

Ferienkurs Experimentalphysik IV

Übung 4

Michael Mittermair und Daniel Jost

03.09.14

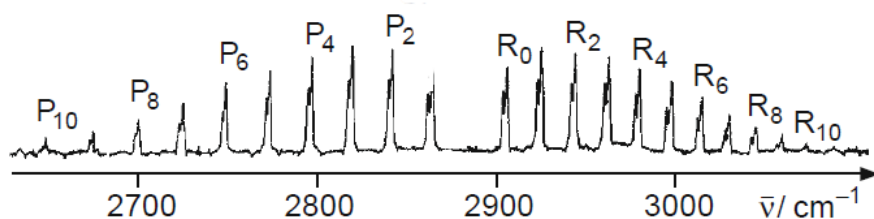
Aufgabe 1

Ein HCl-Molekül kann sowohl zu Schwingungen als auch zu Rotationen angeregt werden. Die Energie der Schwingungs-Rotations-Zustände ist gegeben durch

$$E = E_{vib} + E_{rot} = \hbar\omega\left(u + \frac{1}{2}\right) + \frac{\hbar^2}{2I} \cdot j(j+1) \quad (1)$$

- a) In der Abbildung sehen Sie ein gemessenes Spektrum von Schwingungsrotationszuständen. Es zerfällt in zwei Teile, den P-Zweig und den R-Zweig. Was charakterisiert P- bzw. R-Übergänge? Zeichnen Sie alle erlaubten Übergänge in ein Energieniveauschema für $u = 1, 2$ und $j = 0, 1, 2, 3$. Warum gibt es keinen Peak bei $\nu = 2880\text{cm}^{-1}$?

Hinweis: $\Delta\nu = \pm 1$, $\Delta j = \pm 1$



- b) Entwickeln Sie eine Formel für die reziproke Wellenlänge ν in Abhängigkeit des Drehimpulses und des Abstands der Atome.

Hinweis: Das Rotationsträgheitsmoment I hängt klassisch von der reduzierten Masse und dem Abstand zweier Körper ab.

- c) Berechnen Sie wie groß der Abstand R zwischen den beiden Atomen im Molekül ist ($m_{Cu} = 35,45u$) Bestimmen Sie dazu den mittleren Abstand der Absorptionspeaks aus der Messung.

Aufgabe 2

Bei einem CO-Molekül ist die potentielle Energie als Funktion des Abstandes r der Atomkerne durch die empirische Funktion

$$V(r) = D[1 - \exp(-\beta(r - r_0))]^2 \quad (2)$$

gegeben. Dabei ist $D = 9,4eV$ die Dissociationsenergie und $r_0 = 1,128\text{\AA}$ der Gleichgewichtsabstand der Kerne ^{12}C und ^{16}O .

- a) Die beobachtbare Frequenz für Schwingungsanregung des Moleküls beträgt $\nu = 6,499 \cdot 10^{13} s^{-1}$. Berechnen Sie daraus den Wert von β .
Hinweis: Entwickeln Sie die Exponentialfunktion im Potential bis zur 1. Ordnung, um das Potential eines harmonischen Oszillators zu erhalten.
- b) Skizzieren Sie qualitativ die Energieniveaus der Zustände mit $n_1 = 0$; $l_1 = 0, 1, 2$ und $n_2 = 1$ $l_2 = 0, 1, 2$ wobei $n_{1,2}$ den Schwingungszustand und $l_{1,2}$ den Rotationszustand angibt. Skizzieren Sie anschließend die erlaubten Rotationsübergänge und berechnen Sie deren Frequenzen. Beachten Sie dabei, dass das Molekül nur um eine Achse senkrecht zur Molekülachse rotiert.

Aufgabe 3

Auf Höhe der Meeresspiegels herrsche ein Luftdruck von einem bar und eine Temperatur von $20^\circ C$.

- a) Berechnen Sie unter Annahme, dass Luft ein ideales Gas ist, die Dichte der Atmosphäre in Abhängigkeit der Höhe über dem Meeresniveau.
- b) Nehmen Sie an, die Temperatur der Luft ändere sich nicht mit zunehmender Höhe. In welcher Höhe herrschen noch $\frac{2}{3}$ bzw. die Hälfte des Luftdrucks?

Aufgabe 4

Ein Behälter mit 1 mol Helium und ein gleich großer Behälter mit 1 mol Stickstoff werden jeweils mit der gleichen Heizleistung $P = 10W$ erwärmt. Die Wärmekapazität der Behälterwand beträgt jeweils $c_W = 10 \frac{J}{K}$. Berechnen Sie, wie lange es dauert bis die Behälter von $T_1 = 20^\circ C$ auf $T_2 = 100^\circ C$ erwärmt sind. Wie lange dauert die Erwärmung von N_2 auf $1000^\circ C$, wenn ab $500^\circ C$ die Schwingungsfreiheitsgrade angeregt werden können?

Aufgabe 5

Ein Behälter sei mit $n = 2$ Mol idealen, einatomigen Gases gefüllt (Volumen V_0) und an ein Wärmereservoir mit Temperatur $T = 293K$ angeschlossen. Der Behälter sei oben mit einem beweglichen, masselosen Stempel der Fläche $A = 0,25m^2$ abgeschlossen. Außerhalb des Behälters herrsche Luftdruck $p_0 = 10^5 N/m^2$. Auf den Stempel wird langsam Sand bis zu einer Gesamtmasse $m=500$ kg gestreut. Hierbei bedeutet langsam, dass die Temperatur des Gases konstant bleibt, da es mit dem Wärmereservoir in Verbindung steht.

- Wie groß sind Volumen V_1 und Druck p_1 des Gases, wenn der gesamte Sand auf dem Stempel liegt?
- Wie groß ist die Wärmemenge, die dabei zwischen dem Wärmereservoir und dem Gas ausgetauscht wurde?
- Durch Erwärmen des Gases soll der beladene Stempel nun auf die ursprüngliche Höhe gebracht werden. Welche Temperatur hat das Gas, wenn es das ursprüngliche Volumen V_0 einnimmt? Welche Wärmemenge wurde dem Gas hierfür zugefügt?

Aufgabe 6

In einem großen Presslufttank befindet sich Sauerstoff (Adiabatenkoeffizient $\kappa = 1,4$) bei Zimmertemperatur $T_0 = 293K$ unter einem Druck von $p_1 = 150bar$. Aus ihm wird eine Stahlflasche gefüllt, die anfangs ebenfalls Sauerstoff mit $T_0 = 293K$ und $p_0 = 1bar$ enthält. Druck und Temperatur des Gases im Tank bleiben konstant. die Füllung der Flasche erfolge so rasch, dass kein Wärmeaustausch mit der Umgebung stattfindet und ihr Inhalt beim Schließen des Ventils unmittelbar nach dem Füllen die Temperatur T_1 hat.

- a) Berechnen Sie das Verhältnis von zugeführter Gasmenge Δn zur ursprünglichen Gasmenge n in Abhängigkeit von T_0, T_1 und κ .
- b) Wie lauten die Zustandsgleichungen des Gases in der Flasche vor und unmittelbar nach der Füllung? Berechnen Sie daraus ebenfalls $\frac{\Delta n}{n}$.
- c) Welcher Druck p_2 herrscht in der geschlossenen Flasche nach Abkühlung auf T_0 ?
- d) Wie groß sind T_1 und $\frac{\Delta n}{n}$?

Aufgabe 7

Der Kreisprozess im Ottomotor kann durch folgenden idealisierten Prozess angenähert werden:

- I. Adiabatische Kompression des idealen Arbeitsgases vom Volumen V_1 , der Temperatur T_1 und dem Druck p_1 zum Volumen V_2 .
 - II. Isochore Druckerhöhung, indem das Gas mit einem Wärmebad der Temperatur T_3 in Berührung gebracht wird und der Temperatureausgleich abgewartet wird.
 - III. Adiabatische Expansion bis zum Anfangsvolumen V_1 .
 - IV. Isochore Druckerniedrigung bis zum Anfangsdruck p_1 , wobei das Gas durch Kontakt mit einem zweiten Wärmebad der Temperatur T_1 abgekühlt wird.
- a) Wie sieht das p-V-Diagramm des Kreisprozesses aus? Berechnen Sie Drücke, Volumina und Temperaturen für die Anfangspunkte der vier Teilprozesse. ($V_1 = 1,5 dm^3, \epsilon = \frac{V_1}{V_2} = 8, T_1 = 303K, p_1 = 1bar, T_3 = 1973K, \kappa = 1,4$)
 - b) Wie groß ist die pro Umlauf im p-V-Diagramm gewonnene Arbeit? Welche Leistung gibt ein Vierzylinder-Viertaktmotor bei einer Motordrehfrequenz von $f = 4500 \frac{1}{min}$ ab? c_V soll als konstant angenommen werden.
 - c) Wie groß ist der Wirkungsgrad η_{rev} einer Carnot-Maschine, die mit den beiden Wärmebädern arbeitet? Wie groß ist der effektive Wirkungsgrad η des Motors? Zeigen Sie, dass dieser nur vom Kompressionsverhältnis ϵ abhängt.