

## 1. Εισαγωγή

Ο Ήλιος μας είναι ένα πολύ θερμό αντικείμενο. Η θερμοκρασία διαφέρει στις διάφορες περιοχές του (πυρήνας, φωτόσφαιρα κτλ.). Ο σκοπός αυτής της άσκησης είναι να υπολογίσετε πόσο θερμή είναι η επιφάνεια του Ήλιου. Ο Ήλιος εκπέμπει ενέργεια σφαιρικά στο Ηλιακό μας σύστημα όπως μια λάμπα εκπέμπει φως μέσα σε ένα δωμάτιο. Ένα μέρος αυτής της ενέργειας φτάνει στην Γη. Η ιδέα αυτής της άσκησης είναι να συλλάβουμε μέρος αυτής της ενέργειας και να τη μετρήσουμε. Αν γνωρίζουμε τι μέρος της συνολικής ενέργειας είναι η ενέργεια που μετρήσαμε, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε και την συνολική ενέργεια που εκπέμπεται από τον Ήλιο. Αφού υπολογίσουμε την συνολική εκπεμπόμενη ενέργεια, χρησιμοποιώντας την θεωρία για τα μέλανα σώματα, μπορούμε να υπολογίσουμε την ενεργό θερμοκρασία του Ήλιου.

Το πρώτο βήμα είναι να επιχειρήσουμε να συλλάβουμε ένα μέρος της ενέργειας που λαμβάνουμε από τον Ήλιο. Αυτό θα γίνει χρησιμοποιώντας μια φιάλη με νερό. Το νερό στην φιάλη θα θερμανθεί από την θερμότητα που έρχεται από τον Ήλιο. Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας θα μετρήσετε την διαφορά στην θερμοκρασία.

Αφού μετρηθεί η διαφορά στην θερμοκρασία θα εισάγετε τα δεδομένα σας στο φύλλο εργασίας και θα υπολογίσετε την ενεργό θερμοκρασία.

## 2. Θεωρία πειράματος

Για να γίνει αλλαγή στην θερμοκρασία μια ουσίας πρέπει να καταναλωθεί ενέργεια σε μορφή θερμότητας. Η θερμότητα που απαιτείται για να μεταβληθεί η θερμοκρασία υπολογίζεται από τον τύπο της ειδικής θερμότητας:

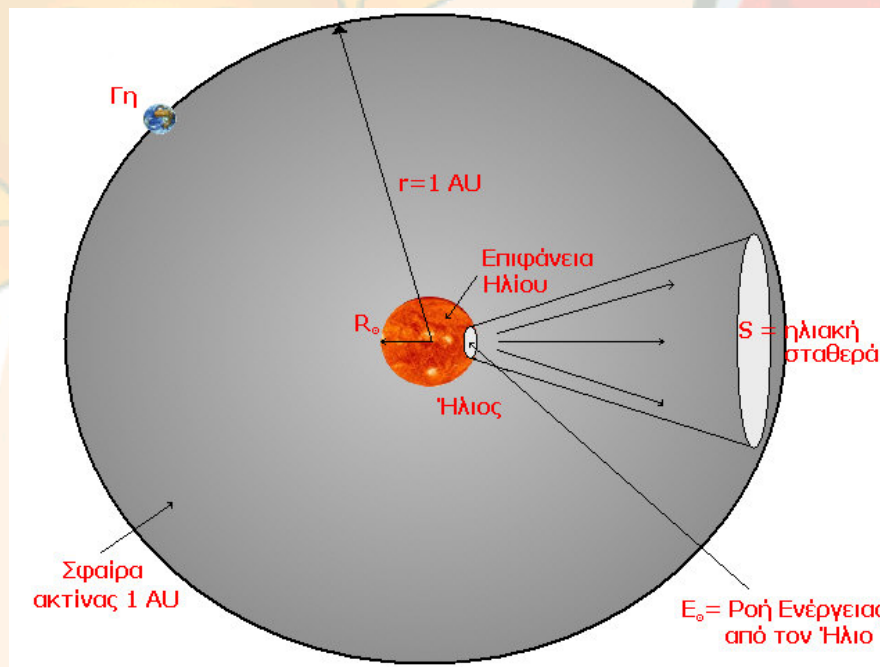
$$Q=m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

όπου  $Q$  είναι το πόσο της θερμότητας,  $m$  είναι η μάζα,  $c$  η ειδική θερμότητα του υλικού και  $\Delta T$  η διαφορά στη θερμοκρασία. Αν η ενέργεια που θα χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση ( $Q$ ) προέρχεται από τον Ήλιο, τότε το  $Q$  διαιρούμενο με την ενεργό επιφάνεια της φιάλης θα ισούται με την θερμότητα που λαμβάνουμε από τον Ήλιο ανά μονάδα επιφάνειας. Το μέγεθος της ενέργειας που λαμβάνουμε ανά μονάδα επιφάνειας είναι ένα χαρακτηριστικό

μέγεθος για του Ήλιου που ονομάζεται ηλιακή σταθερά (εικόνα 1.) Επομένως το  $Q$  που θα υπολογιστεί από την σχέση (1) διαιρούμενο με την ενεργό επιφάνεια της φιάλης και το χρονικό διάστημα στο οποίο αντιστοιχεί στη μεταβολή της θερμοκρασίας είναι η ηλιακή σταθερά. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση της ηλιακής σταθεράς,

$$S_{\odot} = \frac{L_{\odot}}{4\pi\bar{r}^2} \quad (2)$$

δεδομένου ότι  $\bar{r}$  είναι η απόσταση από την επιφάνεια του Ήλιου μέχρι την επιφάνεια της Γης, μπορεί κανείς να υπολογίσει τη συνολική ποσότητα της ενέργειας που εκπέμπεται από τον Ήλιο ( $L_{\odot}$ ).



**Εικόνα 1.** Σχηματική αναπαράσταση την ενεργειακής ροής από την Ήλιο.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο Ήλιος μπορεί να θεωρηθεί, με καλή προσέγγιση, μέλαν σώμα. Χρησιμοποιώντας την θεωρία μέλανου σώματος, μπορεί κανείς να υπολογίσει την ενεργό θερμοκρασία του Ήλιου χρησιμοποιώντας τον νόμο των Stefan – Boltzman,

$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4 \quad (3)$$

Επιπρόσθετα μπορεί κανείς να υπολογίσει με την βοήθεια του νόμου του Wien το μήκος κύματος μέγιστης εκπομπής,

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad (4)$$

### 3. Πειραματική διαδικασία

Το πρώτο μέρος του πειράματος είναι η θέρμανση του νερού στην φιάλη και να μετρηθεί η θερμοκρασία του.

#### Υλικά:

- Γυάλινη φιάλη (πρέπει να είναι κυλινδρικού σχήματος και με καπάκι από φελλό)
- Χρονόμετρο
- Μαύρο μελάνι
- Μονωτικά (ταινία και αλουμινόχαρτο)
- Στήριγμα
- 2 χάρακες
- Νερό
- Θερμόμετρο

#### Εκτέλεση:

Τα πρώτα βήματα του πειράματος θα γίνουν στην σκιά.

- Μέτρησε την διάμετρο της φιάλης και σημείωσέ τη στο φύλλο εργασίας.
- Κάνε μια μικρή τρύπα στον φελλό έτσι ώστε να χωράει να περάσει και να σφηνώσει το θερμόμετρο.
- Πέρασε το θερμόμετρο μέσα από τον φελλό και βεβαιώσου ότι είναι στερεωμένος καλά.
- Γέμισε την φιάλη με νερό. Μέτρησε τον όγκο του νερού και σημείωσέ το στο φύλλο εργασίας.
- Πρόσθεσε μερικές σταγόνες μελάνι και σφράγισε τη φιάλη με το φελλό.
- Σφράγισε την άκρη του φελλού με μονωτική ταινία.
- Τύλιξε το κοίλο μέρος της φιάλης με αλουμινόχαρτο.
- Σιγουρέψου ότι το νερό έχει την ίδια θερμοκρασία με το περιβάλλον.

Πήγαινε τώρα στον Ήλιο.

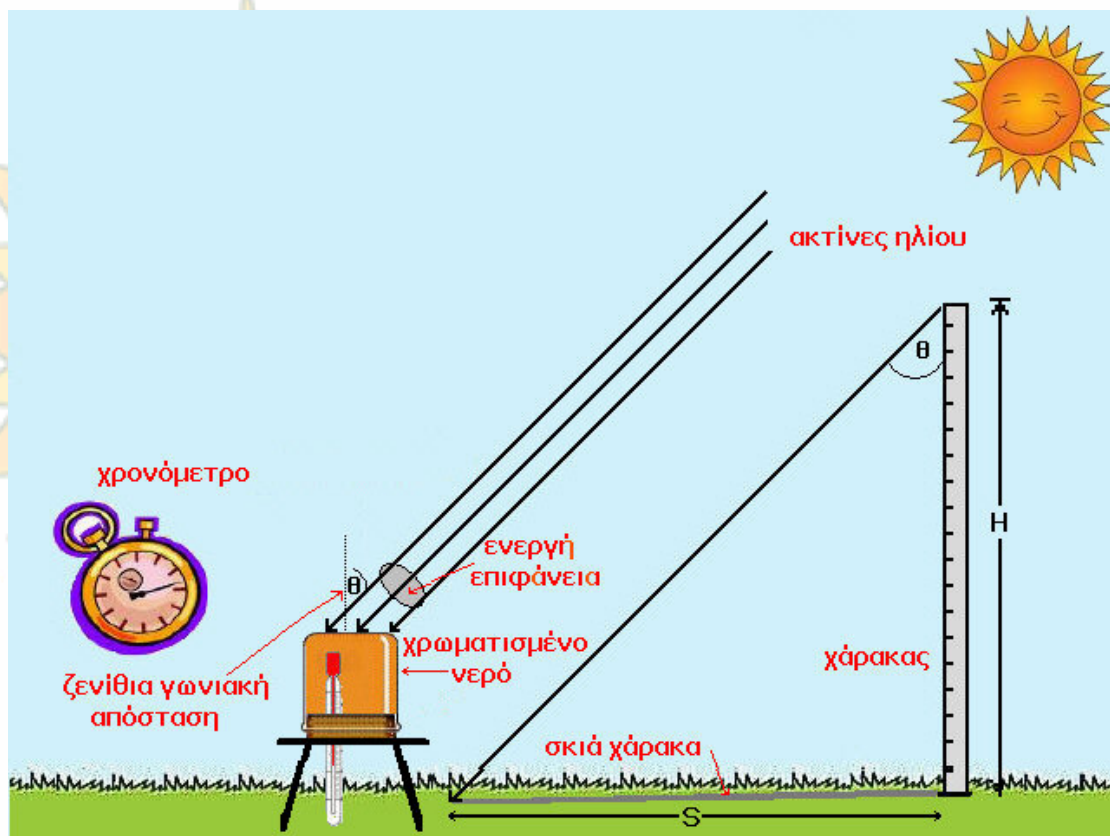
- Κράτησε τον ένα χάρακα κάθετα και με τον δεύτερο ζήτησε από ένα συμμαθητή σου να μετρήσει την σκιά του και σημείωσέ τη στο φύλλο εργασίας.



Η μέτρηση της σκιάς πρέπει να γίνει αμέσως πριν ξεκινήσεις τις μετρήσεις της θερμοκρασίας.

- Τοποθέτησε το στήριγμα κοντά εκεί που μέτρησες την σκιά.
- Τοποθέτησε τη φιάλη ανάποδα πάνω στο στήριγμα.
- Σημείωσε την αρχική θερμοκρασία του νερού και ξεκίνα το χρονόμετρο.

- Σημειώνει την θερμοκρασία κάθε λεπτό μαζί με την χρονική στιγμή της μέτρησης στο φύλλο εργασίας.
- Συνέχισε να παίρνεις και να σημειώνεις μετρήσεις της θερμοκρασίας και του χρόνου για είκοσι περίπου λεπτά (μέχρι να γεμίσει ο πίνακας).



**Εικόνα 2.** Αναπαράσταση του πειράματος.

#### 4. Επεξεργασία δεδομένων

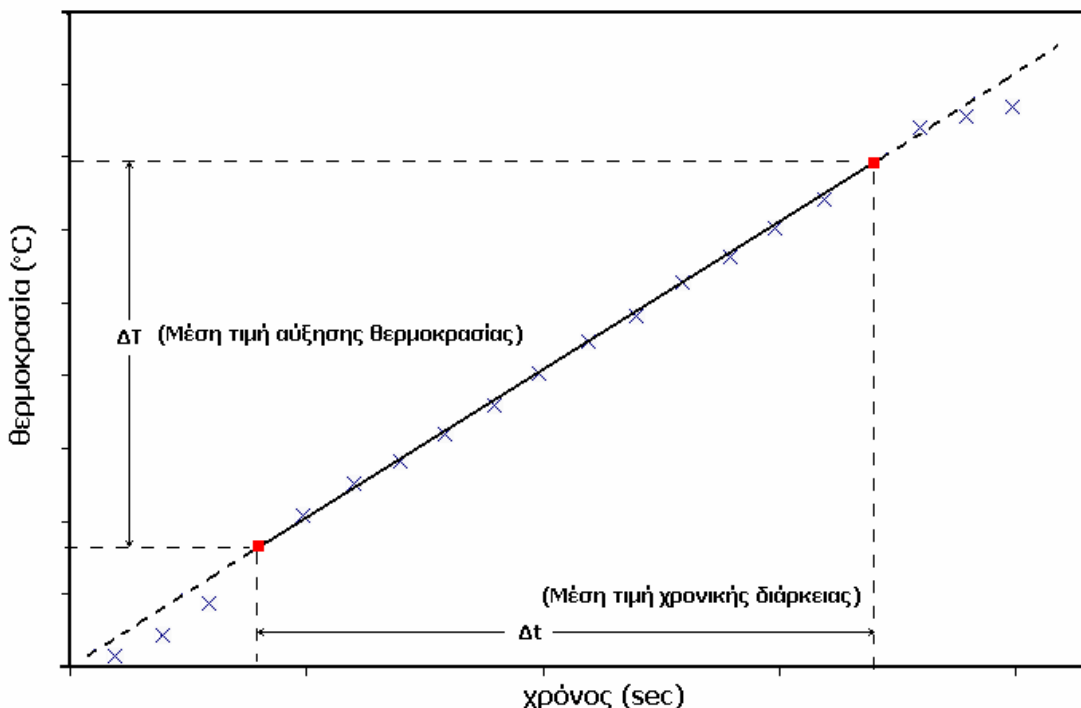
Η πειραματική διαδικασία τελείωσε και τα δεδομένα που χρειάζεσαι έχουν συλλεχθεί. Τώρα θα χρησιμοποιήσεις αυτά τα δεδομένα για να υπολογίσεις την ενεργό θερμοκρασία του ήλιου. Για να το κάνεις αυτό θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσεις το φύλλο εργασίας σας που θα βρείς στον υπολογιστή.

##### Μέρος 1<sup>ο</sup>:

Πάρε τα δυο σετ δεδομένων και κάνε ένα διάγραμμα της θερμοκρασίας σαν συνάρτηση του χρόνου. (χρόνος στον x – άξονα, θερμοκρασία στον y – άξονα).

Αυτή η γραφική παράσταση πρέπει να είναι κατά προσέγγιση γραμμική. Βρες το μέρος που προσεγγίζει καλύτερα μια ευθεία γραμμή και σημείωσε το αρχικό και το τελικό σημείο αυτού του μέρους. Η διαφορά στην θερμοκρασία μεταξύ των δυο σημείων ( $\Delta T$ ) είναι η μέση διαφορά στη θερμοκρασία και η διαφορά στον χρόνο ( $\Delta t$ ) είναι η μέση χρονική διάρκεια (εικόνα 3).

Σημείωσε την διαφορά στη θερμοκρασία και το μέσο χρόνο στο φύλλο εργασίας καθώς και στο διάγραμμά σου.




**Εικόνα 3.** Παράδειγμα της θερμοκρασίας σαν συνάρτηση του χρόνου. Τα διαστήματα  $\Delta T$  και τα  $\Delta t$  έχουν σημειωθεί.



## Μέρος 2°:

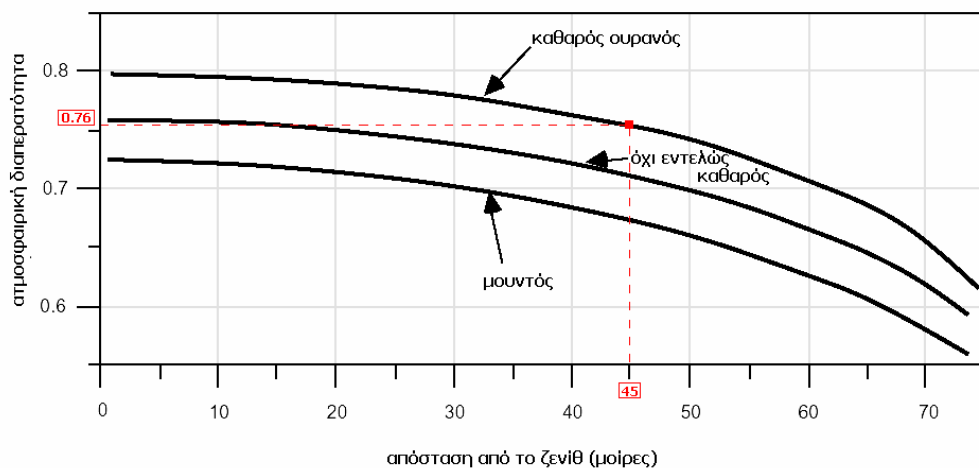
Άνοιξε το φύλλο εργασίας που θα βρεις στον υπολογιστή. Σε αυτό, υπάρχουν δυο φύλλα. Το πρώτο ονομάζεται 'μετρήσεις' που είναι ίδιο με αυτό που χρησιμοποίησες και το δεύτερο ονομάζεται 'υπολογισμοί'. Αντέγραψε όλα τα δεδομένα που έχεις μαζέψει μέχρι τώρα στο πρώτο φύλλο. Τα κουτιά που έχουν κίτρινο χρώμα δεν θα τα συμπληρώσεις εσύ αλλά θα συμπληρωθούν αυτόματα. Τα κουτιά που πρέπει να συμπληρώσεις είναι τα λευκά. Μόλις ξεκινήσεις να συμπληρώνεις κουτιά θα δεις ότι τα κίτρινα κουτιά (ειδικά στο φύλλο 'υπολογισμών') συμπληρώνονται και αυτά από μόνα τους. Αυτό συμβαίνει γιατί συμπληρώνοντας κουτιά εισάγεις δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε κάποιους υπολογισμούς που κάνει αυτόματα το Excel.

 Πρέπει να είσαι πολύ προσεκτικός με τις μονάδες των μεγεθών που συμπληρώνεις, να συμφωνούν με το φύλλο εργασίας. Για παράδειγμα, ο χρόνος πρέπει να είναι σε δευτερόλεπτα και όχι σε λεπτά. Πρόσεξε επίσης ότι παρόλο που εσύ μέτρησες την διάμετρο της φιάλης στο φύλλο εργασίας ζητείται η ακτίνα του.

## Μέρος 3°:

Μόλις συμπληρώσεις τα κουτιά για το μήκος του χάρακα και την σκιά του, θα εμφανιστεί ένας αριθμός στο κουτί για την ζενίθια απόσταση. Η απόσταση από το ζενίθ (εικόνα 2) στο πείραμα μας είναι η γωνία μεταξύ του κατακόρυφου άξονα και των ακτινών του Ηλίου. Θα χρειαστείς την ζενίθια απόσταση για να υπολογίσεις την ατμοσφαιρική διαπερατότητα. Η ατμοσφαιρική διαπερατότητα είναι ένας παράγοντας που χρησιμοποιείται για να διορθωθεί το φαινόμενο της απορρόφησης του φωτός από την ατμόσφαιρα και της σκέδασης από την φιάλη.

Αφού έχεις υπολογίσει την ζενίθια απόσταση πήγαινε στο κάτω μέρος του φύλλου 'υπολογισμοί' στο γράφημα. Ο  $x$  – άξονας είναι για την ζενίθια απόσταση. Με βάση τις καιρικές συνθήκες την ώρα του πειράματος διάλεξε την αντίστοιχη γραμμή και βρες την ατμοσφαιρική διαπερατότητα στον  $y$  – άξονα (εικόνα 4). Συμπλήρωσε το αντίστοιχο κουτί.



**Εικόνα 4.** Ένα παράδειγμα εύρεσης της ατμοσφαιρικής διαπερατότητας. Όπως υποδεικνύεται από την κόκκινη διακεκομμένη γραμμή, για μια μέρα με καθαρό ουρανό αν η ζενίθια απόσταση είναι 45 μοίρες, η ατμοσφαιρική διαπερατότητα είναι 0.76.

Αφού συμπληρώσεις και το κουτί της ατμοσφαιρικής διαπερατότητας η δουλειά σου τελειώσει! Ο υπολογιστής θα κάνει όλους τους υπόλοιπους υπολογισμούς αυτόματα. Αν ρίξεις μια ματιά στο φύλλο εργασίας, όλα τα κουτιά θα είναι συμπληρωμένα. Η ενεργός θερμοκρασία έχει υπολογιστεί αυτόματα σε βαθμούς Κέλβιν αλλά και σε Κελσίου.

## 5. Σύγκριση με τις θεωρητικές τιμές

Το τελευταίο κομμάτι της άσκησης είναι να συγκρίνεις τα αποτελέσματά σου ( $x_{\text{πειραματικό}}$ ) για την ενεργό θερμοκρασία και το μήκος κύματος μέγιστης εκπομπής με την αντίστοιχη πραγματική τιμή ( $x_{\text{θεωρητικό}}$ ).

Ψάξε στο διαδίκτυο να βρεις τις πραγματικές τιμές και χρησιμοποίησε τον παρακάτω τύπο για να υπολογίσεις το σχετικό σφάλμα:

$$\delta x = \frac{x_{\text{theoretical}} - x_{\text{experimental}}}{x_{\text{theoretical}}} \cdot 100\%$$

Γράψε μια μικρή παράγραφο εκτίμησης των αποτελεσμάτων σου. Δώσε κάποιες εξηγήσεις για την απόκλιση μεταξύ θεωρητικών και πειραματικών τιμών.

## 6. Παράρτημα: Πληροφορίες υπολογισμών

Σε αυτήν την παράγραφο θα βρεις επεξηγήσεις για τους τύπους που χρησιμοποιούνται στους αυτόματους υπολογισμούς που κάνει το Excel. Πριν παρουσιαστούν όμως οι τύποι πρέπει να σημειωθεί το εξής: Αν ανοίξεις το Excel θα δεις πάνω από το φύλλο μια μπάρα. Κάθε φορά που επιλέγεις ένα κελί στο φύλλο, στην μπάρα αυτή εμφανίζεται η τιμή του κελιού που έχεις επιλέξει. Αν η τιμή στο επιλεγμένο κελί υπολογίζεται από κάποια εξίσωση τότε στην μπάρα αυτή εμφανίζεται αυτή η εξίσωση και στη θέση των παραγόντων οι ταμπέλες των κελιών που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, αν το κελί 'C3' είναι το άθροισμα των τιμών στα κελιά 'A3' και 'B3', τότε αν επιλέξεις το κελί 'C3' στην μπάρα θα εμφανιστεί " $=A3+B3$ ". Ελέγχοντας λοιπόν την μπάρα μπορείς ανά πάσα στιγμή να δεις πως υπολογίζετε η τιμή σε κάποιο συγκεκριμένο κελί.

**Ζενίθια απόσταση ( $\theta$ ):** Αν ρίξεις μια ματιά στην εικόνα 2 θα δεις ότι ο χάρακας (H) και το μήκος της σκιάς (S) είναι δυο πλευρές ενός ορθογωνίου τριγώνου. Επομένως, η εφαπτομένη της γωνίας  $\theta$  θα είναι:  $\tan \theta = \frac{S}{H} \Rightarrow \theta = \arctan\left(\frac{S}{H}\right)$

**Επιφάνεια δοχείου ( $A^F$ ):** Αν  $r$  η ακτίνα του δοχείου τότε η επιφάνεια του δοχείου θα είναι  $A = \pi \cdot r^2$

**Ενεργός περιοχή δοχείου ( $A_{\text{eff}}^F$ ):** Δεδομένου ότι οι ηλιακές ακτίνες δεν πέφτουν στο δοχείο κατακόρυφα πρέπει να υπολογίσει κανείς την ενεργή περιοχή του δοχείου,  $A_{\text{eff}} = A \cdot \cos(\theta)$

**Αστρονομική Μονάδα (R):** 1 AU είναι ίσο με  $1,5 \times 10^{11}$  m, όπου είναι η απόσταση μεταξύ Γης και Ήλιου.

**AU περιοχή (A):** AU περιοχή είναι η σφαιρική επιφάνεια ακτίνας 1 AU,  $A = 4 \cdot \pi \cdot R^2$

**Ισχύς (Q):** Η ισχύς ισούται με την θερμότητα που απορροφήθηκε από το νερό στο δοχείο σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα,  $Q = V \cdot c \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}$ , όπου V ο όγκος του νερού, c η ειδική θερμότητα του νερού,  $\Delta T$  η διαφορά στην θερμοκρασία,  $\Delta t$  το χρονικό διάστημα για την δεδομένη αλλαγή στην



θερμοκρασία. Να σημειωθεί ότι στον τύπο της ειδικής θερμότητας υπάρχει η μάζα και όχι ο όγκος του υλικού. Όμως, η πυκνότητα του νερού είναι  $1\text{gr/cm}^3$  επομένως ο όγκος έχει την ίδια τιμή με την μάζα. Επομένως χρησιμοποιούμε όγκο αντί για μάζα επειδή μετράτε πιο εύκολα.

**Ηλιακή σταθερά ( $S_{\odot}$ ):** Όπως αναφέρθηκε η ηλιακή σταθερά είναι η ενέργεια που λαμβάνεται από τον Ήλιο ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου. Αφού υπολογίσουμε την ισχύ που ισούται με την θερμότητα που απορροφήθηκε από το νερό στο δοχείο, αν διαιρέσουμε αυτήν τη ποσότητα με την ενεργό επιφάνεια της φιάλης και το χρονικό διάστημα θα πάρουμε την ηλιακή σταθερά. Η τιμή αυτή πρέπει να διορθωθεί για την ατμοσφαιρική απορρόφηση όποτε πρέπει να την διαιρέσουμε με την ατμοσφαιρική διαπερατότητα ( $\tau$ ),  $S_{\odot} = \frac{Q}{A_{\text{eff}} \cdot \tau}$ .

**Ηλιακή λαμπρότητα ( $L_{\odot}$ ):** Δεδομένου ότι η ηλιακή σταθερά είναι ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας αν την πολλαπλασιάσουμε με την επιφάνεια ακτίνας 1 AU παίρνουμε την συνολική ισχύ από τον ήλιο σε επιφάνεια ακτίνας 1 AU. Αυτή η συνολική ισχύς είναι η ηλιακή λαμπρότητα,  $L_{\odot} = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot S_{\odot}$

**Εκπεμπόμενη ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας:** Είναι η διαίρεση της ηλιακής λαμπρότητας με την επιφάνεια του Ήλιου ( $A_{\odot} = 4 \cdot \pi \cdot R_{\odot}^2$ ),  $\frac{L_{\odot}}{A_{\odot}}$

**Ενεργός θερμοκρασία του Ήλιου ( $T_{\text{eff}}$ ):** Η εξίσωση που δίνει την ενεργό θερμοκρασία είναι ο νόμος των Stefan – Boltzman για την ακτινοβολία μέλανου σώματος,

$$L_{\odot} = 4 \cdot \pi \cdot R_{\odot}^2 \cdot \sigma \cdot T_{\text{eff}}^4 \Rightarrow L_{\odot} = A_{\odot} \cdot \sigma \cdot T_{\text{eff}}^4 \Rightarrow T_{\text{eff}} = \sqrt[4]{\frac{L_{\odot}}{A_{\odot} \cdot \sigma}} \quad \text{όπου } \sigma \text{ είναι η}$$

σταθερά των Stefan – Boltzman.

**Μήκος κύματος μέγιστης εκπομπής ( $\lambda_{\text{max}}$ ):** Βασιζόμενοι στον νόμο του Wien μπορεί να υπολογίσει κανείς το μήκος κύματος μέγιστης εκπομπής,  $\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T_{\text{eff}}}$  όπου  $b$  είναι η σταθερά του Wien.

**Μετατροπή βαθμών Κελσίου σε Κέλβιν:**  $^{\circ}\text{K} = 273^{\circ} + ^{\circ}\text{C}$



Ημερομηνία: \_\_\_\_\_

Όγκος νερού:	
Μήκος σκίας:	

# **Μέτρηση της ενεργούς θερμοκρασίας του Ήλιου**

Ονοματεπώνυμο μαθητή: \_\_\_\_\_

Ημερομηνία: \_\_\_\_\_

Μέση τιμή αύξησης θερμοκρασίας (°C)	Μέση τιμή χρονικής διάρκειας (sec)	Ακτίνα δοχείου (m)	Όγκος Νερού (cm <sup>3</sup> )	Δείκτης διαπερατότητας ατμόσφαιρας	θερμοχωρητικό- τητα νερού (J·cm <sup>-3</sup> ·°C <sup>-1</sup> )
3	600	0,035	100	0,71	4,2

Μήκος χάρακα (m)	Μήκος σκίας (m)	Απόσταση από το ζενίθ (μοίρες)	Επιφάνεια δοχείου (m <sup>2</sup> )	Ενεργή περιοχή (m <sup>2</sup> )
1000	1000	45	0,00385	0,00272

AU (m)	AU περιοχή (m <sup>2</sup> )	Ισχύς (Watt)	Ηλιακή σταθερά S (W/m <sup>2</sup> )	Ηλιακή Λαμπρότητα (W)
1,5E+11	2,826E+23	2,1	1087	3,07E+26

Περιοχή στον Ήλιο (m <sup>2</sup> )	Εκπεμπόμενη Ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας (W/m <sup>2</sup> )	Ενεργός Θερμοκρασία Ήλιου (°K)	Ενεργός Θερμοκρασία Ήλιου (°C)	Μήκος κύματος μέγιστης εκπομπής
6,1544E+18	49240505	5424	5151	534,270

