

**Themenschwerpunkt A**  
**Atom- und Molekülphysik**

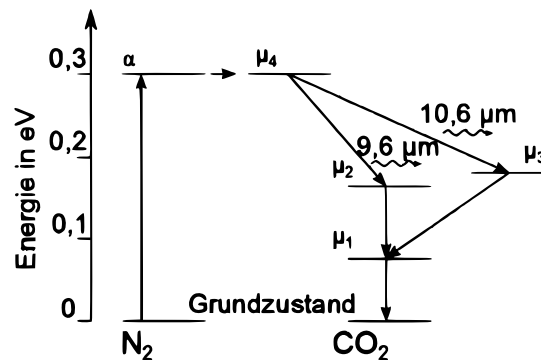
**Aufgabe 1: CO<sub>2</sub>-Laser****(20 Punkte)**

Einer der leistungsstärksten Gas-Laser ist der CO<sub>2</sub>-Laser. Die CO<sub>2</sub>-Moleküle werden durch Stöße mit ebenfalls im Gas enthaltenen Stickstoffmolekülen angeregt.

- a) In Molekülen können Rotationen, Schwingungen oder elektronische Übergänge angeregt werden. Die typischen Energien dieser Anregungen unterscheiden sich stark. Ordnen Sie die Übergänge für  $E_E$  (elektronische Anregung),  $E_R$  (Rotation) und  $E_S$  (Schwingung) aufsteigend nach der typischerweise benötigten Anregungsenergie. Geben Sie außerdem die jeweiligen Wellenlängenbereiche an. (3 P)
- b) Begründen Sie anhand des Aufbaus des N<sub>2</sub>-Moleküls, warum Schwingungszustände bei diesem Molekül nicht direkt optisch angeregt werden können. Geben Sie den Mechanismus an, durch den die Schwingungszustände in der Gasentladung angeregt werden. (2 P)
- c) In einem einfachen Modell seien die beiden Stickstoffatome (Atommasse  $m_N = 2,324 \cdot 10^{-26}$  kg) über eine Feder mit der Kraftkonstanten  $k = 2296 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  verbunden. Berechnen Sie in diesem Modell die Schwingungsfrequenz des N<sub>2</sub>-Moleküls. Skizzieren Sie außerdem das harmonische Bindungspotenzial, tragen Sie schematisch die niedrigsten vier erlaubten Energiezustände ein und geben Sie die entsprechenden Quantenzahlen an. Beschreiben Sie kurz die wesentlichen Merkmale Ihrer Skizze. (3 P)
- d) Skizzieren Sie die Form des realistischeren Morsepotenzials. Geben Sie qualitativ an, wie sich die Abstände zwischen den erlaubten Energieniveaus nahe der Dissoziationsenergie des Moleküls verändern und tragen Sie diese in die Skizze ein. (2 P)
- e) Das CO<sub>2</sub>-Molekül ist linear gestreckt. Geben Sie die Anzahl und Entartung der Normalschwingungsmoden an und skizzieren Sie diese. Geben Sie an, welche dieser Schwingungsmoden durch Infrarot-Strahlung direkt angeregt werden können. (4 P)

**Fortsetzung nächste Seite!**

Das Energiediagramm des Schwingungsspektrums des CO<sub>2</sub>-Lasers, ohne Berücksichtigung anderer Bewegungen, ist in nachstehender Abbildung gezeigt: Die angeregten N<sub>2</sub>-Moleküle geben ihre Energie an die CO<sub>2</sub>-Moleküle ab, welche sich nach dem Energieübertrag im Zustand  $\mu_4$  befinden. Im Zustand  $\mu_3$  ist die symmetrische Streckschwingung angeregt.



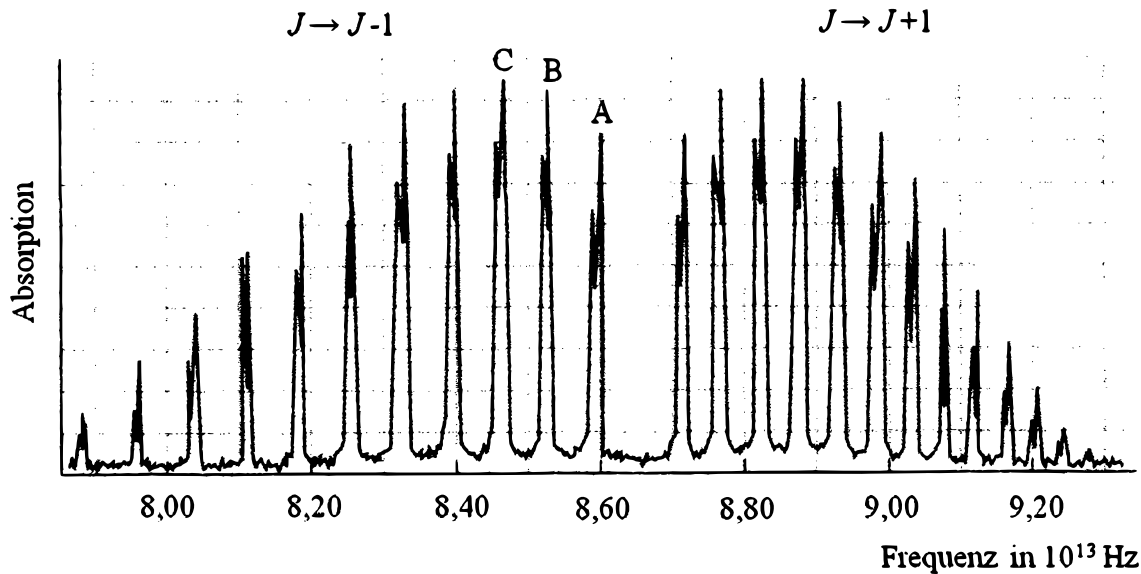
- f) Berechnen Sie die Schwingungsenergien der Zustände  $\mu_3$  und  $\mu_4$ . (3 P)
- g) Skizzieren Sie schematisch einen Laser und erklären Sie anhand dieser Skizze die prinzipielle Funktionsweise. Gehen Sie insbesondere auf die Begriffe Resonator, Besetzungsinversion, Moden, stimulierte Emission ein. (3 P)

Hinweise:

Masse des Sauerstoffatoms:  $m_O = 15,9994 \text{ u}$

Masse des Kohlenstoffatoms:  $m_C = 12,0107 \text{ u}$

Federkonstante der C-O Bindung:  $k = 1721 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

**Aufgabe 2: Thermische Besetzung von Rotations- und Schwingungsniveaus****(20 Punkte)**

Die Abbildung oben zeigt ein gemessenes Rotationsschwingungsspektrum von HCl-Gas. Hierbei bezeichnet  $J$  die Rotationsquantenzahl. Der Schwingungsübergang findet vom Zustand mit der Schwingungsquantenzahl  $\nu = 0$  zu  $\nu = 1$  statt.

- Skizzieren Sie die Rotations-Schwingungsniveaus zu den Schwingungsquantenzahlen  $\nu = 0$  und  $\nu = 1$  und zeichnen Sie die Übergänge, die zu den mit A, B und C bezeichneten Absorptionsmaxima gehören, durch Pfeile ein. Geben Sie in der Skizze auch die Rotationsquantenzahlen der beteiligten Niveaus an. (3 P)
- Im HCl-Gas sind die Chlor-Isotope  $^{35}\text{Cl}$  und  $^{37}\text{Cl}$  enthalten. Begründen Sie anhand der relativen Intensitäten der Liniendoublets in der Abbildung, welches der beiden Isotope in dem untersuchten Gas häufiger vorhanden ist. (2 P)
- Schätzen Sie die Frequenz des reinen Schwingungsübergangs aus der Abbildung ab. Bestimmen Sie damit das Verhältnis der Zahl der  $^1\text{H}^{35}\text{Cl}$ -Moleküle, die sich im ersten angeregten Schwingungszustand befinden, zu der Zahl der Moleküle im Schwingungsgrundzustand. Geben Sie das Verhältnis für die Temperaturen 300 K und 1500 K an. (4 P)
- Aus der Messung kann man über alle Maxima der beiden Liniengruppen gemittelt einen mittleren Frequenzabstand der Rotationsübergänge von  $\Delta f = 0,65 \cdot 10^{12}$  Hz bestimmen. Schätzen Sie damit den Gleichgewichtsabstand  $R_0$  der beiden Atome im Molekül ab. [Ersatzlösung:  $R_0 = 0,135$  nm] (2 P)
- Das Dipolmoment pro  $^1\text{H}^{35}\text{Cl}$ -Molekül wurde zu  $p = 3,70 \cdot 10^{-30}$  Cm gemessen. Betrachten Sie das Molekül als idealen Dipol aus zwei Punktladungen. Die Ladungen seien betragsgleich aber von unterschiedlichem Vorzeichen. Bestimmen Sie damit die Partialladung am H- und am Cl-Atom in Einheiten der Elementarladung. (2 P)

**Fortsetzung nächste Seite!**