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

a) Man berechne die **Anzahl Goldatome je cm³**, $\boldsymbol{n_V}$, sowie die Anzahl $\boldsymbol{n_F}$ der Atome in **einem cm²** der Folie. *(Lösung: $n_V = 5{,}9 \cdot 10^{22}\ cm^{-3}$, $n_F = 2{,}95 \cdot 10^{19}\ cm^{-2}$)*

b) Man berechne den **Stossparameter *b***, bei welchem der **Ablenkwinkel der α-Teilchen** bei Rutherford-Streuung nur mehr $\boldsymbol{\theta = 3°}$ beträgt. *(Lösung: $b = 9 \cdot 10^{-11}$ cm)*

c) Wie groß ist die **Anzahl *m* der Streuereignisse** für **Rutherford-Streuung** mit dem in Punkt (b) ermittelten Stossparameter $b \cong 9 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{cm}$ im Vergleich zur **Thomson-Streuung** (Stossparameter $b \cong 10^{-8}\,\mathrm{cm}$)? Wieso ist der Stossparameter im Thomson-Modell wesentlich **größer** als im Rutherford-Modell? *(Lösung: $m_R = 0{,}75$, $m_T = 9263$)*

d) Man vergleiche bei der **Winkelauflösung** $\boldsymbol{d\theta = 1°}$ die **relativen Streudaten** für **(1,0 ± 0,5)°** und **(5,0 ± 0,5)°** für das Thomson-Modell und das Rutherford-Modell. Für die **Thomson-Streuung** nehme man einen **mittleren Streuwinkel von** $\bar{\theta} = 2 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{rad}$ für die Streuung an einem Atom an.
(Lösung: $[N(1{,}0 \pm 0{,}5)°/N(5{,}0 \pm 0{,}5)°]_{Rutherford} = 217{,}8$, $[N(1{,}0 \pm 0{,}5)°/N(5{,}0 \pm 0{,}5)°]_{Thomson} = 1{,}12 \cdot 10^{7}$)

<u>Hinweis</u>:

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

Na:

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

a) wie groß ist der **Rückstossimpuls** der von einem Photon übertragen wird? Wie groß die Änderung der Geschwindigkeit des Na Atoms. *(Lösung: $p = 1{,}125 \cdot 10^{-27}\ kg \cdot m \cdot s^{-1}$, $v = 29{,}5\ mm \cdot s^{-1}$)*

b) 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: $E = 1{,}03 \cdot 10^{-10}$ eV)*

c) was ist die **maximale Kraft** (Beschleunigung), die ein Laserstrahl auf das Na Atom ausüben kann
<u>Hinweis:</u> die maximale Streurate $R_{max}=\Gamma/2=1/(2\tau)$. (Lösung: $F = 3{,}462 \cdot 10^{-20}$ N)

d) In welcher Zeit (über welche Strecke) kann ein thermisches Na Atom ($E_{kin} \sim k_B T$ T=300 K) mit dieser maximalen Kraft **abgebremst** werden. *(Lösung: $s = 0{,}12$ m)*

e) Wie viele Photonen können gestreut werden bis der **Dopplereffekt** die Frequenz des Laserlichtes um eine Linienbreite Γ verschiebt. *(Lösung: $N = 1230$)*

3. **Photoelektrischer Effekt:**

a) Man bestimme die **Grenzwellenlänge**, ab der Elektronen aus einem **Festkörper mit 4,55 eV Austrittsarbeit** freigesetzt werden können. *(Lösung: $\lambda_g = 272{,}46$ nm)*

b) Unter der Annahme, dass die auf den Festkörper auftreffende Lichtintensität $\boldsymbol{8 \cdot 10^{-6}\ Wcm^{-2}}$ beträgt und **innerhalb der Grenzwellenlänge** vollkommen von den im Festkörper befindlichen Elektronen (Elektronendichte $\rho_e \approx 10^{23}\ cm^{-3}$) aufgenommen wird, berechne man klassisch die **mittlere Energieaufnahme** eines Elektrons.

c) Wie lange dauert es, bis nach diesem klassischen Ansatz ein Elektron aus dem gegebenen Festkörper emittiert wird? *(Lösung: $\Delta t = 2{,}48 \cdot 10^{5}$ s)*

<u>Bitte Seite wenden!</u>

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

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

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: $\mathrm{d}W/\mathrm{d}t = \sigma T^4$, $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{Wm^{-2}K^{-4}}$*)*

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:* $\lambda_{max}T = C_{Wien}$, $C_{Wien} = 2{,}88 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m \cdot K}$*)*

5. **Strahlungsgesetze im Haushalt:** Eine Glühbirne der **elektrischen Leistung** $\boldsymbol{P = 60\ \mathrm{W}}$ wird mit der **Spannung** $\boldsymbol{U = 230\ \mathrm{V}}$ betrieben. Der im Inneren der evakuierten Glühbirne befindliche Wolframdraht (spezifischer Widerstand **ρ = 5,65 μΩcm**)wird durch den ihn durchfließenden Strom auf **2500 K** erhitzt.

a) Wie **dick** ist der Draht? *(Lösung:* $d = 8{,}9\ \mu\mathrm{m}$*)*
b) Welche Spannung $\boldsymbol{U_m}$ ist nötig, damit der Draht durchbrennt? (Die Schmelztemperatur von Wolfram beträgt $\boldsymbol{T_m = 3137\ \mathrm{K}}$) *(Lösung:* $U_m = 362{,}2\ \mathrm{V}$*)*
Hinweis: der spezifische Widerstand ρ sei als temperaturunabhängig angenommen.

6. **Die elektrostatische Elektronenlinse:** Das elektrische $\phi(r, z)$ entlang der Achse ($r = 0$) einer zylindersymmetrischen Elektronenlinse sei

$$\varphi(z) = \begin{cases} \varphi_0 & z < 0 \\ \varphi_0 + az^2 & 0 \le z \le z_0 \\ \varphi_0 + az_0^2 & z > z_0 \end{cases} .$$

Elektronen treten mit der Geschwindigkeit $v_0 = \sqrt{\frac{2e\varphi_0}{m}}$ in die Linse ein.

➔ Wie groß ist die Brennweite der Linse? *(Lösung:* $f = \dfrac{2\sqrt{\frac{\varphi_0}{a}}}{\ln\left[z_0 + \sqrt{\frac{\varphi_0}{a} + z_0^2}\right] - \ln\left(\sqrt{\frac{\varphi_0}{a}}\right)}$ *)*

Hinweis: Die Gleichung zur Bestimmung der Brennweite f einer Elektronenlinse, $f = \dfrac{4 \cdot \sqrt{\varphi_0}}{\int_{z_1}^{z_2} \frac{1}{\sqrt{\varphi(z)}} \cdot \frac{d^2\varphi(z)}{dz^2} \cdot dz}$ *kann als gegeben vorausgesetzt werden*