

1. Alpha-Teilchen mit einer Energie von $E = 4,83 \text{ MeV}$ treffen auf eine **Goldfolie** der Dicke $d = 5 \mu\text{m}$. Ihre Dichte ist $\rho = 19,3 \text{ gcm}^{-3}$, und ihre molare Masse beträgt $M = 197 \text{ gmol}^{-1}$.

- Man berechne die **Anzahl Goldatome je cm^3** , n_V , sowie die Anzahl n_F der Atome in **einem cm^2** der Folie. (*Lösung:* $n_V = 5,9 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$, $n_F = 2,95 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-2}$)
- Man berechne den **Stossparameter b** , bei welchem der **Ablenkwinkel der α -Teilchen** bei Rutherford-Streuung nur mehr $\theta = 3^\circ$ beträgt. (*Lösung:* $b = 9 \cdot 10^{-11} \text{ cm}$)
- Wie groß ist die **Anzahl m der Streueignisse** für **Rutherford-Streuung** mit dem in Punkt (b) ermittelten Stossparameter $b \cong 9 \cdot 10^{-11} \text{ cm}$ im Vergleich zur **Thomson-Streuung** (Stossparameter $b \cong 10^{-8} \text{ cm}$)? Wieso ist der Stossparameter im Thomson-Modell wesentlich **größer** als im Rutherford-Modell? (*Lösung:* $m_R = 0,75$, $m_T = 9263$)
- Man vergleiche bei der **Winkelauflösung $d\theta = 1^\circ$** die **relativen Streudaten** für $(1,0 \pm 0,5)^\circ$ und $(5,0 \pm 0,5)^\circ$ für das Thomson-Modell und das Rutherford-Modell. Für die **Thomson-Streuung** nehme man einen **mittleren Streuwinkel** von $\bar{\theta} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$ für die Streuung an einem Atom an. (*Lösung:* $[N(1,0 \pm 0,5)^\circ / N(5,0 \pm 0,5)^\circ]_{\text{Rutherford}} = 217,8$, $[N(1,0 \pm 0,5)^\circ / N(5,0 \pm 0,5)^\circ]_{\text{Thomson}} = 1,12 \cdot 10^7$)

Hinweis:

- Abweichungen von Mittelwerten sind als "Rechtecksbreiten" zu interpretieren (ein Detektor sammelt die gestreuten Teilchen in einem Winkelintervall auf);
- bei der Thompsonstreuung an der Goldfolie kann es zu Mehrfachstreuungen kommen. Dies ist zu berücksichtigen

2. Photoelektrischer Effekt:

- Man bestimme die **Grenzwellenlänge**, ab der Elektronen aus einem **Festkörper mit $4,55 \text{ eV}$ Austrittsarbeit** freigesetzt werden können. (*Lösung:* $\lambda_g = 272,46 \text{ nm}$)
- Unter der Annahme, dass die auf den Festkörper auftreffende Lichtintensität $8 \cdot 10^{-6} \text{ Wcm}^{-2}$ beträgt und **innerhalb der Grenzwellenlänge** vollkommen von den im Festkörper befindlichen Elektronen (Elektronendichte $\rho_e \approx 10^{23} \text{ cm}^{-3}$) aufgenommen wird, berechne man klassisch die **mittlere Energieaufnahme** eines Elektrons.
- Wie lange dauert es, bis nach diesem klassischen Ansatz ein Elektron aus dem gegebenen Festkörper emittiert wird? (*Lösung:* $\Delta t = 2,48 \cdot 10^5 \text{ s}$)
- Bestimmen Sie das **Planck'sche Wirkungsquantum h** , wenn Photoelektronen, die aus der Oberfläche eines Metalls durch Licht mit einer Frequenz $\nu_1 = 2,2 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$ herausgelöst werden, über eine entgegenwirkende Spannung von $U_1 = 6,6 \text{ V}$ **vollständig zurückgehalten** werden, und die zu Licht mit einer Frequenz von $\nu_2 = 4,6 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$ gehörigen Photoelektronen über eine entgegenwirkende Spannung von $U_2 = 16,5 \text{ V}$ **vollständig zurückgehalten** werden.

3. **Mechanische Effekte von Licht:** Wir betrachten ein ^{23}Na Atom und seine Wechselwirkung mit **nahe resonantem** Laserlicht:

Na:

Massenzahl: $A=23$
Wellenlänge $5S_{1/2} - 5P_{3/2}$ $\lambda=589,2 \text{ nm}$
Lebensdauer $\tau=16,25 \text{ ns}$ $\Gamma=1/\tau$

- wie groß ist der **Rückstossimpuls** der von einem Photon übertragen wird? Wie groß ist die Änderung der Geschwindigkeit des Na Atoms. (*Lösung:* $p = 1,125 \cdot 10^{-27} \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, $v = 29,5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$)
- wie groß ist die **Energie**, die ein Na Atom, welches vor dem Stoss in Ruhe ist, nach einem Photonrückstoss hat. Geben Sie diese Energie in verschiedenen Einheiten an (J, eV, äquivalente Temperatur) (*Lösung:* $E = 1,03 \cdot 10^{-10} \text{ eV}$)
- was ist die **maximale Kraft** (Beschleunigung), die ein Laserstrahl auf das Na Atom ausüben kann (*Hinweis:* die maximale Streurrate $R_{\text{max}} = \Gamma/2 = 1/(2\tau)$). (*Lösung:* $F = 3,462 \cdot 10^{-20} \text{ N}$)
- In welcher Zeit (über welche Strecke) kann ein thermisches Na Atom ($E_{\text{kin}} \sim k_B T = 300 \text{ K}$) mit dieser maximalen Kraft **abgebremst** werden. (*Lösung:* $s = 0,12 \text{ m}$)
- Wie viele Photonen können gestreut werden bis der **Dopplereffekt** die Frequenz des Laserlichtes um eine Linienbreite Γ verschiebt. (*Lösung:* $N = 1230$)

Bitte Seite wenden!

4. Das **Plancksche Strahlungsgesetz** der spektralen Energiedichte der Hohlraumstrahlung als Funktion von deren Frequenz ν lautet

$$w(\nu)d\nu = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \cdot \frac{d\nu}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$$

- a) Man leite aus dieser Beziehung das Stefan-Boltzmann-Gesetz für die **je Flächeneinheit in den gesamten Halbraum emittierte Strahlungsleistung** der Hohlraumstrahlung durch Integration über alle Frequenzen ab. Wie lautet der analytische Ausdruck für die Konstante σ im Stefan-Boltzmann-Gesetz, welche Einheit hat sie und was ist ihr numerischer Wert?

(Lösung: $dW/dt = \sigma T^4$, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$)

Herleitung des **Wienschen Verschiebungsgesetzes** aus dem Plancksches Strahlungsgesetz.

- b) Man drücke das Plancksche Strahlungsgesetz als Funktion der Wellenlänge λ aus.
 c) Man bestimme das Maximum der Wellenlängenverteilung.
 d) Hat die Konstante des Wienschen Verschiebungsgesetzes einen analytischen Wert? Was ist ihre Einheit und ihr numerischer Wert? (Lösung: $\lambda_{\max} T = C_{\text{Wien}}$, $C_{\text{Wien}} = 2,88 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$)

5. Ein Metalldraht mit einem spezifischen Widerstand von $\rho_{el} = 5 \mu\Omega\text{cm}$ und mit einem Durchmesser $d = 200 \mu\text{m}$ wird unter Vakuum bei einer Spannung von $U = 220 \text{ V}$ von einem Strom I durchflossen und dadurch auf $T_1 = 3000 \text{ K}$ aufgeheizt.

- a) Unter der Annahme, dass der Glühdraht ein **idealer schwarzer Strahler** ist und die Energieabgabe ausschließlich durch Strahlung erfolgt berechne man den Heizstrom I .
 (Lösung: 42.58 A)

Als weitere Materialdaten des Drahtes seien seine Dichte $\rho = 19 \text{ gcm}^{-3}$ und seine spezifische Wärmekapazität $c = 154,6 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ bekannt.

- b) Wie lange es dauert es, bis nach Abschalten des Stromes der Draht auf $T_2 = 800 \text{ K}$ abgekühlt ist?
 (Lösung: 1,65 s)

Hinweis: der spezifische Widerstand ρ sei als temperaturunabhängig angenommen.

6. **Zweifach ionisierte Argon-Atome** bewegen sich mit der Energie $E = 10^3 \text{ eV}$ durch ein magnetisches 60° -Sektorfeld.

- Wie groß muß das Magnetfeld B sein, damit die Brennweite $f = 30 \text{ cm}$ beträgt?
 (Lösung: $B = 55,41 \text{ mT}$)

Hinweis: $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.