
Übung zur Kern- Teilchen- und Astrophysik I
Prof. Dr. S. Schönert, Prof. Dr. W. Hollik
Wintersemester 2013/14

Blatt Nr. 8

4. Dezember 2013

Aufgabe 1 : Cherenkov-Detektor

Ein geladenes Teilchen, das sich durch ein Medium mit einer Geschwindigkeit bewegt, die größer ist als die Lichtgeschwindigkeit in diesem Medium, erzeugt sogenannte Cherenkov-Strahlung. Diese Strahlung wird auf einem Kegelmantel ausgesandt.

- a. Berechnen sie die Schwelle in $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$, ab der die angegebenen Radiatormaterialien Cherenkov-Strahlung emittieren. Welchen Impulsen entspricht dies für geladene Pionen?

Medium	N ₂	C ₄ F ₁₀	Aerogel	Quarz	Wasser
Brechungsindex ($n-1$)	$2.98 \cdot 10^{-4}$	$1.53 \cdot 10^{-3}$	0.05	0.458	0.333

- b. Die Zahl der Cherenkov-Photonen mit einer Wellenlänge λ , die pro Längenintervall dx des Radiators von einem Teilchen mit Ladung z abgestrahlt werden (mit Feinstrukturkonstante α) ist:

$$\frac{d^2N}{d\lambda dx} = \frac{2\pi z^2 \alpha}{\lambda^2} \left(1 - \frac{1}{\beta^2 n^2(\lambda)} \right)$$

Schätzen sie ab, wieviele Photonen pro cm Radiatordicke Wasser in einem Wellenlängenbereich von 100 - 1000 nm, in dem sie den Brechungsindex als konstant annehmen, von Myonen mit ~ 10 GeV/c erzeugt werden? Vergleichen sie grössenordnungsmässig den Energieverlust aufgrund von Cherenkovstrahlung mit dem Energieverlust aufgrund von Ionisation (Bethe-Bloch-Formel).

- c. In einem Schwellencherenkovzähler werden Teilchenarten unterschieden, indem der Brechungsindex so gewählt wird, z.B. über Materialwahl oder Gasdruck, dass bei einem gegebenen Impuls eine Teilchensorte Licht erzeugt, die Andere aber nicht. Bestimmen sie die optimalen Brechungsindizes, um bei 10 GeV/c Teilchenimpuls Pionen von Kaonen bzw. Kaonen von Protonen trennen zu können ($m_{\pi^\pm} = 139.6$ MeV/ c^2 , $m_{K^\pm} = 439.7$ MeV/ c^2 und $m_p = 938.27$ MeV/ c^2).

Aufgabe 2 : Szintillationsdetektor

In einem organischen Szintillator werden beim Durchgang eines geladenen Teilchens pro MeV deponierter Energie etwa 10000 Photonen im sichtbaren Bereich emittiert. Die Photonen können mit einem Photomultiplier (PMT) detektiert werden. Nehmen Sie an, dass 20 % der Photonen zum PMT gelangen (Verluste durch geometr. Anordnung, Absorption). Die Wahrscheinlichkeit, dass ein auf die Photokathode treffendes Photon dort ein Elektron auslöst beträgt etwa 25 %.

Die erzeugten Photoelektronen werden vervielfacht (typischerweise Faktor 10^6) und das so entstandene Ladungssignal ausgelesen.

- a. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass bei 5 gleichzeitig auf die Photokathode treffenden Photonen i) kein, ii) genau ein Photoelektron erzeugt wird?
- b. Wie dick muss das Szintillatormaterial gewählt werden, damit ein durchfliegendes minimalionisierendes Teilchen mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 99 % nachgewiesen wird?

Aufgabe 3 : Teilchendetektoren

In einem Plastik-Szintillator werden etwa $100 \sim \text{eV}$ Energieverlust eines durchlaufenden Teilchens benötigt, um ein Photon im sichtbaren Bereich zu erzeugen, wobei allerdings nur ca. 2% der Photonen in einem angeschlossenen Photomultiplier nachgewiesen werden. In einer Silizium-Halbleiterdiode werden ca. 3.6 eV benötigt, um ein Elektron-Loch-Paar zu erzeugen, in einem Gas (z.B. Argon) erfordert eine Ionisation etwa 20-30 eV (für Argon 26 eV).

- Wie groß ist jeweils die relative Energieauflösung $\sigma(\Delta E)/\Delta E$ für Energieverluste ΔE von 1 MeV?
Hinweis: Poisson-Statistik
- Wie dick müssen die jeweiligen Detektoren etwa sein, um für minimalionisierende Protonen ($\gamma \approx 3.16$) Energieverluste ΔE von 1 MeV zu messen? Nehmen sie dabei an, dass $B = m_e c^2 / I = 10^5$ (I Ionisierungsenergie) ist und alle drei Materialien gleiches Proton zu Neutron Verhältnis von 1 haben.
Hinweis: Dichten sind für Plastik-Szintillatoren 1 g/cm^3 , Silizium 2.33 g/cm^3 und Gase $1-3 \text{ mg/cm}^3$ bei typischen Drücken in Detektoren (Argon : 1.8 mg/cm^3).
- Wie dick müssen die jeweiligen Detektoren sein um eine Energieauflösung von $\frac{\sigma(\Delta E)}{\Delta E} = 1\%$ zu erreichen.

Aufgabe 4

Bei einer Ganzkörper-Röntgenbestrahlung mit 50 keV-Röntgenquanten erhält ein Patient (75 kg) die Äquivalentdosis 0.2 mSv.

- Wie viele Röntgenquanten wurden in seinem Körper absorbiert?
- Wie groß war die Flussdichte der einfallenden Röntgenstrahlung bei einer Bestrahlungszeit von 1 s, wenn die bestrahlte Fläche 0.1 m^2 war und 50% der Röntgenquanten absorbiert wurden.