

Klausur

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

Aufgabe 1 (5 Punkte)

- Was bedeutet das Akronym *Laser* (1 Punkt)
- Nennen und beschreiben Sie kurz die Funktion jeder der drei Hauptkomponenten eines Lasers. (1.5 Punkte)
- Warum müssen in einem Dauerstrich-Laser (cw) die Verstärkung und die Verluste identisch sein? (1 Punkt)
- Mit welchem aktiven Medium und welcher Pumpquelle wurde der erste Laser realisiert? Wurde dieser im Dauerstrichbetrieb oder gepulst betrieben? Warum? (1.5 Punkte)

Aufgabe 2 (4 Punkte)

- Gibt es Laserquellen im Mikrowellen und Röntgenbereich? Begründen Sie! (1 Punkt)
- Stellen Sie sich ein aktives Medium vor in welches Licht eingestrahlt wird. Beschreiben Sie die 3 Prozesse der Licht-Materie-Wechselwirkung. (1.5 Punkte)
- Das eingestrahlte Licht werde nach einer gewissen Zeit ausgeschaltet. Welche Licht-Materie-Wechselwirkungen finden nun, direkt nach dem Ausschalten, noch statt? Warum? (0.5 Punkte)
- In Medien, die im sichtbaren Spektralbereich emittieren, gilt für gewöhnlich $A_{21} \gg B_{21}$, wobei A und B die Einsteinkoeffizienten sind. Wie können Sie es trotzdem schaffen, dass die stimulierte Emission der dominante Prozess in einem solchen Medium ist? Begründen Sie! (1 Punkt)

Aufgabe 3 (9 Punkte)

Betrachten Sie einen Gas- und einen Festkörperlaser.

- Die Verstärkungsbandbreite im Gasmedium beträgt 1 GHz ($n = 1.0$) und im Festkörperlaser 1 THz ($n = 1.5$). Nennen Sie mögliche Prozesse die für die Verbreiterung verantwortlich sein könnten und ordnen Sie diese zu. (1 Punkt)
- Berechnen Sie die maximale Resonatorlänge eines linearen Resonators, für die eine Emission auf nur einer longitudinalen Mode für beide Laser sichergestellt ist. (2 Punkte)
- Beschreiben Sie den Unterschied zwischen homogener und inhomogener Verbreiterung. (1 Punkt)
- Stellen Sie sich einen sättigbaren Absorber vor. Dieser soll zur aktiven Güteschaltung verwendet werden und wird dazu von der Seite mit einem Femtosekundenlaser anderer Wellenlänge mit der Pulsfrequenz f_{rep} bestrahlt. Würden Sie zu diesem Zweck ein homogen oder ein inhomogen verbreitertes sättigbares Absorbermedium wählen? Erklären Sie was in beiden Fällen passieren würde. (2 Punkte)
- Welche minimale Pulsdauer kann durch Güteschaltung im Falle des Gaslasers und im Falle des Festkörperlaser mit den berechneten Resonatorlängen aus b) erzielt werden? (1 Punkt)
- Was passiert in beiden oben genannten Fällen, wenn die Pumpleistung erhöht wird? (1 Punkt)
- Können kürzere Pulse in diesen beiden Lasern durch Modenkopplung erzeugt werden? (1 Punkt)

Aufgabe 4 (5 Punkte)

Betrachten Sie einen symmetrischen Resonator mit einer Gesamtlänge von $L = 1$ m, welcher aus zwei konkaven Spiegeln besteht. Die Resonatorachse zeige in z-Richtung. Die Krümmungsradien beider Spiegel in x- und y-Richtung seien unterschiedlich gewählt ($R_x = 2$ m, $R_y = 3$ m). Damit ergibt sich eine elliptische Intensitätsverteilung im Fokus, welche für das Pumpen eines aktiven Mediums mit rechteckigem Querschnitts erforderlich ist. Die Emissionswellenlänge beträgt $2 \mu\text{m}$.

- Zeichnen Sie die Lage des Resonators im Stabilitätsdiagramm ein. Betrachten Sie x- und y-Richtung getrennt. (1 Punkt)
- Berechnen Sie die Rayleighlänge für die x- und y-Richtung. (1 Punkt)

- c) Berechnen Sie den Strahldurchmesser und die Wellenfrontkrümmung der Grundmode im Fokus für die x - und y - Richtung für die Grundmode. (1 Punkt)
- d) Was passiert, wenn die Resonatorlänge auf 4 m vergrößert wird? (1 Punkt)
- e) Wie verändert eine thermische Linse im aktiven Medium die Stabilität des Resonators? Begründen Sie! (1 Punkt)

Aufgabe 5 (6 Punkte)

- a) Definieren Sie longitudinale Moden. (1 Punkt)
- b) Definieren Sie transversale Moden. (1 Punkt)
- c) Oszillieren unterschiedliche transversale Moden normalerweise mit der selben Frequenz im Resonator? Warum? (1 Punkt)
- d) Erklären Sie das Prinzip der Modenkopplung. (1 Punkt)
- e) Das Spektrum eines Pulszuges von modengekoppelten Pulsen zeigt viele Spektrallinien getrennt von Regionen mit geringer spektraler Energiedichte. Das Spektrum eines Pulszuges von gütegeschalteten Pulsen hingegen ist ein Kontinuum. Warum? (2 Punkte)

Aufgabe 6 (7 Punkte)

- a) Ist es möglich, stimulierte Emission in einem 2-Niveau System zu erhalten? Wie verhält es sich mit optischer Verstärkung? Warum? (1 Punkt)
- b) Warum ist es möglich, Laser mit 3- und 4-Niveau Systemen zu bauen? (1 Punkt)
- c) Wie ist die Laserschwelle definiert? (1 Punkt)
- d) Nehmen Sie nun an Sie haben 3 aktiv gütegeschaltete Laser mit einer Pulsfolgefrequenz von 10 kHz und folgenden Eigenschaften:

	P_{th}/mW	$E_{Puls}/\mu\text{J}$
Laser 1	50	1
Laser 2	80	0.5
Laser 3	50	0.5

Nehmen Sie an, dass alle Laser das selbe aktive Medium und den selben Resonator verwenden. Zusätzlich erfolge die Schaltung des Güteschalters kurz bevor die maximale Inversion im Medium erreicht ist. Identifizieren Sie, welcher Laser in einem 4-Niveau, 3-Niveau und inversen 3-Niveau System betrieben wird. Begründen Sie ihre Antwort. (1.5 Punkte)

- e) Welcher der oben beschriebenen Laser benötigt eine höhere Verstärkung um die Schwelle zu erreichen, wenn er im Dauerstrichbetrieb verwendet werden soll? (1 Punkt)
- f) Nehmen Sie an, ein Dauerstrichlaser soll mit der Pumplleistung betrieben werden, die dem Doppelten der Schwellpumpleistung entspricht. Berechnen Sie die Energie, die durch Inversion im Resonator gespeichert ist. Der Resonator ist 30 cm lang und hat 2 Spiegel mit den Reflektivitäten $R_1 = 0.98$ und $R_2 = 0.7$. Das aktive Medium ist zylindrisch mit einer Länge von 10 cm und einem Durchmesser von 5 mm und ist homogen durch Pumpe und Signal ausgeleuchtet. Er emittiert bei einer Wellenlänge von $1.5 \mu\text{m}$ und der Emissionswirkungsquerschnitt beträgt $\sigma_e = 10^{-25} \text{ m}^2$ (Nehmen Sie an, der Absorptionswirkungsquerschnitt sei vernachlässigbar.) (1.5 Punkte)

Aufgabe 7 (3 Punkte)

- a) Definieren Sie den Begriff Wirkungsquerschnitt und erklären Sie, in welchem Kontext man ihn verwenden kann und in welchem man anstelle dessen die Einsteinkoeffizienten verwenden sollte. (1 Punkt)
- b) Nennen und erklären Sie kurz die 3 Hauptquellen von Wärme in einem Laser. (1.5 Punkte)
- c) Warum verschiebt sich der gemessene Schwerpunkt der spektralen Verteilung des Absorptionsquerschnitts eines aktiven Mediums bei höheren Temperaturen zu längeren Wellenlängen? (0.5 Punkte)

Naturkonstanten und Einheiten:

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

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

hilfreiche Formeln:

$$R(z) = z + \frac{z_R^2}{z}$$

$$z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$$