

Probeklausur

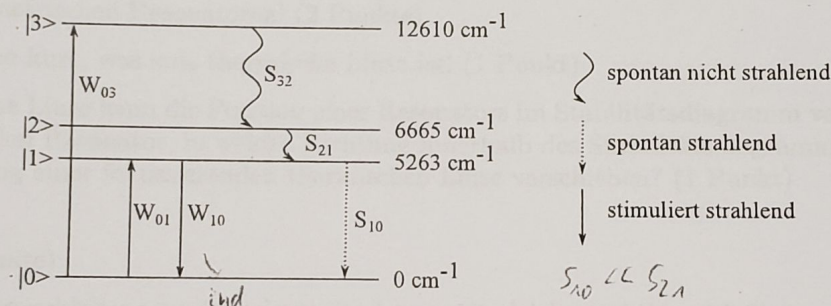
Als Hilfsmittel ist nur ein Taschenrechner zugelassen. Es können 39 Punkte erzielt werden. Viel Erfolg! Um die Punkte dieser Übungsserie zu berechnen, werden die ermittelten Klausurpunkte durch 2 geteilt, die Maximalpunktzahl beträgt also 18.5.

Aufgabe 1 (6 Punkte)

- Definieren Sie mit eigenen Worten, was ein Laser ist! (1 Punkt)
- Nennen Sie 2 Eigenschaften von Laserstrahlung und erläutern Sie, welche physikalischen Ursachen in einem Laser mit diesen Eigenschaften assoziiert sind. (2 Punkte)
- Erklären Sie kurz die 3 verschiedenen Typen der Licht-Materie-Wechselwirkung. (2 Punkte)
- Warum gibt es keine spontane Absorption? (1 Punkt)

Aufgabe 2 (9 Punkte)

Betrachten Sie das folgende Termschema:



- Notieren Sie die Ratengleichungen aller Niveaus basierend auf den eingezeichneten Übergängen! (1 Punkt)
- Zeigen Sie durch kurze Rechnung, dass direktes Pumpen von $|0\rangle$ zu $|1\rangle$ keine Inversion erlaubt! (1 Punkt)
- Berechnen Sie basierend auf den eingezeichneten Übergängen die durch den Quantendefekt erzeugte Wärmeleistung für ein Lasersignal mit 100W Durchschnittsleistung! (2 Punkte)
- Nehmen Sie an, es gibt zusätzliche strahlende Übergänge im gezeigten Termschema. Nennen Sie eine einfache Möglichkeit, wie die Lasereffizienz erhöht werden kann, ohne die Signalwellenlänge zu verändern! (1 Punkt)
- Was ist die physikalische Bedeutung der Quanteneffizienz? (1 Punkt)
- In dem hier betrachteten aktiven Medium kann die Relaxation von $|3\rangle$ zu $|2\rangle$ zu einer Anregung eines benachbarten Ions von $|0\rangle$ zu $|1\rangle$ führen. Im Idealfall kann so jedes Pumpphoton (Übergang von $|0\rangle$ zu $|3\rangle$) insgesamt 2 Ionen auf das Laserniveau $|2\rangle$ anregen. Berechnen Sie für diesen Idealfall die Wärmeleistung für ein Lasersignal mit 100W Durchschnittsleistung! (2 Punkte)
- Erklären Sie, warum sich die Wärmeleistung in f) um mehr als einen Faktor 2 reduziert hat! (1 Punkt)

Aufgabe 3 (4 Punkte)

- Zeichnen und erklären Sie das Energiediagramm zwei verschiedene Atome für ein homogen-verbreitertes 2-Niveau System! (1 Punkt)
- Zeichnen und erklären Sie das Energiediagramm zwei verschiedene Atome für ein inhomogen-verbreitertes 2-Niveau System! (1 Punkt)
- Zwei Verstärkermidien unterscheiden sich nur darin, dass das eine homogen und das andere inhomogen verbreitert ist. Verstärker 1 emittiert auf einer Frequenz f_1 und Verstärker 2 auf einer anderen Frequenz f_2 . Ihre Signale sind orthogonal zueinander polarisiert.

Die Signale beider Verstärker werden nun perfekt überlagert und in gegenläufiger Richtung ausgerichtet. Folglich propagiert das Signal von Verstärker 1 auch durch Verstärker 2 und umgekehrt. Wie verändern sich die Ausgangsleistungen von Verstärker 1 und Verstärker 2 in dieser Konfiguration? Begründen Sie! (2 Punkte)

Aufgabe 4 (5 Punkte)

- a) Was ist „ASE“? (1 Punkt)
- b) Die zeitliche Kohärenz von ASE ist typischerweise gering. Wie würde sich die zeitliche Kohärenz bei Erhöhung der Ausgangsleistung in einem homogen-verbreiterten Medium verändern? Begründen Sie! (1 Punkt)
- c) Welche Pumpleistung P_p ist erforderlich, um in einem idealen 4-Niveau Medium (mit Volumen V , einer Dotierungskonzentration N und einer Ionenlebensdauer von τ) eine Bevölkerung des oberen Signal/Laser-Niveaus im Gleichgewicht von $N_2 = 0,8 \cdot N$ zu erreichen? Nehmen Sie dazu an, dass die Signalphotonendichte vernachlässigbar ist! (2 Punkte)
- d) Gibt es eine Lösung für c) im Falle eines umgekehrten 3-Niveau Mediums? Begründen Sie! (1 Punkt)

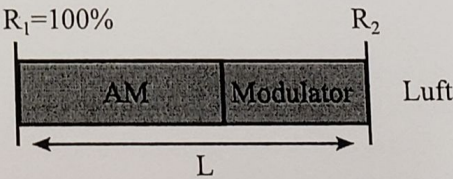
Aufgabe 5 (4 Punkte)

- a) Zeichnen Sie das Stabilitätsdiagramm eines passiven, linearen Resonators und markieren Sie die Position der stabilen, symmetrischen Resonatoren! (2 Punkte)
- b) Beschreiben Sie kurz, was eine thermische Linse ist! (1 Punkt)
- c) Eine thermische Linse kann die Position eines Resonators im Stabilitätsdiagramm verändern. Ausgehend von einem konfokalen Resonator, in welche Richtung innerhalb des Stabilitätsdiagramms wird sich die Position mit Verstärkung einer fokussierenden thermischen Linse verschieben? (1 Punkt)

Aufgabe 6 (7 Punkte)

Betrachten Sie zwei verschiedene modengekoppelte Laser mit gleichem aktiven Medium und folgenden Eigenschaften:

	Laser I	Laser II
emittierte Zentralwellenlänge	1 μm	1 μm
Bandbreite	20 nm	20 nm
Resonatorlänge L	4 m	8 m
Brechzahl im Resonator	1,0	1,5
Auskoppelspiegel R_2	80%	30%
emittierte Durchschnittsleistung	300 mW	100 mW



- a) Erläutern Sie kurz das Konzept der aktiven Modenkopplung! Geben Sie eine kurze Erklärung im „Zeit-“ und „Frequenz-Bild“! (2 Punkte)
- b) Berechnen Sie die FWHM-Pulsdauer der emittierten Gauß-förmigen Pulse (Zeit-Bandbreite Produkt: 0,44)! (1 Punkt)
- c) Skizzieren Sie die Longitudinalmoden der beiden Resonatoren unter Beachtung der obigen Tabelle qualitativ in einem gemeinsamen Diagramm im „Frequenz-“ Bild! (2 Punkte)
- d) Vergleichen Sie die emittierte Spitzenleistung der beiden Laser und begründen Sie das Ergebnis! (1 Punkt)
- e) Welcher Effekt führt dazu, dass transversale Moden höherer Ordnung andere Resonanzfrequenzen haben als die transversale Grundmode? (1 Punkt)

Aufgabe 7 (4 Punkte)

- a) Was sind Relaxationsoszillationen? (1 Punkt)
- b) Was ist Spiking eines Lasers? (1 Punkt)
- c) Erklären Sie warum die Lebensdauer des Laserniveaus die Oszillationsfrequenz der Relaxationsoszillationen beeinflusst! (2 Punkte)

Naturkonstanten und Einheiten:

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

Hilfreiche Formeln:

$$\frac{dn}{dt} = -\gamma\sigma c p n - \Gamma[n + N(\gamma - 1)] + W_p(N - n)$$

$$P_p = NVh\nu \frac{W_p}{\eta}$$

$$\frac{dy}{dt} = -ay + b \quad \Rightarrow \quad y = \frac{b}{a} + ce^{(-at)}$$