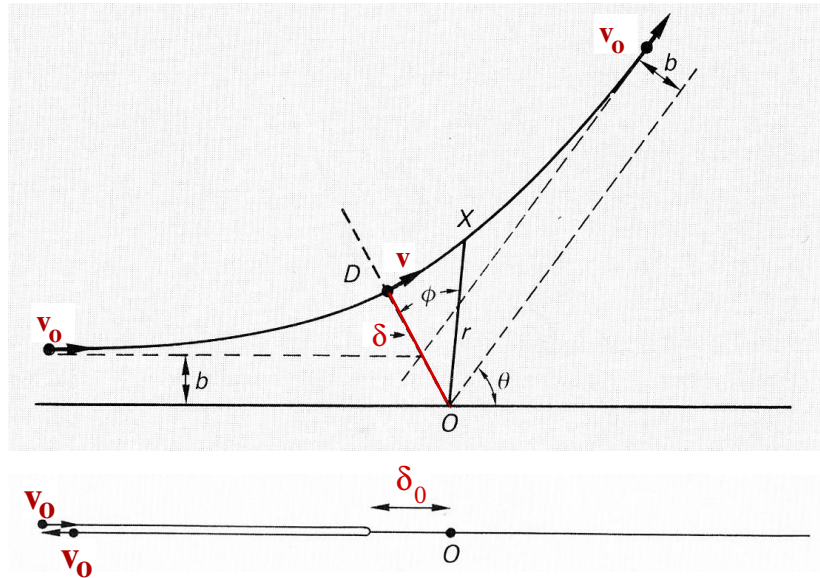


# Übungen zu Physik V: Kerne und Teilchen (1)

Abgabetermin: bis 22.10.2024, 10:00 Uhr

## Aufgabe 1: Rutherford-Streuung

[LA: nur Teilaufgaben 1–3] (20 Punkte)



Vor der Durchführung des Rutherfordversuchs wurden Atome als eine positive Ladungsverteilung angesehen, in die Elektronen ( $m_e = 511 \text{ keV}/c^2$ ) an festen Plätzen eingebettet wurden, wobei die gesamte Masse des Atoms von den Elektronen getragen wird (Atommodell von J. J. Thomson).

1. Beschreiben Sie qualitativ die Winkelverteilung der gestreuten  $\alpha$ -Teilchen, die Sie bei Streuung an einem Goldatom nach dem Thomsonsches Atommodell erwarten würden. (2 Punkte)

Nehmen Sie an, dass sich die Rutherfordstreuung an einer dünnen Goldfolie als rückstoßfreie Streuung an einem Coulombpotential berechnen lässt und Spineffekte vernachlässigt werden können.

2. Die  $\alpha$ -Teilchen beim Rutherford-Experiment hatten eine kinetische Energie von maximal 6 MeV. Prüfen Sie ob eine nichtrelativistische Behandlung des Problems gerechtfertigt ist. Wieso können Sie den Rückstoß in ausreichend guter Näherung vernachlässigen? (2 Punkte)
3. Leiten Sie für den Fall der Rutherford-Streuung die Beziehung

$$\tan(\theta/2) = \frac{\delta_0}{2b}$$

unter Verwendung von Drehimpuls- und Energieerhaltung her.

Hinweis: Nutzen Sie die Symmetrie des Problems aus.

(6 Punkte)

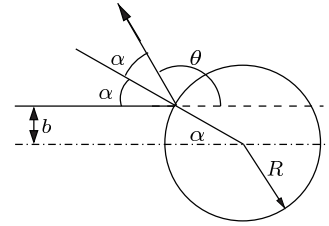
4. Leiten Sie hieraus die Formel für den Rutherford-Wirkungsquerschnitt her. (4 Punkte)
5. Drücken Sie den Rutherford-Wirkungsquerschnitt in Abhängigkeit des Impulsübertrags  $q$  aus. Hinweis: Finden Sie eine Beziehung zwischen Impulsübertrag und Streuwinkel. (3 Punkte)

6. Bestimmen Sie den totalen Wirkungsquerschnitt  $\sigma = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega$ .

Vergleichen Sie das Ergebnis mit der Querschnittsfläche eines Gold-Atomkerns. (3 Punkte)

**Aufgabe 2: Wirkungsquerschnitt****[LA: komplette Aufgabe] (8 Punkte)**

1. Berechnen Sie den differentiellen Wirkungsquerschnitt für die Streuung von Punktteilchen an einer harten unbeweglichen Kugel vom Radius  $R$  und diskutieren Sie die Winkelverteilung der gestreuten Teilchen und die Energieabhängigkeit des Wirkungsquerschnitts. (5 Punkte)
2. Bestimmen Sie durch Integration über alle Raumrichtungen den totalen Wirkungsquerschnitt und vergleichen Sie ihn mit der „effektiven“ Fläche, welche die Kugel dem einfallenden Teilchenstrom entgegenstellt. (3 Punkte)

**Aufgabe 3: Natürliche Einheiten****(4 Punkte)**

Im System der natürlichen Einheiten setzt man  $\hbar = c = 1$ . Eine unmittelbare Konsequenz ist, dass die Geschwindigkeit dimensionslos ist und in Bruchteilen der Lichtgeschwindigkeit gemessen wird.

1. Geben Sie die relativistische Energie-Impulsbeziehung in diesem System an. Welche Dimension besitzen folglich Masse und Impuls? (2 Punkte)
2. Betrachten Sie die Einheit der Energie als Basiseinheit (MeV) und alle anderen Einheiten als abgeleitet. Leiten Sie aus Dimensionsbetrachtungen von  $\hbar$  und  $c$  die Dimensionen von Länge und Zeit ab. (2 Punkte)

**Aufgabe 4: Austauscheteilchen****[LA: nur Teilaufgaben 2&3] (8 Punkte)**

1. Schätzen Sie mit Hilfe der Unschärferelation die Reichweite der schwachen Wechselwirkung ab, indem Sie das  $W^\pm$  als Austauschteilchen annehmen. (2 Punkte)
2. Stellen Sie für die Reaktion  $e \rightarrow \gamma + e$  die Energie- und Impulsbilanz im Schwerpunktsystem auf. Ist diese Reaktion für reelle Teilchen erlaubt? Begründen Sie Ihre Antwort. (2 Punkte)
3. Energie- und Impulserhaltung an einem Kreuzungspunkt (Vertex) eines Feynman-Graphen lassen sich nicht gleichzeitig erfüllen, wenn man reelle Austauschteilchen annimmt. Fordert man jedoch die Energie- und Impulserhaltung, so gilt für die Masse der virtuellen Austauschteilchen (innere Linien in Feynman-Diagrammen)  $\tilde{m}^2 = E^2 - P^2 \neq m_0^2$ , wobei  $m_0$  die Ruhemasse des reellen Teilchens ist. Man sagt auch: virtuelle Teilchen liegen nicht auf der Massenschale.

Bestimmen Sie für

- a)  $e^+ e^-$ -Streuung
- b)  $e^+ e^-$ -Annihilation

die Masse  $\tilde{m}^2$  der virtuellen Photonen und geben Sie das Vorzeichen explizit an. Gehen Sie dabei davon aus, dass die Energien und Impulse der ein- und auslaufenden Elektronen und Positronen bekannt sind.

Hinweis: Eine geschickte Wahl des Bezugssystems vereinfacht die Rechnung. (4 Punkte)

