

Επιταχυντές & Ανιχνευτές στην Πυρηνική και Σωματιδιακή Φυσική 8ο Εξάμηνο, Ακαδημαϊκό έτος 2015 – 2016

Ασκήσεις - Ομάδα 3:

Ανιχνευτές - Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας ύλης και ταυτοποίηση σωματιδίων.

Άσκηση 3.1

dE/dx και “ελάχιστα ιονιστικά” σωματίδια (minimum ionizing particles)

Η ελάχιστη απώλεια ενέργειας ανά μονάδα μήκους (dE/dx) λόγω ιονισμών για ένα φορτισμένο σωματίδιο, συμβαίνει όταν περίπου $\beta\gamma = 3$, 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 μόνιο με $\beta\gamma=3$;

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

όπου ρ είναι η πυκνότητα του υλικού που διασχίζει το μόνιο.

Πόση ενέργεια χάνει ένα μόνιο που είναι “ελάχιστα ιονιστικό” όταν διασχίζει 10cm σίδηρο;

(Δίνονται: $\rho = 7.97 \text{ g/cm}^3$, μάζα μιονίου = $105 \text{ MeV}/c^2$).

Άσκηση 3.2

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:

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

Με βάση αυτή τη σχέση, υπολογίστε το λόγο της απώλειας ενέργειας για πόνια και καόνια που έχουν και τα δύο ορμή $p = 5 \text{ GeV}/c$:

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

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

(Δίνονται: μάζα πιονίου = $140 \text{ MeV}/c^2$, μάζα καονίου = $490 \text{ MeV}/c^2$)

Άσκηση 3.3

Ακτινοβολία Cerenkov

α) Ποιά είναι η ελάχιστη ορμή που πρέπει να έχει ένα πιόνιο, ένα καόνιο και ένα πρωτόνιο για να δώσουν ακτινοβολία Cerenkov στα εξής δύο υλικά;

i) PbWO_4 ($n=2.20$) και ii) αέριο C_5F_{12} ($n=1.0018$);

β) Αν έχετε μετρήσει ορμή $3 \text{ GeV}/c$ για ένα σωματίδιο και παρατηρείτε ότι στο αέριο C_5F_{12} αυτό το σωματίδιο δίνει ακτινοβολία Cerenkov, ποιά από τα τρία σωματίδια (πιόνιο, καόνιο ή πρωτόνιο) νομίζετε ότι είναι;

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

(Δίνονται οι μάζες,

πιονίου: $140 \text{ MeV}/c^2$, καονίου: $490 \text{ MeV}/c^2$, πρωτονίου: $938 \text{ MeV}/c^2$)

Άσκηση 3.4

Χρόνος πτήσης για ταυτοποίηση σωματιδίων

Δύο σωματίδια μάζας m_1 και m_2 , που έχουν την ίδια ορμή, p , περνάνε διαμέσω δύο σπινθηριστών που βρίσκονται σε απόσταση L μεταξύ τους. Θεωρήστε ότι κατά τη διέλευση των σωματιδίων, οι δύο σπινθηριστές 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: Χρησιμοποιήστε ότι η ορμή είναι πολύ μεγαλύτερη από τη μάζα, μόνο στο αθροισμα των χρόνων, και όχι στη διαφορά 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 $3 \text{ GeV}/c$.

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