

ÜBUNGEN ZUR
EXPERIMENTALPHYSIK III (BACHELOR-STUDIENGANG MEDIZINPHYSIK)
WINTERSEMESTER 2015/2016

Hinweise und Kommentare

Übungsblatt 11

Zu 1a) In der Zeichnung des Spektrografen ist (wie in der Vorlesung vorgestellt) der Plattenkondensator gekrümmt, d.h. man kann eine Kreisbahn annehmen (bei einem ebenen Plattenkondensator wäre es eine Parabel).

Zu 1c) Zwei parallel fliegende Teilchen auf Kreisbahnen mit demselben Radius nähern sich. Dieser rein geometrische Effekt wird manchmal „schwache Fokussierung“ genannt.

Zu 2c) Für die Abweichung von der reinen Coulomb-Streuung gibt es keine harte Grenze beim Streuwinkel bzw. beim Stoßparameter. Für eine Abschätzung genügt es, einen Stoßparameter von der Größe des Kernradius anzunehmen.

Übungsblatt 10

Zu 1a) Ausgangspunkt sollte (was aus der Aufgabenstellung nicht klar hervorging) die in der Vorlesung angegebene Gleichung für die Energien von Rotations- und Vibrationszuständen sein. Diese Gleichung sollte nicht im Rahmen der Aufgabe neu hergeleitet werden.

Zu 1b) Die Aufgabe soll dadurch gelöst werden, dass man der Abbildung den ungefähren Abstand der Spektrallinien entnimmt und in Energieeinheiten umrechnet. Der Zusammenhang zwischen Photonenergie, Kraftkonstante und Atomabstand wurde in der Vorlesung angegeben.

Zu 2a) Die Leitfähigkeit steigt, weil sich gemäß der Fermiverteilung mehr Elektronen bei höherer Temperatur im Leitungsband befinden.

Zu 4a) Die Notwendigkeit von 3 Energieniveaus wurde in der Vorlesung beschrieben. Vier Niveaus können günstiger sein, weil das untere Niveau des Laserübergangs (das zweitunterste im Termschema) leer bleibt und die Inversion dadurch besser ausgeprägt ist.

Zu 4b) Die Ionenbindung erfordert Atome mit unterschiedlicher Elektronegativität, also verschiedene Elemente.

Übungsblatt 9

Zu 1c) Der Zusammenhang zwischen Übergangswahrscheinlichkeit (Einstein-Koeffizient) und Übergangsmatrixelement (Skript vom 10.12.) enthielt im Nenner ein \hbar (im Gegensatz zu h im Buch von Demtröder). Hier gibt es Widersprüche zwischen verschiedenen Quellen, aber „ h “ scheint richtig zu sein (wird im Skript geändert). Anscheinend unterscheidet sich die Definition des Einstein-Koeffizienten B bei Demtröder, der wir im Skript folgen, von der anderer Autoren. Bitte beachten, dass in der Definition des Übergangsdipolmoments M (im Gegensatz zum Übergangsmatrixelement) bereits ein Faktor e steckt.

Zu 2a) Hier gab es in einem Punkt Verwirrung: Wenn in der Vorlesung vom Absorptions- oder Wirkungsquerschnitt die Rede ist, ist ein totaler Wirkungsquerschnitt gemeint. Ein „differenzieller“ Wirkungsquerschnitt wird explizit als solcher bezeichnet.

Zu 4a) Synchrotronlicht wird von relativistischen Elektronen emittiert. Dadurch ist im Laborsystem seine Winkelverteilung viel enger (Faktor $1/\gamma = \text{Ruheenergie}/\text{Energie}$).

Zu 4b) Bei der Röntgenröhre wird das Elektron vollständig abgebremst und das Spektrum enthält Photonen, deren Energie einem guten Teil der gesamten kinetische Energie des Elektrons entsprechen. Beim Elektronenspeicherring wird nur ein kleiner Teil der Elektronenenergie abgestrahlt.

Übungsblatt 8

Zu 1a:) Die Elektronen stehen einander gegenüber. Mit $Z = 2$ wäre beim wasserstoffähnlichen Atom $r = a/2$ (a ist der Bohrsche Radius), aber durch die zusätzliche Coulombkraft des zweiten Elektrons ergibt sich $a \cdot 4/7$.

Zu 1 b) Die kinetische Energie ergibt sich aus der Geschwindigkeit für Drehimpuls $L = 1$. Die gesamte potenzielle Energie ist 2x die potenzielle Energie bzgl. des attraktiven Kernpotenzials ($-2 \cdot E_K$) plus 1x die potenzielle Energie bzgl. des repulsiven Potenzials der beiden Elektronen ($+E_E$). Man kann sich vorstellen, welche Energie aufgebracht bzw. gewonnen wird, wenn man erst das eine Elektron entfernt ($-E_K + E_E$) und dann das zweite ($-E_K$).

Zu 2) Hier geht es nur um die Berechnung des Dreiecks, das aus Bahndrehimpuls, Spin und Gesamtdrehimpuls gebildet wird (z.B. mit Kosinussatz). Durch den Landé-Faktor 2 sind Gesamtdrehimpuls und magnetisches Moment nicht entgegengerichtet (der Winkel ist ca. 167°).

Zu 3a) Geometrische Rechnung gemäß der Skizze, sollte eigentlich einfach sein.

Zu 3e) Bei der Vielstrahlinterferenz (Lummer-Gehrke-Platte, Fabry-Pérot-Interferometer etc.) ist die Auflösung um so besser, je mehr Teilstrahlen interferieren. Die Auflösung steigt mit der Länge der Platte. Problematisch ist die Parallelität der beiden Oberflächen.

Zu 4a) Die Eigenschaften der Elemente (z.B. Alkalimetalle, Halogene, reaktionsträge Edelgase) wiederholen sich periodisch mit den abgeschlossenen Schalen, wenn man sie nach steigender Atommasse anordnet.

Zu 4b) Diese Frage war schlecht gestellt, da es eigentlich um das jeweils zusätzliche Elektron und dessen Quantenzahlen gehen sollte. Andererseits wurde nach der Notation $n^{2S+1}L_J$ gefragt, die nicht das einzelne Elektron, sondern den resultierenden Gesamtzustand beschreibt.

Zusätzliches Elektron (von Na bis Ar): $3s \uparrow \ 3s \downarrow \ 3p \uparrow \ 3p \uparrow \ 3p \uparrow \ 3p \downarrow \ 3p \downarrow \ 3p \downarrow$
Konfiguration des Zustands: $3^2S_{1/2} \ 3^1S_0 \ 3^2P_{1/2} \ 3^3P_0 \ 3^4S_{3/2} \ 3^3P_2 \ 3^2P_{3/2} \ 3^1S_0$

Die s-Schale (Na und Mg) sollte keine Schwierigkeiten bereiten. Die p-Schale (Al bis Ar) kann mit bis zu 6 Elektronen besetzt werden. Nach der 1. Hundschen Regel werden in der p-Schale drei Spins zunächst parallel besetzt ($2S+1=2,3,4$) und anschließend in Gegenrichtung ($2S+1=3,2,1$). Die 2. Hundsche Regel für den Drehimpuls L und Gesamtdrehimpuls J wurde in der Vorlesung nicht behandelt. Falls es Sie aber interessiert:

Hiernach wird L soweit maximiert, wie es das Pauli-Prinzip zulässt, z.B. ist bei Silizium mit 2 Elektronen in der p-Schale $m_l = 1$ für das erste Elektron. aber $m_l = 0$ für das zweite, weil wegen der parallelen Spins m_l nicht gleich sein darf (Pauli-Prinzip), so dass maximal nicht $L = 2$, sondern nur $L = 1$ möglich ist.

Für J gilt, dass bis zur halb gefüllten p-Schale (Al bis P) J möglichst klein, und darüber hinaus (S bis Ar) J möglichst groß sein soll.

Dies alles macht nur für leichte Atome Sinn, bei denen die LS-Kopplung gilt.

Übungsblatt 7

Zu 1) Hier gab es ein Problem: In der Vorlesung wurde die kinetische Energie eines Elektrons als Taylor-Entwicklung des relativistischen Energiesatzes dargestellt, um zu motivieren, dass die relativistische Korrektur die vierte Potenz des Impulsoperators enthält (s. auch Demtröder). Allerdings müsste man berücksichtigen, dass der Impuls auch schon eine relativistische Abweichung hat (Faktor $\gamma > 1$). Das verändert das Ergebnis signifikant. Ob Sie das gemerkt haben oder nicht: die Punkte für die Aufgabe bekamen Sie in jedem Fall.

Zu 2c) Ein Problem ist, dass die Atome nicht mit derselben Geschwindigkeit aus dem Ofen austreten. Sie haben auch eine endliche Winkelverteilung. Die ablenkende Kraft ist klein, der Gradient des magnetischen Felds ist technisch begrenzt.

Zu 3b) Hier geht es nur um das Magnetfeld B , das im Vorfaktor A der Formel für die Hyperfein-Energieverschiebung ΔE_{HFS} steckt, kein weiterer Tiefsinn.

Zu 4a) Gyromagnetisches Verhältnis (in $\text{T}^{-1}\text{s}^{-1}$) = Faktor zwischen magnetischem Moment (in J/T) und Drehimpuls/Spin (in Js).

Landé-Faktor (dimensionslos) = Faktor zwischen tatsächlichem und nach klassischer Vorstellung erwarteten magnetischem Moment für einen gegebenen Bahndrehimpuls/Spin (z.B. beim Elektron: Bohrsches Magneton mal Spin-Vektor geteilt durch \hbar).

Zu 4b) Der Landé-Faktor $g = 2$ widerspricht der klassischen Vorstellung einer rotierenden Kugel. Ein ausgedehntes Elektron hätte angeregte Zustände. Das Neutron kann ein magnetisches Moment haben (und hat es auch), weil es aus geladenen Teilchen besteht. Aber auch hier erlaubt die klassische Vorstellung keine weitergehenden Aussagen.

Übungsblatt 6

Zu 1) und 2) Beachten Sie, dass in 1) die Indizes p und q der Laguerre-Polynome allgemeine Zahlen sind, während in 2) eine bestimmte Beziehung zwischen dem oberen Index p und dem unteren Index $q - p$ gemeint ist. Das heisst: q ist in 1) und 2) nicht dasselbe!

Zu 3) versehentlich als 4) bezeichnet. Die deutlichste Beziehung zwischen l und Drehimpuls wird durch das Einstein-de-Haas-Experiment hergestellt. Die magnetische Quantenzahl spielt insbesondere bei spektroskopischen Experimenten im Magnetfeld eine Rolle, siehe z.B. Zeeman-Effekt. So könnte man auch das Magnetfeld an der Sonnenoberfläche bestimmen (anomale Zeeman-Aufspaltung im Wasserstoff-Spektrum).

Übungsblatt 5

Zu 4) Gemeinsam ist, dass mit zunehmender Energie die Zahl der Schwiningsbäuche und -knoten zunimmt. Ausserdem gelten die übrigen Regeln für Wellenfunktionen (z.B. Normierung und Zeitabhängigkeit). Unterschiedlich ist der Energieabstand, und nur im Fall des unendlich hohen (und damit „unphysikalischen“) Potentials verschwindet die Wellenfunktion am Potenzialrand und ist dort nicht differenzierbar.

Übungsblatt 4

Zu 3a) Wenn die De-Broglie-Wellenlänge linear mit n abnimmt und damit der Impuls p linear zunimmt, sollte gemäß der nicht-relativistischen Gleichung $E=p^2/2m$ die Energie quadratisch zunehmen.

Zu 3b) Der Mittelwert vieler Messungen ist E_2 , mehr ist damit nicht gesagt. Es kann z.B. sein, dass der Messwert E_2 nie realisiert wird, sondern sich der Mittelwert aus Einzelmessungen mit den Werten E_1 und E_2 ergibt.

Übungsblatt 3

Zu 2c) Experimente mit schweren Teilchen sind schwieriger. Je kleiner die De-Broglie-Wellenlänge, desto schwieriger ist es, Interferenzeffekte nachzuweisen.

Zu 3a) Der Erwartungswert entspricht dem Mittelwert über viele Messungen. Das muss nicht der wahrscheinlichste Wert der Einzelmessung sein. Zum Beispiel ist das Maximum der räumlichen Wellenfunktion der wahrscheinlichste Ort, das Teilchen bei einer Messung anzutreffen. Der Erwartungswert entspricht dem „Schwerpunkt“ der Verteilung.

Zu 3b) Schon die Frage ist unsinnig, denn es ist ja nicht gesagt, dass es überhaupt Eigenwerte gibt. Wenn es Eigenwerte gibt, ist der Erwartungswert der Mittelwert vieler Messungen. Der kann auch zwischen den Eigenwerten liegen.

Übungsblatt 2

Zu 3c) Die Comptonsche Streuformel gilt für „freie“ Elektronen. Bei Röntgenlicht können leicht gebundene Elektronen in Atomen als (fast) frei angenommen werden. Für sichtbares Licht gilt das nicht, weil die Photonenenergie in derselben Größenordnung (eV) liegt wie die Bindungsenergien oder sogar deutlich kleiner ist.

Zu 4a) Die Dipolkomponente der kosmischen Hintergrundstrahlung wird als Folge der Bewegung der Erde (ca. 370 km/s) und der damit verbundenen Dopplerverschiebung gedeutet.

Zu 4b) Neben messtechnischen Schwierigkeiten besteht ein Problem darin, dass die Milchstraße mit z.T. sehr intensiven Strahlungsquellen die kosmische Hintergrundstrahlung verdeckt.

Übungsblatt 1

Zu 4a und b) Richtung der Krümmung der Bahn im Magnetfeld, Ablenkung im elektrischen Feld. Üblicherweise wird bei Experimenten zum photoelektrischen Effekt eine Gegenspannung angelegt. Deren Wirkung zeigt, dass es negativ geladene Teilchen sind und erlaubt, die kinetische Energie zu bestimmen (wenn die Elektronen die Gegenspannung V gerade nicht mehr überwinden können, ist die kinetische Energie gleich $e \cdot V$)