Laserphysik

WS 2018/19 **8. Übung** **18.12.2018**

Aufgabe 1

Der optische Übergang eines Ensembles von 2-Niveau-Systemen ist homogen verbreitert mit einer Zentralfrequenz von $\nu_0 = 5 \times 10^{14}$ s^{-1} und einer Linienbreite (FWHM) $\Delta\nu = 1$ THz. Die Besetzung dieses Mediums von $d = 1$ cm Dicke ist invertiert, der maximale Verstärkungskoeffizient beträgt $\gamma(\nu_0) = 0.1$ cm^{-1}. Das Medium weist einen zusätzlichen frequenzunabhängigen Dämpfungskoeffizienten von $\alpha = 0.05$ cm^{-1} auf. Bestimmen Sie den Verlust oder Gewinn einer durch das Medium laufenden Lichtwelle, die anfänglich eine gleichförmige spektrale Leistungsdichte mit einer Bandbreite von $2\Delta\nu$ um ν_0 aufweist.

Aufgabe 2

Betrachten Sie ein homogen verbreitertes verstärkendes Medium der Länge $d = 10$ cm mit einer Sättigungsphotonenflussdichte $\Phi_{\text{sat}} = 4 \times 10^{18}$ cm^{-2} s^{-1}. Eine Eingangsphotonenflussdichte $\Phi_0 = 4 \times 10^{15}$ cm^{-2} s^{-1} erzeugt eine Ausgangsphotonenflussdichte $\Phi(d) = 4 \times 10^{16}$ cm^{-2} s^{-1}.

a) Bestimmen Sie die Verstärkung G_0 und den Verstärkungskoeffizienten g_0 des Systems in der Näherung kleiner Signale.

b) Wie groß ist die Photonenflussdichte, bei der der Verstärkungskoeffizient um einen Faktor 5 abgenommen hat?

c) Bestimmen Sie den Verstärkungskoeffizienten für $\Phi_0 = 4 \times 10^{15}$ cm^{-2} s^{-1}. Wie groß ist die Verstärkung des Systems in der Näherung kleiner Signale im Vergleich zu dem in Teilaufgabe a) bestimmten Wert?

Aufgabe 3

Es sollen Nd:YAG-Laser und -Verstärker betrachtet werden.

a) Berechnen Sie für einen Nd:YAG-Laser die Inversionsschwelle. Die Spiegel im Abstand von $L = 1$ m haben die Reflexionskoeffizienten $R_1 = 1$ und $R_2 = 0.8$, das aktive Medium ist $d = 5$ cm lang. Der Wirkungsquerschnitt für stimulierte Emission bei $\lambda = 1.064\ \mu$m beträgt $\sigma = 3.5 \times 10^{-19}$ cm^2.

b) Ein gepulster Nd:YAG Laser wandelt $\eta = 1.5$ % der Energie der Blitzlampe in Laserstrahlung um. Berechnen Sie die Impulsenergie, die Impulsleistung und die mittlere Leistung der Laserstrahlung bei einer Impulsdauer von $t_p = 200\ \mu$s, einer Pumpenergie von $W = 1$ J und einer Wiederholfrequenz von $\nu_{\text{rep}} = 20$ Hz.

c) Berechnen Sie die Sättigungsintensität für den Laserübergang des Nd:YAG-Kristalls. Die Lebensdauer des oberen Niveaus beträgt $\tau = 230\ \mu$s. Welche optische Leistung muss auf einen Nd:YAG-Verstärker mit einem Durchmesser von $D = 8$ mm mindestens eingestrahlt werden, um die gespeicherte Energie effektiv für die Lichtverstärkung zu nutzen?

Aufgabe 4

Ein ungesättigter optischer Verstärker der Länge d mit dem Verstärkungskoeffizienten $g(\omega)$ verstärkt ein Eingangssignal Φ_0 (Photonenflussdichte = Photonenzahl / (Fläche und Zeit)) der Kreisfrequenz ω und erzeugt dabei mit einer Rate R_{RSE} pro Längeneinheit eine verstärkte spontane Emission. Die Photonenflussdichte des verstärkten Signals am Ausgang ist $\Phi_S(d)$, die der verstärkten spontanen Emission Φ_{ASE}. Skizzieren Sie die Abhängigkeit des Verhältnisses $\Phi_S(d)/\Phi_{\text{ASE}}$ von der Größe $g(\omega)d$.

Aufgabe 5

Berechnen Sie den optimalen Reflexionsgrad R_{opt} des Auskoppelspiegels, der bei einem stationär laufenden Laser mit homogener Linienverbreiterung und schwacher Verstärkung zu maximaler Ausgangsleistung führt. Berechnen Sie den Wert von R_{opt} für einen stationär laufenden Laser mit $g_0(\omega = \Omega)L = 0.2$ (L: Länge des Lasers), einer Sättigungsintensität $I_S = 10$ W/cm^2 und einem Verlust pro Umlauf im Lasermedium von 2%. Geben Sie die Leistungsdichte inner- und außerhalb des Resonators und die Ausgangsleistung bei einem Strahlquerschnitt von $D = 1$ mm^2 an.