

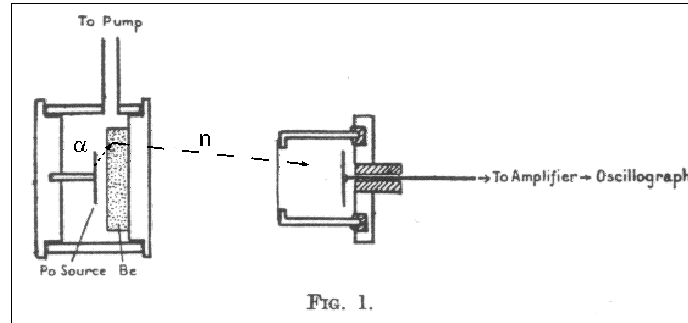
# Übungen zu Physik V: Kerne und Teilchen (2)

Abgabetermin: bis 29.10.2024, 10:00 Uhr

## Aufgabe 1: Die Entdeckung des Neutrons

[LA: komplette Aufgabe] (15 Punkte)

Die Entdeckung des Neutrons gelang James Chadwick 1932 mit folgender Anordnung:



Durch Bestrahlung von Be mit  $\alpha$ -Strahlen wird eine unbekannte, elektrisch neutrale Strahlung produziert. Diese Strahlung streut elastisch an den Kernen der Gasatome in einer Ionisationskammer. Das getroffene, ionisierte Atom gibt seine kinetische Energie durch ionisierende Stöße ab, bis es zum Stillstand kommt. Aus der entstandenen Ladung lässt sich die gesamte Rückstoßenergie des getroffenen Atoms bestimmen. Als Gas verwendete Chadwick unter anderem Stickstoff und Wasserstoff. Für Stickstoff erhielt er eine maximale Rückstoßenergie von 1,6 MeV, für Wasserstoff eine von 5,7 MeV.

Berechnen Sie die Energie und Masse der unbekannten Strahlung!

Hinweis: Nehmen Sie an, dass sich die Atomkerne vor dem Stoß in Ruhe befinden. Bindungsenergien können vernachlässigt werden.

## Aufgabe 2: Relativistische Kinematik

[LA: nur Teilaufgaben 1&4] (13 Punkte)

Bei einer Reaktion mit zwei Teilchen im Anfangs- und zwei Teilchen im Endzustand,

$$a + b \rightarrow R \rightarrow c + d$$

treten die freien Teilchen  $a$  und  $b$  miteinander in Wechselwirkung und bilden einen Zwischenzustand  $R$ , der dann wieder in die freien Teilchen  $c$  und  $d$  zerfällt. Freie Teilchen sind durch ihre Viererimpulse  $p_i$  kinematisch vollständig beschrieben.

1. Stellen Sie die Energie- und Impulsbilanz für die Reaktion auf. (1 Punkt)

Die Energien  $E_i$  und Impulse  $\vec{p}_i$  der Teilchen sind nicht Lorentz-invariant, sie hängen vom jeweiligen Bezugssystem ab. Für eine invariante Beschreibung der Kinematik eignen sich Quadrate von Vierervektoren, z.B. die Massen der vier Teilchen,  $m_i^2 = p_i^2$ . Man definiert daher die 3 Mandelstam-Variablen:

$$\begin{aligned}s &= (p_a + p_b)^2 = (p_c + p_d)^2 \\t &= (p_a - p_c)^2 = (p_b - p_d)^2 \\u &= (p_a - p_d)^2 = (p_b - p_c)^2\end{aligned}$$

2. Zeigen Sie, dass  $s$ ,  $t$ , und  $u$  nicht unabhängig sind. Hinweis: Berechnen Sie  $s+t+u$ . (4 Punkte)

3. Wie interpretieren sie  $\sqrt{s}$  im Ruhesystem von  $R$ ? (2 Punkte)
4. Berechnen sie  $\sqrt{s}$  für die folgenden Anfangszustände:
  - a)  $\gamma + p$ , mit ruhendem Proton und  $E_\gamma = 2 \text{ GeV}$ .
  - b)  $p + \bar{p}$ , ein Collider-Experiment bei dem Proton und Antiproton mit jeweils  $T = 1 \text{ GeV}$  kinetischer Energie aufeinanderprallen. (4 Punkte)
5. Berechnen Sie die notwendige Strahlenergie  $E = E_{e^-} = E_{e^+}$ , um das Austauscheteilchen  $Z^0$  der schwachen Wechselwirkung in einem symmetrischen  $e^+e^-$ -Collider zu erzeugen. (2 Punkte)

### Aufgabe 3: Invariante Masse

[LA: nur Teilaufgabe 1] (12 Punkte)

In der Reaktion

$$\gamma + p \rightarrow X + \gamma_1 + \gamma_2$$

sind die Viererimpulse der Teilchen im Anfangszustand und die der Photonen im Endzustand vollständig gemessen.

Anfangszustand: Photonenstrahl in  $z$ -Richtung mit  $E_\gamma = 2 \text{ GeV}$  trifft auf Proton in Ruhe.

Auslaufende Photonen in Kugelkoordinaten:

$$\begin{aligned} E_{\gamma_1} &= 0,661 \text{ GeV}, & \theta_{\gamma_1} &= 81,3^\circ, & \phi_{\gamma_1} &= 8,4^\circ, \\ E_{\gamma_2} &= 0,061 \text{ GeV}, & \theta_{\gamma_2} &= 72,5^\circ, & \phi_{\gamma_2} &= 47,8^\circ. \end{aligned}$$

1. Berechnen Sie die invariante Masse des Systems der beiden Photonen. (4 Punkte)
2. Berechnen Sie die Masse des nicht gemessenen Teilchens  $X$ . (4 Punkte)

Auf der eCampus-Seite gibt es neben diesem Übungszettel noch eine Datei<sup>1</sup> `events.csv` mit den Daten von  $10^4$  weiteren Ereignissen mit jeweils 2 gemessenen Photonen im Endzustand.

3. Erstellen Sie ein Histogramm der invarianten Masse der beiden Photonen. Wie viele verschiedene Mesonen können Sie beobachten? (3 Punkte)
4. Das  $\pi^0$ -Meson mit einer Masse von  $135 \text{ MeV}$  hat eine Lebensdauer von  $8,43 \cdot 10^{-17} \text{ s}$ . Berechnen Sie die Halbwertsbreite des  $\pi^0$  und vergleichen Sie diese mit der Breite des  $\pi^0$ -Signals in Ihrem Histogramm. Wie erklären Sie den Unterschied? (1 Punkt)

---

<sup>1</sup>Textdatei mit 6 Spalten (Spaltentrennzeichen: ;), pro Ereignis eine Zeile. Dezimaltrennzeichen: .