

Übungsblatt 5

5.1 Čerenkov-Zähler (25 Punkte)

Schwellen-Čerenkov-Zähler verwendet man zur Teilchenidentifikation, indem man den Brechungsindex so wählt, dass eine Teilchensorte ein Signal auslöst, eine zweite aber nicht. In einem solchen Zähler werde Luft als Radiatormedium verwendet, dessen Brechungsindex n durch Variation des Drucks eingestellt werden kann.

- In welchem Bereich muss n liegen, um Pionen und Kaonen mit Impulsen zwischen 4 und 14 GeV/c zu trennen?
- $(n-1)$ ist proportional zur Dichte ρ des Gases. Der Brechungsindex von Luft bei Standardbedingungen beträgt $n_0 = 1.000292$. In welchem Bereich muss der Druck bei einer Umgebungstemperatur von 20°C liegen?

5.2 Compton-Streuung (25 Punkte)

Die kosmische Hintergrundstrahlung hat eine mittlere Photonenenergie von etwa 10^{-3} eV. Die Photonzahldichte beträgt $n \approx 300 \text{ cm}^{-3}$. Elektronen können durch Compton-Streuung mit diesen Photonen wechselwirken.

- Welche Energie muss ein Elektron beim Stoß mit einem Photon der Energie 10^{-3} eV mindestens besitzen, damit die Gesamtenergie im Schwerpunktsystem genau so groß ist wie beim Stoß eines 10 MeV Photons mit einem ruhenden Elektron?
- Wie groß ist die freie Weglänge des Elektrons λ in Lichtjahren? Verwenden Sie den Comptonwirkungsquerschnitt aus dem Skript zur Vorlesung.
- Vergleichen Sie λ mit der Größe des Universums.

5.3 Sampling Kalorimeter (25 Punkte)

Ein Sampling Kalorimeter besteht aus sich abwechselnden Schichten von Energie absorbierendem passiven Material (z.B. Blei) und aktivem Detektormaterial (z.B. Szintillator). Das Summensignal der aktiven Schichten ist proportional zur Energie des einfallenden Teilchens. Im Falle von Szintillator als aktivem Material hängt die Energieauflösung σ_E von den statistischen Fluktuationen der Anzahl der nachgewiesenen Photonen ($\propto \sqrt{E}$), der Kalibration ($\propto E$), sowie vom elektronischen Rauschen, das unabhängig von der Energie ist, ab. Letzteres soll im Folgenden vernachlässigt werden. Im ARGUS-Experiment bei DESY wurde ein solches Kalorimeter zum Nachweis von Elektronen und Photonen verwendet. Es hat eine Energieauflösung von

$$\frac{\sigma_E(E)}{E} = \sqrt{\frac{0.065^2}{E[\text{GeV}]} + 0.072^2}$$

und eine Winkelauflösung für die Flugrichtung eines auftreffenden Teilchens von $\sigma_\theta = 13$ mrad. Es sollen π^0 -Mesonen nachgewiesen werden, die über die invariante Masse der beiden Photonen aus dem Zerfall $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ identifiziert werden. Ein π^0 -Meson habe die Gesamtenergie $E_\pi = 1.5$ GeV, die Energien der beiden Photonen seien E_1 und E_2 und der Winkel zwischen den Photonen sei θ .

- Stellen Sie die invariante Masse des π^0 -Mesons als Funktion der Photonenergien E_1, E_2 und des Öffnungswinkels θ dar.
- Berechnen Sie θ für den symmetrischen Zerfall des Pions mit $E_1 = E_2$, sowie für den asymmetrischen Fall, bei dem E_1 gerade bei der Nachweisschwelle des Kalorimeters von 50 MeV liegt.
- Wie groß ist die Auflösung der invarianten Masse des $\gamma\gamma$ -Systems im symmetrischen und asymmetrischen Fall unter Berücksichtigung der Energie- und Winkelauflösung des Kalorimeters? Hinweis: Berechnen Sie zunächst die relative Auflösung für $m^2 \sigma_{m^2}/m^2$ und stellen Sie dann die Beziehung zwischen σ_m und σ_{m^2} her.

5.4 Vergleich von Kräften (25 Punkte)

Quarks tragen sowohl elektrische als auch Farbladungen. Die elektrische Potentialenergie $V_{Coulomb}$ zwischen zwei Quarks ist gegeben durch

$$\frac{V_{Coulomb}}{\hbar c} = -\frac{\alpha}{r} q_1^e q_2^e,$$

wobei $\alpha = 1/137$ die elektromagnetische Kopplungskonstante, r der Abstand zwischen den beiden Quarks und $q_{1/2}^e$ die Ladungen der Quarks, gemessen in Bruchteilen der Einheitsladung e , sind. Die Potentialenergie V_{color} , die auf dem Austausch von Gluonen zwischen zwei Quarks mit unterschiedlicher Farbladung beruht, hat die Form

$$\frac{V_{color}}{\hbar c} = -\frac{4}{3} \frac{\alpha_s}{r} + kr,$$

wobei $k = 4.31 \text{ fm}^{-2}$ ein empirischer Faktor ist, der die Stärke des Quarkconfinements bestimmt, $-4/3$ ist der Colorfaktor für zwei Quarks mit verschiedenen Farbladungen und α_s ist die Kopplungskonstante der starken Wechselwirkung.

- Berechnen Sie die Größe der beiden Kräfte zwischen zwei u -Quarks im Abstand von 1 fm in SI-Einheiten. Nehmen Sie $\alpha_s \sim 1$ an.
- Wie groß ist die Gravitationskraft bei diesem Abstand (u -Quarkmasse $m_u = 10 \text{ MeV}/c^2$)?