

## ΦΥΣ 331 – Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

### Εργασία 6<sup>η</sup>

Επιστροφή: Τρίτη 15.11.22

1. Υπολογίστε το μέσο αριθμό σωματιδίων που περιέχονται σε μια ηλεκτρομαγνητική καταιγίδα που δημιουργήσε ένα φωτόνιο ενέργειας 50 GeV που έχει διαπεράσει 10, 13 και 20cm σιδήρου.
2. Θεωρήστε ένα μαγνητικό φασματόμετρο το οποίο επιλέγει θετικά φορτισμένα σωματίδια ορμής  $p = 0.5 \text{ GeV} / c$  που περιέχονται σε δέσμη σωματιδίων που αποτελείται από  $\pi^+$  και  $K^+$ . Ο διαχωρισμός μεταξύ των δυο ειδών σωματιδίων γίνεται με την χρήση της τεχνικής του χρόνου πτήσης (Time of flight). Για τον σκοπό αυτό, δυο σπινθηριστές τοποθετούνται σε 3m απόσταση μεταξύ τους. Κάθε πλαστικός σπινθηριστής έχει πάχος  $\Delta x = 2 \text{ cm}$ , και πυκνότητα  $\rho = 1.03 \text{ g/cm}^3$  και μήκος ακτινοβολίας  $X_0 = 40 \text{ cm}$ . Προσδιορίστε:
  - (α) Τις ταχύτητες των  $\pi$  και  $K$ .
  - (β) Την ενέργεια που χάνεται στον πρώτο σπινθηριστή
  - (γ) Την μέση γωνία απόκλισης λόγω πολλαπλής σκέδασης Coulomb, για τα  $\pi^+$  και  $K^+$  μετά τον πρώτο ανιχνευτή.
3. Ποια είναι η μέση ενέργεια που χάνεται για ηλεκτρόνια ορμής 5 GeV/c και για μίονια της ίδιας ορμής 5 GeV/c που περνούν μέσω 10cm άνθρακα;
4. Στο πείραμα BaBar στο SLAC, υπάρχει ένας ανιχνευτής DIRC που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση φορτισμένων σωματιδίων βασιζόμενος στην ανακατασκευή των δακτυλίων Cherenkov που δημιουργούνται καθώς φορτισμένα σωματίδια διαπερνούν λεπτή ράβδο από quartz (γυαλί). Ο δείκτης διάθλασης του quartz είναι  $n = 1.2$ . Η διακριτική ικανότητα προσδιορισμού της γωνίας Cherenkov είναι  $\sigma(\theta_c) = 2.5 \text{ mrad}$ .
  - (α) Ποιά είναι η ελάχιστη ορμή που μπορεί να έχουν φορτισμένα καόνια ώστε να προκαλέσουν ακτινοβολία Cherenkov;
  - (β) Ποιά είναι η μέγιστη ορμή κάτω από την οποία ο ανιχνευτής DIRC μπορεί να διαχωρίσει με σημαντικότητα τουλάχιστον 3σ ένα  $\pi^+$  από ένα  $K^+$ ;
5. Ένα φορτισμένο σωματίδιο έχει ορμή 30 MeV/c και παρατηρείται ότι μπορεί να διαπεράσει γραφίτη (άνθρακα) πάχους 1.0cm. Εξηγήστε τί είδους σωματίδιο μπορεί να είναι.
6. Στο πείραμα Zeus στον επιταχυντή DORIS στο εργαστήριο DESY στο Αμβούργο της Γερμανίας, χρησιμοποιήθηκε ένα ηλεκτρομαγνητικό καλορίμετρο δειγματοληψίας το οποίο αποτελούνταν από υγρό αργό,  $Ar$ , σαν ενεργό υλικό μέσα στο οποίο ήταν εμβαπτισμένες πλάκες σιδήρου,  $Fe$ , πάχους 1.5mm και σε απόσταση 2.0mm η μία από την άλλη. Οι τιμές ενέργειας ιονισμού που αντιστοιχούν σε σωματίδιο ελαχίστης ιονιστικής ικανότητας (MIP) είναι  $1.519 \text{ MeV} \cdot g^{-1} \cdot cm^2$  και  $1.451 \text{ MeV} \cdot g^{-1} \cdot cm^2$  για το υγρό  $Ar$ , και  $Fe$  αντίστοιχα. Η πυκνότητα του  $Ar$  είναι  $\rho^{Ar} = 1.396 \text{ g cm}^3$  και του σιδήρου  $\rho^{Fe} = 7.870 \text{ g cm}^3$ . Ο ατομικός αριθμός του σιδήρου είναι  $Z^{Fe} = 26$  και ο μαζικός αριθμός  $A^{Fe} = 55.85$  ενώ το μήκος ακτινοβολίας είναι  $X_0^{Fe} = 1.76 \text{ cm}$ .
  - (α) Υπολογίστε το λόγο δειγματοληψίας για το καλορίμετρο αυτό. Υποθέστε ούτε κατά την εκδήλωση της ηλεκτρομαγνητικής καταιγίδας όλα τα φορτισμένα σωματίδια συμπεριφέρονται

σαν σωματίδια ελάχιστης ιονιστικής ικανότητας και να υπολογίσετε τις απώλειες ενέργειας χρησιμοποιώντας την εξίσωση Beth-Block.

(β) Υπολογίστε την κριτική ενέργεια,  $E_C$ , για τον απορροφητή του καλορίμετρου.

(γ) Να εκτιμήσετε τις τιμές του στοχαστικού όρου της διακριτικής ικανότητας ενέργειας του καλορίμετρου αν η διόρθωση λόγω της ενέργειας αποκοπής είναι  $F = 0.869$ .

(δ) Υπολογίστε τον αριθμό των στοιχείων του δειγματοληπτικού καλορίμετρου (τον αριθμό των ζευγών ενεργού και απορροφητικού υλικού) το οποίο απαιτείται ώστε να περιέχεται το 95% των καταιγίδων που προκαλούνται από ηλεκτρόνια ενέργειας 30 GeV.

(ε) Υποθέστε ότι ηλεκτρόνια προσπίπτουν στο καλορίμετρο. Καθώς τα ηλεκτρόνια χτυπούν το μπροστινό μέρος του καλορίμετρου θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν φαινόμενα που σχετίζονται με το εγκάρσιο προφίλ του ανιχνευτή. Δηλαδή λανθασμένη εκτίμηση της ενέργειας επειδή σε κάποια ηλεκτρόνια η καταιγίδα διαφεύγει από τον ανιχνευτή λόγω της εγκάρσιας έκτασής της. Υποθέτοντας ότι το σημείο πρόσκρουσης του ηλεκτρονίου στην επιφάνεια του καλορίμετρου είναι γνωστό με πολύ καλή ακρίβεια, πόσο μακριά από τις άκρες του καλορίμετρου θα πρέπει να βρίσκεται ώστε το 95% της καταιγίδας στην εγκάρσια διεύθυνσή να περιέχεται στον καλορίμετρο.

7. Ένας θάλαμος ιονισμού είναι κατασκευασμένος σε μορφή κύβου ακμής 1 μέτρου και είναι γεμάτος με αέριο Ξένο ( $Xe$ ) σε συνθήκες κανονικής θερμοκρασίας και πίεσης. Να βρεθεί το ρεύμα το οποίο παράγεται καθώς κοσμική ακτινοβολία περνά μέσα από τον θάλαμο αυτό. Μπορείτε να θεωρήσετε ότι η κοσμική ακτινοβολία αποτελείται από μονιά ενέργειας 1 GeV τα οποία εισέρχονται στον ανιχνευτή κάθετα με ροή 1 μόνια  $cm^{-2} min^{-1}$ . Συγκρίνετε το ρεύμα με αυτό που παράγεται από μία δέσμη πρωτονίων ενέργειας 100 GeV που προσπίπτει στον θάλαμο κινούμενη στην οριζόντια διεύθυνση. Θεωρήστε ότι η δέσμη έχει διάμετρο 1.0cm και ροή 1013 πρωτόνια/sec.