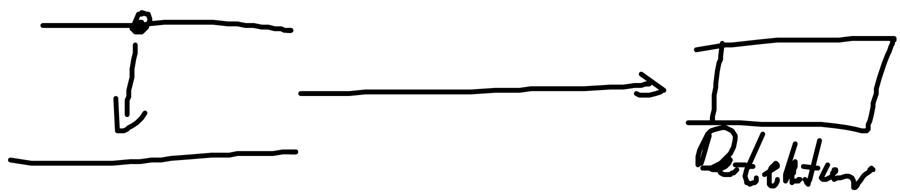
V.2 Fluoreszenz f.



$$\frac{d}{dt}\langle b_s^\dagger b_s\rangle = \frac{i}{\hbar}\, tr\left(g_{12}^s\, |1\rangle\langle 2|\, b_s \rho\right) - \frac{i}{\hbar}\, tr\left(g_{12}^{*s}\, |2\rangle\langle 1|\, b_s^\dagger \rho\right)$$

$$= 2\, \mathrm{Im}\left(\underline{tr\left(g_{12}^s\, |1\rangle\langle 2|\, b_s \rho\right)}\right)$$

$$\partial_t\, tr\left(|1\rangle\langle 2|\, b_s \rho\right) = i\left(\frac{\varepsilon_1}{\hbar} - \frac{\varepsilon_2}{\hbar} - \omega_s\right) tr\left(|1\rangle\langle 2|\, b_s \rho\right)$$
$$- \gamma\, tr\left(|1\rangle\langle 2|\, b_s \rho\right)$$
$$+ i\, g_{21}^{*s}\, tr\left(|2\rangle\langle 2|\, b_s b_s^\dagger \rho\right)$$
$$- i\, g_{12}^{s}\, tr\left(|1\rangle\langle 1|\, b_s^\dagger b_s \rho\right)$$

Lsg mit Störungstheorie, bei t_0 ist System $|2\rangle\langle 2|$ und kein Photon $\rho = |2,0\rangle\langle 2,0|$

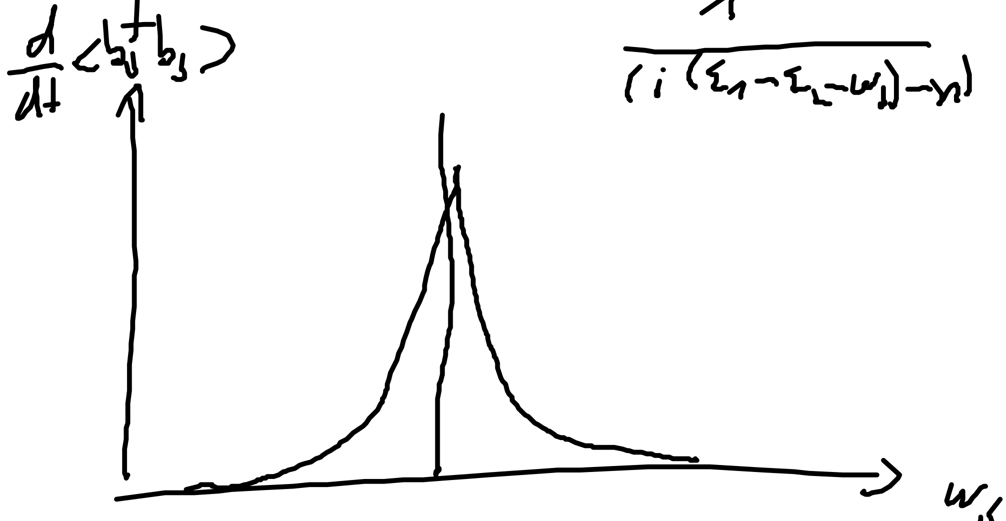
$\Downarrow$

$$\partial_t\, tr\left(|1\rangle\langle 2|\, b_s \rho\right) = \left(i\left(\frac{\varepsilon_1}{\hbar} - \frac{\varepsilon_2}{\hbar} - \omega_s\right) - \gamma\right) tr\left(|1\rangle\langle 2|\, b_s \rho\right)$$
$$+ i\, g_{21}^{*s}\, tr\left(|2\rangle\langle 2|\, b_s b_s^\dagger \rho\right) = 1$$

$$\Rightarrow \mathrm{tr}\left(|1\rangle\langle 2|\, b_s \rho\right) = i\int_{t_0}^{t} dt'\, e^{i\left(\frac{\varepsilon_1}{\hbar}-\frac{\varepsilon_2}{\hbar}-\omega_s\right)-\gamma(t-t')}\, g_{21}^{\times s}$$

$$= i\int_0^\infty d\tau\, e^{i\left(\frac{\varepsilon_1}{\hbar}-\frac{\varepsilon_2}{\hbar}-\omega_s\right)\tau-\gamma\tau}\, g_{21}^{\times s}$$

$$\frac{d}{dt}\langle b_s^\dagger b_s\rangle = 2\,\mathrm{Im}\left(i\underbrace{\int_0^\infty d\tau\, e^{\left(i\left(\frac{\varepsilon_1}{\hbar}-\frac{\varepsilon_2}{\hbar}-\omega_s\right)-\gamma\right)\tau}}_{\frac{1}{\left(i(\varepsilon_1-\varepsilon_2-\omega_s)-\gamma\right)}}\, |g_{21}^{\times s}|^2\right)$$

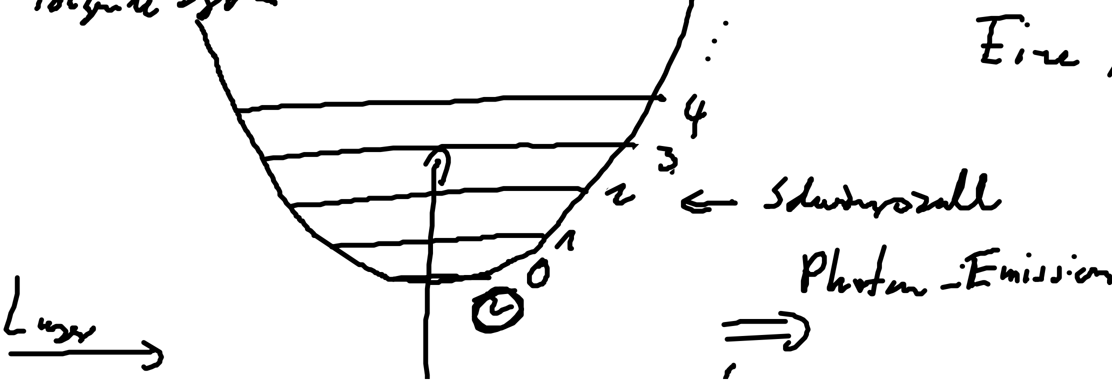


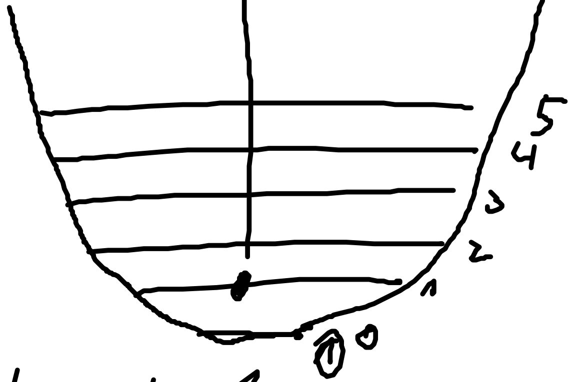
Wie Absorptionsspektrum

V.3 Resonanzfluoreszenz und Raman

Folgende System

Eine Mode





Was ist zu tun?

Wir brauchen die Wechselwirkung mit dem Laser

$$H_{el-Licht} = E(t)\cdot d_{12}\, |1\rangle\langle 2| + h.c.$$

Modifiziert

$$H_{el\,Laser} = \sum_{nm} E(t)\cdot d_{12}^{nm}\, |1,n\rangle\langle 2,m| + h.c.$$

↑ Phononzahl

Analog QM Lichtfeld:

$$H_{el-Quant} = \sum_{\lambda n m} |1,n\rangle\langle 2,m| \left(b_\lambda\, g_{12}^{\lambda n m} + b_\lambda^{\dagger}\, g_{12}^{\lambda n m} \right) + h.c.$$

Um Emission und Anregung gleichwertig zu beschreiben braucht man Störungsterme der Ordnung $d^2 g^2$.

Was ist Fluoreszenz und was ist Raman?

Idee ist dass System ist am Anfang im Grundzustand: $tr(|1,n\rangle\langle 1,n|\rho) \neq 0$

0 Photonen

$|1, n, 1_s\rangle$ ← 1. Photon in der Mode s

Was kann passieren?

$tr(|1, n\rangle\langle 1, n|\rho)$

$tr(|\psi\rangle\langle\psi|\rho)$
inkohärente Prozesse
⇓
Fluoreszenz

Wege ohne Dichte
sind kohärente
Prozesse
⇓
Raman, Rayleigh.

$tr(|1, n', 1_s\rangle\langle 1, n', 1_s|\rho)$

dann $\sum_n tr(|1, n, s\rangle\langle 1, n, 1_s|\rho) = tr(b_s^\dagger b_s \rho)$ ⇐ Meßgröße

1.) Kohärent bezeichnet Prozesse bei denen keine Dichten auftreten, also $tr(|n\rangle\langle n|\rho)$ wobei $|n\rangle$ bel. Zustand.

2.) Inkohärent sind Prozesse Dichte.
Dichten zerfallen langsamer als Kohärenzen, also inkohärente Anteile bleiben länger.

<u>TODO</u>: Bewegungsgl. herleiten (Achtung Skalierung beachten!)

Beginn bei Observable!

$$\partial_t \,\mathrm{tr}(|1,n,1_s\rangle\langle 1,n,1_s|\varrho)$$

$$= 2\,\mathrm{Im}\sum_m g_{12}^{nm}\,\underbrace{\mathrm{tr}(|1,n,1_s\rangle\langle 2,m|\varrho)} + 2\sum_n \mathrm{Im}\left(d_{12}^{nm}\,\cancel{\mathrm{tr}(|1,n,1_s\rangle\langle 2,m,1_s|)}\right)$$

I(1)

Als nächstes Bewegungsgl. für $\mathrm{tr}(|0,n,1_s\rangle\langle 1,m|\varrho)$:

$$\partial_t \,\mathrm{tr}(|1,n,1_s\rangle\langle 2,m|\varrho) = i\,\underline{(\omega_s-\omega_g+(n-m)\omega_e)}\,\mathrm{tr}(|1,1_s\rangle\langle 2,n|\varrho)$$

Floureszenzlinien

$$\frac{1}{(\omega_s-\omega_g+(n-m)\omega_e)^2+\gamma^2}$$

$-\gamma\,\mathrm{tr}(|1,n,1_s\rangle\langle 2,m|\varrho)$ ⇐ Dephasing

$+\,i\sum_h g_{12}^{nh}\,\mathrm{tr}(|2,h\rangle\langle 2,m|\varrho)$ ⇐ Floureszenz

$+$ 2. Term ⇐ falsche Ordnung

$+\,i\sum_h E(t)\,d_{12}^{mh}\,\underline{\mathrm{tr}(|1,n,1_s\rangle\langle 1,h|\varrho)}$ ⇐ Raman-Floureszenz

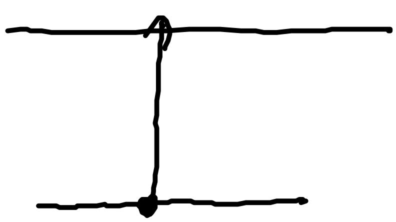
$+$ 2. Term.

Weitere Gl. $\mathrm{tr}(|2,h\rangle\langle 2,m|\varrho)$ $h=m$ Secular Approximation.

$$\partial_t \,\mathrm{tr}(|2,h\rangle\langle 2,m|\varrho) = -i\sum_k E(t)\,d_{12}^{mk}\,\underline{\mathrm{tr}(|2,h\rangle\langle 1,k|\varrho)}$$

$$+\,i\sum_k E(t)\cdot d_{12}^{mh}\,\underline{\mathrm{tr}(|1,h\rangle\langle 2,m|\varrho)}$$

$+$ spontane



$$\partial_t \,\mathrm{tr}(|2,h\rangle\langle 1,h|\varrho) = i(\omega_g+(h-l)\omega_e-\gamma)\,\mathrm{tr}(|2,h\rangle\langle 1,h|\varrho)$$

$$+\,i\sum_j E(t)\,d^{jh}\,\mathrm{tr}(|1,j\rangle\langle 1,h|\varrho)$$

$+\ \ldots$

$$E(t) \cdot d_{12}^{nh} \; tr(|1,n,1_s\rangle \langle 1,h|\rho)$$

$$\Longrightarrow \mathcal{E}(t)\, tr(|1,n,1_s\rangle\langle 1,h|\rho)^+$$

mit $tr(|1,n,1_s\rangle\langle 1,h|\rho)^+ = e^{-i\omega_0 t}\, tr(|1,n,1_s\rangle\langle 1,h|\rho)$

$$\partial_t tr(|1,n,1_s\rangle\langle 1,h|\rho)^+ = i(\omega_s + (n-h)\omega_e - \omega_0)\, tr(|1,n,1_s\rangle\langle 1,h|\rho)^+$$

$$+ i \sum_j g^{sjn}\, tr(|2,j\rangle\langle 1,h|\rho)^+$$

$$+ \cancel{\mathcal{E}}\ldots$$

Raman Linie

$$\frac{1}{(\omega_s + (n-h)\omega_e - \omega_0)^2 + \Gamma^2}$$

$$\partial_t tr(|2,j\rangle\langle 1,h|\rho)^+ = i(\omega_g + (j-h)\omega_e - \omega_0 + i\gamma)\, tr(|2,j\rangle\langle 1,h|\rho)^+$$

$$+ i \sum_\ell d^\ell\, \mathcal{E}(t)\, tr(|1,\ell\rangle\langle 1,h|\rho) \Leftarrow \text{Anfangsbed.}$$

Alle Gleichungen ineinander einsetzen