

ΝΙΚΟΣ Γ. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ

ΦΥΣΙΚΗ

Γ' Λυκείου

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ



ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΠΑΤΑΚΗ

Θέση υπογραφής δικαιούχου δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας,
εφόσον η υπογραφή προβλέπεται από τη σύμβαση.

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις της ελληνικής νομοθεσίας (Ν. 2121/1993, όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής αδείας του εκδότη κατά οποιονδήποτε τρόπο ή μέσο (ηλεκτρονικό, μηχανικό ή άλλο) αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.

Εκδόσεις Πατάκη - Εκπαίδευση

Νίκος Γ. Διαμαντής, *Φυσική Γ' Γενικού Λυκείου – Στοιχεία Κβαντομηχανικής*

Διορθώσεις: Νάντια Κουτσουρούμπα

Υπεύθυνος έκδοσης: Βαγγέλης Μπακλαβάς

DTP: Γιώργος Χατζησπύρος

Σχεδιασμός εξωφύλλου: Εύη Καλλιονάκη

Εικόνα εξωφύλλου: Freepik.com

Copyright© για τις φωτογραφίες του εσωτερικού: Shutterstock.com

Copyright© Σ. Πατάκης ΑΕΕΔΕ (Εκδόσεις Πατάκη) και Νίκος Γ. Διαμαντής, Αθήνα, 2022

Πρώτη έκδοση από τις Εκδόσεις Πατάκη, Αθήνα, Οκτώβριος 2022

Κ.Ε.Τ. Ε324 - Κ.Ε.Π. 669/22

ISBN 978-618-07-0098-5



**ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΠΑΤΑΚΗ**

ΠΑΝΑΓΗ ΤΣΑΛΔΑΡΗ (ΠΡΩΗΝ ΠΕΙΡΑΙΩΣ) 38, 104 37 ΑΘΗΝΑ,

ΤΗΛ.: 210.36.50.000, 210.52.05.600, 801.100.2665, ΦΑΞ: 210.36.50.069

ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ: ΕΜΜ. ΜΠΕΝΑΚΗ 16, 106 78 ΑΘΗΝΑ, ΤΗΛ.: 210.38.31.078

ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΗΜΑ ΒΟΡΕΙΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ: ΚΟΡΥΤΣΑΣ (ΤΕΡΜΑ ΠΟΝΤΟΥ – ΠΕΡΙΟΧΗ Β' ΚΤΕΟ),

570 09 ΚΑΛΟΧΩΡΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, Τ.Θ. 1213, ΤΗΛ.: 2310.70.63.54, 2310.70.67.15, ΦΑΞ: 2310.70.63.55

Web site: <http://www.patakis.gr> • e-mail: info@patakis.gr, sales@patakis.gr

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	5
Κεφάλαιο 1: Ακτινοβολία του μέλανος σώματος	7
1.1 Ισχύς και ένταση ηλεκτρομαγνητικού κύματος	7
1.2 Ακτινοβολία του μέλανος σώματος	17
Κεφάλαιο 2: Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	36
Κεφάλαιο 3: Φαινόμενο Compton	81
Κεφάλαιο 4: Υλικά κύματα	120
Κεφάλαιο 5: Αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg	143
Κεφάλαιο 6: Κυματοσυνάρτηση	164
Ανακεφαλαίωση	174
1ο Κριτήριο Αξιολόγησης	177
2ο Κριτήριο Αξιολόγησης	181
Απαντήσεις – Λύσεις	185
Βιβλιογραφία	224

Στον γιο μου Κώστα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εισαγωγή μέρους της σύγχρονης φυσικής στη διδακτέα ύλη είναι γενικά προς τη σωστή κατεύθυνση. Η συγκεκριμένη ύλη αναφέρεται στο πέρασμα από την κλασική φυσική στην κβαντική φυσική, στην αδυναμία της κλασικής φυσικής να ερμηνεύσει φαινόμενα που σχετίζονται με τον μικρόκοσμο και στη διατύπωση νέων θεωριών, προάγγελων της κβαντικής μηχανικής.

Στο συγκεκριμένο βιβλίο έγινε μια προσπάθεια να περιέχονται ταυτόχρονα τα στοιχεία ενός σχολικού και ενός φροντιστηριακού εγχειριδίου. Περιέχεται πλήρης θεωρία και παραδείγματα, καθώς και σημαντικός αριθμός από ερωτήσεις και ασκήσεις, οι οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί στις μορφές με τις οποίες δίνονται στις Πανελλαδικές εξετάσεις.

Σε κάθε κεφάλαιο περιέχεται ειδικό περιεχόμενο, το οποίο απευθύνεται κυρίως στους εκπαιδευτικούς, με τίτλο «Επεξηγηματικές πληροφορίες». Στόχος αυτού του περιεχομένου είναι η παρουσίαση συμπληρωματικών πληροφοριών, που θα μπορούσαν ίσως να βοηθήσουν κάποιους / κάποιες συναδέλφους στη διδακτική διαδικασία. Επίσης, στο τέλος ορισμένων κεφαλαίων παρατίθεται πρόβλημα που σχετίζεται με την επεξεργασία δεδομένων αντίστοιχης εργαστηριακής άσκησης.

Στο κεφάλαιο «Ακτινοβολία του μέλανος σώματος» θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει σχετική αναφορά στην ενέργεια ακτινοβολίας και στις αντίστοιχες φυσικές ποσότητες και έννοιες, διότι χρησιμοποιούνται εκτενώς σε ορισμένα από τα κεφάλαια που ακολουθούν. Επίσης, για πληρότητα αναφέρεται ο νόμος των Stefan-Boltzmann, χωρίς βέβαια να υπάρχουν ερωτήσεις και προβλήματα που να σχετίζονται με τον συγκεκριμένο νόμο.

Στο κεφάλαιο «Κυματοσυνάρτηση» γίνεται μια προσπάθεια σύνδεσης με την αντίστοιχη παρουσίαση της κυματοσυνάρτησης στη χημεία, θεωρώντας μια τέτοια προσέγγιση παιδαγωγικά χρήσιμη.

Παρατήρηση: Στα διεθνή βιβλία γενικής φυσικής, στις ασκήσεις και στα προβλήματα κατά κανόνα για τις αριθμητικές τιμές των φυσικών ποσοτήτων χρησιμοποιούνται τρία σημαντικά ψηφία. Στο συγκεκριμένο βιβλίο, για να μη χρειάζεται να καταναλώνεται πολύτιμος χρόνος από τους μαθητές / τις μαθήτριες στην εκτέλεση πράξεων και χωρίς να «χάνεται» η φυσική πραγματικότητα, οι αριθμητικές τιμές των φυσικών μεγεθών, πλην λίγων εξαιρέσεων, προσδιορίζονται με δύο σημαντικά ψηφία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Ομότιμο Καθηγητή του Ε.Μ.Π. Μανόλη Δρη για τις ουσιαστικές παρατηρήσεις του, που βοήθησαν στην τελική παρουσίαση του περιεχομένου της θεωρίας.

Ο συγγραφέας

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Για διορθώσεις, συμπληρωματικό υλικό, διευκρινίσεις ή τυχόν προσθήκες κτλ. επισκεφτείτε το www.patakis.gr ή το www.vivlioroleiopataki.gr, στο πεδίο Αναζήτηση πληκτρολογήστε τον κωδικό 14098 και δείτε στο πεδίο Περισσότερες Πληροφορίες. Για σχόλια, παρατηρήσεις, διευκρινίσεις κτλ. μπορείτε να επικοινωνείτε με τον συγγραφέα στο info@patakis.gr.

1

Ακτινοβολία του μέλανος σώματος

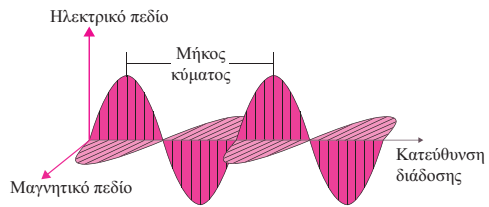
1.1 Ισχύς και ένταση ηλεκτρομαγνητικού κύματος

A. Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Ένα επίπεδο μονοχρωματικό ηλεκτρομαγνητικό κύμα (σχήμα 1.1) περιγράφεται από τις εξισώσεις:

$$\begin{aligned} E &= E_0 \eta \mu(\omega t - kx + \varphi) = \\ &= E_0 \eta \mu 2\pi \left(\frac{1}{T} t - \frac{1}{\lambda} x + \varphi \right) \end{aligned}$$

$$B = B_0 \eta \mu(\omega t - kx + \varphi) = B_0 \eta \mu 2\pi \left(\frac{1}{T} t - \frac{1}{\lambda} x + \varphi \right)$$



Σχήμα 1.1

όπου:

E : το ηλεκτρικό πεδίο (ένταση),

E_0 : το πλάτος του ηλεκτρικού πεδίου,

B : το μαγνητικό πεδίο (πυκνότητα μαγνητικής ροής),

B_0 : το πλάτος του μαγνητικού πεδίου,

ω : η κυκλική συχνότητα,

k : ο κυματαριθμός,

φ_0 : η αρχική φάση.

Οι σχέσεις μεταξύ των διαφόρων μεγεθών που αφορούν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα καταγράφονται στον διπλανό πίνακα, όπου f είναι η συχνότητα του κύματος και λ το μήκος κύματος.

$$f = \frac{\omega}{2\pi}, k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$c = \lambda f, \lambda = \frac{c}{f}, f = \frac{c}{\lambda}$$

$$E = cB, E_0 = cB_0$$

B. Μονοχρωματική ακτινοβολία

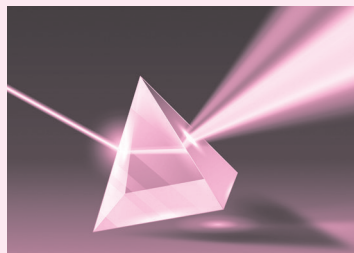
Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα λέγεται **αρμονικό** όταν περιγράφεται, όπως και στις παραπάνω εξισώσεις, από ημιτονοειδή (αρμονική) συνάρτηση της θέσης

και του χρόνου. Είναι ευνόητο ότι μπορεί να περιγράφεται και από συνημιτονοειδή συνάρτηση, απλώς θα υπάρχει αλλαγή στην αρχική φάση. Το αρμονικό κύμα λέγεται και **μονοχρωματικό**, διότι είναι μιας μόνο συχνότητας και όχι επαλληλία κυμάτων διαφόρων συχνοτήτων.

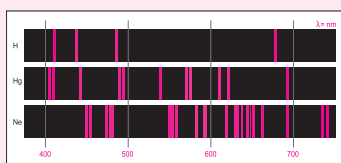
Όταν αναφερόμαστε σε **μονοχρωματική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία**, θα εννοούμε ότι περιγράφεται από αρμονικό κύμα, δηλαδή από κύμα μιας συγκεκριμένης συχνότητας.

■ Επεξηγηματικές πληροφορίες

Ανάλυση του φωτός: Μια μονοχρωματική ακτίνα φωτός, όταν διέλθει από ένα πρίσμα, απλώς εκτρέπεται από την πορεία της. Στην περίπτωση όμως που η ακτίνα φωτός δεν είναι μονοχρωματική, αναλύεται σε ακτίνες διαφορετικών συχνοτήτων, οι οποίες συνιστούν το **φάσμα συχνοτήτων** της ακτίνας. Αν οι ακτίνες που προκύπτουν από την ανάλυση έχουν διακριτές συχνότητες, τότε το φάσμα είναι **γραμμικό**.



Εικόνα 1.1 Ανάλυση του φωτός



Εικόνα 1.2 Γραμμικό φάσμα



Εικόνα 1.3 Συνεχές φάσμα

Στην αντίθεση περίπτωση, δηλαδή όταν οι συχνότητες παίρνουν όλες τις τιμές από ένα συνεχές διάστημα τιμών, το φάσμα είναι **συνεχές**.

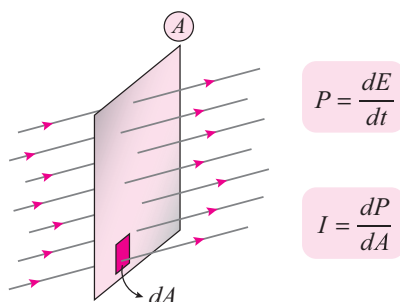
Γ. Ένταση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος

Το πλάτος του πεδίου E_0 ενός αρμονικού ηλεκτρομαγνητικού κύματος σχετίζεται με την ενέργεια που μεταφέρεται από το ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Η ενέργεια

του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι το άθροισμα της ενέργειας του **ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου** του κύματος.

Θεωρούμε μονοχρωματικό **επίπεδο** ηλεκτρομαγνητικό κύμα, δηλαδή μια παράλληλη δέσμη ακτίνων. Το κύμα μεταφέρει ενέργεια με **συνεχή τρόπο**, δηλαδή έχουμε **συνεχή ροή ενέργειας**.

Έστω dE η ενέργεια σε μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που διέρχεται σε χρόνο dt από μια νοητή επίπεδη επιφάνεια A κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (σχήμα 1.2). Ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας που διέρχεται από την επιφάνεια A είναι η ισχύς της ακτινοβολίας, δηλαδή είναι:



Σχήμα 1.2

$$P = dE / dt$$

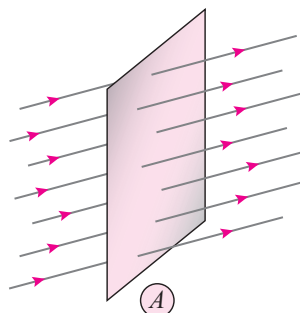
Στη γενική περίπτωση που το κύμα δεν είναι επίπεδο, η **ένταση** I του κύματος ή της ακτινοβολίας ορίζεται για κάθε σημείο στην επιφάνεια A . Συγκεκριμένα είναι το πηλίκο της στοιχειώδους ισχύος dP που διέρχεται από μια κάθετη στις ακτίνες στοιχειώδη επιφάνεια dA , στην οποία περιέχεται το σημείο, διά του dA . Δηλαδή:

$$I = \frac{dP}{dA}$$

Στο SI η μονάδα μέτρησης είναι το $1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Η ένταση I εκφράζει την ισχύ του ηλεκτρομαγνητικού κύματος ή της ακτινοβολίας που διέρχεται ανά μονάδα επιφάνειας, η οποία είναι κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας.

Αναφέραμε ότι η ένταση I ορίζεται για κάθε σημείο της επιφάνειας. Ας θεωρήσουμε μια επιφάνεια που είναι κάθετη στην ακτινοβολία και επιπλέον ότι η ένταση σε όλη την έκταση της επιφάνειας είναι ίδια (σχήμα 1.3). Τότε η ένταση είναι η ενέργεια που διέρχεται στη μονάδα του χρόνου από



Σχήμα 1.3

αυτή την επιφάνεια διά του εμβαδού της. Δηλαδή στην περίπτωση που η ένταση είναι σταθερή σε όλη την έκταση μιας επιφάνειας είναι:

$$P = \frac{E}{t} \quad \text{και} \quad I = \frac{E}{At}$$

Η ένταση της ακτινοβολίας μπορεί να μετρηθεί με ειδικά όργανα, τους αισθητήρες ακτινοβολίας.

Αποδεικνύεται ότι η ένταση του αρμονικού κύματος δίνεται από τη σχέση $I = c\varepsilon_0 E_0^2$, όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός και ε_0 η διηλεκτρική σταθερά ή ηλεκτρική επιτρεπτότητα του κενού.

Στο ηλεκτρομαγνητικό κύμα, σύμφωνα με την κλασική φυσική, έχουμε **συνεχή ροή ενέργειας**. Στο αρμονικό ηλεκτρομαγνητικό κύμα ο ρυθμός ροής είναι ανάλογος του τετραγώνου του πλάτους της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.

Παράδειγμα 1

Μια στέγη είναι σχήματος ορθογώνιου παραλληλεπιπέδου με διαστάσεις $6,0 \text{ m} \times 10 \text{ m}$. Όταν οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν κάθετα στη στέγη, η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτή σε χρόνο $t = 5,0 \text{ s}$ είναι $E = 150 \text{ kJ}$. Να υπολογίσετε την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Απάντηση

Η ισχύς της ακτινοβολίας είναι $P = E/t = 150 \text{ kJ}/5 \text{ s}$ ή $P = 30 \text{ kW}$.

Η ένταση της ακτινοβολίας δίνεται από τη σχέση $I = P/A$.

Το εμβαδόν της στέγης είναι $A = 6,0 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 60 \text{ m}^2$.

Συνεπώς $I = 30 \text{ kW}/60 \text{ m}^2 = 500 \text{ W/m}^2$.

Παράδειγμα 2

Σφαιρικό σώμα ακτίνας $R = 2,0 \text{ cm}$ ακτινοβολεί ομοιόμορφα στον χώρο. Αν σε απόσταση $r = 2,0 \text{ m}$ από το κέντρο του σφαιρικού σώματος η ένταση της ακτινοβολίας είναι $I_1 = 1,1 \text{ W/m}^2$, να υπολογίσετε:

- α. την ισχύ της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από το σώμα,
- β. την ένταση της ακτινοβολίας στην επιφάνεια του σώματος.

Το εμβαδόν της επιφάνειας σφαίρας ακτίνας R δίνεται από τη σχέση $A = 4\pi R^2$.

Απάντηση

- α. Η ακτινοβολία διέρχεται ομοιόμορφα από την επιφάνεια σφαίρας ακτίνας $r = 2,0 \text{ m}$ (σχήμα 1.4). Έχουμε $A_1 = 4\pi r^2$. Συνεπώς:

$$I_1 = P_1 / A_1 \quad \text{ή} \quad P_1 = I_1 A_1 \quad \text{ή}$$

$$P_1 = I_1 4\pi r^2 \quad \text{ή} \quad P_1 = 55 \text{ W}$$

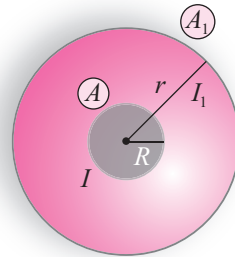
Επομένως η ισχύς της ακτινοβολίας που διέρχεται από τη νοητή επιφάνεια A_1 είναι 55 W. Η ισχύς αυτή είναι ίση με την ισχύ της ακτινοβολίας του σώματος. Επίσης, είναι ίση με την ισχύ που διέρχεται από την επιφάνεια κάθε σφαίρας με κέντρο το κέντρο του σώματος.

- β. Η ένταση της ακτινοβολίας στην επιφάνεια του σώματος δίνεται από τη σχέση:

$$I = P / A \quad \text{ή} \quad I = P / (4\pi R^2)$$

Είναι $P = 55 \text{ W}$ και $R = 2,0 \times 10^{-2} \text{ m}$. Με αντικατάσταση παίρνουμε:

$$I = 1,1 \times 10^4 \text{ W/m}^2$$



Σχήμα 1.4

Δ. Φασματική κατανομή της ακτινοβολίας

Μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που δεν είναι μονοχρωματική είναι σύνθεση πολλών συχνοτήτων. Θεωρούμε μια ακτινοβολία της οποίας το φάσμα είναι συνεχές. Η ένταση της ακτινοβολίας είναι το άθροισμα των επιμέρους εντάσεων των διαφόρων περιοχών του φάσματος.

Αν μια περιοχή $d\lambda$ του φάσματος στη θέση μήκους κύματος λ συνεισφέρει στην ένταση κατά $dI(\lambda, \lambda + d\lambda)$, τότε η ποσότητα:

$$I_\lambda = \frac{dI(\lambda, \lambda + d\lambda)}{d\lambda}$$

ορίζεται ως η **φασματική κατανομή της ακτινοβολίας**.

Μονάδα μέτρησης της φασματικής κατανομής της ακτινοβολίας είναι το $1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3}$.

Η μέτρηση της I_λ μπορεί να γίνει με ειδικά όργανα που ονομάζονται **φασματοφωτόμετρα**, αφού προηγηθεί η ανάλυση της ακτινοβολίας με πρίσμα.

Από το διάγραμμα της φασματικής κατανομής ως προς το μήκος κύματος, δηλαδή από το διάγραμμα I_λ - λ , μπορούμε να εξαγάγουμε διάφορα συμπεράσματα.

Για την περιοχή του φάσματος $(\lambda, \lambda + d\lambda)$, η αντίστοιχη ένταση της ακτινοβολίας είναι $dI(\lambda, \lambda + d\lambda) = I_\lambda d\lambda$.

Συνεπώς η συνεισφορά στην ένταση της ακτινοβολίας της περιοχής από μήκος κύματος λ_1 έως μήκος κύματος λ_2 , δηλαδή του διαστήματος (λ_1, λ_2) , είναι το εμβαδόν της γραφικής παράστασης μεταξύ των ορίων λ_1 και λ_2 (σχήμα 1.5).

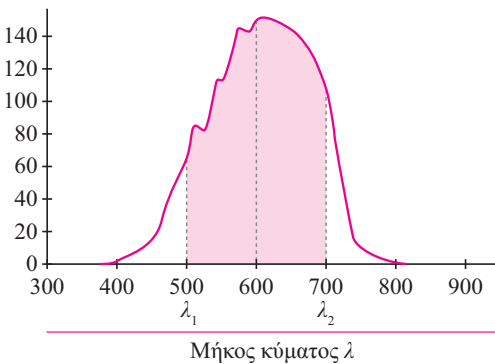
Στο σχήμα 1.5 η μέγιστη τιμή της φασματικής κατανομής της ακτινοβολίας είναι περίπου για μήκος κύματος 610 nm. Η συνεισφορά στην ένταση του τμήματος του φάσματος από $\lambda = 500$ nm έως $\lambda = 700$ nm είναι ίση με το γραμμοσκιασμένο εμβαδόν. Προφανώς η τιμή του συνολικού εμβαδού είναι ίση με την ένταση I της ακτινοβολίας, δηλαδή:

$$I = \sum_i I_{\lambda_i} \Delta\lambda_i$$

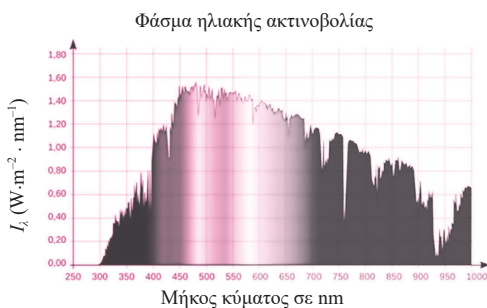
Παράδειγμα 3

Για την ηλιακή ακτινοβολία σε κάποια τροπική περιοχή, το διάγραμμα της I_λ ως προς το μήκος κύματος είναι αυτό της εικόνας 1.4.

α. Σε ποια συχνότητα η φασματική κατανομή είναι μέγιστη;



Σχήμα 1.5



Εικόνα 1.4

- β. Σε τι τιμή της έντασης της ακτινοβολίας αντιστοιχεί το κάθε τετράγωνο του διαγράμματος;
- γ. Πόσο περίπου συνεισφέρει στην ένταση της ακτινοβολίας η περιοχή του φάσματος από 550 nm έως 600 nm;
- δ. Πόση περίπου είναι η συνεισφορά του ορατού φάσματος;
- Οι απαντήσεις να είναι κατ'εκτίμηση.*

Απάντηση

- α. Από την εικόνα 1.4 παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή είναι περίπου για $\lambda = 460 \text{ nm}$. Η αντίστοιχη συχνότητα είναι:

$$f = c/\lambda = 3 \times 10^8 / (460 \times 10^{-9}) \text{ Hz} \quad \text{ή} \quad f = 6,5 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

- β. Το κάθε τετράγωνο του διαγράμματος αντιστοιχεί σε ένταση:

$$\Delta I = 0,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1} \times 50 \text{ nm} \quad \text{ή} \quad \Delta I = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

- γ. Μετρώντας τα τετράγωνα που περιέχονται από την καμπύλη και τον οριζόντιο άξονα για το αντίστοιχο τμήμα του φάσματος από 550 nm έως 600 nm, έχουμε:

$$\Delta I_1 = 7 \times \Delta I = 70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

- δ. Όμοια, για το ορατό φάσμα το πλήθος των τετραγώνων είναι περίπου 41 και επομένως:

$$\Delta I_2 = 41 \times \Delta I = 410 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

ΑΣΚΗΣΕΙΣ – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- 1.1.** Μια σφαιρική πηγή εκπέμπει ομοιόμορφα και σφαιρικά ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ισχύος $P = 50 \text{ W}$. Να υπολογίσετε:
- α. την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που διέρχεται από μια σφαιρική επιφάνεια με κέντρο το κέντρο της πηγής και ακτίνα $r = 2,0 \text{ m}$ σε χρόνο $t = 2 \text{ s}$,
- β. την ένταση της ακτινοβολίας σε απόσταση $r = 2,0 \text{ m}$ από το κέντρο της πηγής,

γ. την ένταση της ακτινοβολίας σε απόσταση $d = 20$ m από το κέντρο της πηγής.

Το εμβαδόν της επιφάνειας A μιας σφαίρας ακτίνας R δίνεται από τη σχέση $A = 4\pi R^2$.

[Απ.: α. 100 J, β. $1,0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, γ. $1,0 \times 10^{-2} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$]

1.2. Επίπεδη και ομοιόμορφη δέσμη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, διατομής $A = 10 \text{ cm}^2$, έχει ένταση $I = 250 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Η δέσμη προσπίπτει σε σώμα και απορροφάται εξ ολοκλήρου. Να υπολογίσετε:

- τον ρυθμό με τον οποίο προσφέρεται θερμότητα στην επιφάνεια,
- την ενέργεια που απορροφά το σώμα ώστε η θερμοκρασία του να ανέλθει κατά $20 \text{ }^\circ\text{C}$, αν η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται με σταθερό ρυθμό $2 \text{ }^\circ\text{C}$ το λεπτό.

[Απ.: α. 0,25 W, β. 150 J]

1.3. Το φάσμα μιας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι συνεχές και περιορισμένο στο διάστημα από μήκος κύματος $\lambda_\alpha = 500 \text{ nm}$ έως $\lambda_\beta = 600 \text{ nm}$. Η ένταση της ακτινοβολίας είναι $I = 200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ και έχει ομοιόμορφη φασματική κατανομή.

- Να σχεδιάσετε τη γραφική παράσταση της φασματικής κατανομής με το μήκος κύματος.
- Να υπολογίσετε τη συνεισφορά στην ένταση του φάσματος από $\lambda_1 = 520 \text{ nm}$ έως $\lambda_2 = 560 \text{ nm}$.

[Απ.: α. $2,0 \times 10^9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}$ = σταθερή, β. $80 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$]

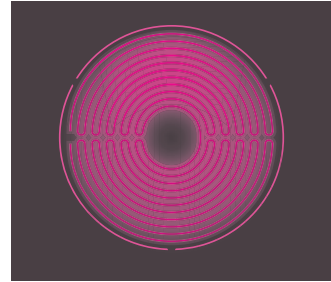
1.4. Μια σφαιρική πηγή εκπέμπει ομοιόμορφα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η πηγή έχει ακτίνα $R = 0,10 \text{ cm}$. Η φασματική κατανομή για δεδομένο μήκος κύματος λ στην επιφάνεια της πηγής έχει τιμή $I_\lambda = 5,0 \times 10^{10} \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}$. Να υπολογίσετε:

- σε τυχαία απόσταση r από την πηγή τη φασματική κατανομή για το δεδομένο μήκος κύματος λ ,
- την τιμή της φασματικής κατανομής στο ίδιο μήκος κύματος σε απόσταση $r = 10 \text{ m}$ από το κέντρο της πηγής.

Το εμβαδόν της επιφάνειας A μιας σφαίρας ακτίνας R δίνεται από τη σχέση $A = 4\pi R^2$.

[Απ.: α. $I'_\lambda = 5,0 \times 10^4 \times 1/r^2$, I'_λ σε $\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$ και r σε m , β. $500 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3}$]

- 1.5.** Σύμφωνα με φυλλάδιο της ΔΕΗ, το μεγάλο μάτι της κουζίνας έχει ισχύ 2000 W. Η διάμετρος του ματιού είναι 20 cm. Αν υποθέσουμε ότι, όταν το μάτι λειτουργεί και δεν υπάρχει σκεύος πάνω του, το 80% της ενέργειας εκπέμπεται σε μορφή ακτινοβολίας, τότε:



Εικόνα 1.5

- α. πόση ισχύς εκπέμπεται σε μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας;
β. ποια είναι η ένταση της ακτινοβολίας κοντά στην επιφάνεια του ματιού;

[Απ.: α. 1600 W, β. $5,1 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$]

- 1.6.** Ένας ηλιακός συλλέκτης έχει διαστάσεις $1,5 \text{ m} \times 2,0 \text{ m}$. Όταν οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν κάθετα σε αυτόν και έχουμε καθαρό ουρανό, η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στον συλλέκτη σε χρόνο 20 min είναι 600 Wh. Να υπολογίσετε την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 1.6

[Απ.: 600 W/m^2]

- 1.7.** Ένα φωτοβολταϊκό πάνελ έχει διαστάσεις $4,0 \text{ m} \times 3,0 \text{ m}$. Οι ακτίνες του ήλιου σχηματίζουν 60° με την κάθετη στο πάνελ και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι $I = 750 \text{ W/m}^2$.

- α. Να υπολογίσετε την ισχύ της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο πάνελ.
β. Αν η απόδοση του φωτοβολταϊκού είναι 15% και η συνεχής τάση που παράγεται είναι 12 V, να υπολογίσετε την τιμή του ρεύματος.

[Απ.: α. 4,5 kW, β. 56 A]

1.8. Έξω από την ατμόσφαιρα της Γης και σε απόσταση $L = 1,5 \times 10^{11}$ m από το κέντρο του Ήλιου, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι $I_s = 1,4 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Η διάμετρος του Ήλιου είναι $D = 1,4 \times 10^9$ m. Να υπολογίσετε:

- την ισχύ της ακτινοβολίας που εκπέμπει ο Ήλιος,
- την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του Ήλιου.

Το εμβαδόν της επιφάνειας A μιας σφαίρας ακτίνας R δίνεται από τη σχέση $A = 4\pi R^2$.



Εικόνα 1.7

[Απ.: α. $4,0 \times 10^{26}$ W, β. $6,4 \times 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$]