

Experimentalphysik Vb (Teilchen- und Astrophysik)

Übung 02

Aufgabe 1 *Mandelstam-Variablen* (5 Punkte)

Zeigen Sie, dass für die elastische Streuung von identischen Teilchen $A + A \rightarrow A + A$ gilt:

$$\begin{aligned}s &= 4(\vec{p}^2 + m^2) \\ t &= -2\vec{p}^2(1 - \cos \theta) \\ u &= -2\vec{p}^2(1 + \cos \theta).\end{aligned}$$

Dabei sind \vec{p} der Impuls des einfallenden Teilchens im Schwerpunktsystem, m die Masse des Teilchens und θ der Streuwinkel.

Aufgabe 2 *Linearbeschleuniger und Zyklotron* (4+4=8 Punkte)

Protonen sollen auf eine kinetische Energie von $E_{\text{kin}} = 20 \text{ MeV}$ beschleunigt werden. Dazu steht eine hochfrequente Wechselspannung $U(t) = U_0 \sin \omega t$ mit $U_0 = 200 \text{ kV}$ und $\omega/2\pi = f = 20 \text{ MHz}$ zur Verfügung.

- Wie viele Driftröhren werden für einen Linearbeschleuniger benötigt? Wie groß müssen die Rohrlängen L_k des Linearbeschleunigers sein? Wie lang ist der gesamte Beschleuniger?
- Wie viele Umläufe werden in einem Zyklotron benötigt? Wie stark muss das Magnetfeld B sein? Welchen Durchmesser hat das Zyklotron?

Hinweise: Die Beschleunigung soll jeweils auf den Maxima des Absolutwerts der Wechselspannung stattfinden. Rechnen Sie nicht-relativistisch ($E_{\text{kin}} \ll m_p!$).

Aufgabe 3 *Luminosität* (1+1+1=3 Punkte)

- Berechnen Sie die instantane Luminosität in $1/(\text{cm}^2 \text{ s})$ und $1/(\text{nb s})$ des LHC (Umfang $26,695 \text{ km}$) mit den Parametern:

$$n_B = 2808, \quad N_1 = N_2 = 115 \cdot 10^9, \quad \sigma_x = \sigma_y = 15 \text{ } \mu\text{m}.$$

- Berechnen Sie die integrierte Luminosität in $1/\text{fb}$ über eine Betriebszeit von 6 Monaten mit jeweils durchschnittlich 30 Tagen unter der Annahme, dass die mittlere Effizienz des Beschleunigers etwa 25 % beträgt.

- c. Der Produktionswirkungsquerschnitt für das Higgs-Boson beträgt bei LHC $\sigma(pp \rightarrow H + X) \simeq 20 \text{ pb}$. Wie viele Higgs-Bosonen werden an einem der Wechselwirkungspunkte des LHCs in 6 Monaten produziert?

Aufgabe 4 *Ionisationsverluste*

(5+2+2=9 Punkte)

- a. Plotten Sie (z.B. mit `matplotlib`) den Ionisationsverlust (in MeV) von Myonen, Pionen, Kaonen, Protonen und α -Teilchen in 1 cm dickem Polystyrene-Szintillator ($[\text{C}_6\text{H}_5\text{CHCH}_2]_n$) als Funktion des Impulses. Wählen Sie eine geeignete Auftragung!

Der spezifische Energieverlust ist in erster Näherung und für nicht zu hohe Impulse gegeben durch

$$-\frac{dE}{dx} = K \rho z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left(\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 W_{\max}}{I^2} - \beta^2 \right)$$

Hierbei ist $K = 4\pi N_A r_e^2 m_e c^2 = 0,307 \text{ MeV g}^{-1} \text{ cm}^2$ und

$$W_{\max} = \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2}{1 + 2\gamma m_e/M + (m_e/M)^2}$$

ist der maximale Energieübertrag eines Teilchens der Masse M auf ein Elektron. Die Dichte von Polystyrene beträgt $\rho = 1,06 \text{ g/cm}^3$ und $\langle Z/A \rangle = 0,53768$, die mittlere Anregungsenergie ist $I = 68,7 \text{ eV}$.

- b. Bei welchem Impuls ist der mittlere Energieverlust von Pionen und Kaonen gleich?
- c. Welche Energie deponiert ein minimalionisierendes Teilchen im Mittel in 1 cm Szintillator?