

ΦΥΣ. 331

2^η Εργασία

Επιστροφή: Παρασκευή 06/10/23

1. Το J/ψ μεσόνιο αποτελεί δέσμια κατάσταση ενός $c\bar{c}$ quark – antiquark ζεύγους. Η μάζα του μεσονίου είναι $3.096 \text{ MeV}/c^2$. Το μεσόνιο αυτό μπορεί να παραχθεί είτε σε σκεδάσεις πρωτονίου-πρωτονίου ή σε σκεδάσεις ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου.
(α) Μια δέσμη πρωτονίου συγκρούεται με ένα στόχο πρωτονίων σε ηρεμία. Υπολογίστε την ενέργεια της προσπίπτουσας δέσμης πρωτονίων για την αντίδραση $pp \rightarrow pp J/\psi$
(β) Στην περίπτωση των ηλεκτρονίων, το J/ψ ανακαλύφθηκε σε ένα επιταχυντή όπου τα σωματίδια των δυο δεσμών είχαν ίσες και αντίθετες ορμές. Υπολογίστε την απαραίτητη ενέργεια για την σκέδαση $e^+e^- \rightarrow J/\psi$.
Ο χρόνος ζωής του σωματιδίου J/ψ είναι $\tau \sim 10^{-20} \text{ sec}$.
2. Υπολογίστε το μέγεθος ενός υποθετικού ατόμου υδρογόνου του οποίου το ηλεκτρόνιο και πρωτόνιο συγκρατούνται με δύναμη βαρύτητας.
3. Να σχεδιάσετε τα διαγράμματα Feynman των διασπάσεων $\Sigma^- \rightarrow n\pi^-$, $\Sigma^0 \rightarrow p\pi^-$, $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0\gamma$. Να εξηγήσετε τον λόγο για τον οποίο στο βιβλίο των σωματιδίων (ParticleDataGroup) που μπορείτε να βρείτε στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://pdg.lbl.gov> η διάσπαση $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0\gamma$ έχει τιμή 100% ενώ δεν εμφανίζεται τιμή για την διάσπαση $\Sigma^0 \rightarrow p\pi^-$. Μπορείτε να βρείτε την πληροφορία αυτή κάτω από την κατάλληλη κατηγορία των κατηγοριών που εμφανίζονται στο [Particle Listings](#). Να σχεδιάσετε το Feynman διάγραμμα για τη διάσπαση $\Sigma^+ \rightarrow n\pi^+$.
4. Να δείξετε γιατί το διανυσματικό μεσόνιο ϕ (1020) δεν μπορεί να διασπαστεί σε δύο π^0 .
5. Για τη διάσπαση $\Lambda^0 \rightarrow p\pi^-$ όπου το Λ^0 διασπάται σε ηρεμία, να υπολογίσετε την ορμή και ενέργεια των προϊόντων διάσπασης.
6. Αν υπήρχαν 4 χρώματα αντί για 3, τότε τα βαρυόνια θα αποτελούνταν από 4 quarks αντί για 3 quark. (α) Εξηγήστε ποιά θα μπορούσαν να είναι τότε οι δυνατές τιμές spin για τα βαρυόνια (για κατάσταση με $L=0$). (β) Χρησιμοποιώντας μόνο up και/ή down quarks εξηγήστε ποιες θα ήταν οι πιθανές τιμές του isospin των βαρυονίων αυτών. (γ) Για τέτοιου είδους βαρυόνια με το μεγαλύτερο spin τα οποία θα αποτελούνται από up και down quarks ποια θα ήταν το ηλεκτρικό φορτίο και η τρίτη συνιστώσα του isospin.
7. Ένα ηλεκτρόνιο υψηλής ενέργειας συγκρούεται με ένα ατομικό ηλεκτρόνιο το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι σε ηρεμία. Ποιό είναι το κατώφλι ενέργειας (η ελάχιστη κινητική ενέργεια της προσπίπτουσας δέσμης ηλεκτρονίων) ώστε να δημιουργηθεί ένα ζεύγος ηλεκτρονίου – ποζιτρονίου;
8. Ένα σωματίδιο με μάζα ηρεμίας $500 \text{ MeV}/c^2$ έχει ορμή $5 \text{ GeV}/c$ ως προς το σύστημα αναφοράς του εργαστηρίου. Το σωματίδιο διασπάται σε δύο άλλα σωματίδια μάζας $150 \text{ MeV}/c^2$ το καθένα. Σε μία τέτοια διάσπαση, παρατηρήθηκε ότι ως προς το σύστημα αναφοράς του εργαστηρίου, τα σωματίδια εκπέμπονται ακριβώς στη διεύθυνση και φορά κίνησης του αρχικού σωματιδίου. Να βρεθεί η ορμή των σωματιδίων προϊόντων της διάσπασης ως προς το σύστημα αναφοράς του εργαστηρίου.

9. Ποια είναι η ελάχιστη ορμή μιας δέσμης πρωτονίων που απαιτείται ώστε όταν προσπέσει σε στόχο υγρού υδρογόνου να μπορεί να προκαλέσει τις ακόλουθες δύο διασπάσεις: $pp \rightarrow np\pi^+$ και $pp \rightarrow pppp$. Δίνεται ότι η μάζα ηρεμίας του νετρονίου είναι $939.6 \text{ MeV}/c^2$ και η μάζα του πιονίου, π^+ , είναι $139.6 \text{ MeV}/c^2$.
10. (α) Αποδείξτε τις σχέσεις που δίνουν την ενέργεια κέντρου μάζας για τις περιπτώσεις ενός επιταχυντή και δέσμης-σταθερού στόχου. Θα πρέπει να λάβετε υπόψιν σας τις μάζες των συγκρουόμενων σωματιδίων.
- (β) Δυο σχετικά πρόσφατα πειράματα, το BaBar στο SLAC των ΗΠΑ και το Belle στο KEK της Ιαπωνίας, μελετούσαν B^0 -μεσόνια ($m_{B^0} = 5.28 \text{ GeV}/c^2$) που παράγονταν σε διασπάσεις $Y(4S)$ μέσω της διαδικασίας $e^+e^- \rightarrow Y(4S) \rightarrow B^0\bar{B}^0$. Οι δυο επιταχυντές λειτουργούσαν σε ενέργεια κέντρου μάζας $E_{CM} = M_{Y(4S)} = 10.58 \text{ GeV}/c^2$. Το κέντρο μάζας είναι προωθημένο ώστε να κάνει τους χρόνους ζωής μετρήσιμους.
- (i) Για μια ώθηση $\beta\gamma = 0.56$, προσδιορίστε τις απαιτούμενες ενέργειες των e^+ και e^- των δυο δεσμών.
- (ii) Προσδιορίστε την μέση απόσταση μεταξύ του σημείου παραγωγής του B-μεσονίου και του σημείου διάσπασής του στο σύστημα αναφοράς του εργαστηρίου. Δίνεται ότι ο ιδιόχρονος του B^0 -μεσονίου είναι $\tau = 1.52 \text{ ps}$.
- (iii) Για την διάσπαση $B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ προσδιορίστε το εύρος των τιμών των ορμών των δύο πιονίων στο σύστημα του εργαστηρίου.