
Probeklausur in Experimentalphysik 4

Prof. Dr. L. Fabbietti

Sommersemester 2020

07.07.2020

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)

In dieser Aufgabe wird wasserstoffartiges Zirkonium (${}^{90}_{40}\text{Zr}^{39+}$) betrachtet.

- (a) Berechnen Sie nach dem Bohrschen Atommodell den Bahnradius und die Gesamtenergie im Grundzustand für

- ein Elektron
- ein negatives Myon μ^- (Masse: $m_\mu = 207m_e$)

im Feld eines Zirkonium-Kerns.

- (b) Nehmen Sie nun an, ein Anti-Proton werde von einem Zirkonium-Kern eingefangen.

- Welche ist die tiefste Bohrsche Bahn, auf der das Anti-Proton den Kern noch nicht berührt?

Hinweis: Radius Zirkoniumkern: 5,3 fm, Radius Antiproton: 1 fm (Masse: $m_{p^+} = 1836m_e$)

- Wie groß ist die Bindungsenergie für diese Bahn?

Aufgabe 2 (14 Punkte)

Ein Teilchen mit Masse m und kinetischer Energie $E < V_0$ trifft von links auf eine Potentialschwelle:

$$V(x) = V_0 \Theta(x) = \begin{cases} 0 & \text{für } x < 0 \\ V_0 & \text{für } x > 0 \end{cases}$$

- (a) Wie lautet der Lösungsansatz für die Potentialschwelle? Finden Sie die dabei auftretenden Koeffizienten und bestimmen Sie die Reflexionswahrscheinlichkeit R für den Fall $E = V_0/2$.
- (b) Wie lautet der Lösungsansatz für die Potentialschwelle für den Fall $E > V_0$? Was hat sich nun effektiv geändert? Bestimmen Sie die Reflexions- und Transmissionswahrscheinlichkeit R bzw. T für den Fall $E = 9V_0/5$ und zeigen Sie, dass $R + T = 1$ gilt.

Aufgabe 3 (5 Punkte)

Ermitteln Sie für einen Zustand mit $l = 2$

- (a) das Betragsquadrat L^2 des Drehimpulses
- (b) den Maximalwert von L_z^2
- (c) den kleinstmöglichen Wert von $L_x^2 + L_y^2$

Aufgabe 4 (4 Punkte)

- (a) Geben Sie die Quantenzahlen n, l, j und m_s für den Zustand eines $3d_{5/2}$ - und eines $3d_{3/2}$ -Elektrons an.
- (b) Atome mit einem $3d_{3/2}$ -Leuchtelektron werden durch eine Stern-Gerlach-Apparatur geschickt. Der für die Strahlaufspaltung verantwortliche Drehimpuls dieser Atome sei gleich dem Gesamtdrehimpuls des Leuchtelektrons. Wie viele Teilstrahlen ergeben sich nach dem Durchlaufen der Apparatur? Und warum?

Aufgabe 5 (11 Punkte)

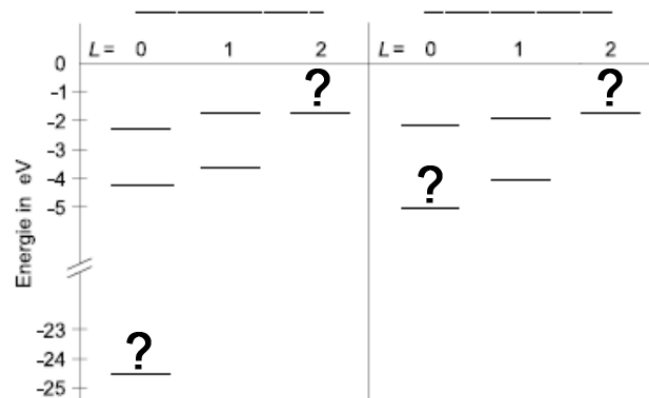
Der atomare Übergang $7^3S_1 \rightarrow 6^3P_2$ in Quecksilber entspricht einer Wellenlänge von $\lambda = 546.10$ nm.

- (a) Begründen Sie, welcher Zeeman-Effekt vorliegt?
- (b) Berechnen Sie die Landé-Faktoren g_j der beiden Zustände und bestimmen Sie die Aufspaltung der 6^3P_2 Levels, wenn das 7^3S_1 Level im Magnetfeld mit $\Delta E = 3 \cdot 10^{-5}$ eV aufspaltet.
- (c) Skizzieren Sie ein Termschema, das diese Aufspaltung zeigt und zeichnen Sie die mit der Auswahlregel $\Delta m_j = 0, \pm 1$ erlaubten Übergänge ein.

Aufgabe 6 (14 Punkte)

In der Abbildung sind die niedrigsten Energieniveaus aus dem Termschema von Helium zu sehen. Gegeben sind Energien und Drehimpuls der Niveaus. Feinstruktur und weitere Korrekturen wurden nicht eingezeichnet.

- (a) Benennen Sie die gefragten Energieniveaus in spektroskopischen Symbolen auf ihrem Schreibblatt. Welches der beiden Schemata gehört zum Triplett- und welches zum Singulett-Helium?
- (b) Erläutern Sie den Unterschied zwischen dem Triplett- und dem Singulett-System des Helium-Atoms. Welches der beiden Systeme weist für $L \neq 0$ eine Feinstrukturaufspaltung auf? Begründen Sie ihre Antwort.
- (c) Warum gibt es keinen 1^3S_1 -Zustand? Geben Sie für diesen hypothetischen Zustand für beide Elektronen alle relevanten Quantenzahlen an.
- (d) Warum werden die Übergänge $2^1S_0 \rightarrow 1^1S_0$ und $2^3S_1 \rightarrow 1^1S_0$ nicht beobachtet?



Aufgabe 7 (6 Punkte)

Welche Spektralterm sind für die angeregten Konfigurationen Be: $[He]2s2p$; Ca: $[Ar]4s3d$ möglich?

Aufgabe 8 (7 Punkte)

Wir betrachten ein Molekül, das nicht rotiert ($J = 0$), aber dafür ist der Abstand R der beiden Atomkerne nicht mehr konstant. Die Kerne können also gegeneinander schwingen. Für die potentielle Energie zwischen den Kernen ist das Morse-Potential eine sehr gute Näherung:

$$E_{pot}(R) = E_{diss} \left(1 - e^{-a(R-R_0)} \right)^2 \quad (1)$$

mit $a = 2,75 \cdot 10^{10} \frac{1}{m}$. Da die Lösung der Schrödingergleichung mit Morse-Potential kompliziert ist, wollen wir uns hier auf die harmonische Näherung beschränken.

- Geben Sie die Entwicklung des Morse-Potentials bis zur 2. Ordnung an und bringen Sie es auf die Form $E_{pot}(R) \approx \frac{1}{2}k(R - R_0)^2$.
- Geben Sie die Energieeigenwerte für dieses Potential an.
- Berechnen Sie die Anregungsenergien für die harmonischen Energieniveaus für ein H_2 -Molekül ($E_{diss} = 4,75 \text{ eV}$, $R_0 = 1,44 \text{ Å}$).

Konstanten

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

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

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

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

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

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{mol}^{-1}$$

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

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

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

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

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

$$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{N/m}^2$$