ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
Διδάσκοντες: Κ. Φουντάς, Σ. Κοέν, Ν. Νικολής

"ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ Ι"
5 – 6 – 2013

<u>Θέμα 1ο:</u> Ένα αρνητικά φορτισμένο W-μποζόνιο μεταπίπτει σε ένα μιόνιο και ένα μιονικό αντι-νετρίνο μέσω της αντίδρασης $\boldsymbol{w^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu}$. Το αντι-νετρίνο έχει σχεδόν μηδενική μάζα και οι μάζες του **W** και $\boldsymbol{\mu^-}$ δίνονται από $M_W c^2 = 80.4\,GeV,\ m_\mu c^2 = 0.106\,GeV$.
(α) Υπολογίστε την ορμή του μιονίου και του αντι-νετρίνου στο αδρανειακό σύστημα του **W**. [10 μονάδες]
(β) Αν η ολική ενέργεια του **W** είναι **400 GeV** υπολογίστε τα σχετικιστικά **β** και **γ** του **W**. [10 μονάδες]
(γ) Υποθέστε ότι το μιόνιο εκπέμπεται σε γωνία 45^0 στο σύστημα του W και υπολογίστε την ενέργεια, ορμή και γωνία με την οποία το μιόνιο εκπέμπεται στο αδρανειακό σύστημα του εργαστηρίου. [5 μονάδες]

Δίνεται ο μετασχηματισμός Lorentz για ενέργεια και ορμή απο αδρανειακό σύστημα O' το οποίο κινείται με ταχύτητα V στην κατεύθυνση του θετικού άξονα x ως πρός το αδρανειακό σύστημα O.

$$E = \gamma(E' + \beta c p'_x) \quad c p_x = \gamma(c p'_x + \beta E') \quad c p_y = c p'_y \quad c p_z = c p'_z \quad \text{και}$$

$$\beta = V/c \quad \gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2} \quad \text{και} \quad E = m\gamma c^2 \ , \quad p = m\gamma\beta c$$

<u>Θέμα 2ο:</u>
(α) Να συζητήσετε την έννοια του ταυτόχρονου στην ειδική σχετικότητα με τη βοήθεια των μετασχηματισμών Lorentz. [4 μονάδες]

(β) Να εξετάσετε εάν η ποσότητα $\boldsymbol{c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2}$ μένει αναλλοίωτη ως προς τους μετασχηματισμούς Lorentz. [4 μονάδες]

Δίνονται οι μετασχηματισμοί Lorentz από αδρανειακό σύστημα O σε αδρανειακό σύστημα O' το οποίο κινείται με ταχύτητα **V** σε σχέση με το O.

$$ct' = \gamma(ct - \beta x) \quad x' = \gamma(x - \beta ct) \quad y' = y \quad z' = y \quad \text{όπου} \quad \beta = V/c \quad \gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$$

(γ) Το βαγόνι ενός τραίνου κινείται ευθύγραμμα με ταχύτητα **V**. Ένα φωτόνιο ξεκινά από το πίσω μέρος του βαγονιού και φτάνει στο εμπρός. Να συγκρίνετε τον χρόνο πτήσης του φωτονίου για ένα ακίνητο επιβάτη του τραίνου και ένα παρατηρητή ακίνητο στην αποβάθρα. [5 μονάδες]

(δ) Να δείξετε ότι σε τάξη $\sim \boldsymbol{p^4}$, η συνολική ενέργεια $\boldsymbol{E = m\gamma c^2}$ ενός σωματιδίου γράφεται

$$\boldsymbol{E \approx mc^2 + \frac{p^2}{2\mathrm{m}} + \frac{3}{2}\frac{1}{mc^2}\left(\frac{p^2}{2\mathrm{m}}\right)^2}$$

όπου *m* είναι η μάζα ηρεμίας του σωματιδίου, και $\beta = V/c \quad \gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$.

Δίδεται το ανάπτυγμα $(1+x)^N \approx 1 + Nx + N\dfrac{(N-1)}{2}x^2$. [6 μονάδες]

(ε) Ένα ηλεκτρόνιο κινείται με ταχύτητα 0.999c.

(a) Πόση είναι η συνολική σχετικιστική ενέργεια του ηλεκτρονίου;

(b) Πόση είναι η ορμή του;

(c) Πόση είναι η κλασική κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου;

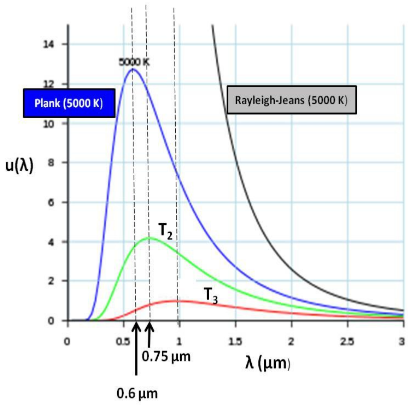
(d) Πόση είναι η σχετικιστική διόρθωση τάξης $\sim \boldsymbol{p^4}$ στην κλασική κινητική ενέργεια?

(e) Πόσο διαφέρει η σχετικιστική κινητική ενέργεια από το άθροισμα των όρων $\sim \boldsymbol{p^2}$ και $\sim \boldsymbol{p^4}$; [6 μονάδες]

<u>Θέμα 3ο:</u> Η φασματική κατανομή (πυκνότητα ενέργειας) της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος ως συνάρτηση του μήκους κύματος και της θερμοκρασίας T δίνεται από την σχέση

$$u(\lambda,T)\,d\lambda \;=\; \frac{8\pi hc}{\lambda^5}\frac{d\lambda}{e^{hc/\lambda kT}-1}$$

Τρεις κατανομές μέλανος σώματος όπως προβλέπονται από την πιο πάνω σχέση φαίνονται στο Σχήμα 1 για τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες T_1**=5000 K**, T_2, T_3. Στο Σχήμα 1 φαίνονται και οι προβλέψεις της κλασσικής θεωρίας των Rayleigh-Jeans για θερμοκρασία T_1**=5000 K**.



Σχήμα 1: Τρεις φασματικές κατανομές μέλανος σώματος ως συνάρτηση του μήκους κύματος για T_1=5000 K, T_2, T_3.

(α) Δώστε μία σύντομη περιγραφή (5-10 γραμμές) της κεντρικής ιδέας του Planck που οδήγησε στην σωστή περιγραφή της φασματικής κατανομής του μέλανος σώματος και συζητήστε τη διαφορά της θεωρίας του M. Planck με την κλασική θεωρία των Rayleigh-Jeans. [5 μονάδες]

(β) Σε τι μονάδες δίδεται η κατανομή $u(\lambda,T)$;
Αιτιολογήστε την απάντηση σας. [4 μονάδες]

(γ) Χρησιμοποιήστε το Σχήμα 1 και υπολογίστε τις θερμοκρασίες T_2 και T_3. Αιτιολογήστε την απάντηση σας. [6 μονάδες]

(δ) Θεωρείστε το ολοκλήρωμα

$$U(T) \;=\; \int_0^\infty u(\lambda,T)\,d\lambda \;.$$

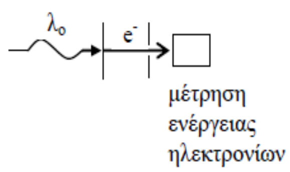
Τι φυσική σημασία/νόημα έχει η ποσότητα αυτή και σε τι μονάδες εκφράζεται ; [4 μονάδες]

(ε) Υπολογίστε τα $U(T_2)$ και $U(T_3)$ ως συνάρτηση του $U(T=5000\,K)$ χρησιμοποιώντας το νόμο των Stefan-Boltzmann. [6 μονάδες]

Δίδονται: $\hbar c=\frac{h}{2\pi}c=197.3\,MeV\ fm,\ \ k=8.62\times10^{-5}\,eV\,K^{-1}$

<u>Θέμα 4ο:</u>

Φασματόμετρο ακτίνων Χ βασισμένο στο φαινόμενο Compton: Ακτινοβολία μήκους κύματος λ_o προσπίπτει σε στόχο άνθρακα («ακίνητων, ελεύθερων» ηλεκτρονίων). Ανιχνεύουμε μόνο τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται κατά την κατεύθυνση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και μετράμε την κινητική τους ενέργεια K (βλέπε σχήμα).



(α) Συμπληρώστε το παραπάνω σχήμα σχεδιάζοντας την κατεύθυνση διάδοσης της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας, μήκους κύματος **λ**, και βρείτε τη σχέση που συνδέει τα $\boldsymbol{\lambda_o}$ και **λ**.

[5 μονάδες]

(β) Εάν μετρήθηκε ότι $\boldsymbol{K=m_ec^2/4}$, βρείτε την τιμή της ποσότητας $\boldsymbol{p_ec/m_ec^2}$, (m_e η μάζα ηρεμίας του ηλεκτρονίου, c η ταχύτητα του φωτός στο κενό και p_e η ορμή του εκπεμπόμενου ηλεκτρονίου).

[8 μονάδες]

(γ) Βρείτε, επίσης, το λόγο $\boldsymbol{\lambda_o/\lambda_C}$, όπου $\lambda_C=h/m_ec$ το μήκος κύματος Compton.
Δίδεται ότι: $\Delta\lambda=\lambda_C(1\text{-}\cos\theta)$. [12 μονάδες]

Καλή Επιτυχία !!