
Übung zur Kern- Teilchen- und Astrophysik I
Prof. Dr. S. Schönert, Prof. Dr. W. Hollik
Wintersemester 2012/13

Blatt Nr. 7

28. November 2012

Aufgabe 1 : Wirkungsquerschnitt

- a. Bei einem Fixed-Target-Experiment treffen 10^6 Protonen pro Zeiteinheit, mit 600 MeV Energie auf eine 1 mm dünne Bleiplatte. Wie groß ist der Wirkungsquerschnitt für die Erzeugung von Pionen, wenn dabei 130 π^- beobachtet werden.
- b. Die Luminosität des LHC beträgt $10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Der veranschlagte Wirkungsquerschnitt für die Erzeugung des Higgs-Bosons und den anschließenden Zerfall in zwei γ beträgt 50 fb. Wieviele dieser Events können dabei pro Sekunde erwartet werden? Wie lange muss man auf das erste Higgs-Boson warten?

Aufgabe 2 Energieverlust geladener Teilchen in Materie

Geladene Teilchen werden in Materie durch Stöße mit Elektronen und Kernen abgebremst. Ein schweres Teilchen der Ladung $z \cdot e$ und der Masse M fliegt mit der Geschwindigkeit $v (\ll c)$ im Abstand b an einem Elektron vorbei.

- a. Berechnen Sie den Energieübertrag auf das Elektron.
- b. Bestimmen Sie den durchschnittlichen Energieverlust des schweren Teilchens in Materie mit der Elektronendichte N_e . Integrieren Sie dafür den Energieverlust über den Abstand von b_{min} bis b_{max} .
- c. Schätzen Sie Werte für b_{min} und b_{max} ab, und berechnen Sie so den Energieverlust eines schweren, nichtrelativistischen Teilchens in Materie. (Hinweis: b_{min} erhält man aus der Unschärferelektion, b_{max} aus der Annahme, dass die Dauer der Wechselwirkung gleich der Umlaufdauer des Elektrons um den Atomkern ist.
- d. Die genauere quantenmechanische Rechnung führt zur Bethe-Bloch-Gleichung

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{e^4 N_e z^2}{4\pi \epsilon_0^2 m_e v^2} \cdot \left(\ln \frac{2m_e v^2}{I} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right)$$

(I ist das mittlere Ionisationspotential, näherungsweise gilt: $I = 16 \cdot Z^{0.9}$ eV .) Zeigen Sie, dass der Energieverlust dE/dx bei β_{min} ein Minimum besitzt, und schätzen Sie die Lage dieses Minimums ab.

Aufgabe 3 : Čerenkov-Detektor

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

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

- a. Berechnen sie die Schwelle in $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$, ab der die angegebenen Radiatormaterialien Čerenkov-Strahlung emittieren. Welchen Impulsen entspricht dies für geladene Pionen?
- b. Die Zahl der Čerenkov-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 Čerenkovstrahlung mit dem Energieverlust aufgrund von Ionisation (Bethe-Bloch-Formel).

- c. In einem Schwellenčerenkovzähler 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).