Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Sommersemester 2012

Experimentelle Methoden der Teilchenphysik

Markus Schumacher

Übungsblatt VIII

Martin Flechl, Anna Kopp, Stan Lai

29. Juni 2012

Anwesenheitsaufgaben

Aufgabe 37 *Teilchenidentifikation mittels Flugzeitmessung*

Zwei Teilchen mit Massen m_1 und m_2 ($m_1 > m_2$) und gemessenem gleichem Impuls $\vec{p_1} = \vec{p_2} = \vec{p}$ werden in einem Detektor nachgewiesen. Sie legen dabei eine Strecke L zwischen zwei Szintillationszählern zurück.

(a) Berechnen Sie die Zeitdifferenz des Nachweises auf der Strecke L (Flugzeitunterschied).

(b) In welchem Abstand L müssen die Szintillationszähler aufgestellt werden, damit geladene Pionen ($m_{\pi^\pm} = 140$ MeV) von geladenen Kaonen ($m_{K^\pm} = 494$ MeV) unterschieden werden können? Nehmen Sie dabei an, die Teilchen haben einen Impuls von 3 GeV. Die Apparatur erlaubt eine Unterscheidung zwischen zwei Teilchenarten, falls die Differenz der Flugzeiten größer als 200 ps ist.

(c) Zeigen Sie, dass für hohe Impulse ($|\vec{p}|^2 \gg m^2$) die Flugzeitdifferenz proportional zu $1/|\vec{p}|^2$ abnimmt.

Aufgabe 38 *Teilchenidentifkation mittels Messung der kinetischen Energie und des Impulses*

Sie haben einen Spurdetektor und ein Kalorimeter, um die kinetische Energie und den Impuls eines Pions gleichzeitig zu messen. Nehmen Sie an, dass die Auflösungen des Spurdetektors und des Kalorimeters gegeben sind durch:

$$\sigma_p/p = p \times 10^{-3}[\text{GeV}] \oplus 0.02$$

und

$$\sigma_{E_{kin}}/E_{kin} = 0.05/\sqrt{E_{kin}}[\text{GeV}] \oplus 0.01.$$

Nehmen Sie weiters an, dass die Unsicherheiten auf die Energie- und Impulsmessungen unkorreliert sind. Berechnen Sie die Massenauflösung für Pionen mit Impulsen 0.1 GeV, 1 GeV, und 10 GeV. Folgen Sie dabei diesen Schritten:

(a) Zeigen Sie, dass die folgende Gleichung gilt:

$$m = \frac{p^2 - E_{kin}^2}{2E_{kin}}.$$

Erinnern Sie sich, dass $E = E_{kin} + m$.

(b) Zeigen Sie, dass die Unsicherheit für die Massenmessung σ_m gegeben ist durch:

$$\sigma_m = \sqrt{\left(\frac{E_{kin}^2 + p^2}{2E_{kin}^2}\right)^2 \sigma_E^2 + \left(\frac{p}{E_{kin}}\right)^2 \sigma_p^2}.$$

(c) Berechnen Sie mit Hilfe dieses Ergebnisses die Unsicherheit der Massenmessung für die drei Pionenimpulse.

(d) Erläutern Sie, warum diese Methode für eine Massenmessung nicht gut geeignet für Teilchen mit höhen Impulsen ist.

Hausaufgaben

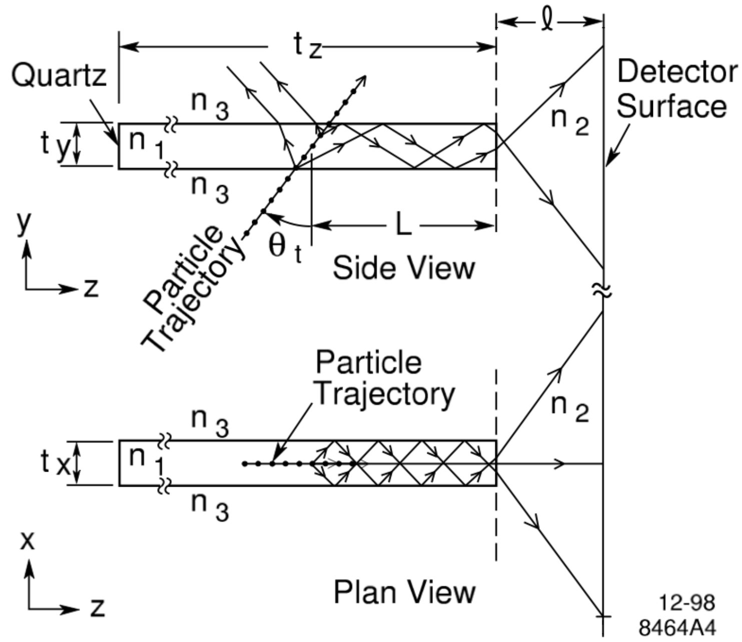
Aufgabe 39 *Teilchenidentifikation mittels Cherenkov-Detektoren* **7 Punkte**

Der Babar-Detektor am SLAC nutzt einen DIRC (Detection of Internally Reflected Cherenkov Light)-Detektor, um geladene Pionen ($m_{\pi^\pm} = 140$ MeV) und Kaonen ($m_{K^\pm} = 494$ MeV) unterscheiden zu können. Eine Darstellung des DIRC-Detektors ist unten abgebildet. Ein Teilchen, ein Medium mit einer Geschwindigkeit durchquert, die schneller ist als die Lichtgeschwindigkeit in diesem Medium (hier: Quarzglas mit einem Brechungsindex von $n_{dirc} = 1.473$), strahlt Cherenkov-Licht unter einem Winkel $\cos\theta_{cher} = \frac{1}{n_{dirc}\beta}$ ab, wobei β die Geschwindigkeit des Teilchens in natürlichen Einheiten ist. Das Cherenkov-Licht wird mittels Totalreflexion weitergeleitet und mit photosensitiven Detektoren nachgewiesen. Für die folgende Aufgaben, nehmen Sie an, dass Luft einen Brechungsindex von 1 besitzt.

(a) Zeigen Sie, dass für hochenergetische Teilchen ($\beta \simeq 1$) immer Totalreflexion stattfindet, und zwar für alle möglichen Einfallswinkel θ_t des Teilchens.

(b) Der DIRC Detektor besitzt eine gute Auflösung für den gemessenen Winkel θ_{cher}. Was für eine Auflösung ist nötig, um geladene Pionen und Kaonen zu unterscheiden (mit 5 Standardabweichungen), wenn die geladenen Pionen und Kaonen den Detektor senkrecht ($\theta_t = 0$ Grad) mit Impuls 2.5 GeV durchqueren?

(c) Nehmen Sie nun an, dass der Detektor genau diese Auflösung besitzt. Mit wie vielen Standardabweichungen kann man dann geladene Pionen und Kaonen mit einem Impuls von 4 GeV unterscheiden?



Aufgabe 40 *Teilchenidentifikation durch Energiemessungen* **9 Punkte**

Ein neutrales Pion ($m_{\pi^0} = 135$ MeV) zerfällt mit einem Verzweigungsverhältnis von 98.8% in zwei Photonen (d.h., jedes Pion zerfällt mit einer Wahrscheinlichkeit von 98.8% in zwei Photonen). η^0-Mesonen sind schwerer ($m_{\eta^0} = 548$ MeV) und können auch in zwei Photonen zerfallen, allerdings mit einem Verzweigungsverhältnis von 39%. Sie messen die Energien der Zerfallsprodukte (d.h. der Photonen) mit einem Kalorimeter mit der Auflösung:

$$\sigma_E/E = 0.05/\sqrt{E}[\text{GeV}] \oplus 0.01.$$

Nehmen Sie an, dass das Kalorimeter die Richtung der Photonen fehlerlos bestimmen kann.

(a) Falls das Pion und das η^0-Meson in Ruhe zerfallen: drücken Sie den Fehler auf die Masse des zerfallenden Teilchens σ_m in Abhängigkeit vom Fehler auf die Messung der beiden Photonenergien aus.

(b) Falls das Pion und das η^0-Meson in Ruhe zerfallen: welche Energien haben dann die Photonen im Kalorimeter? Wie groß ist der Fehler auf die Masse des zerfallenden Teilchens (π^0 und η^0)?

(c) Nehmen Sie jetzt an, dass die Richtung des Zerfalls der Photonen im Ruhesystem des jeweiligen Mesons senkrecht auf die Flugrichtung des Mesons im Laborsystem steht, Die Mesonen bewegen sich im Laborsystem mit einem Impuls von 0.5 GeV. Wie lauten die Vierer-Vektoren für die π^0- und η^0-Mesonen (im Laborsystem) in diesem Fall? Wie groß sind die Fehler auf die Massen der π^0- und η^0-Mesonen?

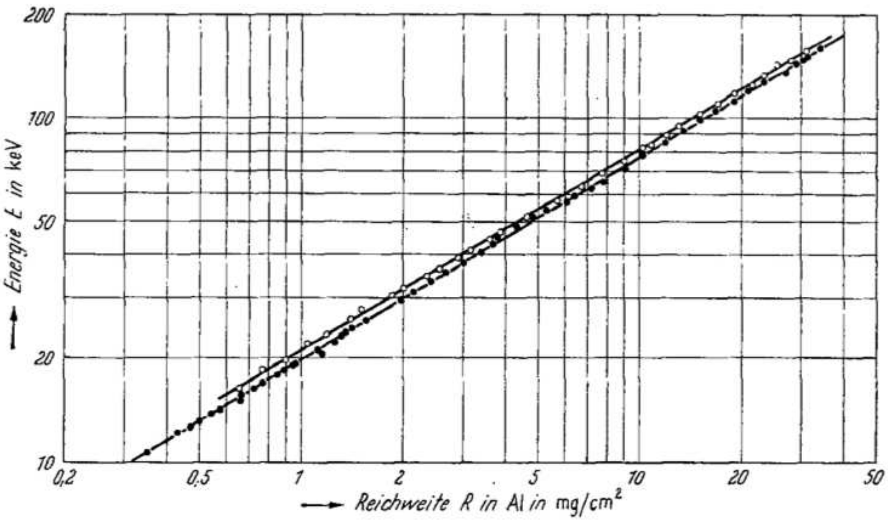
Aufgabe 41 *Elektromagnetischer Schauer II* **4 Punkte**

Erinnern Sie sich an die Gleichung für die Gesamtspurlänge geladener Teilchen in einem elektromagnetischen Schauer:

$$S = \left(\frac{4}{3}X_0 + \frac{2}{3}s_0\right)\frac{E_0}{E_c}. \tag{1}$$

Der erste Beitrag beschreibt die Spurlängen bis zum Schauermaximum, der zweite den von den geladenen Teilchen nach dem Schauermaximum. E_c ist die kritische Energie, X_0 die Strahlungslänge, s_0 die Reichweite von Elektronen bei der kritischen Energie.

Betrachten Sie ein Kalorimeter aus Aluminium (Strahlungslänge 24 g/cm^2, E_c = 47 MeV, Dichte 2.7 g/cm^3).



(a) Lesen Sie die Reichweite von Elektronen und Positronen aus der Abbildung ab. Wie groß ist die Gesamtspurlänge S aller Elektronen und Positronen im Schauer die durch ein 5 GeV-Photon verursacht werden?

(b) Nehmen Sie an, dass 300 Szintillationsphotonen pro Meter im Kalorimeter entstehen, und dass die Nachweiswahrscheinlichkeit der Photonen 100% ist. Wie lang muss das Kalorimeter sein, damit eine relative Energieauflösung von 5% erreicht wird?
Das heißt:

$$\sigma_E/E = 1/\sqrt{N_\gamma} < 5\%,$$

wobei N_γ der Anzahl der Szintillationsphotonen ist.