

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

Διδάσκοντες: Κ. Φουντάς, Σ. Κοέν

“ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ Ι”

7 – 2 – 2011

Θέμα 1^ο:

(α) Διατυπώστε συνοπτικά τις δύο αρχές της ειδικής σχετικότητας του Einstein.

[3 μονάδες]

(β) Τι απέδειξε το πείραμα Michelson και Morley ; (2-3 προτάσεις)

[3 μονάδες]

(γ) Πώς απορρέουν οι μετασχηματισμοί του Lorentz από τις αρχές της ειδικής σχετικότητας ;
(με λόγια, χωρίς πράξεις, πολύ συνοπτικά)

[3 μονάδες]

(δ) Αδρανειακό σύστημα O' κινείται με ταχύτητα V σε σχέση με αδρανειακό σύστημα O .Η ταχύτητα V είναι στη διεύθυνση των αξόνων $x-x'$. Ο μετασχηματισμός Lorentz που μετασχηματίζει τις μεταβλητές χρόνου και χώρου από το O' στο O δίνεται από:

$$ct = \gamma(ct' + \beta x')$$

$$x = \gamma(x' + \beta ct')$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

όπου $\beta = V/c$, $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$ και c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό. Διατυπώστε τον αντίστροφο μετασχηματισμό Lorentz που μετασχηματίζει τις μεταβλητές χρόνου και χώρου από το O στο O' και αιτιολογήστε την απάντησή σας.

[3 μονάδες]

(ε) Πιόνια σε ηρεμία διασπώνται σε μίονια και νετρίνα μέσω της αντίδρασης: $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$. Ομέσος χρόνος ζωής των πιονίων στο σύστημα ηρεμίας τους είναι $\Delta\tau$. Αν τα πιόνια κινούνται με ταχύτητα V στο σύστημα το εργαστηρίου δείξτε χρησιμοποιώντας τους μετασχηματισμούς Lorentz ότι ο μέσος χρόνος ζωής τους στο σύστημα του εργαστηρίου δίνεται από την σχέση:

$$\Delta t = \gamma \Delta\tau$$

[4 μονάδες]

(ζ) Δέσμες μιονίων χρησιμοποιούνται συχνά σε πειράματα φυσικής. Οι δέσμες αυτές παράγονται από την διάσπαση δεσμών φορτισμένων πιονίων διαμέσου της αντίδρασης $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$. Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι έχουμε δέσμη πιονίων η οποία παράγεται σε σημείο P και κατευθύνεται προς στην διεύθυνση του θετικού άξονα των x με ταχύτητα $V = 0.90c$. Υπολογίστε την μέση απόσταση που τα πιόνια θα διανύσουν στο εργαστήριο πριν διασπαστούν.

[4 μονάδες]

(η) Η διάσπαση των πιονίων χαρακτηρίζεται από το νόμο των ραδιενεργών διασπάσεων:

$$N(t) = N_0 e^{-t/\Delta\tau}$$
 όπου N_0 είναι ο αρχικός αριθμός των πιονίων, $N(t)$ ο αριθμός των

πιονίων που απομένουν μετά από χρόνο t και $\Delta\tau$ ο μέσος χρόνος ζωής τους. Οι χρόνοι t και $\Delta\tau$ ορίζονται εδώ στο σύστημα ηρεμίας του πιονίου. Πόσο μακριά από το σημείο P πάνω στον άξονα των x στο εργαστήριο πρέπει να τοποθετηθεί πειραματική διάταξη η οποία απαιτεί μία δέσμη η οποία περιέχει κατά το 90% μίονια ;

[5 μονάδες]

Ο μέσος χρόνος ζωής του φορτισμένου πιονίου είναι $\Delta\tau = 2.6 \times 10^{-8}$ s και $c \approx 3 \times 10^8$ m/s .

Θέμα 2°:

- (α) Η ολική ενέργεια και ορμή σχετικιστικού σωματιδίου δίδονται από τις σχέσεις $E = \gamma mc^2$ και $p = \gamma m\beta c$ όπου V είναι η ταχύτητα του σωματιδίου, $\beta = V/c$, $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$ και c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό. Δείξτε ότι

$$E = \sqrt{(pc)^2 + m^2 c^4}$$

[5 μονάδες]

- (β) Υπολογίστε το β σαν συνάρτηση της ολικής ενέργειας και της ορμής. Αποδείξτε ότι σωματίδια που έχουν μη-μηδενική μάζα δεν μπορούν ποτέ να κινούνται με την ταχύτητα του φωτός στο κενό και αντιθέτως σωματίδια με μηδενική μάζα πρέπει αναγκαστικά να κινούνται με την ταχύτητα του φωτός στο κενό.

[5 μονάδες]

- (δ) Ας υποθέσουμε ότι ένα σωματίδιο Higgs παράγεται στον μεγάλο αδρονικό επιταχυντή LHC του CERN και έχει μάζα $m_H c^2 = 120 \text{ GeV}$. Το Higgs διασπάται σε δύο φωτόνια μέσω της αντίδρασης $H \rightarrow \gamma\gamma$. Υπολογίστε την ενέργεια και την ορμή των δύο φωτονίων στο σύστημα του Higgs.

[5 μονάδες]

- (ε) Έστω ότι το Higgs κινείται με ταχύτητα $V = 0.9 c$ προς την κατεύθυνση του θετικού άξονα των x στο σύστημα του εργαστηρίου και ας υποθέσουμε ότι ένα από τα δύο φωτόνια εκπέμπεται επίσης στην κατεύθυνση του θετικού άξονα των x . Δείξτε, χρησιμοποιώντας τους μετασχηματισμούς Lorentz, ότι η ενέργεια αυτού του φωτονίου στο σύστημα του εργαστηρίου δίνεται από την σχέση:

$$E_\gamma = \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} E'_\gamma$$

όπου E_γ είναι η ενέργεια του φωτονίου στο σύστημα του εργαστηρίου και E'_γ η ενέργεια του φωτονίου στο σύστημα του Higgs. Με ποιο φαινόμενο σχετίζεται η σχέση αυτή;

[4 μονάδες]

- (ζ) Υπολογίστε την ενέργεια E_γ .

[2 μονάδες]

- (η) Υπολογίστε την μέγιστη γωνία που μπορεί να έχει ένα φωτόνιο από το Higgs στο εργαστήριο.

[4 μονάδες]

Μετασχηματισμοί Lorentz για ενέργεια και ορμή:

Αν αδρανειακό σύστημα O' κινείται με ταχύτητα V σε σχέση με το αδρανειακό σύστημα O στη διεύθυνση των αξόνων $x-x'$, τότε ο μετασχηματισμός Lorentz που μετασχηματίζει την ολική ενέργεια και ορμή από το σύστημα O στο σύστημα O' δίνεται από τις σχέσεις:

$$E' = \gamma(E - \beta cp_x)$$

$$cp'_x = \gamma(cp_x - \beta E)$$

$$p'_y = p_y$$

$$p'_z = p_z$$

Θέμα 3^ο:

(α) Σε πείραμα σκέδασης Compton χρησιμοποιούνται ακτίνες X μήκους κύματος $\lambda_0 = 242 \text{ pm}$. Σε ποια γωνία θ πρέπει να παρατηρήσουμε τη σκεδαζόμενη ακτινοβολία ώστε η σχετική μετατόπιση του μήκους κύματος $\Delta\lambda/\lambda_0$ να είναι 1%; [5 μονάδες]

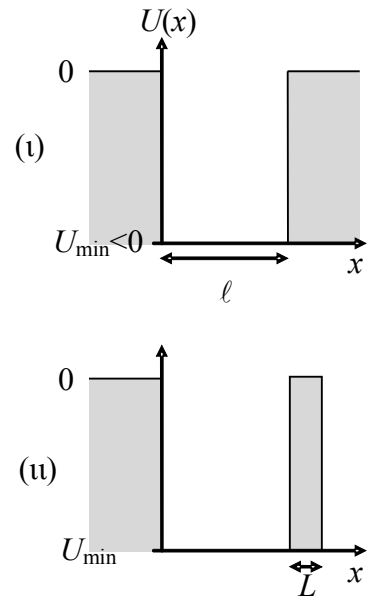
(β) Οι ίδιες ακτίνες X χρησιμοποιούνται και σε πείραμα περίθλασης Bragg. Βρέθηκε ότι ο σχηματισμός περίθλασης που παράγουν είναι ίδιος με αυτόν που παράγεται από ηλεκτρόνια κινητικής ενέργειας K . Βρείτε την K (εκφρασμένη σε eV). [15 μονάδες]

Θέμα 4^ο:

(α) Σε πείραμα μελέτης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου βρέθηκε ότι φωτίζοντας ένα φύλλο κάποιου μετάλλου με υπεριώδη ακτινοβολία μήκους κύματος $\lambda=275.9 \text{ nm}$, ηλεκτρόνια εξέρχονται του μετάλλου με μέγιστη κινητική ενέργεια $K_{\max}=0.5 \text{ eV}$. Ποιο είναι το έργο εξόδου ϕ του μετάλλου; [5 μονάδες]

(β) Για το παραπάνω μεταλλικό φύλλο, μπορούμε να θεωρήσουμε προσεγγιστικά ότι τα ηλεκτρόνια είναι εγκλωβισμένα σε ένα πηγάδι δυναμικής ενέργειας πεπερασμένου βάθους και μήκους, όπως στο σχήμα (i). Γνωρίζοντας ότι τα ηλεκτρόνια έχουν την ελάχιστη δυνατή ενέργεια, κάποιος μας λέει ότι ισχύει $\phi=|U_{\min}|$. Τον πιστεύετε ή όχι και γιατί; Εξηγήστε λεπτομερώς το συλλογισμό σας. [15 μονάδες]

(γ) Μια επιφάνεια του ίδιου μετάλλου πλησιάζει το πρώτο φύλλο σε απόσταση $L=1 \text{ nm}$. Το διάστημα μεταξύ των δύο επιφανειών λειτουργεί ως φράγμα δυναμικής ενέργειας (σχήμα (ii)). Εκτιμήστε τον συντελεστή διέλευσης των ηλεκτρονίων στην δεύτερη αυτή επιφάνεια. [10 μονάδες]



Δίδονται: $\hbar=1.054 \times 10^{-34} \text{ Js}$, $\hbar=h/2\pi$, $c=3 \times 10^8 \text{ m/s}$, $m_e=9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $e=1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, $\lambda_c=h/(m_e c)$.

ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ

$$u(f, T)df = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{f^3}{e^{hf/kT} - 1} df$$

$$\Delta n \propto \frac{Z^2}{K_a^2 \sin^4(\phi/2)}$$

$$K_{\max} = hf - \phi \quad p = h/\lambda$$

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2} \right) \hbar\omega$$

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar$$

$$T = \frac{4k_1 k_{II}}{(k_1 + k_{II})^2}$$

$$T \sim \exp \left[- \frac{2L \sqrt{2m(U_{\max} - E)}}{\hbar} \right]$$

$$E_n = - \frac{Ryd}{n^2}$$

$$\Delta \lambda = \lambda - \lambda_0 = \lambda_c (1 - \cos \theta)$$

ΚΑΛΗ ΕΠΙΤΥΧΙΑ