

Wdlt

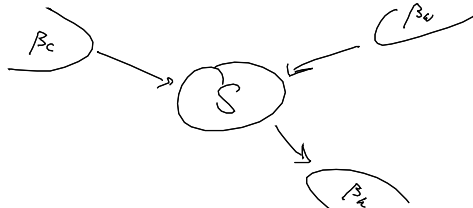
phononen-gekoppeltes Tunneln



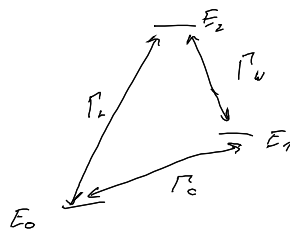
Effizienz für Umwandlung von Wärme in elektr. Arbeit  $P = -I_a (V_L - V_R)$   
 elektr. Leistung

$$\eta \leq \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$$

kann man mit 3 Terminals das kälteste Reservoir links (keine Energie-Abgabe)



=> man braucht mindestens 3 Level in S



brauchen selektives Treiben von Übergängen

+ SD's gekoppelt

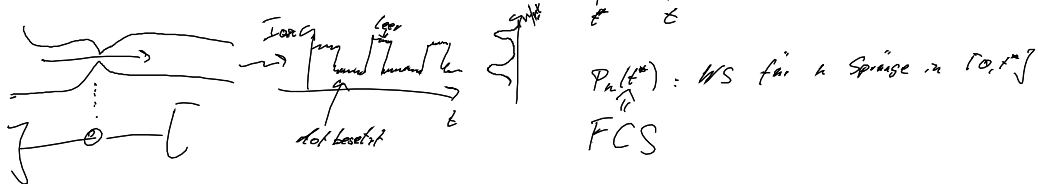
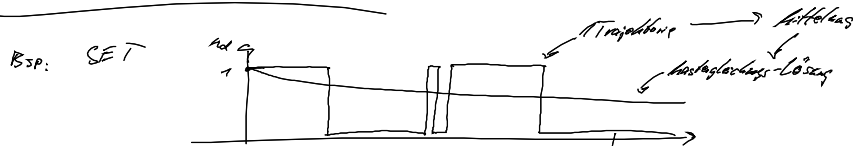
$$W_{ij}^{(n)} = [I_{E_i \times E_0} + E_0 \times E_n] \otimes B_c$$

$$B_c = \sum_n (h_{c,n} \text{ etc.})$$

soll druckscheitliche sein als  
 geht wenn  $\beta_h (E_1 - E_0) < \beta_c (E_1 - E_0)$

$$\Rightarrow \overline{I_E^{(c)}} > 0$$

3. Full Counting Statistics (FCS)



3.1. Physiko-chemische Einführung von Zählfeldern

3.1.1. Nur ein Sprungtyp

$$Z = Z_0 + Z_1$$

kein Sprung      bedroht Sprung

$$\dot{\rho} = Z \rho$$

Bsp: SET #: Sprünge über Late Barriere

$$Z_1 = \begin{pmatrix} 0 & \Gamma_e (1 - k_e) \\ \Gamma_e k_e & 0 \end{pmatrix}$$

$$Z_0 = \begin{pmatrix} -\Gamma_e k_e - \Gamma_e k_e & \Gamma_e (1 - k_e) \\ + \Gamma_e k_e & -\Gamma_e (1 - k_e) - \Gamma_e (1 - k_e) \end{pmatrix}$$

=> Wie bekommt man die Anzahl der Sprünge in  $[0, t]$

propagator  $\mathcal{P}(t) = e^{Z \cdot t}$

$$\mathcal{P}(t) = e^{Z \cdot t} \rho_0 = \mathcal{P}(t) \rho_0$$

$$\varphi(t) = e^{z_0 t} \tilde{\varphi}(t)$$

$$\cancel{z_0} \varphi + e^{z_0 t} \tilde{\varphi}' = \cancel{z_0} \varphi + z_1 e^{z_0 t} \tilde{\varphi}$$

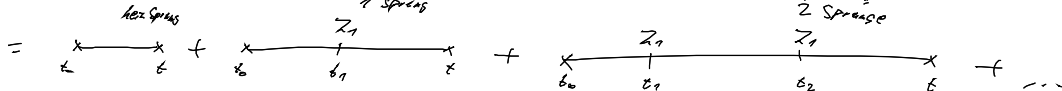
$$\leadsto \tilde{\varphi}' = e^{-z_0 t} z_1 e^{z_0 t} \tilde{\varphi}$$

$$\int_{t_0}^t : \tilde{\varphi}(t) = \varphi_0 + \int_{t_0}^t e^{-z_0 t_1} z_1 e^{z_0 t_1} \tilde{\varphi}(t_1) dt_1$$

$$\tilde{\varphi}(t) = \varphi_0 + \int_{t_0}^t e^{-z_0 t_1} z_1 e^{z_0 t_1} \varphi_0 + \int_{t_0}^t dt_1 \int_{t_0}^{t_1} e^{-z_0 t_1} z_1 e^{z_0 t_1} e^{-z_0 t_2} z_1 e^{z_0 t_2} \tilde{\varphi}(t_2)$$

$$= \left[ \varphi_0 + \int_{t_0}^t e^{-z_0 t_1} z_1 e^{z_0 t_1} + \int_{t_0}^t dt_1 \int_{t_0}^{t_1} e^{-z_0 t_1} z_1 e^{z_0 t_1} e^{-z_0 t_2} z_1 e^{z_0 t_2} + \dots \right] \varphi_0$$

$$\varphi(t) = \left[ e^{z_0 t} + \int_{t_0}^t e^{z_0(t-t_1)} z_1 e^{z_0(t_1-t_0)} + \int_{t_0}^t dt_1 \int_{t_0}^{t_1} e^{z_0(t-t_1)} z_1 e^{z_0(t_1-t_2)} z_1 e^{z_0(t_2-t_0)} + \dots \right] \varphi_0$$



$$\Rightarrow P_n(t) = \text{Tr} \left\{ \int_{t_0}^t dt_1 \dots \int_{t_0}^{t_{n-1}} e^{z_0(t-t_n)} z_1 e^{z_0(t_n-t_{n-1})} \dots e^{z_0(t_2-t_1)} z_1 e^{z_0(t_1-t_0)} \varphi_0 \right\}$$

konstant & -wert über

Struktur einer Faltung:  $\dot{\varphi} = z \varphi \rightarrow$  Laplace-Transform  $\varphi(z) = \int_0^\infty \varphi(t) e^{-z t} dt$

$$z \cdot \varphi(z) - \varphi_0 = z \varphi(z)$$

$$[z \cdot \mathbb{1} - z] \varphi(z) = \varphi_0 \quad \varphi(z) = [z \cdot \mathbb{1} - z]^{-1} \varphi_0$$

$$\leadsto \varphi(z) = [z \cdot \mathbb{1} - z]^{-1} \varphi_0$$

$$\boxed{\varphi_0(z) = [z \cdot \mathbb{1} - z_0]^{-1}}$$

$$\varphi(z) = [z \cdot \mathbb{1} - z_0 - z_1]^{-1}$$

$$= [(z \cdot \mathbb{1} - z_0) (\mathbb{1} - (z \cdot \mathbb{1} - z_0)^{-1} z_1)]^{-1}$$

$$= [\mathbb{1} - \varphi_0(z) z_1]^{-1} \cdot \varphi_0(z)$$

$$= \sum_{k=0}^{\infty} [\varphi_0(z) \cdot z_1]^k \varphi_0(z) = \varphi_0(z) + \varphi_0(z) z_1 \varphi_0(z) + \dots$$

$$(A \cdot B)^{-1} = B^{-1} A^{-1}$$

LT von  $P_n(t)$   $P_n(z) = \int_0^\infty P_n(t) e^{-z t} dt$

$$= \text{Tr} \left\{ [\varphi_0(z) z_1]^k \varphi_0(z) \varphi_0 \right\}$$

Wie primär von der gewählten Projektion heraus

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} e^{+iz} e^{-iz} dx = \delta_{nn}$$

$$Z_1 \rightarrow Z_1 \cdot e^{+iz} \quad Z \rightarrow Z(z) = Z_0 + e^{+iz} Z_1$$

$$P_n(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} \underbrace{\text{Tr} \{ e^{Z(z) \cdot t} \rho_0 \}}_{M(z,t)} e^{-iz} dz$$

$z$  heißt *zählfeld*

Ergebnis ist Beschreibung durch Moment oder Korrelanten

$$M(z,t) = \text{Tr} \{ e^{Z(z) \cdot t} \rho_0 \} = \sum_n e^{-izn} P_n(t)$$

$$\langle n^k \rangle = \sum_n n^k P_n(t) = (-i \partial_z)^k M(z,t) \Big|_{z=0}$$

$k$ -tes Moment wird durch Ableiten erhalten

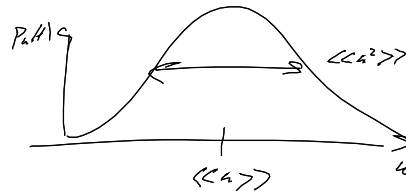
$$\text{LT: } M(z,t) = \text{Tr} \{ [zQ - Z(z)]^{-1} \rho_0 \}$$

$$C(z,t) = \ln M(z,t) = \ln \text{Tr} \{ e^{Z(z) \cdot t} \rho_0 \}$$

Korrelator-generierende Fkt

$$\langle\langle n^k \rangle\rangle = (-i \partial_z)^k C(z,t) \Big|_{z=0}$$

- $\langle\langle n \rangle\rangle = \langle n \rangle$
  - $\langle\langle n^2 \rangle\rangle = \langle n^2 \rangle - \langle n \rangle^2$
  - $\langle\langle n^3 \rangle\rangle = \langle n^3 \rangle - 3\langle n \rangle \langle n^2 \rangle + 2\langle n \rangle^3$
- ↑  
Schiefe / Skewness



• Bsp: SET: zähle Gesamtzahl der Sprünge rein

$$Z(z) = \begin{pmatrix} -\Gamma_L \rho_L - \Gamma_R \rho_R & +\Gamma_L(1-\rho_L) + \Gamma_R(1-\rho_R) \\ +\Gamma_L \rho_L + \Gamma_R \rho_R & -\Gamma_L(1-\rho_L) - \Gamma_R(1-\rho_R) \end{pmatrix} e^{+iz}$$

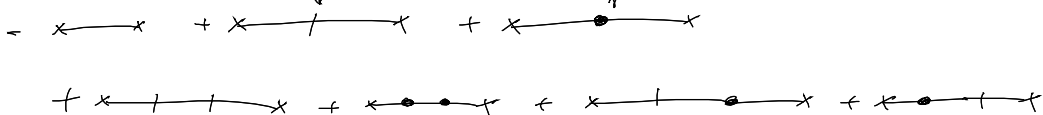
### 3.1.2. Verschiedene Sprungtypen

$$P(z) = \sum_{n=0}^{\infty} [P_0(z) Z_1]^n P_0(z) \quad P_0(z) = \sum_{n=0}^{\infty} [P_{\infty}(z) Z_2]^n P_{\infty}(z)$$

↑  
erhält auch Sprünge Typ 2

↑  
Sprung Typ 1

$$P(z) = P_{\infty}(z) + P_{\infty}(z) Z_1 P_{\infty}(z) + P_{\infty}(z) Z_2 P_{\infty}(z) + \dots$$



t ...

$$z_1 \rightarrow z_1 e^{+iz} \quad z_2 \rightarrow z_2 e^{-iz}$$

$$\leadsto M(z, \xi, t) = T, \left\{ e^{[z_0 + z_1 e^{+iz} + z_2 e^{-iz}]t} \right\}_{\rho_0}$$

### 3.1.3. Netto-Transfer

$$P_n(t) = \sum_{n', n''} P_{n', n''}(t) \delta_{n', n, n''}$$

↑  
Netto-Transfer

Ersetzung  $z_1 \rightarrow z_1 e^{+iz}$   $z_2 \rightarrow z_2 e^{-iz}$  macht den Job

$$Z(z) = z_0 + e^{+iz} z_+ + e^{-iz} z_-$$

BSP: SET: WS-Verteilung für Netto-Transfer von n Teilchen aus der linken Bad

$$Z(z) = \begin{pmatrix} -\Gamma_L f_L - \Gamma_R f_R & +\Gamma_L(t-f_L)e^{-iz} + \Gamma_R(t-f_R) \\ +\Gamma_L f_L e^{+iz} + \Gamma_R f_R & -\Gamma_L(t-f_L) - \Gamma_R(t-f_R) \end{pmatrix}$$

### 3.1.4. Langzeit-Dynamik

$$C(z, t) \approx \lambda_{\max}(z) \cdot t$$

$\lambda_{\max}(z)$  ist der EV von  $Z(z)$  mit dem größten Realteil

$$\lambda_{\max}(0) = 0 \quad \Re(\lambda_i \neq \lambda_{\max}) \leq 0$$

$$M(z, t) = T, \left\{ e^{Z(z)t} \right\}_{\rho_0} \stackrel{t \rightarrow \infty}{\approx} T, \left\{ Q(z) \begin{pmatrix} e^{\lambda_{\max}(z)t} & & & \\ & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix} Q^{-1}(z) \right\}_{\rho_0}$$

← Perron

$$Z(z) = Q(z) Z_f(z) Q^{-1}(z)$$

↑  
Jordan-Block-Form

$$\begin{pmatrix} \lambda_{\max}(z) & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & \lambda_n \end{pmatrix}$$

$$\leadsto C(z, t) = \ln M(z, t) = \lambda_{\max}(z) \cdot t + \ln \hat{C}(z) \leadsto \approx \lambda_{\max}(z) \cdot t$$

$$\text{Signal: } \bar{I} = \frac{d}{dt} \langle n \rangle \approx (-i) \partial_z \lambda_{\max}(z) \Big|_{z=0}$$

$$\text{Noise: } S = \frac{d}{dt} [\langle n^2 \rangle - \langle n \rangle^2] \approx (-i \partial_z)^2 \lambda_{\max}(z) \Big|_{z=0}$$