

Lösungen: Übungsblatt 11 zur Quantenelektronik I

Aufgabe 1 Gütegeschalteter Laser

- a) Im Gleichgewicht liefert die Pumpe dem Kristall pro Zeiteinheit so viel Energie nach, wie durch spontane Emission verloren geht. Für die im Laserübergang gespeicherte Energie ist jedoch noch der Quantendefekt zu berücksichtigen (für 808 nm \rightarrow 1064 nm). Also ist $100 \text{ W} \cdot (808/1064) = E / 230 \mu\text{s}$ und damit die extrahierbare Energie $E = 100 \text{ W} \cdot 230 \mu\text{s} \cdot (808/1064) = 17 \text{ mJ}$.
- a) Die Netto-Verstärkung pro Umlauf beträgt $20\% - 5\% = 15\%$. Somit steigt die optische Energie nach N Umläufen um den Faktor 1.15^N . Für die Verstärkung von 1 fJ auf 10 mJ benötigen wir demnach $\lg(10 \text{ mJ} / 1 \text{ fJ}) / \lg(1.15) \approx 214$ Umläufe. Die Verstärkungssättigung hat darauf kaum einen Einfluss, da sie nur bei den allerletzten Umläufen wirksam ist. Mit Sättigung der Verstärkung werden deshalb nur unwesentlich mehr Umläufe benötigt.

Aufgabe 2 Sättigung von Laserverstärkern

- a) Die Anzahl $N(t)$ der angeregten Atome entwickelt sich gemäss $\frac{dN(t)}{dt} = -N\sigma_L \frac{P/A}{h\nu_L}$.

Mit $g(t) = \frac{N(t)\sigma_L}{2A}$ (aus Gleichung (66) in Kapitel 6.7.2 des Skripts mit $g = g(z) \cdot L$ und $V = AL$, $L =$ Länge des Mediums) haben wir

$$\frac{dg(t)}{dt} = \frac{\sigma_L}{2A} \frac{dN(t)}{dt} = -\frac{\sigma_L}{2A} N\sigma_L \frac{P/A}{h\nu_L} = -g(t)P(t)/E_{\text{sat}} \quad \text{mit } E_{\text{sat}} = h\nu_L A / \sigma_L.$$

- b) Aus obiger Gleichung erhalten wir $\frac{dg}{g} / g = \frac{d(\ln g)}{dt} = -\frac{P}{E_{\text{sat}}}$. Diese Gleichung wird über die Dauer des Pulses integriert (d.h. von einer Zeit t_i vor dem Puls, bis zu einer Zeit t_f nach dem Puls). Damit erhält man

$$\ln(g(t)) \Big|_{t_i}^{t_f} = -\frac{\int_{t_i}^{t_f} P(t) dt}{E_{\text{sat}}}$$

$$\ln(g(t_f)) - \ln(g(t_i)) = \ln\left(\frac{g_1}{g_0}\right) = -\frac{E_p}{E_{\text{sat}}}, \quad \text{mit der Pulsenergie } E_p, \quad g_1 := g(t_f) \text{ der}$$

Verstärkung nach dem Puls und $g_0 := g(t_i)$ der Verstärkung vor dem Puls. Daraus ergibt sich $g_1 = g_0 \exp(-E_p / E_{\text{sat}})$. Man beachte, dass die Näherung $g \ll 1$ notwendig ist, weil sonst nicht alle angeregten Atome im Lasermedium die gleiche Intensität „sehen“.

- c) Aus der in Teil b) hergeleiteten Formel ist ersichtlich, dass eine Pulsenergie grösser als E_{sat} notwendig ist, um die gespeicherte Energie in einem einzelnen Durchgang durch das Lasermedium annähernd vollständig zu extrahieren. Mit Hilfe mehrerer Durchgänge ist dafür natürlich weniger Pulsenergie notwendig. Die extrahierbare Energie ist im Prinzip nicht durch E_{sat} begrenzt, sondern nur durch die im Lasermedium gespeicherte Energie. Allerdings gibt es bei starker Sättigung des

Lasermediums Effekte, die man manchmal vermeiden möchte – z. B. wird die vordere Flanke eines Pulses dann wesentlich mehr verstärkt als die hintere, so dass sich das zeitliche Pulsprofil ändert. Auch das räumliche Pulsprofil ändert sich, weil die Sättigung in den Randbereiten des Strahls schwächer ist.