

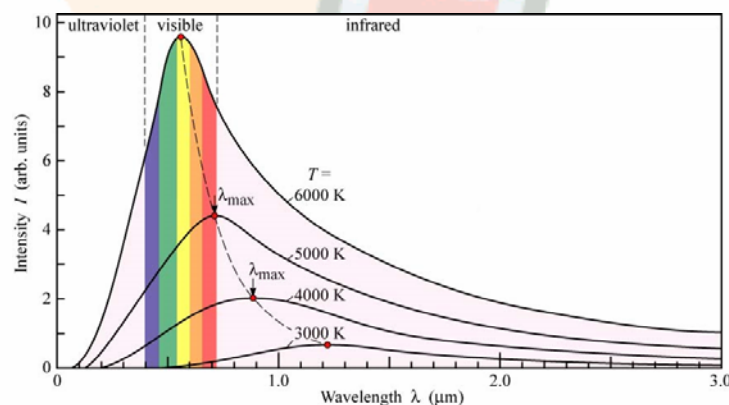
1. Εισαγωγή

Η ενεργός θερμοκρασία (T_{eff}) ενός σώματος, όπως ένα αστέρι ή ένας πλανήτης ισούται με την θερμοκρασία που θα είχε ένα μέλαν σώμα αν εξέπεμπε την ίδια ποσότητα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ενεργός θερμοκρασία χρησιμοποιείται για να γίνει μια εκτίμηση της πραγματικής θερμοκρασίας ενός σώματος όταν δεν είναι γνωστή η καμπύλη ακτινοβολίας του. Για να υπολογιστεί η ενεργός θερμοκρασία ενός σώματος θα πρέπει να γνωρίζεις κανείς την έννοια του μέλανου σώματος, της ακτινοβολίας του μέλανου σώματος και τον νόμο των Stefan – Boltzman. Η ενεργός θερμοκρασία των αστέρων συνδέεται με το χρώμα τους. Η ενεργός θερμοκρασία του Ήλιου μας είναι μείζονος σημασίας. Η τιμή της μας επιτρέπει να καθορίσουμε το ποσό της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

Σε αυτό το άρθρο γίνεται μια εισαγωγή στις βασικές έννοιες και αρχές που σχετίζονται με την ενεργό θερμοκρασία. Παρουσιάζεται επίσης μια απλή μέθοδος υπολογισμού της ενεργούς θερμοκρασίας από τους μαθητές.

2. Οι έννοιες του μέλανου σώματος και της ακτινοβολίας του μέλανου σώματος

Το μέλαν σώμα είναι ένα θεωρητικό αντικείμενο το οποίο απορροφά όλη την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που πέφτει επάνω του. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχουν απώλειες ή φαινόμενα σκέδασης και ότι το φως δεν διαπερνά το σώμα.



Εικόνα 1. Η ακτινοβολία μέλανου σώματος σε διάφορες θερμοκρασίες. Το μήκος κύματος μέγιστης εκπομπής μεγαλώνει καθώς η θερμοκρασία μειώνεται.

Δεδομένου ότι ένα μέλαν σώμα δεν εκπέμπει ακτινοβολία, εμφανίζεται μαύρο. Όταν θερμανθεί, εκπέμπει θερμική ακτινοβολία η οποία ονομάζεται ακτινοβολία μέλανου σώματος. Σε δεδομένη θερμοκρασία ένα μέλαν σώμα εκπέμπει όση τον δυνατόν περισσότερη ακτινοβολία. Σε οποιαδήποτε θερμοκρασία, ένα μέλαν σώμα εκπέμπει σε όλα τα μήκη κύματος (θεωρητικά το μέγιστο μήκος κύματος είναι άπειρο). Η ποσότητα ενέργειας που εκπέμπεται σε

ένα μήκος κύματος είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του μέλανου σώματος. Επομένως μπορεί κανείς να έχει την καμπύλη έντασης ακτινοβολίας ενός μέλανου σώματος, συναρτήσει του μήκους κύματος, σε οποιαδήποτε θερμοκρασία (εξίσωση 2.1).

Όπως μπορεί να προσέξει κανείς, η καμπύλη φωτός είναι διαφορετική σε κάθε θερμοκρασία (εικόνα 1.). Καθώς η θερμοκρασία μειώνεται το μήκος κύματος μέγιστης εκπομπής είναι μεγαλύτερο. Η περιοχή κάτω από την καμπύλη αντιπροσωπεύει την συνολική ενέργεια που εκπέμπεται. Όσο μειώνεται η θερμοκρασία, μειώνεται και η συνολική εκπεμπόμενη ενέργεια. Τέλος, μπορεί να δει κανείς ότι η καμπύλη τείνει ασυμπτωτικά προς τον άξονα x αλλά δεν τον ακουμπάει ποτέ.

Η καμπύλη του μέλανου σώματος μπορεί να περιγραφεί, σε οποιαδήποτε θερμοκρασία, από τον νόμο του Planck:

$$I(\nu, T) d\nu = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} d\nu \quad (2.1)$$

Όπου h είναι η σταθερά του Planck, ν είναι η συχνότητα, k η σταθερά του Boltzman, c η ταχύτητα του φωτός και T είναι η θερμοκρασία του μέλανου σώματος.

Το μήκος κύματος μέγιστης εκπομπής μπορεί να βρεθεί από τον νόμο του Wien. Αυτός ο νόμος υποδεικνύει ότι το μήκος κύματος είναι αντιστρόφως ανάλογο της θερμοκρασίας του σώματος:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad (2.2)$$

όπου b είναι η σταθερά του Wien που ισούται με $2.8977685 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ και T είναι η θερμοκρασία του μέλανου σώματος.

3. Ο νόμος των Stefan – Boltzmann's

Η ενεργός θερμοκρασία ενός μέλανου σώματος είναι ένα πολύ χρήσιμο μέγεθος. Δεδομένου ότι αντικείμενα όπως ο Ήλιος μας είναι μια πολύ καλή προσέγγιση ενός μέλανου σώματος, η θεωρία για τα μέλανα σώματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθοριστεί η ενεργός θερμοκρασία τους, η οποία είναι μια πολύ καλή προσέγγιση της πραγματικής τους θερμοκρασίας. Το τελευταίο μέγεθος που μένει να υπολογίσουμε για ένα μέλαν σώμα, πέραν της θερμοκρασίας και του μήκους κύματος μέγιστης εκπομπής, είναι η ενέργεια που

εκπέμπεται ανά μονάδα χρόνου (λαμπρότητα). Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της λαμπρότητας είναι ο νόμος των Stefan – Boltzman:

$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4 \quad (3.1)$$

όπου σ είναι η σταθερά των Stefan – Boltzmann που ισούται με:

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = 5.670400 \times 10^{-8} \text{ Js}^{-1}\text{m}^{-2}\text{K}^{-4} \quad (3.2)$$

και το $4\pi R^2$ αντιπροσωπεύει την επιφάνεια του αντικειμένου.

4. Ηλιακή λαμπρότητα και ηλιακή σταθερά

Πριν την παρουσίαση των υπολογισμών για την ενεργό θερμοκρασία του Ήλιου υπάρχει ένας τελευταίος όρος που πρέπει να συζητηθεί.

Η ηλιακή λαμπρότητα είναι ένα πολύ σημαντικό μέγεθος και είναι χρήσιμο να γνωρίζεις κανείς πως μπορεί να υπολογιστεί. Η ηλιακή λαμπρότητα σχετίζεται με ένα από τα πιο χαρακτηριστικά μεγέθη του Ήλιου, την ηλιακή σταθερά. Η ηλιακή σταθερά είναι η λαμπρότητα που φτάνει στην Γη από τον Ήλιο ανά μονάδα επιφάνειας, ή με άλλα λόγια, ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου (εξίσωση 4.1). Αν $\bar{r} = 1 \text{ AU}$ ($1 \text{ Astronomical Unit} = 150 \times 10^6 \text{ km}$) είναι η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του Ήλιου και της επιφάνειας της Γης, L_{\odot} η ηλιακή λαμπρότητα και S_{\odot} η ηλιακή σταθερά, τότε:

$$S_{\odot} = \frac{L_{\odot}}{4\pi \bar{r}^2} \quad (4.1)$$

Η ηλιακή σταθερά όπως είπαμε, είναι ενέργεια την οποία δέχεται η Γη από τον Ήλιο. Ένας τρόπος για να υπολογιστεί είναι με την βοήθεια της θερμιδομετρίας.

Ο τύπος για την ειδική θερμότητα είναι:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (4.2)$$

όπου Q είναι η ενέργεια (θερμότητα), m είναι η μάζα, c η ειδική θερμότητα του νερού και ΔT η διαφορά στην θερμοκρασία ενός υλικού σε δεδομένο χρονικό διάστημα. Η τιμή της ειδικής θερμότητας είναι διαφορετική για κάθε υλικό. Για το νερό για παράδειγμα η τιμή της ειδικής θερμότητας είναι $4,2 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$. Βασιζόμενοι στην εξίσωση 4.2 μπορεί κανείς να διεξάγει ένα πείραμα υπολογισμού της ενεργούς θερμοκρασίας.

5. Υπολογισμός της ενεργούς θερμοκρασίας του Ήλιου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η ενεργός θερμοκρασία είναι ίση με την θερμοκρασία που θα είχε ένα μέλαν σώμα αν εξέπεμπε το ίδιο ποσό ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας με το σώμα υπό παρατήρηση. Θεωρώντας ότι ο Ήλιος μας μπορεί κατά προσέγγιση να θεωρηθεί ένα μέλαν σώμα, η ενεργός θερμοκρασία του θα είναι πολύ κοντά στην πραγματική τιμή της επιφανειακής του θερμοκρασίας. Επομένως μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς την θεωρία που παρουσιάστηκε παραπάνω για να υπολογίσει την επιφανειακή θερμοκρασία του Ήλιου.

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3.1), αν L είναι η ηλιακή λαμπρότητα τότε το T θα είναι η ενεργός θερμοκρασία. Επομένως, για να υπολογίσουμε την ενεργό θερμοκρασία πρέπει κανείς να υπολογίσει πρώτα την ηλιακή λαμπρότητα. Η τελευταία μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση (4.1) αν είναι γνωστή η ηλιακή σταθερά.

Συνοψίζοντας, η ενεργός θερμοκρασία μπορεί να υπολογιστεί αν καταφέρει κανείς να υπολογίσει πρώτα την ηλιακή σταθερά. Η ηλιακή σταθερά, όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι ακτινοβολία που δεχόμαστε από τον Ήλιο ανά μονάδα επιφάνειας. Επομένως μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση (4.2). Με βάση αυτή την εξίσωση, αν η αλλαγή στην θερμοκρασία για δεδομένο όγκο υγρού σε δεδομένο χρονικό διάστημα είναι γνωστή, μπορεί να υπολογιστεί η ενέργεια που χρειάστηκε για να γίνει αυτή η αλλαγή. Αυτή η ενέργεια (θερμότητα), διαιρούμενη με την ενεργό περιοχή του όγκου του υγρού είναι η τιμή της ηλιακής σταθεράς.

Αν λοιπόν είναι γνωστή η ηλιακή σταθερά με την μέθοδο που αναφέρθηκε παραπάνω μπορεί να υπολογιστεί η ενεργός θερμοκρασία στα πλαίσια ενός εκπαιδευτικού προγράμματος. Τα αποτελέσματα που θα διεξαχθούν αναμένεται να διαφέρουν από τις πραγματικές τιμές δεδομένου ότι αρκετοί παράγοντες δεν έχουν ληφθεί υπ' όψιν γιατί αλλιώς το πρόβλημα θα γινόταν πολύπλοκο. Τέτοιοι παράγοντες είναι φαινόμενα σκέδασης και απορρόφησης, ή η εξάτμιση του νερού. Παρόλο όμως που το αποτέλεσμα θα αποκλίνει από την πραγματική τιμή, αναμένεται να είναι μια καλή προσέγγιση.