

Hausübungen 3 zur Vorlesung „Kern- und Teilchenphysik“

Humboldt-Universität zu Berlin, WS 2009/2010,

Prof. Th. Lohse, U. Schwanke, O. M. Kind

Ausgabe: 26. Oktober 2009

Abgabe: 2. November 2009

Aufgabe 1: Teilchenidentifikation (60%)

Ein elektrisch einfach geladenes, unbekanntes Teilchen durchquert eine mit dem Edelgas Argon gefüllte Nachweiskammer. Eine Impulsmessung des Teilchens ergibt $p = 0,8 \text{ GeV}$. Zusätzlich zur Impulsmessung findet auch eine Messung des spezifischen Energieverlustes des Teilchens durch Ionisation des Argons statt. Der Energieverlust wird längs der Teilchenbahn in der Nachweiskammer 30 mal jeweils auf einer Strecke von $\Delta x = 5 \text{ cm}$ gemessen und ergibt einen Mittelwert von $\overline{dE/dx} = 3,291 \text{ keV/cm}$.

Eine Vorhersage des spezifischen Energieverlustes durch Ionisation läßt sich mit der Bethe-Bloch-Gleichung errechnen. Unter Vernachlässigung des Dichteeffektes lautet diese:

$$\frac{dE}{dx} = 0,307 \text{ MeV/cm} \cdot \frac{Z\rho}{A} \cdot \frac{1}{\beta^2} \left\{ \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2}{I} - \beta^2 \right\}.$$

Für Argon besitzen die Parameter folgende Werte: $Z = 18$; $A = 40 \text{ g/mol}$; $\rho = 1,78 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ sowie $I = 216 \text{ eV}$

Durch Vergleich der Vorhersage des spezifischen Energieverlusts für eine bestimmte Teilchensorte mit dem gemessenen Wert läßt sich eine Aussage über die Sorte des betreffenden Teilchens treffen.

- Geben Sie Vorhersagen für den spezifischen Energieverlust von Elektronen, Pionen, Kaonen und Protonen bei dem gemessenen Impuls an. Skizzieren Sie die Bethe-Bloch-Kurve als Funktion von $\log \beta\gamma$ im fraglichen Bereich, und tragen Sie die vier Teilchensorten in Ihre Skizze ein. Erläutern Sie den Begriff der „Minimalionisierung“.
- Für eine einzelne Ionisation des Argons werden $\epsilon = 30 \text{ eV}$ benötigt. Wie groß ist die zu erwartende Fluktuation der Messung um den Mittelwert $\overline{dE/dx}$?
- Ein Teilchen gilt als identifiziert, wenn der gemessene Energieverlust innerhalb von drei Standardabweichungen mit dem vorhergesagten Wert übereinstimmt. Welche Teilchensorte besitzt das gemessene Teilchen?

(bitte wenden)

Aufgabe 2: Zerfallsbreite des Z-Bosons (40%)

In den neunziger Jahre wurden am LEP-Speicherring des CERN die Eigenschaften des Z-Bosons präzise vermessen. Dazu wurden Z-Bosonen in e^+e^- -Kollisionen erzeugt und die Zerfallsprodukte der instabilen Z-Bosonen in Teilchendetektoren nachgewiesen. Die Zerfallsbreiten des Z-Bosons in Elektron-, Myon-, und Tau-Paare bzw. Hadronen und Neutrinos sind:

$\Gamma(e^+e^-)$	83,984 MeV
$\Gamma(\mu^+\mu^-)$	83,984 MeV
$\Gamma(\tau^+\tau^-)$	83,984 MeV
$\Gamma(\text{Hadronen})$	1744,4 MeV
$\Gamma(\text{Neutrinos})$	499,0 MeV

Alle weiteren Zerfallsbreiten können vernachlässigt werden.

- Berechnen Sie anhand der Tabelle die Lebensdauer des Z-Bosons und die Verzweigungsverhältnisse in die fünf angegebenen Kanäle. Welche Breite besitzt die gemessene Resonanzkurve, wenn man das Z nur über $\mu^+\mu^-$ -Zerfälle nachweist?
- Der Wirkungsquerschnitt für die Produktion von Hadronen aus Z-Zerfällen wurde (bei einer Schwerpunktsenergie, die der Z-Masse entspricht) zu 41,5 nb bestimmt. Berechnen Sie den totalen Wirkungsquerschnitt für Z-Produktion.
- Der LEP-Speicherring wurde mit einer Effizienz von 30% betrieben und erreichte eine Luminosität von etwa $2,4 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Berechnen Sie die Anzahl der in einem Jahr erzeugten Z-Teilchen. Ermitteln Sie mit Hilfe der Tabelle, wieviele Zerfälle in den fünf angegebenen Kanälen jeweils aufgetreten sind.