


# Rotating Wave Approximation

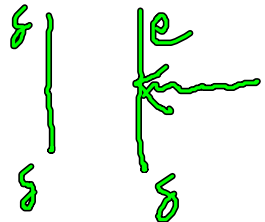
In RWA:

$$H_1(t) = \sum_e E(t) \rho_{ge} e^{i(\omega_e - \omega_g)t} |g\rangle\langle e| \quad (A)$$

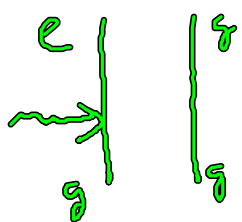
$$+ \sum_e E^*(t) \rho_{eg} e^{i(\omega_g - \omega_e)t} |e\rangle\langle g| \quad (B)$$



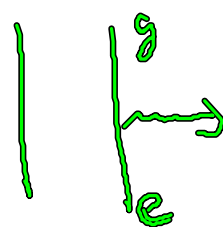
$$\leftarrow \text{„Emission“} \hat{=} e^{i\omega_e t} \hat{E}(t) \quad (A)$$



$$\leftarrow \text{„Absorption“} \hat{=} e^{i\omega_e t} \hat{E}(t)$$



$$\leftarrow \text{„Absorption“} \hat{=} e^{-i\omega_e t} \hat{E}^*(t) \quad (B)$$



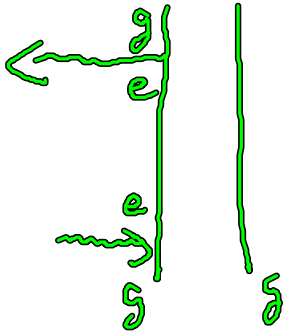
$$\leftarrow \text{„Emission“} \hat{=} e^{-i\omega_e t} \hat{E}^*(t)$$

Wichtig:

RWA nicht bei nichtresonanten Prozessen wie Raman oder TPA, da Konvention von  $\omega_e, \omega_g$  gilt dort auch, nur mit Zustandsgleichungen.

Beispiel: Absorption



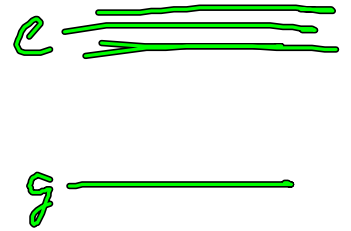
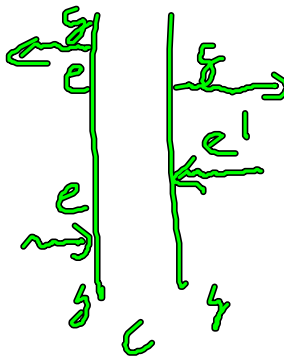
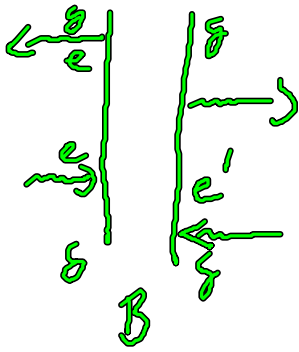
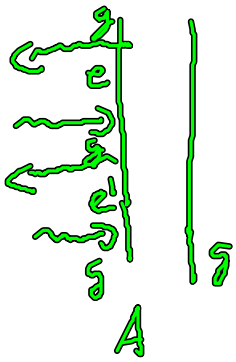


+c.c.

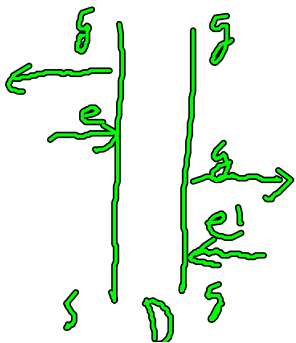
Obwohl  $|g\rangle \langle e|$  wird als Emission auf der linken Seite interpretiert oder Absorption auf der rechten Seite.

Alternativ könnte man auch  $|e\rangle \langle g|$  betrachten (links  $\leftrightarrow$  rechts)

### Pump-Prozess (Dritte Ordnung)



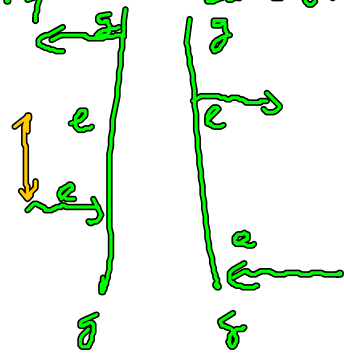
Vier Diagramme bei 2 NS die betonen.



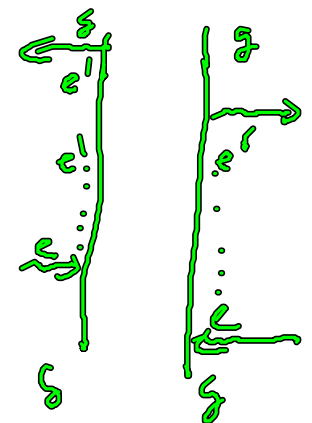
Bsp für B im Zeitbild  
z.B. gut für Pump-Prozess!

$$P^{(3)}(t) \Big|_B \xrightarrow{\text{Kontinuität}} \left(-\frac{i}{\hbar}\right)^3 \sum_{e, e'} \int_{t_0}^t dt_3 \int_{t_0}^{t_3} dt_2 \int_{t_0}^{t_2} dt_1 \mu_{ge} \mu_{ge'} E(t_1) e^{i\omega_e t_1 - i\omega_{e'} t_2 - i\omega_e t_3} \mu_{eg} \cdot E^*(t_2) \mu_{e'g} \cdot E^*(t_3) e^{-i\omega_{e'}(t_2-t_1) - i\omega_e(t_3-t_2)} e^{-i\omega_e(t-t_3) - i\omega_{e'}(t-t_2)} - i\omega_{e'}(t_3-t_2) - i\omega_e(t_3-t_2)$$

Bsp für Relaxation ( $e=e'$ )



Relaxation



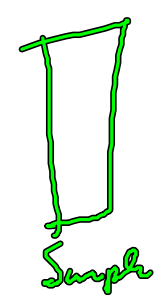
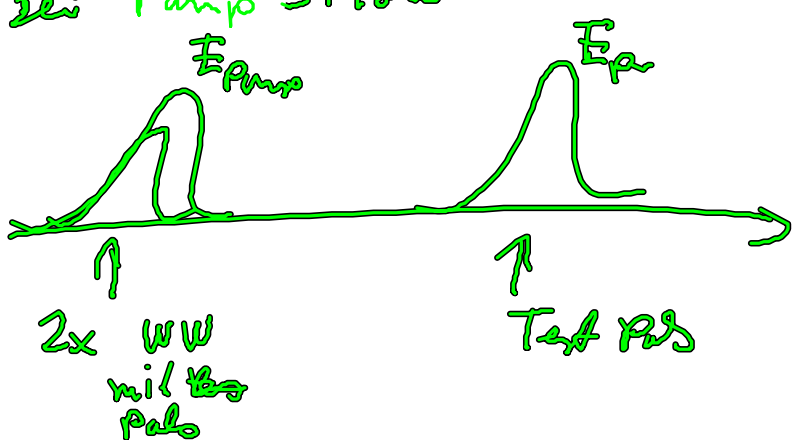
$$P^{(3)}(t) \Big|_B \xrightarrow{\text{mit } e, e' \text{ Relaxation}} \sum_{e, e'} \left(-\frac{i}{\hbar}\right)^3 \int_{t_0}^t dt_3 \int_{t_0}^{t_3} dt_2 \int_{t_0}^{t_2} dt_1 \mu_{ge} \cdot E(t_1) \mu_{e'g}^* \cdot E^*(t_2) \mu_{eg} \cdot E^*(t_2) \mu_{ge}$$

Summe kann sehr aufwendig werden (Skaliert schneller als DMT)

$$e^{i\omega_e t_1 - i\omega_{e'} t_2 - i\omega_e t_3} G_{ge}(t_2-t_1) G_{e'e}(t_3-t_2) G_{e'g}(t-t_3)$$

bedeutet Relaxation  
Im Prinzip auch Kohärenztransport möglich

Bei Pump-Probe



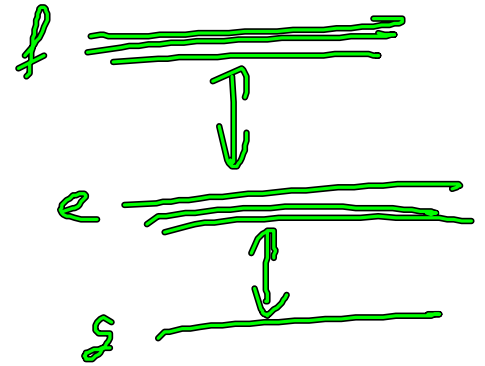
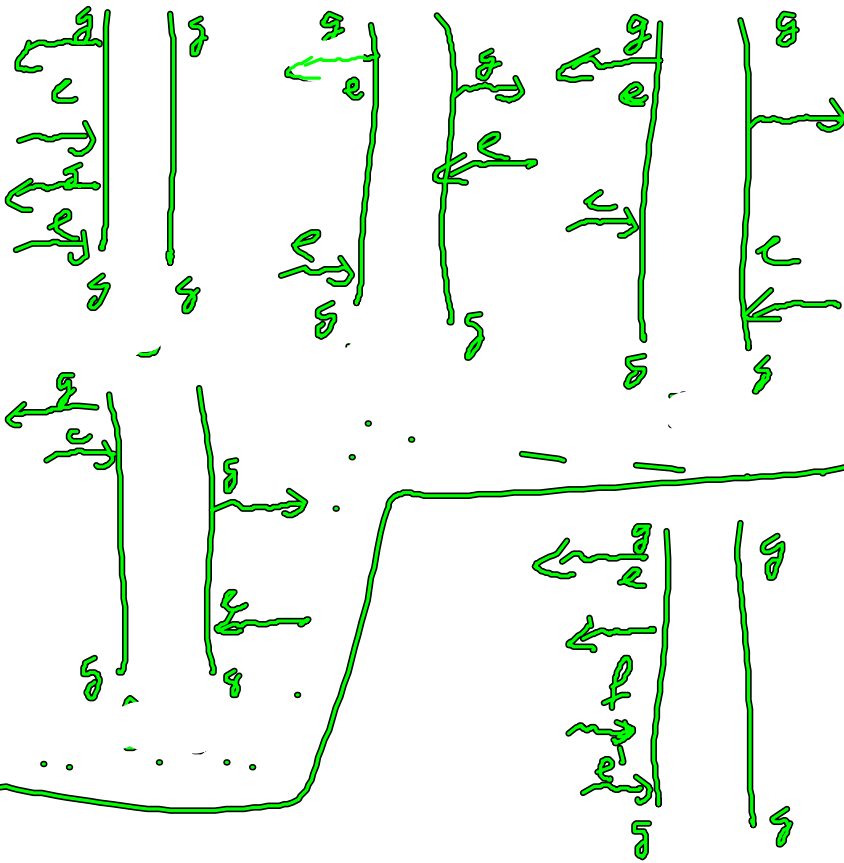
Im Prinzip muß man  $E_{\text{pump}}$  und  $E_{\text{pr}}$  in Diagramm verteilen.

$$\rho^{(3)}(t) \Big|_B = \left(-\frac{i}{\hbar}\right)^3 \sum_{e, e'} \int_{t_0}^t dt_3 \int_{t_0}^{t_3} dt_2 \int_{t_0}^{t_2} dt_1$$

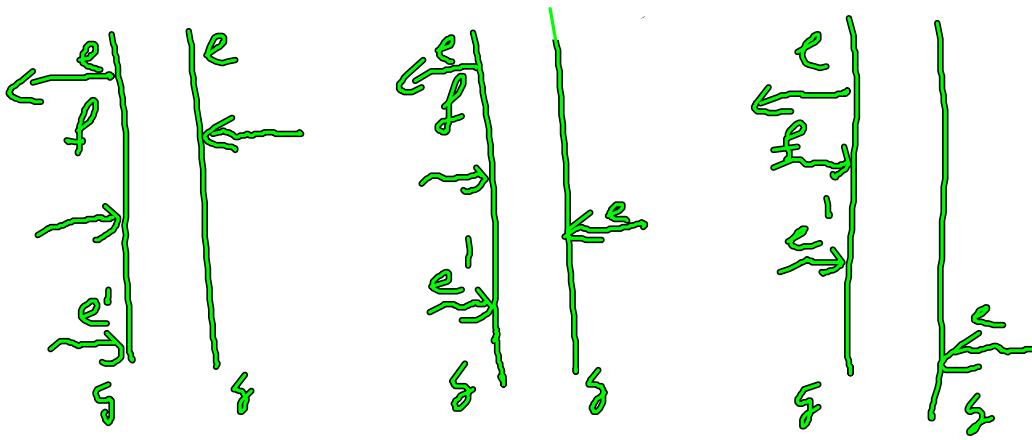
$\mu_{ge} \cdot E_{\text{pr}}(t_1) \mu_{eg} \cdot E_{\text{pr}}^*(t_2) \mu_{e'g} \cdot E_{\text{pr}}^*(t_3) \mu_{ge}$   
 ... sieht dem Grenzfkt

Es gibt viele System mit hohen angeregten Zuständen

Diagramme



$$\rho(t) = \sum_e \mu_{ge} \text{tr}(\rho_0 \rho_{eg}) + \sum_{e,f} \mu_{ef} \text{tr}(\rho_0 \rho_{fe}) + \dots$$



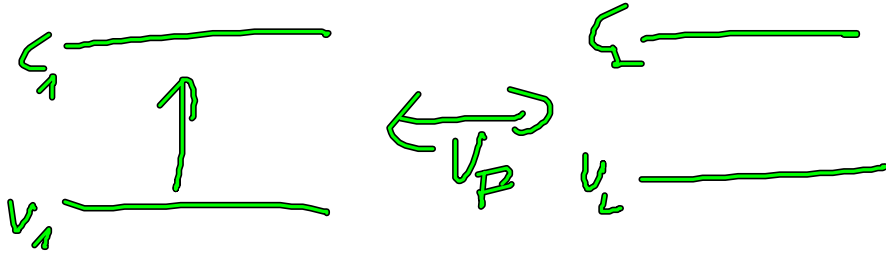
8 Diagramme! Man muß über alle  $f$  und  $e$  summieren!

Es wäre schön wenn man die Diagramme trennen könnte! (Nächste Abschnitte!)

### Mehr teilchenzustände

- Bei Vielteilchenfällen können  $s, e, f$  sehr viele Zustände sein! Diagramm skalieren mit  $N^3$  oder schlechter bei Relaxation!
- Das Verfahren nur mit Summation in über Zustand heißt Summ over States (SOS)
- Für Vielteilchensystem verwendet man meist Buecygrofische dort fehlt Quanteninterferenz zur Reduktion der Pfade  $s$  erlaubt besser.  
z.B. Quantenentwicklung/lokales Erwartungswert, NEE
- Aber SOS ist sehr gut für Analyse des System, dann muß in Vielteilchenzustände  $s, e, f$  denken!

Beispiel Zwei gekoppelte ZNS



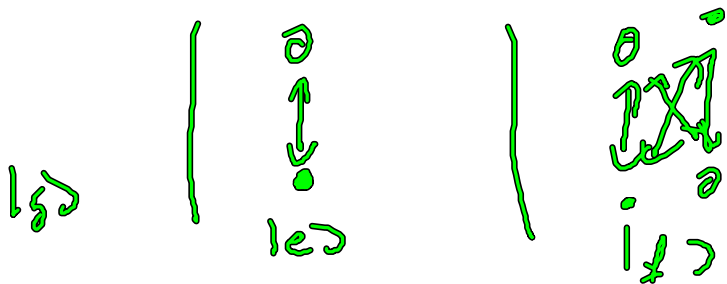
Mehrteilchenzustände

$$|g\rangle = |v_1, v_2\rangle$$

$$|e\rangle = c_1^2 |c_1, v_2\rangle + c_2^2 |v_1, c_2\rangle$$

$$|f\rangle = |c_1, c_2\rangle$$

z. B. bei Halbleitern Elektronen und Löcher

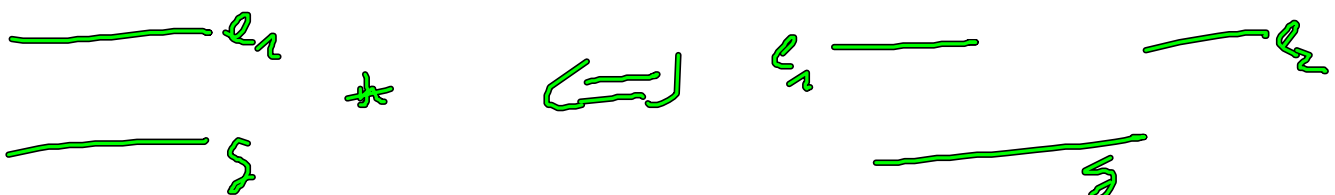


Dankspat aufgabe!

Ich habe viele gleichartige Atome (ungekoppelt)  
jedes TLS!

Nomalerweise berechne Signal für jedes TLS,  
und dann Summiere über die Signale!

Mehrteilchenblickpunkt treten neue Diagramme mit  
Bicorrelationen auf



Skalier mit  $N$  in  $\chi_i$

Skalier mit  $N^3$

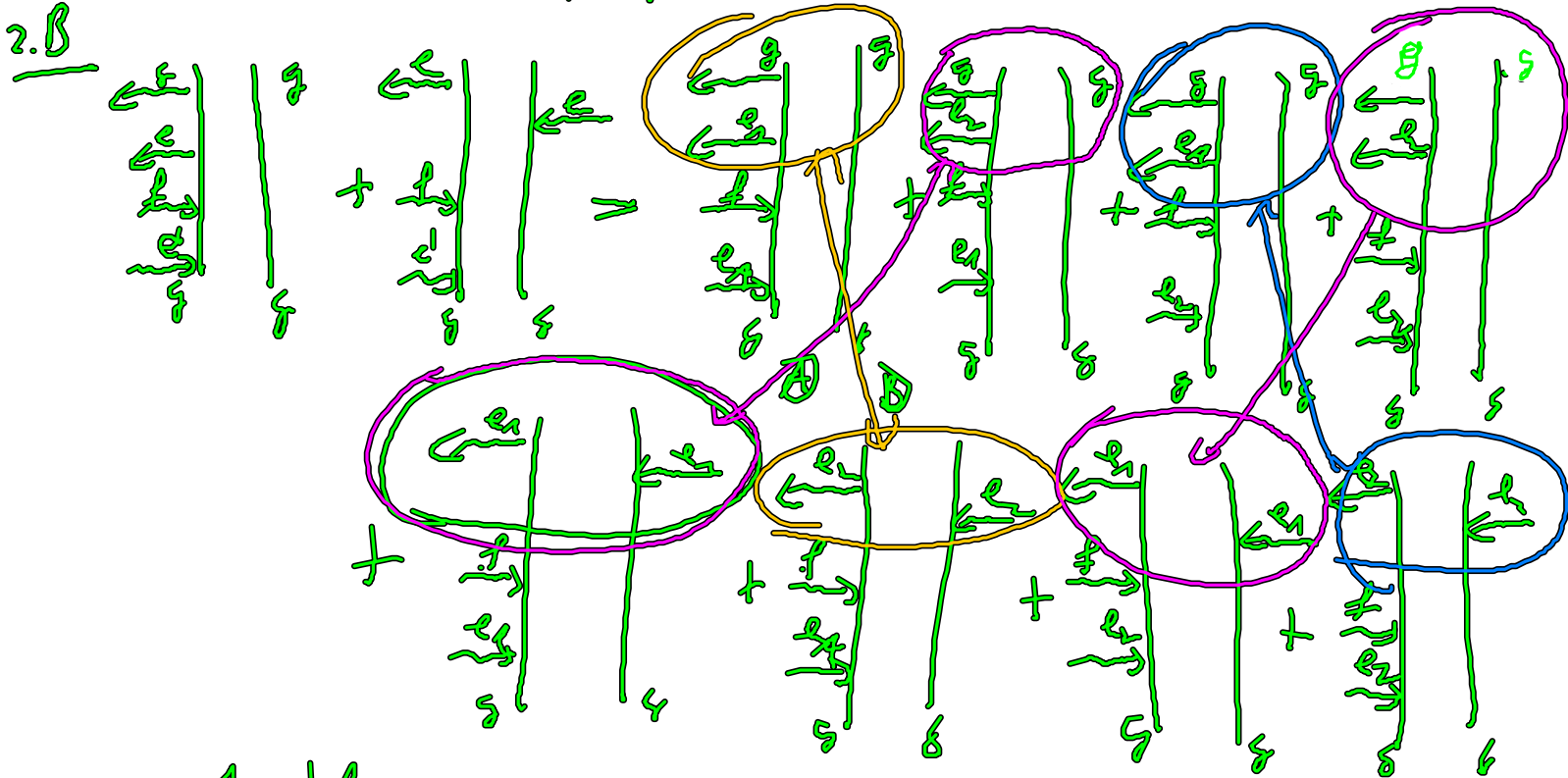
# Lösung: Massive Auslöschung von Charakteristika Diagramm

## Beispiel

Erst mal brücke:

$$w_{15} = w_{f e_2}, \quad u_{25} = w_{f e_1}$$

Weiterhin  $N_{30} = N_{f e_2}$   $N_{25} = N_{f e_1}$



Ausklam

$$\left( \begin{array}{c|c} \begin{array}{c} g \\ g \\ f \end{array} & \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \\ \hline \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c|c} \begin{array}{c} e \\ e \\ f \end{array} & \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \\ \hline \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c|c} \begin{array}{c} g \\ g \\ f \end{array} & \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \\ \hline \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c|c} \begin{array}{c} e \\ e \\ f \end{array} & \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \\ \hline \end{array} \right)$$

(A) (B)

$$\begin{aligned}
 (A) \quad & \underbrace{N_{ge2} \cdot E(t_2)}_{\substack{\uparrow \\ N_{ge2} \\ \Rightarrow 0}} \quad N_{ge1} \underbrace{G_{ge2}(t-t_2)}_{e^{-i(\omega_{ge2})(t-t_2)}} - \underbrace{N_{ge1} N_{ge2} \cdot E(t_2)}_{\substack{\uparrow \\ N_{ge1}}} \underbrace{G_{ge1}(t-t_2)}_{e^{-i(\omega_{ge1})(t-t_2)}}
 \end{aligned}$$

Bandlos! Die Diagonale die  
zusätzlich auftreten in der  
partikulären Basis löschen sich aus!