TU München, Lehrstuhl E23
Walther-Meissner-Institut
L. Alff, R. Gross

Experimentalphysik IV

Vordiplom-Klausur

27. Februar 2003, PD HS 1, 10:00-11:30

Bitte beachten Sie den Anhang!

Aufgabe 1: Franck-Hertz-Versuch [~ 11/80 Punkte]

Beschreiben und interpretieren Sie den Franck-Hertz-Versuch von 1914!

(i) Zunächst generell: Was hat der Versuch gezeigt?

(ii) Beschreiben Sie den Versuchsaufbau! Zeichnen Sie ein schöne Skizze! Wo liegt welche Spannung an? Was wird gemessen und wie sieht die gemessene Kurve aus?

(iii) Welche Anforderungen sind an das Vakuum bei diesem Versuch gestellt?

(iv) Wenn Sie ein optisches Spektrometer zur Verfügung hätten, was könnten Sie dann warum zusätzlich messen?

Aufgabe 2: Wasserstoffatom [~ 13/80 Punkte]

(i) Wie groß sind Bahnradius r und Geschwindigkeit v des Elektrons auf der ersten Bohrschen Bahn mit $n = 1$ im Wasserstoff- und im Goldatom ($Z = 79$)? Berechnen Sie zunächst r. Ermitteln Sie dann die Geschwindigkeit klassisch (als Bruchteil von c), indem Sie Zentripetalkraft und Coulomb-Kraft benutzen. Rechnen Sie nicht relativistisch! Ist das gerechtfertigt?

(ii) Um wieviel unterscheidet sich die Masse des Wasserstoffatoms im Zustand $n = 2$ von der im Zustand $n = 1$ auf Grund der relativistischen Massenzunahme? Überlegen Sie sich dazu die Proportionalität von n und v und benutzen Sie das Ergebnis des ersten Aufgabenteils!

(iii) Um wieviel unterscheidet sich die Masse auf Grund der höheren potenziellen Energie? Vergleichen Sie die beiden Massendifferenzen.

Aufgabe 3: Hyperfeinstruktur [~ 5/80 Punkte]

Wie groß ist das durch das $1s$-Elektron am Ort des Protons im Wasserstoffatom verursachte Magnetfeld, wenn die Hyperfeinstruktur ($\lambda = 21\,\mathrm{cm}$) im $1s$-Zustand durch die beiden Einstellungen des Kernspins im Magnetfeld erklärt werden?

Aufgabe 4: Schrödinger-Gleichung [$\sim$ 10/80 Punkte]

Die Schrödinger-Gleichung für das Wasserstoffatom besitzt für die Quantenzahlen $n = 1, l = 0, m = 0$ die Lösung $\psi_{100} = C_{100}e^{-Zr/a_0}$. (a) Berechnen Sie für den Grundzustand des Wasserstoffatoms zunächst die Konstante C_{100} aus der Normierungsbedingung! Geben Sie ψ_{100} bei $r = a_0$ an. (b) Berechnen Sie $|\psi_{100}|^2$ ebenfalls an der Stelle $r = a_0$ und interpretieren Sie es! (c) Berechnen Sie die radiale Wahrscheinlichkeitsdichte $P(r)$ an der Stelle $r = a_0$, d.h. die Wahrscheinlichkeit, ein Elektron in einer Kugelschale der Dicke $r + dr$ zu finden.

Aufgabe 5: Spektrum im Röntgenbereich [$\sim$ 8/80 Punkte]

(a) An einer Röntgenröhre mit Wolfram-Anode ($Z = 74$) liegt eine Spannung von $U = 50\,\mathrm{kV}$. Tritt im Emissionsspektrum die K_α-Linie des Wolframs auf? Die Abschirmkonstante setze man nach Moseley $a_K = 1$. Welche Beschleunigungsspannung ist mindestens nötig, um diese Linie anzuregen?
(b) Eine zweite Röntgenröhre enthält eine Molybdän-Anode ($Z = 42$) und wird mit einer Spannung von $30\,\mathrm{kV}$ betrieben. Berechnen Sie die Grenzwellenlänge des Bremsspektrums, die Quantenenergie und Wellenlänge der K_α- und L_α-Linie. Als Abschirmkonstanten verwende man nach Moseley $a_K = 1$ und $a_L = 7.4$.

Aufgabe 6: Bohr-Modell [$\sim$ 10/80 Punkte]

Leiten Sie den Bohr-Radius und die Energiestufen aus der Unschärferelation ab. Diskutieren Sie dazu ausgehend von der Unschärferelation $\Delta x \Delta p \approx \hbar$ die Gesamtenergie eines Teilchens in einem Volumen mit Durchmesser d im Coulomb-Potenzial des Kerns. Vergleichen Sie Ihr Resultat mit a_0 und der Grundzustandsenergie des Wasserstoffatoms!

Aufgabe 7: Elektronenspinresonanz [$\sim$ 7/80 Punkte]

Bei der Elektronenspinresonanz (ESR) induziert man durch Einstrahlung von Mikrowellenstrahlung der Wellenlänge $\lambda = 3\,\mathrm{cm}$ Übergänge zwischen den durch den Zeemann-Effekt aufgespaltenen Energieniveaus von Atomen in einem äußeren Magnetfeld B.

(i) Wie groß muss das Feld B gewählt werden, um bei Wasserstoffatomen im Grundzustand die Elektronenspinresonanz zu beobachten?

(ii) Wie kann man das Auftreten der Resonanz klassisch verstehen?

Aufgabe 8: Atome mit mehreren Elektronen [$\sim$ 10/80 Punkte]

(i) Formulieren Sie die Hundschen Regeln. Worauf beruhen diese und ihre Hierarchie physikalisch?

(ii) Bestimmen Sie den Grundzustand der Atome mit der Elektronenkonfiguration $4d5s^2$ (Y) bzw. $4d^25s^2$ (Zr). [Die abgeschlossenen Schalen sind nicht angegeben. L habe wieder den größten mit der Hundschen Regel und dem Pauli-Prinzip verträglichen Wert.]

(iii) Das Manganatom ($Z = 25$) hat in seinem Grundzustand eine mit 5 Elektronen gerade zur Hälfte gefüllte Unterschale. Geben Sie die Elektronenkonfiguration und den Grundzustand des Atoms an.

(iv) Bestimmen Sie unter Vernachlässigung der Spin-Bahn-Kopplung die Anzahl der möglichen Terme eines angeregten Kohlenstoffatoms mit der Elektronenkonfiguration $1s^22s^22p3d$. Unterscheiden Sie zwischen Singulett- und Triplettzuständen!

Aufgabe 9: Dopplerbreite [$\sim$ 6/80 Punkte]

Metastabile He(2^1S_0)-Atome in einer Gasentladungszelle bei $T = 1000\,\mathrm{K}$ absorbieren Licht auf dem Übergang $2^1S_0 \to 3^1P_1$. Die Termwerte der Niveaus sind $166272\,\mathrm{cm}^{-1}$ und $186204\,\mathrm{cm}^{-1}$, die Lebensdauern $\tau(3^1P_1) = 1.4\,\mathrm{ns}$ und $\tau(2^1S_0) = 1\,\mathrm{ms}$.

(a) Bei welcher Wellenlänge liegt die entsprechende Resonanzlinie?

(b) Wie groß ist die natürliche Linienbreite?

(c) Wie groß ist die Dopplerbreite?

Viel Erfolg!

ANHANG

$h \approx 6.6 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{Js}$ $\quad m_{\mathrm{Neutron}} \approx 1.67 \cdot 10^{-27}\,\mathrm{kg}$ $\quad m_{\mathrm{Elektron}} \approx 9.1 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg}$

$1\,\mathrm{eV} = 1.6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{J}$ $\quad \mu_P = \pm 2.79\mu_K$ $\quad \mu_B = 9.274 \cdot 10^{-24}\,\mathrm{A/m^2}$

$\mu_K = 5.05 \cdot 10^{-27}\,\mathrm{J/T}$ $\quad a_0 = \dfrac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{e^2 m_e} \approx 5.3 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{m}$ $\quad \varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{AsV^{-1}m^{-1}}$

Relativistische Geschwindigkeit: $m(v) \approx m_0 \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\beta^2\right)$ $\quad c = 299792458\,\mathrm{m/s}$

Natürliche Linienbreite eines Zustands: $\delta\nu_n = \dfrac{1}{2\pi \cdot \tau_i}$

Dopplerbreite: $\delta\nu_D = 7.16 \cdot 10^{-7}\nu_0 \cdot \sqrt{T/M} \cdot \mathrm{s}^{-1}$, mit T in K und M in g/mol

$$\int_{-\infty}^{\infty} r^2 e^{-(ar^2+2br+c)}\,dr = \frac{a+2b^2}{2a^2}\sqrt{\frac{\pi}{a}} \cdot e^{\frac{b^2-ac}{a}}, \quad a > 0$$

$$\int_0^{\infty} r^2 e^{-2ar}\,dr = \frac{1}{4a^3}$$