

Experimentelle Methoden der Teilchenphysik

Markus Schumacher

Übungsblatt II

Martin Flechl, Anna Kopp, Stan Lai

11. Mai 2012

Anwesenheitsaufgaben

Aufgabe 6 *Messungen mit geladenen Teilchen*

Wenn geladene Teilchen ein Gas durchqueren, ionisieren sie die Atome des Gases. Die Ionisation kann sichtbare Tröpfchen in einer Nebelkammer erzeugen, die verwendet werden können, um die Spur des Teilchens zu rekonstruieren. Falls der Gasdetektor innerhalb eines Magnetfeldes liegt, wird die Spur in eine Kreisbahn in der Ebene senkrecht zur Richtung des Feldes gebogen. Die Dichte der Tröpfchen kann eine Messung des Energieverlusts pro Längeneinheit des Teilchens im Gas ermöglichen.

- (i) Leiten Sie eine Gleichung her, die den Impuls und den Radius der Kreisbahn in Zusammenhang bringt. Erinnern Sie sich an die Lorentz-Gleichung:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

- (ii) Betrachten Sie Abbildung 1. Wie können gleichzeitige Messungen des Impulses und des spezifischen Energieverlustes (dE/dx) verwendet werden, um verschiedene Teilchen zu unterscheiden? Wie kann die Reichweite verwendet werden, um Teilchen zu unterscheiden?
- (iii) Betrachten Sie ein Teilchen mit einem Impuls von 10 GeV (bestimmt durch einen Spurdetektor mit perfekter Impulsauflösung), das Helium-Gas durchquert. Wie gut muss die absolute Auflösung der Energieverlustmessung sein, um Myonen von Protonen zu unterscheiden mit einem Abstand von 2 Standardabweichungen? Wie gut muss die absolute Auflösung sein, um Myonen von geladenen Pionen zu unterscheiden (mit einem Abstand von 2 Standardabweichungen)? Warum muss die Auflösung viel besser sein, um Myonen von Pionen zu unterscheiden?
- (iv) Muss die Auflösung einer Reichweitenmessung auch besser sein, um Myonen von Pionen zu unterscheiden (im Vergleich zu Myonen und Protonen)?

Aufgabe 7 *Vielfachstreuung in Aluminium*

- (i) Was ist die Standardabweichung (RMS) des Streuwinkels für ein Teilchen, das 1 mm Aluminium ($X_0^{Al} = 8.9$ cm) durchquert (abhängig von Teilchenimpuls und Ladung)?
- (ii) Schauen Sie den Detektoraufbau in Abbildung 2 an. Ein 500 MeV Pion durchquert 1 mm Aluminium (an der unbekannt Position x_0) und erfährt Vielfachstreuung um einen unbekannt Winkel θ . Eine Länge von $L = 6$ cm weiter weg kann ein Detektor die x Position des Pions genau messen. Was ist der Fehler auf die ursprüngliche Position des Pions (direkt vor der Wechselwirkung mit dem Aluminium)? Die ursprüngliche Richtung des Pions sei senkrecht zur x -Achse ($\theta = 0$).

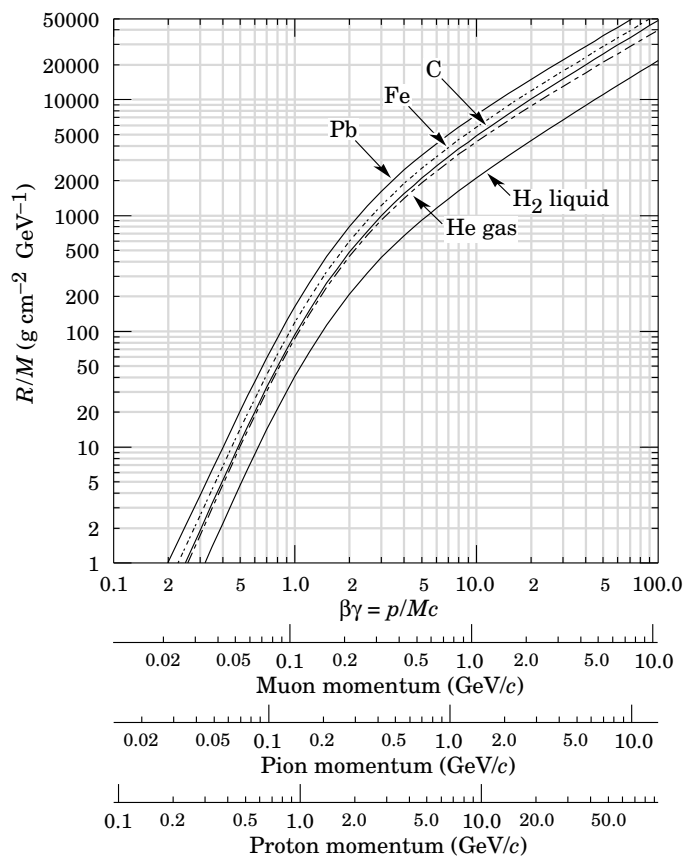
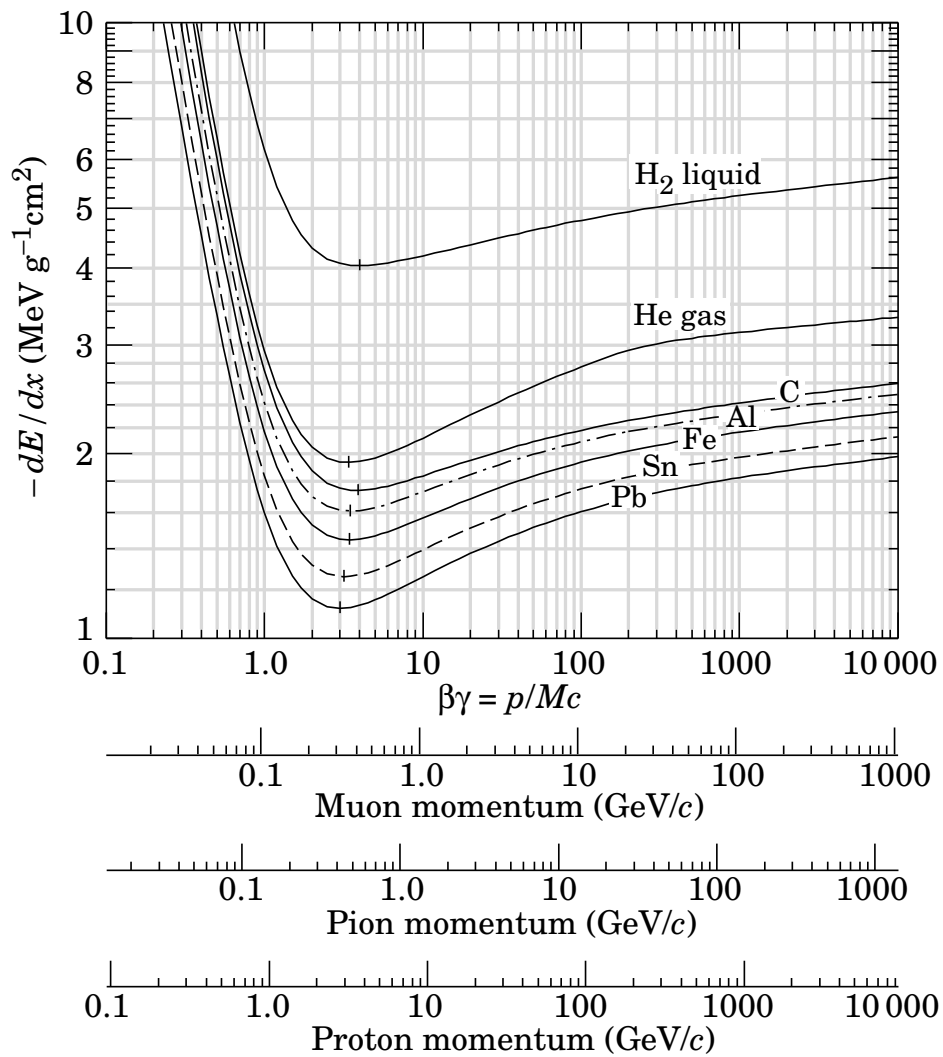


Figure 1: Oben: Spezifischer Energieverlust (dividiert durch die Dichte des Materials) für unterschiedliche Materialien als Funktion von $\beta\gamma$. Unten: Reichweite (multipliziert mit der Dichte des Materials und dividiert durch die Masse des Teilchens) für unterschiedliche Materialien als Funktion von $\beta\gamma$.

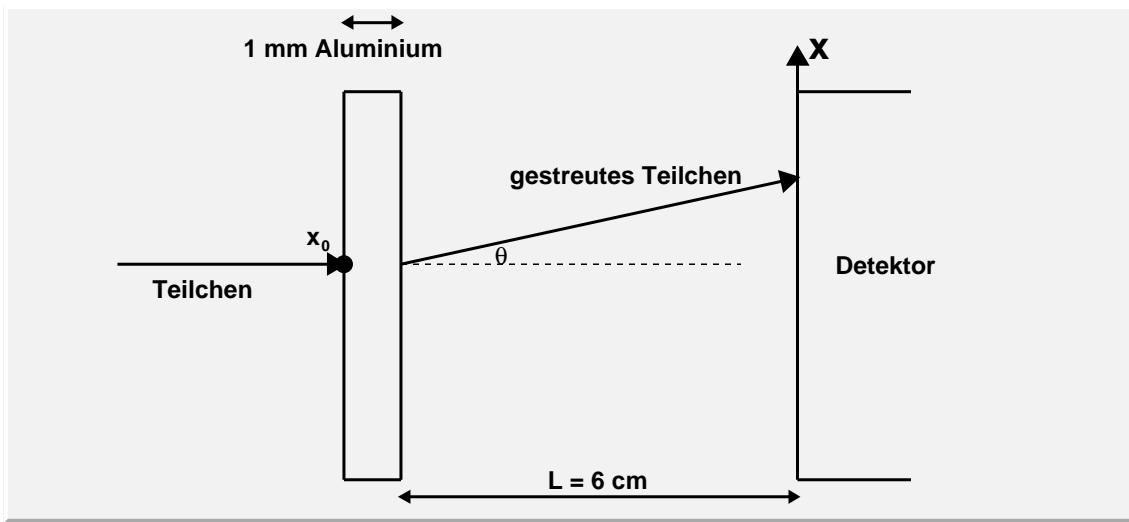


Figure 2: Skizze des Detektoraufbaus

Aufgabe 8 *Paarbildung*

Zeigen Sie dass Paarbildung im Vakuum nicht möglich ist.

Hausaufgaben

Aufgabe 9 *Coulomb Vielfachstreuung für Myonteststrahl*

5 Punkte

Sie verwenden einen Myonteststrahl, um ihren Detektor zu eichen, weil Sie den Impuls der Myonen im Teststrahl genau wissen (von einer unabhängigen Spurmessung). Ihr Detektor nutzt 10 mm dickes Eisen als Absorbermaterial, und die Teststrahlen liefern Myonen mit Energien von 5, 10, und 100 GeV.

- (i) Was ist die Standardabweichung der projizierten Streuwinkelverteilungen für die Myonen mit 5, 10, und 100 GeV?
- (ii) Werden die Standardabweichungen der Streuwinkelverteilungen bei Teststrahlen aus α -Teilchen mit denselben Energien kleiner oder größer sein?
- (iii) Werden die Standardabweichungen der Streuwinkelverteilungen mit einem Aluminiumdetektor anstatt eines Eisendetektors kleiner oder größer sein?

Gegeben seien: $X_0^{Fe} = 1.76$ cm und $X_0^{Al} = 8.9$ cm als Strahlungslängen für Eisen und Aluminium.

Aufgabe 10 *Synchrotronstrahlung*

5 Punkte

Die klassische Elektrodynamik sagt vorher, dass ein geladenes Teilchen mit Masse m auf einer Kreisbahn mit Radius R durch Strahlung Energie verliert. Die Leistung der Strahlung des Teilchens ist gegeben (in natürliche Einheiten) durch:

$$P = \frac{2e^2}{3R^2} \frac{\beta^4}{(1 - \beta^2)^2},$$

wobei e die Ladung des Teilchens ist und $\beta = p/E$ die Geschwindigkeit.

- (i) Zeigen Sie, dass für ein relativistisches Teilchen ($\beta \simeq 1$), die Leistung der Strahlung vereinfacht werden kann zu

$$P = \frac{2e^2}{3R^2} \left(\frac{E}{m} \right)^4.$$

- (ii) Zeigen Sie, dass der Energieverlust in einer einzigen Umdrehung gegeben ist (in natürlichen Einheiten) durch:

$$-\delta E = \frac{4\pi e^2}{3R} \left(\frac{E}{m} \right)^4.$$

- (iii) Wie groß ist der Energieverlust durch Synchrotronstrahlung in einer einzigen Umdrehung für ein Proton im LHC (in GeV)? Wenn der LHC Elektronen statt Protonen beschleunigen würde, wie groß wäre der Energieverlust dann (in GeV)?

Am LHC: $E = 4$ TeV, $R = 4.3$ km

Aufgabe 11 *Pion-Zerfall*

8 Punkte

Geladene Pionen zerfallen hauptsächlich nach Myon + Neutrino ($\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu$). Ein Myon zerfällt weiter nach Elektron (oder Positron) + Neutrinos ($\mu^+ \rightarrow e^+ \nu \bar{\nu}$). Ein Bild dieser Zerfallskette in einer Wasserstoffblasenkammer ist in Abbildung 3 (H_2 Kurve) gezeigt.

- (i) Was ist der Impuls des Myons im Ruhesystem des Pions unter der Annahme, dass Neutrinos keine Masse besitzen?

- (ii) Der spezifische Energieverlust für kleine $\beta\gamma$ hat eine Abhängigkeit von $dE/dx = kq^2/\beta^2$, wobei q die Ladung des Teilchens (in Einheiten von e) ist und k eine materialabhängige Konstante. Anhand von Abbildung 1, schätzen Sie die Wert von k für die H_2 Kurve. Anhand diese Wert für k , schätzen Sie den spezifischen Energieverlust für dieses Myon. Was ist die ungefähre Weglänge, die das Myon zurücklegt, bevor es stehen bleibt und zerfällt?
- (iii) Eine Länge von 1 cm im Bild entspricht eigentlich 1,5 cm in Wirklichkeit. Vergleichen Sie das Ergebnis von (ii) mit der Länge der Spur des Myons.

Aufgabe 12 *Energieverlust von Elektronen*

2 Punkte

Was ist der Hauptmechanismus des Energieverlusts in Silizium ($Z = 14$) für Elektronen mit Energien von 1 MeV beziehungsweise 1 GeV ? Sind die Mechanismen dieselben in den beiden Fällen? *Hinweis:*

Was ist die kritische Energie für Silizium?

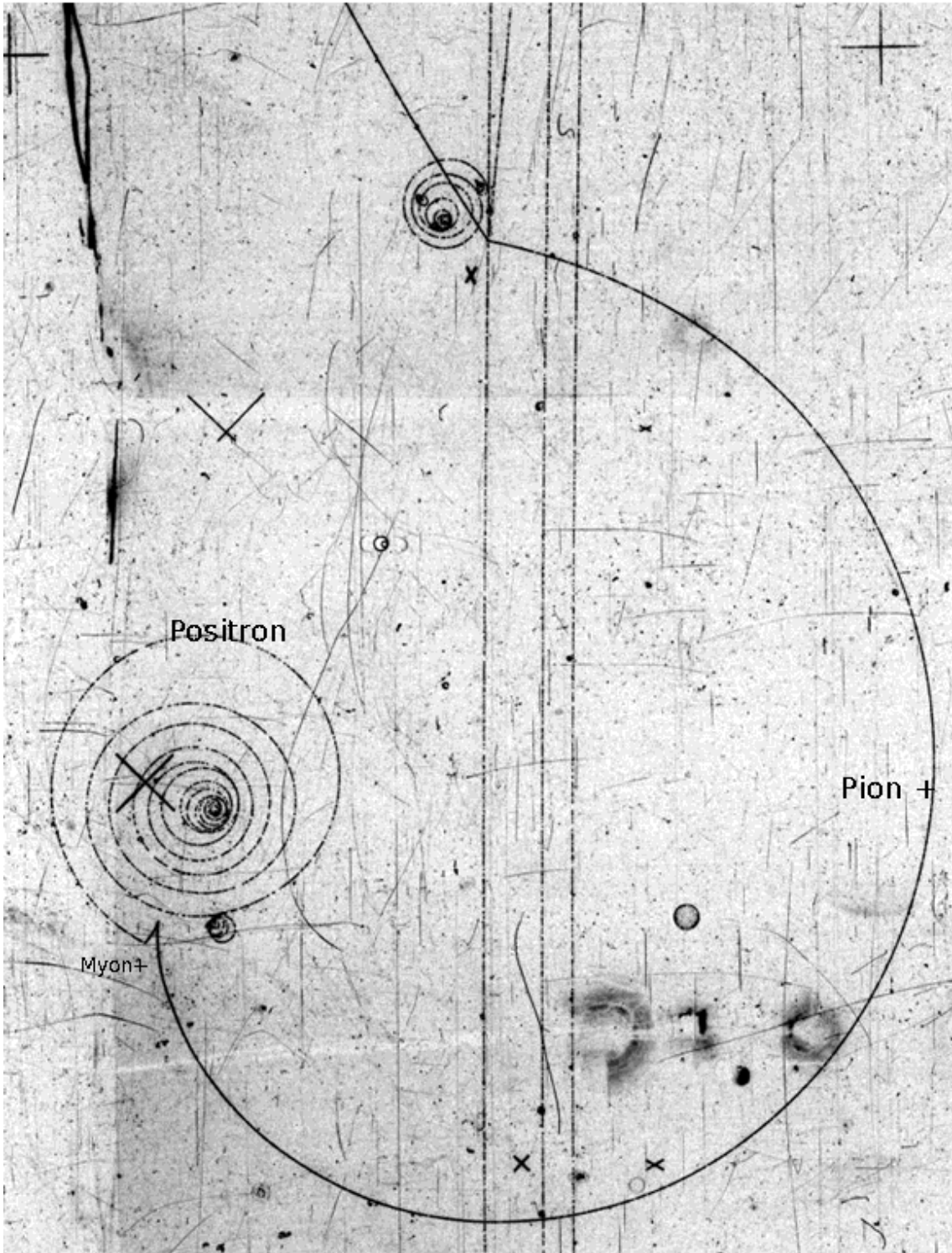


Figure 3: Bild eines Pion-Zerfalls