

Klausur

Als Hilfsmittel ist nur ein Taschenrechner zugelassen. Es können 39 Punkte erzielt werden. Viel Erfolg!

Aufgabe 1 (5 Punkte)

- a) Was bedeutet das Akronym LASER? (1 Punkt)
- b) Was unterscheidet Laserstrahlung von Sonnenlicht? Warum ist Laserstrahlung für viele Anwendungen geeigneter? (1 Punkt)
- c) Nennen und erklären Sie je 2 Eigenschaften, die durch den Resonator / durch das aktive Medium bestimmt sind. (2 Punkte)
- d) Kann man durch optischen Pumpen Besetzungsinversion in einem 2-Niveau System erzielen? Wenn nein, warum? und wenn ja, unter welcher Bedingung? (1 Punkt)
- e) Ist es möglich optische Verstärkung in einem 2-Niveau System durch optisches Pumpen zu erzielen? Warum? (1 Punkt)

Aufgabe 2 (5 Punkte)

- a) Erklären Sie die Unterschiede zwischen homogen und inhomogen verbreiterten Medien. (1 Punkt)
- b) Ein gasförmiges Medium kann je nach Druck und Temperatur homogen oder inhomogen verbreitert sein. Erklären Sie warum? (1 Punkt)
- c) Im Medium aus b) kreuzen sich senkrecht zueinander zwei Signalstrahlen gleicher Wellenlänge aber unterschiedliche Leistung. Die Leistung beider Strahlen soll signifikant erhöht werden. Nehmen Sie an, dass die Strahldurchmesser gleich sind und nahezu das gesamte aktive Medium ausfüllen. Angenommen, dass das Medium gesättigt wird, würden Sie das Medium aus b) als homogen oder inhomogen verbreitetes Medium zur Verstärkung beider Signale verwenden? Warum ist es geeigneter? (2 Punkte)
- d) Warum ändert sich die Situation, wenn die Strahldurchmesser viel kleiner als das aktive Medium sind? (1 Punkt)

Aufgabe 3 (7 Punkte)

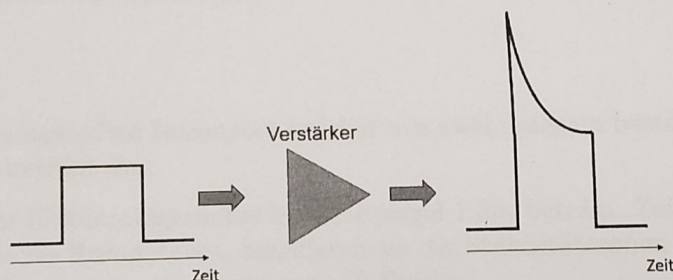
- a) Was sind die Wirkungsquerschnitte? (1 Punkt)
- b) Was sind die effektiven Wirkungsquerschnitte? (1 Punkt)
- c) Warum ist ein großer Absorptionswirkungsquerschnitt an der Signalwellenlänge problematisch für den Laserbetrieb? (1 Punkt)
- d) Warum ist ein großer Emissionswirkungsquerschnitt an der Pumpwellenlänge kein (großes) Problem für den Laserbetrieb eines 3- oder 4- Niveausystems? (1 Punkt)
- e) Gegeben sind folgende effektive Wirkungsquerschnitte. Identifizieren Sie jeweils ob es sich um ein 3-Niveau-, 4-Niveau- oder ein umgekehrtes 3-Niveau-System handelt und erklären Sie warum: (3 Punkte)

| | $\sigma_{apump}(m^2)$ | $\sigma_{epump}(m^2)$ | $\sigma_{asignal}(m^2)$ | $\sigma_{epump}(m^2)$ |
|------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| Material 1 | $2,5 \cdot 10^{-25}$ | $2,5 \cdot 10^{-25}$ | $1 \cdot 10^{-27}$ | $8 \cdot 10^{-26}$ |
| Material 2 | $9 \cdot 10^{-26}$ | $1 \cdot 10^{-26}$ | $2 \cdot 10^{-27}$ | $1 \cdot 10^{-25}$ |
| Material 3 | $9 \cdot 10^{-26}$ | $1 \cdot 10^{-26}$ | $2,5 \cdot 10^{-25}$ | $2,5 \cdot 10^{-25}$ |

Aufgabe 4 (8 Punkte)

Ein räumlich homogen gepumpter Scheibenlaser soll durch einen Güteschalter im Resonator kurze Pulse erzeugen. Vor der Güteschaltung soll die Inversion des Lasermediums ihren Maximalwert erreicht haben. Die Scheibe besitze einen rechteckigen Querschnitt mit polierten Außenflächen.

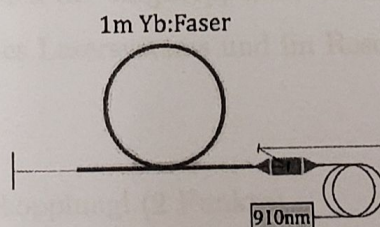
- Erklären Sie das Prinzip der Güteschaltung. (2 Punkte)
- Berechnen Sie den maximalen Durchmesser der Scheibe ab welchem transversale Laseremission den Pulsbetrieb stört. (Brechzahl der Scheibe $n = 1.83$, Emissionswirkungsquerschnitt $\sigma = 2 \cdot 10^{-20} \text{ cm}^2$, Dotierungsdichte $n = 7 \cdot 10^{20} \text{ Ionen/cm}^3$). (1 Punkt)
- Wieviel Energie kann maximal im aktiven Medium gespeichert werden, wenn es sich um ein 3-Niveau System, 4-Niveau System oder ein umgekehrtes 3-Niveau System handelt. Nehmen Sie an, dass die Dicke der Scheibe $100 \mu\text{m}$ ist und dass die Wellenlänge der Pumpe 976 nm ist. (1.5 Punkte)
- Wieviel Energie kann maximal von der Scheibe aus c) in einem Laserpuls extrahiert werden, wenn es sich um ein 3-Niveau System, 4-Niveau System oder ein umgekehrtes 3-Niveau System handelt. Nehmen Sie an, dass die Signalwellenlänge 1064 nm ist. (1.5 Punkte)
- Wie kann transversale Laseremission in dieser Scheibe verhindert werden um die Pulsenergie weiter zu erhöhen? (1 Punkt)
- Die erzeugten Pulse sind in einem nachgeschalteten Verstärker zu hohen Pulsenergien verstärkt worden. Dabei konnte folgende Veränderung des zeitlichen Profils beobachtet werden:



Erklären Sie wie diese Deformation des Pulsprofils zustande kommt! (1 Punkt)

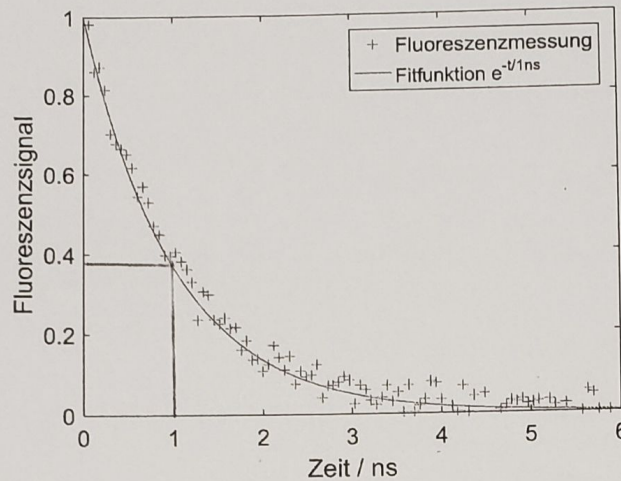
Aufgabe 5 (5 Punkte)

Gegeben sei der unten skizzierte Aufbau eines Faserlaseroszillators. Die Kavität wird rechtsseitig von der geraden Endfläche der aktiven Yb-dotierten Glasfaser ($\sigma_{em} = 0,7 \text{ pm}^2$) und linksseitig von einem geraden Spiegel ($R1 = 100\%$) eingeschlossen. Die rechtsseitige Endfläche der Faser sei mit einem teilreflektierenden Coating ($R2 = 10\%$) beschichtet. Für die linksseitige Rückkopplung wird das Licht nach dem Faserausgang mit einer Linse kollimiert und mit einem Spiegel wieder reflektiert, sodass wieder in die Faser eingekoppelt wird. Dabei entstehen Verluste von $L = 10\%$. Fresnelreflektionen können vernachlässigt werden. Die Länge der Freistrahlstrecke des Lasers betrage $0,1 \text{ m}$ und die Länge der aktiven Faser sei $1,0 \text{ m}$.



- Berechnen Sie die Photonenlebenszeit τ_{ph} in der Kavität und daraus die für das Anschwingen von Laseroszillationen nötige Inversionsdichte n_{th} ! (2 Punkte)
- Der aktive Kern der Faser habe $10 \mu\text{m}$ Durchmesser und sei mit einer totalen Konzentration von $n_{tot} = 4 \cdot n_{th}$ dotiert. Welche Schwellpumpleistung erwarten Sie, wenn die Pumpwellenlänge 910 nm ist? Nutzen Sie

zur Berechnung die Daten folgender Fluoreszenzmessung des oberen Laserniveaus mit der Lebensdauer τ_2 :
(1 Punkt)



- c) Die Laserwellenlänge sei 1030nm . Was wäre die maximal zu erwartende "Slope efficiency" und Ausgangsleistung bei 100mW Pumpleistung? (2 Punkte)

Aufgabe 6 (6 Punkte)

Wir betrachten einen passiven optischen Resonator welcher aus zwei Spiegeln besteht (ohne aktives Medium). Die Gesamtlänge des Resonators beträgt 2m .

- a) Nehmen Sie an, dass der Krümmungsradius beider Spiegel 1.3m beträgt. Zeichnen sie das zugehörige Stabilitätsdiagramm für optische Resonatoren, markieren sie die Stabilitätszonen und Kennzeichnen sie die Lage des hier beschriebenen Resonators im Diagramm. (2 Punkte)

Der passive Resonator soll zur Überhöhung der Intensität eines gepulsten Lasersystems verwendet werden. Dazu soll jeder Puls (Einzelpulsenergie: $E_{\text{puls}} = 1\mu\text{J}$) eines kontinuierlichen Pulszuges über den teildurchlässigen ersten Resonator-Spiegel ($R_1 = 95\%$) eingekoppelt werden. Der zweite Resonatorspiegel besitze eine Reflektivität von $R_2 = 100\%$. Es gibt keine zusätzlichen Umlaufverluste. Die Pulsfolgefrequenz des Lasersystems entspreche der inversen Resonatorumlaufzeit.

- b) Welcher Bruchteil der Pulsenergie des allerersten Pulses wird in den Resonator eingekoppelt? (0.5 Punkte)
- c) Welcher Bruchteil der Pulsenergie des zweiten Pulses wird im besten / im schlechtesten Fall in den Resonator eingekoppelt. Wodurch wird das Verhalten bestimmt? (1 Punkt)
Hinweis: Addieren sie die Amplituden der beiden Lichtwellen und beachten sie deren relative Phasendifferenz.
- d) Welche Pulsenergie kann maximal im Resonator umlaufen? (1.5 Punkte)
Hinweis: Addieren sie die Amplituden der eingekoppelten Lichtwellen.
- e) Wie hoch ist die mittlere Leistung des Lasersystems und im Resonator? (1 Punkt)

Aufgabe 7 (3 Punkte)

- a) Erklären Sie das Prinzip der Modenkopplung! (2 Punkte)
- b) Was passiert in einem aktiv modengekoppelten Oszillator, wenn man die Modulationsfrequenz des Modulators auf $f = 4/\tau_R$ setzt? (τ_R ist die Umlaufzeit im Resonator). (1 Punkt)