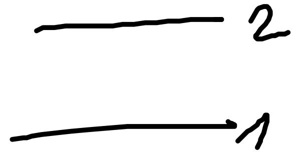
II 2. d) Rabiflopping

Erste Anwendung für die Blochgleichungen:



$$\partial_t \, tr(|1\rangle\langle 2|\rho) = \frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)\, tr(|1\rangle\langle 2|\rho) + \frac{i}{\hbar} E(t)\, d_{21} \big(tr(|2\rangle\langle 2|\rho) - tr(|1\rangle\langle 1|\rho) \big)$$

$$\partial_t \, tr(|1\rangle\langle 1|\rho) = 2\, \mathrm{Im}\left(\frac{E(t)}{\hbar} d_{12}\, tr(|1\rangle\langle 2|\rho) \right)$$

$$tr(\rho) = 1 = tr\big(\underbrace{(|1\rangle\langle 1| + |2\rangle\langle 2|)}_{\mathrm{Id}} \rho \big) = tr(|1\rangle\langle 1|\rho) + tr(|2\rangle\langle 2|\rho)$$

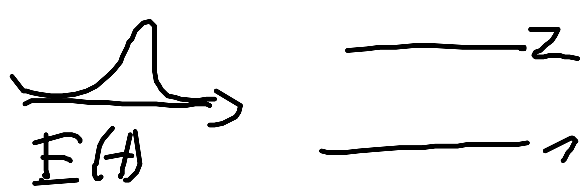
$$p = tr(|1\rangle\langle 2|\rho)$$

$$f_1 = tr(|1\rangle\langle 1|\rho) \qquad f_2 = tr(|2\rangle\langle 2|\rho)$$

$$\partial_t p = \frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)\, p + \frac{i}{\hbar} E(t) \cdot d_{21} (f_2 - f_1)$$

$$= \frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)\, p - \frac{i}{\hbar} E(t) \cdot d_{21} (1 - 2 f_2)$$

$$\partial_t f_2 = -2\, \mathrm{Im}\left(\frac{E(t)}{\hbar} \cdot d_{12}\, p \right)$$



$$E(t) = \underset{\Uparrow}{\tilde{E}}(t)\cdot\cos(\omega_L t+\varphi) = \tilde{E}(t)\,\frac{1}{2}\left(e^{i\omega_L t + i\varphi} + e^{-i\omega_L t - i\varphi}\right)$$

langsam im Vgl.
zur opt. Periode

$$\omega_L = \frac{\varepsilon_2-\varepsilon_1}{\hbar}$$ (resonante Anregung

Rotating $\quad p(t) = e^{\frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1-\varepsilon_2)t}\,\tilde{p}(t)$

$$\partial_t p(t) = \partial_t\left(e^{\frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1-\varepsilon_2)t}\tilde{p}(t)\right) = \frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1-\varepsilon_2)\tilde{p}(t)\,e^{\frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1-\varepsilon_2)t} + e^{\frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1-\varepsilon_2)t}\,\partial_t\tilde{p}(t)$$

$$= \frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1-\varepsilon_2)\tilde{p}(t)\,e^{\frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1-\varepsilon_2)t} - \frac{i}{\hbar}E(t)\cdot d_{21}(1-2f_2)$$

$$\Rightarrow \partial_t\tilde{p}(t) = \frac{i}{\hbar}d_{21}\cdot\tilde{E}(t)\frac{1}{2}\left(\cancel{e^{i\omega_L t+i\varphi}} + e^{-i\omega_L t - i\varphi}\right)e^{i\omega_L t}(1-2f_2)$$

$2\omega_L$

$$\| \ \partial_t\tilde{p}(t) = -\frac{i}{\hbar}d_{21}\,\tilde{E}(t)\frac{1}{2}\,e^{i\varphi}\,(1-2f_2)\ \|$$

$$\| \ \partial_t f_2 = -2\,\mathrm{Im}\left(\frac{\tilde{E}(t)\cdot d_{12}}{\hbar}\frac{1}{2}\left(e^{i\omega_L t+i\varphi} + e^{-i\omega_L t - i\varphi}\right)e^{-i\omega_L t}\tilde{p}(t)\right)$$

$$= -\mathrm{Im}\left(\frac{\tilde{E}(t)\cdot d_{12}}{\hbar}\,e^{i\varphi}\,\tilde{p}(t)\right)\ \|$$

Lösung raten: $f_2(t) = \sin^2\frac{\vartheta(t)}{2}$

$\tilde{p}(t) = \frac{-i}{2}\sin\vartheta$

Pulsfläche

$$\| \ \vartheta(t) = \int_{t_0}^{t}\Omega(t')\,dt'\ \|$$

$$\Omega = \frac{\tilde{E}(t)\cdot d_{12}}{\hbar}\,e^{-i\varphi}$$ Spezialfall $\varphi = 0$

Probe!

$$\partial_t\tilde{p}(t) = -i\frac{\Omega}{2}\left(1-2\underbrace{\sin^2\frac{\vartheta}{2}}_{\frac{1}{2}(1-\cos\vartheta)}\right) = -i\frac{\Omega}{2}\cos\vartheta$$

$\|$

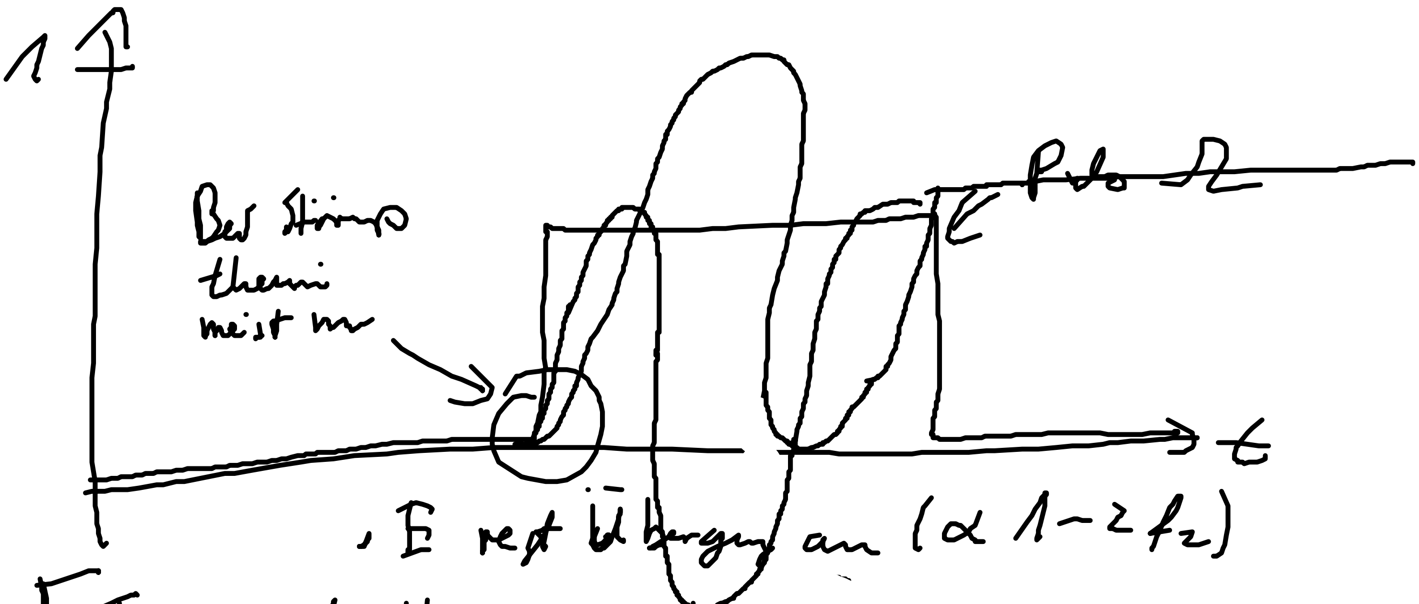
$-\frac{i}{2}\cos\vartheta\cdot\Omega$

$\checkmark$ Korrekt!

$$\partial_t f_2 = -\mathrm{Im}\left(\frac{\hat{E}(t)\, d_{12}}{\hbar} e^{i\varphi} \tilde{\rho}(t)\right)$$

$$\underbrace{\cos\frac{\vartheta}{2}\cdot\sin\frac{\vartheta}{2}\cdot\Omega}_{\frac{1}{2}\sin\vartheta\,\Omega} \qquad -\frac{1}{2}\sin\vartheta \quad \checkmark \text{ Korrekt}$$

Lösung diskutieren



, E regt Übergang an $(\alpha\ 1-2f_2)$

[Frage von Matthias-René: Spontane Emission

n: Photonenzahl

Emissionw. $\alpha\ (1+n)$

Absorption $\alpha\ n$

Hohe Intensität $(1+n) \simeq n$

$\Rightarrow$ Klassischer Grenzfall

Wenn n klein, also z.B. 0 oder 1

$\Rightarrow$ Folge veränderte Rabifrequenz

und Rabiflopping mit 0 Photon $\leftrightarrow$ 1 Photon

Die Anzahl der Flops wird in Einheiten von π angegeben $\vartheta(t) = \int_{t_0}^{t} \Omega(t)\, dt$

II 2.f Absorptionsspektrum

1) Mikroskopische Theorie der Materie $\Rightarrow$

Können Absorptionsspektrum besser machen? 2

$$\boxed{\alpha(\omega) = \varepsilon_0 \frac{\omega}{n(\omega)\, c} \operatorname{Im} \chi(\omega)}$$

Kann $\chi(\omega)$ mikroskopisch bestimmt werden?

Wichtig: Lineare Optik, also

$$P(\omega) = \chi(\omega)\, \underline{E}(\omega)$$

$$\chi(\omega) = \frac{P(\omega)}{\underline{E}(\omega)}$$

Zur Bestimmung Probe mit $E(\omega)$ anregen.

Bei geg. $E(\omega)$ muß $P(\omega)$ berechnet werden!

<u>Erinnerung</u>:

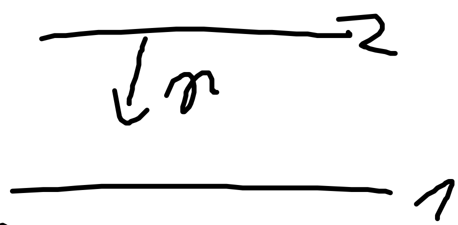
$$P(\underline{R}) = \sum_{r \in U(R)} \sum_{mn} d_n^{mn}\, tr(|m\rangle\langle n|\rho)$$

↳ Dynamik von $tr(|m\rangle\langle n|\rho)$ bestimmen.

<u>Bsp</u>.: · Zwei Niveau System

· Zwei Zwei Niveau systeme (gekoppelt)

Zwei-Niveausystem



Kein E-Feld

$$\partial_t tr(|1\rangle\langle 2|\rho) = \frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)\, tr(|1\rangle\langle 2|\rho) - \gamma\, tr(|1\rangle\langle 2|\rho)$$

$$+\frac{\bar{i}}{\hbar} E(t)\, d_{21} \left(tr(|2\rangle\langle 2|\rho) - tr(|1\rangle\langle 1|\rho)\right)$$

lin E-Feld $\qquad$ zweites E-Feld $\qquad$ linear

$$\partial_t\, tr(|1\rangle\langle 1|\rho) = 2\, \mathrm{Im}\left(\frac{E(t)}{\hbar} \cdot d_{12}\, tr(|1\rangle\langle 2|\rho)\right) = 0$$

Wir brauchen Dynamik von $tr(|1\rangle\langle 2|\rho)$ in Abhängigkeit von $\underline{E}$ (linear) ($E(t)$ klein $|E(t)|^2 \simeq 0$) Also $E(t)$ ziehen

$\Rightarrow$ AFB f. $tr(|2\rangle\langle 2|\rho)$ und $tr(|1\rangle\langle 1|\rho)$ verwenden

$$\partial_t\, tr(|1\rangle\langle 1|\rho) = 0 \qquad \text{da quadratisch im}$$
$$\partial_t\, tr(|2\rangle\langle 2|\rho) = 0 \qquad \text{E-Feld.}$$

In linearer Optik ist der Puls so schwach dass die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten nicht verändert werden.

<u>Lsg</u> der Gl. Fouriertransform

$$i\omega\, tr(|1\rangle\langle 2|\rho)(\omega) = \frac{\bar{i}}{\hbar}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + i\gamma)\, tr(|1\rangle\langle 2|\rho)(\omega) + \frac{\bar{i}}{\hbar} E(\omega)\cdot d_{21}\left(tr(|2\rangle\langle 2|\rho) - tr(|1\rangle\langle 1|\rho)\right)$$

$$\left(i\left(\omega - \frac{\varepsilon_1}{\hbar} + \frac{\varepsilon_2}{\hbar}\right) + \gamma\right) tr(|1\rangle\langle 2|\rho)(\omega) = \frac{\bar{i}}{\hbar} E(\omega)\cdot d_{21}\left(tr(|2\rangle\langle 2|\rho) - tr(|1\rangle\langle 1|\rho)\right)$$

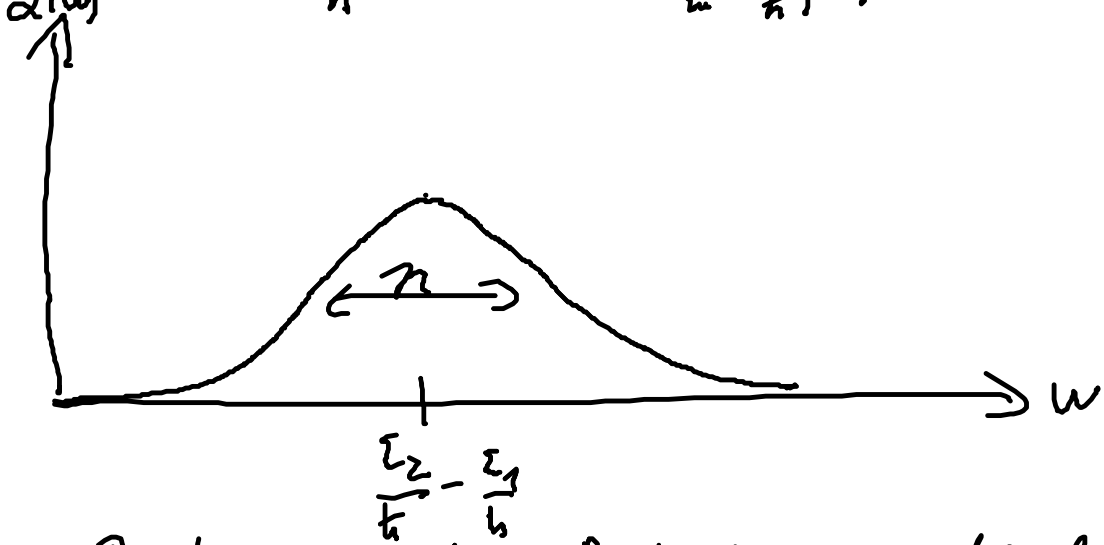
$$tr(|1\rangle\langle 2|\rho)(\omega) = \frac{\frac{\bar{i}}{\hbar} E(\omega)\, d_{21}}{\left(i\left(\omega - \frac{\varepsilon_1}{\hbar} + \frac{\varepsilon_2}{\hbar}\right) + \gamma\right)} \left(tr(|2\rangle\langle 2|\rho) - tr(|1\rangle\langle 1|\rho)\right)$$

$$tr(|1\rangle\langle 2|\rho)(\omega) = \frac{\bar{i}}{\hbar} E(\omega)\cdot d_{21}\, \frac{-i\left(\omega - \frac{\varepsilon_1}{\hbar} + \frac{\varepsilon_2}{\hbar}\right) + \gamma}{\left(\omega - \frac{\varepsilon_1}{\hbar} + \frac{\varepsilon_2}{\hbar}\right)^2 + \gamma^2} \cdot \left(tr(|2\rangle\langle 2|\rho) - tr(|1\rangle\langle 1|\rho)\right)$$

Die relevante Größe ist

$$\omega\, \mathrm{Im}\left(d_{12}\, tr(|1\rangle\langle 2|\rho)(\omega)\right)$$

$$\alpha(\omega) = \omega \frac{|d_{12}|^2 E(\omega)}{\hbar} \frac{\gamma}{\left(\omega - \frac{E_2}{\hbar} + \frac{E_1}{\hbar}\right)^2 + \gamma^2} \left(\mathrm{Tr}(|2\rangle\langle 2|\rho) - \mathrm{Tr}(|1\rangle\langle 1|\rho)\right)$$



Breite wird durch Dephasierungszeit festgelegt.

<u>Informationsgewinnung</u>: Dephasierungszeit,
Gapenergie,
Oszillatorstärke ⇒ Dipolmoment.