

Aufgabe 2: Spektrallinien (20 Punkte)

- a) Im Grundzustand des ^1H -Atoms beträgt die Bindungsenergie des Elektrons $E_H = 13,5984$ eV. Im Grundzustand des Deuterium-Atoms (^2H) ist die Bindungsenergie des Elektrons geringfügig höher.
Benennen Sie die physikalische Ursache für den Unterschied und beweisen Sie anhand der Definition der reduzierten Masse, dass im Grundzustand des Deuterium-Atoms die Bindungsenergie des Elektrons $E_D = 13,6021$ eV beträgt. (4 Punkte)
- b) Bestimmen Sie den Wellenlängenunterschied der Balmer- α -Linien (d. h. der Übergänge zwischen $n = 3$ und $n = 2$) von Wasserstoff (^1H) und Deuterium (^2H). (4 Punkte)
- c) Die beiden Linien aus Teilaufgabe b) sollen mit einem optischen Strichgitter durch Interferenz 1. Ordnung getrennt beobachtet werden. Das Licht soll senkrecht auf das Gitter einfallen. Bestimmen Sie, welche Strichzahl pro mm das Gitter maximal haben darf. (2 Punkte)
- d) Bestimmen Sie den Anfangs- und Endzustand des elektronischen Übergangs des He^+ -Ions, dessen Spektrallinie mit der Balmer- α -Linie von ^1H übereinstimmt, wenn man die Rydbergkonstante R_∞ benutzt. (5 Punkte)
- e) Die Balmer- α -Linie erscheint nicht im Absorptionsspektrum eines Wasserstoffgases unter Normalbedingungen, sie tritt aber als dunkle Linie im Sonnenspektrum auf (Fraunhoferlinie). Erklären Sie diese beiden Tatsachen. (5 Punkte)

Themenschwerpunkt A
Atom- und Molekülphysik

Aufgabe 1:

Rotations-Schwingungs-Spektren von Stickstoffmonoxid

(20 Punkte)

Wir betrachten gasförmiges Stickstoffmonoxid (NO) der isotopenreinen Form $^{14}\text{N}^{16}\text{O}$. Seine Schwingungsfrequenz beträgt $\nu = 5,627 \cdot 10^{13}$ Hz und der Gleichgewichtsabstand der beiden Atome $d = 1,1508$ Å.

- a) Skizzieren Sie in harmonischer Näherung die Form des Schwingungspotentials, und zeichnen Sie die Lage der untersten 4 Schwingungsniveaus ein. Berechnen Sie außerdem deren Energien in eV. (3 Punkte)
- b) Berechnen Sie die für die Schwingung wirksame Federkonstante sowie das bei Rotation um den Schwerpunkt wirksame Trägheitsmoment von NO. (2 Punkte)
- c) Berechnen Sie die Energiewerte der untersten 4 Rotationsniveaus in eV, und skizzieren Sie ihre Lage auf der Energieachse in der Näherung des starren Rotators. Falls Sie Frage b) nicht beantwortet haben, verwenden Sie für das Trägheitsmoment $\Theta = 1,5 \cdot 10^{-46}$ kgm². (3 Punkte)
- d) Geben Sie an, welche Übergänge bei Absorption elektromagnetischer Strahlung geeigneter Wellenlänge zwischen den Rotations- und Schwingungsniveaus und ihren Kombinationen erlaubt sind (elektrische Dipolübergänge). In welchen Spektralbereichen liegen die entsprechenden Strahlungen? (3 Punkte)
- e) Skizzieren Sie das resultierende Absorptionsspektrum in den jeweiligen Spektralbereichen für Temperaturen $T > 0$ und erläutern Sie qualitativ die Abstände der Linien und die relativen Linienintensitäten. (4 Punkte)
- f) Geben Sie eine Formel für die Schwingungsenergie eines Mols NO in Abhängigkeit der Temperatur an, und berechnen Sie daraus den Schwingungsbeitrag $c_{v,vib}$ zur spezifischen Wärme c_v bei konstanten Volumen. Skizzieren Sie den Temperaturverlauf der gesamten molaren spezifischen Wärme c_v und zeichnen Sie schematisch die Lage der Zimmertemperatur (300 K) ein. (5 Punkte)

Fortsetzung nächste Seite!

Themenschwerpunkt A
Atom- und Molekülphysik

Aufgabe 1: Compton-Effekt**(20 Punkte)**

- a) Erläutern Sie unter Verwendung einer Skizze den Prozess der Compton-Streuung. Geben Sie den Spektralbereich an, in dem dieser Prozess gegenüber anderen Prozessen dominiert. Nennen Sie zwei andere Wechselwirkungsprozesse zwischen Photonen und Materie und die Energiebereiche, in denen diese Prozesse besonders stark auftreten. (4 Punkte)
- b) Leiten Sie her, wie die Wellenlängenverschiebung des gestreuten Photons vom Streuwinkel θ abhängt. Verwenden Sie hierzu Energie- und Impulserhaltung und die relativistische Energie-Impuls-Relation. Hinweis: Drücken Sie den Impuls des Elektrons nach dem Stoß durch θ und die Impulse des Photons vor und nach dem Stoß aus. (5 Punkte)
- c) Berechnen Sie die Energie des Photons E'_p nach dem Stoß und die kinetische Energie des Elektrons E_{kin} nach dem Stoß als Funktion von θ und der Energie des Photons E_p vor dem Stoß. Berechnen Sie die maximal vom Photon auf das Elektron übertragbare Energie und den dazu gehörigen Streuwinkel. Berechnen Sie die maximale Wellenlänge der gestreuten Photonen und die maximale kinetische Energie der gestreuten Elektronen für einen monochromatischen Strahl von Photonen der Wellenlänge $\lambda = 0,0025 \text{ nm}$. (6 Punkte)
- d) Berechnen Sie, ob es für ein Photon möglich ist, seine gesamte Energie auf ein freies Elektron zu übertragen. Erläutern Sie dieses Ergebnis physikalisch. (2 Punkte)
- e) Bei einem klassischen Compton-Streuexperiment sind in der Regel die Richtung der einfallenden Photonen und die Position des Streukörpers von vornherein bekannt. Bei bestimmten Anwendungen des Compton-Effekts, beispielsweise in einem Compton-Teleskop, ist dies nicht der Fall. Skizzieren Sie eine Messanordnung mit ortsauflösenden Detektoren, mit der man unter Ausnutzung des Compton-Effekts nicht nur die Energie sondern auch die Richtung einfallender Photonen näherungsweise bestimmen kann. (3 Punkte)

- 3 -