

Aufgabe 1: Photoeffekt (7 Punkte)

Eine Kathode aus Natrium wird mit Licht fester Wellenlänge λ bestrahlt. Dabei können Elektronen aus der Kathode austreten, die durch einen Strom zwischen Kathode und Anode nachgewiesen werden.

- Skizzieren Sie den Versuchsaufbau und erklären Sie, wie die kinetische Energie der ausgelösten Elektronen bestimmt wird. Geben Sie die Geschwindigkeit der ausgelösten Elektronen in Abhängigkeit des Versuchsparameters an.
- Wie verhält sich die kinetische Energie der Elektronen in Abhängigkeit von der Lichtfrequenz ν ? Erklären Sie dies anhand einer Skizze $E_{\text{kin}}(\nu)$.
- Zeichnen Sie ein Energieniveauschema, das den Zusammenhang zwischen der Fermi-Energie für die Elektronen im Metall, der Austrittsarbeit, der kinetischen Energie der ausgetretenen Elektronen und der Energie des Photons verdeutlicht.
- Für die Wellenlänge $\lambda = 254 \text{ nm}$ wird bei einer Spannung von $U = 2,535 \text{ V}$ gerade kein Strom mehr gemessen. Wie groß sind die Energie der Photonen und die Austrittsenergie von Natrium (in eV)?
- Welchen typischen Wert haben Fermi-Energien von Metallen (in eV und äquivalent in Kelvin)?

Aufgabe 2: Potentialbarriere (5 Punkte)

Wir betrachten ein Potenzial der Form
$$V(x) = \begin{cases} V_0 > 0 & \text{für } |x| \leq a \\ 0 & \text{für } |x| > a \end{cases}$$

- Skizzieren Sie den Verlauf des Potenzials.
- Was passiert mit klassischen Teilchen mit der Energie $E < V_0$ bzw. $E > V_0$, die von links auf die Potentialbarriere treffen?
- Beschreiben Sie im Vergleich dazu das Verhalten eines quantenmechanischen Teilchens der Energie $E < V_0$, das von links auf die Potentialbarriere trifft?
- Wir betrachten im Folgenden weiterhin das quantenmechanische Teilchen der Energie $E < V_0$, das von links auf die Potentialbarriere trifft. Stellen Sie für die verschiedenen Bereiche des Potenzials jeweils die stationäre Schrödingergleichung auf.
- Geben Sie an, aus welchen Teilen sich die Lösungen der Schrödingergleichung (Wellenfunktionen) in den Bereichen mit $V(x) = 0$ und $V(x) = V_0$ zusammensetzen und beschreiben Sie diese kurz.

Aufgabe 3: Festkörperphysik (5 Punkte)

- Erklären Sie die kovalente Bindung anhand eines H_2 -Moleküls. Skizzieren Sie dazu auch die Einzel- und Gesamtwellenfunktionen. Klären Sie die Begriffe „bindend“ und „antibindend“.
- Welche Bindungsarten kennen Sie außerdem noch? Nennen Sie jeweils ein Beispiel.

Aufgabe 4: Atomare Wellenfunktionen (4 Punkte)

Atomare Wellenfunktionen werden in Kugelkoordinaten r , θ und φ formuliert und durch die Quantenzahlen n , l und m beschrieben.

- Welche Quantenzahlen werden durch den radialen Anteil der Wellenfunktion $R(r)$ und welche Quantenzahlen durch den winkelabhängigen Anteil der Wellenfunktion $Y(\theta, \varphi)$ festgelegt?
- Welche Wertebereiche können diese Quantenzahlen haben?
- Welche Werte der Quantenzahlen charakterisieren d-Orbitale?
- Wie hängt der Betrag des Bahndrehimpulses von der Bahndrehimpulsquantenzahl ab?
- Welchen Wert kann die z-Komponente des Bahndrehimpulses für $l = 2$ maximal annehmen?

Aufgabe 5: Kernphysik (8 Punkte)

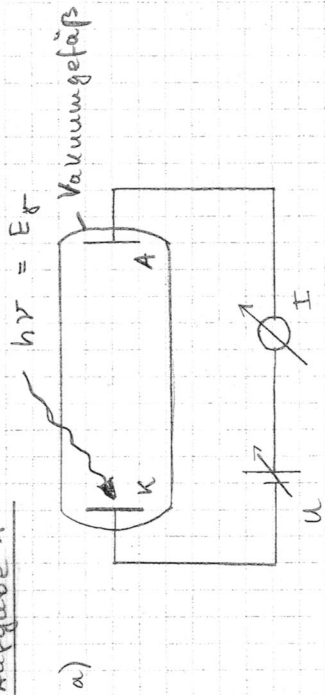
Einfach ionisierte Lithium-Isotope ${}^6_3\text{Li}^+$ und ${}^7_3\text{Li}^+$ durchlaufen in einem Massenspektrometer eine Potentialdifferenz von $U = 10 \text{ kV}$ und treten danach in ein homogenes Magnetfeld $\vec{B}$ ein. In diesem Feld durchlaufen die ${}^6_3\text{Li}^+$ -Ionen einen Halbkreis vom Radius $r_6 = 3,6 \text{ cm}$ bevor sie auf einen Detektor treffen. Vernachlässigen Sie zunächst die Kern-Bindungsenergie.

- Skizzieren Sie die Anordnung. Welche Stärke hat das Magnetfeld?
- Um welche Strecke Δx muss der Detektor verschoben werden, um die ${}^7_3\text{Li}^+$ -Ionen nachzuweisen?
- Wie groß müsste ein elektrisches Feld sein und wie müsste es orientiert werden (Skizze), damit die Ablenkung der ${}^6_3\text{Li}^+$ -Ionen im Magnetfeld verhindert wird? Würden sich dann die ${}^7_3\text{Li}^+$ -Ionen ebenfalls gerade aus bewegen? Weshalb?
- Wie groß ist die tatsächliche Masse dieser Atome, wenn die Kern-Bindungsenergie von ${}^6_3\text{Li}$ $E_B = 31,99 \text{ MeV}$ und die von ${}^7_3\text{Li}$ $E_B = 39,24 \text{ MeV}$ beträgt?

Nützliche Zahlenwerte:

$$\begin{aligned} m_{\text{He}} &= 5,4858 \cdot 10^{-4} \text{ u} = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg (Ruhemasse des Elektrons)} \\ m_{\text{Op}} &= 1,0073 \text{ u} = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg (Ruhemasse des Protons)} \\ m_{\text{On}} &= 1,0087 \text{ u} = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg (Ruhemasse des Neutrons)} \\ 1 \text{ u} &= 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg (atomare Masseneinheit)} \\ c &= 3 \cdot 10^8 \text{ m/s (Lichtgeschwindigkeit im Vakuum)} \\ h &= 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js (Plancksches Wirkungsquantum)} \\ e &= 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As (Elementarladung)} \end{aligned}$$

Aufgabe 1



E_{kin} der Elektronen, die aus der Kathode ausgelöst werden, wird aus der Gegenspannung U_0 bestimmt, bei der gerade kein Strom mehr fließt:

$$|E_{kin}| = |E_{Pot}| \Leftrightarrow \frac{1}{2} m_e v^2 = e U_0$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 e U_0}{m_e}}$$

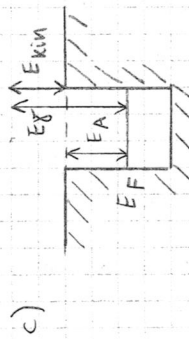
b)

$$E_{kin} = \frac{h c}{\lambda} = h \nu$$

$$E_F = E_A + E_{kin}$$

$$E_{kin} = E_F - E_A$$

Austrittsarbeit



d)

$$E_F = h \frac{c}{\lambda} = \frac{41.885 \text{ eV}}{\lambda}$$

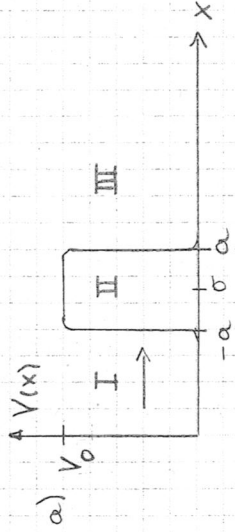
$$E_A = E_F - E_{kin} = \frac{h c}{\lambda} - e U$$

$$E_A = 2.35 \text{ eV}$$

e)

$$(1.5) \text{ eV} \hat{=} (10.50) \cdot 10^3 \text{ K}$$

Aufgabe 2



b)

- $E < V_0$: Reflexion des Teilchens
- $E > V_0$: Überquerung der Barriere mit reduzierter kinetischer Energie in Bereich II

c) Tunneleffekt: die Wellenfunktion des Teilchens kann in die Potenzialbarriere eindringen (exponentielle Form) und besitzt somit eine endliche Transmissionswahrscheinlichkeit

d) Bereiche I und III: $-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \psi = E \psi$

Bereich II: $(-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V_0) \psi = E \psi$

e) Bereich I: $\psi_I(x) = A e^{i k x} + B e^{-i k x}$
 Welle läuft ... nach rechts (einkommend) (reflektiert) nach links

Bereich II: $\psi \sim e^{-\alpha x}$ exponentiell gedämpfte Welle (nach rechts)

Bereich III: $\psi = T \cdot e^{i k x}$
 nach rechts laufende Welle (transmittierter Teil)

Aufgabe 3

a) ausgehen von 2 H-Atomen im Grundzustand

1S-Wellenfunktionen



Linearkombinationen der beiden Wellenfunktionen

ψ_S



bau durch

symmetrische Kombination mit vergrößertem Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen in der Mitte

ψ_A



antibündend

antisymmetrische K.

verringerte Aufenthaltswahrscheinlichkeit der e^- in der Mitte

- b)
- ionische Bindung - NaCl
 - metallische Bindung - Na, Cu, ...
 - van der Waals-Bindung - Ne, Ar, CH₄
 - Wasserstoffbrücken-Bindung - Wasser

Aufgabe 4

a) $R_{n,l}(r) \rightarrow$ Hauptquantenzahl n und Drehimpulsquantenzahl l

$Y_{l,m}(\theta, \varphi) \rightarrow$ Drehimpulsquantenzahl l + magnetische Quantenzahl m

b) $n = 1, 2, 3, \dots$

$l = 0, 1, 2, \dots, n-1$

$|m| \leq l$ (ganzzahlig)

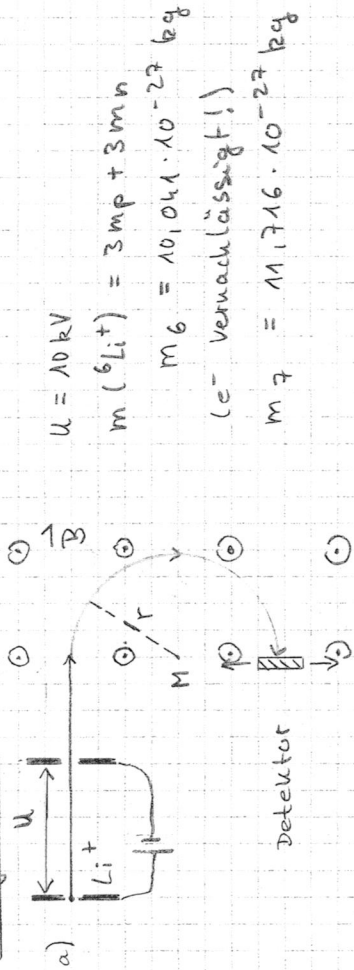
c) d-Orbital $\rightarrow l=2$; $n \geq 3$

$m = \pm 2, \pm 1, 0$

d) $L = \hbar \sqrt{l(l+1)}$

e) $L_z = \hbar m$

Aufgabe 5



$W_{kin} = W_{el} \Rightarrow \frac{1}{2} m v^2 = q \cdot U = eU$
 $v = \sqrt{\frac{2eU}{m_6}}$ * Geschwindigkeit bei Eintritt ins Magnetfeld

$\vec{F}_L = e \cdot \vec{v} \times \vec{B}$ bzw. $\vec{v} \perp \vec{B} : F_L = e v B$
 $F_L = F_z \Rightarrow e v B = \frac{m v^2}{r}$
 $\Rightarrow B = \frac{m v}{e r} = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{2 m U}{e}}$
 $B = 0,983 \frac{Vs}{m^2}$

$b) B = konst. : (Br)^2 = \frac{2U}{e} m$ also $m \propto r^2$
 $\frac{m_6}{r_6^2} = konst. = \frac{m_7}{r_7^2} \Rightarrow r_7^2 = \frac{m_7}{m_6} r_6^2$
 $r_7 = (m_7/m_6)^{1/2} \cdot r_6 = 0,0389 m$

$\Rightarrow \Delta x = 2(r_7 - r_6) = 24r = 5,77 \cdot 10^{-3} m$

c) $|F_{el}| = |F_L|$

$\Rightarrow eE = e v B$

$E = \sqrt{\frac{2eU}{m}} \cdot \frac{1}{v} \sqrt{\frac{2mU}{e}} B$
 mit $\vec{E} \perp \vec{B}$

$E = \frac{2U}{r} = 5,56 \cdot 10^5 \frac{V}{m}$

$E \sim \frac{1}{r} \quad r_6 \neq r_7$
 ${}^7Li^+$ fliegen nicht genauso

$d) m_{Atom} = m_{Bausleine} - m_{EB}$
 $m({}^6Li) = (3m_p + 3m_n + 3m_e) - \frac{EB}{c^2}$
 $= 9,98849 \cdot 10^{-27} kg$
 $m({}^7Li) = (3m_p + 4m_n + 3m_e) - \frac{EB}{c^2}$
 $= 11,6505 \cdot 10^{-27} kg$

