

Übungsserie 12- Probeklausur

Als Hilfsmittel ist nur ein Taschenrechner zugelassen. Notwendige Formeln und Konstanten sind auf der zweiten Seite zu finden. Es können maximal 36 Punkte erzielt werden. Viel Erfolg!

Um die Punkte dieser Übungsserie zu berechnen, werden die ermittelten Klausurpunkte durch 2 geteilt, die Maximalpunktzahl beträgt also 18.

Aufgabe 1 (2 Punkte)

Gegeben sei ein aktives Medium mit einem Kleinsignalverstärkungskoeffizienten von $g_0 = 4 \text{ m}^{-1}$. Es befindet sich in einem linearen Resonator mit $L_{\text{cav}} = 3\%$ Umlaufverlusten, einem perfekten Spiegel mit $R = 100\%$ und einem Auskoppelspiegel mit $R = 85\%$ Reflektivität (der Leistung).

- Welche Länge des aktiven Mediums muss mindestens gewählt werden, um die Laserschwelle zu erreichen? (1 Punkt)
- Zeichnen Sie qualitativ den Verlauf von Inversion und Ausgangsleistung in Abhängigkeit von der Pumpleistung für einen Dauerstrichlaser. (1 Punkt)

Aufgabe 2 (4 Punkte)

Gegeben sei ein Laser, der ultrakurze Pulse mit einer Pulswiederholrate von $f = 10 \text{ MHz}$ und einer Durchschnittsleistung von $P_{\text{av}} = 1 \text{ W}$ emittiert. Die Zentralwellenlänge der emittierten Strahlung beträgt $\lambda = 1030 \text{ nm}$.

- Wie lang ist die (optische) Resonatorlänge L im Falle eines linearen Resonators? (1 Punkt)
- Wie groß ist die Pulsenergie E ? (1 Punkt)
- Wie groß ist die Pulsspitzenleistung P_{peak} unter Annahme von zeitlich gaußförmigen Pulsen mit einer Pulsdauer (FWHM) von $\tau = 120 \text{ fs}$? (1 Punkt)
- Der grundmodige Strahl des Lasers wird auf einen Durchmesser ($1/e^2$ der Intensitätsverteilung) von $2w = 50 \mu\text{m}$ fokussiert. Wie groß ist die Spitzenintensität I_{peak} ? (1 Punkt)

Aufgabe 3 (6 Punkte)

Mit Hilfe eines konvexen Spiegels mit Krümmungsradius $R_1 = -0,4 \text{ m}$ und eines konkaven Spiegels mit $R_2 = 0,1 \text{ m}$ soll ein stabiler Resonator realisiert werden.

- Zeichnen Sie ein Stabilitätsdiagramm und markieren sie den stabilen Bereich. (1 Punkt)
- Definieren Sie mit Hilfe der Strahlenoptik einen stabilen Resonator. (1 Punkt)
- Definieren Sie mit Hilfe der Wellenoptik einen stabilen Resonator. (1 Punkt)
- Für welche Spiegelabstände L ist der gegebene Resonator stabil? Zeichnen Sie die Menge aller möglichen Lösungen in das Stabilitätsdiagramm aus a). (3 Punkte)

Aufgabe 4 (7 Punkte)

Betrachten Sie ein Lasermedium, bei dem sowohl das obere als auch das untere Laserniveau ein Multiplett ist, in denen die Besetzung der energetisch dicht beieinander liegenden Unterniveaus durch die Boltzmann-Verteilung beschrieben werden kann.

- Nennen und beschreiben Sie kurz die drei wesentlichen Prozesse, die zur Wärmeerzeugung in einem aktiven Medium beitragen. (3 Punkte)
- Wie kann die erzeugte Hitze den Betrieb eines Lasers stören? (2 Punkte)
- Erklären Sie, wie und warum die erzeugte Wärme die effektiven Emissionswirkungsquerschnitte ändert. (2 Punkte)

Aufgabe 5 (3 Punkte)

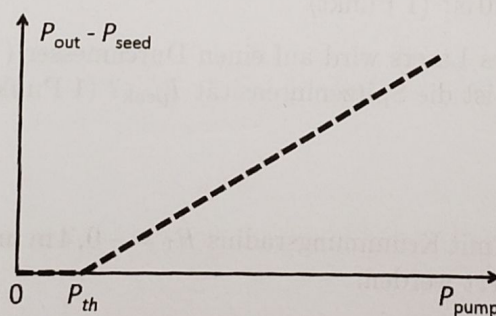
Betrachten Sie einen gütegeschalteten Laser mit einem idealen Schalter, der seine Transmission zwischen 0% und 100% bei gegebener Wiederholrate f und Öffnungszeit T moduliert. Die Pumpleistung sei P und die Schaltzeit des Schalters kann als unendlich schnell angenommen werden. Nun wird der Schalter entfernt und mit ihm anstelle der Resonatorverluste die auf das aktive Medium auftreffende Pumpleistung moduliert. Alle anderen Größen werden beibehalten.

- Beschreiben Sie, wie dieser pumpmodulierte Laser funktioniert. Skizzieren Sie hierzu den zeitlichen Verlauf von Pumpe, Signal und Inversion. (2 Punkte)
- Würde sich durch die beschriebene Veränderung die emittierte Pulsenergie verändern? Warum? (1 Punkt)

Aufgabe 6 (8 Punkte)

Betrachten Sie drei aktive Medien, jeweils ein Vierniveau-, ein klassisches Dreiniveau- und ein umgekehrtes Dreiniveausystem. Nehmen Sie weiterhin an, dass alle drei gleiche Volumina, Ionenkonzentrationen und Emissionswirkungsquerschnitte besitzen.

- Skizzieren Sie die Termschemata aller drei aktiven Medien und zeichnen Sie alle entsprechenden Übergänge ein. Die strahlungslosen Übergänge können hierbei als unendlich schnell angenommen werden. (3 Punkte)
- Welches aktive Medium würden Sie wählen, um einen gütegeschalteten Laser mit möglichst hoher Ausgangsenergie zu realisieren? Warum? (1 Punkt)
- Was versteht man unter der Sättigungsintensität eines aktiven Mediums? Für welches der drei aktiven Medien ist die Sättigungsintensität am geringsten? Warum? (2 Punkte)
- In einem Verstärker (kein Laser!) basierend auf einem klassischen Dreiniveausystem wird die dargestellte Abhängigkeit der extrahierten Leistung $P_{\text{out}} - P_{\text{seed}}$ von der absorbierten Pumpleistung P_{pump} beobachtet. Erklären Sie die Ursache für das Auftreten der von null verschiedenen Schwellpumpleistung P_{th} . (2 Punkte)



Aufgabe 7 (6 Punkte)

Gepulste Laserstrahlung kann beispielsweise durch Güteschaltung oder durch Modenkopplung eines Lasers erzeugt werden.

- Welche sind die Hauptunterschiede zwischen der Strahlung emittiert von diesen beiden Lasertypen? Erklären Sie die physikalischen Ursachen dieser Unterschiede. (3 Punkte)
- Ist es möglich, die Pulsdauer eines modengekoppelten Laser außerhalb des Resonators zu verlängern? Falls ja, wie? (1 Punkt)
- Ist es möglich, die Pulswiederholrate eines modengekoppelten Laser außerhalb des Resonators zu verringern? Falls ja, wie? (1 Punkt)
- Ist es möglich, die Pulswiederholrate eines modengekoppelten Laser außerhalb des Resonators zu erhöhen? Falls ja, wie? (1 Punkt)

Naturkonstanten und Einheiten:

$$c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

hilfreiche Formeln:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp(-a^2 x^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{a}$$