Übungen zur Vorlesung

Physik der Elementarteilchen

Wintersemester 2001/2002

Prof. Dr. K. Jakobs

Aufgabenblatt 1

Abgabe bis Montag, 12.11.2001, 12:00 (Briefkasten neben Zi. 03-318)

1. Ein Teilchen der Masse m bewege sich mit der Geschwindigkeit v im Laborsystem. Geben Sie den Zusammenhang zwischen β, γ und $\beta\gamma$ und dem Dreierimpuls $|\vec{p}|$ sowie der Gesamtenergie E an.

   (**3 Punkte**)

2. Myonen der Höhenstrahlung werden in einer Höhe von h=8000 m über dem Erdboden produziert, z.B. über den Zerfall $\pi^- \to \mu^- + \bar{\nu}_\mu$. Im folgenden soll angenommen werden, daß sie eine Geschwindigkeit von $v = 0.998\,c$ haben.

   (a) Welche mittlere Flugstrecke legt das Myon ohne relativistische Zeitdilatation zurück?

   (b) Beantworten Sie dieselbe Frage, indem Sie die relativistische Kinematik benutzen. Welcher Anteil der Myonen erreicht den Erdboden?

   (c) Versetzen Sie sich in die Lage des Myons. In seinem Bezugssystem lebt es nur $2.2 \times 10^{-6}\,$s. Wie erreicht es dann den Erdboden?

   (d) Wo kann man geladene Pionen nachweisen, wenn sie in ähnlicher Höhe ebenfalls mit einer Geschwindigkeit von $v = 0.998\,c$ produziert werden?

   (**4 Punkte**)

3. Ein Teilchenbeschleuniger erzeugt einen Strahl hochenergetischer geladener Pionen. An einer Stelle im Strahl werden N Pionen gezählt, 300 m weiter nur noch $N/3$ Pionen. Wie groß ist die Energie der Pionen ?

   (**3 Punkte**)

4. Am europäischen Forschungszentrum für Elementarteilchenphysik CERN in Genf wird der Proton-Proton-Collider LHC (*Large Hadron Collider*) gebaut. In diesem Speicherring werden zwei gegenläufige Protonenstrahlen mit einer Energie von 7 TeV umlaufen und an verschiedenen Wechselwirkungspunkten zur Kollision gebracht werden.

   (a) Bei der Reaktion $A+B = C+D$ ist die Energie, die zur Produktion der Teilchen C und D zur Verfügung steht, durch die *Schwerpunktsenergie* $\sqrt{s}$ mit $s = (p_A+p_B)^2$ gegeben (p_A und p_B sind Vierervektoren). Berechnen Sie die Schwerpunktsenergie bei LHC.

(b) Welche Energie müßte ein Protonenstrahl haben, um bei der Kollision mit ruhenden Protonen die gleiche Schwerpunktsenergie zu erreichen?

(4 Punkte)

5. In einer mit Argon gefüllten Driftkammer wird außer dem Teilchenimpuls auch 10 mal, auf einer Länge von 5 cm, der Energieverlust dE/dx gemessen.

$$\frac{dE}{dx} = 0.307 \cdot \frac{Z\,\rho}{A\,\beta^2} \cdot \left[\ln\left(\frac{2\,m_e\,c^2\,\gamma^2\,\beta^2}{I}\right) - \beta^2\right] \left[\frac{\mathrm{MeV}}{\mathrm{cm}}\right]$$

mit $Z = 18$, $A = 40$, $\rho = 1.78 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{g/cm^3}$, $I = 216\,\mathrm{eV}$.

Für zwei Teilchen, deren Impuls zu $0.8\,\mathrm{GeV/c}$ bestimmt wurde, findet man die Mittelwerte $(dE/dx)_1 = 2.82\,\mathrm{keV/cm}$ und $(dE/dx)_2 = 3.30\,\mathrm{keV/cm}$.
Man diskutiere folgende Hypothesen für die Teilchenidentität: Pion, Kaon, Proton

(a) Welches sind die wahrscheinlichsten Teilchenhypothesen?

(b) Wie groß ist die erwartete Fluktuation für das mittlere dE/dx, wenn der Energieverlust pro Ionisation $\epsilon = 30\,\mathrm{eV}$ beträgt?

(c) Ein Teilchen gelte als identifiziert, wenn der gemessen Energieverlust innerhalb von 3 Standardabweichungen mit dem theoretisch erwarteten Wert übereinstimmt. Zu welchen Teilchen passen demnach die obigen Messwerte?

(d) Welche Mehrdeutigkeiten treten in einer realen Driftkammer auf, die ein Auflösungsvermögen von 5% hat?

(5 Punkte)

Massen (m) und Lebensdauern (τ) der relevanten Teilchen:

- Myon: $m_\mu = 105.7\,\mathrm{MeV/c^2}$, $\tau_\mu = 2.2 \times 10^{-6}\,\mathrm{s}$
- geladenes Pion ($\pi^\pm$): $m_{\pi^\pm} = 139.6\,\mathrm{MeV/c^2}$, $\tau_{\pi^\pm} = 2.6 \times 10^{-8}\,\mathrm{s}$
- geladenes Kaon ($\mathrm{K}^\pm$): $m_{K^\pm} = 493.7\,\mathrm{MeV/c^2}$, $\tau_{\mathrm{K}^\pm} = 1.2 \times 10^{-8}\,\mathrm{s}$
- Proton: $m_p = 938.3\,\mathrm{MeV/c^2}$