

Übung: Spektroskopie und Streuung

TU München - Sommersemester 08

1 Streuung am Coulomb-Feld

Das Wechselwirkungspotenzial $V(r)$ zwischen einer einlaufenden Ladung Z und einem Targetteilchen mit Ladung Z' ist gegeben durch

$$V(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ZZ'e^2}{r} = \frac{C}{r}, \quad (1)$$

wobei im folgenden $C > 0$ angenommen wird. Durch rein klassische Rechnung (Masse des Targets $m_T \gg$ als Masse des Projektils m_P) lässt sich folgender Zusammenhang zwischen dem Stossparameter b und dem Ablenkwinkel θ herstellen:

$$b = \frac{C}{2E} \cot \frac{1}{2}\theta \quad \text{mit der kinetischen } E = \frac{1}{2}m_P v^2 \quad (2)$$

- Bestimmen sie den differentiellen Wirkungsquerschnitt $(d\sigma/d\Omega)_\theta$. Hinweis: $\sin\theta = 2 \cdot \cos(0.5 \cdot \theta) \cdot \sin(0.5 \cdot \theta)$
- Interpretieren Sie die Messergebnisse von Streuexperimenten mit ^4He Strahlen in Abbildung 1.

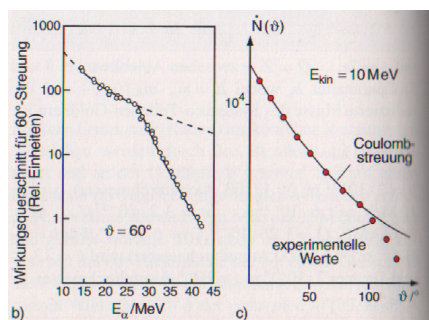


Figure 1: Abweichung vom Coulombstreuquerschnitt für konstanten Winkel (links) und konstante Energie (rechts). Bild aus Demtröder Experimentalphysik 3.

- Zeigen Sie, dass es sich bei dem Targetelement der Messung um Gold handeln kann. Verwenden Sie dabei die Abschätzungsformel für den Kernradius: $r_K \approx r_0 \cdot A^{1/3}$ mit $r_0 = 1.3 \cdot 10^{-15}$ m und A = die Massenzahl des Elements.

- d) Warum sollten bei Streuexperimenten möglichst dünne Targetfolien bzw. Targets mit geringem totalen Reaktionsquerschnitt verwendet werden?
 e) Berechnen Sie gemäss der Rutherford-Streufornel

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_\theta = \left(\frac{ZZ'e^2}{16\pi\epsilon_0 \cdot E}\right)^2 \frac{1}{\sin^4\frac{1}{2}\theta} \quad (3)$$

die Zählraten für folgendes Experiment: Ein Strahl von α -Teilchen der Energie $E_{kin} = 15 \text{ MeV}$ und der Intensität $2.5 \cdot 10^5/s$ fällt auf eine $0.2 \mu\text{m}$ dicke Goldfolie (Molvolumen 10.19 cm^3 , $Z_{Au} = 79$). Unter den mittleren Winkeln $\theta_1 = 5^\circ$, $\theta_2 = 10^\circ$, $\theta_3 = 25^\circ$ werden die gestreuten Teilchen mit $2 \times 2 \text{ cm}^2$ grossen Detektoren in 1 Meter Abstand vom Streuzentrum nachgewiesen. Vernachlässigen Sie die Wirkungsquerschnitts-Änderung über die Detektorfläche.

2 Mikrowellenabsorption

Eine Mikrowelle läuft durch N_2 -Gas bei einem Druck von $p = 1 \text{ mbar}$. Wie gross ist die Absorption bei 1 m Weglänge auf dem Übergang $J_i = 1 \rightarrow J_k = 2$ des Schwingungsgrundzustandes, wenn der Absorptionsquerschnitt $\sigma_{ik} = 10^{-24} \text{ m}^2$ ist: a) bei $T = 100 \text{ K}$, b) $T = 300 \text{ K}$. Hinweis: Bei der Berechnung der Besetzungsdichte des Grundzustandes N_i ist die Zustandssumme $Z = \sum_n g_n e^{-E_n/kT}$ nötig. Die Absorptionsfrequenz des Übergangs berechnet sich zu $\nu_{ik} = 2c \cdot B_e \cdot (J_i + 1)$ mit $B_e(N_2) = 2.01/\text{cm}$.

3 Linienverbreiterung

- a) Bestimmen Sie die Verbreiterung der Absorptions- bzw. Emissionslinien durch die Dopplerverschiebung der Atome mit Masse m bei der Temperatur T .
 b) Bestimmen Sie mit a) die Verbreiterung der Na-D-Linie des Übergangs $3P_{1/2} \rightarrow 3S_{1/2}$ im Na-Atom bei $T=500 \text{ K}$ ($\lambda = 589.1 \text{ nm}$, $M_{Na} = 23 \text{ g/mol}$).
 c) Die Halbwertszeit τ vom Natriumübergang $3P_{1/2} \rightarrow 3S_{1/2}$ ist $\tau = 16 \text{ ns}$. Wie gross ist die natürliche Linienbreite dieses Übergangs?
 d) Wie kann man aus der Messung der effektiven Lebensdauer die Lebensdauer für die spontane Emission ermitteln? Wie kann man aus der gleichen Messung den elastischen Wirkungsquerschnitt bestimmen?
 e) Die Frequenzverbreiterung der Na-D-Linie bei Stössen mit He-Atomen ist 0.07 MHz/Pa . Wie gross ist die Linienverbreiterung bei Normaldruck und bei 10bar?
 f) Vergleichen Sie die Ergebnisse für die Linienverbreiterungen. Warum gibt es Lichtquellen mit kontinuierlichem Spektrum?

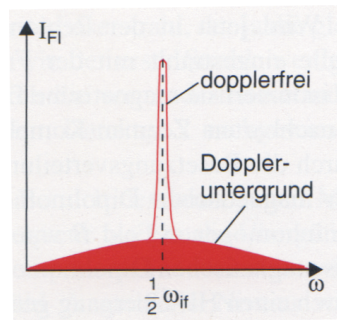


Figure 2: Schematische Darstellung eines dopplerfreien Zweiphotonensignals. Bild aus Demtröder Experimentalphysik 3.

4 Dopplerfreie Zweiphotonenabsorption

- Interpretieren Sie das in Abb. 2 schematisch dargestellte Ergebnis einer dopplerfreien Zweiphotonenabsorptionsmessung.
- Wie gross ist die rote Fläche im Vergleich zur Fläche unter der dopplerfreien Kurve und warum?
- Wie breit ist der hier gezeigt Doppleruntergrund im Vergleich zum entsprechend *normalen* Doppleruntergrund?

5 Spektren fremder Planeten

Wie würden Sie die Zusammensetzung der Atmosphäre extrasolarer Planeten bestimmen? Was ist dabei zu beachten?