

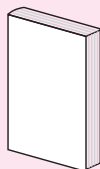
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13ο

## Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΟΥ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ

### ΤΟ ΧΡΩΜΑ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

Όταν φωτίζουμε ένα σώμα, ένα μέρος ή και όλο το φως που πέφτει πάνω του επανεκπέμπεται (διαχέεται) στο περιβάλλον και κάποιες από τις φωτεινές ακτίνες φτάνουν και στα μάτια μας, οπότε το βλέπουμε. Αυτός ο μηχανισμός καθορίζει το χρώμα που αποδίδουμε στο σώμα. Εάν, για παράδειγμα, τα μήκη κύματος του φωτός που επανεκπέμπονται είναι από 560nm έως 480nm, δηλαδή αντιστοιχούν στο πράσινο φως, λέμε ότι το σώμα έχει πράσινο χρώμα.

Εάν φωτίσουμε ένα σώμα με λευκό φως και επανεκπέμπονται όλα τα μήκη κύματος, το σώμα φαίνεται λευκό (σχήμα α). Αντιθέτως, εάν το σώμα απορροφά όλα τα μήκη κύματος, φαίνεται μαύρο (σχήμα β).



(α)



(β)

### ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

**Θερμική ακτινοβολία** ονομάζεται η ενέργεια που εκπέμπει ένα σώμα με μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε οποιαδήποτε θερμοκρασία και αν βρίσκεται.

**Ένταση της ακτινοβολίας I** είναι η ενέργεια που εκπέμπεται από τη μονάδα της επιφάνειας του σώματος στη μονάδα του χρόνου.

Η μονάδα μέτρησης της έντασης της ακτινοβολίας στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων είναι το  $1\text{J} / \text{m}^2\text{s}$  ή  $1\text{W} / \text{m}^2$ .

Διάβασε  
κι αυτό

Το γεγονός ότι η ακτινοβολία που εκπέμπουν τα σώματα σε συνηθισμένες θερμοκρασίες δε γίνεται αντιληπτή οφείλεται στο ότι αυτή η ακτινοβολία είναι χαμηλής έντασης και εκπέμπεται κυρίως στο μη ορατό φάσμα. Όσο όμως αυξάνεται η θερμοκρασία, το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας μειώνεται. Για παράδειγμα, ένα σώμα με θερμοκρασία 4.500K εκπέμπει κυρίως στην περιοχή του ορατού φωτός.



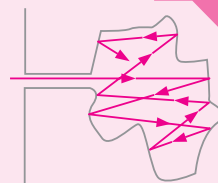
Η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπει ένα σώμα εξαρτάται από τη θερμοκρασία του.

## ΜΕΛΑΝ ΣΩΜΑ

Στα αέρια τα άτομα είναι μακριά το ένα από το άλλο και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους είναι αμελητέες, ώστε κάθε άτομο να μπορεί να θεωρηθεί ως απομονωμένο σύστημα. Γι' αυτό τον λόγο τα φάσματα εκπομπής των αερίων είναι γραμμικά. Τα θερμά υγρά και στερεά σώματα εκπέμπουν σχεδόν πάντα συνεχή φάσματα. Η ακτινοβολία συνεχούς φάσματος που εκπέμπεται από μία ιδανική απορροφητική επιφάνεια ονομάζεται ακτινοβολία μέλανος σώματος.

Διάβασε  
κι αυτό

Ένα μέλαν σώμα μπορεί να προσεγγιστεί άριστα από μία κοιλότητα στο εσωτερικό ενός κύβου από οποιοδήποτε υλικό, π.χ. βολφράμιο, στο τοίχωμα του οποίου έχει ανοιχτεί μία μικροσκοπική οπή, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Κάθε ακτινοβολία που περνάει από την οπή και εισέρχεται στην κοιλότητα απορροφάται πλήρως μετά από συνεχείς ανακλάσεις στα εσωτερικά τοιχώματα της κοιλότητας.

Μέλαν σώμα θεωρείται εκείνο το σώμα που απορροφά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει σ' αυτό σε όλο το φάσμα της (όλες τις συχνότητες).

Διάβασε  
κι αυτό

Κατασκευάζουμε τρεις μεταλλικούς κύβους από βολφράμιο, ταντάλιο και μολυβδένιο στους οποίους έχει ανοιχτεί μικρή οπή και τους θερμαίνουμε ομοιόμορφα στην ίδια θερμοκρασία. Παρατηρώντας το φως που εκπέμπεται από τους τρεις κύβους σε σκοτεινό χώρο, διαπιστώνουμε τα παρακάτω:

A. Η ακτινοβολία από το εσωτερικό της κοιλότητας είναι εντονότερη από την ακτινοβολία των εξωτερικών τοιχωμάτων.

B. Σε ορισμένη θερμοκρασία η ένταση της ακτινοβολίας της οπής είναι **ίδια και για τα τρία μέταλλα** και δίνεται από τη σχέση  $I = \sigma T^4$ , όπου  $\sigma$  είναι η παγκόσμια σταθερά των Stefan-Boltzmann.

Γ. Η ένταση της ακτινοβολίας των εξωτερικών τοιχωμάτων εξαρτάται από το υλικό και δίνεται από τη σχέση  $I = e\sigma T^4$ , όπου  $e$  είναι ο συντελεστής εκπομπής που εξαρτάται από το υλικό και τη θερμοκρασία.

Ιδανικό μέλαν σώμα δεν υπάρχει. Στην πράξη όμως, μπορούμε να θεωρήσουμε ως μέλαν ένα σώμα του οποίου έχουμε αιθαλώσει την επιφάνεια.

## ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ

Η μελέτη της θερμικής ακτινοβολίας του μέλανος σώματος παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω του ρόλου που έπαιξε στην εξέλιξη της φυσικής, καθώς ήταν ένα από τα φαινόμενα που δεν μπορούσαν να ερμηνευτούν με την κλασική θεωρία.

Μέχρι το 1900 η ακτινοβολία του μέλανος σώματος είχε μελετηθεί εκτενώς και είχαν βρεθεί αρκετά από τα χαρακτηριστικά της.

Ένα από τα πειραματικά δεδομένα της μελέτης της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος ήταν ότι, αν και το μέλαν σώμα, σε όποια θερμοκρασία και αν βρίσκεται, εκπέμπει ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε όλο της το φάσμα, **η ένταση της ακτινοβολίας δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένη σε όλα τα μήκη κύματος**. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ενέργειας περιορίζεται σε μία στενή περιοχή, με αιχμή κάποιο μήκος κύματος ( $\lambda_{\max}$ ) που εξαρτάται από τη θερμοκρασία του σώματος.

Στο διπλανό διάγραμμα της φασματικής κατανομής της έντασης της ακτινοβολίας, δηλαδή της έντασης της ακτινοβολίας ανά μονάδα μήκους κύματος, σε συνάρτηση με το μήκος κύματος έχουν σχεδιαστεί οι αντίστοιχες καμπύλες για τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες. Παρατηρούμε ότι, **καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, αυξάνεται και η ένταση σε όλα τα μήκη κύματος, το μέγιστο της**

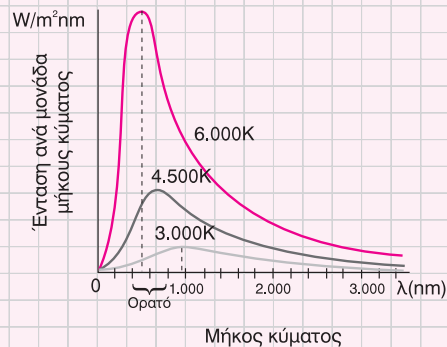
Διάβασε  
κι αυτό

Το μέλαν σώμα είναι ένα εξιδανικευμένο φυσικό σύστημα που έχει τρεις σημαντικές ιδιότητες:

(α) Εκπέμπει ίση ή περισσότερη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από οποιοδήποτε άλλο σώμα ίδιας θερμοκρασίας.

(β) Η ακτινοβολία εκπέμπεται ισοτροπικά, δηλαδή ανεξάρτητα από τη διεύθυνση.

(γ) Η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και όχι από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του σώματος (χημική σύνθεση, σχήμα κτλ.).



καμπύλης μεγαλώνει και το μήκος κύματος αιχμής  $\lambda_{\max}$  μετατοπίζεται σε μικρότερα μήκη κύματος. Το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη δείχνει τη συνολική ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπει το σώμα σε ορισμένη θερμοκρασία.

Πειραματικά επίσης διαπιστώθηκε ότι η καμπύλη εκπομπής ενός μέλανος σώματος είναι ανεξάρτητη από τη φύση, το μέγεθος και το σχήμα του εκπέμποντος σώματος. Αυτό εξηγεί την ομοιοχρωμία των αντικειμένων που πυρακτώνονται στην ίδια θερμοκρασία. Για παράδειγμα, δεν μπορούμε να διακρίνουμε ένα πυρακτωμένο κάρβουνο από ένα πυρακτωμένο σίδηρο που έχουν θερμανθεί στην ίδια θερμοκρασία.

Στους 1.000K το μέλαν σώμα εκπέμπει κυρίως στην υπέρυθη περιοχή, ενώ σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες το  $\lambda_{\max}$  μετατοπίζεται σε μικρότερα μήκη κύματος στην περιοχή του ορατού φωτός. Στους 6.000K το μέλαν σώμα εκπέμπει κυρίως στην περιοχή του ορατού φωτός. Πραγματικά, ο Ήλιος, που μπορεί να θεωρηθεί ως μέλαν σώμα και η θερμοκρασία της επιφάνειάς του είναι περίπου 6.000K, εκπέμπει κυρίως ορατό φως.

## ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ WIEN

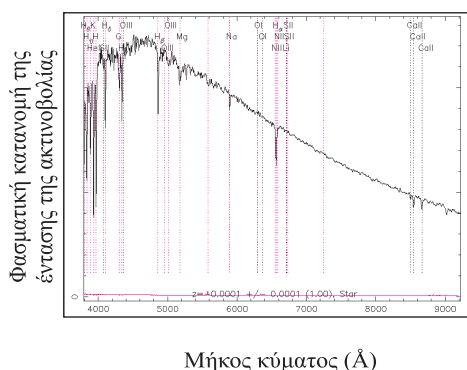
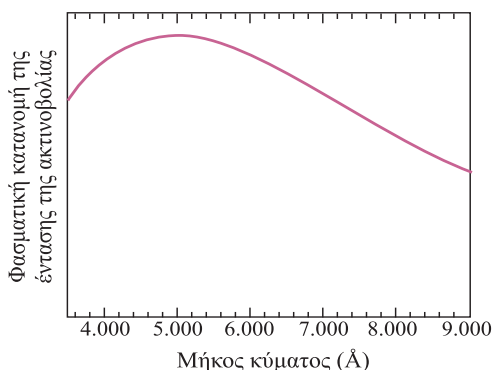
Το πείραμα έδειξε ότι το  $\lambda_{\max}$  είναι αντιστρόφως ανάλογο της θερμοκρασίας  $T$  στην οποία βρίσκεται το μέλαν σώμα.

Ο νόμος της μετατόπισης Wien συνδέει την απόλυτη θερμοκρασία ( $T$ ) του μέλανος σώματος με το μήκος κύματος αιχμής ( $\lambda_{\max}$ ):

$$\lambda_{\max} T = \text{σταθερό}$$

Διάβασε  
κι αυτό

Η σταθερά στον νόμο του Wien είναι:  
 $2,90 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$



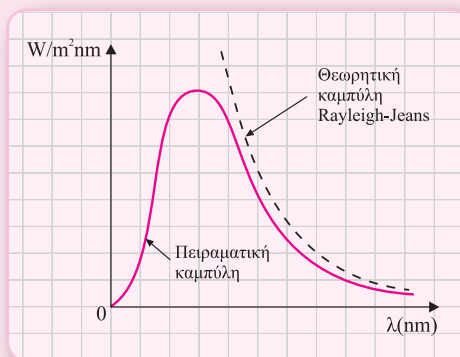
Αριστερά φαίνεται ένα ιδανικό θερμικό φάσμα, ενώ δεξιά φαίνεται ένα φάσμα ενός πραγματικού αστεριού.

## ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΕΡΜΗΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΤΟΥ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ

Στη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας του 19ου αιώνα έγιναν πολλές προσπάθειες για να εξηγηθεί η ακτινοβολία του μέλανος σώματος. Οι επιστήμονες θεώρησαν ότι τα άτομα των σωμάτων ταλαντώνονται με πλάτος που εξαρτάται από τη θερμοκρασία τους και λόγω της ταλάντωσης των ατόμων, που μπορούμε να τα θεωρήσουμε ως στοιχειώδη ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα, εκπέμπεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η υπόθεση όμως αυτή δεν μπόρεσε να ερμηνεύσει τη μορφή των καμπυλών στο διάγραμμα της έντασης της ακτινοβολίας ανά μονάδα μήκους κύματος σε συνάρτηση με το μήκος κύματος που προέκυψε από τα πειραματικά δεδομένα.

Διάβασε  
κι αυτό

Οι Rayleigh-Jeans, εφαρμόζοντας την κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία και την κλασική στατιστική θερμοδυναμική, ανέπτυξαν μία θεωρία που συμφωνούσε με τις πειραματικές καμπύλες στο τμήμα που αφορούσε τα μεγάλα μήκη κύματος. Στα μικρά μήκη κύματος όμως, ενώ η πειραματική καμπύλη πέφτει στο μηδέν, η καμπύλη των Rayleigh-Jeans τείνει στο άπειρο, όπως φαίνεται στο διάγραμμα, ένα αποτέλεσμα που ονομάστηκε «**καταστροφή του υπεριώδους**». Η θεωρία αυτή μάλιστα προβλέπει άπειρη ένταση ακτινοβολίας, πράγμα παράλογο.



## ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΤΟΥ PLANCK

Η ακτινοβολία του μέλανος σώματος ερμηνεύτηκε πλήρως το 1900 από τον Planck, που διατύπωσε τις δύο παρακάτω υποθέσεις:

Διάβασε  
κι αυτό

- 1) Η ενέργεια των ταλαντούμενων ατόμων δεν μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή αλλά μόνο διακριτές (κβαντισμένες) τιμές που δίνονται από τη σχέση  $E_n = nhf$ , όπου:

$n$  ένας θετικός ακέραιος αριθμός, που ονομάζεται κβαντικός αριθμός,

$f$  η συχνότητα ταλάντωσης του ατόμου,

$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  η σταθερά δράσης του Planck.

Μεταγενέστερες εξελίξεις δείχνουν ότι η ενέργεια ενός αρμονικού ταλαντωτή δίνεται από τη σχέση:

$$E = \left( n + \frac{1}{2} \right) hf$$

Διάβασε  
κι αυτό

- 2) Το ποσό της ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει ή να εκπέμψει ένα άτομο, υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, μπορεί να πάρει μόνο διακριτές τιμές.

Οι υποθέσεις του Planck λύνουν το πρόβλημα της υπεριώδους καταστροφής με απλό τρόπο. Με το να είναι κβαντωμένη η ακτινοβολία και να έχει ελάχιστη ενέργεια  $hf$ , όταν

έχουμε πολύ μεγάλη συχνότητα η ενέργεια του κβάντου  $hf$  είναι πολύ μεγάλη.

Η θερμική ενέργεια των μορίων του σώματος στις συνήθεις θερμοκρασίες είναι πολύ μικρή για να μπορεί να δημιουργήσει κβάντα υψηλής συχνότητας. Για παράδειγμα, σε θερμοκρασία δωματίου η θερμική ενέργεια των μορίων είναι περίπου εκατό φορές μικρότερη από την ενέργεια των κβάντων του ορατού φωτός ( $E \cong 2\text{eV}$ ). Για τον λόγο αυτό τα σώματα σε θερμοκρασία δωματίου εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία (υπέρυθρη), δηλαδή κβάντα χαμηλής συχνότητας, αλλά όχι ορατό φως.

Τα κβάντα με υψηλή συχνότητα και μικρό μήκος κύματος δε θα είναι δυνατόν να δημιουργηθούν και να είναι παρόντα στο εκπεμπόμενο φάσμα, πράγμα που η κλασική φυσική δεν μπορούσε να ερμηνεύσει.

Παρόλο που κάθε άτομο εκπέμπει ή απορροφά ακτινοβολία σε ορισμένες συχνότητες, το φάσμα της ακτινοβολίας είναι συνεχές λόγω του μεγάλου πλήθους των ατόμων. Συνεχή είναι τα φάσματα εκπομπής όλων των στερεών σωμάτων, επειδή τα ταλαντούμενα άτομα βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους και αλληλοεπηρεάζονται.

Διάβασε  
κι αυτό

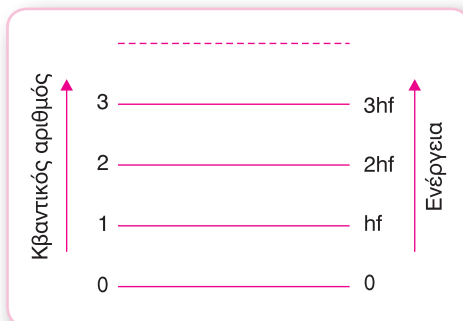
Στα μεγάλα μήκη κύματος, δηλαδή στις μικρές συχνότητες, η ενέργεια του κβάντου είναι αμελητέα και επομένως η κβαντική φύση του φωτός δε γίνεται αντιληπτή και η κλασική φυσική δίνει σωστά αποτελέσματα.

## ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΑΤΟΜΩΝ

Κάθε ταλαντούμενο άτομο έχει ένα σύνολο από δυνατές ενεργειακές στάθμες, όπως φαίνεται στο σχήμα. Ένα άτομο μπορεί να έχει μια ποσότητα εσωτερικής ενέργειας ίση με οποιαδήποτε από αυτές τις στάθμες, αλλά δεν μπορεί να έχει ενδιάμεση ενέργεια.

Αν ένα άτομο απορροφήσει ένα κβάντο ενέργειας, δηλαδή ενέργεια  $E = hf$ , αυξάνει την ενέργειά του κατά ένα σκαλοπάτι στην

κλίμακα των ενεργειακών σταθμών. Αντιθέτως, εάν το άτομο εκπέμπει ένα κβάντο ενέργειας ( $E = hf$ ), κατεβαίνει ένα σκαλοπάτι στην κλίμακα των ενεργειακών σταθμών.



Τα άτομα απορροφούν ή εκπέμπουν ενέργεια όχι συνεχώς αλλά κάνοντας ενεργειακά άλματα. Όταν ένα άτομο παραμένει στην ίδια ενεργειακή κατάσταση, ούτε εκπέμπει ούτε απορροφά ενέργεια.

## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

### I Ισχύς και ένταση ακτινοβολίας

Έστω μία πηγή μονοχρωματικής ακτινοβολίας συχνότητας  $f$  που λειτουργεί για χρονικό διάστημα  $\Delta t$ . Εάν  $E$  είναι η ενέργεια της ακτινοβολίας στο χρονικό διάστημα

$\Delta t$ , η ισχύς της δίνεται από τη σχέση:  $P = \frac{E}{\Delta t}$

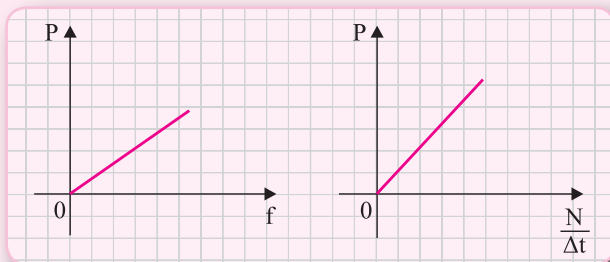
Εάν στο ίδιο χρονικό διάστημα εκπέμπονται  $N$  κβάντα ενέργειας και  $E_k$  η ενέργεια ενός κβάντου, ισχύουν επίσης:

$$P = \frac{NE_k}{\Delta t} \quad \text{ή} \quad P = \frac{Nhf}{\Delta t}$$

Επομένως, η ισχύς της ακτινοβολίας είναι:

✓ ανάλογη της συχνότητας  $f$  της ακτινοβολίας,

✓ ανάλογη του ρυθμού  $\frac{N}{\Delta t}$  με τον οποίο η πηγή εκπέμπει κβάντα ενέργειας.



Η ένταση  $I$  μίας ακτινοβολίας που έχει ισχύ  $P$  και προσπίπτει κάθετα σε μία επιφάνεια εμβαδού  $A$  δίνεται από τη σχέση:  $I = \frac{P}{A}$

### 2 Ο νόμος του Wien

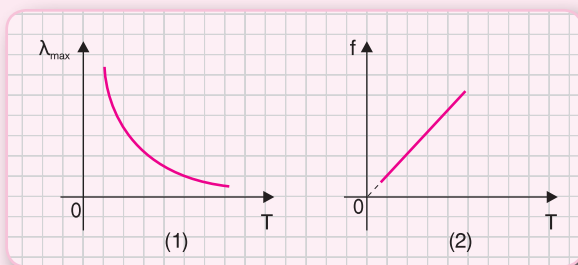
Η σχέση που συνδέει την απόλυτη θερμοκρασία ( $T$ ) του μέλανος σώματος με το μήκος κύματος αιχμής ( $\lambda_{\max}$ ) είναι:  $\lambda_{\max} T = \text{σταθερό}$

Επομένως, το μήκος κύματος αιχμής είναι αντιστρόφως ανάλογο με την απόλυτη θερμοκρασία  $T$ , όπως φαίνεται στο διάγραμμα (1).

Εάν  $f$  είναι η συχνότητα που αντιστοιχεί στο μήκος κύματος αιχμής, ισχύει:

$$\frac{c}{f} T = \text{σταθερό} \quad \text{ή} \quad \frac{f}{T} = \text{σταθερό}$$

Επομένως, η συχνότητα  $f$  της ακτινοβολίας είναι ανάλογη με την απόλυτη θερμοκρασία  $T$ , όπως φαίνεται στο διάγραμμα (2).



### 3 Το χρώμα των άστρων

Παρατηρώντας μία νύχτα τον ουρανό με τηλεσκόπιο, μπορούμε να διαπιστώσουμε ποια άστρα έχουν επιφανειακή θερμοκρασία μικρότερη ή μεγαλύτερη από αυτή του Ήλιου ακολουθώντας την παρακάτω διαδικασία και θεωρώντας ότι ο Ήλιος και τα άστρα συμπεριφέρονται ως μέλανα σώματα.



Αναλύουμε με φασματοσκόπιο το φως των άστρων που παρατηρούμε. Εάν το μήκος κύματος αιχμής  $\lambda_{\max_A}$  της ακτινοβολίας που εκπέμπει ένα άστρο είναι μεγαλύτερο από το μήκος κύματος αιχμής  $\lambda_{\max_H}$  της ακτινοβολίας που εκπέμπει ο Ήλιος, εφαρμόζοντας τον νόμο του Wien ( $\lambda_{\max} T = \text{σταθερό}$ ) έχουμε:

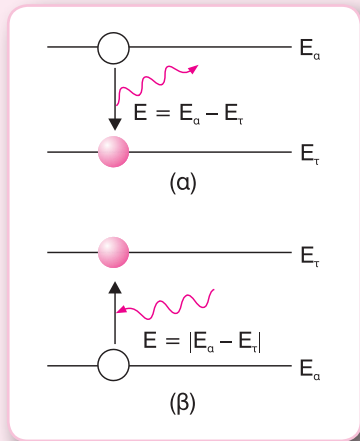
$$\lambda_{\max_A} T_A = \lambda_{\max_H} T_H \quad \text{ή} \quad \frac{\lambda_{\max_A}}{\lambda_{\max_H}} = \frac{T_H}{T_A} > 1 \quad \text{ή} \quad T_A < T_H$$

Δηλαδή, η επιφανειακή θερμοκρασία του άστρου είναι μικρότερη από αυτή του Ήλιου.

#### 4 Ενεργειακές στάθμες

Ένα άτομο μπορεί να μεταπηδήσει από μία ενεργειακή στάθμη σε άλλη εκπέμποντας (σχήμα α) ή απορροφώντας (σχήμα β) ένα κβάντο ενέργειας, με ενέργεια ίση με τη διαφορά μεταξύ αρχικής και τελικής ενέργειας. Εάν  $E_a$  είναι η αρχική ενέργεια του ατόμου πριν από μία τέτοια μετάβαση,  $E_t$  η τελική του ενέργεια μετά τη μετάβαση και  $E$  η ενέργεια του κβάντου ενέργειας, ισχύει:

$$E = |E_t - E_a|$$



## ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

**13.1) Α.** Η θερμοκρασία της επιφάνειας του Ήλιου είναι  $T = 6.000\text{K}$ . Δίνονται η σταθερά του Planck  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$ , η ταχύτητα του φωτός στο κενό  $c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ , η σχέση  $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{J}$  και η σταθερά του νόμου Wien  $2,90 \cdot 10^{-3} \text{m} \cdot \text{K}$ . Θεωρώντας ότι ο Ήλιος είναι μέλαν σώμα, να υπολογιστούν:

- α<sub>1</sub>) το μήκος κύματος αιχμής  $\lambda_{\max}$  της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας,
- α<sub>2</sub>) η συχνότητα  $f$  της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στο μήκος κύματος αιχμής,
- α<sub>3</sub>) η ενέργεια που έχει ένα κβάντο ενέργειας της ακτινοβολίας μήκους κύματος  $\lambda_{\max}$ .

**Β.** Μία φωτεινή πηγή με ισχύ  $P = 411\text{W}$  εκπέμπει μονοχρωματική ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda_{\max}$ . Να υπολογιστεί ο αριθμός των κβάντων ενέργειας που εκπέμπονται από την πηγή σε χρονικό διάστημα  $\Delta t = 1 \text{min}$ .

### Απάντηση

**α<sub>1</sub>)** Από τον νόμο του Wien  $\lambda_{\max} T = \text{σταθερό}$  έχουμε:

$$\lambda_{\max} T = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ ή } \lambda_{\max} = \frac{2,90 \cdot 10^{-3}}{T} \text{ ή } \lambda_{\max} = 0,483 \cdot 10^{-6} \text{ m ή } \lambda_{\max} = 483 \text{ nm}$$

Επομένως, η ακτινοβολία ανήκει στην περιοχή του ορατού φωτός.

**α<sub>2</sub>)** Από τη θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής  $c = \lambda f$  προκύπτει:

$$f = \frac{c}{\lambda_{\max}} \text{ ή } f = 6,21 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

**α<sub>3</sub>)** Η ενέργεια που έχει ένα κβάντο ενέργειας της ακτινοβολίας μήκους κύματος  $\lambda_{\max}$  δίνεται από τη σχέση  $E = hf$ . Επομένως:

$$E = hf \text{ ή } E = 41,1723 \cdot 10^{-20} \text{ J ή } E = 2,57 \text{ eV}$$

**B.** Η ισχύς μίας φωτεινής πηγής δίνεται από τη σχέση  $P = \frac{E}{\Delta t}$ . Εάν σε χρονικό διάστημα  $\Delta t$  η

πηγή εκπέμπει  $N$  κβάντα ενέργειας, η συνολική τους ενέργεια είναι:  $E = Nhf$

Επομένως:

$$P = \frac{E}{\Delta t} \text{ ή } P = \frac{Nhf}{\Delta t} \text{ ή } N = \frac{P\Delta t}{hf} \text{ ή}$$

$$N = 6 \cdot 10^{22} \text{ κβάντα ενέργειας}$$

Εάν  $E$  είναι η ενέργεια της μονοχρωματικής ακτινοβολίας που εκπέμπει μία πηγή σε χρονικό διάστημα  $\Delta t$ , η ισχύς της πηγής δίνεται από τη σχέση:

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

**13.2)** Ένα σώμα μάζας  $m = 2 \text{ kg}$  είναι δεμένο στο ένα άκρο ιδανικού ελατηρίου σταθεράς  $k = 32 \text{ N / m}$  και εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση πλάτους  $A = 2 \text{ cm}$ . Θεωρούμε ότι το σύστημα αποτελεί κβαντικό ταλαντωτή, δηλαδή ταλαντωτή του οποίου η ενέργεια παίρνει μόνο διακριτές τιμές. Δίνεται η σταθερά του Planck  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ . Να υπολογιστούν:

**α)** η συχνότητα της ταλάντωσης,

**β)** η ενέργεια του ταλαντωτή,

**γ)** το ενεργειακό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών ενεργειακών σταθμών,

**δ)** ο κβαντικός αριθμός  $n$  της ενεργειακής στάθμης στην οποία βρίσκεται ο ταλαντωτής,

ε) το ποσοστό στα εκατό της μεταβολής της ενέργειας της ταλάντωσης, εάν ο κβαντικός αριθμός της ενεργειακής στάθμης του ταλαντωτή αυξηθεί κατά 2 μονάδες.

**Απάντηση**

α) Η συχνότητα της ταλάντωσης δίνεται από τη σχέση:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{ή} \quad f = \frac{2}{\pi} \text{ Hz}$$

β) Η ενέργεια του ταλαντωτή είναι:  $E = \frac{1}{2}kA^2$  ή  $E = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ J}$

γ) Σύμφωνα με την υπόθεση του Planck, η διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών ενεργειακών σταθμών του ταλαντωτή είναι:

$$\Delta E = hf \quad \text{ή} \quad \Delta E = 4,22 \cdot 10^{-34} \text{ J}$$

Είναι προφανές ότι η διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών ενεργειακών σταθμών του ταλαντωτή είναι πολύ μικρή και επομένως πολύ δύσκολα ανιχνεύεται.

Οι τιμές της ενέργειας που μπορεί να έχει ένα ταλαντούμενο άτομο είναι  $E_n = nhf$ .

δ) Εάν  $n$  είναι ο κβαντικός αριθμός της ενεργειακής κατάστασης στην οποία βρίσκεται ο ταλαντωτής, ισχύει:  $E = nhf$  (1)

Επίσης, ισχύει:  $E = \frac{1}{2}kA^2$  (2)

Από τις σχέσεις (1) και (2) προκύπτει:

$$nhf = \frac{1}{2}kA^2 \quad \text{ή} \quad n = \frac{kA^2}{2hf} \quad \text{ή} \quad n = 1,5 \cdot 10^{31}$$

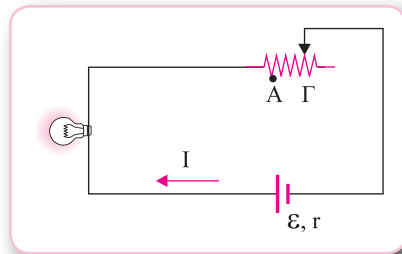
Στον μακρόκοσμο η κβαντική φύση της ενέργειας δεν είναι προφανής κατά τον ίδιο τρόπο που σε πειράματα μεγάλης κλίμακας δεν αντιλαμβανόμαστε την κβάντωση της μάζας και του φορτίου, δηλαδή την ύπαρξη ατόμων και ηλεκτρονίων.

ε) Όταν ο κβαντικός αριθμός της ενεργειακής στάθμης του ταλαντωτή γίνεται  $n' = n + 2$ , έχουμε:

$$\pi_E \% = \frac{E' - E}{E} 100\% \quad \text{ή} \quad \pi_E \% = \frac{\Delta E}{E} 100\% \quad \text{ή} \quad \pi_E \% = \frac{(n+2)hf - nhf}{nhf} 100\% \quad \text{ή}$$

$$\pi_E \% = \frac{2hf}{nhf} 100\% \quad \text{ή} \quad \pi_E \% = \frac{2}{n} 100\% \quad \text{ή} \quad \pi_E \% = 1,33 \cdot 10^{-29}\%$$

**13.3)** Στο ηλεκτρικό κύκλωμα του σχήματος ο λαμπτήρας πυρακτώσεως τροφοδοτείται από ηλεκτρική πηγή με ηλεκτρεγερτική δύναμη  $\mathcal{E}$  και εσωτερική αντίσταση  $r$ . Στο κύκλωμα υπάρχει ροοστάτης, μέσω του οποίου μεταβάλλεται η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον λαμπτήρα. Όταν ο δρομέας  $\Delta$  βρίσκεται στη θέση  $\Gamma$ , η ένταση του ρεύματος είναι



$I_1$ , η ηλεκτρική ισχύς του λαμπτήρα είναι  $P_1$  και το νήμα του λαμπτήρα φαίνεται κόκκινο. Όταν μετακινούμε τον δρομέα στη θέση  $A$ , η ένταση του ρεύματος είναι  $I_2$  και η ηλεκτρική ισχύς του λαμπτήρα είναι  $P_2$ .

α) Να συγκριθούν οι εντάσεις  $I_1$  και  $I_2$  του ηλεκτρικού ρεύματος.

β) Να συγκριθούν οι ηλεκτρικές ισχύες  $P_1$  και  $P_2$  του λαμπτήρα.

γ) Να εξηγηθεί για ποιο λόγο, όταν ο δρομέας είναι στη θέση  $A$ , το νήμα του λαμπτήρα φαίνεται λευκό.

### Απάντηση

α) Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον λαμπτήρα δίνεται από τη σχέση  $I = \frac{\mathcal{E}}{R_{ολ}}$ .

Έστω ότι  $R_1$  και  $R_2$  είναι οι αντιστάσεις του ροοστάτη και του λαμπτήρα. Όταν ο δρομέας είναι στη θέση  $\Gamma$ , η ένταση του ρεύματος είναι:

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + r} \quad (1)$$

Όταν ο δρομέας μετακινείται στη θέση  $A$ , η αντίσταση του ροοστάτη είναι  $R'_1 < R_1$  (2) και επομένως ισχύει:

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R'_1 + R_2 + r} \quad (3)$$

Από τις σχέσεις (1), (2) και (3) προκύπτει:  $I_2 > I_1$

β) Η ηλεκτρική ισχύς του λαμπτήρα δίνεται από τη σχέση  $P = I^2 R_2$ . Επομένως:

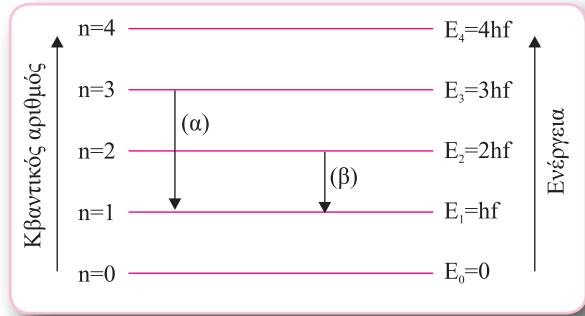
$$P_1 = I_1^2 R_2 \quad \text{και} \quad P_2 = I_2^2 R_2$$

Επειδή  $I_2 > I_1$ , ισχύει:  $P_2 > P_1$

γ) Όταν αυξάνεται η τιμή της έντασης του ρεύματος, αυξάνεται και η θερμοκρασία του νήματος του λαμπτήρα. Επομένως, σύμφωνα με τον νόμο του Wien, μικραί-

νει το μήκος κύματος αιχμής της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, ώστε το γινόμενο  $\lambda_{\max} T$  να παραμένει σταθερό. Αυτό όμως σημαίνει ότι το φως που εκπέμπει το νήμα του λαμπτήρα περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό των υπόλοιπων συχνοτήτων του ορατού φάσματος, άρα φαίνεται λευκό.

**13.4)** Στο σχήμα φαίνονται οι ενεργειακές στάθμες στις οποίες μπορεί να βρεθεί ένα ταλαντούμενο άτομο. Τα ποσοστά στα εκατό κατά απόλυτη τιμή της μεταβολής της ενέργειας του ατόμου κατά τις μεταβάσεις (α) και (β) είναι  $|\pi_1\%|$  και  $|\pi_2\%|$  αντίστοιχα. Να βρεθεί η σχέση που συνδέει τα ποσοστά  $|\pi_1\%|$  και  $|\pi_2\%|$ .



### Απάντηση

Όταν το άτομο μεταβαίνει από την ενεργειακή κατάσταση με κβαντικό αριθμό  $n = 3$  στην ενεργειακή κατάσταση με κβαντικό αριθμό  $n = 1$  (μετάβαση α), το ποσοστό στα εκατό κατά απόλυτη τιμή της μεταβολής της ενέργειας του ατόμου δίνεται από τη σχέση:

$$|\pi_1\%| = \frac{|E_1 - E_3|}{E_3} 100\% \quad \text{ή} \quad |\pi_1\%| = \frac{|hf - 3hf|}{3hf} 100\% \quad \text{ή}$$

$$|\pi_1\%| = \frac{200}{3}\% \quad (1)$$

Όταν το άτομο μεταβαίνει από την ενεργειακή κατάσταση με κβαντικό αριθμό  $n = 2$  στην ενεργειακή κατάσταση με κβαντικό αριθμό  $n = 1$  (μετάβαση β), ομοίως έχουμε:

$$|\pi_2\%| = \frac{|E_1 - E_2|}{E_2} 100\% \quad \text{ή} \quad |\pi_2\%| = \frac{|hf - 2hf|}{2hf} 100\% \quad \text{ή}$$

$$|\pi_2\%| = 50\% \quad (2)$$

Από τις σχέσεις (1) και (2) προκύπτει:  $\frac{|\pi_1\%|}{|\pi_2\%|} = \frac{4}{3}$

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

**13.5)** Ποιες προτάσεις είναι σωστές;

- α) Εάν φωτίσουμε ένα σώμα με λευκό φως, τα μήκη κύματος που απορροφά καθορίζουν το χρώμα του σώματος.
- β) Εάν φωτίσουμε με λευκό φως ένα αντικείμενο, αυτό απορροφά εν γένει κάποια μήκη κύματος, ενώ άλλα τα επανεκπέμπει.
- γ) Εάν φωτίσουμε με λευκό φως ένα αντικείμενο, αυτό απορροφά πάντα όλα τα μήκη κύματος.
- δ) Εάν φωτίσουμε ένα σώμα με λευκό φως, τα μήκη κύματος που επανεκπέμπονται καθορίζουν το χρώμα του σώματος.

**13.6)** Εάν φωτίσουμε με λευκό φως ένα σώμα, αυτό φαίνεται λευκό εάν:

- α) επανεκπέμπει μόνο τα μήκη κύματος που είναι μεγαλύτερα από το μήκος κύματος της υπέρυθρης ακτινοβολίας.
- β) απορροφά όλα τα μήκη κύματος που είναι μικρότερα από το μήκος κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας.
- γ) επανεκπέμπει όλα τα μήκη κύματος του λευκού φωτός.
- δ) απορροφά όλα τα μήκη κύματος του λευκού φωτός.

**13.7)** Ποιες προτάσεις είναι σωστές;

- α) Το μέλαν σώμα απορροφά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει σ' αυτό σε όλο της το φάσμα.

β) Το μέλαν σώμα απορροφά μόνο τις μικρές συχνότητες της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό.

γ) Το μέλαν σώμα απορροφά μόνο τις μεγάλες συχνότητες της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό.

δ) Πρακτικά ως μέλαν σώμα μπορεί να θεωρηθεί οποιοδήποτε αντικείμενο του οποίου η επιφάνεια είναι αιθαλωμένη.

**13.8)** Το μέλαν σώμα:

α) απορροφά ακτινοβολία με μήκος κύματος που αντιστοιχεί στην υπεριώδη περιοχή, ενώ εκπέμπει ακτινοβολία σε όλο το φάσμα της.

β) απορροφά ακτινοβολία σε όλο το φάσμα της, ενώ εκπέμπει ακτινοβολία με μήκος κύματος που αντιστοιχεί στην υπέρυθη περιοχή.

γ) απορροφά και εκπέμπει ακτινοβολία σε όλο το φάσμα της.

δ) απορροφά και εκπέμπει ακτινοβολία με μήκος κύματος που αντιστοιχεί μόνο στην περιοχή του ορατού φωτός.

**13.9)** Θερμική ακτινοβολία εκπέμπει:

α) μόνο το μέλαν σώμα.

β) οποιοδήποτε σώμα έχει μεγάλη θερμοκρασία.

γ) οποιοδήποτε σώμα έχει μικρή θερμοκρασία.

δ) οποιοδήποτε σώμα σε οποιαδήποτε θερμοκρασία και αν βρίσκεται.

**13.10)** Η ένταση της ακτινοβολίας εκφράζει:

α) την ενέργεια που εκπέμπει ένα σώμα.

β) την ενέργεια που εκπέμπει ένα σώμα ανά μονάδα επιφάνειάς του.

γ) την ενέργεια που εκπέμπει ένα σώμα ανά μονάδα επιφάνειάς του στη μονάδα του χρόνου.

δ) την ενέργεια που εκπέμπει ένα σώμα σε ένα δευτερόλεπτο.

**13.11)** Στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων η μονάδα μέτρησης της έντασης της ακτινοβολίας είναι το:

α)  $\text{IJ} / \text{m}^2 \cdot \text{min}$       β)  $\text{IJ} / \text{cm}^2 \cdot \text{s}$

γ)  $\text{IJ} \cdot \text{s} / \text{m}^2$       δ)  $\text{IJ} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$

**13.12)** Ποιες προτάσεις είναι σωστές;

α) Η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπει ένα σώμα εξαρτάται από τη θερμοκρασία του.

β) Το μέλαν σώμα εκπέμπει ακτινοβολία σε οποιαδήποτε θερμοκρασία.

γ) Σε θερμοκρασία περίπου 1.000K το μέλαν σώμα εκπέμπει κυρίως στην υπέρυθη περιοχή.

δ) Σε θερμοκρασία περίπου 1.000K το μέλαν σώμα εκπέμπει κυρίως στην περιοχή του ορατού φωτός.

**13.13)** Το μεγαλύτερο τμήμα ενέργειας που εκπέμπει το μέλαν σώμα περιορίζεται σε μία στενή περιοχή με αιχμή κάποιο μήκος κύματος  $\lambda_{\text{max}}$ :

α) ίδιο για κάθε θερμοκρασία.

β) ίδιο για θερμοκρασίες μικρότερες των 3.000K και διαφορετικό για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 3.000K.

γ) διαφορετικό για κάθε θερμοκρασία.

δ) διαφορετικό για θερμοκρασίες μικρότερες των 4.500K και ίδιο για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 4.500K.

**13.14)** Ποιες προτάσεις είναι σωστές;

Από το διάγραμμα της έντασης της ακτινοβολίας ανά μονάδα μήκους κύματος που εκπέμπει ένα μέλαν σώμα σε συνάρτηση με το μήκος κύματος προκύπτει ότι:

α) η ένταση της ακτινοβολίας είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλα τα μήκη κύματος.

β) καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του σώματος, αυξάνεται η ένταση της ακτινοβολίας μόνο στα μεγάλα μήκη κύματος.

γ) καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του σώματος, αυξάνεται η ένταση της ακτινοβολίας σε όλα τα μήκη κύματος.

δ) το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη δείχνει τη συνολική ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπει το σώμα σε ορισμένη θερμοκρασία.

**13.15)** Στο διάγραμμα του σχήματος φαίνεται πώς μεταβάλλεται η ένταση της ακτινοβολίας ανά μονάδα μήκους κύματος που εκπέμπει ένα μέλαν σώμα σε συνάρτηση με το μήκος κύματος σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες  $T_1$ ,  $T_2$  και  $T_3$ . Ποια σχέση είναι σωστή;



- α)  $T_1 < T_2 < T_3$                       β)  $T_3 < T_2 < T_1$   
 γ)  $T_1 < T_3 < T_2$                       δ)  $T_3 < T_1 < T_2$

**13.16)** Η μορφή των καμπυλών στο διάγραμμα της έντασης της ακτινοβολίας μέλανος σώματος ανά μονάδα μήκους κύματος σε συνάρτηση με το μήκος κύματος εξαρτάται:

- α) από το μέγεθος του σώματος.  
 β) από το υλικό του σώματος.  
 γ) από τη θερμοκρασία του σώματος.  
 δ) από το σχήμα του σώματος.

**13.17)** Ποιες προτάσεις είναι σωστές;

- α) Το φάσμα εκπομπής του μέλανος σώματος είναι γραμμικό.  
 β) Το φάσμα εκπομπής του μέλανος σώματος είναι συνεχές.

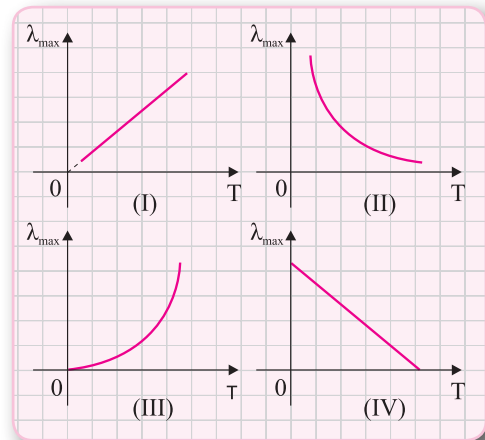
γ) Το φάσμα εκπομπής ενός στερεού σώματος είναι γραμμικό.

δ) Το φάσμα εκπομπής ενός στερεού σώματος είναι συνεχές.

**13.18)** Η μαθηματική έκφραση του νόμου μετατόπισης του Wien είναι:

- α)  $\lambda_{\max}^2 T = \text{σταθερό}$   
 β)  $\lambda_{\max} T^2 = \text{σταθερό}$   
 γ)  $\lambda_{\max} T = \text{σταθερό}$   
 δ)  $\frac{\lambda_{\max}}{T} = \text{σταθερό}$

**13.19)** Το διάγραμμα που δείχνει πώς μεταβάλλεται το μήκος κύματος αιχμής σε συνάρτηση με την απόλυτη θερμοκρασία του μέλανος σώματος είναι το:



- α) (I)    β) (II)    γ) (III)    δ) (IV)

**13.20)** Εάν διπλασιάσουμε την απόλυτη θερμοκρασία του μέλανος σώματος, το μέγιστο μήκος κύματος  $\lambda_{\max}$  της εκπε-



μπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας:

- α) αυξάνεται κατά 100%.
- β) μειώνεται κατά 50%.
- γ) μειώνεται κατά 75%.
- δ) αυξάνεται κατά 50%.

**13.21)** Εάν υποτετραπλασιάσουμε την απόλυτη θερμοκρασία του μέλανος σώματος, η συχνότητα που αντιστοιχεί στο μήκος κύματος αιχμής της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας:

- α) τετραπλασιάζεται.
- β) υποτετραπλασιάζεται.
- γ) διπλασιάζεται.
- δ) υποδιπλασιάζεται.

**13.22)** Η θερμοκρασία της επιφάνειας τριών άστρων, του Βετελγέζη, του Ήλιου και του Σείριου, είναι 3.400K, 6.000K και 11.200K αντίστοιχα. Ποια πρόταση είναι σωστή;

- α) Ο Ήλιος έχει κίτρινο χρώμα, ο Σείριος κόκκινο και ο Βετελγέζης άσπρο.
- β) Ο Ήλιος έχει κίτρινο χρώμα, ο Σείριος άσπρο και ο Βετελγέζης κόκκινο.
- γ) Ο Ήλιος και ο Σείριος έχουν κίτρινο χρώμα και ο Βετελγέζης άσπρο.
- δ) Ο Ήλιος έχει κίτρινο χρώμα, ενώ ο Σείριος και ο Βετελγέζης κόκκινο.

**13.23)** Τρία άστρα, Α, Β και Γ, έχουν κόκκινο, μπλε και άσπρο χρώμα αντίστοιχα. Οι θερμοκρασίες των επιφανειών των

άστρων Α, Β και Γ είναι  $T_A$ ,  $T_B$  και  $T_\Gamma$  αντίστοιχα. Ποια σχέση είναι σωστή;

- α)  $T_A > T_B > T_\Gamma$
- β)  $T_A < T_B < T_\Gamma$
- γ)  $T_A > T_\Gamma > T_B$
- δ)  $T_A < T_\Gamma < T_B$

**13.24)** Ποιες προτάσεις είναι σωστές;

- α) Η ενέργεια των ταλαντούμενων ατόμων μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή.
- β) Η ενέργεια των ταλαντούμενων ατόμων μπορεί να πάρει διακριτές τιμές.
- γ) Το πλάτος της ταλάντωσης των ταλαντούμενων ατόμων είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του σώματος.
- δ) Το φαινόμενο της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος ερμηνεύτηκε πλήρως από τον Max Planck.

**13.25)** Οι τιμές της ενέργειας που μπορεί να έχει ένα ταλαντούμενο άτομο υπολογίζονται από τη σχέση:

- α)  $E_n = nh\lambda$
- β)  $E_n = nhf$
- γ)  $E_n = nhf^2$
- δ)  $E_n = \frac{nhf}{2}$

**13.26)** Η σταθερά του Planck έχει τιμή:

- α)  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- β)  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} / \text{s}$
- γ)  $h = 6,626 \cdot 10^{-35} \text{ J} \cdot \text{s}$
- δ)  $h = 6,626 \cdot 10^{-35} \text{ J} / \text{s}$

**13.27)** Ποια πρόταση είναι λάθος;

Υπάρχουν κβάντα ενέργειας:

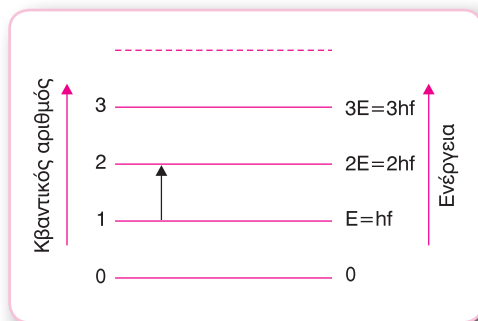
- α) ερυθρού φωτός.
- β) ιώδους φωτός.

- γ) κίτρινου φωτός.
- δ) λευκού φωτός.

**13.28)** Ποιες προτάσεις είναι σωστές;

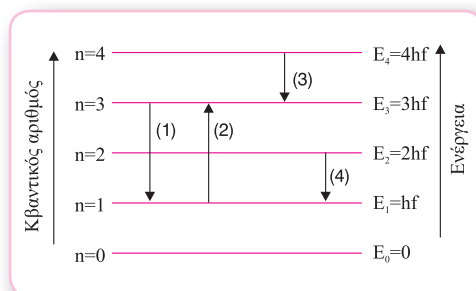
- α) Το ποσό της ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει ένα άτομο, υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή.
- β) Το ποσό της ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει ένα άτομο, υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, μπορεί να πάρει μόνο διακριτές τιμές.
- γ) Το ποσό της ενέργειας που μπορεί να εκπέμπει ένα άτομο, υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, μπορεί να πάρει μόνο διακριτές τιμές.
- δ) Όσο ένα άτομο παραμένει στην ίδια ενεργειακή κατάσταση (στάθμη), ούτε εκπέμπει ούτε απορροφά ενέργεια.

**13.29)** Στο σχήμα φαίνονται οι ενεργειακές στάθμες στις οποίες μπορεί να βρεθεί ένα ταλαντούμενο άτομο. Ένα άτομο μεταβαίνει από την ενεργειακή στάθμη με  $n = 1$  στην ενεργειακή στάθμη με  $n = 2$ . Ποιες προτάσεις είναι σωστές;



- α) Το άτομο απορροφά ένα κβάντο ενέργειας.
- β) Το άτομο εκπέμπει ένα κβάντο ενέργειας.
- γ) Η ενέργεια του ατόμου αυξήθηκε κατά 50%.
- δ) Η ενέργεια του ατόμου αυξήθηκε κατά 100%.

**13.30)** Στο διάγραμμα των ενεργειακών σταθμών του σχήματος έχουν σημειωθεί με βέλη διάφορες μεταβάσεις ενός ταλαντούμενου ατόμου από μία ενεργειακή κατάσταση σε άλλη. Ποια πρόταση είναι **λάθος**;



- α) Το κβάντο ενέργειας που εκπέμπεται κατά τη μετάβαση (1) έχει ίδια ενέργεια με το κβάντο που απορροφάται κατά τη μετάβαση (2).
- β) Το κβάντο ενέργειας που εκπέμπεται κατά τη μετάβαση (1) έχει διπλάσια ενέργεια από το κβάντο που εκπέμπεται κατά τη μετάβαση (3).
- γ) Τα κβάντα ενέργειας που εκπέμπονται κατά τις μεταβάσεις (3) και (4) έχουν ίδια ενέργεια.

δ) Τα κβάντα ενέργειας που εκπέμπονται ή απορροφώνται σε όλες τις μεταβάσεις έχουν ίδια ενέργεια.

γ) σε όλα τα μήκη κύματος.

δ) στα μήκη κύματος της υπέρυθρης ακτινοβολίας.

**13.31)** Η κλασική φυσική στο πρόβλημα της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος δίνει παράλογα αποτελέσματα:

α) στο όριο των μικρών μηκών κύματος.

β) στο όριο των μεγάλων μηκών κύματος.

**13.32)** Η ενέργεια ενός κβάντου ακτινοβολίας δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha) E = h\lambda \qquad \beta) E = h \frac{c}{\lambda}$$

$$\gamma) E = h \frac{\lambda}{c} \qquad \delta) E = h \frac{c}{2\lambda}$$

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ

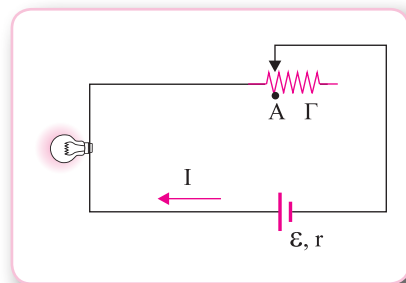
**13.33)** Όταν ένα μέλαν σώμα βρίσκεται σε θερμοκρασία  $T_1$ , το μήκος κύματος αιχμής της εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας είναι  $\lambda_{\max_1} = 1.000\text{nm}$ . Εάν διπλασιαστεί η απόλυτη θερμοκρασία του σώματος, το μήκος κύματος αιχμής βρίσκεται στην περιοχή του:

- α) υπέρυθρου.                      β) υπεριώδους.  
γ) ορατού φωτός.

**13.34)** Ένα μέλαν σώμα βρίσκεται σε θερμοκρασία  $T = 1.450\text{K}$ . Εάν γνωρίζουμε ότι η σταθερά στον νόμο του Wien είναι  $2,90 \cdot 10^{-3} \text{m} \cdot \text{K}$ , το μήκος κύματος αιχμής  $\lambda_{\max}$  της εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας βρίσκεται στην περιοχή του:

- α) υπεριώδους.                      β) ορατού φωτός.  
γ) υπέρυθρου.

**13.35)** Στο ηλεκτρικό κύκλωμα του σχήματος ο λαμπτήρας πυρακτώσεως τροφοδοτείται από ηλεκτρική πηγή με ηλεκτρεγερτική δύναμη  $\mathcal{E}$  και εσωτερική αντίσταση  $r$ . Στο κύκλωμα υπάρχει ροοστάτης, μέσω του οποίου μεταβάλλεται η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον λαμπτήρα. Αρχικά ο δρομέας  $\Delta$  βρίσκεται στη θέση Α και στη συνέχεια τον μετακινούμε στη θέση Γ. Ποια πρόταση είναι σωστή;

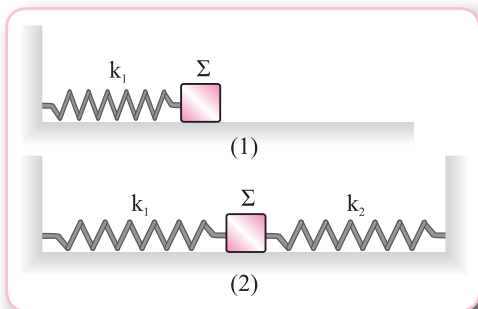


α) Αρχικά το νήμα του λαμπτήρα φαίνεται ερυθρό και στη συνέχεια λευκό.

β) Αρχικά το νήμα του λαμπτήρα φαίνεται λευκό και στη συνέχεια ερυθρό.

γ) Το νήμα του λαμπτήρα δεν αλλάζει χρώμα.

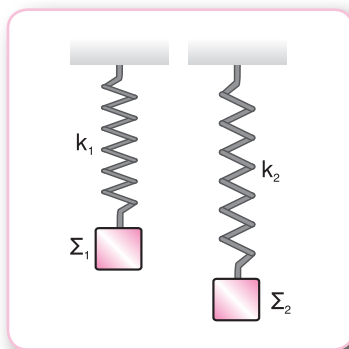
**13.36)** Ένα σώμα  $\Sigma$  δεμένο στο ένα άκρο οριζόντιου ιδανικού ελατηρίου σταθεράς  $k_1$ , όπως φαίνεται στο σχήμα (1), εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση με πλάτος  $A_1$ . Εάν το ίδιο σώμα είναι δεμένο στα άκρα δύο οριζόντιων ιδανικών ελατηρίων με σταθερές  $k_1$  και  $k_2 = 3k_1$ , όπως φαίνεται στο σχήμα (2), εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση με πλάτος  $A_2 = 2A_1$ .



Θεωρούμε ότι το σύστημα και στις δύο περιπτώσεις αποτελεί κβαντικό ταλαντωτή. Εάν  $n_1, n_2$  είναι οι κβαντικοί αριθμοί των ενεργειακών σταθμών στις οποίες βρίσκεται το σώμα στις περιπτώσεις (1) και (2) αντίστοιχα, ποια σχέση είναι σωστή;

α)  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{8}$     β)  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{4}$     γ)  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{6}$

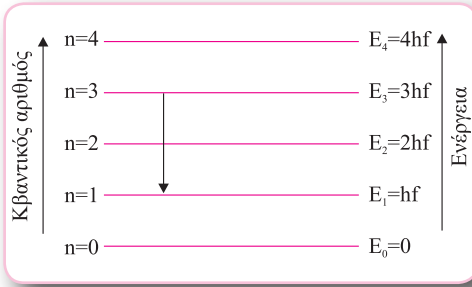
**13.37)** Δύο σώματα  $\Sigma_1$  και  $\Sigma_2$  με μάζες  $m_1$  και  $m_2 = 4m_1$  είναι δεμένα στα ελεύθερα άκρα κατακόρυφων ιδανικών ελατηρίων με σταθερές  $k_1$  και  $k_2 = 16k_1$ , όπως φαίνεται στο σχήμα, και εκτελούν απλές αρμονικές ταλαντώσεις με πλάτη  $A_1$  και  $A_2 = 2A_1$  αντίστοιχα.



Θεωρούμε ότι τα δύο συστήματα αποτελούν κβαντικούς ταλαντωτές. Εάν  $n_1, n_2$  είναι οι κβαντικοί αριθμοί των ενεργειακών σταθμών στις οποίες βρίσκονται τα σώματα  $\Sigma_1$  και  $\Sigma_2$  αντίστοιχα, ποια σχέση είναι σωστή;

α)  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{64}$     β)  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{32}$     γ)  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{16}$

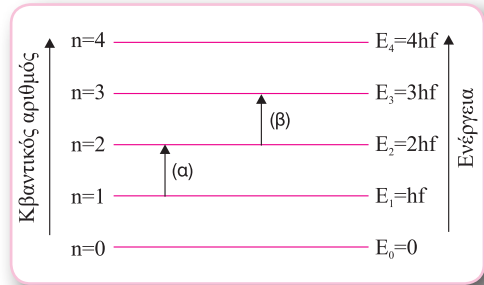
**13.38)** Κατά τη μετάβαση ενός ταλαντούμενου ατόμου από την ενεργειακή κατάσταση που αντιστοιχεί σε κβαντικό αριθμό  $n = 3$  σε ενεργειακή κατάσταση που αντιστοιχεί σε κβαντικό αριθμό  $n = 1$ , όπως φαίνεται στο σχήμα, εκπέμπεται κβάντο ενέργειας  $E'$ .



**13.40)** Στο σχήμα φαίνονται οι ενεργειακές στάθμες στις οποίες μπορεί να βρεθεί ένα ταλαντούμενο άτομο. Τα ποσοστά στα εκατό  $\pi_\alpha$  % και  $\pi_\beta$  % της μεταβολής της ενέργειας του ατόμου κατά τις μεταβάσεις (α) και (β) αντίστοιχα συνδέονται με τη σχέση:

Η ενέργεια του ταλαντούμενου ατόμου όταν βρίσκεται στην ενεργειακή κατάσταση που αντιστοιχεί σε κβαντικό αριθμό  $n = 1$  είναι:

$$\alpha) E_1 = E' \quad \beta) E_1 = \frac{E'}{2} \quad \gamma) E_1 = 2E'$$

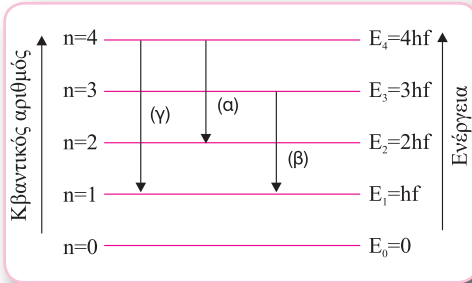


**13.39)** Στο σχήμα φαίνονται οι ενεργειακές στάθμες στις οποίες μπορεί να βρεθεί ένα ταλαντούμενο άτομο. Κατά τις μεταβάσεις (α), (β) και (γ) εκπέμπονται κβάντα ενέργειας με ενέργειες E<sub>α</sub>, E<sub>β</sub> και E<sub>γ</sub> αντίστοιχα. Ποια σχέση είναι σωστή;

$$\alpha) \pi_\alpha \% = \pi_\beta \%$$

$$\beta) \pi_\alpha \% = \frac{1}{2} \pi_\beta \%$$

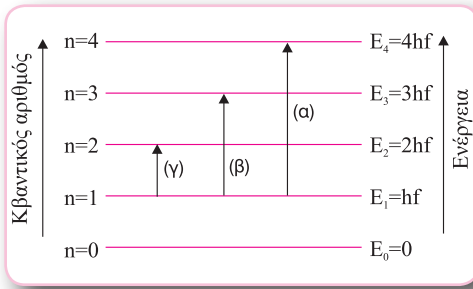
$$\gamma) \pi_\alpha \% = 2\pi_\beta \%$$



**13.41)** Στο σχήμα φαίνονται οι ενεργειακές στάθμες στις οποίες μπορεί να βρεθεί ένα ταλαντούμενο άτομο. Κατά τις μεταβάσεις (α), (β) και (γ) απορροφώνται κβάντα ενέργειας με ενέργειες E<sub>α</sub>, E<sub>β</sub> και E<sub>γ</sub> αντίστοιχα. Τα μήκη κύματος λ<sub>α</sub>, λ<sub>β</sub> και λ<sub>γ</sub> των κβάντων που απορροφώνται κατά τις μεταβάσεις (α), (β) και (γ) αντίστοιχα συνδέονται με τη σχέση:

$$\alpha) \frac{E_\alpha + E_\beta}{E_\gamma} = \frac{4}{3} \quad \beta) E_\alpha + E_\beta + E_\gamma = 6hf$$

$$\gamma) E_\alpha E_\gamma = E_\beta^2$$



$$\alpha) \lambda_{\alpha} = \lambda_{\beta} + \lambda_{\gamma}$$

$$\beta) \frac{1}{\lambda_{\alpha}} = \frac{1}{\lambda_{\beta}} + \frac{1}{\lambda_{\gamma}}$$

$$\gamma) \frac{3}{\lambda_{\alpha}} = \frac{2}{\lambda_{\beta}} + \frac{1}{\lambda_{\gamma}}$$

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

**13.42)** Η θερμοκρασία της επιφάνειας του Ήλιου είναι  $T_H = 6.000\text{K}$ . Το μήκος κύματος αιχμής της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από τον Ήλιο είναι  $\lambda_{\max_H} = 483\text{nm}$ . Να υπολογιστεί η θερμοκρασία επιφάνειας  $T_S$  του Σείριου, αν γνωρίζουμε ότι το μήκος κύματος αιχμής της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από αυτόν είναι

$$\lambda_{\max_S} = 258,75\text{nm}.$$

(Να θεωρήσετε ότι ο Ήλιος και ο Σείριος είναι μέλανα σώματα.)

**13.43)** Ένα σώμα μάζας  $m = 10\text{g}$  είναι δεμένο στο ένα άκρο ιδανικού ελατηρίου σταθεράς  $k = 1\text{N/m}$  και εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση πλάτους

$A = \sqrt{2},5\text{cm}$ . Θεωρούμε ότι το σύστημα αποτελεί κβαντικό ταλαντωτή, δηλαδή ταλαντωτή του οποίου η ενέργεια παίρνει μόνο διακριτές τιμές. Δίνεται η σταθερά του Planck  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$ . Να υπολογιστούν:

- α) η συχνότητα και η περίοδος της ταλάντωσης,
- β) το ενεργειακό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών ενεργειακών σταθμών,
- γ) η ενέργεια του ταλαντωτή,
- δ) ο κβαντικός αριθμός της ενεργειακής στάθμης στην οποία βρίσκεται ο ταλαντωτής.

**13.44)** Κατά τη μετάβαση ενός ατόμου από μία ενεργειακή κατάσταση σε άλλη εκπέμπεται κβάντο ενέργειας  $E = 3\text{MeV}$ . Δίνονται η σταθερά του Planck

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}, \text{ η ταχύτητα του φωτός στο κενό } c = 3 \cdot 10^8\text{m/s}$$

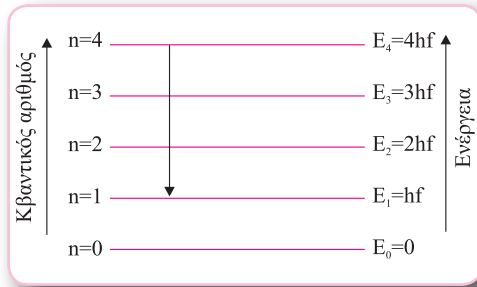
$$1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}.$$

- α) η συχνότητα του κβάντου ενέργειας,
- β) το μήκος κύματος του κβάντου ενέργειας.

**13.45)** Ατομα με συχνότητα ταλάντωσης  $f$  βρίσκονται σε ενεργειακή κατάσταση που

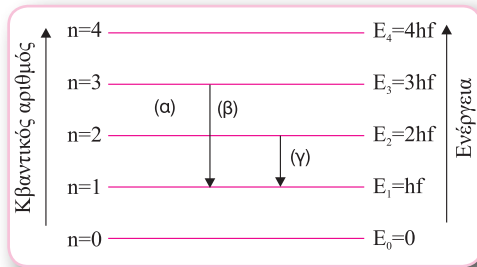
αντιστοιχεί σε κβαντικό αριθμό  $n = 4$ . Κατά τη μετάβασή τους σε ενεργειακή κατάσταση που αντιστοιχεί σε κβαντικό αριθμό  $n = 1$ , όπως φαίνεται στο σχήμα, εκπέμπονται κβάντα ενέργειας

$E = 3,978 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ . Δίνεται η σταθερά του Planck  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ . Να υπολογιστούν:



- α) η συχνότητα της ταλάντωσης,
- β) η ενέργεια των ατόμων, όταν βρίσκονται στην ενεργειακή κατάσταση που αντιστοιχεί σε κβαντικό αριθμό  $n = 1$ .

**13.46)** Στο σχήμα φαίνονται οι ενεργειακές στάθμες στις οποίες μπορεί να βρεθεί ένα ταλαντούμενο άτομο.

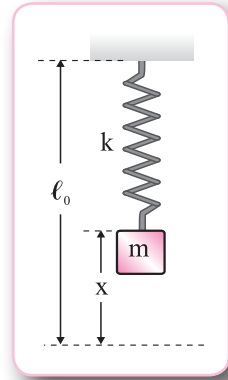


Τα ποσοστά στα εκατό κατά απόλυτη τιμή της μεταβολής της ενέργειας του ατό-

μου κατά τις μεταβάσεις (α), (β) και (γ) είναι  $|\pi_\alpha \ %|$ ,  $|\pi_\beta \ %|$  και  $|\pi_\gamma \ %|$  αντίστοιχα.

Να βρεθεί ο λόγος  $\frac{|\pi_\alpha \ %|}{|\pi_\beta \ %| + |\pi_\gamma \ %|}$ .

**13.47)** Ένα σώμα μάζας  $m = 200 \text{ g}$  είναι δεμένο στο ένα άκρο ιδανικού ελατηρίου σταθεράς  $k = 20 \text{ N/m}$ . Φέρνουμε το σώμα σε τέτοια θέση, ώστε το ελατήριο να είναι συσπειρωμένο κατά



$x = 0,1 \text{ m}$ , όπως φαίνεται στο σχήμα, και αφήνουμε το σώμα να εκτελέσει απλή αρμονική ταλάντωση. Θεωρούμε ότι το σύστημα αποτελεί κβαντικό ταλαντωτή, δηλαδή ταλαντωτή του οποίου η ενέργεια παίρνει μόνο διακριτές τιμές. Δίνεται η σταθερά του Planck  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ . Να υπολογιστούν:

- α) η συχνότητα και η περίοδος της ταλάντωσης,
- β) το πλάτος και η ενέργεια της ταλάντωσης,
- γ) το ενεργειακό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών ενεργειακών σταθμών,
- δ) ο κβαντικός αριθμός της ενεργειακής στάθμης στην οποία βρίσκεται ο ταλαντωτής.