
Nachklausur zur Experimentalphysik 4

Prof. Dr. W. Henning, Prof. Dr. L. Fabbietti

Sommersemester 2012

27. September 2012

Zugelassene Hilfsmittel:

- 1 beidseitig handbeschriebenes oder computerbeschrieben DIN A4 Blatt
- 1 nichtprogrammierbarer Taschenrechner

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

Aufgabe 1 (7 Punkte)

Die Fourier-Transformierte der Ortswellenfunktion $\psi(x)$ ist die Impulswellenfunktion $\hat{\psi}(k)$:

$$\hat{\psi}(k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} dx e^{-ikx} \psi(x) \quad (1)$$

Das heißt, das Absolutquadrat $|\hat{\psi}(k)|^2$ gibt die Wahrscheinlichkeitsverteilung für den Impuls $p = \hbar k$ an.

- Zeigen Sie, dass die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Impulses sich nicht ändert, wenn die Ortswellenfunktion entlang der x -Achse verschoben wird.
- Zeigen Sie, dass sich die Verteilung der Impulse vorzeicheninvertiert, wenn man die Ortswellenfunktion komplex-konjugiert. Was bedeutet dies physikalisch?
- Wie ändert sich die Impulsverteilung, wenn man die Ortswellenfunktion mit dem Phasenfaktor $e^{i\chi x}$ multipliziert?

Aufgabe 2 (4 Punkte)

- Der Strom $I = qf_{\text{rev}}$ wird durch eine sich im Kreis bewegende Ladung q der Frequenz f_{rev} verursacht. Ermitteln Sie den Strom, den ein Elektron auf der ersten Bohrschen Bahn hervorruft.
- Das magnetische Moment einer Stromschleife ist IA , wobei A die Fläche der Schleife ist. Geben Sie das magnetische Moment des Elektrons an, das sich auf der ersten Bohrschen Bahn befindet. Dieses magnetische Moment wird *Bohrsches Magneton* genannt.

Aufgabe 3 (5 Punkte)

Betrachten Sie ein hypothetisches Wasserstoffatom, in dem das Elektron durch ein K^- -Teilchen ersetzt ist. Das K^- -Teilchen ist ein Partikel mit Spin 0 und deshalb ohne eigenes magnetisches

Moment. Das einzige Magnetische Moment dieses Atoms stammt aus der Bahnbewegung des K^- -Teilchens. Dieses Atom wird in ein Magnetfeld mit $B_z = 1\text{T}$ gesetzt.

- (a) Wie verhalten sich die Energielevel des 1s- und den 2p-Zustand?
- (b) In wieviele Linien spaltet sich die $2p \rightarrow 1s$ -Spektrallinie auf?
- (c) Was ist der normierte Abstand $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ zwischen zwei benachbarten Spektrallinien?

(Hinweis: $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = -\frac{\lambda}{hc}\Delta E$)

Die Masse des K^- -Partikels ist $493,7\text{MeV}/c^2$.

Aufgabe 4 (9 Punkte)

- (a) Beschreiben Sie ein Zweielektronensystem bestehend aus zwei p-Elektronen (np und $n'p$, mit $n \neq n'$ verschiedene Hauptquantenzahlen) in LS-Kopplung. Skizzieren Sie dazu qualitativ die energetische Lage aller möglichen Terme und benennen Sie die Terme. Geben Sie die Zahl der möglichen magnetischen Unterzustände an!
- (b) Geben Sie die Elektronenkonfigurationen von ${}_{14}\text{Si}$, ${}_{15}\text{P}$, ${}_{16}\text{S}$ im Grundzustand an! Skizzieren Sie dabei die Besetzung der Unterschalen. Geben Sie das Termsymbol für den Grundzustand an!
- (c) Was unterscheidet die in Teilaufgabe 2 erhaltenen ${}_{14}\text{Si}$ Grundzustandskonfiguration von dem Ergebnis von Teilaufgabe 1.

Aufgabe 5 (4 Punkte)

Die K_α -, L_α - und M_α -Röntgen-Spektrallinien werden bei den Übergängen $n = 2 \rightarrow n = 1$ bzw. $n = 3 \rightarrow n = 2$ bzw. $n = 4 \rightarrow n = 3$ emittiert. Für Calcium ($Z = 20$) sind die Energien dieser drei Übergänge $3,69\text{keV}$ bzw. $0,341\text{keV}$ bzw. $0,024\text{keV}$.

Wir nehmen an, dass energiereiche Photonen ein Elektron aus der K-Schale von Calcium auslösen. Man berechne die Ionisationsenergien der drei Schalen, sowie die Energien von Auger Elektronen die aus der L-, M- und N-Schale ($n = 2, 3, 4$) austreten.

Aufgabe 6 (4 Punkte)

Die Hauptfrequenz für die Absorption von Licht durch HCl (Rotationsspektrum) liegt bei $f = 8,66 \cdot 10^{13}\text{Hz}$ und die Absorptionspeaks der anderen Rotationen unterscheiden sich jeweils um $\Delta f = 6 \cdot 10^6\text{Hz}$. Mit diesen Informationen, berechnen Sie

- (a) die Nullpunktsenergie für HCl.
- (b) das Trägheitsmoment von HCl.
- (c) den Abstand der Atome im Equilibrium.

Hinweis: $m_{\text{Cl}} = 35u$

Aufgabe 7 (4 Punkte)

Ein Behälter enthält Wasserstoff (H_2) mit einem Druck von einer Atmosphäre bei einer Temperatur von 300K. Bei dieser Temperatur folgt Wasserstoff der Boltzmann-Verteilung. Wie weit muss das Wasserstoffgas heruntergekühlt werden, damit die Boltzmann-Verteilung nicht mehr angewandt werden darf und Quanteneffekte wichtig werden?

Hinweis: Setzen Sie die de Broglie-Wellenlänge, mit dem mittleren Abständen der Moleküle gleich, die Sie aus der idealen Gasgleichung erhalten. Kürzen Sie Potenzen per Hand falls Sie Taschenrechnerprobleme haben.

Aufgabe 8 (5 Punkte)

Betrachten Sie ein System von N Teilchen mit nur zwei Energiezustände $E_0 = 0$ und $E_1 = \varepsilon$. Die Verteilungsfunktion dieses Systems ist $f_i = C e^{-\frac{E_i}{kT}}$.

(a) Berechnen Sie C ?

(b) Berechnen Sie die durchschnittliche Energie $\langle E \rangle$ und zeigen Sie, dass

$$\langle E \rangle \xrightarrow{T \rightarrow 0} 0 \quad \text{und} \quad \langle E \rangle \xrightarrow{T \rightarrow \infty} \frac{\varepsilon}{2} \quad (2)$$

(c) Zeigen Sie, dass die Wärmekapazität dieses Systems

$$C_V = Nk \left(\frac{\varepsilon}{kT} \right)^2 \frac{e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}}{(1 + e^{-\frac{\varepsilon}{kT}})^2} \text{ ist.} \quad (3)$$

Konstanten

Physikalische Konstanten

Größe	Symbol, Gleichung	Wert
Vakuumlichtgeschwindigkeit	c	$2,9979 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$
Plancksche Konstante	h	$6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ Js} = 4,1357 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$
Red. Plancksche Konstante	$\hbar = h/2\pi$	$1,0546 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
Elektr. Elementarladung	e	$1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Boltzmann-Konstante	k_B	$1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1} = 8,617 \cdot 10^{-5} \text{ eVK}^{-1}$
Magnetische Feldkonstante	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ VsA}^{-1}\text{m}^{-1}$
Elektrische Feldkonstante	$\varepsilon_0 = 1/\mu_0 c^2$	$8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ AsV}^{-1}\text{m}^{-1}$
Elektronruhemasse	m_e	$9,1094 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 0,5110 \text{ MeV}/c^2$
(Anti-)Protonruhemasse	$m_{\bar{p},p}$	$1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 938,2720 \text{ MeV}/c^2$
Neutronruhemasse	m_n	$1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 939,5653 \text{ MeV}/c^2$
Atomare Masseneinheit	amu	$1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Avogadro-Zahl	N_A	$= 6.023 \cdot 10^{23}$
Bohr'scher Radius	$a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{e^2 m_e}$	$5,29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
Bohr'sches Magneton	μ_B	$9,2741 \cdot 10^{-24} \text{ JT}^{-1} = 5,7884 \cdot 10^{-5} \text{ eVT}^{-1}$
Kernmagneton	μ_K	$= 5,0508 \cdot 10^{-27} \text{ J/T} = 3,152 \cdot 10^{-14} \text{ MeV/T}$
Magnetisches Moment des Protons:	μ_P	$2,79\mu_K$
Feinstrukturkonstante	$1/\alpha$	137,036
Rydbergsche Konstante	R_∞	13,6057 eV