

Übungen zu Moderne Experimentalphysik II, Teil 2 (Kern- und Teilchenphysik) Wintersemester 2023/24

Übungsblatt Nr. 2

Bearbeitung bis 09.01.2024

Tutorium: 11.01.2024

Saalübung: 10.01.2024

Link zur ILIAS-Hauptseite:

https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs_2198626&client_id=produktiv

Vorbemerkung: Auf diesem Blatt beschäftigen Sie sich mit der Interaktion von Teilchen mit Materie. Ein prominentes Beispiel nutzt die Nebelkammer, welche Sie im neuen Jahr noch kennenlernen werden, um Antimaterie zu finden. Des Weiteren untersuchen Sie mithilfe des Cherenkov-Effekts die Geschwindigkeit von Teilchen.

Aufgabe 1: Entdeckung der Antimaterie

(1+1+6+2=10 Punkte)

Carl David Anderson gelang mit der Entdeckung des Positrons in der kosmischen Strahlung der experimentelle Nachweis von Antimaterie. In Abb. 1 ist eine Nebelkammeraufnahme gezeigt, die Anderson im Jahr 1931 auf dem Mt. Wilson erstellt hat. Die Nebelkammer befindet sich in einem Magnetfeld von 1,5 T, dessen Feldlinien in die Papierebene hinein zeigen. Ein Teilchen der kosmischen Strahlung tritt in die Nebelkammer ein und hinterlässt eine gekrümmte Spur. Die Nebelkammer ist durch eine 6 mm dicke Bleiplatte in zwei Hälften aufgeteilt (horizontaler Streifen in Abb. 1).

- Lesen Sie die Originalpublikation [1] und fassen Sie die Details der Entdeckung kurz zusammen. Gehen Sie dabei auch auf den experimentellen Aufbau ein und ziehen Sie ggf. andere Quellen in Betracht.
- Begründen Sie anhand der gezeigten Aufnahme, warum das Teilchen von unten in die Nebelkammer eintritt und nicht von oben. Welche Aussage über das Teilchen bezüglich seiner Eigenschaften können Sie bereits nur durch Betrachtung der Nebelkammeraufnahme treffen?

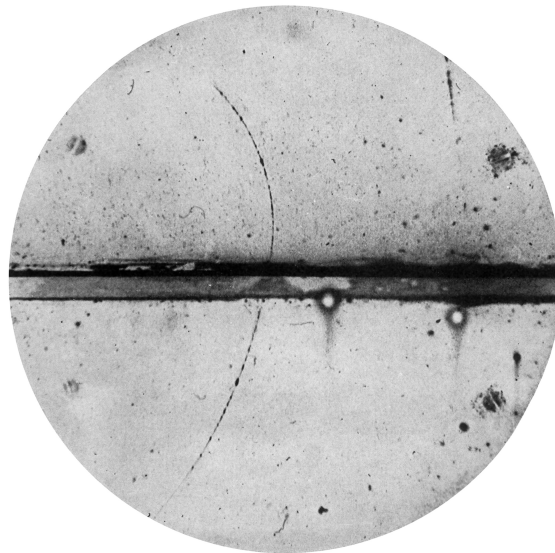


Abbildung 1: Nebelkammeraufnahme, entnommen aus [1].

- c) Der Krümmungsradius der Teilchenbahn beträgt zunächst 15,5 cm. Nach Durchlaufen der Bleiplatte beträgt der Krümmungsradius der Bahn 5,3 cm. Schätzen Sie den Impuls des Teilchens vor und nach der Bleiplatte ab. Nutzen Sie bei der Rechnung, dass für den Krümmungsradius R (in m) der Bahn geladener Teilchen im Magnetfeld in guter Näherung gilt

$$R = \frac{p}{0,3qB}.$$

Dabei sind p der Impuls in GeV und q die Ladungszahl des Teilchens und B ist die senkrecht zu p zeigende magnetische Flussdichte in T.

- d) Beweisen Sie, dass das Teilchen ein Positron ist und nicht das im Jahr 1931 bereits bekannte Proton. Vergleichen Sie dazu den Energieverlust nach Durchlaufen einer 6 mm dicken Bleiplatte für ein Proton, ein Pion und ein Elektron.

Der Energieverlust durch Ionisation kann für diese Aufgabe durch eine Näherung der Bethe-Gleichung

$$-\frac{dE}{dX} = \underbrace{4\pi N_A r_e^2 m_e c^2 \frac{Z}{A}}_K z^2 \frac{1}{\beta^2} \ln \left(\frac{m_e c^2 \beta^2 \gamma^2}{I} \right)$$

bestimmt werden, wobei Sie bei der Rechnung zusätzlich annehmen können, dass der Energieverlust konstant ist. Warum ist dies hier zulässig? Der Vorfaktor beträgt $K = 1,3 \frac{\text{MeV}}{\text{cm}} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{Pb}}}$ und $I = 820 \text{ eV}$.

Der Energieverlust durch Bremsstrahlung ist gegeben durch

$$-\frac{dE}{dX} = \frac{E}{X_0}$$

wobei die Strahlungslänge von Blei $X_0 = 0,56 \text{ cm} \cdot \rho_{\text{Pb}}$ beträgt.

Tipp: Überlegen Sie sich, welche Art des Energieverlustes bei welchem Teilchen überwiegt.

Literatur

- [1] C. D. Anderson, “The Positive Electron”, *Phys. Rev.* **43** (Mar, 1933) 491–494.
doi:10.1103/PhysRev.43.491.

Aufgabe 2: Cherenkov-Effekt

(1+2+2+3+2=10 Punkte)

Bewegen sich hochenergetische Teilchen durch ein Medium, so kann Cherenkov-Strahlung entstehen.

- a) Welche beiden Voraussetzungen müssen dazu insbesondere erfüllt sein? Begründen Sie jeweils kurz warum.
- b) Leiten Sie anhand einer Skizze den Öffnungswinkel des Cherenkov-Kegels in Abhängigkeit der Geschwindigkeit β des eintreffenden Teilchens und der optischen Dichte n des Mediums her.
- c) Beschreiben Sie kurz einen Versuchsaufbau, mithilfe dessen sich der Öffnungswinkel messen lässt. Fertigen Sie auch eine grobe Skizze an.
- d) Mit einem weiteren Detektor messen Sie zusätzlich zum Cherenkov-Winkel noch den Impulsbetrag der Teilchen. Wieso ist das nützlich? Erstellen Sie mithilfe des Computers eine Grafik, welche die theoretische Erwartung des Zusammenhangs zwischen Cherenkov-Winkel in Wasser ($n = 1,33$) und Impuls für Pionen, Kaonen und Protonen darstellt.
- e) Nach Umsetzung der von Ihnen gewählten Maßnahmen aus Aufgabenteil c) beträgt die Winkelauflösung $\sigma_\theta = 2 \text{ mrad}$. Betrachten Sie die Auflösung der Impulsmessung als vernachlässigbar. Bis zu welchem Impuls lassen sich die drei Teilchen aus dem vorherigen Aufgabenteil unterscheiden?