

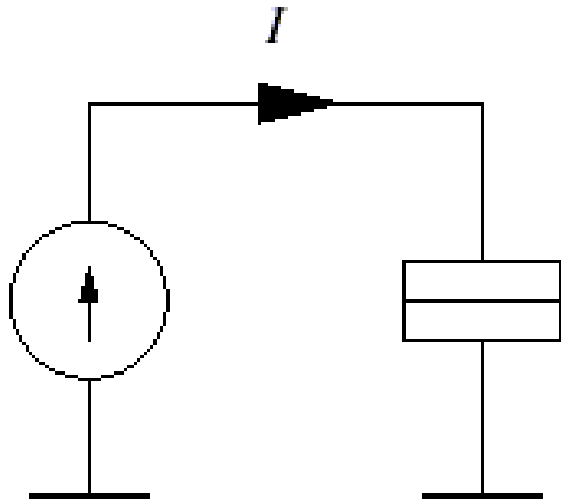
# Кулоновская блокада туннелирования. Коррелированное туннелирование одиночных электронов

Шуитов Егор Николаевич 207

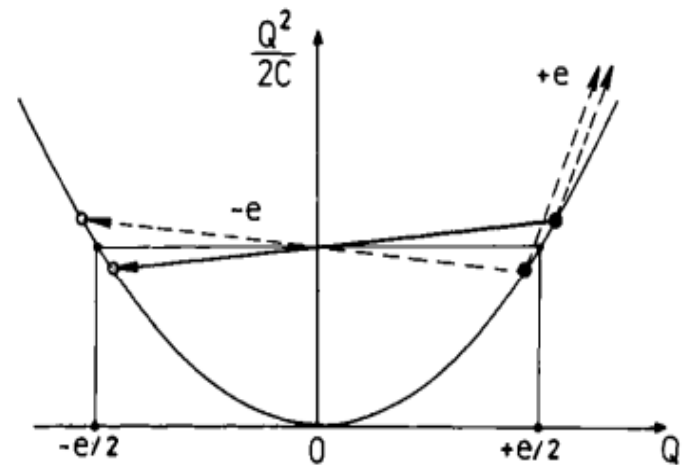
Научный руководитель:

д.ф.-м.н. Корнев Виктор Константинович

# Кулоновская блокада туннелирования



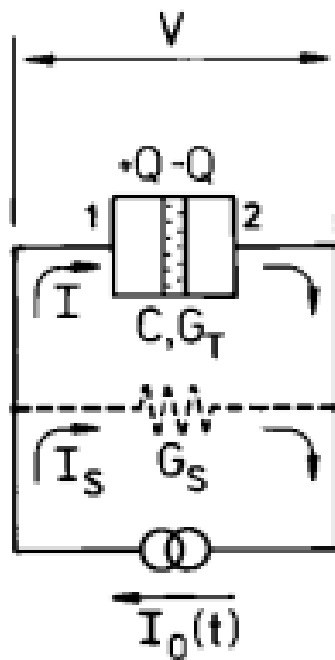
Туннельный конденсатор



Для наблюдения эффекта необходимо соблюдение двух условий:

$$E_c > kT \qquad R > R_q, R_q = \frac{h}{2e^2} \approx 6,4 \text{ КОМ}$$

# 0D-модель



(a)

$$H = \frac{Q^2}{2C} + H_1\{k_1\} + H_2\{k_2\} + H_T + U_S\{k_S\} - I\Phi,$$

где  $Q$  – суммарный электрический заряд перехода как конденсатора;  $H_1$  и  $H_2$  описывают внутренние энергии электродов перехода и являются функциями степеней свободы  $\{k_1\}$  и  $\{k_2\}$ ;  $H_T$  – туннельный Гамильтониан;  $U_S$  – оператор шунтовой энергии, зависящий только от набора своих внутренних координат  $\{k_S\}$ ;  $I\Phi$  – стандартный член Гиббса, описывающий действие обобщенной силы тока  $I$  на соответствующую обобщенную координату.

Уравнение Фоккера – Планка для дифференциального уравнения, содержащего случайную дельта-коррелированную величину

$$\dot{x} = a(x) + b(x) \cdot \xi(t), \quad \text{где} \quad \bar{\xi} = 0, \quad \overline{\xi \cdot \xi_\tau} = D \cdot \delta(\tau)$$

$$\text{где} \quad \begin{array}{l} \text{ур. Ф.-} \\ \text{П.:} \end{array} \quad \frac{\partial \sigma}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} (k_1 \sigma) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} (k_2 \sigma),$$

Уравнение заряда емкости с шунтом

$$Q = I_0(t) - I_S - (I_S)_f = I_0(t) - \frac{G_s}{C} Q - G_s V_f(t) = a(Q) + b(Q) * V_f$$

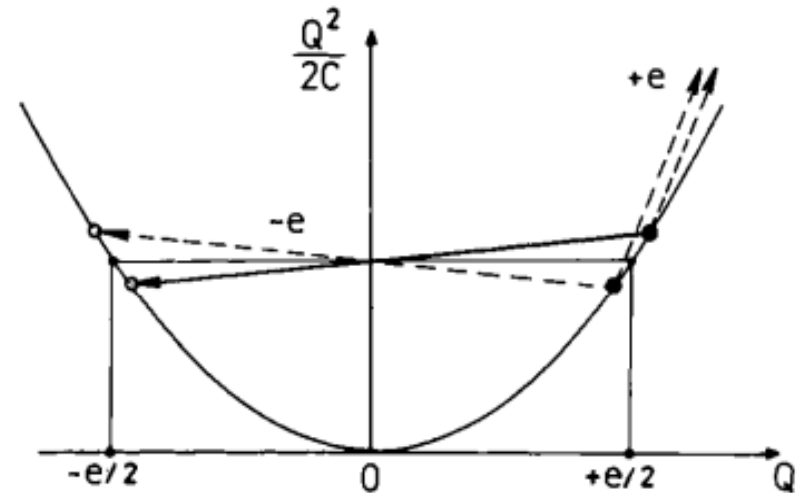
# Одноэлектронное туннелирование и SET-колебания

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = -I_0(t) \frac{\partial \sigma}{\partial Q} + \frac{G_S}{C} \frac{\partial}{\partial Q} \left( \sigma Q + CT \frac{\partial \sigma}{\partial Q} \right) + F_T,$$

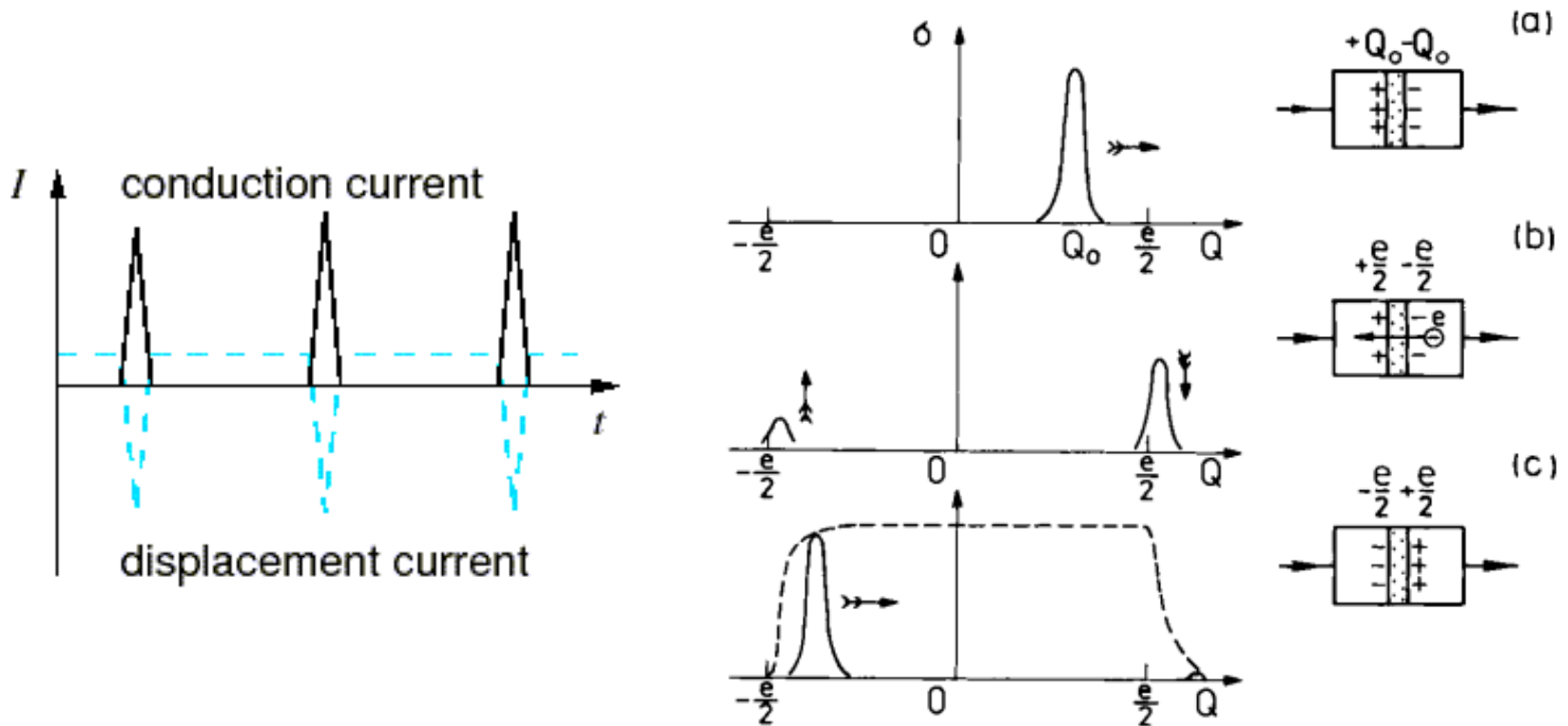
$$F_T(Q) \equiv \Gamma_T^+(Q - e)\sigma(Q - e) + \Gamma_T^-(Q + e)\sigma(Q + e) - [\Gamma_T^+(Q) + \Gamma_T^-(Q)]\sigma(Q),$$

$$\Gamma_T^\pm(Q) \equiv \frac{1}{e} I_T \left( \frac{\Delta \mathcal{G}^\pm}{e} \right) \left[ 1 - \exp \left( - \frac{\Delta \mathcal{G}^\pm}{T} \right) \right]^{-1},$$

$$\Delta \mathcal{G}^\pm = \frac{Q^2}{2C} - \frac{(Q \pm e)^2}{2C} = \mp \frac{e}{C} \left( Q \pm \frac{e}{2} \right),$$



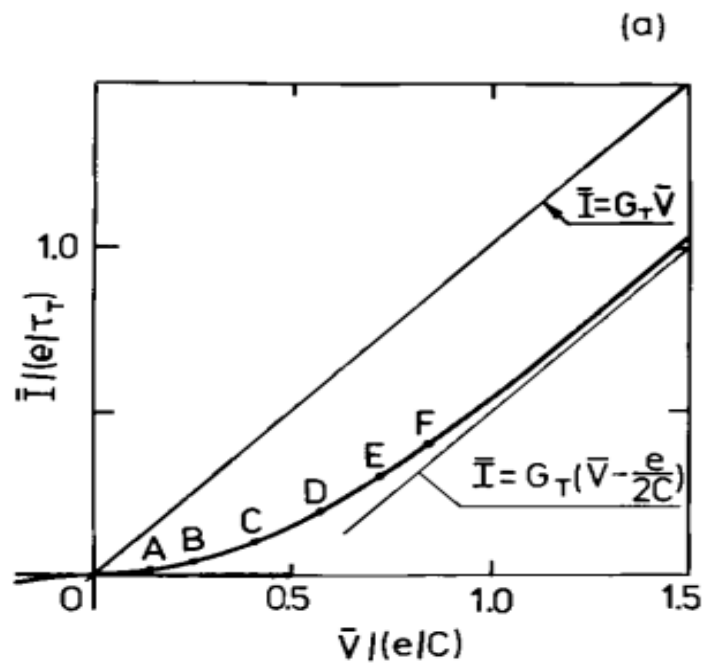
Если  $Q$  находится в пределах кулоновской блокады, любое событие туннелирования приведет к увеличению энергии и, следовательно, невозможно при  $T \rightarrow 0$



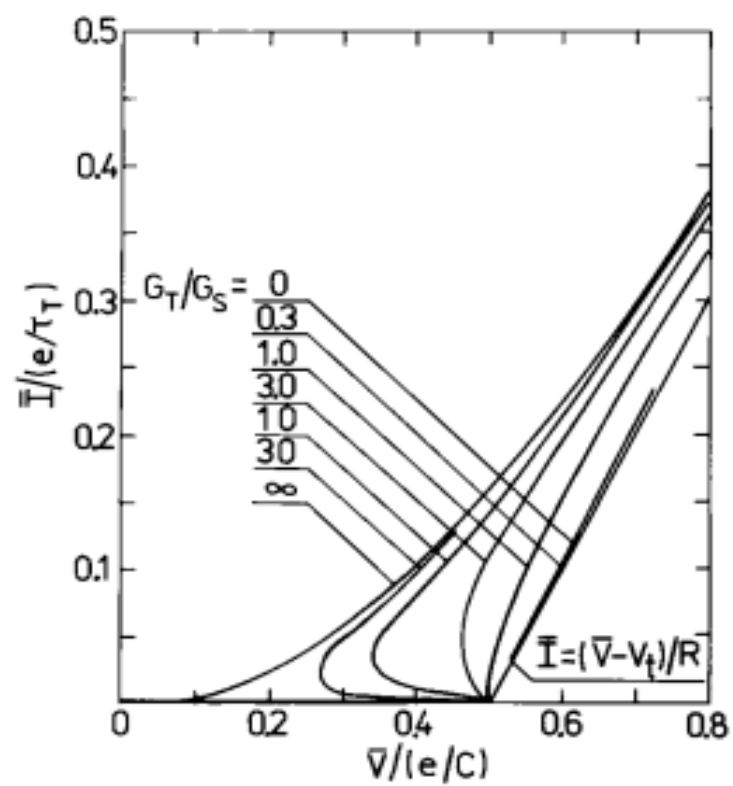
Физически это соответствует периодическому туннелированию одиночных электронов, перезаряжающих переход со средней частотой

$$f_s = \frac{1}{e} (I_0 - \bar{V} G_s) = \frac{1}{e} \bar{I}.$$

$$\bar{V} = \frac{e}{C} \left( \frac{\pi \bar{I} \tau_T}{2e} \right)^{1/2}, \quad \text{for } \bar{I} \lesssim 0.1 \frac{e}{\tau_T},$$



ВAX перехода ( $G_s = 0$ )



ВAX перехода ( $G_S \neq 0$ )



## Одноэлектронный транзистор

