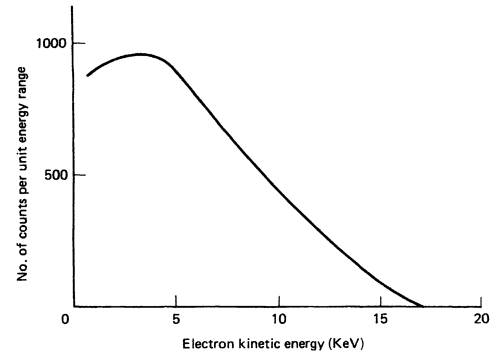


ΦΥΣ 331 – Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

Εργασία 1^η

Επιστροφή: Παρασκευή 23.09.22

1. Αποδείξτε ότι η εξίσωση Schrödinger δεν είναι αναλλοίωτη κάτω από μετασχηματισμούς Lorentz.
2. Ένα σωματίδιο διασπάται σε ηρεμία σε δύο σωματίδια σύμφωνα με την διάσπαση $A \rightarrow B + C$.
(α) Να βρείτε την ενέργεια και την ορμή των σωματιδίων B και C .
(β) Τι θα συμβεί όταν $m_A < m_B + m_C$;
3. Πριν την ανακάλυψη του νετρονίου, πολλοί πίστευαν ότι ο πυρήνας αποτελείται από πρωτόνια και ηλεκτρόνια, με τον ατομικό αριθμό να είναι έκφραση του πλεονάσματος των πρωτονίων. Η β-διάσπαση φαινόταν να υποστηρίζει αυτή την υπόθεση. Χρησιμοποιώντας την σχέση της αβεβαιότητας θέσης – ορμής, $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$, να εκτιμήσετε την ελάχιστη ορμή ενός ηλεκτρονίου το οποίο είναι εγκλωβισμένο μέσα σε ένα πυρήνα τυπικών διαστάσεων ακτίνας 10^{-13}cm . Χρησιμοποιώντας την σχετικιστική εξίσωση ενέργειας-ορμής, $E^2 = |\vec{p}|^2 c^2 + m^2 c^4$, υπολογίστε την ενέργεια του ηλεκτρονίου στην περίπτωση αυτή και συγκρίνετε την με την ενέργεια του ηλεκτρονίου που εκπέμπεται στην β-διάσπαση του τριτίου που φαίνεται στο διπλανό γράφημα (${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He}$).
4. Στο πρόβλημα αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε δεδομένα και πίνακες που περιέχονται στο «βιβλίο των σωματιδίων» ή διαφορετικά *Particle Data Book* που ανανεώνεται και κρατιέται online στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://pdg.lbl.gov>. Στη διεύθυνση αυτή υπάρχουν πάρα πολλές πληροφορίες και επισκοπήσεις σχετικά με σωματίδια, ιδιότητές τους και φαινόμενα που έχουν παρατηρηθεί. Για την άσκηση αυτή θα χρησιμοποιήσετε την κατηγορία [Particle Listings](#) που όπως και κάθε άλλη ενότητα αποτελεί link για άλλες ιστοσελίδες.



(α) Βρείτε τα μποζόνια W , Z . Συγκρίνετε τις μάζες των σωματιδίων αυτών με αυτή του πρωτονίου. Εκτιμήστε την εμβέλεια των δυνάμεων που φέρονται από τα W και Z και συγκρίνετέ την με το μέγεθος του πρωτονίου.

(β) Βρείτε τα σωματίδια μ^+ , τ^+ , K^+ , π^+ , π^0 , ρ^0 , D^+ , B^+ , J/ψ και καταγράψτε τους χρόνους ζωής τους. Με βάση τη πληροφορία αυτή ποιες είναι οι αλληλεπιδράσεις που είναι υπεύθυνες για τις διασπάσεις των σωματιδίων αυτών; Υπολογίστε την μέση απόσταση που θα διανύσουν τα σωματίδια αυτά πριν διασπαστούν (στο σύστημα αναφοράς του εργαστηρίου) υποθέτοντας ότι έχουν ορμή $10 \text{ GeV}/c$.

Πληροφοριακά: το περιεχόμενο σε quark των σωματιδίων K^+ , π^+ , π^0 , ρ^0 , D^+ , B^+ , J/ψ είναι, $K^+ = d\bar{s}$, $\pi^+ = u\bar{d}$, $\pi^0 = \frac{u\bar{u} - d\bar{d}}{\sqrt{2}}$ το ρ^0 έχει το ίδιο περιεχόμενο με το π^0 , $D^+ = c\bar{d}$, $B^+ = u\bar{b}$ ενώ

το $J/\psi = c\bar{c}$. Τα σωματίδια αυτά είναι δέσμιες καταστάσεις ζεύγους quark-antiquark ($q\bar{q}$) και ονομάζονται μεσόνια. Όλα τα παραπάνω μεσόνια αποτελούν τις χαμηλότερες ενεργειακά καταστάσεις του δεδομένου συνδυασμού. Οι καταστάσεις αυτές έχουν μηδενική συνολική

στροφορμή (τροχιακή και ιδιοστροφορμή) ζεύγους εκτός από τα ρ^0 και J/ψ που έχουν συνολική στροφορμή 1. Η συνολική αυτή στροφορμή είναι το σπιν του σωματιδίου.

(γ) Παρατηρήστε τη διάσπαση του μ^+ και του τ^+ λεπτονίων. Γιατί οι τρόποι διάσπασης των σωματιδίων αυτών είναι τόσο διαφορετικοί;

(δ) Στο πάνω μέρος της ατμόσφαιρας, κοσμική ακτινοβολία πολύ υψηλής ενέργειας, παράγει ίδιο αριθμό π^+ και π^- τα οποία διασπώνται μετέπειτα. Τα προϊόντα διάσπασής τους διασπώνται επίσης. Ποιος ο λόγος του αριθμού των νετρίνο ηλεκτρονίων ως προς τον αριθμό των νετρίνο μιονίων που φθάνουν στην επιφάνεια της γης; Υποθέστε ότι όλα τα ασταθή σωματίδια διασπώνται πριν φθάσουν στην επιφάνεια της γης. Η υπόθεση αυτή βέβαια δεν είναι σωστή.

(ε) Ένας πειραματικός κατασκεύασε έναν ανιχνευτή πυριτίου μεγέθους $3\text{cm} \times 3\text{cm}$ ώστε να μπορέσει να μετρήσει με ακρίβεια τις τροχιές φορτισμένων σωματιδίων. Ο ανιχνευτής αυτός (και θα πούμε περισσότερα για τους ανιχνευτές) έχει πολλούς αισθητήρες ανάγνωσης ηλεκτρικών σημάτων που παράγονται από τον ιονισμό του υλικού καθώς διαπερνάται από κάποιο φορτισμένο σωματίδιο. Οι αισθητήρες αυτοί απέχουν $50\mu\text{m}$ μεταξύ τους. Για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας του ανιχνευτή, ο πειραματικός είχε χρησιμοποιήσει στο παρελθόν κάποιο επιταχυντή σωματιδίων όπου τοποθέτησε τον ανιχνευτή πυριτίου ανάμεσα σε δυο άλλους ανιχνευτές που λειτουργούσαν σωστά και επέτρεψε δέσμη σωματιδίων να περάσει από την διάταξη. στην προκειμένη περίπτωση, αποφάσισε να χρησιμοποιήσει δέσμη μιονίων στην επιφάνεια της γης. Υπολογίστε πόσο χρόνο θα χρειαστεί ώστε να συλλέξει το σήμα από 1000 μόνια για κάθε αισθητήρα του ανιχνευτή του. Η ροή μιονίων που πέφτουν κάθετα στην επιφάνεια της γης είναι $I \sim 1\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$. Για την ροή μιονίων κοσμικής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης μπορείτε να διαβάσετε και πάλι την ιστοσελίδα του *Particle Data Group* και ιδιαίτερα το *link* που αναφέρεται στην επισκόπηση σχετικά με κοσμική ακτινοβολία και συγκεκριμένα την παράγραφο 28.3.

5. Δείξτε ότι η ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση είναι σχετικά ασθενής και για το λόγο αυτό μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση Schrödinger για να περιγράψουμε το άτομο του υδρογόνου. (Υπόδειξη: ίσως βοηθούσε να σκεφθείτε τη ταχύτητα με την οποία κινείται το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου).
6. Η βαρύτητα σε σχέση με τις υπόλοιπες θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις της φύσης συμπεριφέρεται πολύ διαφορετικά. Αυτό μπορούμε να το δείξουμε εύκολα υπολογίζοντας την ενεργειακή κλίμακα της βαρύτητας, την ενεργειακή κλίμακα δηλαδή που η Κβαντική Βαρύτητα γίνεται σημαντική. Η εμβέλεια της βαρύτητας είναι άπειρη γιατί το γκραβιτόνιο, ο φορέας της αλληλεπίδρασης, δεν έχει μάζα. Υπολογίστε επίσης τις αποσπάσεις που κυριαρχεί η Κβαντική Βαρύτητα.

7. Δύο top quarks απέχουν μεταξύ τους 10^{-16}cm . Υπολογίστε τη βαρυτική και ηλεκτροστατική δύναμη που αναπτύσσεται στο ένα top quark εξαιτίας της παρουσίας του δεύτερου top quark.

Υπολογίστε την ισχύ της ισχυρούς ($a_s = \frac{g^2}{\hbar c}$ όπου $g=0.32$), ηλεκτρομαγνητικής ($a = \frac{e^2}{\hbar c}$), ασθενούς ($a_w = \frac{G_F m_p^2}{\hbar c}$ όπου m_p η μάζα του πρωτονίου και $\frac{G_F}{(\hbar c)^3} = 1.17 \times 10^{-5} \text{GeV}^{-2}$)

και βαρυτικής αλληλεπίδρασης ($a_g = \frac{G_N m_p^2}{\hbar c}$ όπου m_p η μάζα του πρωτονίου) υπολογίστε την

ισχύ της ισχυρής και ασθενούς δύναμης που αναπτύσσεται ανάμεσα στα δύο top quarks. Γράψτε τα αποτελέσματά σας σε αύξουσα ισχύ.

8. Θεωρήστε ένα κουνούπι το οποίο ζυγίζει 2.0mg. Αν έχει ενέργεια 13 TeV, όση και η ενέργεια της δέσμης πρωτονίων στον LHC την περίοδο αυτή, υπολογίστε την κλασική ταχύτητά του και συγκρίντε την με την μέση ταχύτητα ενός κουνουπιού που είναι περίπου 1.6km/h.