

**Übungen zu
Moderne Experimentalphysik III
(Kerne und Teilchen)
Sommersemester 2017**

Übungsblatt Nr. 1

Ausgabe: Di, 02.05.2017

Abgabe: Di, 09.05.2017 (13:30) Briefkasten Geb. 30.23

Name des Übungsgruppenleiters und Gruppenbuchstabe:

Namen der bearbeitenden Gruppe:

Aufgabe 1: Kinematik bei HERA

(5 Punkte)

HERA war ein Speicherring mit einem Umfang von 6,3 km am DESY in Hamburg, an dem Elektronen mit einem Impuls von 27,5 GeV an Protonen mit einem Impuls von 920 GeV gestreut wurden.

- a) Berechnen Sie jeweils die Geschwindigkeit β und die Energie der Elektronen und Protonen.
- b) Stellen Sie die Vierervektoren für Elektronen und Protonen auf und berechnen Sie die Schwerpunktsenergie der Elektron-Proton-Kollision. Sie können das Koordinatensystem so wählen, dass sich die Protonen im Laborsystem entlang der positiven z -Richtung bewegen.
- c) Nehmen Sie an ein Elektron der kosmischen Strahlung stoße in der Atmosphäre mit einem ruhenden Proton zusammen. Wie hoch muss die Energie des Elektrons sein, damit die Schwerpunktsenergie ebenso hoch ist wie bei HERA?

Bonusfrage (1 Punkt): Geben Sie den Ringumfang in natürlichen Einheiten an.

Aufgabe 2: Mandelstam-Variablen

(5 Punkte)

Betrachten Sie eine Reaktion zwischen zwei Teilchen mit Viererimpulsen p_1 und p_2 . Die auslaufenden Teilchen sollen die Impulse p_3 und p_4 haben. Einmal soll die Reaktion im Schwerpunktsystem betrachtet werden und einmal im Ruhesystem des Teilchens 2, welches mit dem Laborsystem zusammenfallen soll ("fixed-target experiment"). Zeigen Sie unter der Annahme kleiner Massen ($m \ll E$), dass folgende Beziehungen gelten (in natürlichen Einheiten):

- a) $s = (2E_1^*)^2 = 2m_2E_1$
- b) $t = \frac{s}{2}(\cos \theta^* - 1) = 2m_2(E_3 - E_1)$
- c) $u = \frac{s}{2}(\cos \theta^* + 1) = 2m_2E_3$

Dabei beziehen sich Variablen mit * auf das Schwerpunktsystem, Variablen ohne Stern auf das Laborsystem. Der Winkel θ sei der Streuwinkel des Teilchen 1, also der Winkel zwischen p_1 und p_3 .

Aufgabe 3: Wirkungsquerschnitt und Stoßparameter

(5 Punkte)

Ein paralleler, uniformer Strahl kleiner Kugeln (Masse m , Radius r) wird an einer großen Kugel (Masse M , Radius R) elastisch gestreut. Es gelte $M \gg m$ und $R \gg r$. Vernachlässigen Sie in allen nach folgenden Aufgaben den Effekt der Schwerkraft.

- a) Berechnen Sie den differentiellen und totalen geometrischen Wirkungsquerschnitt (*Hinweis*: $\sin(x + y) = \sin(x) \cos(y) + \cos(x) \sin(y)$).
- b) Welcher Anteil der Kugeln trifft auf einen Schirm von $A = 1 \text{ cm}^2$ Fläche, der 1 m hinter der großen Kugel, 10 cm von der Strahlachse entfernt, aufgestellt ist? Dabei ist die Flächennormale des Schirms radial zur Kugel ausgerichtet.
- c) Im HERA-Speicherring kreisten Elektronen und Protonen gegenläufig in Paketen von etwa je 10^{11} Teilchen. Der totale Wirkungsquerschnitt für Elektron-Proton-Streuung beträgt bei HERA-Energien etwa 10 mb. Vergleichen Sie diese Zahl mit der geometrischen Querschnittsfläche des Protons (Radius 0,88 fm). Was bedeutet dieses Resultat?
- d) Um welchen Faktor schwächten sich der Elektronen- und Protonenstrahl bei HERA innerhalb von einer Stunde aufgrund von Streuung aneinander ab? Nehmen Sie an, dass durch einen Streuprozess das beteiligte Elektron und Proton komplett aus den Strahlen entfernt werden. Die instantane Luminosität betrug $\mathcal{L} = 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. (*Hinweis*: nehmen Sie als Näherung an, dass \mathcal{L} konstant bleibt.)

Aufgabe 4: Rutherford-Streuung

(5 Punkte)

Die von Rutherford verwendete ^{226}Ra -Quelle, welche α -Teilchen mit einer Energie von 5,597 MeV aussendet, hatte bei einem seiner Versuche im Jahr 1910 eine Aktivität von 4 GBq. Dieselbe Quelle soll heute verwendet werden, um seinen historischen Versuch nachzustellen. Dazu wird die isotrop abstrahlende Quelle im Abstand von 1 m zu einer $2 \mu\text{m}$ dicken und 1 cm^2 großen Goldfolie aufgestellt. Dabei zeigt die Flächennormale der Folie in Richtung Quelle. Hinter der Goldfolie befindet sich ein Detektor, der die in einem Raumwinkelbereich von $\theta = (360 \pm 10) \text{ mrad}$ und $\phi = (0 \pm 10) \text{ mrad}$ gestreuten α -Teilchen zählt. Wie viele Teilchen erwartet man in Mittel während einer Messzeit von einer Stunde im Detektor? (Die gesamte Messanordnung befindet sich im Vakuum.)

Hinweise: Es ist $m_{\text{mol}}(\text{Au}) = 196,6 \text{ g/mol}$, $\rho(\text{Au}) = 19,32 \text{ g/cm}^3$. Nützlich sind die folgenden Identitäten:

$$\begin{aligned} \sin(x + y) &= \sin(x) \cos(y) + \cos(x) \sin(y) \\ \int dx \frac{\cos x}{\sin^3 x} &= -\frac{1}{2 \sin^2 x} \end{aligned}$$