Physik im Querschnitt (vertieft) Blatt 4

SoSe 2021 K.-H. Mantel 15.04.2021
wird besprochen am 22.05.2021

Wasserstoff

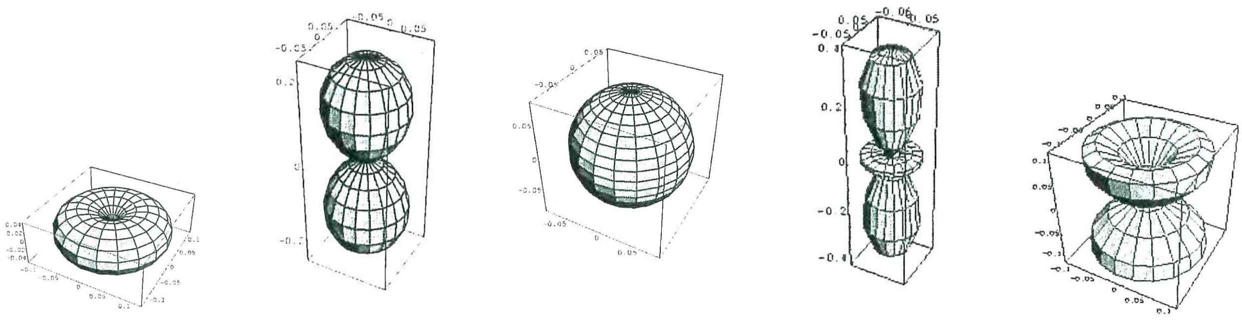
a) Welcher formale Zusammenhang beschreibt die Abhängigkeit der Übergangsfrequenzen $\nu_{n' \to n}$ von n', die alle auf gleichem n aufbauen? Erklären Sie alle verwendeten Größen (z.B. c: Vakuumlichtgeschwindigkeit) und bestimmen Sie n unter Verwendung der Daten aus der folgenden Tabelle:

n'	$\nu_{n' \to n} [Hz]$	$\lambda [nm]$
3	$15233,00\, cm^{-1} \cdot c$	656,3
4	$20564,55\, cm^{-1} \cdot c$	486,1
5	$23032,29\, cm^{-1} \cdot c$	434,0
6	$24327,80\, cm^{-1} \cdot c$	410,2
7	$25181,08\, cm^{-1} \cdot c$	....

Nennen Sie drei Spektralserien des Wasserstoffs, geben Sie an, auf welchem n diese aufbauen und in welchen Spektralserien sie beobachtet werden! (5 Punkte)

b) Die Rydberg-Konstante lässt sich aus anderen fundamentalen Größen darstellen. Leiten Sie diese Abhängigkeit unter Anwendung des Korrespondenzprinzips her: Berechnen Sie hierfür die klassische Umlauffrequenz $\omega/2\pi$ des Elektrons und setzen Sie diese gleich der Übergangsfrequenz $\nu_{n' \to n}$ benachbarter Niveaus ($n' = n + 1$) bei großen n. (6 Punkte)

c) Nachstehend sind einige Orbitale für $n = 2$ dargestellt. Ordnen Sie diesen die relavanten Quantenzahlen zu! Wie viele Elektronen befinden sich in jedem Zustand und warum?



(4 Punkte)

d) Neben dem Bahndrehimpuls besitzt das Elektron einen Spin (Eigendrehimpuls). Durch die sogenannte Spin-Bahn-Kopplung spaltet der Übergang $1s \to 2p$ in mehrere Linien auf. In wie viele? Begründen Sie Ihre Antwort! (2 Punkte)

e) Aufgrund der thermischen Bewegung der Atome bei einer Temperatur T zeigt Wasserstoff eine Verbreiterung der beobachteten Spektrallinien. Erklären Sie die Ursache dieser Verbreiterung! Geben Sie eine Formel für die Frequenzverschiebung in Abhängigkeit von v_z (=Geschwindigkeit eines Atoms in Richtung der Lichtwelle) für $v_z << c$ an! (3 Punkte)

f) Für solche inhomogen verbreiterten Linienist die Linienform durch eine Gaußverteilung

$$P(\omega) = P(\omega_0) \cdot exp\left(-\frac{m}{2kT}c^2\frac{(\omega-\omega_0)^2}{\omega_0^2}\right)$$

gegeben, wobei k=Boltzmannkonstante, m=Atommasse, ω_0= atomare Resonanzfrequenz. Berechnen Sie von einer thermisch verbreiterten Linie mit der Resonanzfrequenz ω_0 die volle Halbwertsbreite, die definiert ist als $\delta\omega = |\omega_1 - \omega_2|$, wobei $P(\omega_1) = P(\omega_2) = 1/2P(\omega_0)$. Wie groß ist die Dopplerverbreiterung der Wasserstofflinie $\lambda_0 = 121,6\,nm$ im Sonnenspektrum (Oberflächentemperatur $T = 5000\,K$)? Geben Sie deren numerischen Wert an! (4 Punkte)

g) Ein Wasserstoffatom der Masse m bewege sich in positiver z-Richtung mit der Geschwindigkeit v_z auf einen Laserstrahl der Frequenz ω zu. Wie müssen Sie die Verstimmung $\Delta = \omega - \omega_0$ des Lasers zur atomaren Resonanzfrequenz ω_0 wählen, damit das Atom nach einem Absorptions-Emissions-Zyklus abgebremst wird? Um wie viel ändert sich dabei die Geschwindigkeitskomponente v_z? Erklären Sie, warum das Atom bei einem Absorptions-Emmissions-Zyklus überhaupt kinetische Energie verliert! (4 Punkte)

h) Wie groß ist die damit minimal erreichbare Temperatur? (2 Punkte)