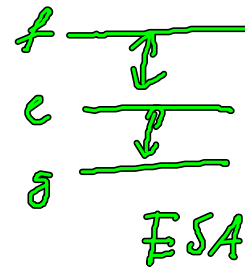


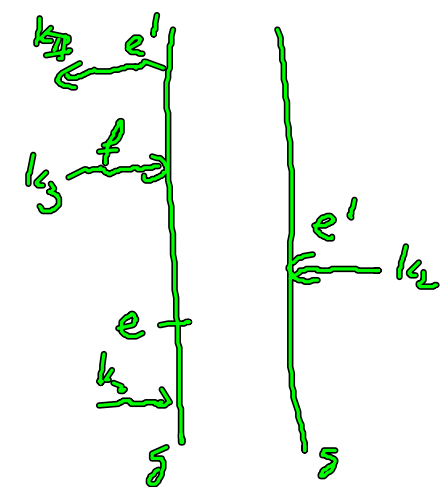
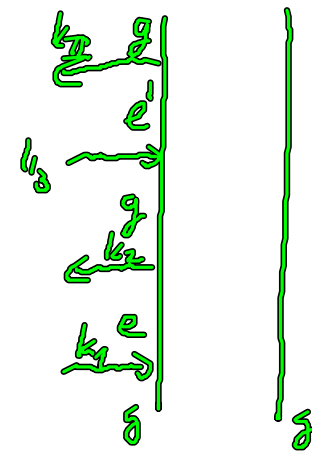
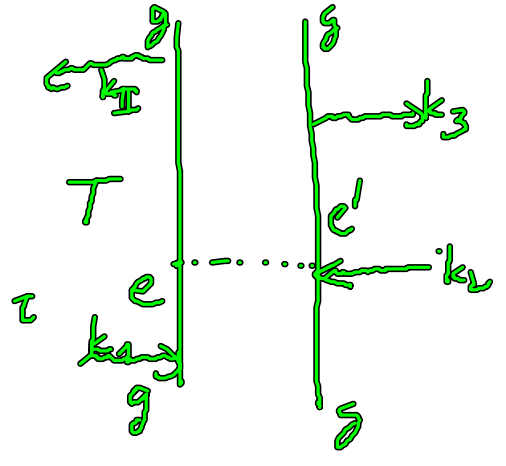
(b)  $k_{II}$  - Inverse Photoecho  
 $k_{II} = k_1 - k_2 + k_3$



ESE

SSB

ESA



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

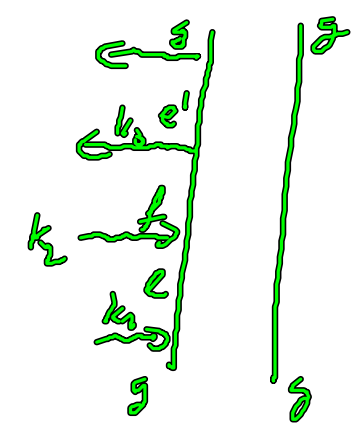
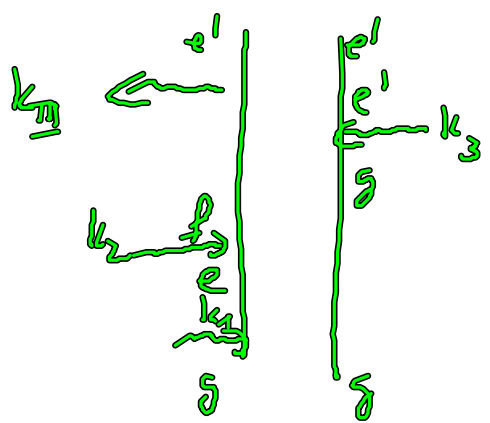
(c)  $k_{III}$  - Double Quantum Coherence

Bemerkung dieses Signal gibt es nicht für zwei Niveausystem!

Bei den Pfaden  $k_{III} = k_1 + k_2 - k_3$

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 verblockt ist.

(3) Verschwindet bei ungekoppelter ZNS (oder kann  
 Oszillator) durch destruktive Quaterinterferenz  
 von ESA<sub>1</sub> und ESA<sub>2</sub>

Signal:

$$S_{\text{III}}^{\text{ESA}_1}(\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3) = - \left(-\frac{1}{\hbar^3}\right) \sum_{\epsilon, \epsilon'} E_s \mu_{\epsilon, \epsilon'} E_3 \mu_{\epsilon, \epsilon'} E_2 \mu_{\epsilon, \epsilon'} E_1 \mu_{\epsilon, \epsilon'}$$

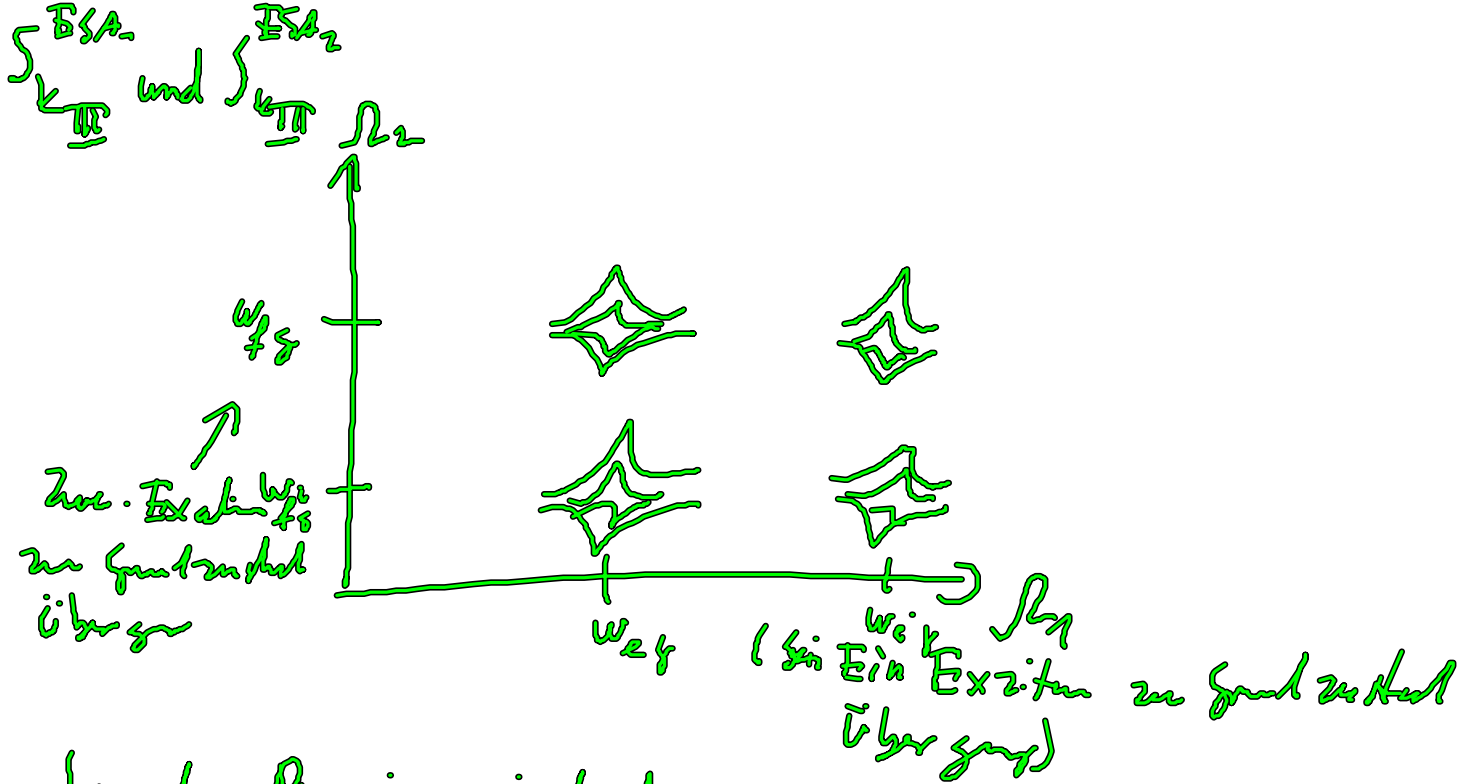
$$\frac{1}{\Omega_3 - \omega_{\epsilon, \epsilon'} + i\gamma_{\epsilon, \epsilon'}} \quad \frac{1}{\Omega_2 - \omega_{\epsilon, \epsilon'} + i\gamma_{\epsilon, \epsilon'}} \quad \frac{1}{\Omega_1 - \omega_{\epsilon, \epsilon'} + i\gamma_{\epsilon, \epsilon'}}$$

→  
 trivialer simplax  
 über Frequenz

$$S_{\text{III}}^{\text{ESA}_2}(\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3) = \left(-\frac{1}{\hbar^3}\right) \sum_{\epsilon, \epsilon'} E_s \mu_{\epsilon, \epsilon'} E_3 \mu_{\epsilon, \epsilon'} E_2 \mu_{\epsilon, \epsilon'} E_1 \mu_{\epsilon, \epsilon'}$$

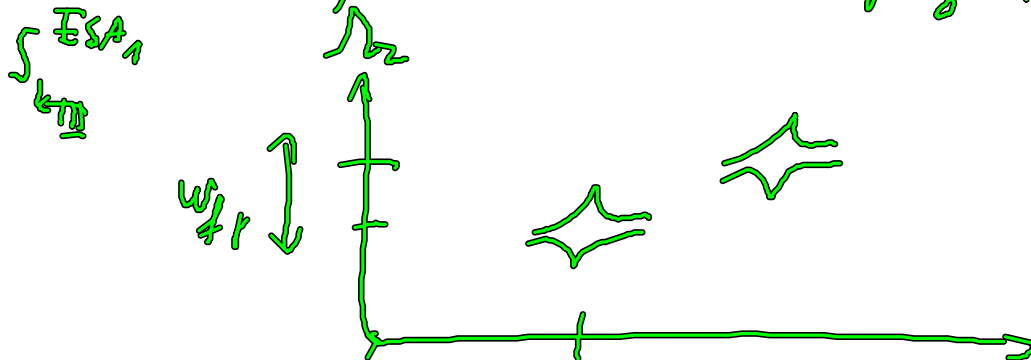
$$\frac{1}{\Omega_3 - \omega_{\epsilon, \epsilon'} + i\gamma_{\epsilon, \epsilon'}} \quad \frac{1}{\Omega_2 - \omega_{\epsilon, \epsilon'} + i\gamma_{\epsilon, \epsilon'}} \quad \frac{1}{\Omega_1 - \omega_{\epsilon, \epsilon'} + i\gamma_{\epsilon, \epsilon'}}$$

Analyse

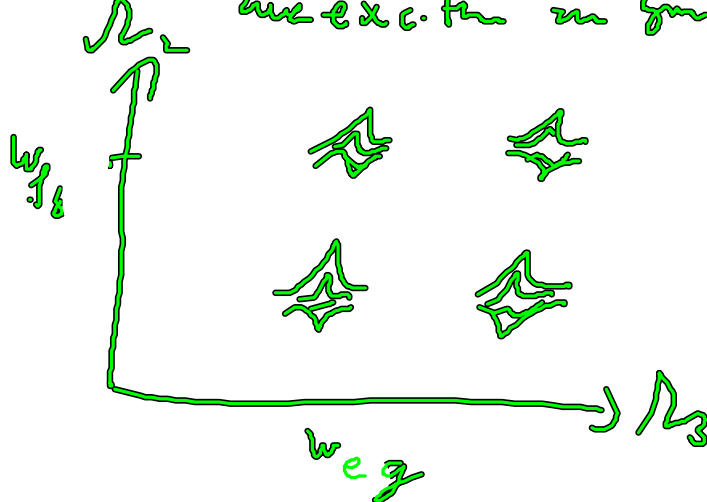


In der Praxis wird der meist nicht, da

$\Omega_3$  einfach durch Sattelkop gemessen werden kann!



Zwe. exzitation 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. Geprüft im Frequenzraum

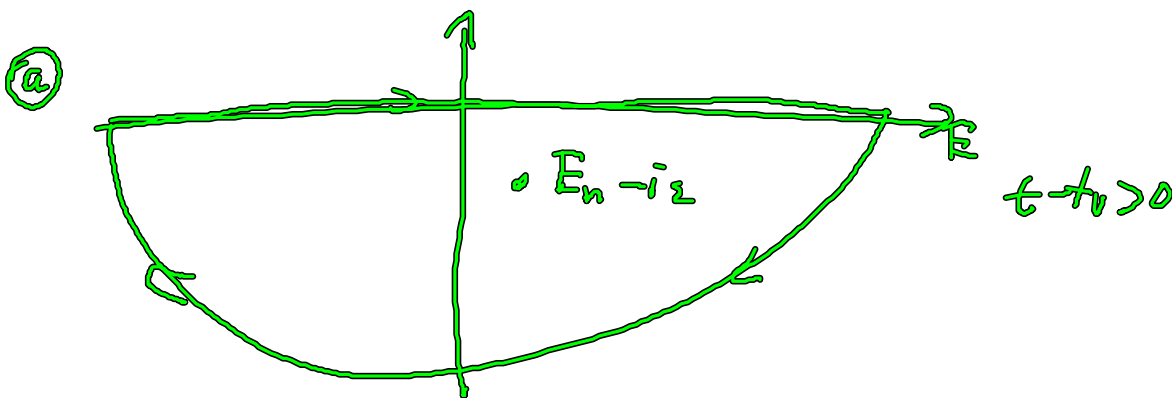
Zunächst Hilfsintegral  $\epsilon > 0$

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

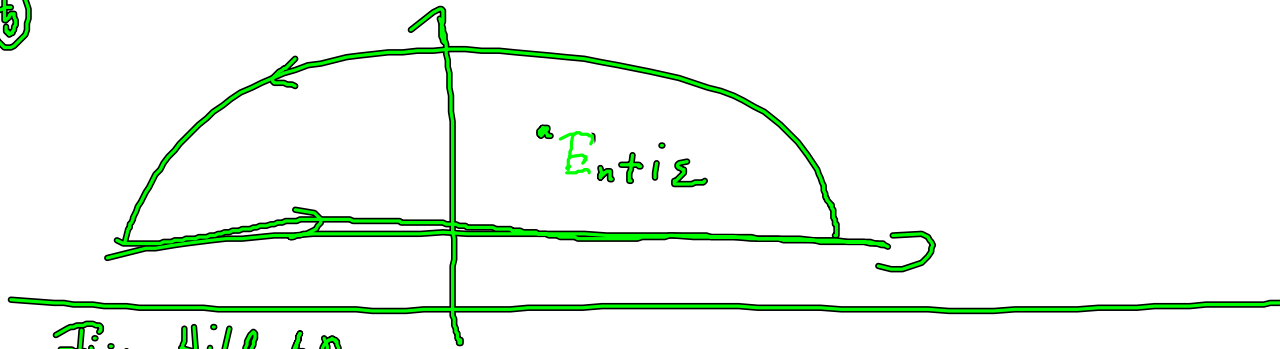
und

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

Diese Integrale lassen sich durch Kontourintegration lösen



③



Für Hilbert Raum

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

||

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

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

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

Analog avancierte Green fkt

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

und in Liouville Raum:

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

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

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

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

FT der Green's-Funktion ist also  $\mathcal{F}(w)$

2. Fouriertransformation des ursprünglichen Diagramm-erzeugenden Ausdrucks

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

$$\text{tr} \left[ P^{(n)} \mathcal{F}_{q-}(t_1, t_n) (H_{n,L}(t_n) - H_{n,R}(t_n)) \mathcal{F}_{q,-}(t_n, t_{n-1}) (H_{n-1,L}(t_{n-1}) - H_{n-1,R}(t_{n-1})) \dots \dots \dots \right]$$

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

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

$$\text{tr} \left[ P^{(n)}(t) U_{q,-}(t_n) (H_{n,L}(t-t_n) - H_{n,R}(t-t_n)) U_{q,-}(t_n, t_{n-1}) (H_{n-1,L}(t-t_n-t_{n-1}) - H_{n-1,R}(t-t_n-t_{n-1})) \dots \dots \dots \right]$$

$$\dots \dots \dots U_{q,-}(t_1) (H_{1,L}(t-t_1-t_{n-1}-\dots-t_1) - H_{1,R}(t-t_1-t_{n-1}-\dots-t_1)) \rho_0$$

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

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

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

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

Summe der  $\omega$  Argumente ist eine direkte Folge der 2. Ordnung

(Skizze zu verstehen:)

$$H_{1,2}(t-t_0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} d\omega \tilde{H}_{1,2}(\omega) e^{i\omega(t-t_0)}$$

+ Residuen

Regeln formulieren!

1) wenn ist jetzt  $-H_{1,2}(\omega_1)$  z.B.  $(\mu \cdot E(\omega))_R$   
 und ist jetzt  $H_{1,2}(\omega_1)$  ↑ Zeitpunkt bzw. Ordnung des  $\omega$

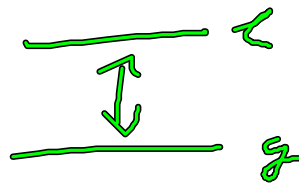
2)  $|| \stackrel{!}{=} \delta(\omega)$  Argument ist die Summe aller Frequenzen der vorherigen  $\omega$

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

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

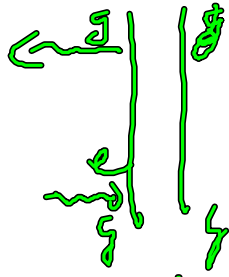
Beispiel

Einfaches Beispiel  
z.B.



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

Diagramm (mit RWA und Dispersionsrelation)



$$\begin{aligned}
 \varphi^{(1)}(t) &= \frac{1}{(2\pi)} \int d\omega_1 g(\omega_1) \widetilde{F}(\omega) \\
 &= \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\omega_2 - \omega_3 + i\eta} e^{-i\omega_2 t} \\
 &\quad + c.c.
 \end{aligned}$$