

Wiederholung vom 20.01.2005

Bestimmung der Einsteinkoeffizienten:

Durch das Gleichgewicht eines 2-Niveausystems mit dem thermischen Strahlungsfeld ergibt sich aus

$$N_2 A_{21} + N_2 B_{21} \rho(\nu) = N_1 B_{12} \rho(\nu) \quad (1)$$
$$\Rightarrow \frac{\frac{A_{21}}{B_{21}}}{\frac{g_1 B_{12}}{g_2 B_{21}} (e^{h\nu/kT} - 1)} = \rho(\nu) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

und durch Koeffizientenvergleich $\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3}$ sowie $\frac{B_{12}}{B_{21}} = \frac{g_2}{g_1}$, wobei g_1 (g_2) der Entartungsgrad des unteren (oberen) Niveaus ist.

Voraussetzungen für einen Laser:

1. Verstärkung, d.h. induzierte Emission wahrscheinlicher als Absorption. Für $N_2 B_{21} \rho(\nu) > N_1 B_{12} \rho(\nu)$ (spontane Emission vernachlässigt) wird $N_1 - \frac{g_2}{g_1} N_2 < 0$ benötigt. Folglich muss das obere Niveau stärker besetzt sein als das untere Niveau (Inversion).

2. effektive Verstärkung, d.h. induzierte Emission wahrscheinlicher als spontane Emission.

$$\frac{W_{21}^{ind}}{W_{21}^{spon}} = \frac{B_{21} \rho(\nu)}{A_{21}} = \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} = \langle n \rangle \quad (2)$$

(Bosestatistik) folgt, dass die induzierte Emission nur dann wahrscheinlicher ist, wenn im dazugehörigen Lasermode mehr als 1 Photon ist. Diese Forderung setzt bei thermische Besetzung $g_2 > g_1$ voraus und ist dann auch nur bei kleinen Energiedifferenzen oder sehr hohen Temperaturen möglich.

Bestandteile eines Lasers:

1. optisch aktives Medium, in dem Inversion erzeugt wird
2. Energiepumpe zur Inversionserzeugung
3. optischer Resonator: Auswahl der Frequenz, Speicherung der Photonen in einem Mode

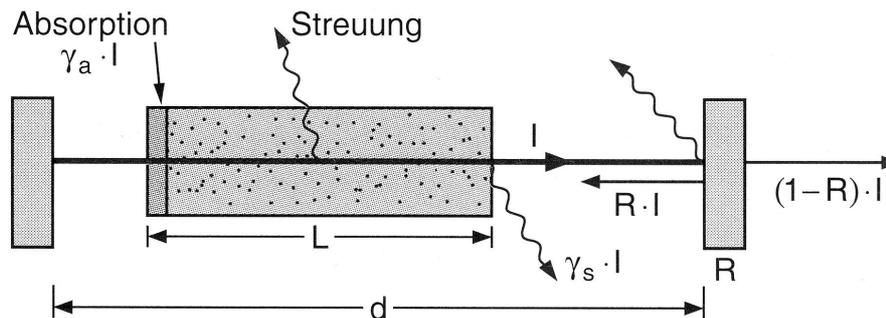


Abbildung 1: Aufbau eines Lasers

Schwellwertbedingung zum Anschwingen eines Lasers:

Verstärkung: $I(\nu, z) = I(\nu, 0)e^{-\alpha(\nu)z}$ mit $\alpha(\nu) = (N_1 - \frac{g_1}{g_2}N_2)\sigma(\nu)$
 ($\sigma(\nu)$: Photoabsorptionsquerschnitt)
 \Rightarrow nach einem Umlauf $G(\nu) = \frac{I(\nu, 2L)}{I(\nu, 0)} = e^{-2\alpha(\nu)L}$

Verluste:

Teil des Lichtes, der den Resonator verlässt γ_R

Streuung am Medium γ_S

Beugungsverluste γ_B

zusammengefaßt zu γ ergibt $\frac{I(\nu, 2d)}{I(\nu, 0)} = e^{-\gamma}$

und somit $\Rightarrow G(\nu) = \frac{I(\nu, 2L)}{I(\nu, 0)} = e^{-(2\alpha(\nu)L + \gamma(\nu))}$

Für eine Verstärkung muß $G(\nu) > 1$ gelten, wofür eine Inversion $N > N_{schw} = \frac{\gamma(\nu)}{2\sigma(\nu)L}$ notwendig ist.

Erzeugung der Inversion:

Beispiel: Rubinlaser (1960); Cr^{3+} in Al_2O_3

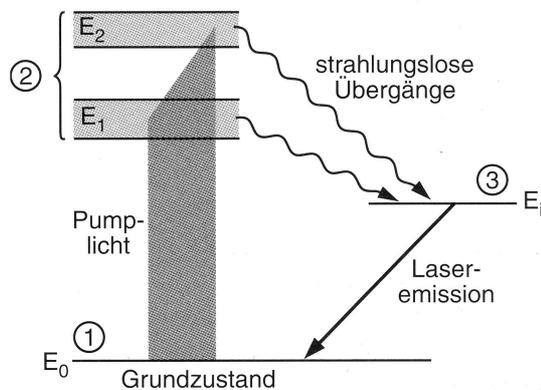


Abbildung 2: Termschema des Rubinlasers als Beispiel eines 3-Niveau-Lasers

Die Besetzungsinversion $N_2 > N_1$ wird nur über Umweg eines dritten Niveaus erreicht. Dafür müssen mindestens 50 % aller Cr^{3+} angeregt werden.

Bei einem 4-Niveau-Laser müssen zur Inversion keine 50 % angeregt werden.

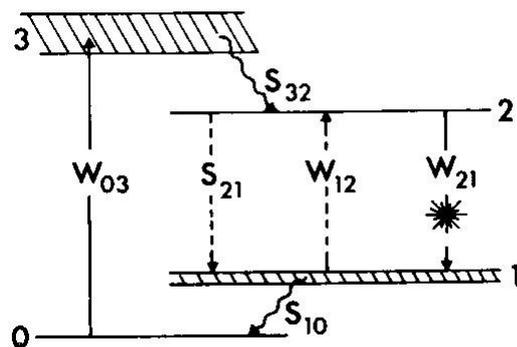


Abbildung 3: Termschema eines 4-Niveau-Lasers