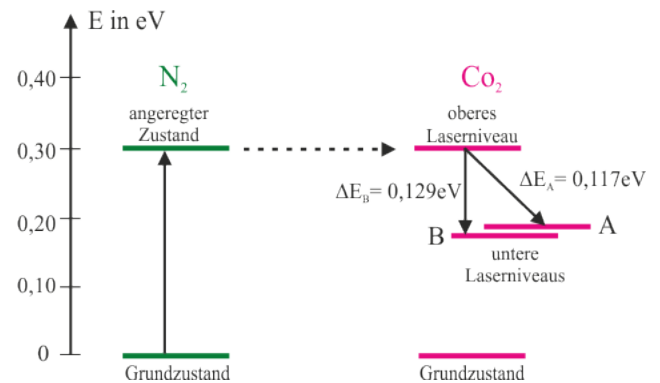


Der Laser

- Die Atome eines optisch gepumpten Lasers werden durch Energieabsorption von 3,8eV in den angeregten Zustand versetzt. Durch spontane Emission von Strahlung der Wellenlänge $\lambda=880\text{nm}$ gelangen die Elektronen in einen metastabilen Zustand von dem aus sie durch stimulierte Emission in den Grundzustand zurück gelangen.
 - Veranschaulichen und erklären Sie den (vereinfachten) Prozess in einem Energiestufenmodell.
 - Ermitteln Sie Wellenlänge, Frequenz und Farbe des Laserlichtes.
- Beim Pumpvorgang eines He-Ne-Lasers werden die He-Atome durch beschleunigte Elektronen mit einer Energie von 20,6eV angeregt. Durch Atomstöße mit den Ne-Atomen werden diese auf ein Energieniveau mit 20,66eV gebracht. Durch stimulierte Emission und einem Quantensprung auf 18,7eV entsteht das Laserlicht. Bei einer elektrischen Leistungsaufnahme von 12W wird dabei eine Lichtleistung von 10mW erbracht.
 - Wie groß ist der Wirkungsgrad des Lasers? Wie sind die Verluste zu erklären?
 - Zeigen Sie, dass dieser Laser sichtbares Licht erzeugt. Welche Farbe hat es?
 - Begründen Sie mit den Vorgängen im Resonator, dass nur diskrete Frequenzen abgestrahlt werden können. Berechnen Sie den kleinstmöglichen Frequenzunterschied Δf bei einer Resonatorlänge von $L=500\text{mm}$.
 - Berechnen Sie die je Sekunde abgestrahlten Photonen des erzeugten Laserlichtes.

- Die Grafik zeigt die Energieverhältnisse bei einem CO_2 -Laser mit dem Hilfsgas Stickstoff (N_2) und dem Arbeitsgas (CO_2). Die Anregung erfolgt durch Elektronenstöße. Für die Emission von Laserlicht sind die Übergänge vom oberen zu den beiden unteren Laserniveaus A bzw. B verantwortlich.
 - Berechnen Sie, mit welcher Mindestgeschwindigkeit v ein Elektron auf ein Stickstoffmolekül im Grundzustand treffen muss, damit der Anregungsprozess in Gang gebracht wird.
 - Entscheiden Sie rechnerisch, ob der Laser im sichtbaren Bereich arbeitet.
 - Zeigen Sie mit Hilfe des abgebildeten Energieniveauschemas, dass der theoretisch maximal erreichbare Wirkungsgrad des CO_2 -Lasers etwa 40% beträgt.



Lösungen:

- Anregung $E=3,8\text{eV}$ spontane Emission stimulierte Emission
 - Energieabgabe durch spontane Emission: $E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 2,26 \cdot 10^{-19} \text{J} = 1,4\text{eV}$
 verbleibende Energie für stimulierte Emission: $\Delta E = 3,8\text{eV} - 1,4\text{eV} = 2,4\text{eV} = 3,85 \cdot 10^{-19} \text{J}$
 $f = 5,8 \cdot 10^{14} \text{Hz}$ $\lambda = 517\text{nm}$ grün
- $\eta = \frac{P_{\text{Licht}}}{P_{\text{elektrisch}}} = 8,33 \cdot 10^{-4} = 0,083\%$ Verluste: - He-Atome ohne Übertragung auf Ne
 - spontane Emission
 - „seitliche“ Lichtabstrahlung
 - $\Delta E = 20,66\text{eV} - 18,7\text{eV} = 1,96\text{eV} = 3,14 \cdot 10^{19} \text{J}$ $\lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E} = 633\text{nm}$ (rot) $f = 4,74 \cdot 10^{14} \text{Hz}$
 - Im Resonator entsteht eine stehende Welle aus. An den Spiegeln bilden sich Knoten aus. Der Abstand der Knoten beträgt $\lambda/2$.
 Es gilt: $L = k \cdot \frac{\lambda}{2} = k \cdot \frac{c}{2f}$ benachbarte $k \rightarrow \Delta k = 1$ $\Delta f = \frac{1 \cdot c}{2 \cdot L} = 3 \cdot 10^8 \text{Hz} = 300\text{MHz}$
 (6,3 $\cdot 10^{-5}\%$)
 - $P_{\text{Licht}} = \frac{E_{\text{Licht}}}{t} = \frac{n \cdot E_{\text{ph}}}{1\text{s}}$ $n = \frac{P_{\text{Licht}} \cdot 1\text{s}}{h \cdot f} = 3,18 \cdot 10^{16} \text{Photonen}$
- Anregungsenergie: $E = 0,3\text{eV} = 4,8 \cdot 10^{-20} \text{J}$ $v = \sqrt{\frac{2E}{m_e}} = 3,25 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 - $\Delta E_1 = 0,129\text{eV} = 2,067 \cdot 10^{-20} \text{J}$ $f = 3,12 \cdot 10^{13} \text{Hz}$ $\lambda_1 = 9,62\mu\text{m}$ (IR)
 $\Delta E_2 = 0,117\text{eV} = 1,875 \cdot 10^{-20} \text{J}$ $f = 2,83 \cdot 10^{13} \text{Hz}$ $\lambda_1 = 10,6\mu\text{m}$ (IR)
 - $\eta = \frac{E_{\text{nutz(max)}}}{E_{\text{zu}}} = \frac{0,129\text{eV}}{0,3\text{eV}} = 0,43 = 43\%$