# Klausur zur Experimentalphysik 4

Prof. Dr. S. Schönert

Sommersemester 2015

24. Juli 2015

Dr. Carsten Rohr (carsten.rohr@ph.tum.de)

## Aufgabe A (8 Punkte)

(a) Worin liegt der Unterschied zwischen dem Stark- und dem Zeeman-Effekt?

(b) Wie ist der Erwartungswert eines Operators definiert?

(c) Wann ist ein Zustand ein gebundener Zustand?

(d) Woraus folgt das Pauli-Verbot?

(e) Wie sieht die Zeitentwicklung einer Wellenfunktion aus?

(f) Was ist die Elektronenkonfiguration des Grundzustandes $3^3P_2$? Zeichnen und beschriften sie das nicht voll besetzte Orbital. (Kästchen mit Pfeilen)

(g) In welche Hyperfeinkomponenten spalten die $4^2\mathrm{S}_{1/2}$- und der $4^2\mathrm{P}_{3/2}$-Zustände des neutralen $^{40}$K-Atoms auf ($I = 4$)?

(h) Was versteht man unter einem idealen Gas?

(i) Was ist die Grundannahme der statistischen Beschreibung der Thermodynamik?

(j) Was bedeutet Quantenkonzentration ‚anschaulich'?

(k) Was versteht man in der Festkörperphysik unter Ferminiveau und unter Fermienergie?

## Aufgabe 1 (2 Punkte)

Mit welcher Wahrscheinlichkeit $P(R)$ hält sich das Elektron im Grundzustand des Wasserstoffatoms im Proton (Radius $r_\mathrm{p} = 0,895\mathrm{fm}$) auf? Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit $P(R)$, dass sich das Elektron im Grundzustand eines wasserstoffähnlichen Uranions im $^{238}_{92}$U-Kern (Radius $r_\mathrm{U} = 5,86\mathrm{fm}$) aufhält?

Nehmen Sie an, dass die Wellenfunktion $\Psi_{1,0,0}(r) = \frac{Z^{3/2}}{\sqrt{\pi}a_0^{3/2}}e^{-Zr/a_0}$ über den kleinen Bereich des Kerns konstant ist.

## Aufgabe 2 (8 Punkte)

Geben sei eine eindimensionale, rechteckige Potenzialmulde der Breite $b > 0$ und der Tiefe $-V_0 < 0$:

$$V(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \text{ (Bereich I)} \\ -V_0 & x \in [0, b] \text{ (Bereich II)} \\ 0 & x > b \text{ (Bereich III)} \end{cases}$$

Eine ebene Materiewelle (Energie $E > 0$, Masse $m$) treffe von links auf diese Potentialmulde. Der Betrag des Wellenvektors in den drei Bereichen soll mit $k_{\mathrm{I}}$, $k_{\mathrm{II}}$ bzw. $k_{\mathrm{III}}$ bezeichnet werden.

(a) Die Energie $E$ des Teilchens sei nun fest vorgegeben. Berechnen Sie die Muldentiefe $V_0$ in Abhängigkeit der Energie $E$, sodass Folgendes gilt: $k_{\mathrm{II}} = 4 \cdot k_{\mathrm{I}}$

(b) Die Muldentiefe erfülle nun die Bedingung $k_{\mathrm{II}} = 4 \cdot k_{\mathrm{I}}$. Geben Sie für alle drei Bereiche die zugehörigen, resultierenden Ortswellenfunktionen $\phi_{\mathrm{I}}(x)$, $\phi_{\mathrm{II}}(x)$ und $\phi_{\mathrm{III}}(x)$ mit allgemeinen Amplitudenkoeffizienten an. (Hinweis: Verwenden Sie für die ebene Teilchenwelle die komplexe Schreibweise und überlegen Sie, welche Wellenkomponenten in den jeweiligen Bereichen auftreten.)

(c) Stellen Sie die alle Gleichungen auf, welche die Ermittlung der Amplitudenkoeffizienten erlauben.

(d) Betrachten Sie nun zusätzlich den Spezialfall $\lambda_{\mathrm{I}} = \frac{1}{2}b$ , wobei $\lambda_{\mathrm{I}}$ die Materiewellenlänge im Bereich I bezeichnet. Berechnen Sie die Transmissionswahrscheinlichkeit $T$, mit der das Teilchen die Potenzialmulde überwindet.

## Aufgabe 3 (2 Punkte)

Berechnen Sie die Präzessionsfrequenz eines Teilchens mit Drehimpuls $\vec{L}$ und magnetischem Moment $\vec{\mu} = -\frac{\mu_B}{\hbar}\vec{L}$ in einem Magnetfeld der Flussdichte $|\vec{B}| = 1\mathrm{T}$.

## Aufgabe 4 (8 Punkte)

In einem Magnetfeld von $3,734\mathrm{T}$ befinden sich Wasserstoffatome.

(a) Wird bei dieser Feldstärke die Aufspaltung der $H_\alpha$-Linie $(n = 3) \rightarrow (n = 2)$ durch den anomalen Zeemaneffekt oder durch den Paschen-Back-Effekt verursacht? Bestimmen Sie dazu zunächst die Spin-Bahn-Energie zwischen den Termen $3^2\mathrm{P}_{1/2}$ und $3^2\mathrm{P}_{3/2}$ und damit die Stärke des Grenzmagnetfeldes des Zeeman-Effektes. *Hinweis:* Kopplungskonstante $a$, siehe Konstanten.

(b) Skizzieren Sie die Aufspaltung der Terme in dem angegebenen Magnetfeld und tragen Sie die Übergänge ein, auf denen die $H_\alpha$-Linie beobachtet werden kann.

(c) In wie viele Übergangslinien spaltet die $H_\alpha$-Linie auf?

(d) Bestimmen Sie aus der beobachteten Frequenzaufspaltung zwischen zwei benachbarten Komponenten von $6,617 \cdot 10^{10}\mathrm{Hz}$ und dem Magnetfeld das Verhältnis von $\frac{e}{m}$.

## Aufgabe 5 (5 Punkte)

Im Röntgenabsorptionsspektrum von Ag liefen die Absorptionskanten an den folgenden Stellen: $K$-Kante: $0,485\text{Å}$, $L_{\text{I}} : 3,25\text{Å}$, $L_{\text{II}} : 3,51\text{Å}$, $L_{\text{III}} : 3,69\text{Å}$.

(a) Man suche das niedrigstmögliche $Z$, dessen $K_\alpha$-Strahlung in Ag Photoelektronen aus der $K$-Schale freimachen kann. Welche kinetische Energien haben dabei die aus der $L$-Schale frei werdenden Photoelektronen?

(b) Was sind alle möglichen Folgeprozesse der Ionisation eines $K$-Elektrons? Beschreiben Sie diese kurz.

## Aufgabe 6 (5 Punkte)

HCl-Dampf absorbiert Licht bei folgenden Wellenzahlen (vereinfacht)

$$\nu : 20, 40, 60\text{cm}^{-1}...$$

Zwischen diesen Linien tritt keine Absorption auf. Man ordne diesen Absorptionslinien die dazugehörigen $J$-Werte zu, bestimme das Trägheitsmoment und schätze daraus den Abstand der beiden Atomkerne ($^1$H, $^{35}$Cl) ab.

## Aufgabe 7 (3 Punkte)

Man berechne die Fermi-Energie und die mittlere Elektronenenergie in einem eindimensionalen Elektronengas, welches aus $N$ Elektronen, eingeschlossen in einem Potenzialtopf der Länge $L$, besteht. *Hinweis:* $\sum_{i=1}^{\nu} i^2 = \frac{\nu(\nu+1)(2\nu+1)}{6}$

## Konstanten

$$\hbar = 1.05 \cdot 10^{-34}\text{Js} \qquad m_e = 9.11 \cdot 10^{-31}\text{kg}$$

$$e = 1.6 \cdot 10^{-19}\text{C} \qquad m_p = 1.67 \cdot 10^{-27}\text{kg}$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}\text{As/V/m} \qquad \alpha = 7.3 \cdot 10^{-3}$$

$$a_0 = \frac{4\pi\varepsilon_0}{e^2}\frac{\hbar^2}{m_e} = 5,3 \cdot 10^{-11}\text{m} \qquad \mu_B = \frac{e \cdot \hbar}{2m_e} = 9,27 \cdot 10^{-24}\text{N/A}^2$$

$$a = 1,159 \cdot 10^{-20}\text{J} \cdot \frac{Z^4}{n^6} \qquad N_A = 6,02 \cdot 10^{23}\text{Mol}^{-1}$$

$$R_\infty = \frac{m_e e^4}{8c\epsilon_0^2 h^3} = 1,10 \cdot 10^7\text{m}^{-1} \qquad k_B = 1,38 \cdot 10{-}23\text{J/K}$$