

Experimentalphysik IV (WS 2023/2024)

Übung 10

Tutorium: 2

Abgabe: 26.06.2024

Aufgabe 1: Gepulster Rubinlaser

Im Rubin Festkörper führt optisches Pumpen mit einer Wellenlänge von 550 nm auf einen angeregten Zustand E_3 von Cr^{3+} -Ionen, die im Al_2O_3 -Gitter des Rubin-Kristalls einige der Al-Atome ersetzen. Dieser Zustand hat eine Lebensdauer von 10^{-3} s. Es folgen von hier strahlungslose Übergänge in das metastabile Niveau E_2 mit einer Lebensdauer von $3 \cdot 10^{-3}$ s. Der Laserübergang zwischen den Niveaus E_2 und E_1 besitzt eine Wellenlänge von 694.3 nm.

Bestimmen Sie:

(a) Die Pulsdauer des Lasers beträgt 12 ps und die Energie pro Puls ist 0.15 J.

i. Welche räumliche Länge hat der Puls?

$$s = ct \approx 3.60 \text{ mm}$$

ii. Was ist die erreichte Leistung?

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{E}{t} \approx 12.5 \text{ GW}$$

iii. Wieviele Photonen werden pro Puls emittiert?

$$N = \frac{E_{\text{Puls}}}{E_{\text{ph}}} = \frac{E_{\text{Puls}} \lambda}{hc} \approx 5.24 \cdot 10^{17}$$

(b) Vergleichen Sie die natürliche Linienbreite des Laser-Übergangs mit der Dopplerverbreiterung von $\Gamma_D = 1.3 \text{ pHz}$, für eine Betriebstemperatur von 300 K, mit der Breite aufgrund der kurzen induzierten Emissiondauer.

$$E = \frac{hc}{\lambda} \implies \Delta E = \frac{hc}{\lambda^2} \Delta \lambda$$

$$\frac{\hbar}{2} = \Delta E \Delta t = \frac{hc}{\lambda^2} \Delta \lambda_n \Delta t$$

$$\Delta \lambda_n = \frac{\lambda^2}{4\pi c \Delta t} \approx 10.6 \text{ pm}$$

$$\Delta \lambda_{\text{Doppler}} = \frac{\lambda}{c} \sqrt{\frac{8k_B T \ln 2}{m}}, \quad m(\text{C}_3^{3+}) = \frac{52 \cdot 10^{-3}}{N_A} \text{ kg}$$

$$\approx 1.19 \text{ pm}$$

Damit ist die Linienverbreiterung durch die Kürze des Laserpuls etwa um eine Größenordnung größer, als die Dopplerverbreiterung.

(c)