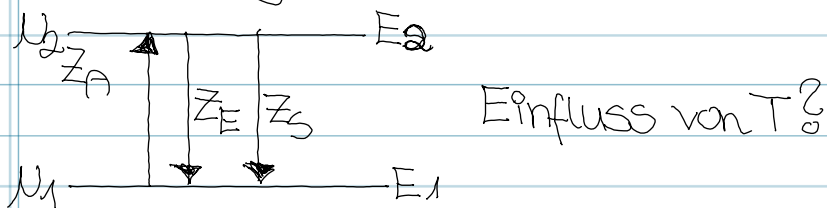


Vorlesung 17.01.2014

Strahlungs-GGW (Absorption = Emission)



$$Z_A = Z_E + Z_S$$

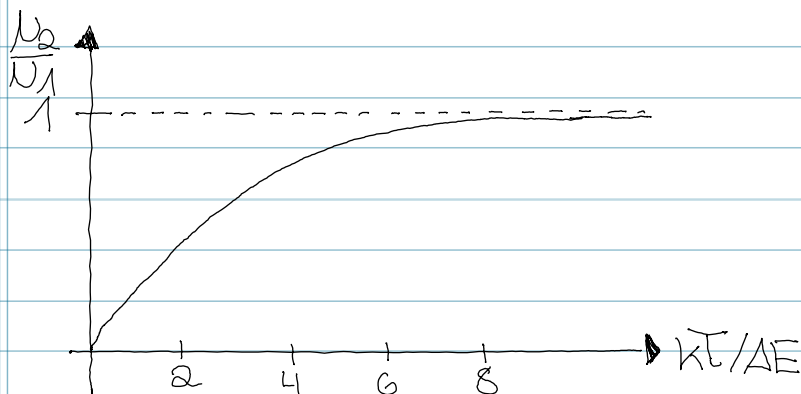
$$B_{12} g(f) N_1 = B_{21} g(f) N_2 + A_{21} N_2$$

$$\rightarrow \frac{A_{21}}{B} = g(f) \left[\frac{N_1}{N_2} - 1 \right]$$

thermische Besetzung

↳ Boltzmann-Verteilung (thermisches GGW)

$$\boxed{\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\Delta E/kT}} \quad \Delta E = E_2 - E_1$$



$$\frac{A_{21}}{B} = g(f) \left(e^{hf/kT} - 1 \right)$$

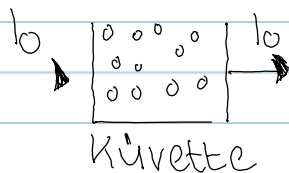
$$g(f) = \frac{8\pi h f^3}{c^3} \frac{1}{(e^{hf/kT} - 1)} \rightarrow \text{siehe Abschnitt 2.1}$$

$$\frac{A_{21}}{B} = \frac{8\pi h f^3}{c^3} \frac{1}{(e^{hf/kT} - 1)} (e^{hf/kT} - 1)$$

$$\boxed{\frac{A_{21}}{B} = \frac{8\pi h f^3}{c^3}}$$

$N_2 < N_1$ (Normalfall)
Absorption überwiegt → Lichtabschwächung

$N_2 = N_1$: Gleichbesetzung
Absorption = Emission → transparent



$N_2 > N_1$: Besetzungsinversion
Induzierte Emission überwiegt → Lichtverstärkung
LASER

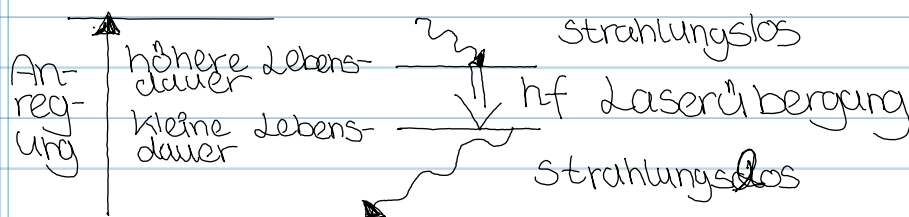
LASER

Light amplification by stimulated emission of radiation

Besetzungsinversion: $N_2 > N_1$

$$B_{21} \rho(f) N_2 > B_{12} \rho(f) N_1$$

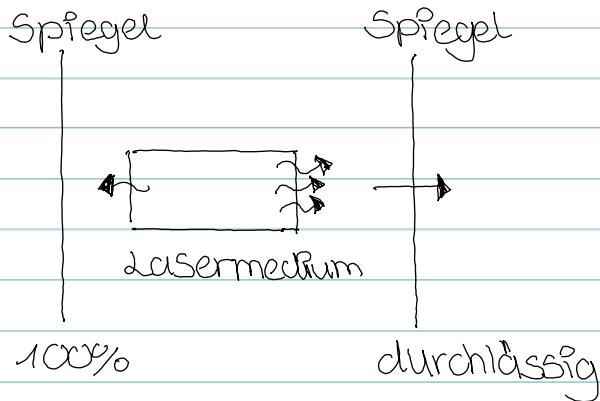
(spontane Emission vernachlässigbar)



Pumpen
(Blitzlampe; Laser)

Vier-Niveau-Laser z.B. Nd:YAG
1064 nm → 532 nm

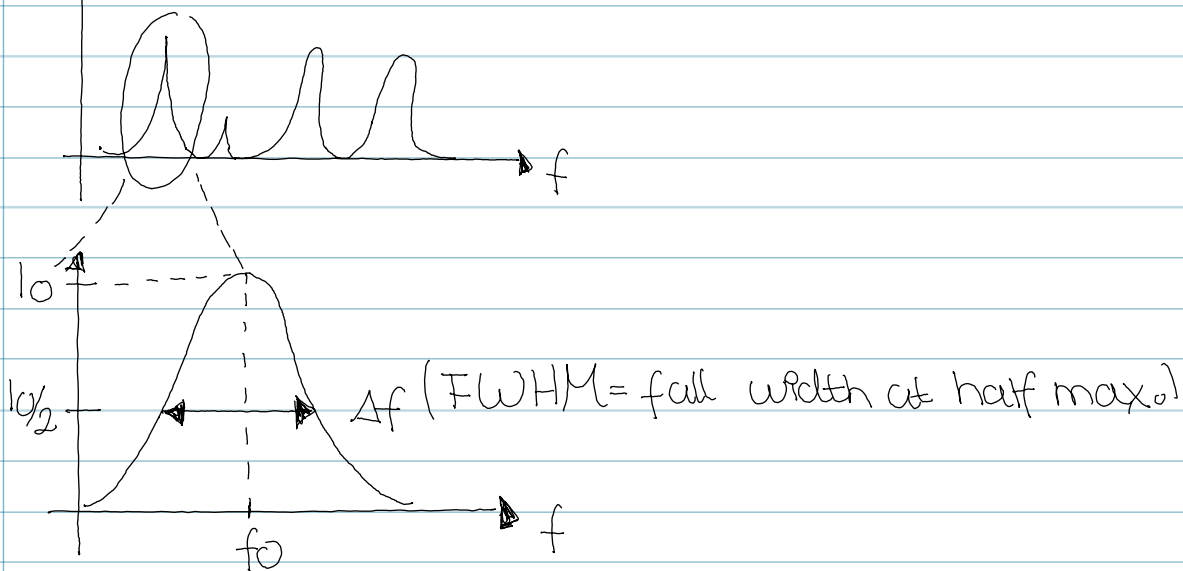
Laserresonator



Initiierung: spontane Emission
Verstärkung: wiederholter Durchgang

8.0 Spektrallinien

8.0.1 Grundlagen



maximale Intensität I_0

Zentralfrequenz f_0 (ω_0)

Halbwertsbreite Δf ($\Delta\omega$) \rightarrow FWHM

Linienprofil $g(f)$

Homogene Linienverbreiterung

bei Absorption und Emission von Licht der Frequenz f
verhalten sich alle Moleküle gleich

→ homogene Linienbreite
(z.B. natürliche Linienbreite)

Inhomogene Linienverbreiterung

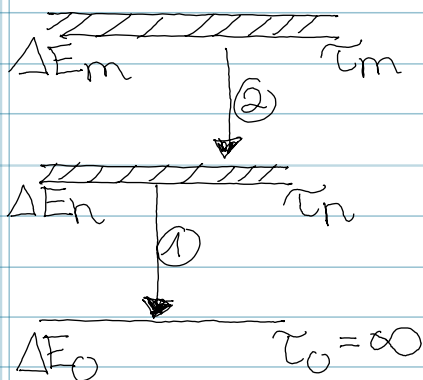
bei Absorption und Emission von Licht der Frequenz f
verhalten sich nicht alle Moleküle gleich

→ inhomogene ~~Linien~~ Linienbreite
(z.B. Dopplerverbreiterung)

8.2 Natürliche Linienbreite

Quantentheorie: endliche Lebensdauer bedingt Energieunschärfe

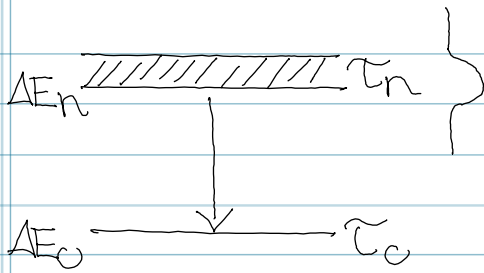
$$\Delta E \tau \geq \hbar$$



Unschärfe des Grundzustands: $\tau_0 = \infty \rightarrow \Delta E_0 = 0$

|| (1) angeregten Zustands: $\Delta E = \Delta E_n$

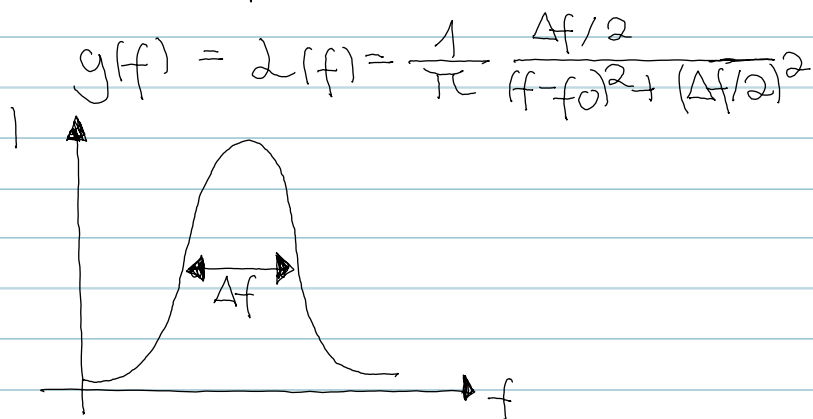
|| (2) angeregten Zustands: $\Delta E = \Delta E_n + \Delta E_m$



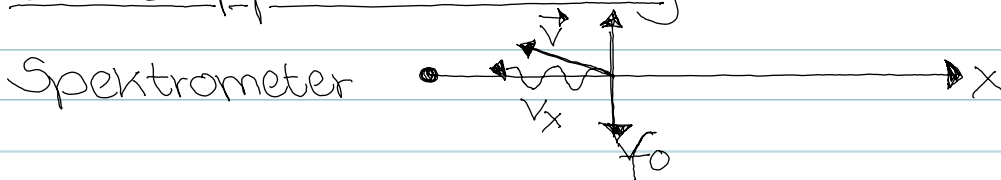
$$\Delta\omega = 2\pi \Delta f = \frac{\Delta E_n}{\hbar} = \frac{1}{\tau_n}$$

$$\Delta\omega = \frac{1}{\tau_n} = \Gamma_n$$

Linien-Profil Lorentz-Funktion



So3 Dopplerverbreiterung



$$f = f_0 \left(1 + \frac{v_x}{c}\right)$$

- ↳ Spektrometer erfährt Dopplereffekt
- ↳ Linienverbreiterung (inhomogene Linienverbreiterung)

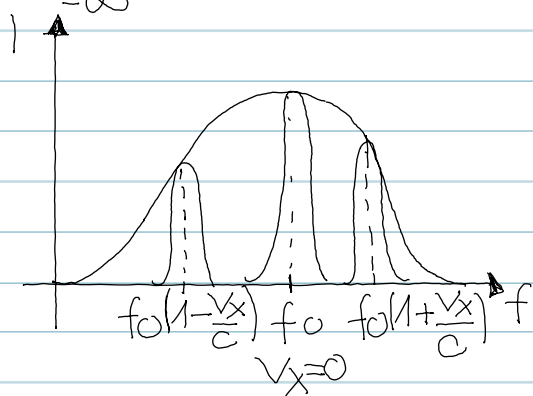
$$\frac{f}{f_0} = 1 + \frac{v_x}{c}$$

$$\frac{f}{f_0} - 1 = \frac{v_x}{c} \rightarrow \frac{f - f_0}{f_0} = \left(\frac{v_x}{c}\right)$$

→ Maxwell-Boltzmannsche-Geschwindigkeitsverteilung (1D)

$$f(v_x) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{1/2} e^{-\frac{1}{2} \frac{m v_x^2}{kT}} \Rightarrow \text{Gauß-Funktion}$$
$$e^{-x^2}$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(v_x) dv_x = 1$$



$$g(f) = G(f) = \frac{c}{\Delta f} e^{-\left(\frac{f-f_0}{\Delta f/2}\right)^2 \ln(2)}$$

→ Aufgabe 3, ÜB 11

Linienbreite → homogene oder inhomogene Verbreiterung