

**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ**

Διδάσκοντες: Κ. Φουντάς, Σ. Κοέν, Α. Λύρας

**“ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ Ι”**  
**14 – 2 – 2012**

**Θέμα 1<sup>ο</sup>:**

(α) Οι μετασχηματισμοί του Lorentz για ενέργεια και ορμή δίνονται από τις σχέσεις

$$\begin{aligned} E' &= \gamma(E - \beta cp_x) \\ cp'_x &= \gamma(cp_x - \beta E) \\ cp'_y &= cp_y \\ cp'_z &= cp_z \end{aligned}$$

όπου  $E'$ ,  $p'_x$ ,  $p'_y$ ,  $p'_z$  είναι η ενέργεια και οι τρεις συντεταγμένες αντίστοιχα της ορμής στο αδρανειακό σύστημα  $O'$  το οποίο κινείται με ταχύτητα  $V = \beta c$  στη διεύθυνση του άξονα  $x$  ως προς ακίνητο σύστημα  $O$ . Η ενέργεια και οι τρεις συντεταγμένες αντίστοιχα της ορμής στο αδρανειακό σύστημα  $O$  είναι  $E$ ,  $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$  και  $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$ . Δείξτε ότι η ποσότητα

$$E^2 - (cp)^2 = m^2 c^4 \quad (1)$$

παραμένει αναλλοίωτη σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς.

[5 μονάδες]

(β) Δείξτε μέσω της (1) ότι η ορμή ενός φωτονίου δίνεται από τη σχέση

$$p = \frac{hf}{c}$$

όπου  $h$  η σταθερά του Planck και  $f$  η συχνότητα .

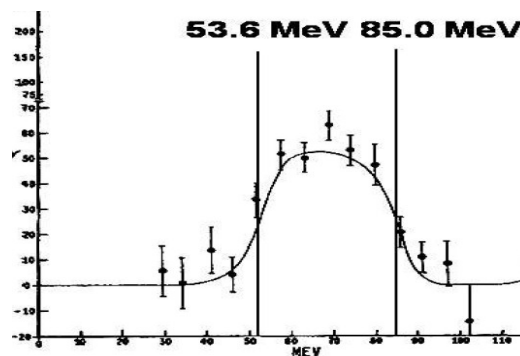
[2 μονάδες]

(γ) Έστω φωτεινή πηγή η οποία κινείται με ταχύτητα  $V = \beta c$  προς τα δεξιά πάνω στο θετικό άξονα  $x$  ενός ακίνητου συστήματος αναφοράς  $O$ . Η πηγή εκπέμπει φωτόνια συχνότητας  $f_0$  τα οποία ανιχνεύονται από ακίνητο παρατηρητή που βρίσκεται στο σημείο ( $x=0$ ,  $y=0$ ,  $z=0$ ). Δείξτε ότι η συχνότητα των φωτονίων  $f_{II}$  τα οποία ανιχνεύει ο ακίνητος παρατηρητής δίνεται από την σχέση Doppler

$$f_{II} = \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}} f_0$$

[5 μονάδες]

(δ) Έστω δέσμη ουδέτερων πονίων στην κατεύθυνση του άξονα  $x$  με σταθερή ορμή. Τα ουδέτερα πόνια μεταπίπτουν σε δύο φωτόνια μέσω της αντίδρασης  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ . Ανιχνευτές γύρω από τη δέσμη μετρούν την ενεργειακή κατανομή των φωτονίων όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Ο άξονας  $y$  δείχνει τον αριθμό των



Σχήμα 1: Ενεργειακή κατανομή φωτονίων από μεταπτώσεις ουδέτερων πονίων.

παρατηρούμενων φωτονίων και ο άξονας  $x$  την ενέργεια σε MeV. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 η ενέργεια των φωτονίων κυμαίνεται μεταξύ μίας ελαχίστης τιμής που είναι 53.6 MeV και μίας μέγιστης τιμής που είναι 85.0 MeV. Με τι γωνίες στο σύστημα του πονίου εκπέμπονται τα φωτόνια με την μέγιστη και ελάχιστη ενέργεια στο σύστημα του εργαστηρίου ; Με τι γωνίες στο σύστημα του πονίου εκπέμπονται τα φωτόνια που έχουν ενέργεια  $53.6 \text{ MeV} < E_\gamma < 85.0 \text{ MeV}$  στο σύστημα του εργαστηρίου; [3 μονάδες]

(ε) Χρησιμοποιώντας τις τιμές της μέγιστης και ελαχίστης ενέργειας των φωτονίων του Σχήματος 1

υπολογίστε την ταχύτητα των ουδέτερων πονίων.

[5 μονάδες]

### Θέμα 2°:

Μια ράβδος μήκους  $L_0$  κινείται με ταχύτητα  $v$  κατά την διεύθυνση του άξονα  $x'$  και σχηματίζει γωνία  $\theta_0$  με τον άξονα αυτό.

(α) Υπολογίστε το μήκος της ράβδου όπως μετράται από ακίνητο παρατηρητή.

[10 μονάδες]

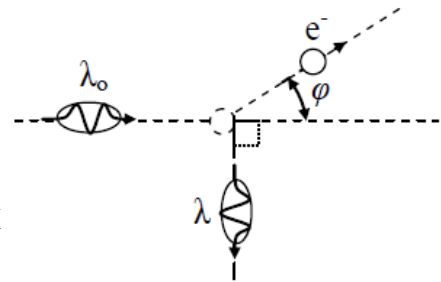
(β) Υπολογίστε την γωνία  $\theta$  που σχηματίζει η ράβδος με τον άξονα  $x$  στο σύστημα του ακίνητου παρατηρητή (υπολογίστε την  $\tan\theta$ ).

[10 μονάδες]

ΥΠΟΔΕΙΞΗ: Μπορείτε να θεωρήσετε ότι το κάτω άκρο της ράβδου συμπίπτει με την αρχή του τονούμενου συστήματος συντεταγμένων.

### Θέμα 3°:

Σε πείραμα σκέδασης Compton χρησιμοποιείται δέσμη ακτίνων X μήκους κύματος  $\lambda_0 = 3\lambda_C$  (με  $\lambda_C = h/m_e c$  το μήκος κύματος Compton,  $h$  η σταθερά του Planck και  $m_e$  η μάζα του ηλεκτρονίου). Η σκέδαση των ακτίνων παρατηρείται κάθετα στη διεύθυνση της προσπίπτουσας δέσμης, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα.



(α) Βρείτε το μήκος κύματος  $\lambda$  της σκεδαζόμενης δέσμης ακτίνων X ως συνάρτηση του  $\lambda_C$ .

[5 μονάδες]

(β) Βρείτε τη γωνία  $\phi$  κατά την οποία σκεδαζείται το ηλεκτρόνιο.

[10 μονάδες]

(γ) Αποδείξτε ότι το μήκος κύματος de Broglie του σκεδαζόμενου ηλεκτρονίου,  $\lambda_e^{de\ Broglie}$ , είναι ίσο με  $12\lambda_C/5$ .

[15 μονάδες]

Δίδονται οι παρακάτω σχέσεις:  $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$ ,  $E = hf$ ,  $p = h/\lambda$

### Θέμα 4°:

(α) Διατυπώστε την Αρχή της Αβεβαιότητας του Heisenberg όσον αφορά τον προσδιορισμό της ορμής και της θέσης και εξηγήστε συνοπτικά τις φυσικές συνέπειές της.

[5 μονάδες]

(β) Εκτιμήστε την ελάχιστη κινητική ενέργεια ενός ηλεκτρονίου το οποίο είναι εγκλωβισμένο σε ένα άτομο υδρογόνου διαμέτρου  $L \sim 10^{-10} \text{ m}$ .

[15 μονάδες]

(γ) Το μοριακό ιόν Υδρογόνου,  $\text{H}_2^+$ , σχηματίζεται όταν πλησιάσουν κοντά ένα άτομο υδρογόνου,  $\text{H}$ , και ένα πρωτόνιο. Τότε το ηλεκτρόνιο είναι εγκλωβισμένο σε μια περιοχί περίπου διπλάσιας έκτασης από ότι στο άτομο Υδρογόνου. Εξηγήστε το λόγο σχηματισμού του μοριακού ιόντος.

[10 μονάδες]

$$\hbar = 1.054 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}, \quad e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}, \quad m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg},$$

$$\hbar c = 197.3 \text{ MeV fm}, \quad m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}, \quad 1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$$

ΚΑΛΗ ΕΠΙΤΥΧΙΑ