

# 4. Übungsblatt zur Vorlesung SMKS-1 (WS 25/26)

## Seidel/Kühnemuth

Abgabe bis Sonntag 16.11.2025, 24:00 Uhr  
Besprechung: Dienstag, 18.11.2025

### **Wiederholungsfragen**

- 4.1)** Wovon hängt die Linienbreite eines optischen Übergangs ab?
- 4.2)** Was bedeutet homogene und inhomogene Linienbreite?
- 4.3)** Welche Effekte tragen zur Vergrößerung der homogenen Linienbreite bei?
- 4.4)** Welche Effekte tragen zur Vergrößerung der inhomogenen Linienbreite bei?
- 4.5)** Was bedeuten die T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> und T<sub>2'</sub> Zeiten. Wie hängen Sie zusammen?
- 4.6)** Ein Molekül wurde durch eine Lichtpuls in einen S<sub>1</sub>-Zustand mit v=10 angeregt. Welche Deaktivierungsprozesse können im Molekül ablaufen und definieren Sie diese.
- 4.7)** Welche Eigenschaften muss ein Material erfüllen, damit als Lasermedium verwendet werden kann.

### **Aufgabe 16: Einstein-Koeffizienten (II)**

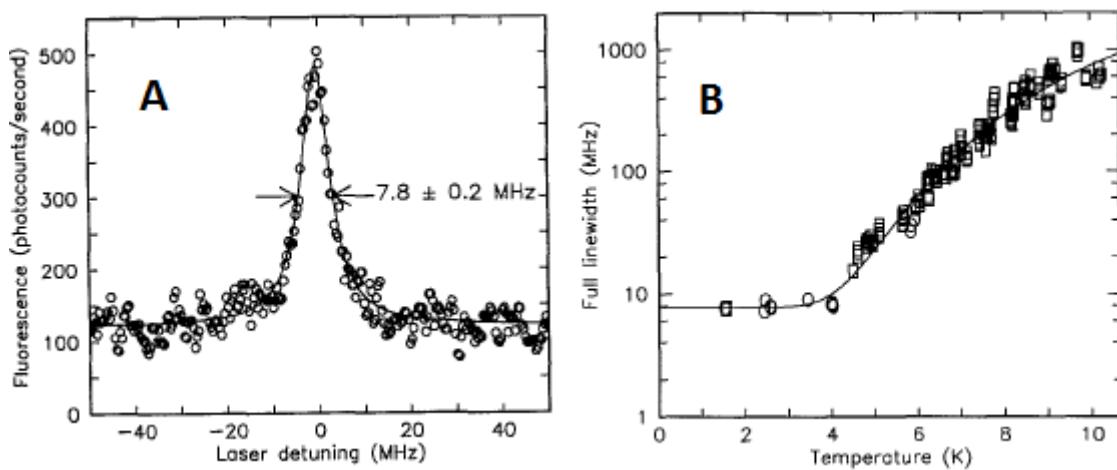
Zeigen Sie, dass in einem Zweiniveausystem bei resonanter Lichteinstrahlung bestenfalls eine Gleichbesetzung der Niveaus erreicht werden kann. Vernachlässigen Sie dabei zunächst die spontane Emission. Formulieren Sie dann die Differentialgleichung zusätzlich mit der spontanen Emission. Skizzieren Sie die Besetzungen der Niveaus N<sub>1</sub> und N<sub>2</sub> als Funktion der Lichtintensität I.

### **Aufgabe 17: Verbreiterung von Spektrallinien**

- a)** Eine rein homogen verbreiterte Resonanzlinie ist Lorentz-förmig, eine rein inhomogen verbreiterte Gauß-förmig. Begründen Sie dies.
- b)** Wodurch werden inhomogene Verbreiterungen in der Gasphase hauptsächlich verursacht? Was ist unter Standardbedingungen die Hauptursache für inhomogene Verbreiterung in flüssiger und fester Phase?
- c)** Abbildung A zeigt eine Resonanzlinie eines einzelnen Pentacen Moleküls in einer p-Terphenyl-Matrix bei 1,5 K. In Abbildung B ist die Abhängigkeit der (homogenen) Linienbreite von der Temperatur dargestellt. Zur Linienbreite tragen T<sub>1</sub>- und T<sub>2'</sub>-Prozesse gemäß

$$\Delta\nu_{FWHM} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot T_1} + \frac{1}{\pi \cdot T'_2}$$

bei. Der T<sub>1</sub>-Prozess ist *nicht* temperaturabhängig, der T<sub>2'</sub>-Prozess hingegen schon. Entnehmen Sie dem Diagramm die T<sub>1</sub>-Zeit sowie T<sub>2'</sub> bei 6 und 10 K.



(Aus: W.P. Ambrose et al., *J. Chem. Phys.* **1991**, *95*, 7150-7163)

d) Die Temperaturabhängigkeit von  $T'_2$  lässt sich über

$$\frac{1}{\pi \cdot T'_2} = \frac{1}{\pi \cdot T'_{2(T \rightarrow \infty)}} \cdot e^{-\frac{\Delta E}{k_B \cdot T}}$$

beschreiben. Errechnen Sie  $T'_{2(T \rightarrow \infty)}$  und  $\Delta E$ .

*Hinweis:* Aus  $T'_2$  bei zwei verschiedenen Temperaturen können diese Werte errechnet werden.

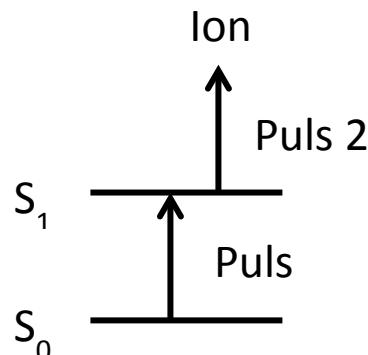
### Aufgabe 18: Spektroskopische Methoden zur Beeinflussung der homogenen Linienbreite am Beispiel der Lasermassenspektroskopie

Die natürliche Lebensdauer eines  $S_1$ -Zustandes eines Moleküls betrage 10 ns. Der  $S_1$  wird durch einen Laser 1 resonant angeregt. Diese Aufgabe beschreibt den Ansatz, die Lebensdauer des  $S_1$ -Zustandes durch eine zusätzliche Laseranregung in einen weiteren (noch höher angeregten) Zustand (Ion) zu beeinflussen. Der Einsteinkoeffizient für diesen zweiten Schritt aus dem  $S_1$ -Zustand zum Ion beträgt  $B_{S1\text{-ion}} = 10^{-16} \text{ cm}^2$ .

Der Ionisationslaser habe eine Pulslänge von 100 ns (Intensität = const. während dieser Zeit), eine Wellenlänge von 300 nm und eine Pulsenergie von 10 mJ, die auf 1 mm<sup>2</sup> fokussiert wird.

a) Wie groß ist die optische Pumprate vom  $S_1$  ins Ion (setzen Sie die Laserintensität  $I$  als Photonen/(s·cm<sup>2</sup>) ein!)?

b) Der Experimentator beobachtet während des Prozesses die Fluoreszenz (möglich, denn nicht alle Moleküle werden ionisiert). Welche künstlich veränderte Lebensdauer würde er nun in der Linienbreite des  $S_1$  finden. Der Laserpuls 1 ist an während auch Laserpuls 2 an ist.



### Aufgabe 19: Streuung von Laserlicht in Wasser

Eine Schwingungsmodus von Wasser hat eine Anregungsenergie von  $3400 \text{ cm}^{-1}$ .

a) Welche Effekte werden beobachtet, wenn Wasser mit einem Laser mit einer Wellenlänge von 400 nm bei Raumtemperatur bestrahlt wird?

b) Wie weisen Sie diese Effekte nach und wie viele Signalpeaks erwarten Sie?

c) Schätzen Sie die Reihenfolge der registrierten Intensitäten der Peaks ab und begründen Sie Ihre Aussage.