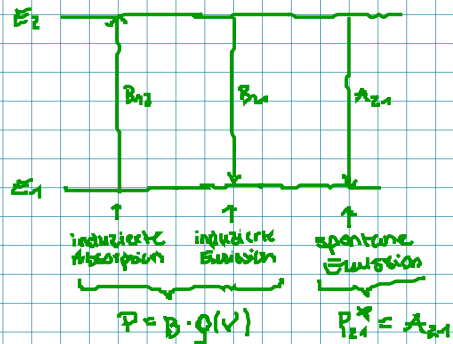


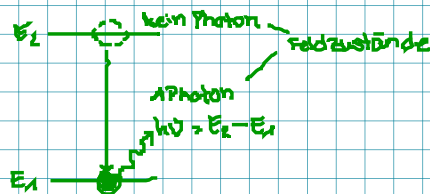
vL. PC II

25.04.19

(Wiederholung: 2-Niveau-System; 1 Atom/Molekül)



Spontane Emission.



Beziehung zwischen B_{21} und A_{21}

Ergebnis $A_{21} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} B_{21}$

$\Rightarrow A_{21} = \text{konst. } \nu^3 B_{21}$ mit Lebensdauer $\tau_{sp} = \frac{1}{A_{21}}$

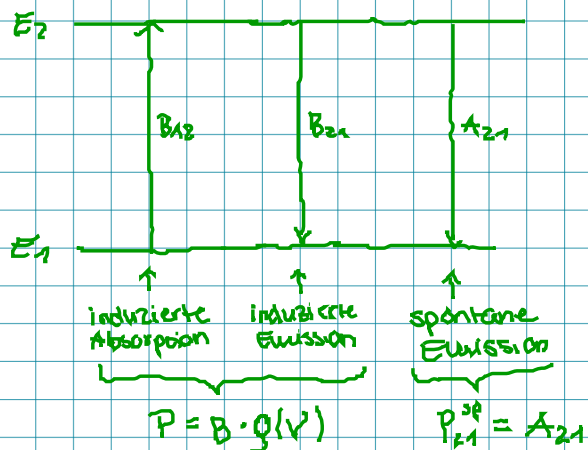
$\Rightarrow \tau_{sp} \propto \frac{1}{\nu^3}$

wo sind Einheitskoeffizienten zueinander gleich?

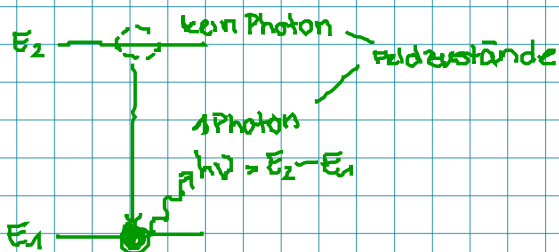
$\Rightarrow \frac{B_{21}}{A_{21}} = \frac{c^3}{8\pi h \nu^3} = 1 \frac{\text{m}^3}{\text{J} \cdot \text{s}}$ (B_{21} und A_{21} nicht selbe Einheit!)

$\frac{c^3}{8\pi h} = 1,6 \cdot 10^{23} \frac{\text{m}^3}{\text{J} \cdot \text{s}}$

Wiederholung: 2-Niveaus-System; 1 Atom/Molekül



Spontane Emission:



Beziehung zwischen B_{21} und A_{21} ?

Ergebnis: $A_{21} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} B_{21}$

$\Rightarrow A_{21} = \text{konst. } \nu^3 B_{21}$ mit Lebensdauer $\tau_{sp} = \frac{1}{A_{21}}$

$\Rightarrow \tau_{sp} \propto \frac{1}{\nu^3}$

Wo sind Einsteinkoeffizienten zahlenmäßig gleich?

$\Rightarrow \frac{B_{21}}{A_{21}} = \frac{c^3}{8\pi h} \frac{1}{\nu^3} = 1 \frac{m^3}{Js}$ (! B_{21} und A_{21} nicht selbe Einheit!)

$\frac{c^3}{8\pi h} = 1,6 \cdot 10^{57} \frac{m^3}{Js \cdot s^3}$

Grenzfrequenz $\nu_{gr} \approx 10^{18} \frac{1}{s} \rightarrow \gamma\text{-Strahlung}$

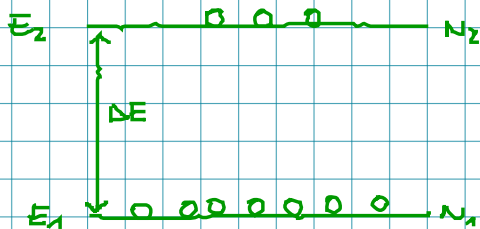
$\frac{B_{2,1}}{A_{2,1}} = 10$ für $\nu \leq 10^{18} \frac{1}{s} \rightarrow \text{Röntgenstrahlung}$

Spontane Emission bei Schwingungs- / Mikrowellenspektroskopie vernachlässigbar

bisher: 1 Atom/Molekül \rightarrow Ensemble

Thema: Besetzung der Zustände

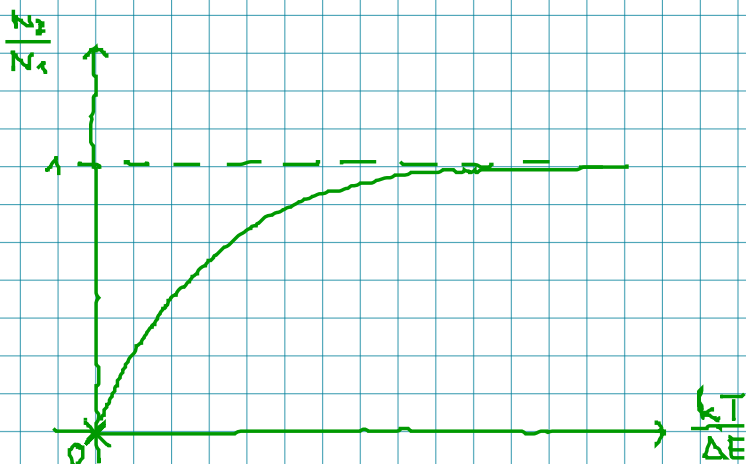
\hookrightarrow bei bestimmter Temperatur: thermische Besetzung



$$\boxed{\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right)}$$

\downarrow
Entartung

" Boltzmann - Verteilung "



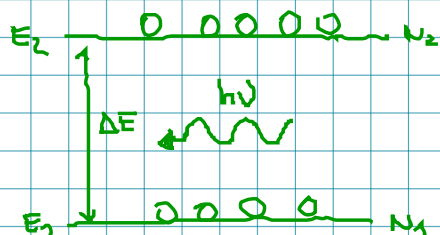
für $g_1 = g_2$ · gleicher Entartungsgrad

für $T \rightarrow 0$, $\frac{N_2}{N_1} \rightarrow 0$

$T \rightarrow \infty$, $\frac{N_2}{N_1} \rightarrow 1$ (im besten Fall also Gleichbesetzung)

für $\Delta E \rightarrow 0$ bei deutlich geringerer T : $\frac{N_2}{N_1} \rightarrow 1$

Experiment



Diskussion Boltzmann

$N_2 < N_1$: Absorption überwiegt

$N_1 = N_2$: Absorption = Emission (Transparenz)

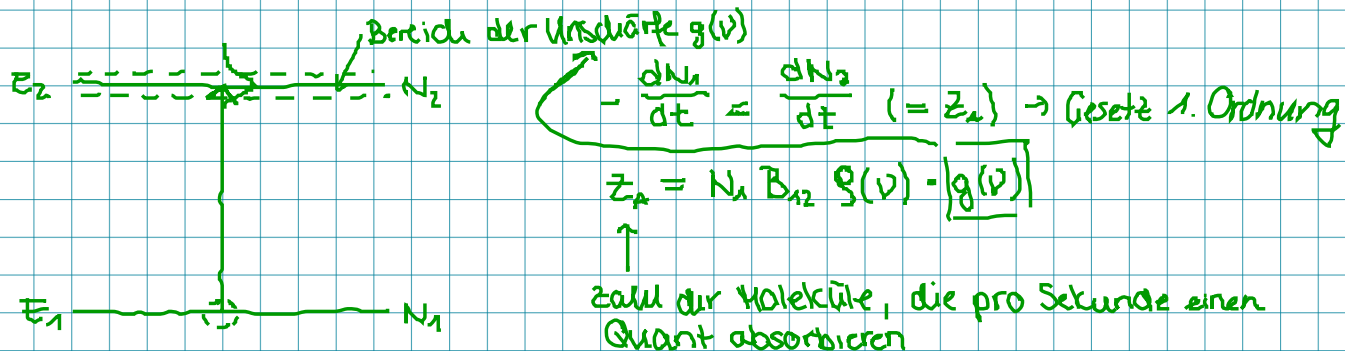
$N_2 > N_1$? Besetzungsinversion (Kernumkehr nicht möglich)

PINGO PAUSE

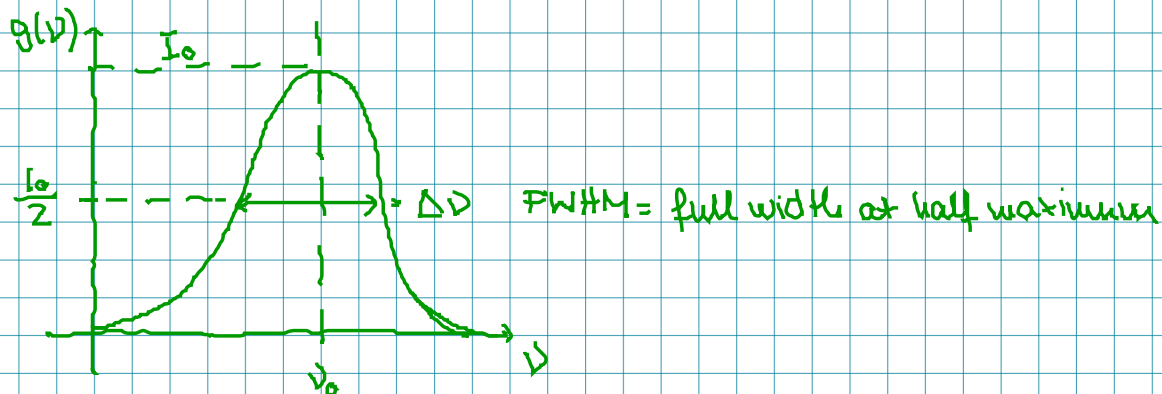
Rategleichungen

(→ Art Geschwindigkeitsgesetz)

1) Induzierte Absorption



Problem: Energie von N_2 → unscharf



Spektroskopische Unschärferelation

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar \Rightarrow \Delta E \tau \geq \hbar$$

(für E_0 keine Unschärfe (Grundzustand))

$$\Delta \nu \hbar \tau \geq \hbar \Rightarrow \Delta \nu \tau \geq \frac{1}{2\pi}$$

\Rightarrow große Energie \rightarrow hohe Unschärfe
relativ zu E_0

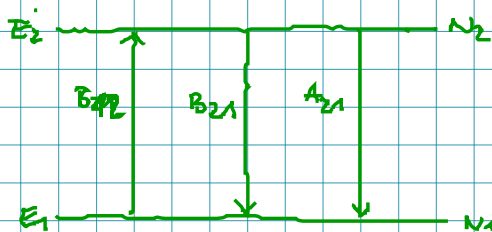
2) Induzierte Emission

$$Z_E = N_2 B_{21} \rho(\nu) g(\nu)$$

3) Spontane Emission

$$Z_S = N_2 A_{21} g(\nu)$$

d) Strahlungsgleichgewicht



Strahlungsgleichgewicht: $Z_E + Z_S = Z_A$

Situation: $B_{21} = B_{12} = B$; $A_{21} = A$

$$\Rightarrow \underbrace{N_2 B \rho(\nu) g(\nu)}_{Z_E} + \underbrace{N_2 A g(\nu)}_{Z_S} = \underbrace{N_1 B \rho(\nu) g(\nu)}_{Z_A}$$

$$= N_2 A = N_1 B \rho(\nu) - N_2 B \rho(\nu) = B \rho(\nu) (N_1 - N_2)$$

$$\Rightarrow \frac{A}{B} = g(\nu) \left(\frac{N_1 - N_2}{N_1} \right) = g(\nu) \left(\frac{N_1}{N_2} - 1 \right)$$

Einsetzen: Planck'sches Strahlungsgesetz

$$\Rightarrow \frac{A}{B} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \left(\frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1} \right) \left(\exp\left(\frac{\Delta E}{kT}\right) - 1 \right)$$

für $\Delta E = h\nu$!

$$\Rightarrow \boxed{A = \frac{8\pi h\nu^3}{c^2} \cdot B} \quad \rightarrow \text{s. Beginn}$$

7.4 Laser und Laseranwendungen

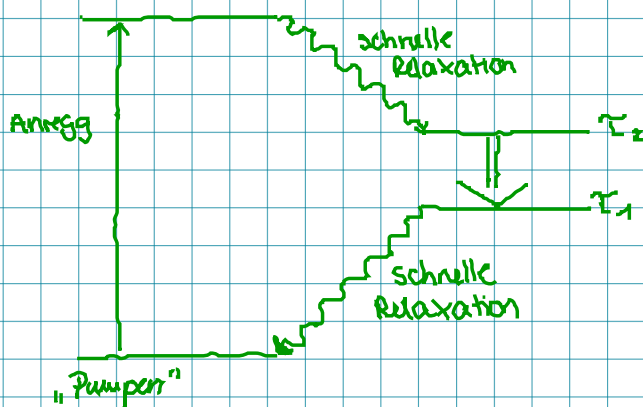
LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

↳ ausschlaggebend: Besetzungsinversion $\cdot N_2 > N_1$

$$N_2 g(\nu) B_{21} > N_1 g(\nu) B_{12}$$

⇒ thermisch nicht möglich

Realisierung Besetzungsinversion:

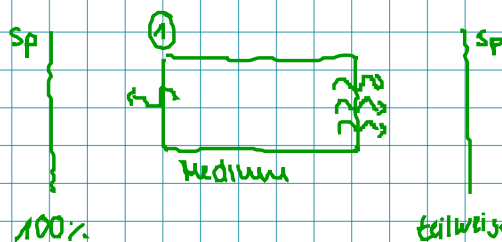


↳ 4-Niveau-Laser

$$! \tau_2 > \tau_1 !$$

⇒ kontinuierlicher Laser

Resonator



Initiierung: ① · spontane Emission

Verstärkung: vielfacher Durchgang

Beispiel: He-Ne-Laser (Gaslaser)

↳ Pumpprozess: elektrische Ladung

Emission bei: 632,8 nm (rot)

Nd: YVO₄ (Festkörperlaser)

Pumpprozess: Optisch durch Diodenlaser

Emission bei: 1064 nm Frequenzverdopplung → 532 nm (grün)

Anwendung

→ Fluoreszenzspektroskopie

→ Ramanpektroskopie (inelastische Streuung)

→ Isotopentrennung