξεύονται από την ατμόσφαιρα του Ηλίου με ταχύτητες εκατοντάδων χιλιομέτρων ανά δευτερόλεπτο.

Ο ήλιος παρέχει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας στη Γη. Η ποσότητα ενέργειας που ο Ήλιος εκπέμπει ανά δευτερόλεπτο είναι  $3.83 \times 10^{26} \text{J}$ . Δεδομένου ότι η ακτίνα του Ήλιου ( $R_s$ ), είναι 696.000km, η ενέργεια ανά δευτερόλεπτο ανά τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας του Ήλιου είναι  $6.29 \times 10^7 \text{W/m}^2$  (δηλαδή  $3.83 \times 10^{26} \text{W} / (4\pi R_s^2)$ ). Αλλά καθώς αυτή η ενέργεια ακτινοβολείται προς όλες τις κατευθύνσεις, μόνο ένα μικρό κομμάτι φτάνει στην κορυφή της ατμόσφαιρας της γης. Η μέση ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία μοναδιαία επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες του ήλιου στο όριο της ατμόσφαιρας της γης, γνωστή ως ηλιακή σταθερά, είναι  $1370 \text{W/m}^2$  (<http://lasp.colorado.edu/home/wp-content/uploads/2011/09/59.pdf>).





Η πρώτη προσπάθεια πειραματικού προσδιορισμού της ηλιακής σταθεράς έγινε από το Γάλλο Φυσικό Claude Pouillet (1837). Ο Pouillet προς τούτο κατασκεύασε το πρώτο πυρηλιόμετρο, μία συσκευή με την οποία κατάφερε να μετρήσει την ένταση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης, μετρώντας την αύξηση της θερμοκρασίας μιας ορισμένης ποσότητας νερού υπό την επίδραση του ηλιακού φωτός σε ορισμένο χρόνο. Στη συνέχεια κατάφερε να ποσοτικοποιήσει τη συμβολή της ατμόσφαιρας στην απορρόφηση και την ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας και τελικά να προσδιορίσει την τιμή της ηλιακής σταθεράς 10% χαμηλότερη από την τρέχουσα εκτίμηση των  $1.367\text{W}/\text{m}^2$  (Dufresne, 2008).

### Υπολογισμός της ηλιακής σταθεράς από την ηλιακή λαμπρότητα

Η ενέργεια που εκπέμπεται από όλη την επιφάνεια του ήλιου ανά μονάδα χρόνου, ονομάζεται ολική λαμπρότητα του ήλιου και είναι ίση με:

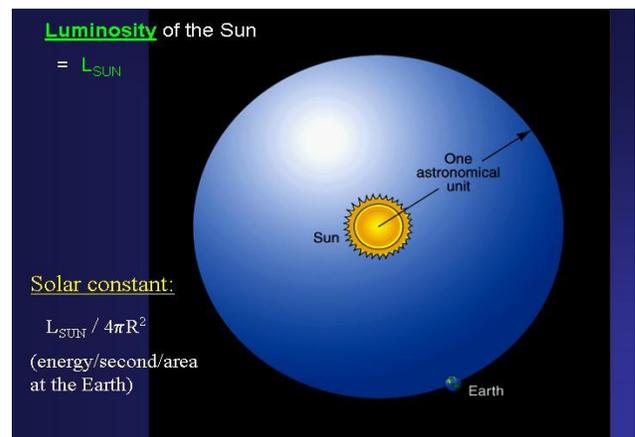
$$L_H = 3,828 \cdot 10^{26}\text{W}$$

Η ενέργεια αυτή, εφόσον δεν συμβαίνει καμία απορρόφηση στο μεσοαστρικό διάστημα, διαδίδεται σφαιρικά προς όλες τις διευθύνσεις, σχεδόν ισότροπα, και έτσι σε απόσταση ίση με τη μέση απόσταση της γης από τον ήλιο (και έξω από την ατμόσφαιρα της γης) κατανέμεται σε μια σφαιρική επιφάνεια, ακτίνας ίσης με την απόσταση αυτή. Το ποσό της ενέργειας που φτάνει ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα επιφάνειας κάθετης στις ακτίνες του ήλιου της σφαιρικής αυτής επιφάνειας, αποτελεί την Ηλιακή σταθερά ( $S$ ) και υπολογίζεται θεωρητικά από:

$$S = \frac{L_H}{4\pi d^2} \text{ όπου}$$

$d = 1,5 \cdot 10^{11}\text{m}$  είναι η μέση απόσταση Γης-Ήλιου

$$S = \frac{3,828 \cdot 10^{26}\text{W}}{4 \cdot 3,14 \cdot (1,5 \cdot 10^{11})^2\text{m}^2} = 1354,56 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$



[https://www.astro.ufl.edu/~guzman/ast1002/class\\_notes/Ch9/Ch9.html](https://www.astro.ufl.edu/~guzman/ast1002/class_notes/Ch9/Ch9.html)





Με βάση μια σχετικά πρόσφατη πειραματική μέτρηση της σταθεράς (Kopp & Lean, 2011), η τιμή της προσδιορίστηκε στα

$$S = 1360,8 \pm 0,5 \frac{W}{m^2}$$

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης διαφέρει από την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας της Γης. Ενώ η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας είναι σχετικά σταθερή, η ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης ποικίλλει λόγω:

- ατμοσφαιρικών επιδράσεων, συμπεριλαμβανομένης της απορρόφησης (από το όζον, τους υδρατμούς, το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα) και της σκέδασης (από τα μόρια αέρα, σκόνης ή ρύπους).
- τοπικών διακυμάνσεων στην ατμόσφαιρα, όπως υδρατμοί, σύννεφα και ρύπανση
- γεωγραφικού πλάτους της θέσης και
- της εποχής του έτους και της ώρας της ημέρας.

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη γη διακρίνεται σε άμεση, διάχυτη και ολική. Άμεση είναι η ακτινοβολία που φτάνει στη γη κατευθείαν από τον ήλιο, διάχυτη εκείνη που φτάνει στη γη αφού πρώτα η κατεύθυνσή της έχει αλλάξει λόγω σκέδασης στα συστατικά της ατμόσφαιρας και ολική είναι το άθροισμα άμεσης και διάχυτης.

## ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Το πείραμα που θα κάνουμε, θα μας βοηθήσει να μετρήσουμε την αλλαγή θερμοκρασίας σε ένα μπουκάλι γεμάτο με νερό, ενώ είναι εκτεθειμένο στο ηλιακό φως. Χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα και άλλες παραμέτρους του πειράματος, θα μπορέσουμε να υπολογίσουμε την ένταση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή την ποσότητα ενέργειας που φθάνει στη γη από τον ήλιο ανά τετραγωνικό μέτρο ανά δευτερόλεπτο (Whitehorne et al., 2007).





## Απαραίτητες γνώσεις

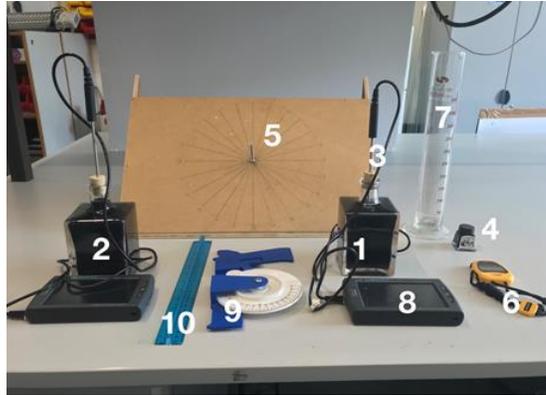
Η μέτρηση των θερμικών αλλαγών έγινε εφικτή για πρώτη φορά λίγο πριν από τα μέσα του 19ου αιώνα για δύο λόγους. Πρώτον, η φύση της ίδιας της θερμότητας δεν ήταν τόσο πολύ καλά κατανοητή. Αρκεί να αναφέρουμε ότι μέχρι τη δουλειά του σκωτσέζου φαρμακοποιού Joseph Black στα τέλη του 18ου αιώνα, η διάκριση μεταξύ θερμοκρασίας και θερμότητας ήταν ασαφής. Χρειάστηκε περίπου μέχρι το 1845 ώστε να ξεκαθαριστεί ότι η θερμότητα ήταν μια μορφή ενέργειας και όχι ύλης. Δεύτερον, αν και μπορεί να φαίνεται περίεργο, ο κατάλληλος εξοπλισμός για τη μέτρηση των μεταβολών της θερμοκρασίας ήταν διαθέσιμος μόνο μετά το 1850.

Θερμότητα είναι το ποσό ενέργειας που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο λόγω διαφοράς θερμοκρασίας. Η θερμότητα μεταφέρεται πάντα από ένα σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας σε ένα σώμα μικρότερης θερμοκρασίας. Το ποσό θερμότητας που προσέλαβε ή έχασε ένα σώμα υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

Όπου το  $Q$  συμβολίζει την ποσότητα θερμότητας που προσέλαβε ή έχασε το σώμα,  $m$  συμβολίζει τη μάζα του σώματος,  $\Delta\theta$  συμβολίζει τη μεταβολή της θερμοκρασίας του σώματος, ενώ το  $c$  συμβολίζει μια σταθερά που ονομάζεται ειδική θερμότητα και εξαρτάται από το υλικό του σώματος. Η ειδική θερμότητα ( $c$ ) εκφράζει το ποσό θερμότητας που χρειάζεται 1kg ενός υλικού για να μεταβληθεί η θερμοκρασία του κατά  $1^\circ\text{C}$ . Για παράδειγμα η ειδική θερμότητα του νερού είναι  $4186 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$  (Αντωνίου κ.α., 2010).





Εικόνα 1: Όργανα και υλικά

**Όργανα και υλικά** Τα όργανα και υλικά που χρησιμοποιήσαμε φαίνονται στην Εικόνα 1.

- όμοια γυάλινα μπουκάλια σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου (1),
- Νερό (2),
- πώματα φελλού με μικρή οπή για τα μπουκάλια (3),
- λίγες σταγόνες από μαύρο υδατοδιαλυτό μελάνι (4),
- ηλιακό ρολόι (5),
- χρονόμετρο παρακολούθησης (6),
- ογκομετρικό κύλινδρο (7),
- data loggers με αισθητήρες θερμοκρασίας (8),
- κλινόμετρο (9),
- χάρακα (10).

### Πειραματική διαδικασία

Κατά την πειραματική διαδικασία ακολουθήσαμε τα βήματα που αναφέρονται παρακάτω:

- Τοποθετήσαμε σε 2 όμοια γυάλινα δοχεία νερό, αφού πρώτα μετρήσαμε με τον ογκομετρικό κύλινδρο, τον όγκο του. Καταγράψαμε τον όγκο του νερού στον Πίνακα 1. Προσαρμόσαμε σε κάθε δοχείο πώμα που είχε μικρή οπή, από την οποία πέρναγε ο





- αισθητήρας θερμοκρασίας.
- Τοποθετήσαμε το κάθε δοχείο με το νερό σε σκιασμένο μέρος κοντά στη θέση στην οποία θα πραγματοποιούσαμε το πείραμα και φροντίσαμε ώστε η θερμοκρασία του νερού να γίνει ίση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Καταγράψαμε τη θερμοκρασία στον Πίνακα 1.
- Προσθέσαμε στο νερό μερικές σταγόνες μαύρο υδατοδιαλυτό μελάνι, ανακατέψαμε, ώστε το νερό να γίνει μαύρο. Επιπλέον, βάλαμε ένα κομμάτι αλουμινίου σε όλες τις πλευρές του κάθε γυάλινου δοχείου εκτός από εκείνη που θα τοποθετούσαμε κάθετα στις ηλιακές ακτίνες, ώστε να αποφευχθεί η απώλεια και έτσι να απορροφηθεί η ακτινοβολία που θα διαπερνούσε το γυάλινο δοχείο.
- Εκθέσαμε τα γυάλινα δοχεία στον ήλιο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2, τη χρονική στιγμή κατά την οποία ο ήλιος βρισκόταν στο μέγιστο ύψος, ώστε η διαδρομή των ηλιακών ακτίνων μέσα στην ατμόσφαιρα να είναι η μικρότερη δυνατή. Με αυτό τον τρόπο είχαμε τη μικρότερη δυνατή απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα συστατικά της ατμόσφαιρας. Στη διεύθυνση <http://www.solartopo.com/solar-orbit.htm> βρήκαμε τη χρονική στιγμή που ο ήλιος βρισκόταν στο μέγιστο ύψος. Ρυθμίσαμε τη θέση του κάθε γυάλινου δοχείου έτσι ώστε η επίπεδη επιφάνεια του δοχείου και η κατεύθυνση των ακτίνων του ήλιου να σχηματίζουν γωνία  $90^\circ$ , δηλαδή γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων  $0^\circ$ . Ξεκινήσαμε τη χρονομέτρηση.
- Προκειμένου να εξασφαλίσουμε την καθετότητα ανάμεσα στην επιφάνεια των γυάλινων δοχείων και των ηλιακών ακτίνων προσδιορίσαμε με τη χρήση ενός ηλιακού ρολογιού τη διεύθυνση που πρέπει να έχει η επιφάνεια του ρολογιού ώστε οι ηλιακές ακτίνες να πέφτουν κάθετα σε αυτήν (θέση στην οποία η ράβδος του ηλιακού ρολογιού δεν σχηματίζει σκιά).



Εικόνα 2: πειραματική διάταξη





- Στη συνέχεια
- τοποθετήσαμε τα γυάλινα δοχεία πάνω στην επιφάνεια του ηλιακού ρολογιού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Μετρήσαμε με το κλινόμετρο τη γωνία  $\omega=16^\circ$ . Η γωνία  $\omega$  είναι ίση με τη ζενιθιακή γωνία ( $\theta_z$ ), που είναι η γωνία που σχηματίζει η ηλιακή ακτίνα με την κάθετη στο οριζόντιο επίπεδο. Η γωνία  $\alpha_s$  είναι το ύψος του ήλιου δηλαδή η γωνία που σχηματίζουν οι ηλιακές ακτίνες με το οριζόντιο έδαφος και άρα είναι συμπληρωματική της ζενιθιακής γωνίας. Άρα το ύψος του ήλιου είναι  $74^\circ$ . Επιβεβαιώσαμε μέσω της διεύθυνσης <http://www.solartopo.com/solar-orbit.htm> ότι το μέγιστο ύψος του ήλιου τη συγκεκριμένη ημέρα που κάναμε το πείραμα και για το συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος που αντιστοιχεί στην Αθήνα είναι  $74^\circ$ .
- Περιμέναμε περίπου 20 λεπτά μέχρις ότου η θερμοκρασία του νερού να αυξηθεί μερικούς βαθμούς Κελσίου.
- Ανακατέψαμε ώστε να ομογενοποιηθεί η θερμοκρασία. Καταγράψαμε το χρόνο και τη θερμοκρασία του κάθε δοχείου στον πίνακα 1. Υπολογίσαμε τη μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού σε κάθε δοχείο:

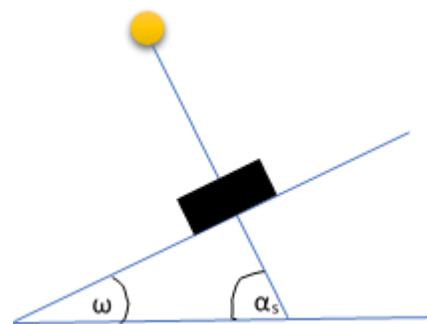
$$\Delta\theta = \theta_{\text{τελ}} - \theta_{\text{αρχ}}$$

και στη συνέχεια υπολογίσαμε τη μέση τιμή της μεταβολής της θερμοκρασίας:

$$\text{Μέση τιμή: } \overline{\Delta\theta} = \frac{\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2}{2}$$

προκειμένου να περιορίσουμε την επίδραση των τυχαίων σφαλμάτων στις μετρήσεις μας. Τα αποτελέσματα τα καταγράψαμε στον Πίνακα 1.

- Υπολογίσαμε το ποσό της ηλιακής ενέργειας που απορροφήθηκε από το νερό χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1):



Σχήμα 1





$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 0,5\text{kg} \cdot 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 3,6^\circ\text{C} = 7534,6\text{J}$$

Με βάση τη θεωρία σημαντικών ψηφίων θεωρήσαμε  $Q=7500\text{J}$ .

Καταγράψαμε αυτήν την τιμή στον Πίνακα 1. Η μάζα του νερού είναι  $0,5\text{kg}$  διότι η πυκνότητα του νερού είναι  $\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  και ο όγκος νερού είναι  $V=500\text{ml}=0,0005\text{m}^3$ , άρα

$$m = \rho \cdot V = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,0005\text{m}^3 = 0,5\text{kg}$$

- Υπολογίσαμε την ισχύ (P) σαν ενέργεια (Q) προς χρονική διάρκεια ( $\Delta t$ )

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{7500\text{J}}{1211,0\text{s}} = 6,19\text{W}$$

Καταγράψαμε το αποτέλεσμα στον Πίνακα 1.

Δοχείο	V (m <sup>3</sup> )	m (kg)	θ <sub>αρχ</sub> (°C)	θ <sub>τελ.</sub> (°C)	Δθ (°C)	Μέση τιμή Δθ (°C)	Δt (s)	Q (J)	P (W)
1	0,0005	0,5	31,1	34,6	3,5	3,6	1211,0	7500	6,19
2	0,0005	0,5	30,9	34,5	3,6				

Πίνακας 1: Ισχύς άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας





- Με ένα χάρακα μετρήσαμε το ύψος και το πλάτος της περιοχής του νερού στην οποία έπεφταν οι ακτίνες του ήλιου (είναι μια ορθογώνια περιοχή). Υπολογίσαμε το εμβαδόν της ορθογώνιας περιοχής του νερού:

$$A = \beta \cdot \upsilon = 10,2\text{cm} \cdot 7,0\text{cm} = 71,4\text{cm}^2 = 0,00714 \text{ m}^2$$

Καταγράψαμε το αποτέλεσμα στον Πίνακα 2 αφού πρώτα λάβαμε υπόψη μας τη θεωρία σημαντικών ψηφίων.

- Στη συνέχεια υπολογίσαμε την ένταση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σαν ισχύ προς εμβαδόν επιφάνειας:

$$\frac{P}{A} = \frac{6,19\text{W}}{0,0071\text{m}^2} = 871,83 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Καταγράψαμε την τιμή στον Πίνακα 2 αφού πρώτα λάβαμε υπόψη μας τη θεωρία σημαντικών ψηφίων.

Δοχείο	Ύψος νερού $\upsilon(\text{cm})$	Βάση νερού $\beta(\text{cm})$	Εμβαδόν επιφάνειας $A(\text{cm}^2)$	Εμβαδόν επιφάνειας $A(\text{m}^2)$	Ένταση άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
1	10,2	7,0	71	0,0071	870
2	10,2	7,0	71	0,0071	

Πίνακας 2: Ένταση άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας

- Στη συνέχεια πραγματοποιήσαμε μετρήσεις για διαφορετικά χρονικά διαστήματα στις 7/11/2018. Καταγράψαμε τη μεταβολή της θερμοκρασίας σε ένα δοχείο με το χρωματισμένο νερό ανά 30min, ενώ φροντίζαμε κάθε φορά οι ακτίνες του ήλιου να πέφτουν κάθετα σε αυτό. Οι υπολογισμοί της ενέργειας (Q), της ισχύος (P) και της έντασης (I) της ακτινοβολίας που φτάνει στη γη υπολογίζονται με τον τρόπο που αναφέρεται παραπάνω. Καταγράψαμε στον πίνακα 3 τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας αφού λάβαμε υπόψη μας τη θεωρία σημαντικών ψηφίων. Στον ίδιο πίνακα αναγράφονται και οι αντίστοιχες θεωρητικές τιμές

•





- όπως αυτές δίνονται στη διεύθυνση <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/calculation-of-solar-insolation>.

Ώρα	Δοχείο	$\theta_{\text{αρχ}}$ (°C)	$\Delta\theta$ (°C)	$\Delta t$ (s)	Q (J)	P (W)	I (W/m <sup>2</sup> )	Θεωρητικές Τιμές I(W/m <sup>2</sup> )
12.00	1	20,2						
12.30		24,7	4,5	1800	9400	5,23	740	890
13.00		28,7	8,5	3600	18000	5,00	704	870
13.30		30,4	10,2	5400	21000	3,89	550	840
14.00		31,2	11,2	7200	23000	3,19	450	810
14.30		31,1	11,1	9000	23000	3,19	450	760

Πίνακας 3: Ένταση άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα

- Επίσης πραγματοποιήσαμε μετρήσεις σε διαφορετικές ώρες της ημέρας, που ήταν η 1/11/2018. Χρησιμοποιήσαμε δύο δοχεία με το χρωματισμένο νερό. Μετρούσαμε τη μεταβολή της θερμοκρασίας σε κάθε ένα δοχείο για 30min περίπου, ενώ το τοποθετούσαμε κάθετα στην ηλιακή ακτινοβολία, διαφορετικές ώρες της ημέρας. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας, καθώς και οι θεωρητικές τιμές όπως αυτές δίνονται στη διεύθυνση <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/calculation-of-solar-insolation> φαίνονται στον πίνακα 4:





Ώρα	Δοχείο	V (m <sup>3</sup> )	m (kg)	θ <sub>αρχ</sub> (°C)	θ <sub>τελ</sub> (°C)	Δθ (°C)	Μέση τιμή Δθ (°C)	Δt (s)	Q (J)	P (W)	I (W/m <sup>2</sup> )	Θεωρητικές Τιμές I(W/m <sup>2</sup> )
11.20	1	0,0005	0,5	23,0	27,8	4,8	4,9	1639	1,0·10 <sup>3</sup>	6,19	880	9,0·10 <sup>3</sup>
	2	0,0005	0,5	22,8	27,8	5,0						
12.45	1	0,0005	0,5	23,9	27,6	3,7	3,8	1285	8,0·10 <sup>3</sup>	6,19	880	890
	2	0,0005	0,5	23,7	27,6	3,9						
14.25	1	0,0005	0,5	27,2	29,8	2,6	2,6	1504	5400	3,59	510	790
	2	0,0005	0,5	26,3	28,9	2,6						
15.25	1	0,0005	0,5	25,6	26,9	1,3	1,2	1224	2500	2,04	290	710
	2	0,0005	0,5	25,8	27	1,2						

Πίνακας 4: Ένταση άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας διαφορετικές ώρες της ημέρας





## Συμπεράσματα-Συζήτηση

Σε αυτήν την ερευνητική εργασία προσπαθήσαμε να προσδιορίσουμε την ένταση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης μετρώντας τη μεταβολή της θερμοκρασίας μιας ορισμένης ποσότητας νερού που εκθέσαμε στον ήλιο για ορισμένο χρόνο. Επίσης προσπαθήσαμε να δούμε πως η τιμή της έντασης μεταβάλλεται ανάλογα με διαφορετικές ώρες της ημέρας και ανάλογα με διαφορετικά χρονικά διαστήματα.

Η μέση τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, που φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας (γνωστή ως ηλιακή σταθερά), όπως αυτή καθορίζεται από εξειδικευμένα εργαστήρια και διεθνείς οργανισμούς, είναι σταθερή και ίση περίπου με  $1370\text{W/m}^2$ . Η ατμόσφαιρα απορροφά ένα μέρος αυτής της ενέργειας οπότε στην επιφάνεια της γης η αναμενόμενη τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μικρότερη. Η ένταση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας ποικίλλει καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας από  $0\text{W/m}^2$  τη νύχτα σε ένα μέγιστο περίπου  $1\text{kW/m}^2$ . Επίσης εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και από την εποχή που γίνεται η μέτρηση, όπως φαίνεται στην ιστοσελίδα υπολογισμού της διάρκειας της ηλιοφάνειας <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/calculation-of-solar-insolation>.

Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι οι συγκεκριμένοι υπολογισμοί δεν λαμβάνουν υπόψη τους τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή (άνεμος, νεφοκάλυψη, κ.λ.).

Οι μετρήσεις της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια συγκεκριμένη θέση, μια συγκεκριμένη ημέρα του χρόνου και μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή μπορούν να επηρεαστούν από τους εξής παράγοντες:

- Την ανακλαστικότητα της επιφάνειας του δοχείου εξαιτίας του σχήματός του
- το γυαλί του μπουκαλιού που απορροφά ένα ποσό ηλιακής ακτινοβολίας και αυξάνει και αυτό τη θερμοκρασία του. Άρα ή εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία είναι μεγαλύτερη από αυτή που μετράμε μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας του νερού,
- ο άνεμος που φυσά είναι δυνατόν να παγώνει το μπουκάλι με το νερό, άρα πάλι ένα ποσό της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας να μας διαφεύγει από τις μετρήσεις τέλος
- τα σύννεφα μπορούν να μειώσουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα,





διότι ένα μέρος της ακτινοβολίας που πέφτει στα σύννεφα ανακλάται και γυρίζει πίσω στο διάστημα και ένα άλλο μέρος αυτής απορροφάται.

Εμείς στις 3-7-2018 υπολογίσαμε την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης  $0,870 \frac{kW}{m^2}$  , όπως φαίνεται στον πίνακα 2, Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η διαφορά από τη

θεωρητική τιμή  $1,053 \frac{kW}{m^2}$  , όπως αυτή υπολογίστηκε στη διεύθυνση

<https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/calculation-of-solar-insolation>

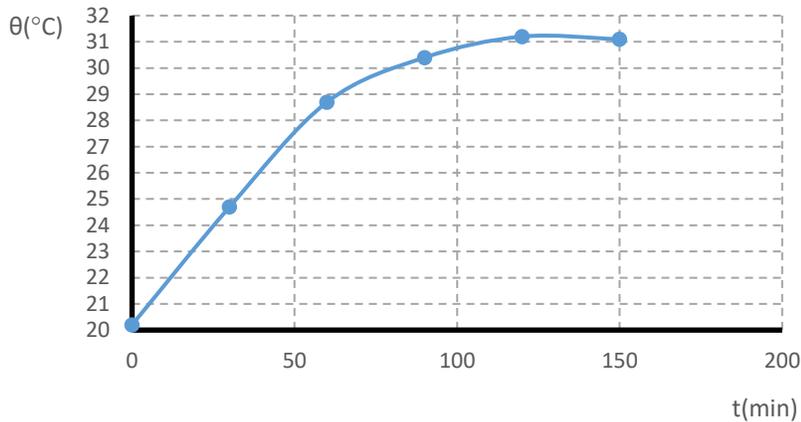
μπορεί να οφείλεται στην ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που απορροφήθηκε από το γυαλί και την οποία δεν μπορέσαμε με ένα αξιόπιστο τρόπο να μετρήσουμε καθώς επίσης και σε αυτήν που απορροφήθηκε από τη μεγάλη ποσότητα των υδρατμών που υπήρχε στην ατμόσφαιρα. Όσον αφορά στην επίδραση του ανέμου και των νεφών θα λέγαμε ότι δεν ήταν σημαντική διότι τη συγκεκριμένη ημέρα, που κάναμε το πείραμα:

- η ταχύτητα του ανέμου, όπως καταγράφηκε από μετεωρολογικό σταθμό της περιοχής, ήταν 5,8km/h (πολύ ασθενής)
- υπήρχε πολύ μικρή νεφοκάλυψη.

Όσον αφορά στην ανακλαστικότητα της επιφάνειας του δοχείου θα λέγαμε ότι αντιμετωπίστηκε επιλέγοντας δοχείο επίπεδων πλευρών και κάθετη πρόσπτωση των ηλιακών ακτίνων σε μία από αυτές.

Οι συμπληρωματικές μετρήσεις, που πήραμε στις 7/11/2018 για διαφορετικά χρονικά διαστήματα (πίνακας 3), έδειξαν ότι από κάποιο χρονικό διάστημα και μετά η θερμοκρασία του νερού παύει να αυξάνεται και μένει περίπου σταθερή, όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα 1.





**Γράφημα 1:** Θερμοκρασία του νερού σε σχέση με το χρόνο

Αυτή η σταθεροποίηση θα μπορούσε να ερμηνευτεί αν θεωρούσαμε ότι επέρχεται ενός είδους ισορροπία ανάμεσα στην εισερχόμενη στο δοχείο ακτινοβολία και στην εξερχόμενη, με την έννοια ότι όση εισέρχεται άλλη τόση και εξέρχεται. Επίσης οι διαφορές από τις θεωρητικές τιμές μπορούν να αποδοθούν πρωτίστως στη νεφοκάλυψη η οποία σε κάποια χρονικά διαστήματα προς τις μεσημεριανές ώρες ήταν αυξημένη και επίσης στην ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που απορροφήθηκε από το γυαλί και την οποία δεν μπορέσαμε να μετρήσουμε με ένα αξιόπιστο τρόπο.

Τέλος, από τις μετρήσεις που πήραμε την 1/11/2018 για διαφορετικές ώρες της ημέρας (πίνακας 4) συμπεραίνουμε ότι η ένταση της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στη γη μειώνεται κατά τις απογευματινές ώρες. Οι μετρήσεις της έντασης στις 11:20 και στις 12:45 δεν διαφέρουν και αυτό θα μπορούσε να αιτιολογηθεί από το γεγονός ότι και στις δύο περιπτώσεις το χρονικό διάστημα που πήραμε τις μετρήσεις απείχε σχεδόν εξίσου από τη χρονική στιγμή (12:00) που θεωρητικά μεγιστοποιείται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η διαφορά που παρατηρείται ανάμεσα στην πειραματική και τη θεωρητική τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τις απογευματινές ώρες οφείλεται κυρίως στην κατά διαστήματα πυκνή νέφωση και κάποια θολούρα στην ατμόσφαιρα.





## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Αντωνίου, Ν., Δημητριάδης, Π., Καμπούρης, Κ., Παπαμιχάλης, Κ., Παπασιόμπα, Λ. (2010) : Θερμότητα. Φυσική Β' Γυμνασίου σελίδα 117-125. ΟΕΔΒ.
- [2] Dufresne, J-L. (2008). La determination de la constant solaire par Claude Matthias Pouillet. La Meteorologie, 60, 36-43.
- [3] Kopp, G, & Lean L. J. (2011). A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance. Geophysical Research Letters, Vol.38.
- [4] Whitehorne, L. M., Koller, H., Braganca, P. (2007). Starry Night High School (Grades 9-12). Starry Night and Simulation Curriculum and trademarks of Simulation Curriculum Corp.
- <https://history.nasa.gov/EP-177/ch3-1.html>
- <https://www.nasa.gov/sun>
- <https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/sun/in-depth/>
- <https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/solar-power/>
- <http://science.jrank.org/pages/1147/Calorimetry-History.html>
- [https://www.nasa.gov/pdf/62319main\\_ICSEnergy.pdf](https://www.nasa.gov/pdf/62319main_ICSEnergy.pdf)
- [https://energypedia.info/wiki/Solar\\_Energy](https://energypedia.info/wiki/Solar_Energy)
- <http://www.physicsclassroom.com/class/thermalP/Lesson-2/Calorimeters-and-Calorimetry>
- <https://www.pveducation.org/pvc/drom/properties-of-sunlight/calculation-of-solar-insolation>
- <http://www.solartopo.com/solar-orbit.htm>
- <http://lasp.colorado.edu/home/wp-content/uploads/2011/09/59.pdf>

