

Übungsblatt Nr. 6

Besprechung in der Woche ab 22.11.

Aufgabe 6.1: Die Entdeckung des Positrons

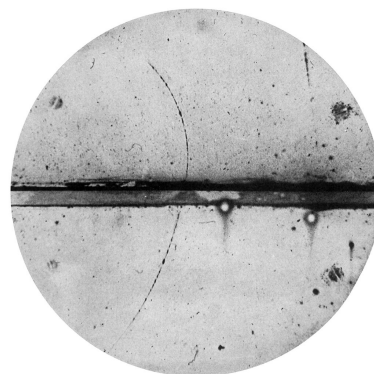
Das Positron wurde im Jahre 1932 durch C. D. Anderson in kosmischer Höhenstrahlung entdeckt.

Anderson war in der Lage durch eine Abfolge von Argumenten die Existenz eines positiv geladenen Teilchens mit einer Masse deutlich kleiner als derjenigen des Protons zu motivieren. Dieser letzte Schritt soll nun in dieser Übung nachvollzogen werden.

In der Abbildung rechts ist das relevante Ereignis dargestellt. Sie erkennen eine Spur die im unteren Teil, d.h. unterhalb der Bleiplatte deutlich geringer gekrümmt ist als oberhalb. Die ganze Anordnung befand sich in einem Magnetfeld der Stärke $B = 1.5 \text{ T}$ senkrecht zur Bewegungsrichtung des Teilchens.

Die gemessene Krümmung betrug im unteren Teil $R_{\text{unten}} = 14 \pm 1 \text{ cm}$ und im oberen Teil $R_{\text{oben}} = 5 \pm 0.5 \text{ cm}$.

Im folgenden soll untersucht werden, ob dieser Energieverlust konsistent ist mit der Annahme, dass es sich dabei um ein Proton handelt. Der Energieverlust von Teilchen durch Ionisation in Materie ist gegeben durch die aus der Vorlesung bekannte Bethe-Bloch-Formel.



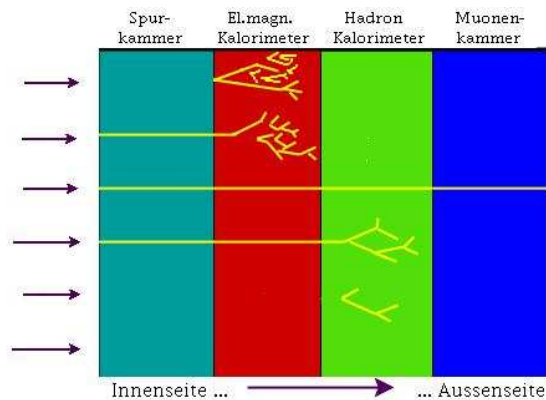
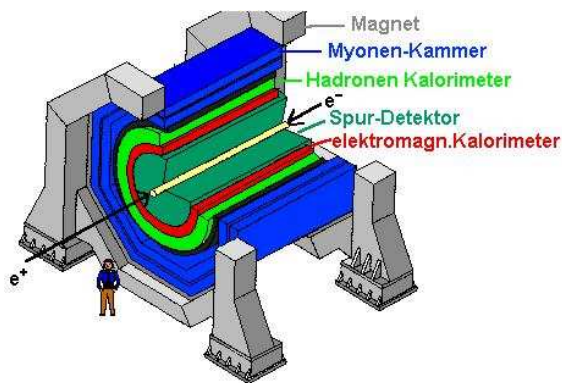
- Berechnen Sie den Impuls (inklusive seines Fehlers) dem die Krümmungen unterhalb und oberhalb jeweils entsprechen. Geben Sie ihr Ergebnis in natürlichen Einheiten an. (1 Punkt)
- Berechnen Sie β und γ des einfallenden Teilchens unter der Hypothese, dass es sich dabei um ein Positron bzw. um ein Proton gehandelt hat. (1 Punkt)
- Berechnen Sie, welchen Betrag kinetischer Energie das Teilchen demzufolge beim Durchgang durch die Bleiplatte verloren hat unter der Annahme, dass es sich dabei um ein Positron bzw. um ein Proton handelte. (1 Punkt)
- Berechnen Sie mit Hilfe von Bethe-Bloch den Energieverlust den Sie für ein Proton des oben berechneten Impulses in 6 mm erwarten würden. Ist dieses Ergebnis konsistent mit dem beobachteten Energieverlust? (2 Punkte)
- Die letzte Betrachtung können Sie in der Form für Elektronen nicht durchführen. Warum? (1 Punkt)

Aufgabe 6.2: Charakteristische Muster von Teilchen in Detektoren

(2 Punkte)

Typische Detektoren an Kollidern sind zwiebel-schalenförmig um den Wechselwirkungspunkt aufgebaut. Ihr Gesamtradius beträgt dabei typischerweise zwischen 5 m und 10 m. Von innen nach außen sind die Bestandteile (s. Abbildung unten links):

- Der **Spurdetektor** aus sehr leichtem Material, wie gasgefüllten Driftkammern oder dünnen Halbleiterebenen mit einem Radius von typischerweise 0.5 m bis 2 m.
- Das **Elektromagnetische Kalorimeter** aus Material mit möglichst großer Kernladung Z , wie aus CsI oder PbW-Kristallen oder flüssigem Argon.
- Das **Hadronische Kalorimeter** aus Schichten möglichst dichten Materials wie Kupfer oder Eisen abwechselnd mit sensitiven Schichten wie Szintillatoren in "Sandwich"-Bauweise.
- Die **Myon-Kammern** aus Driftkammern oder Szintillatoren



Ordnen sie die folgenden Teilchen für einen Teilchenimpuls von 10 GeV den typischen Energieverlustmustern (einem der 6 Pfeile) im rechten Teil der Abbildung zu: $p, n, e, \mu, \gamma, \nu, \pi^\pm, \pi^0, K^\pm$

Für welche Teilchen spielt bei der Zuordnung der Impuls eine Rolle, d.h. bei welchen Teilchen sähe das Muster z.B. bei einem Impuls von 0.1 GeV anders aus?

Aufgabe 6.3: Invariante Masse zur Teilchenidentifikation

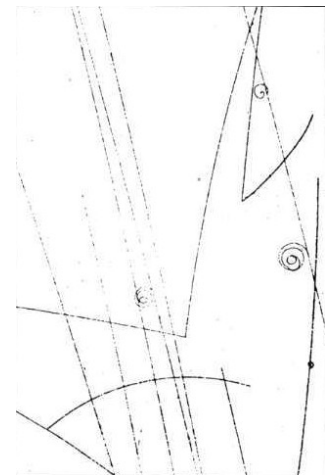
(2 Punkte)

In der abgebildeten Blasenkammeraufnahme sieht man ein von unten einfliegendes geladenes Teilchen. Die Spur endet in einer Reaktion mit einem Proton des Wasserstoffs. In einiger Entfernung sind zwei Paare von geladenen Spuren sichtbar. Dies wird so interpretiert, dass bei der Reaktion zwei neutrale Teilchen entstanden sind, die daraufhin in jeweils zwei geladene Teilchen zerfallen. Beim rechten Paar von geladenen Spuren handelt es sich um ein Proton und ein geladenes Pion π^- .

Die gemessenen Impulsbeträge der beiden Teilchen in einem solchen Zerfall seien $|\vec{p}_p| = 0.68 \text{ GeV}$ und $|\vec{p}_\pi| = 0.22 \text{ GeV}$, und der Winkel zwischen den beiden Spuren betrage $\theta(p; \pi) = 30^\circ$. Benutzen Sie ggf. die PDG, um die Eigenschaften von Pion und Proton nachzuschlagen.

Bestimmen Sie daraus die invariante Masse des unbekannten Teilchens X für die Zerfallshypothese $X \rightarrow p\pi^-$.

Aufgrund von Baryonzahlerhaltung ($\rightarrow$ später) muss X wieder ein Baryon sein. Finden Sie im PDG einen geeigneten Kandidaten?



Aufgabe 6.4: Elektron-Nachweis bei ATLAS

Ein Elektron wurde mit dem Silizium-Spurdetektor und dem Flüssigargon-Kalorimeter von ATLAS nachgewiesen. Der Detektor befindet sich in einem nahezu homogenen Magnetfeld von 2 Tesla, welches in Längsrichtung des Spurdetektors parallel zur Strahlachse des LHC ausgerichtet ist.

- Wie groß ist der Betrag des transversalen Impulses p_T des Elektrons, wenn der Bahnkrümmungsradius $R = 66.6 \text{ m}$ beträgt? Welchen Betrag hat der Gesamtimpuls, wenn das Teilchen in einem Winkel von $\theta = 60^\circ$ zur Strahlachse nachgewiesen wurde? (1 Punkt)
- Wie verändert sich die relative Messgenauigkeit für ein Elektron mit höherer Energie im Spurdetektor (Impuls) bzw. Kalorimeter (Energie)? (1 Punkt)