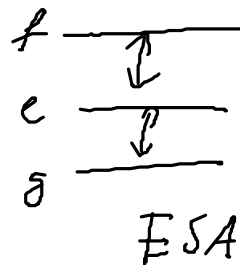


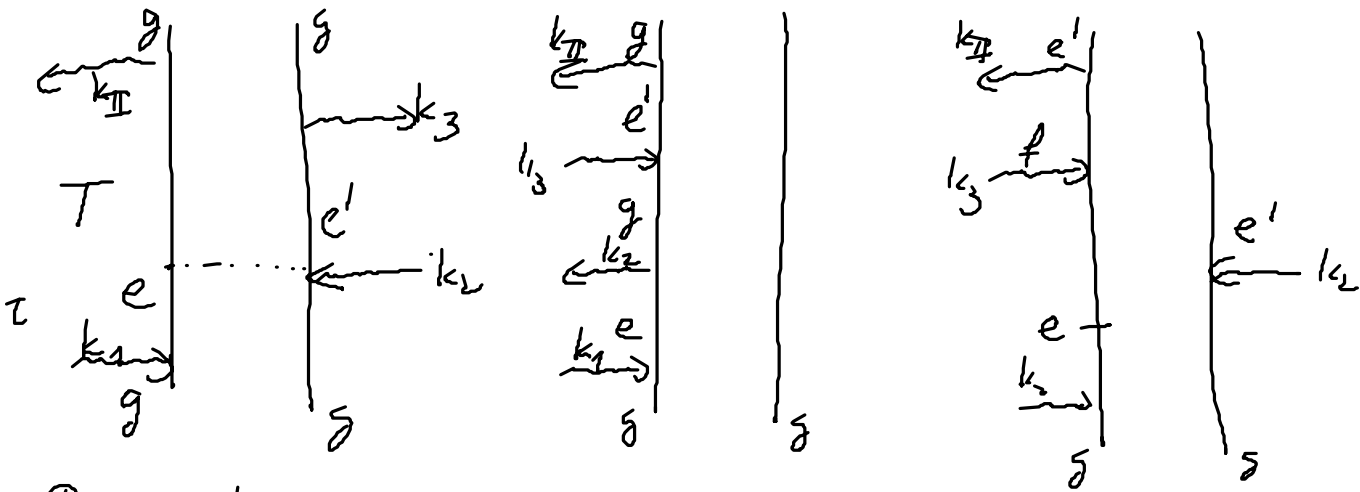
(b)  $k_{II}$  - Inverse Photoecho  
 $k_{II} = k_1 - k_2 + k_3$



ESE

SSB

ESA



Das ist genau wie  $k_{II}$ , der einzige Unterschied die erste Kohärenz ist weg, statt  $w_{ge}$ !

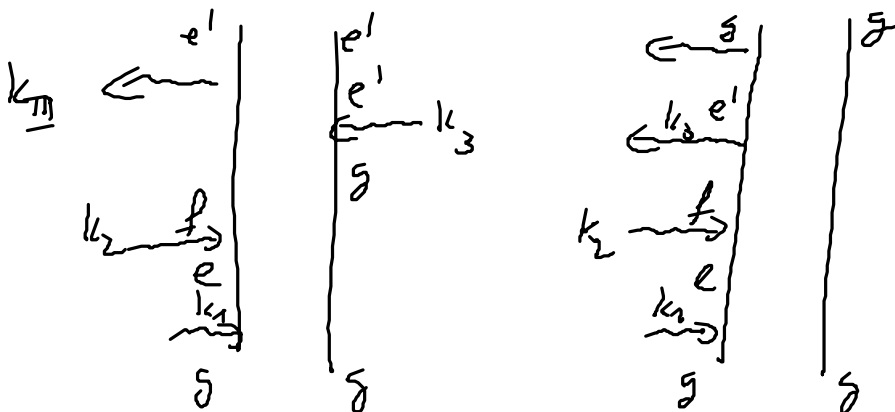
(c)  $k_{III}$  - Double Quantum Coherence

Bemerkung dieses Signal sieht es nicht für zwei Niveausystem!

Beide Pfade  $k_{III} = k_1 + k_2 - l_3$

ESA<sub>1</sub>

ESA<sub>2</sub>



Besonderheiten der Pfade

- (1) Keine Dichten! Keine Relaxation! Nur Dephasing!
- Nur kohärente Transport.

(2) Es wird Kohärenz  $|f| > |g|$  angesetzt,  
obwohl diese Diode verbotener ist.

(3) Verschiebet bei ungekoppelten ZNS (oder kann  
Oszillator) durch destruktive Quanteninterferenz  
von  $E_{SA_1}$  und  $E_{SA_2}$

Signal:

$$S_{\text{III}}^{E_{SA_1}}(\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3) = - \left( -\frac{1}{\hbar^3} \right) \sum_{e, f, e'} E_s \cdot \mu_{e'f} E_3 \cdot \mu_{fe'} E_2 \cdot \mu_{ec} E_1 \cdot \mu_{es}$$

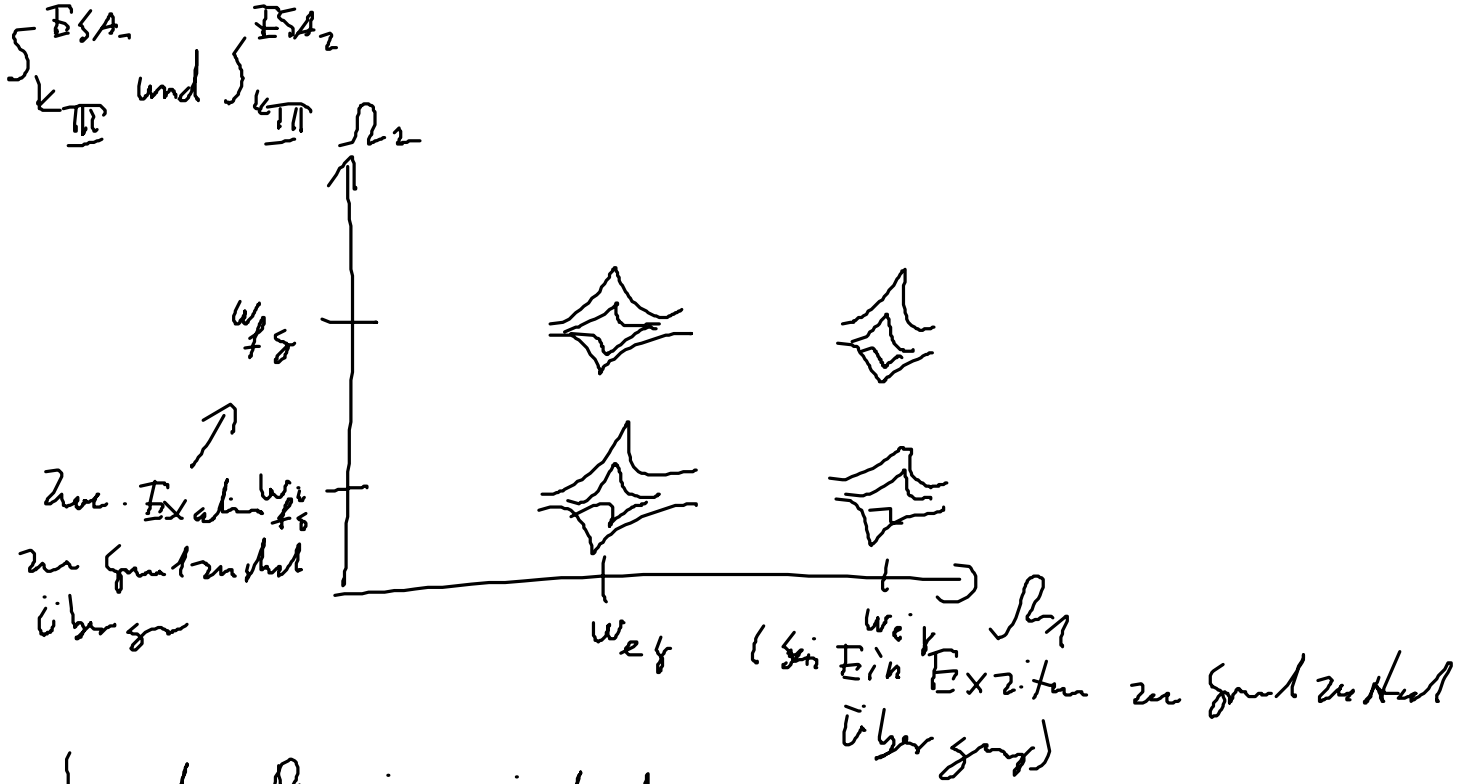
$$\frac{1}{\Omega_3 - \omega_{fe'} + i\gamma_{fe'}} \quad \frac{1}{\Omega_2 - \omega_{fg} + i\gamma_{fg}} \quad \frac{1}{\Omega_1 - \omega_{ef} + i\gamma_{ef}}$$

→  
triviale simplen  
über Frequenzen

$$S_{\text{III}}^{E_{SA_2}}(\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3) = \left( -\frac{1}{\hbar^3} \right) \sum_{e, f, e'} E_s \cdot \mu_{ge'} E_3 \cdot \mu_{ef} E_2 \cdot \mu_{fc} E_1 \cdot \mu_{es}$$

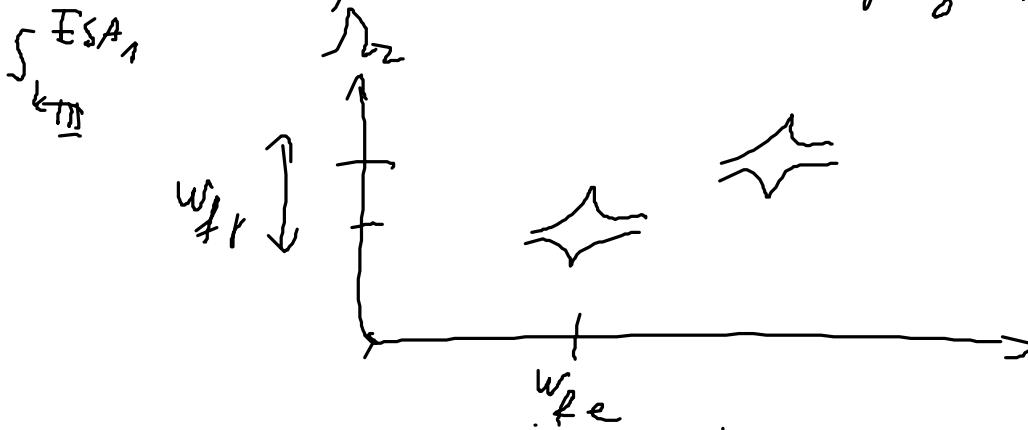
$$\frac{1}{\Omega_3 - \omega_{e'g} + i\gamma_{e'g}} \quad \frac{1}{\Omega_2 - \omega_{fg} + i\gamma_{fg}} \quad \frac{1}{\Omega_1 - \omega_{ef} + i\gamma_{ef}}$$

Analyse

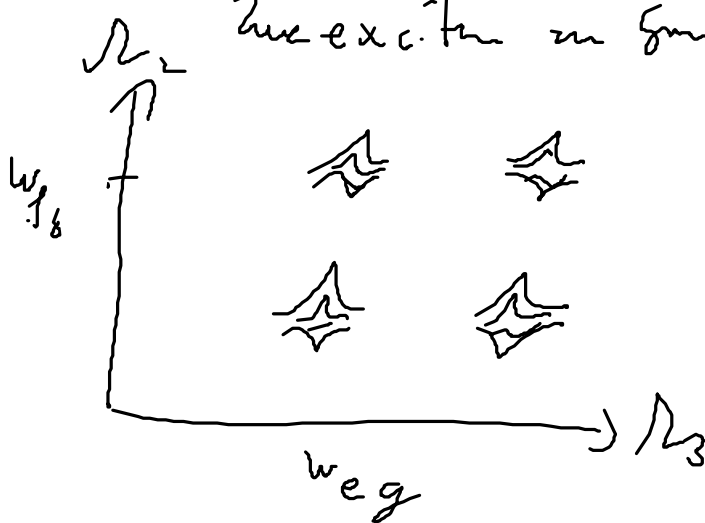


In der Praxis wird aber meist nicht, das

$\Omega_3$  einfach durch Selbstresonanz gemessen werden kann!



Zwei-Exzitationen zu Grundzustand Übergang



Ende der Beispiele

### III.6 Kontinuierliche Störungen

Viele (einfache) Experimente werden nicht mit Pulsen durchgeführt sondern mit CW (continuous wave) Feldern.

Hier wird das E-Feld zu einer  $\delta$ -Fkt in Frequenzraum, aber wir brauchen Werkzeuge im Frequenzraum.

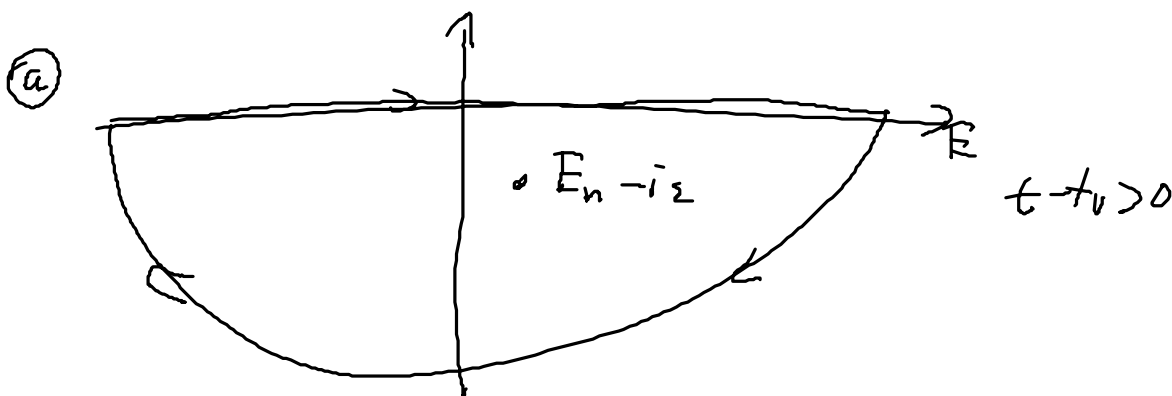
## 1. Geöffnet im Frequenzraum

Zunächst Hilfsintegral  $\varepsilon > 0$

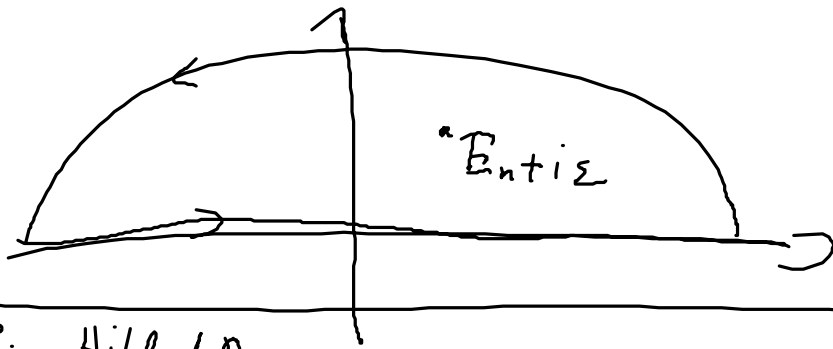
$$\textcircled{1} \quad -\frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} dE \frac{1}{E - E_n + i\varepsilon} \exp\left(-\frac{i}{\hbar} E(t-t_0)\right) = \begin{cases} 0 & t < t_0 \\ \exp\left(-\frac{i}{\hbar} E_n(t-t_0)\right) & t > t_0 \end{cases}$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} dE \frac{1}{E - E_n - i\varepsilon} \exp\left(-\frac{i}{\hbar} E(t-t_0)\right) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{i}{\hbar} E_n(t-t_0)\right) & t < t_0 \\ 0 & t > t_0 \end{cases}$$

Diese Integrale lassen sich durch Kontourintegration lösen



5)



Für Hilbert Raum

$$\Theta(t-t_0) U_H(t, t_0) = -\frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} dE \exp\left(-\frac{i}{\hbar} E(t-t_0)\right) g_H(E)$$

||

$$g_H(E) = \sum_n \frac{|\langle n | \psi \rangle|^2}{E - E_n + i\epsilon} \quad (\text{retardiertes Green fkt})$$

$$\Rightarrow \Theta(t-t_0) \sum_n \exp\left(-\frac{i}{\hbar} E_n(t-t_0)\right) |\langle n | \psi \rangle|^2$$

$$g_H^+(E) = \frac{1}{E - H + i\epsilon} \quad (\text{retardiertes Green fkt})$$

Analog avancierte Greenfkt

$$g_H^-(E) = \frac{1}{E - H - i\epsilon}$$

und in Liouville Raum:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(t-t_0) &= \Theta(t-t_0) U(t-t_0) \\ &= \Theta(t-t_0) \exp\left(-\frac{i}{\hbar} H_- (t-t_0)\right) \end{aligned}$$

$$\mathcal{L}(w) = \frac{1}{\uparrow w - H_- + i\epsilon} \quad (\text{retardiert})$$

$$\mathcal{L}(t-t_0) = -\frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} dw \exp(-iw(t-t_0)) \mathcal{L}(w)$$

$$\mathcal{L}(w) = -i \int_{-\infty}^{\infty} dt \mathcal{L}(t-t_0) \exp[iw(t-t_0)]$$

FT der Greenfkt ist also  $\mathcal{L}(\omega)$

2. Fouriertransformation des ursprünglichen Diagrammerzeugenden  
Ausdruck

$$P^{(n)}(t) = \left(-\frac{i}{\hbar}\right)^n \int_{t_0}^t dt_n \int_{t_1}^{t_n} dt_{n-1} \dots \int_{t_0}^{t_2} dt_1$$

$$\text{tr}(\hat{\rho}^{(n)}(t) \mathcal{L}_{0,-}(t_1, t_n) (H_{1,L}(t_n) - H_{1,R}(t_n)) \mathcal{L}_{0,-}(t_n, t_{n-1}) (H_{1,L}(t_{n-1}) - H_{1,R}(t_{n-1})) \dots$$

$$t_0 \rightarrow -\infty \dots \mathcal{L}_{0,-}(t_2, t_1) (H_{1,L}(t_1) - H_{1,R}(t_1)) \mathcal{L}_{0,-}(t_1, t_0) \rho_0$$

$$P^{(n)}(t) = \left(-\frac{i}{\hbar}\right)^n \int_0^\infty dt_n \int_0^\infty dt_{n-1} \dots \int_0^\infty dt_1$$

$$\text{tr}(\hat{\rho}^{(n)}(t) \mathcal{L}_{0,-}(t_n) (H_{1,L}(t-t_n) - H_{1,R}(t-t_n)) \mathcal{L}_{0,-}(t_n, t_{n-1}) (H_{1,L}(t-t_n-t_{n-1}) - H_{1,R}(t-t_n-t_{n-1})) \dots$$

$$\dots \mathcal{L}_{0,-}(t_1) (H_{1,L}(t-t_1-t_{n-1}-\dots-t_1) - H_{1,R}(t-t_1-t_{n-1}-\dots-t_1)) \rho_0$$

Nun die Fourierdarstellung für  $H_{1,L}$  und  $H_{1,R}$  einsetzen

$$P^{(n)}(t) = \frac{1}{(2\pi\hbar)^n} \int d\omega_1 \int d\omega_2 \dots \int d\omega_n \left(-\frac{1}{\hbar}\right)^n$$

$$\text{tr}(\rho \mathcal{L}(\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n) (H_{1,L}(\omega_n) - H_{1,R}(\omega_n)) \mathcal{L}_{1,-}(\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_{n-1}) (H_{1,L}(\omega_{n-1}) - H_{1,R}(\omega_{n-1})) \dots \mathcal{L}(\omega_1) (H_{1,L}(\omega_1) - H_{1,R}(\omega_1)) \rho_0) \exp(-i\omega_s t)$$

$$\omega_s = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n$$

Summe der  $\omega$  Argumente ist eine direkte Folge der Zeitordnung

(Skizze zu verstehen:)

$$H_{1,2}(t-t_0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} d\omega H_{1,+}(\omega) e^{i\omega(t-t_0)} + \text{Rechen}$$

Regeln formulieren!

1)  $\mu$  ist jetzt  $-H_{1,2}(\omega_i)$  z.B.  $(\mu \cdot E(\omega))_R$   
 $\nu$  ist jetzt  $H_{1,2}(\omega_i)$  ↑ Zeitpunkt dem Ordnung der  $\omega$

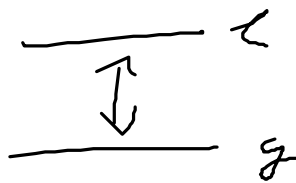
2)  $\delta(\omega)$  Argument ist die Summe aller Frequenzen der vorherigen  $\omega$

3)  $N$ -te Ordnung  $\frac{1}{(2\pi)^n} \left(-\frac{1}{\hbar}\right)^n$  Verfaktor  $+ e^{-i\omega t}$

4) Richtung des Pfeil (→) kann bedeutet positive oder negative Frequenz des  $E$ -Felds

Beispiel

Einfluss Beispiel  
ZWS



unter  $\omega$  Anregung  $E(\omega) = E \delta(\omega - \omega_0) + \dots$   
 Absorption expand.

Diagramm (mit RWA und Dispersionswahlregeln)



$$\begin{aligned}
 \mathcal{P}^{(1)}(t) &= \frac{1}{(2\pi i)} \int d\omega_1 g(\omega_1) \overline{F(\omega)} \\
 &= \frac{1}{2\pi i} \frac{1}{\omega_e - \omega_{eg} + i\eta} e^{-i\omega_e t} \\
 &\quad + c.c.
 \end{aligned}$$