

Physik III - Übungsblatt 12

SS2006, Universität Heidelberg

Ausgabe am 13.7.2006
Besprechung am 20.7.2006

In der Vorlesung wurde die Streuung von Teilchen anhand der Rutherford-Streuung ausgiebig diskutiert. Da viele physikalische Experimente Streuexperimente sind, werden wir uns im Folgenden mit einigen der Begriffe beschäftigen, die für die Interpretation der Resultate von Streuexperimenten wichtig sind.

12.1 Der Raumwinkel

In einem Streuexperiment werden die in einem punktförmigen Target gestreuten Primärteilchen in einem Detektor nachgewiesen. Das Raumwinkelement $d\Omega$ des Detektors ist gegeben durch $d\Omega = \frac{dF(r)}{r^2} \cos(d\vec{F}^0, \vec{r}^0)$, wobei $dF(r)$ der Betrag des Oberflächenelements des Detektors mit dem Abstand r vom Target und $\cos(d\vec{F}^0, \vec{r}^0)$ der Kosinus des Winkels zwischen den Einheitsvektoren der Flächennormalen und des Abstandsvektors sind.

- Wie groß ist der gesamte Raumwinkel $\Omega = \int d\Omega$?
- Wie groß ist der Raumwinkel eines flachen, kreisförmigen Detektors mit einem Radius von $R = 5$ cm, dessen Mittelpunkt sich im Abstand $d = 10$ cm vom Target befindet und dessen Flächennormale auf das Target weist?
- Häufig wird als Detektorraumwinkel näherungsweise das Verhältnis von Detektoroberfläche zum Quadrat des Abstands d angegeben. Wie groß ist in dieser Näherung die Abweichung in % vom genauen Wert für das Zahlenbeispiel im Aufgabenteil b)? Wird der Raumwinkel in der Näherung über- oder unterschätzt?

12.2 Stoßparameter und Wirkungsquerschnitt

In der Vorlesung haben Sie gelernt, dass der totale Wirkungsquerschnitt für die Streuung mit dem Stoßparameter b durch $\sigma = \pi b^2$ gegeben ist.

- Zeigen Sie, dass sich daraus für den differentiellen Wirkungsquerschnitt für die Streuung in den Raumwinkel $d\Omega$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{2\pi b}{2\pi \sin \vartheta} \frac{db}{d\vartheta} = \frac{b}{\sin \vartheta} \frac{db}{d\vartheta}$$

ergibt, wenn der Streuprozess unabhängig vom Azimut ist.

- Die vom Stoßparameter b abhängige Wahrscheinlichkeit $P(b)$ für die Ionisation eines Atoms beim Beschuss mit einem Elektron kann in guter Näherung beschrieben

werden durch $P(b) = P_0 \exp(-b/a)$ mit $P_0 \cong 10^{-2}$ und $a^{-1} = \frac{E_B}{\hbar v}$. Dabei sind E_B die

Bindungsenergie des ionisierten Elektrons und v die Elektronengeschwindigkeit. Wie groß ist der totale Querschnitt für die Ionisation eines Wasserstoffatoms beim Beschuss mit Elektronen der kinetischen Energie 50 eV?

c) Es ist sehr instruktiv, über folgende Konsequenz der Gleichung für den differentiellen Wirkungsquerschnitt in Aufg. 12.2.a) nachdenken. Was passiert, wenn die als Ablenkfunktion bezeichnete Beziehung $\vartheta(b)$ zwischen Streuwinkel und

Stoßparameter ein Extremum hat, wenn also gilt $\frac{d\vartheta}{db} = 0$? Es gibt ein optisches

Naturphänomen, das die Menschen seit urlanger Zeit beschäftigt hat und auf diesem Effekt beruht. R. Descartes gab 1637 eine erste Erklärung, die auf der Betrachtung der rein geometrischen Eigenschaften von Beugung und Reflexion von Lichtstrahlen an Wassertropfen beruhte. G.B. Airy veröffentlichte 1838 eine Theorie, die die Welleneigenschaften des Lichts näherungsweise berücksichtigte, und erst 1907 gelang G. Mie die vollständige Beschreibung. Um welches Phänomen handelt es sich? Warum sehen Sie es unter einem Beobachtungswinkel von 42° ? Warum sehen Sie verschiedene Farben?

12.3 Rutherford-Streuung

Auf eine Goldfolie der Dicke $x = 2.1 \cdot 10^{-7}$ m trifft ein kollimierter Strahl aus 10^4 α -Teilchen pro Sekunde mit einer Energie von 5,3 MeV.

a) Wie viele α -Teilchen werden zurückgestreut, d.h. ihr Ablenkwinkel im Laborsystem ist $\geq 90^\circ$?

b) Ein Detektor mit einer kreisförmigen Oberfläche von $A = \pi \text{ cm}^2$, der unter dem Vorwärtswinkel $\vartheta = 20^\circ$ im Abstand von $R = 10$ cm von der Goldfolie montiert ist, registriert die gestreuten Teilchen. Wie viele Teilchen pro sec werden registriert?

c) Bestimmen Sie die minimale kinetische Energie eines α -Teilchens, bei der eine Abweichung von der Rutherford-Streuformel zu erwarten ist. Beschreiben Sie dazu den Goldkern als dicht gepackte Kugel aus 197 Nukleonen mit einem Nukleonenradius von 1 fm.

Zahlenwerte: $Z_{\text{Au}} = 79$, $\rho_{\text{Au}} = 19,3 \text{ g/cm}^3$, $m_{\text{mol}} = 197 \text{ g/mol}$