

---

# Probeklausur in Experimentalphysik 4

Prof. Dr. P. Fierlinger

Sommersemester 2017

11.7.2017

---

Zugelassene Hilfsmittel:

- 1 Doppelseitig handbeschriebenes DIN A4 Blatt
- 1 nichtprogrammierbarer Taschenrechner

Die Bearbeitungszeit beträgt 90 Minuten. Es müssen nicht alle Aufgaben vollständig gelöst sein, um die Note 1,0 zu erhalten.

## Aufgabe 1 (9 Punkte)

- Erklären Sie mit der Bohrschen Theorie die übereinstimmende Wellenlänge der Absorptions- und Emissionslinien von Gasen.
- Berechnen Sie die Mindestgeschwindigkeit, welche ein Elektron haben muss, um bei einer Kollision ein Wasserstoffatom ionisieren zu können.
- Berechnen Sie die Spektrallinie mit der längsten Wellenlänge im sichtbaren Spektralbereich des Wasserstoffatoms.
- Ein angeregtes Wasserstoffatom kann unter anderem Photonen der Wellenlänge 484nm abgeben. Dem Übergang zwischen welchen Bahnen entspricht das?

## Aufgabe 2 (8 Punkte)

Positronium besteht aus einem Elektron und einem Positron, die sich um ihren gemeinsamen Schwerpunkt bewegen. Das zugehörige Spektrum ähnelt daher dem des Wasserstoffs.

- Welche Wellenlängen haben die ersten beiden Linien der Balmer-Serie des Positroniums?
- Wie groß ist die Bindungsenergie des Grundzustands?
- Warum kann das Positronium nicht in nur ein Photon annihilieren (zerstrahlen)? Geben Sie an, welche beiden Spingrundzustände möglich sind.

Welcher Zustand lebt länger und warum?

### Aufgabe 3 (14 Punkte)

Wir betrachten ein Teilchen im Potential

$$V(x) = \begin{cases} 0 & 0 < x < a \\ \infty & \text{sonst} \end{cases}$$

mit dem Hamiltonian  $\hat{H} = \frac{1}{2m}\hat{p}^2$  und den Eigenfunktionen

$$\phi_n(x, t) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin(k_n x) e^{-i\omega_n t}$$

wobei  $k_n = \frac{\pi}{a}n$ ,  $n \in \mathbb{N}$

- (a) Zeigen Sie, dass die Funktionen  $\phi_n(x, t)$  Lösungen der zeitabhängigen Schrödingergleichung sind. Welche Beziehung zwischen  $k_n$  und  $\omega_n$  muss gelten?
- (b) Welche Energieeigenwerte  $E_n$  ergeben sich?
- (c) Betrachten Sie den Zustand  $|\psi\rangle$  mit der Wellenfunktion  $\psi(x, t) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\phi_1(x, t) + \phi_2(x, t))$ . Betrachten Sie für  $|\psi\rangle$  den Erwartungswert des Ortes  $\langle x \rangle$  als Funktion der Zeit. Welche Frequenz hat die Oszillation des Erwartungswertes (Amplitude ist nicht gefragt)?
- (d) Welchen Erwartungswert der Energie  $E$  hat der Zustand  $|\psi\rangle$ ?

### Aufgabe 4 (13 Punkte)

Ein Elektron und ein Proton befinden sich im Abstand  $|\vec{r}| = 2\text{\AA}$  voneinander. Ihre magnetischen Momente  $\vec{\mu}_{1/2}$  zeigen in die gleiche Richtung.

- (a) Berechnen Sie bei welcher Anordnung die magnetische Wechselwirkungsenergie minimal und bei welcher Anordnung sie maximal ist. *Hinweis:*  $\vec{B}(\vec{r}) = -\frac{\mu_0}{4\pi} \vec{\nabla} \left( \frac{\vec{\mu} \cdot \vec{r}}{r^3} \right)$ ?
- (b) Berechnen Sie die minimale und maximale Wechselwirkungsenergie von Teil a).

### Aufgabe 5 (19 Punkte)

In einem Magnetfeld von 473mT 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  $3^2P_{1/2}$  und  $3^2P_{3/2}$  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) Wie viele Übergangslinien werden bei der aufgespaltenen  $H_\alpha$ -Linie beobachtet?
- (d) Bestimmen Sie aus der beobachteten Frequenzaufspaltung zwischen zwei benachbarten Komponenten von  $6,617 \cdot 10^9 \text{ Hz}$  und dem angegebenen Magnetfeld das Verhältnis von  $\frac{e}{m}$ .

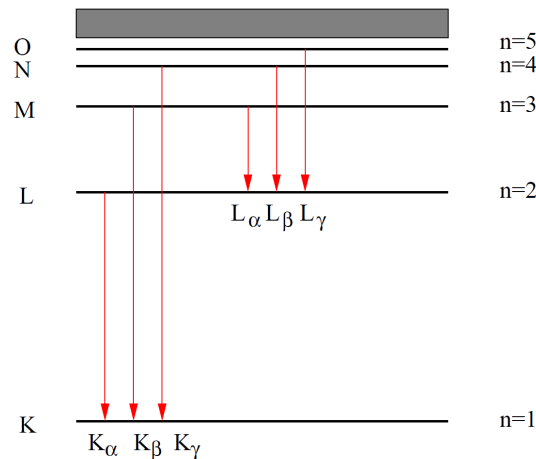
## Aufgabe 6 (14 Punkte)

Die  $K$ -Absorptionskante von Wolfram  ${}^{184}_{74}\text{W}$  (d.h. die Wellenlänge, bei der die Freisetzung von Elektronen aus der  $K$ -Schale beginnt) liegt bei  $0.17845\text{\AA}$ . Die Wellenlängen der  $K_\alpha$ ,  $K_\beta$ ,  $K_\gamma$  und  $K_\delta$  Linien liegen bei:  $0.2100$ ,  $0.1840$ ,  $0.1790$  und  $0.1789\text{\AA}$ .

- Geben Sie die Energien der  $K$ ,  $L$ ,  $M$ ,  $N$  und der  $O$ -Schale an.
- Welche Minimalenergie ist nötig, um die  $L$ -Serie anzuregen (Elektronenkonfiguration Wolfram:  $\dots 6s^2 4f^{14} 5d^4$ )?
- Wie groß ist die Wellenlänge der  $L_\alpha$ -Linie?
- Die Energie  $E_K$  in der  $K$ -Schale kann nach der Rydbergformel unter Berücksichtigung einer effektiven Kernladungszahl  $Z_{eff} = Z - S$  und einer Abschirmkonstante  $S$  abgeschätzt werden:

$$E_K = h\nu = (Z - S)^2 R \frac{1}{n^2}$$

wobei  $Z$  die ungeschirmte Kernladungszahl ist. Wie groß ist die Abschirmkonstante  $S$  für ein Elektron in der  $K$ -Schale von Wolfram?



## Aufgabe 7 (11 Punkte)

Ein Atom habe die Elektronenkonfiguration  $\dots 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$ .

- Zeichnen Sie die Elektronenkonfiguration der höchsten nicht vollständig besetzten Unterschale. Leiten Sie nach den Hund'schen Regeln die Termsymbole des Grundzustandes ab.
- Leiten Sie nach den Hund'schen Regeln die Termsymbole des Grundzustands des 11-fach ionisierten Ions ab und zeichnen Sie die höchste Unterschale.

## Konstanten

$$\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{Js}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{As/V/m}$$

$$a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0}{e^2} \frac{\hbar^2}{m_e} = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{m}$$

$$R_\infty = \frac{m_e e^4}{8c\epsilon_0^2 \hbar^3} = 1,10 \cdot 10^7 \text{m}^{-1}$$

$$a = 1,159 \cdot 10^{-22} \text{J} \cdot \frac{Z^4}{n^6}$$

$$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{kg}$$

$$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{kg}$$

$$\alpha = 7,3 \cdot 10^{-3}$$

$$\mu_B = \frac{e \cdot \hbar}{2m_e} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{N/A}^2$$

$$A = 5,9 \cdot 10^{-6} \text{eV}$$

$$g_{proton} = 5,56$$