

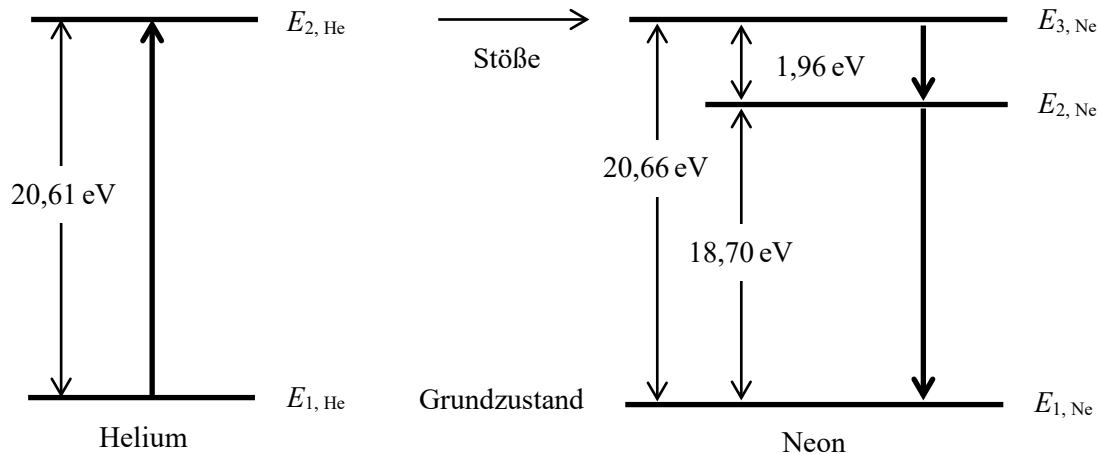
Kontinuierlich arbeitende und gepulste Laser**Aufgaben**

- 1 Seit dem Bau des ersten Lasers durch Theodore Maiman im Jahr 1960 entwickelte sich dieser in einer Vielzahl von Arbeitsbereichen zu einem unverzichtbaren Hilfsmittel. In den folgenden Aufgaben werden verschiedene Laser betrachtet. In Schulen ist der Helium-Neon-Laser (He-Ne-Laser) weit verbreitet, der sein charakteristisches rotes Licht kontinuierlich abstrahlt.
- 1.1 Nennen Sie zwei Eigenschaften, die Laserlicht vom Licht anderer Lichtquellen unterscheiden. **(2 BE)**
- 1.2 Begründen Sie mithilfe von Material 1 und Material 2, dass der Übergang von $E_{3,\text{Ne}}$ nach $E_{2,\text{Ne}}$ zur Emission des roten Laserlichts führt.
Erklären Sie anhand von Material 1 und Material 3 die Funktionsweise des He-Ne-Lasers unter Verwendung der Begriffe *Besetzungsinversion*, *stimulierte Emission* und *stehende Welle*. **(8 BE)**
- 1.3 Bestimmen Sie die Geschwindigkeit, die ein Elektron mindestens haben muss, um ein ruhendes Helium-Atom aus dem Grundzustand $E_{1,\text{He}}$ in den Zustand $E_{2,\text{He}}$ anzuregen.
Geben Sie die zur Beschleunigung der Elektronen aus der Ruhe mindestens notwendige Spannung an. **(4 BE)**
- 1.4 Bestimmen Sie den nach Material 1 möglichen maximalen Wirkungsgrad eines He-Ne-Lasers in Prozent und begründen Sie, warum dieser in Wirklichkeit nicht erreicht werden dürfte. Als Wirkungsgrad bezeichnet man das Verhältnis von Energie der erzeugten Laserstrahlung zur aufgewandten Energie. **(5 BE)**
- 2 Im Gegensatz zum kontinuierlich arbeitenden He-Ne-Laser spielen in vielen Anwendungen sogenannte Puls laser eine große Rolle. Diese arbeiten nicht im Dauerbetrieb, sondern jeweils nur für kurze Zeiten, sodass kurze Laserpulse entstehen. Im Folgenden soll ein Neodym-dotierter Yttrium-Aluminium-Granat-Laser (Nd/YAG-Laser) betrachtet werden, der bei einer Wellenlänge von $\lambda = 1064 \text{ nm}$ während einer Pulsdauer von 400 ns eine Leistung von 3 MW hat.
- 2.1 Berechnen Sie die Energie E_{Puls} eines solchen Laserpulses.
[zur Kontrolle: $E_{\text{Puls}} = 1,2 \text{ J}$] **(2 BE)**

- 2.2 Die Energie $E(d)$ des Laserpulses nach einem Durchgang durch eine Schicht der Dicke d bei einer Anfangsenergie von $E_{\text{Puls}} = E_0$ kann mit der Gleichung $E(d) = E_0 \cdot e^{-\alpha d}$ berechnet werden. Der darin verwendete Absorptionskoeffizient α hängt vom durchstrahlten Material und von der Wellenlänge des verwendeten Lasers ab.
Bestätigen Sie unter Verwendung der Daten in Material 4, dass die Energie, die der Laserpuls auf einer Strecke $d = 1 \text{ cm}$ in Wasser abgibt, $\Delta E = 0,4 \text{ J}$ beträgt.
Berechnen Sie die mittlere Temperaturerhöhung ΔT des auf dieser Strecke durchstrahlten Wassers. Der Strahl hat einen kreisförmigen Querschnitt mit einem Durchmesser von $0,4 \text{ mm}$.
Zur Erwärmung von 1 l Wasser um 1 K benötigt man eine Energie von 4190 J .
(8 BE)
- 2.3 Für Laser gelten strenge Sicherheitsvorschriften. Insbesondere ist es wichtig, die Augen vor Laserlicht zu schützen. Bei einem Lasereperiment mit gleichen Bedingungen wie in Aufgabe 2.2 wird $\Delta T = 76 \text{ K}$ bestimmt.
Beurteilen Sie auf der Basis dieses Ergebnisses und der Tatsache, dass der Glaskörper des Auges im Wesentlichen aus Wasser besteht, ob besondere Schutzvorkehrungen für die Augen notwendig sind.
(2 BE)
- 3 Nun wird der Laserpuls aus Aufgabe 2 senkrecht auf ein kleines quadratisches Goldblättchen (Kantenlänge $k = 0,25 \text{ cm}$, Dicke $d = 0,2 \mu\text{m}$) gerichtet, das an einem Faden der Länge $l = 0,15 \text{ m}$ aufgehängt ist (Material 5). Dies führt zu einer Auslenkung des Blättchens um den Winkel φ .
Im Folgenden soll angenommen werden, dass alle Photonen reflektiert werden und dass dabei das Doppelte ihres Impulses auf das Blättchen übertragen wird.
- 3.1 Berechnen Sie die Anzahl der Photonen in dem Puls sowie den Gesamtimpuls p_{ges} dieser Photonen.
[zur Kontrolle: $p_{\text{ges}} = 4,003 \cdot 10^{-9} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$]
(7 BE)
- 3.2 Berechnen Sie die Masse des Goldplättchens. Gold hat eine Dichte von $\rho_{\text{Gold}} = 19,3 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$.
Berechnen Sie die maximale Geschwindigkeit (Geschwindigkeit zu Beginn der Bewegung), auf die das Goldplättchen durch den Laserpuls beschleunigt wird und den Höhengewinn Δh des Goldblättchens.
Dazu soll der Einfluss der Luftreibung sowie der Masse und der Beschaffenheit des Fadens vernachlässigt werden, ebenso wird das Goldblättchen als punktförmig angenommen.
(9 BE)
- 3.3 Beurteilen Sie, ob und gegebenenfalls wie sich der Ausschlag des Blättchens ändert, wenn ein Laser mit gleicher Pulsdauer, gleicher Leistung, aber größerer Wellenlänge verwendet wird.
(3 BE)

Material 1

Vereinfachtes Energieniveauschema eines He-Ne-Lasers



Material 2

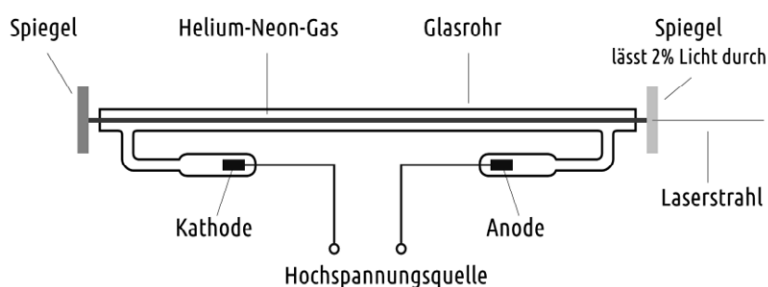
Spektralbereiche elektromagnetischer Strahlung

Spektralbereich	Ultra-violett	Violett	Blau	Grün	Gelb	Orange	Rot	Infrarot
Wellenlänge in nm	10–390	390–430	430–490	490–570	570–600	600–620	620–780	780–300 000

Die angegebenen Wellenlängen sind ungefähre Werte.

Material 3

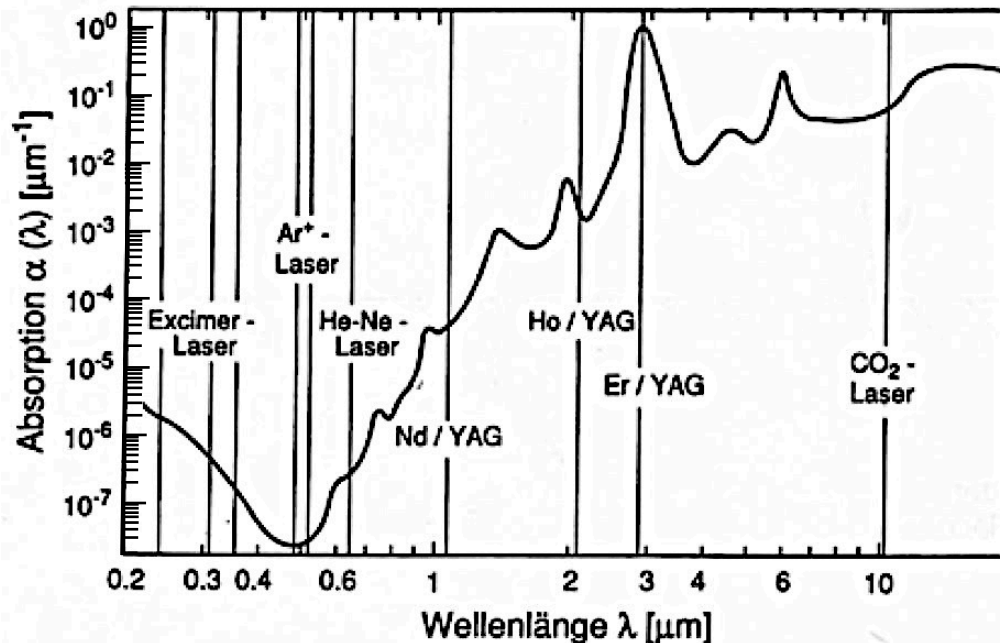
Schematischer Aufbau eines He-Ne-Lasers



URL: https://www.leifphysik.de/sites/default/files/medien/helium-neon-laser_bild_2.svg (abgerufen am 04.02.2018).

Material 4

Absorptionskoeffizient elektromagnetischer Strahlung in Wasser



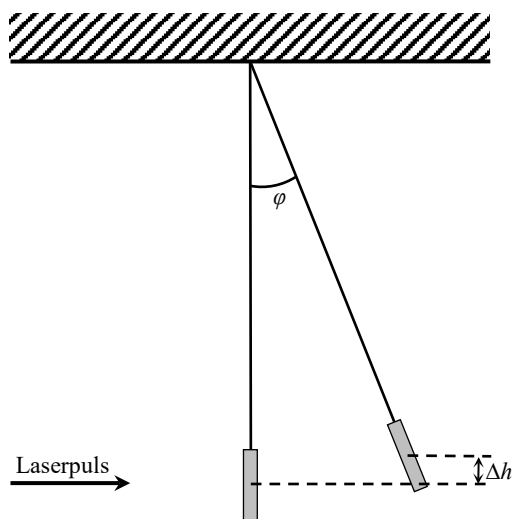
URL: https://qnap.e3.physik.tu-dortmund.de/suter/Vorlesung/MedizinphysikII_15/17_Laser.pdf (abgerufen am 27.03.2021, bearbeitet).

Die Emissionslinien der Laser sind durch senkrechte Striche gekennzeichnet.

Beachten Sie die nicht-lineare Skalierung der Achsen und die Einheit $\frac{1}{\mu\text{m}}$ der vertikalen Achse!

Material 5

Laserpuls und aufgehängtes Goldblättchen



Δh ist der Höhengewinn des Goldblättchens aufgrund der Auslenkung.