

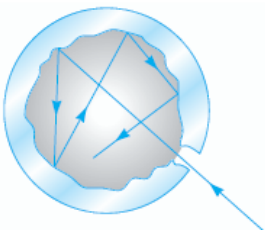
ΕΝΟΤΗΤΑ 1 : Από την Κλασική στη Σύγχρονη Φυσική

1.1 Θερμική Ακτινοβολία Σώματος

1.1.1 Ιστορική Εξέλιξη – Νομος Stefan & Boltzmann

- 1792 T.Wedgwood (υαλουργός): Όλα τα σώματα, ανεξαρτήτως υλικού, σχήματος και μεγέθους, ερυθροπυρώνονται περίπου στην ίδια θερμοκρασία μέσα στον κλίβανο.
- 1850: Ανάπτυξη φασματοσκοπικών μεθόδων. Παρατηρήσεις συνεχών φασμάτων από θερμαινόμενα στερεά σώματα σε αντίθεση με διακριτά φάσματα θερμαινόμενων αερίων.
- 1859 G.Kirchoff: Απέδειξε θεωρητικά ότι ένα σώμα σε θερμική ισορροπία μέσα σε ένα κλίβανο, εκπέμπει θερμική ισχύ (e_λ) ανάλογη με αυτή που απορροφά (a_λ) από το περιβάλλον:
$$e_\lambda = I(\lambda, T) a_\lambda$$

Η σταθερά αναλογίας $I(\lambda, T)$ είναι κοινή για όλα τα σώματα και εξαρτάται από τη θερμοκρασία (T) και το μήκος κύματος (λ) της ακτινοβολίας. Το ιδανικά απορροφητικό σώμα («μελανό») έχει $a_\lambda = a = 1$.



Ο ιδανικός απορροφητής ΗΜ ακτινοβολίας (δηλ το μελανό σώμα) είναι και ιδανικός εκπομπός.
Παραδειγμα: Ενα μικρό άνοιγμα σε θερμαινόμενη κοιλότητα (κλίβανο) συμπεριφέρεται ως μελανό σωμα.



Black lava glows brightly when hot.

- 1879 J.Stefan & 1884 L. Boltzmann: Απέδειξαν πειραματικά (Stefan) και θεωρητικά (Boltzmann) ότι η συνολικά εκπεμπόμενη θερμική από ένα σώμα είναι ανάλογη με την 4^η δύναμη της θερμοκρασίας του

$$I = \alpha \sigma T^4$$

Νόμος Stefan-Boltzmann

I=ένταση (=εκπεμπόμενη ισχύς ανά επιφάνεια)

[W/m²]

T=θερμοκρασία [K]

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ [W·m⁻²K⁻⁴] = πειραματική σταθερά

α = μέσος συντελεστής απορρόφησης (0 < α < 1)

Μελανό σώμα ($\alpha=1$) : Εκπέμπει (ή απορροφά, ανάλογα με τις συνθήκες) ΗΜ ακτινοβολία σε όλα τα μήκη κύματος

Πχ Ορυκτό κάρβουνο, Ήλιος, Λαμπτήρας Πυρακτώσεως, Κόρη Ματιού.

Φαιό σώμα ($\alpha < 1$) : Μερική εκπομπή (ή απορρόφηση) της ΗΜ ακτινοβολίας.

Πχ ένα κομμάτι ξύλο βαμμένο καφέ ή πράσινο ή κόκκινο. Γυαλιστερό μέταλλο ($\alpha \sim 0.3$)

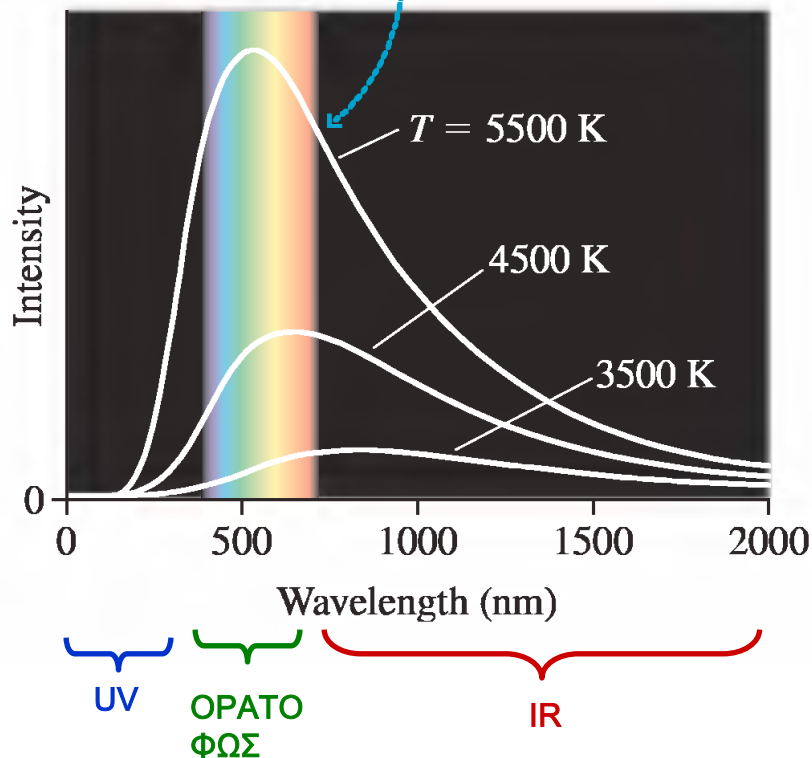
Απόλυτα λευκό σώμα ($\alpha=0$): Αντανακλά πλήρως κάθε ΗΜ ακτινοβολία και έχει μηδενική εκπομπή ακτινοβολίας

Πχ ένας απόλυτα ανακλαστικός καθρέπτης. Ιδανικό διαφανές γυαλί.

1.1.2 Φάσμα Θερμικής Ακτινοβολίας

FIGURE 38.20 Φάσμα εκπομπής μελανού σώματος

Ένα θερμότερο σώμα εκπέμπει μεγαλύτερη ένταση σε μικρότερα μήκη κύματος



1. Το φάσμα εκτείνεται από την περιοχή του υπεριθρού (IR) μέχρι την περιοχή του υπεριώδους (UV)
2. Το φάσμα είναι ανεξάρτητο από τη φύση του υλικού. Εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του.
3. Αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση της συνολικά εκπεμπόμενης ισχύος δηλαδή του εμβαδού της καμπύλης $I(\lambda)$.
4. Αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μετατόπιση της κορυφής του φάσματος προς μικρότερα μήκη κύματος:

$$\lambda_{\max} = \frac{2.90 \times 10^{-3}}{T} \text{ m} \cdot \text{K}$$

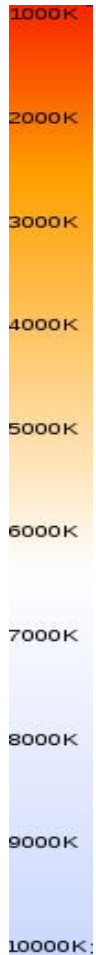
Νόμος Μετατόπισης του Wien (1893)

Εφαρμογή : Απομακρυσμένη Θερμομέτρηση

Ηλιος: $\lambda_{\max} = 500 \text{ nm}$ (Πράσινο) $\Rightarrow T_{\max} = 5800 \text{ K}$

Γη: $T_{\max} = 300 \text{ K} \Rightarrow \lambda_{\max} = 10,000 \text{ nm}$ (IR)

Deepest red	700 nm
Red	650 nm
Green	550 nm
Blue	450 nm
Deepest violet	400 nm



1.1.3 Θεωρία των Rayleigh & Jeans (~1900)

- Μέσα στο θερμό σωμα σχηματίζονται στάσιμα ΗΜ κύματα
- Η ενέργεια του καθενός είναι $E \sim A^2$
- Η ενέργεια ισοκατανέμεται στους τρόπους ταλάντωσης $T \sim A^2$
- Αθροίζοντας την ενέργεια των κυμάτων προκύπτει:
$$I(\lambda) = \frac{2\pi c k_B T}{\lambda^4}$$
- Όταν $\lambda \rightarrow 0$ τότε $I(\lambda) \rightarrow \infty$ Υπεριώδης Καταστροφή !!!
- Αδυναμία της Κλασικής Φυσικής (Θερμοδυναμική + Ηλεκτρομαγνητική θεωρία) να ερμηνεύσει το φάσμα του μελανού σώματος

1.1.4 Θεωρία του Planck (1908) - Nobel Prize 1920

- Το μελανό σώμα αποτελείται από «μικροσκοπικά ταλαντούμενα ηλεκτρικά φορτία»
- Τα ταλαντούμενα φορτία εκπέμπουν ΗΜ ακτινοβολία συχνότητας ίση με την συχνότητα ταλάντωσής τους (Maxwell) .
- Η ενέργεια δόνησης κάθε ταλαντωτή είναι **ακέραιο πολλαπλάσιο της συχνότητας ταλάντωσης** $E_n=0, hf, 2hf, 3hf, \dots$ και όχι του πλατους ταλάντωσης

Κατόπιν υπολογισμών προέκυψε ότι:

$$I(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

όπου:

$I(\lambda)$ =εκπεμπόμενη ισχύς (ανά μονάδα επιφάνειας) με μ.κ. μεταξύ ($\lambda, \lambda+d\lambda$)

h = εμπειρική σταθερά (του Planck) = 6.63×10^{-34} J·s

c = ταχύτητα φωτός

k = σταθερά Boltzmann

T = απόλυτη θερμοκρασία



Figure 3.8 Max Planck (1858–1947).

1.1.5 Επιτυχίες της Θεωρία του Planck

- Εξήγησε την πειραματικά παρατηρούμενη μορφή του φάσματος $I(\lambda)$
- Εξήγησε το νόμο του Wien και υπολόγισε την τιμή της σταθεράς $w=2.90 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$

$$\left[\frac{dI}{d\lambda} = 0 \Rightarrow \lambda_{\max} = \frac{w}{T} \right]$$

- Εξήγησε το νόμο των Stefan-Boltzmann και υπολόγισε την τιμή της σταθεράς $\sigma=5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-4}$

$$\left[I = \int_0^{\infty} I(\lambda) d\lambda = \sigma T^4 \right]$$

Σχόλιο : Η σημασία της θεώρησης του Planck

Η υπόθεση του Planck για **διακριτές τιμές της ενέργειας ενός ταλαντωτή** ($E_n = nhf$) παρότι επινοήθηκε ως **μαθηματικό τέχνασμα ...**

... εδραίωσε την αντίληψη ότι **η ενέργεια ενός ταλαντωτή είναι κβαντισμένη...**

... κι ενώ ο ίδιος δεν πίστεψε ποτέ σε αυτήν, ο Einstein λίγα χρόνια αργότερα την ισχυροποίησε !

1.1.6 Ασκήσεις

1. Η θερμοκρασία στην επιφάνεια του Ηλιου έχει εκτιμηθεί ότι είναι περίπου 5800K. Αν θεωρήσουμε τον Ηλιο μελανό σώμα, βρείτε (α) ποιο είναι το κυρίαρχο μήκος κύματος στην εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία, (β) σε ποιο χρώμα αντιστοιχεί αυτό; Σχολιάστε το γεγονός ότι η ευαισθησία του ανθρώπινου οφθαλμού είναι μέγιστη στην περιοχή $\lambda \sim 555\text{nm}$. **Απ. (α) 500nm (β) Πράσινο.**
2. Πόση ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας εκπέμπει ο Ηλιος στην περιοχή μηκών κύματος από 600 μέχρι 605nm; **Απ. 0.39MW/m².**
3. Εκτιμήστε τη θερμοκρασία στην επιφάνεια του Ηλιου από τις παρακάτω πληροφορίες: Η ακτίνα του Ηλιου είναι $R=7.0 \times 10^8\text{m}$. Η απόσταση Ηλιου-Γης είναι $r=1.5 \times 10^{11}\text{m}$. Η ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας της προσπίπτουσας στη Γη ακτινοβολίας είναι 1400W/m^2 . Ο Ηλιος θεωρείται κατά προσέγγιση μελανό σώμα και η απορρόφηση της Ηλιακής ακτινοβολίας στο Διάστημα είναι αμελητέα. **[Λύση: Η ένταση της ακτινοβολίας του Ηλιου στην επιφάνεια της Γης είναι $I_{\Gamma\text{H}} = P_{\text{H}\Lambda} / 4\pi r^2$, όπου είναι η συνολικά εκπεμπόμενη ισχύς από τον Ηλιο και για την οποία ισχύει ο νομος Stefan-Boltzmann $I_{\text{H}\Lambda} = \sigma T^4 \Rightarrow P_{\text{H}\Lambda} / 4\pi R^2 = \sigma T^4$. Άρα $I_{\Gamma\text{H}} 4\pi r^2 = 4\pi R^2 \sigma T^4 \Rightarrow T^4 = I_{\Gamma\text{H}} r^2 / \sigma R^2$] Απ. 5800K**
4. Πόση συνολική θερμική ισχύ εκπέμπει με ακτινοβολία η παλάμη ενός ανθρώπου με φυσιολογική θερμοκρασία (37°C), όταν βρίσκεται (α) σε κενό χώρο, και (β) πολύ κοντά σε μια παγοκολόνα (0°C). Η επιφάνεια της ανθρώπινης παλάμης είναι περίπου 10cm^2 . Σε ποια περίπτωση αισθάνεται μεγαλύτερο ψύχος; Σχολιάστε τη συνηθισμένη καθημερινή φράση «η παγοκολόνα εκπέμπει ψύχος». **Απ. (α) 5.2W (β) 2.1W.**