

ΕΑΠ - ΦΥΕ 34. Ακαδημαϊκό Έτος 2003-2004**Ασκήσεις προς ετοιμασία της 2^{ης} Εργασίας**

(Προθεσμία: 25/1/2004)

Ασκήσεις

1) Ποια η ένταση της ακτινοβολίας από μέλαν σώμα θερμοκρασίας $1000 \text{ }^\circ\text{K}$ και επιφανείας 1 m^2 που προσπίπτει σε μία επιφάνεια 1 m^2 η οποία βρίσκεται σε απόσταση $L=10 \text{ m}$;

Υπόδειξη: Θεωρείστε ότι το σώμα έχει σφαιρικό σχήμα ακτίνας $r_2 \ll L$ και χρησιμοποιείτε το γεγονός ότι η ακτινοβολία εκπέμπεται ισοτροπικά, προς όλες τις διευθύνσεις.

2) Ποιο είναι το μήκος κύματος λ_{max} , που αντιστοιχεί στη μέγιστη ένταση του ηλιακού φάσματος, δεδομένου ότι η θερμοκρασία της επιφανείας του ηλίου είναι περίπου $6000 \text{ }^\circ\text{K}$; Συγκρίνετε με το αντίστοιχο μήκος κύματος λ_{max} , για τον πολικό ο οποίος έχει θερμοκρασία $T=8300 \text{ }^\circ\text{K}$. Σχολιάστε τα αποτελέσματα σας.

3) Από τον νόμο του Wien έχει βρεθεί η θερμοκρασία της επιφανείας του ηλίου στους $6000 \text{ }^\circ\text{K}$ περίπου (5800°K). Θεωρώντας τον ήλιο σαν ιδανικό μέλαν σώμα και λαμβάνοντας υπόψη ότι η ακτίνα του ηλίου είναι $6.96 \times 10^8 \text{ m}$ και η απόσταση του από τη γη είναι $1.50 \times 10^{11} \text{ m}$, εκτιμήστε την ενέργεια ανά δευτερόλεπτο που προσπίπτει σε μια επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου στη γη. Αυτή η ποσότητα είναι γνωστή και σαν ηλιακή σταθερά.

4) Με βάση τα αποτελέσματα της προηγούμενης ασκήσεως και θεωρώντας τη γη σαν ιδανικό μέλαν σώμα που προσλαμβάνει όλη της την ενέργεια από τον ήλιο, εκτιμήστε την θερμοκρασία της γης. Σχολιάστε το αποτέλεσμα σας.

5) Πως θα περιμένατε να ήταν το φάσμα του μέλανος σώματος σε ένα φανταστικό κόσμο μιας διαστάσεως ;

Γράψτε σ' αυτή την περίπτωση μια προσεγγιστική σχέση για την συνάρτηση $u(\nu, T)$. Ελέγξτε την ορθότητα της απαντήσεως σας με διαστατική ανάλυση.

Σχεδιάστε πρόχειρα αλλά με σαφήνεια την «μονοδιάστατη» συνάρτηση $u(\nu, T)$ για τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες. Σχολιάστε τα αποτελέσματά σας.

Υπόδειξη: Δείτε την άσκηση 36 στην σελίδα 87 του βιβλίου Serway, Moses, Moyer

6) Με βάση την σχέση $u(\nu, T) = g(\nu) \langle E \rangle$, βρείτε την συνάρτηση $u(\nu, T)$ για μια υποθετική κοιλότητα μέλανος σώματος στις δυο διαστάσεις. Ακολουθείστε την διαδικασία που χρησιμοποιήσαμε για την τρισδιάστατη περίπτωση ή την μονοδιάστατη περίπτωση.

7) Ο Wien είχε επινοήσει για την συνάρτηση $u(\nu, T)$ τον εμπειρικό τύπο :

A. Ζδέτσης.

$$u(\nu, T) \cong A \nu^3 e^{-\frac{a\nu}{k_B T}}, \quad \text{όπου } A \text{ και } a \text{ αυθαίρετες θετικές σταθερές (} A > 0, a > 0\text{), οι οποίες}$$

προσδιορίζονται εμπειρικά συγκρίνοντας με τις πειραματικές μετρήσεις.

Δείξτε ότι αυτή η συνάρτηση επαληθεύει τους πειραματικούς νόμους των Stefan-Boltzmann, καθώς και τον νόμο μετατοπίσεως του Wien.

Παρόλα αυτά δεν είναι αποδεκτή, μπορείτε να εξηγήσετε γιατί;

8) Με την βοήθεια του ολοκληρώματος: $\int_0^{\infty} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \frac{\pi^4}{15}$, δείξτε ότι η συνάρτηση φασματικής

πυκνότητας του Planck $u(\nu, T)$, επαληθεύει τον νόμο των Stefan-Boltzmann. Βρείτε επίσης την σχέση που δίνει την σταθερά σ , καθώς και την αριθμητική της τιμή.

Υπόδειξη: Δείτε την άσκηση 27 στην σελίδα 87 του βιβλίου Serway, Moses, Moyer.

9) Δείξτε ότι η συνάρτηση φασματικής πυκνότητας του Planck $u(\nu, T)$, επαληθεύει τον νόμο Wien και βρείτε την τιμή της σταθεράς του νόμου του Wien.

Δείξτε ότι προσπαθώντας να εξηγήσουμε τον νόμο του Wien οδηγούμαστε σε μια εξήσωση της μορφής :

$$e^{-x} + \frac{x}{3} = 1, \quad \mu\epsilon \quad x = \frac{h\nu}{k_B T},$$

της οποίας μια προσεγγιστική λύση είναι $x \cong 2.8215$. Πως βρέθηκε αυτή η λύση;

Υπόδειξη : Δείτε και την άσκηση 29 της σελίδας 87 του βιβλίου Serway, Moses, Moyer.

10) Δίνεται εκκρεμές μήκους $l = 0.5 \text{ m}$ και μάζας $m = 100 \text{ gr}$. Το εκκρεμές εκτρέπεται από την κατακόρυφο κατά γωνία 10 μοιρών (10^0) και αφήνεται να εκτελέσει φθίνουσα (λόγω τριβών) αρμονική ταλάντωση.

α) Είναι η ενέργεια του εκκρεμούς κβαντισμένη σύμφωνα με την (3.83) ; Εάν ναι, ποιος ο αντίστοιχος κβαντικός αριθμός n ;

(β) Η ενέργεια του εκκρεμούς μειώνεται με την πάροδο του χρόνου (λόγω τριβών). Είναι η παρατηρούμενη μεταβολή της ενέργειας, ΔE , συνεχής ή ασυνεχής σύμφωνα με την (3.84) ;

(γ) Πως σχετίζεται η απάντησή σας με την αρχή της αντιστοιχίας;

11) Θεωρείστε μέλαν σώμα σε θερμοκρασία $T = 1500 \text{ } ^\circ\text{K}$, και 5 συχνότητες ν τέτοιες ώστε οι αντίστοιχες ενέργειες $h\nu$ να είναι : $k_B T / 10, k_B T / 2, k_B T, 2k_B T$ και $10k_B T$. Για κάθε μία από αυτές τις συχνότητες βρείτε τη μέση τιμή της ενέργειας και σχεδιάστε την κατανομή της ενέργειας $P(E)$, στο διάστημα από 0 έως 0.3 eV . Η κατανομή της ενέργειας ισούται με το ποσοστό ταλαντωτών σε καταστάσεις με $n = 1, n = 2, n = 3$, και ενέργειες $E = nh\nu$ κτλ.

A. Ζδέτσης.

Τι παρατηρείτε ;

Υπόδειξη : Χρησιμοποιήστε ότι $k_B T \cong 0.13 \text{ eV}$ για $T = 1500 \text{ }^\circ\text{K}$.

12) Σχεδιάστε την κλασική κατανομή της ενέργειας $p(E)$, της σχέσης 2.15 στο βιβλίο των Serway, Moses, Moyer, σαν συνάρτηση της ενέργειας E , στο διάστημα από 0 έως 1.5 eV, για $T = 1500 \text{ }^\circ\text{K}$. Το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη είναι σε καλή προσέγγιση ίσο με την μονάδα (εάν το διάστημα της ενέργειας, στον άξονα των x , επεκτείνονταν μέχρι το άπειρο, το εμβαδόν θα ήταν ακριβώς 1). Στο ίδιο διάστημα της ενέργειας και για την ίδια θερμοκρασία σχεδιάστε :

(1) την συνάρτηση $E p(E)$. Το εμβαδόν τώρα κάτω από την καμπύλη δίνει την μέση τιμή της ενέργειας $\langle E \rangle$ (στην ίδια προσέγγιση).

(2) Στην περίπτωση τώρα που η ενέργεια E παίρνει διάκριτες τιμές $E_n = n \Delta E$, $n = 0, 1, 2, \dots$ (δηλαδή $0, \Delta E, 2\Delta E, 3\Delta E, \dots$) μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για τη γραφική παράσταση ιστογράμματα που αποτελούνται από ορθογώνια παραλληλόγραμμα με πλάτος ΔE , στον οριζόντιο άξονα της ενέργειας, και ύψος την τιμή της συναρτήσεως που αντιστοιχεί στην ενέργεια E_n . Σχεδιάστε λοιπόν το ιστογράμμα $p_n E_n$, συναρτήσει του E_n (όπου $p_n = p_0 e^{-\frac{nhv}{k_B T}}$) σε κοινό σχήμα με την καμπύλη $E p(E)$ για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις : (α) όταν $\Delta E = 0.13 \text{ eV}$ (δηλαδή $\Delta E \cong k_B T$), (β) Όταν $\Delta E = 0.013 \text{ eV}$ και (γ) όταν $\Delta E = 1.3 \text{ eV}$ ($\Delta E \cong 10 k_B T$).

Η μέση τιμή της ενέργειας στις τρεις αυτές περιπτώσεις δίνεται από το άθροισμα των εμβαδών των ορθογωνίων παραλληλογράμμων του ιστογράμματος.

Συγκρίνετε τις τιμές της μέσης ενέργειας στις περιπτώσεις (1) και (2) καθώς και στις υποπεριπτώσεις (α), (β) και (γ) μεταξύ τους. Τι παρατηρείτε ;

Ασκήσεις από τις ειδικές θερμότητες

13) Πολλά (όλα εκτός των τριών πρώτων) από τα στερεά του πίνακα 4.1, στους $300 \text{ }^\circ\text{K}$ έχουν παρόμοια τιμή C_V (γύρω στο 6), ενώ στους $30 \text{ }^\circ\text{K}$ έχουν τελείως διαφορετικές τιμές. Πως μπορείτε να εξηγήσετε αυτό το γεγονός ;

Μήπως μπορείτε με κάποιο παρόμοιο σκεπτικό να εξηγήσετε για τα τρία πρώτα στερεά (C, Si, Ge) την απόκλιση από το 6 της τιμής της C_V , στους $300 \text{ }^\circ\text{K}$;

14) Η θερμοκρασία Einstein Θ_E για το διαμάντι είναι $1320 \text{ }^\circ\text{K}$. Βρείτε την γραμμομοριακή θερμοχωρητικότητα C_V στους $300 \text{ }^\circ\text{K}$ και στους $3000 \text{ }^\circ\text{K}$. Τι παρατηρείτε ;

A. Ζέτσης.

***15)** Θεωρείστε ένα υποθετικό κρύσταλλο διαμαντιού στον οποίο όλα τα άτομα άνθρακα έχουν αντικατασταθεί από ισότοπα άνθρακα με ατομικό βάρος 14. Γι αυτόν τον κρύσταλλο η θερμοκρασία Θ_E θα είναι περίπου :

- A. 1540 ° K
- B. 1320 ° K
- Γ. 1222 ° K
- Δ. 1114 ° K

Επιλέξατε (μετά από αιτιολόγηση) μια από τις παραπάνω απαντήσεις. Εάν δεν έχετε βρει κάποια από αυτές τις θερμοκρασίες, επεξηγήστε (επεξηγήστε έτσι κι αλλιώς).

Βρείτε την γραμμομοριακή θερμοχωρητικότητα C_V στους 300 ° K και στους 3000

***16)** Θα χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο Einstein για να εκτιμήσουμε συγκριτικά το έργο που χρειάζεται για να μετακινήσουμε ένα άτομο στο διαμάντι και τον μόλυβδο κατά 0.01 mm. Βρείτε αυτό το έργο. Δίνονται, για τους σκοπούς της ασκήσεως τα ατομικά βάρη του διαμαντιού ($AB = 12$), και του Μολύβδου ($AB = 207$), και η ατομική μονάδα μάζας (AMM) που είναι περίπου ίση με τη μάζα ενός ατόμου υδρογόνου : $1 \text{ AMM} = 1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$. Η θερμοκρασία Θ_E για το διαμάντι είναι 1320 °K, ενώ η αντίστοιχη θερμοκρασία Θ_E για τον μόλυβδο είναι 80 °K. Σχολιάστε τα αποτελέσματά σας.

Ασκήσεις από τις ιδιότητες των φωτονίων

17) Σε μια επιφάνεια 1 cm^2 προσπίπτουν κάθετα δύο δέσμες φωτονίων της ίδιας έντασης, μια δέσμη ακτίνων X με $\lambda = 1 \text{ \AA}$, και μια δέσμη ακτίνων γ με μήκος κύματος $\lambda = 0.01 \text{ \AA}$.

- α)** Βρείτε την ενέργεια των φωτονίων κάθε μιας από αυτές τις δέσμες.
- β)** Βρείτε τον λόγο του πλήθους των φωτονίων της μια δέσμης ως προς το πλήθος των φωτονίων της άλλης που προσπίπτουν στην επιφάνεια σε ένα δευτερόλεπτο.

18) Μια σημειακή φωτεινή πηγή ισχύος 40 mW εκπέμπει μονοχρωματικό φως μήκους κύματος 5000 \AA ιστροπικά προς όλες τις κατευθύνσεις. Πόσα φωτόνια θα εισέλθουν στην κόρη του οφθαλμού, διαμέτρου 2 mm, ενός παρατηρητή που βρίσκεται σε απόσταση 4 χιλιομέτρων από την πηγή ;

19) Σ' ένα σκοτεινό δωμάτιο σε θερμοκρασία 300 °K (θερμοκρασία δωματίου), βρείτε το πλήθος των φωτονίων με μήκος κύματος κοντά στα $10,000 \text{ \AA}$ που φτάνουν ανά δευτερόλεπτο σε μια κάθοδο εμβαδού 10^{-2} m^2 .

Υπόδειξη : Χρησιμοποιείτε τις σχέσεις της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος.

A. Ζέτσης.

20) Για την ακτινοβολία του μέλανος σώματος, δείξτε ότι η σχέση της συνάρτησης $u(\lambda, T)$ και του αριθμού των φωτονίων ανά μονάδα όγκου και μήκους κύματος $d\lambda$ είναι

$$u(\lambda, T) = (hc / \lambda) \times (dn/d\lambda).$$

21) Σε συνέχεια και με βάση την προηγούμενη άσκηση, δείξτε ότι ο ολικός αριθμός n των φωτονίων ανά μονάδα όγκου είναι :

$$n = 8\pi \left(\frac{k_B T}{hc} \right)^3 \int_0^\infty dx \frac{x^2}{e^x - 1} = (3.17 \times 10^{19}) (\text{eV m})^{-3} (k_B T)^3.$$

Ποιος ο λόγος του πλήθους των φωτονίων ανά μονάδα όγκου για ένα μέλαν σώμα σε θερμοκρασίες 3000 °K και 3 °K;

22) Επιλέξατε ένα από τα δυο, σωστό (Σ) ή λάθος (Λ) στις παρακάτω προτάσεις :

α) Η αρχή του **Δυϊσμού** για το φως διατυπώνεται ως εξής : « Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το φως, ανάλογα με το πείραμα, συμπεριφέρεται άλλοτε σαν σωματίο και άλλοτε σαν κύμα.

Σ Λ

β) Η αρχή της **Συμπληρωματικότητας** ορίζει ότι : «Τα σωματιδιακά και τα κυματικά χαρακτηριστικά δεν είναι αντίθετα αλλά συμπληρώνουν το ένα το άλλο ». Σ Λ

γ) Έτσι μπορούμε ταυτόχρονα να χρησιμοποιήσουμε στο ίδιο πείραμα και τις δύο εικόνες, σωματιδιακή και κυματική, ώστε να κατανοήσουμε καλύτερα το φαινόμενο. Σ Λ

δ) Η σύνδεση των δύο χαρακτηριστικών, μπορεί να κατανοηθεί καλύτερα με βάση την αρχή της **αντιστοιχίας**. Σ Λ

ε) Η αρχή της αντιστοιχίας προβλέπει ότι στο όριο του πολύ μεγάλου πλήθους φωτονίων η σωματιδιακή και η κυματική περιγραφή συμπίπτουν. Σ Λ

στ) Αυτό (το ε) συμβαίνει επειδή το φως αποτελείται από σωματίδια, αλλά το μεγάλο πλήθος απ' αυτά, που συνήθως υπάρχει στα συνήθη κλασικά πειράματα, συμπεριφέρεται έτσι ώστε κατά μέσο όρο, στατιστικά, να περιγράφεται από ένα κύμα. Σ Λ

ζ) Έτσι, (λόγω του ε και στ) οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η κβαντική θεωρία δεν είναι κατάλληλη για την περιγραφή ενός μόνο σωματιδίου Σ Λ

η) Έτσι, (λόγω του ε και στ) οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η κλασική θεωρία δεν είναι κατάλληλη για την περιγραφή ενός μόνο σωματιδίου Σ Λ

23) Σ' όσες από τις προτάσεις της προηγούμενης άσκησης έχετε σημειώσει την επιλογή Λ (λάθος), ξαναγράψτε τις αντίστοιχες προτάσεις, ώστε να είναι σωστές, κατά την γνώμη σας. Επεξηγήστε.

24) Το σχήμα 5.2 (σχήμα 2.1, σελίδα 49 του βιβλίου των Serway, Moses, Moyer) δείχνει ότι το ηλεκτρομαγνητικό κύμα, εκτός από την διεύθυνση διάδοσής, η οποία καθορίζεται από το

A. Ζδέτσης.

διάνυσμα \vec{k} , έχει και μια άλλη χαρακτηριστική διεύθυνση, η οποία καθορίζεται από το διάνυσμα πολώσεως, ή αλλιώς από το διάνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου του κύματος. Μπορείτε να φανταστείτε και να περιγράψετε, εάν υπάρχει, κάποιο χαρακτηριστικό διάνυσμα του φωτονίου το οποίο να αντιστοιχεί στο διάνυσμα πολώσεως;

Ασκήσεις από την αλληλεπίδραση ύλης-ακτινοβολίας

25) Μια δέσμη κίτρινου φωτός, μήκους κύματος $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ υφίσταται σκέδαση Compton και παρατηρείται σε γωνία (σκεδάσεως) 90° . Ποιο το μήκος κύματος της σκεδαζομένης ακτινοβολίας σ' αυτή τη γωνία; Πως αλλάζει το αποτέλεσμα στις 180° ;

26) Θεωρήστε μια δέσμη υπεριώδους ακτινοβολίας με μήκος κύματος $\lambda = 10,000 \text{ \AA}$, μια δέσμη με $\lambda = 5000 \text{ \AA}$, μια δέσμη ακτίνων X με $\lambda = 1 \text{ \AA}$, και μια δέσμη ακτίνων γ με $\lambda = 0.01 \text{ \AA}$, που υφίστανται σκέδαση Compton και παρατηρούνται σε γωνία σκεδάσεως 90° .

α) Βρείτε την μεταβολή του μήκους κύματος $\Delta\lambda$ για κάθε μια από αυτές τις δέσμες.

β) Για κάθε μια δέσμη, βρείτε την κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου το οποίον ανακρούεται.

γ) Σε κάθε μια περίπτωση, βρείτε την ποσοστιαία μεταβολή του μήκους κύματος, $\Delta\lambda / \lambda$ και υπολογίστε το ποσοστό της ενέργειας του προσπίπτοντος φωτονίου, που χάνεται κατά την σκέδαση.

27) Διαθέτουμε μια μονοενεργητική δέσμη ακτίνων X, ενέργειας 100 keV , αλλά για κάποια εφαρμογή χρειαζόμαστε ακτίνες X ενέργειας 80 keV . Τι θα μπορούσαμε να κάνουμε (εκτός από το να αγοράσουμε καινούργια πηγή ακτίνων X ...);

28) Βρείτε μια έκφραση για την σχετική μεταβολή του μήκους κύματος $\Delta\lambda / \lambda$ και διερευνείστε κάτω από ποιες συνθήκες αυτή η σχετική μεταβολή είναι πολύ μικρή.

α) Δείξτε ότι αυτές οι συνθήκες συνοψίζονται στη σχέση: $m_\Phi \ll m$, (6.10)

όπου m_Φ και m είναι αντίστοιχα η μάζα του φωτονίου και του ηλεκτρονίου

β) Ποιο το φυσικό νόημα της σχέσεως (6.10);

γ) Πως συνδέεται η (6.10) με την αρχή της αντιστοιχίας;

29) Δείξτε ότι η κινητική ενέργεια T του ηλεκτρονίου μετά την κρούση δίνεται από τη σχέση:

$$T = h\nu \frac{\lambda_c (1 - \cos \theta)}{\lambda + \lambda_c (1 - \cos \theta)} \quad (6.11)$$

Η σχέση αυτή, εκφράζοντας από γνωστή τριγωνομετρική ταυτότητα το συνημίτονο της γωνίας θ συναρτήσει του ημιτόνου του μισού τόξου, μπορεί να γραφεί και:

A. Ζδέτσης.

$$T = h\nu \frac{2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}}{\lambda + 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}} \quad (6.11\alpha)$$

όπου ν και λ αντίστοιχα η συχνότητα και το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και λ_c το μήκος κύματος Compton για το ηλεκτρόνιο.

Έτσι βλέπουμε πως η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου είναι ευθέως ανάλογη προς την ενέργεια $h\nu$ του φωτονίου.

Κάντε αριθμητική εφαρμογή για φωτόνια ακτίνων X με $\lambda = 1 \text{ \AA}$ και ακτίνων γ με $\lambda = 0.01 \text{ \AA}$. Υπολογίστε την ταχύτητα των ηλεκτρονίων και στις δυο περιπτώσεις σαν ποσοστό της ταχύτητας c του φωτός. Τι συμπέρασμα βγαίνει ; Δικαιολογείται η χρήση σχετικιστικών σχέσεων για την ενέργεια και ορμή του ηλεκτρονίου ;

Υπόδειξη : Ξεκινήστε δείχνοντας την σχέση $T = E - E_0 = h\nu - h\nu'$ και εκφράστε την συχνότητα ν' , συναρτήσει των λ και $\Delta\lambda$.

30) Δείξτε ότι η γωνία ϕ και η γωνία θ , στο σχήμα 6.1 συνδέονται με την σχέση :

$$\tan \phi = \frac{\nu' \sin \theta}{\nu - \nu' \cos \theta}$$

Θέματα πολλαπλών επιλογών

Επιλέξτε μια μόνο απάντηση (την πλησιέστερη) και αιτιολογήστε την.

31) Ας θεωρήσουμε στο σχήμα 6.1 (σχήμα 2.24 της σελίδας 74 του βιβλίου των Serway, Moses, Moyer) ότι το ηλεκτρόνιο δεν είναι τελείως ακίνητο, αλλά ότι έχει ορμή μέτρου p_0 και, για ευκολία, κατεύθυνση ίδια με αυτή του προσπίπτοντος φωτονίου (δηλαδή κατά την θετική φορά του άξονα x).

A) Ποια (ή ποιες) από τις παρακάτω σχέσεις μπορεί να περιγράψει, σ' αυτή την περίπτωση, την μεταβολή του μήκους κύματος $\Delta\lambda$;

$$(α) \Delta\lambda = \frac{h + \lambda mc}{\sqrt{m^2 c^2 + p_0^2} - p_0} (1 - \cos \theta)$$

$$(β) \Delta\lambda = \frac{h + \lambda p_0}{\sqrt{m^2 c^4 + c^2 p_0^2} - cp_0} (1 - \cos \theta)$$

$$(γ) \Delta\lambda = \frac{h + \lambda p_0}{\sqrt{m^2 c^2 + p_0^2} - p_0} (1 - \cos \theta)$$

$$(δ) \Delta\lambda = \frac{h + \lambda p_0}{\sqrt{m^2 c^4 + c^2 p_0^2} - mc^2} (1 - \cos \theta)$$

$$(ε) \Delta\lambda = \frac{h + \lambda p_0}{\sqrt{m^2 c^2 + p_0^2} - \frac{h}{\lambda}} (1 - \cos \theta)$$

$$(στ) \Delta\lambda = \frac{h + 2\lambda p_0 \sin^2 \frac{\phi}{2}}{\sqrt{m^2 c^4 + c^2 p_0^2} - mc^2} (1 - \cos \theta)$$

A. Ζδέτσης.

- B) Πως αλλάζει το αποτέλεσμα εάν η κατεύθυνση του διανύσματος p_0 είναι αντίθετη από αυτή του προσπίπτοντος φωτονίου ;
- Γ) Διερευνήστε την απάντηση ως προς το μέγεθος και το πρόσημο του $\Delta\lambda$.

32) Το σταθερό μέγιστο στα πειραματικά αποτελέσματα (σχήμα 2.23 της σελίδας 74 του βιβλίου των Serway, Moses, Moyer) οφείλεται :

- A. Στην πρωτογενή δέσμη, που δεν έχει υποστεί καθόλου σκέδαση.
- B. Σε δέσμη σκεδασθείσα με άλλη γωνία σκεδάσεως, από την παρατηρούμενη.
- Γ. Σε ελαστική σκέδαση από ολόκληρο τον στόχο.
- Δ. Σε ελαστική σκέδαση από δέσμια ηλεκτρόνια .
- E. Σε μη ελαστική σκέδαση.
- ΣΤ. Σε σκέδαση από τον πυρήνα των ατόμων του στόχου.
- Z. Τίποτα από όλα αυτά.

33) Εάν, αντί για γραφίτη, χρησιμοποιηθεί σαν στόχος Αλουμίνιο στη σκέδαση Compton, με το ίδιο μήκος κύματος της προσπίπτουσας δέσμης ακτίνων X, τα αποτελέσματα του σχήματος 6.2 :

- A. Θα μεταβληθούν αλλά δεν μπορούν να προβλεφθούν οι λεπτομέρειες χωρίς να γνωρίζουμε παραπέρα πληροφορίες για το Αλουμίνιο.
- B. Θα μεταβληθεί μόνο η θέση του δεύτερου μεγίστου, αλλά δεν θα αλλάξει η θέση του πρώτου μεγίστου που οφείλεται στη σκέδαση Thomson
- Γ. Θα μεταβληθεί μόνο η θέση του πρώτου μεγίστου.
- Δ. Δεν θα αλλάξει τίποτα.
- E. Θα αλλάξει η θέση των μεγίστων, αλλά δεν θα αλλάξει το σχήμα τους.
- ΣΤ. Θα αλλάξει το σχήμα των μεγίστων, αλλά δεν θα αλλάξει η θέση τους.
- Z. Τίποτα απ' όλα αυτά.

34) Εάν, αντί ακτίνων X, με $\lambda = 0.709 \text{ \AA}$, χρησιμοποιηθούν ακτίνες γ με μήκος κύματος $\lambda = 0.01 \text{ \AA}$ με τον ίδιο στόχο από γραφίτη, τα αποτελέσματα του σχήματος 6.2 :

- A. Θα μεταβληθούν αλλά δεν μπορούν να προβλεφθούν οι λεπτομέρειες χωρίς να γνωρίζουμε παραπέρα πληροφορίες.
- B. Θα μεταβληθεί μόνο η θέση του δεύτερου μεγίστου, αλλά δεν θα αλλάξει η θέση του πρώτου μεγίστου που οφείλεται στη σκέδαση Thomson
- Γ. Θα μεταβληθεί μόνο η θέση του πρώτου μεγίστου.
- Δ. Δεν θα αλλάξει τίποτα.
- E. Θα αλλάξει η θέση των μεγίστων, αλλά δεν θα αλλάξει το σχήμα τους.

A. Ζέτσης.

ΣΤ. Θα αλλάξει το σχήμα των μεγίστων, αλλά δεν θα αλλάξει η θέση τους.

Z. Τίποτα απ' όλα αυτά.

35) Η αρχή της αντιστοιχίας στην περίπτωση του φαινομένου Compton μπορεί να διατυπωθεί ως εξής :

A. Για πάρα πολύ μεγάλο πλήθος φωτονίων τα αποτελέσματα της κλασικής και της κβαντικής περιγραφής συμπίπτουν.

B. Για πάρα πολύ μικρές συχνότητες των φωτονίων της εισερχομένης ακτινοβολίας τα αποτελέσματα της κλασικής και της κβαντικής περιγραφής συμπίπτουν.

Γ. Για πάρα πολύ μεγάλες θερμοκρασίες του στόχου τα αποτελέσματα της κλασικής και της κβαντικής περιγραφής συμπίπτουν.

Δ. Όταν τα ηλεκτρόνια του στόχου δεν είναι δέσμια αλλά έχουν μεγάλες κινητικές ενέργειες τα αποτελέσματα της κλασικής και της κβαντικής περιγραφής συμπίπτουν.

Ε. Όταν ο στόχος έχει μακροσκοπικές διαστάσεις τα αποτελέσματα της κλασικής και της κβαντικής περιγραφής συμπίπτουν.

ΣΤ. Όταν το μήκος κύματος Compton, λ_c , είναι πάρα πολύ μικρό τα αποτελέσματα της κλασικής και της κβαντικής περιγραφής συμπίπτουν.

Z. Τίποτα απ' όλα αυτά.

***36)** Θεωρήστε μια δέσμη λέιζερ εντάσεως 150 W/m^2 η οποία προσπίπτει σε μια μεταλλική επιφάνεια από Νάτριο, του οποίου το έργο εξόδου είναι 2.5 eV . Βρείτε κλασικά τον χρόνο που χρειάζεται για να εκπεμφθεί ένα φωτοηλεκτρόνιο από την επιφάνεια του Νατρίου.

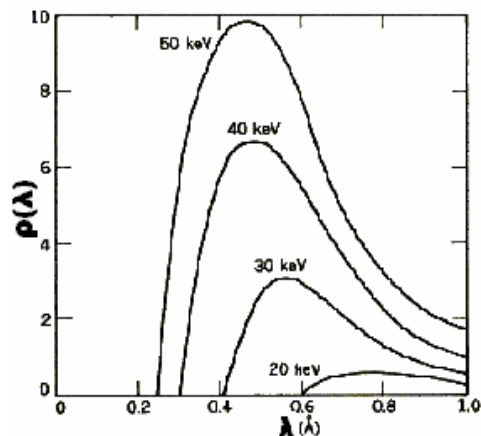
Πώς αλλάζει η απάντηση κβαντομηχανικά ;

37) Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του πίνακα 6.1 βρείτε για το Νάτριο την οριακή συχνότητα κάτω από την οποία δεν παρατηρείται φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

38) Η κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων που παράγονται όταν φως μήκους κύματος 3000 \AA πέσει σε μια μεταλλική επιφάνεια βρίσκεται στην περιοχή από μηδέν έως $4.0 \times 10^{-11} \text{ J}$. Βρείτε το δυναμικό που πρέπει να εφαρμοσθεί για να σταματήσει η εκπομπή ηλεκτρονίων. Ποιά είναι η οριακή συχνότητα ν_0 και το αντίστοιχο οριακό μήκος κύματος;

39) Δείξτε ότι καμπύλες του συνεχούς φάσματος των ακτίνων X (της ακτινοβολίας πεδήσεως) στο σχήμα

δίπλα επαληθεύουν την σχέση $\lambda_{\min} \equiv \lambda_0 = \frac{hc}{eV}$.



A. Ζέτσης.

40) Τι μορφή σας θυμίζει η φασματική κατανομή ρ (λ) της ακτινοβολίας πεδήσεως για $V = 50\text{kV}$, του σχήματος ;

Εάν έχετε απαντήσει (ορθά) την προηγούμενη άσκηση, χρησιμοποιείτε την απάντησή σας στα επιχειρήματά σας.

41) Σε μια πυρηνική αντίδραση κατά την οποία έχουν σχηματισθεί ζευγάρια σωματιδίων-αντισωματιδίων, παρατηρούνται να εκπέμπονται φωτόνια προς αντίθετες κατευθύνσεις με τεράστιες ενέργειες ίσες προς 938 MeV . Μπορείτε να βρείτε το είδος των σωματιδίων και αντισωματιδίων που είναι υπεύθυνα για την εκπομπή αυτή; Επεξηγήστε .

Ερωτήσεις

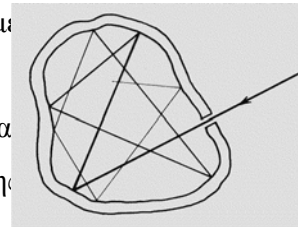
1) Αφού όλα τα σώματα εκπέμπουν ακτινοβολία, εξηγήστε γιατί δεν μπορούμε να δούμε τα αντικείμενα μέσα σ' ένα σκοτεινό δωμάτιο ;

2) Που βρίσκουμε ή πως μπορούμε να «κατασκευάσουμε» μελανά σώματα;

3) Ποιό από τα χαρακτηριστικά ενός μέλανος σώματος μας ενδιαφέρει και πως συνδέεται με τον ορισμό του μέλανος σώματος;

4) Στις χαμηλές συχνότητες (μεγάλα μήκη κύματος) η κλασική θεωρητική καμπύλη (νόμος Rayleigh-Jeans) συμπίπτει με την κβαντική θεωρητική καμπύλη καθώς και με την αντίστοιχη πειραματική καμπύλη (σχήμα 2.5 στο βιβλίο Serway,Moses,Moyer) Μπορείτε να βρείτε κάποια εξήγηση για το γεγονός αυτό;

5) Επεξηγήστε γιατί το σχήμα δίπλα περιγράφει σχηματικά ένα θεωρητικό μοντέλο μέλανος σώματος. Δικαιολογήστε το ότι μια εξωτερική οπή, που συνδέεται με μια κοιλότητα σ' ένα θερμό σώμα, προσεγγίζει αυτό το μοντέλο.



6) Αναφερόμενοι στο μοντέλο μέλανος σώματος του σχήματος δίπλα εξηγήστε αν θα είχε κάποια σημαντική επίπτωση στην ποιότητα της προσέγγισης εάν (α) το θερμό σώμα ήταν μεταλλικό ή εάν (β) η εξωτερική του επιφάνεια ήταν βαμμένη μαύρη ή άσπρη ;

7) Καθώς παρατηρείτε τα αντικείμενα στο εσωτερικό ενός πολύ καυτού φούρνου, ενώ αρχίζει να θερμαίνεται, μπορείτε να διαπιστώσετε ότι δυσκολεύεστε να διακρίνετε το σχήμα τους. Γιατί ;

Υπόδειξη : Αναλογιστείτε την προέλευση του φωτός που φτάνει στα μάτια σας από τα αντικείμενα αυτά. Πώς αλλάζει αυτή η εικόνα όταν ο φούρνος είναι σβηστός και τα αντικείμενα σε θερμοκρασία δωματίου ;

8) Εάν η θεμελιώδης κατάσταση ($n = 0$) των ταλαντωτών δεν αντιστοιχούσε σε ενέργεια μηδέν (όπως φαίνεται στο σχήμα 2.9 στην σελίδα 57 του βιβλίου Serway,Moses,Moyer) αλλά σε μια

A. Ζέτσης.

τιμή, έστω $E_0 = \frac{1}{2} h\nu$, τι θα άλλαζε (εάν άλλαζε) στη συζήτηση για τους «παγωμένους βαθμούς ελευθερίας» και στις συνέπειες για την μέση τιμή της ενέργειας και την κβαντική μορφή της συνάρτησης $u(\nu, T)$;

9) Στο εισαγωγικό κεφάλαιο 1, όπως μπορείτε να διαπιστώσετε, είχαμε αναφέρει ότι η κλασική φυσική περιγράφει ικανοποιητικά τα «μακροσκοπικά» αντικείμενα σε αντίθεση με τα μικροσκοπικά για τα οποία είχαμε χρησιμοποιήσει την ακτίνα του ατόμου του υδρογόνου σαν μέτρο σύγκρισης. Πως συμβιβάζεται εκείνη η συζήτηση με την αρχή της αντιστοιχίας;

10) Η σχέση $\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta)$ δείχνει να οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το χρώμα ενός αντικειμένου (που εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, το οποίο φτάνει στα μάτια μας, αφού σκεδαστεί απ' αυτό το αντικείμενο) αλλάζει ανάλογα με την γωνία παρατηρήσεως. Γιατί δεν έχει παρατηρηθεί κάτι τέτοιο ;

11) Διαθέτουμε δύο μονοχρωματικές δέσμες : α) μία ασθενή δέσμη υπεριώδους φωτός, μήκους κύματος $\lambda \cong 3500 \text{ \AA}$, και β) μια κατά πολύ (10φορές) ισχυρότερη δέσμη υπερύθρου φωτός, μήκους κύματος $\lambda \cong 9000 \text{ \AA}$. Ποια από τις δύο δέσμες πιστεύετε ότι είναι περισσότερο επικίνδυνη για ένα άνθρωπο ο οποίος είναι εκτεθειμένος σ' αυτές επί μία ώρα.

Αιτιολογείστε και επεξηγήστε πλήρως την απάντησή σας.

12) Τι αλλάζει στην απάντηση της προηγούμενης ερώτησης εάν οι δύο δέσμες έχουν την ίδια ένταση ;

13) Στην μελέτη του φαινομένου Compton θεωρήσαμε τα ηλεκτρόνια αγωγημότητας του μετάλλου ως ελεύθερα (μηδενική ενέργεια συνδέσεως). Αντίθετα, στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο θεωρήσαμε τα ηλεκτρόνια του ίδιου τύπου να είναι συνδεδεμένα στο μέταλλο με ενέργεια ίση τουλάχιστον με το έργο εξόδου. Πως εξηγείται αυτή η «ασυνέπεια»;