Universität Konstanz

Integrierter Kurs Physik IV
Exp.-Teil – Atomphysik
SoSe 19

Prof. E. Weig, Anh-Tuan Le, Felix Rochau

Übungsblatt 9

Ausgabe: 10.06.2019, Abgabe: 17.06.2019

Aufgabe 25: Doppler-Verbreiterung von Spektrallinien (schriftlich) **(8 Punkte)**

Eine Straßenlaterne (Natrium-Dampflampe) emittiert im Wesentlichen wegen eines Übergangs, dessen feine Details hier beispielhaft betrachtet werden. Wir ignorieren zunächst, dass es sich dabei in Wahrheit um eine Doppel-Linie handelt. Die Lampe wird bei 500K betrieben. Eine spektroskopische Messung ergibt ein Gaußprofil mit einer Halbwertsbreite von $\delta\omega_D = 1.07 \times 10^{10}$ s^{-1}.

a) Die Dopplerverschiebung führt zu einer wesentlichen Verbreiterung der spektralen Linie. Betrachten Sie zunächst ein Atom, das sich mit der Geschwindigkeit $\vec{v}$ bewegt und ein Photon mit der Frequenz ω_0 in Richtung $\vec{k}$ emittiert. Welche Frequenz 'sieht' ein Beobachter? Welche Frequenz müsste eine Lichtwelle (die in z-Richtung einfällt) haben, damit das bewegte Atom Photonen der Frequenz ω_0 absorbieren kann?

b) Betrachtet werden nun Atome in einem Gas bei $T = 500$ K im thermischen Gleichgewicht. Berechnen Sie die Anzahl der Atome, deren Emission bzw. Absorption in das Frequenzintervall zwischen ω und $\omega + d\omega$ fallen. Berechnen Sie hieraus die emittierte/absorbierte Strahlungsleistung $P(\omega)d\omega$.

   Hinweis: Benutzen Sie die Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung

$$n_i(v_z)dv_z = \frac{N_i}{v_\omega\sqrt{\pi}} \exp\left[-\left(\frac{v_z}{v_\omega}\right)^2\right] dv_z$$

   mit $v_\omega = \sqrt{\frac{2k_BT}{m}}$*; wahrscheinlichste Gewschwindigkeit*
   und $N_i = \int_{-\infty}^{\infty} n_i(v_z)dv_z$*; Gesamtzahl der Atome im Zustand* E_i *pro Volumeneinheit.*

   Ergebnis: $P(\omega)d\omega = P(\omega_0) \cdot \exp\left(-\left[\frac{c(\omega-\omega_0)}{\omega_0 v_w}\right]^2\right) d\omega$

c) Berechnen Sie die Halbwertsbreite $\delta\omega_D(\omega_0, T, m) = |\omega_1 - \omega_2|$ mit $P(\omega_1) = P(\omega_2) = P(\omega_0)/2$.

Ergebnis: $\delta\omega_D = \frac{\omega_0}{c}\sqrt{\frac{8k_BT\cdot\ln 2}{m}}$

d) Wie groß ist die Wellenlänge der Na-D Linie ($\Delta E = 2,11\ eV$)? Welche Farbe hat die Straßenlaterne? Vergleichen Sie die Dopplerverbreiterung mit der natürlichen Linienbreite der Na-D Linie (Lebensdauer $\tau = 16$ ns; Molmasse $M_{Na} = 0.023$ kg/mol).

e) Wir erinnern uns nun, dass es sich um eine Doppellinie handelt. Recherchieren Sie den Abstand der beiden Linien, und entscheiden Sie, ob die Linien scharf genug sind, um sie unter den gegebenen Bedingungen aufzulösen.

Aufgabe 26: Stern-Gerlach-Versuch **(1 Häkchen)**

Bei einem Stern-Gerlach-Experiment treten Wasserstoffatome im Grundzustand mit einer mittleren Geschwindigkeit von $v_x = 14,5$ km/s aus dem Ofen aus. Das Magnetfeld B verläuft in z-Richtung und hat einen maximalen Gradienten von $dB_z/dz = 600$ T/m.

a) Berechnen Sie die maximale Beschleunigung der H-Atome.

b) Das B-Feld erstrecke sich über eine Länge $\Delta x_1 = 0.75$ m und der Detektor liege in einem Abstand von $\Delta x_2 = 1.75$ m hinter dem 'Ende' des Magnetfeldes. Berechnen Sie den Abstand der beiden Flecken auf dem Detektor. Nehmen Sie der Einfachheit halber an, die maximale Beschleunigung finde im gesamten Bereich des Feldes statt, und dahinter urplötzlich nicht mehr.

c) Welche Komplikationen ergeben sich, wenn man dieses Experiment mit geladenen Teilchen, z.B. freien Elektronen, durchführen wollte?

Aufgabe 27: Einstein-de-Haas Effekt **(1 Häkchen)**

a) Ein Eisenzylinder, der so aufgehängt ist, dass er reibungsfrei um seine Symmetrieachse rotieren kann, werde mit Hilfe einer Spule bis zur Sättigung magnetisiert. Nach Umpolen des Spulenstroms beobachtet man, dass der Zylinder mit der Masse M_{Fe} und Trägheitsmoment Θ_{Fe} sich mit der Umdrehungsfrequenz ω dreht. Erklären Sie diesen Befund und berechnen Sie ω als Funktion des atomaren Drehimpulses. In welche Richtung dreht sich der Zylinder?

b) Bestimmen Sie aus dem magnetischen Moment des Zylinders im Spulenfeld und der gemessenen Frequenz ω das Verhältnis aus magnetischen Moment und Drehimpuls eines Eisenatoms.

c) Berechnen Sie ω unter der vereinfachten Annahme, der Drehimpuls eines jeden Eisenatoms sei gleich dem Drehimpuls eines Elektrons im ersten Bohr'schen Orbital. Die Länge des 1 g schweren Zylinders betrage 1 cm.

Hinweis: $\varrho_{Fe} = 7.87$ g/cm^3