Επιταχυντές & Ανιχνευτές στην Πυρηνική και Σωματιδιακή Φυσική

8ο Εξάμηνο, Ακαδημαϊκό έτος 2017 – 2018

Ασκήσεις - Ομάδα 1:
Ανιχνευτές - Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας ύλης και ταυτοποίηση σωματιδίων.

Άσκηση 1.1
dE/dx και "ελάχιστα ιονιστικά" σωματίδια (minimum ionizing particles)

Η ελάχιστη απώλεια ενέργειας ανά μονάδα μήκους (dE/dx) λόγω ιονισμών για ενα φορτισμένου σωματιδίο, συμβαίνει όταν περίπου βγ = 3, όπου β είναι η ταχύτητα του σωματιδίου (σε μονάδες και της ταχύτητας του φωτός) και γ είναι το σχετιστικό $\gamma^2 = 1/(1-\beta^2)$.

α) Πόση ορμή και πόση ενέργεια έχει ένα μιόνιο με βγ=3 ;

β) Η ελάχιστη απώλεια ενέργειας είναι περίπου: $\frac{1}{\rho}\frac{dE}{dx} \simeq 1.4\, MeV\, cm^2/g$

όπου ρ είναι η πυκνότητα του υλικού που διασχίζει το μιόνιο.
Πόση ενέργεια χάνει ένα μιόνιο που είναι "ελάχιστα ιονισιτικό" όταν διασχίζει 10cm σίδερο;
(Δίνονται: $\rho = 7.97\ g/cm^3$, μάζα μιονίου = 105 MeV/c^2).

Άσκηση 1.2
dE/dx για ταυτοποίηση σωματιδίων

Θεωρείστε ότι η απώλεια ενέργειας λόγω ιονισμών όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο περνάει μέσα από την ύλη μπορεί να δοθεί στην απλοποιημένη της μορφή από την ακόλουθη σχέση:
ίας

$$\frac{dE}{dx} \propto \frac{1}{\beta^2} \cdot \ln\left(\beta^2 \gamma^2\right)$$

Με βάση αυτή τη σχέση, υπολογίστε το λόγο της απώλειας ενέργειας για πιόνια και καόνια που έχουν και τα δύο ορμή p= 5 GeV/c :

$$\frac{\frac{dE}{dx}\Big|_{\pi}}{\frac{dE}{dx}\Big|_{K}}$$

Η διαφορά αυτή στο dE/dx μπορεί μας βοηθήσει να ταυτοποιήσουμε σαν πιόνιο ή καόνιο ένα σωματίδιο για το οποίο μετρήσαμε ότι έχει ορμή 5 GeV/c .

(Δίνονται: μάζα πιονίου = 140 MeV/c^2 , μάζα καονίου = 490 MeV/c^2)

Άσκηση 1.3
Ακτινοβολία Cηerenkov

α) Ποιά είναι η ελάχιστη ορμή που πρέπει να έχει ένα πιόνιο, ένα καόνιο και ένα πρωτόνιο για να δώσουν ακτονοβολία Cerenkov στα εξής δύο υλικα;
i) $PbWO_4$ (n=2.20) και ii) αέριο $C_5 F_{12}$ (n=1.0018) ;

β) Αν έχετε μετρήσει ορμή 3 GeV/c για ένα σωματίδιο και παρατηρείτε ότι στο αέριο $C_5 F_{12}$ αυτό το σωματίδιο δίνει ακτινοβολία Cerenkov, ποιό από τα τρία σωματίδια (πιόνιο, καόνιο ή πρωτόνιο) νομίζετε ότι είναι;

γ) Σε ποιά γωνία σε σχέση με την κατεύθυνση του σωματιδίου εκπέμπετει η ακτινοβολία Cerenkov;

(Δίνονται οι μάζες,
πιονίου: 140 MeV/c^2, καονίου:490 MeV/c^2 , πρωτονίου: 938 MeV/c^2)

Άσκηση 1.4
Χρόνος πτήσης για ταυτοποίηση σωματιδίων

Δύο σωματίδια μάζας m_1 και m_2, που έχουν την ίδια ορμή, p, περνάνε διαμέσω δύο σπινθηριστων που βρίσκονται σε απόσταση L μεταξύ τους. Θεωρήστε ότι κατά τη διέλευση των σωματιδίων, οι δύο σπινθιριστές δίνουν σήματα που η χρονική τους διαφορά δίνει χρόνους πτήσης t_1 και t_2, για τα σωματίδια m_1 και m_2, αντίστοιχα.

α) Δείξτε ότι αν η ορμή p είναι αρκετά μεγαλύτερη από τη μάζα του σωματιδίου, τότε η διαφορά στους χρόνους πτήσης, $\Delta t = | t_1 - t_2 |$, μειώνεται με την ορμή, p, και μάλιστα είναι ανάλογη του $1/p^2$
Σημείωση: Χρησιμοποιηστε οτι η ορμη ειναι πολυ μεγαλυτερη απο τη μαζα , μονο στο αθροισμα των χρονων, και οχι στη διαφορα τους.

β) Αν οι σπινθηριστές μετράνε τους χρόνους πτήσης με ακρίβεια 200 ps , πόση είναι η ελάχιστη απόσταση που πρέπει να έχουν οι δύο σπινθηριστές για να διακρίνουν ένα πιόνιο από ένα καόνιο που έχουν ορμή 3 GeV/c .

(Θεωρήστε ότι η ορμή των 3 GeV είναι πολύ μεγαλύτερη από τις μάζες, που δίνονται ως: μάζα πιονίου = 140 MeV/c^2, μάζα καονίου = 490 MeV/c^2).

****** 2 ακόμα ασκήσεις στην επομενη σελίδα →**

Άσκηση 1.5
Πολλαπλές σκεδάσεις και radiation length

Μπορούμε να εκτιμήσουμε το πάχος L ενός υλικού, σε μονάδες radiation length (X_0) , δηλαδή να εκτιμήσουμε το λόγο L/X_0 , περνώντας σωματίδια γνωστής ορμής μέσα από το υλικό και μετρώντας τη γωνία απόκλισης σε δύο διαστάσεις, Θp . Φτιάχνοντας την κατανομή αυτών των γωνιών Θp μετράμε την τυπική τους απόκλιση, σ(Θp) η οποία ξέρουμε ότι πρέπει να είναι:

$$\approx \frac{13.6MeV}{\beta pc} Z_{inc} \sqrt{\frac{L}{X_0}}$$

α) Οπότε, αν έχουμε μιόνια με p= 1 GeV, που περνάνε μέσα από σίδηρο (Fe, Z=28) πάχους L , και μετράμε σ(Θp) = 1 mrad (mili-rad), πόσο πάχος έχει το κομμάτι σιδήρου; Βρείτε το σε μονάδες radiation length (δηλ. βρείτε το L/X_0) και μετά, βρίσκοντας στη βιβλιογραφία την τιμή του για το σίδηρο , δώστε το πάχος L σε cm.
β) Αν μέσα από το υλικό αυτό, με το πάχος που βρήκατε παραπάνω, περάσουν ηλεκτρόνια, e, τα οποία έχουν ενέργεια 1 GeV όταν εισέρχονται στο υλικό, με πόση ενέργεια θα εξέρχονται αυτά κατά μέσο όρο;
(Δίνονται οι μάζες, ηλεκτρονίου: 0.511 MeV/c^2, μιονίου: 105 MeV/c^2)

Άσκηση 1.6
Μέτρηση ορμής και ακρίβεια μέτρησης μάζας

Ας πούμε ότι ένα σωματίδιο J/ψ (είναι ένα σωματίδιο με δύο ονόματα) το οποίο διασπάται σε δύο μιόνια , ένα θετικό και ένα αρνητικό (J/ψ → μ+ μ-). Θεωρήστε ότι το J/ψ διασπάται σε ηρεμία (δηλ, είναι ακίνητο, δηλ, έχει ορμή μηδέν), και ότι το επίπεδο κίνησης των παραγόμενων μιονίων είναι κάθετο στο μαγνητικό πεδίο B όπου κινούνται και όπου μετράμε την ορμή τους. Αν μετράμε τις ορμές των δύο μιονίων με ακρίβεια:

$$\sigma(p_T)/p_T = 5\cdot 10^{-4}\, p_T \oplus 0.01$$

όπου η ορμή p_T εναι η ορμή σε GeV/c, και το γάφουμε p_T [GeV] : αυτό είναι ο καθαρός αριθμός που δίνει την ορμή σε GeV/c ή σε GeV αφού ακολουθούμε τη σύμβαση c=1. Δηλ, αν p_T = 1.5 GeV , τότε στον πιό πάνω τύπο βάζετε p_T = 1.5. Επίσης, το σύμβολο της πρόσθεσης σε κύκλο, σημαίνει άθροισμα των τετραγώνων και μετά υπολογισμός της τετραγωνικής ρίζας του αθροίσματος (στα αγγλικά το ονομάζουμε "quadradure sum") .
α) *Γνωρίζοντας τη μάζα του J/ψ* , υπολγίστε πόση ορμή θα έχει το κάθε μιόνιο.
β) Με τί ακρίβεια μετράτε τις ορμές τους;
γ) Αν μετράγατε ακριβώς αυτές τις ορμές και γνωρίζοντας την ακρίβειά τους, *τί μάζα θα υπολογίζατε από αυτές τις μετρήσεις για το πατρικό J/ψ* , και τι ακρίβεια θα δίνατε το αποτέλεσμα της μέτρησής σας; Π.χ., (3.1 +- 0.2) GeV/c^2
δ) Αν είχατε διπλάσιο μαγνητικό πεδίο, πώς θα επηρεαζόταν η μέτρησή σας;
(Δίνονται οι μάζες, J/ψ: 3.1 GeV/c^2, μιονίου: 105 MeV/c^2)