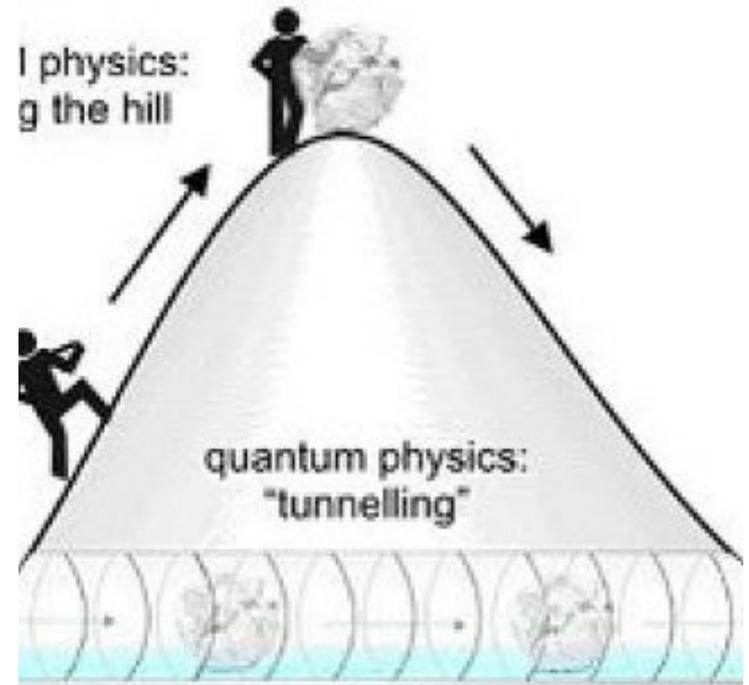
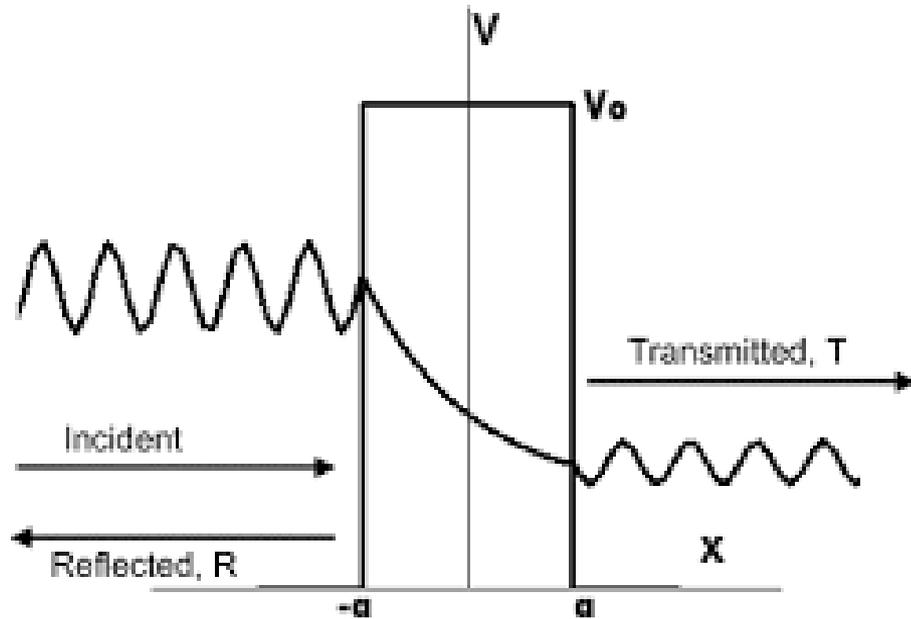
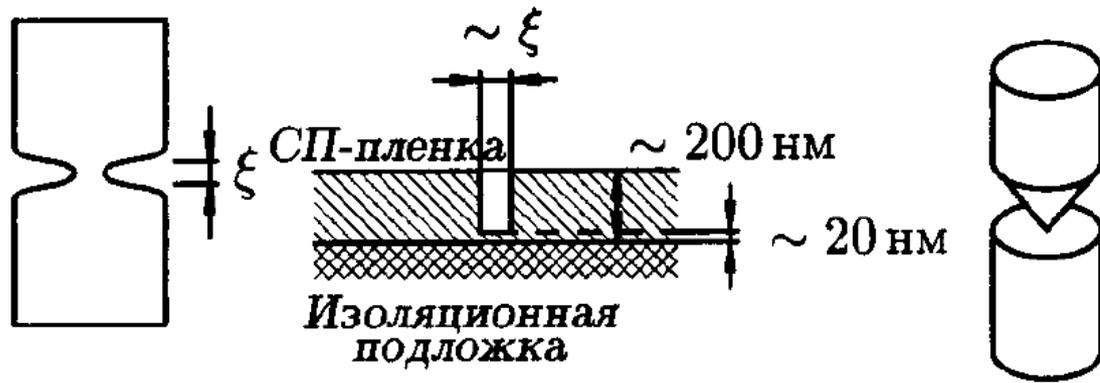
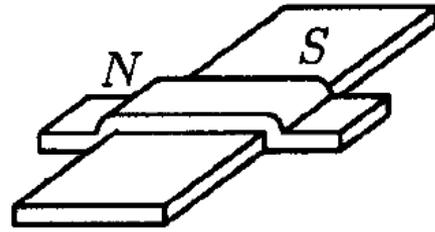
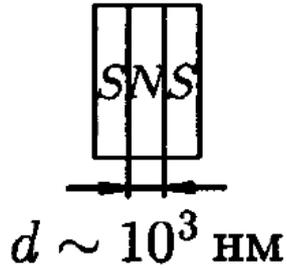
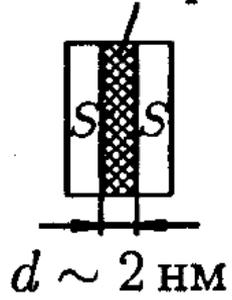


Туннелирование в квантовой механике

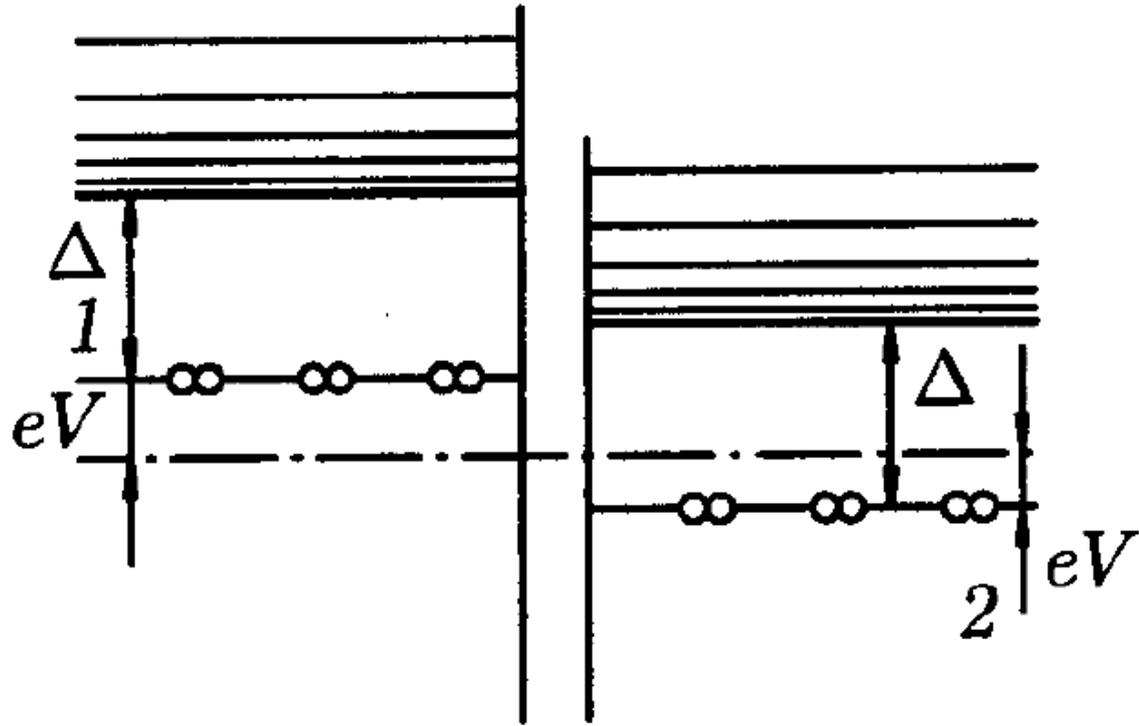


Туннельные контакты между сверхпроводниками.

Изолятор



Динамика туннелирования.



$$\psi_1 = \sqrt{n_s} \exp(i\theta_1)$$

$$\psi_2 = \sqrt{n_s} \exp(i\theta_2)$$

$$\varphi = \theta_2 - \theta_1$$

$$i\hbar \frac{d\psi_1}{dt} = eV\psi_1 + K\psi_2$$

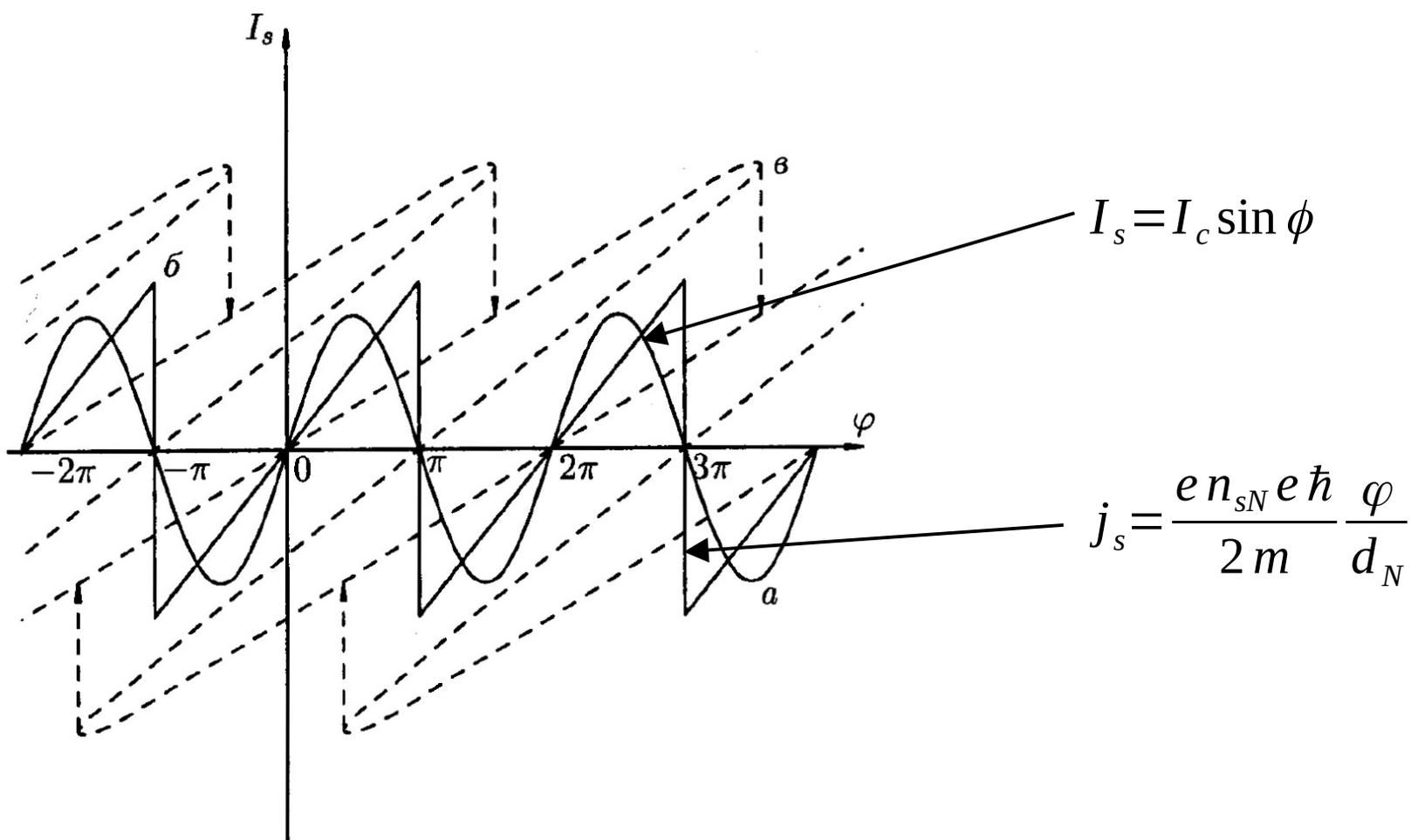
$$i\hbar \frac{d\psi_2}{dt} = -eV\psi_2 + K\psi_1$$

$$\frac{dn_s}{dt} = \frac{2Kn_s}{\hbar} \sin \varphi$$

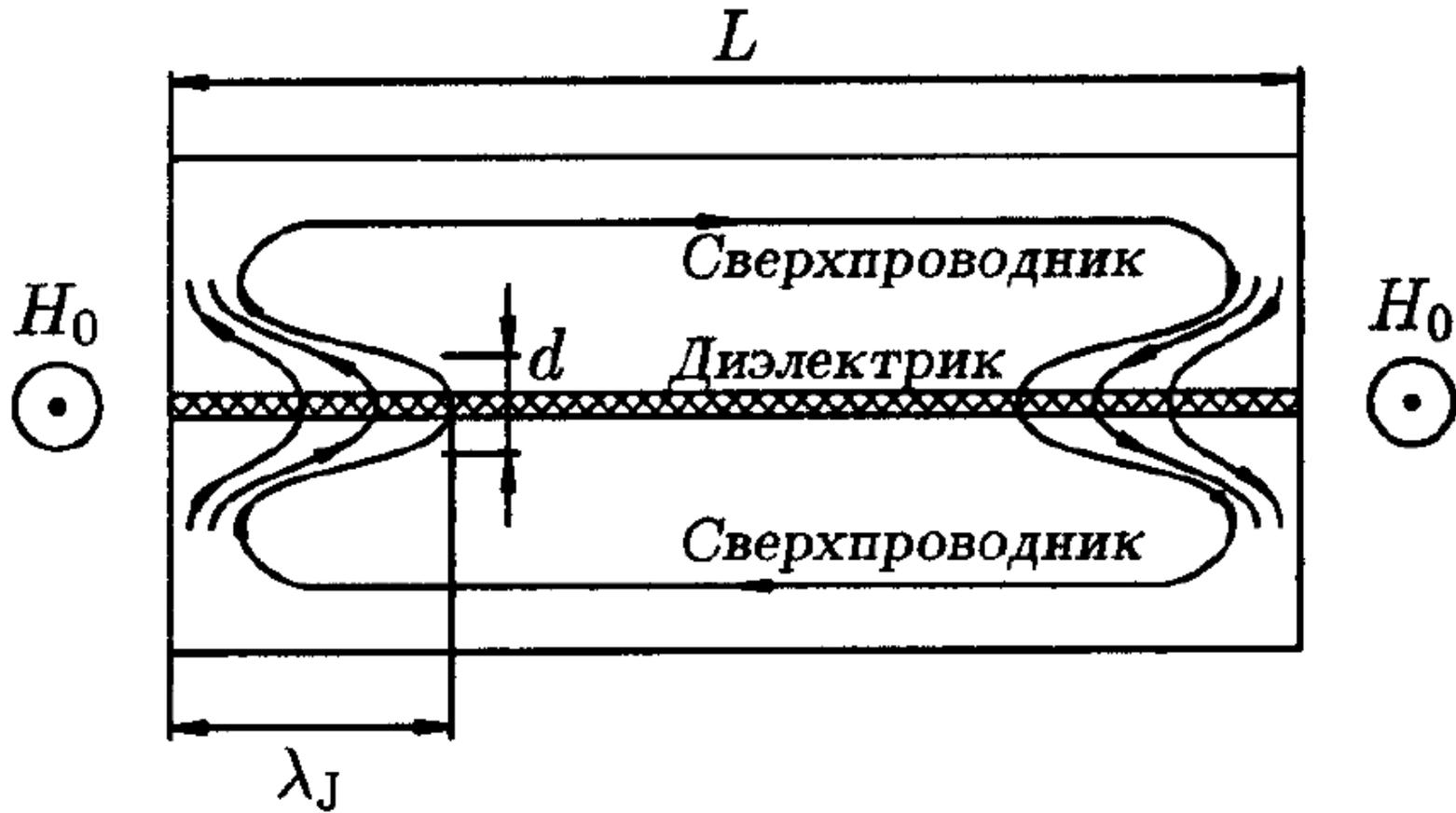
$$\frac{d\theta_1}{dt} = -\frac{K}{\hbar} \cos \varphi - \frac{eV}{\hbar}$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = -\frac{K}{\hbar} \cos \varphi + \frac{eV}{\hbar}$$

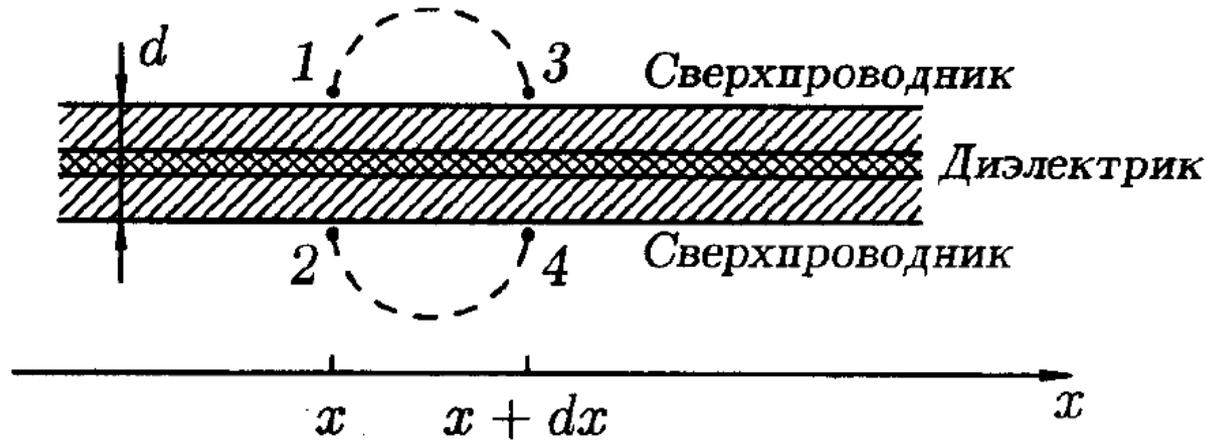
Стационарный эффект Джозефсона. Сверхпроводящий ток и разность фаз волновых функций сверхпроводников



Туннельный контакт в магнитном поле.



Проникновение магнитного поля в туннельный контакт.



$$\hbar \nabla \theta = 2m \vec{v}_s + \frac{2e}{c} \vec{A}$$

$$H = \frac{\Phi_0}{2\pi d} \frac{d\varphi}{dx}$$

$$\hbar(\theta_3 - \theta_1 + \theta_2 - \theta_4) = \frac{2e}{c} d\Phi$$

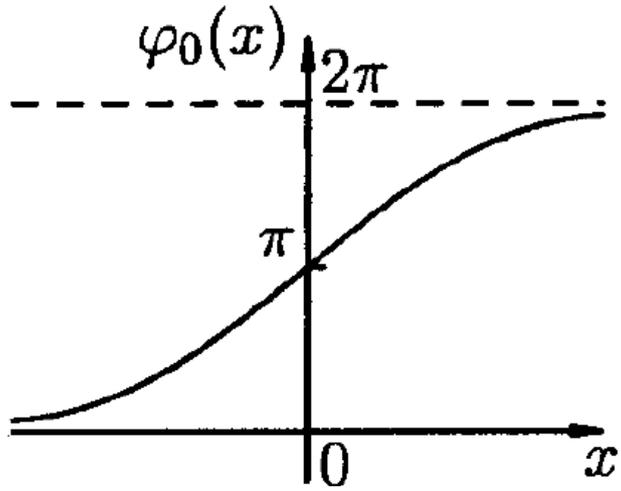
$$j_s = \frac{c}{4\pi} \frac{dH}{dx} = j_c \sin \varphi$$

$$\hbar(\varphi(x+dx) - \varphi(x)) = \frac{2e}{c} d\Phi$$

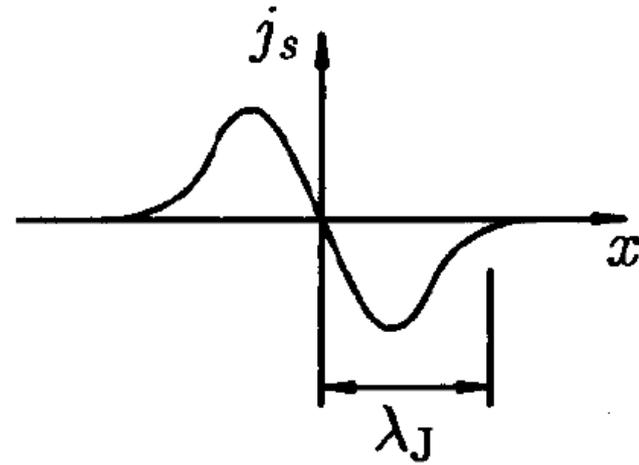
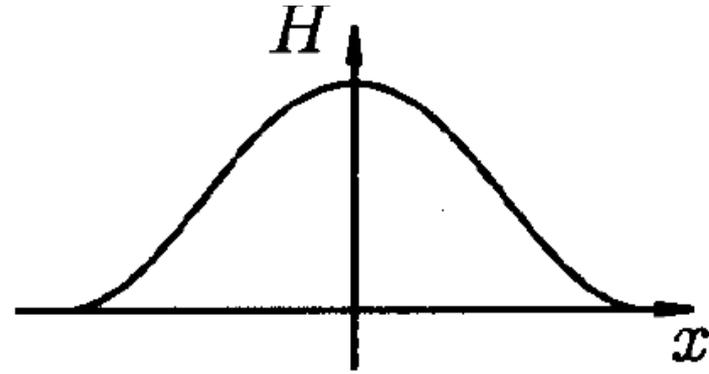
$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} = \frac{1}{\lambda_J^2} \sin \varphi \quad \lambda_J = \sqrt{\frac{c\Phi_0}{8\pi j_c d}}$$

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{2\pi}{\Phi_0} \frac{d\Phi}{dx}$$

Джозефсоновские вихри



$$\varphi = 4 \operatorname{arctg}(\exp(x/\lambda_J))$$



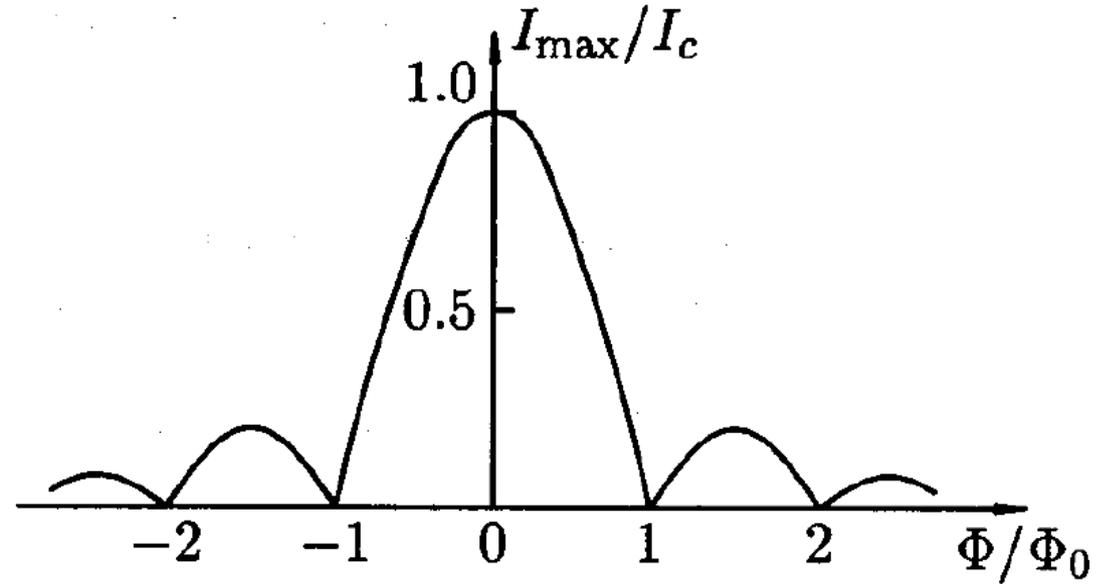
Максимальный сверхпроводящий ток в магнитном поле

$$H_0 \gg \frac{\Phi_0}{2\pi\lambda_J d}, L \ll 2\lambda_J \quad H \approx H_0$$

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{2\pi d}{\Phi_0} H_0$$

$$\varphi = \frac{2\pi d}{\Phi_0} H_0 x + C$$

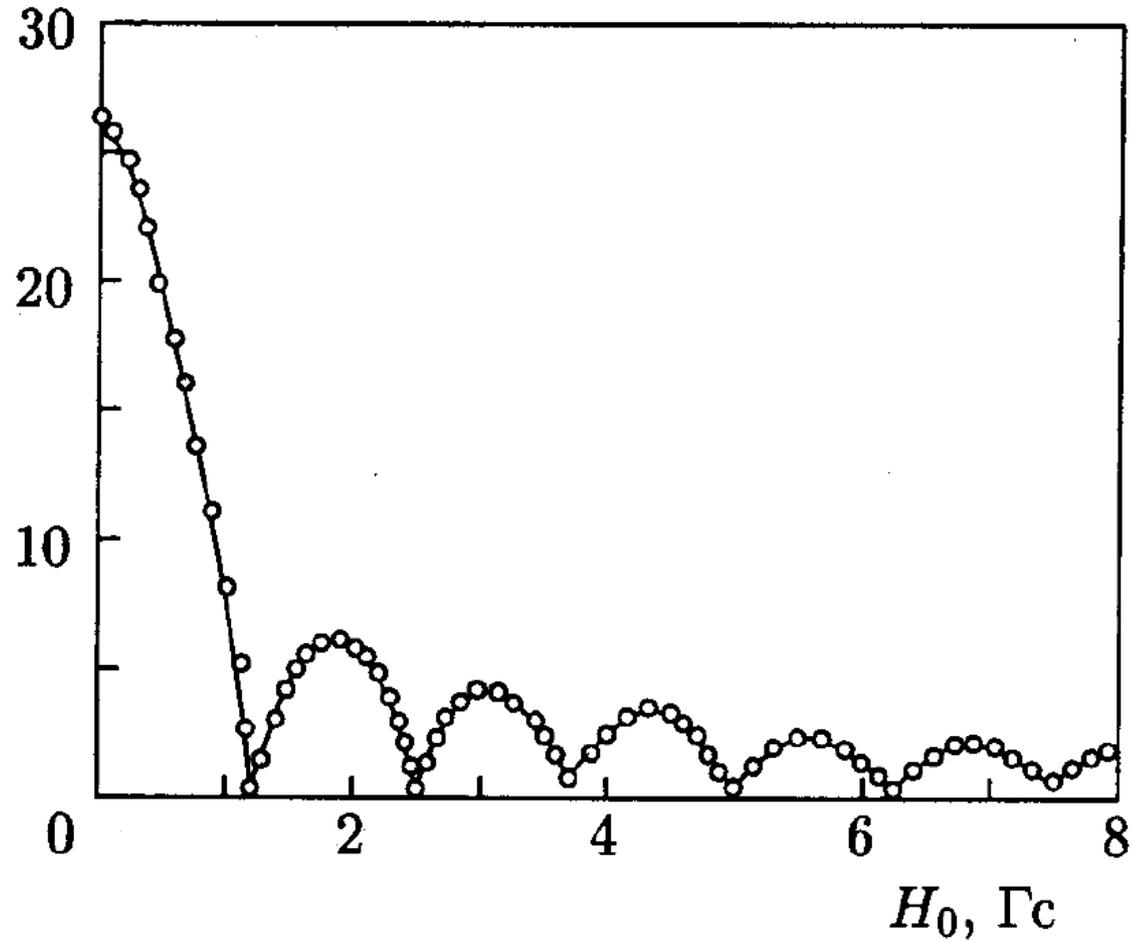
$$j_s = j_c \sin\left(\frac{2\pi x}{a} + C\right)$$



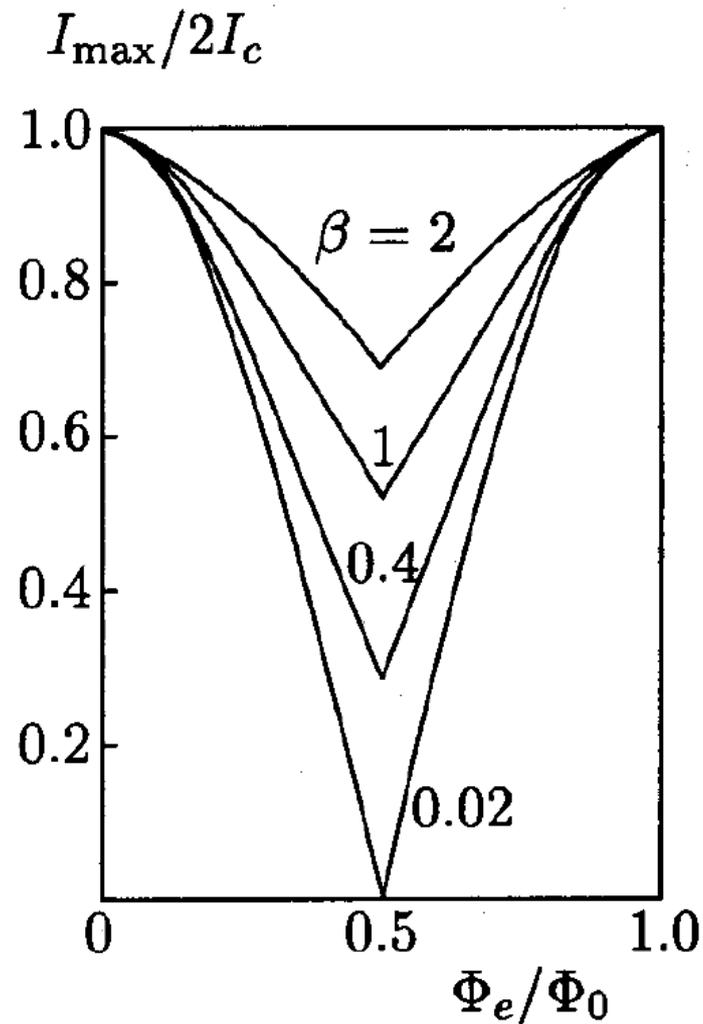
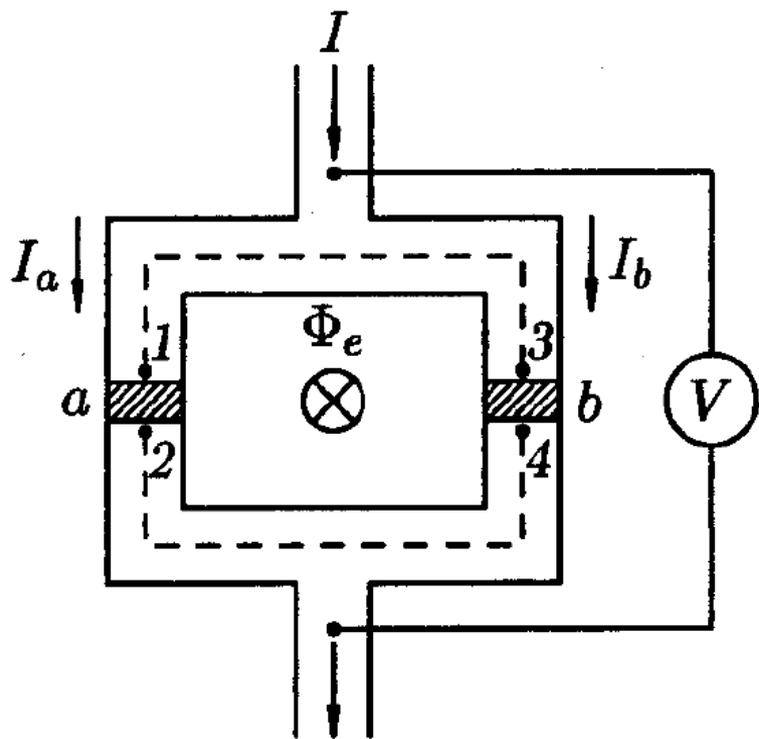
$$I_s = \int_{-L/2}^{L/2} j_s dx = j_c L \frac{\sin(\pi L/a)}{\pi L/a} \sin C \quad I_{\max} = j_c L \left| \frac{\sin(\pi L/a)}{\pi L/a} \right| = j_c L \left| \frac{\sin(\pi \Phi/\Phi_0)}{\pi \Phi/\Phi_0} \right|$$

Максимальный сверхпроводящий ток в магнитном поле Sn-SnO₂-Sn

$I_{s_{max}}$, мА

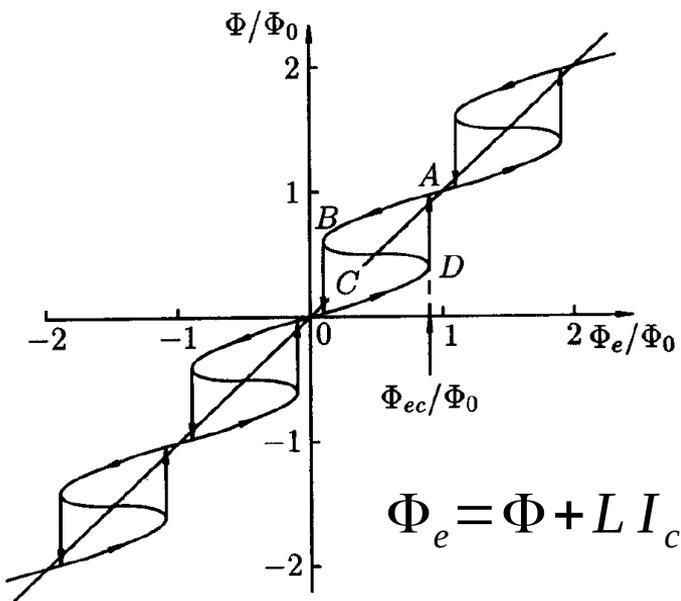
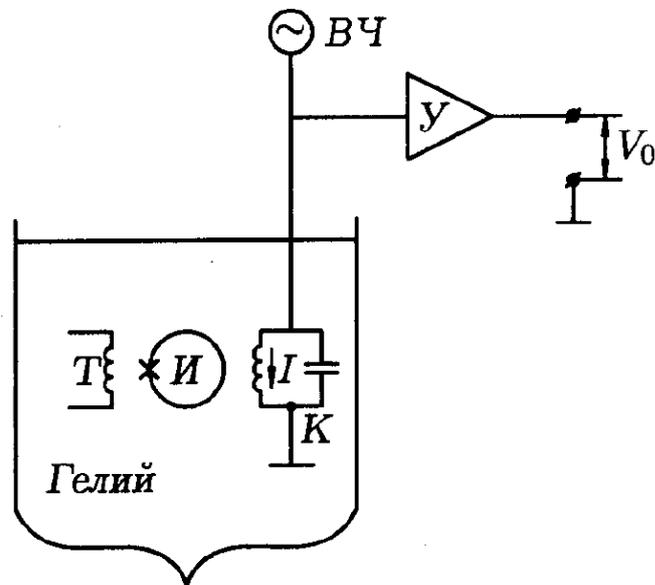
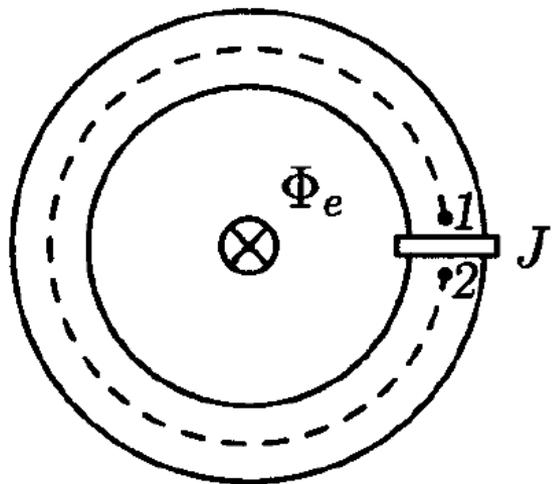


Двухконтактный СКВИД (сверхпроводящий квантово-интерференционный прибор SQUID) постоянного тока

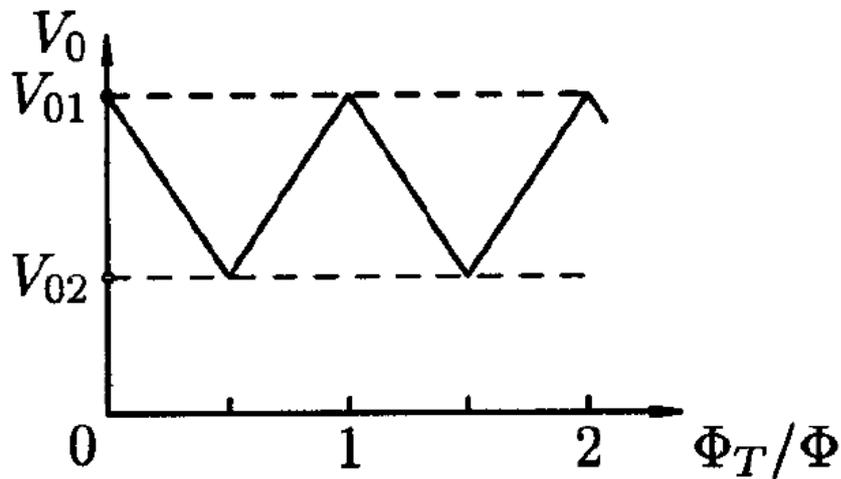


$$\beta = \frac{2LI_c}{\Phi_0}$$

Радиочастотный одноконтурный СКВИД



$$\Phi_e = \Phi + L I_c \sin(2\pi \Phi / \Phi_0)$$



Нестационарный эффект Джозефсона. Генерация СВЧ излучения.

$$-\hbar \frac{\partial \theta}{\partial t} = E$$

$$E_2 - E_1 = 2eV$$

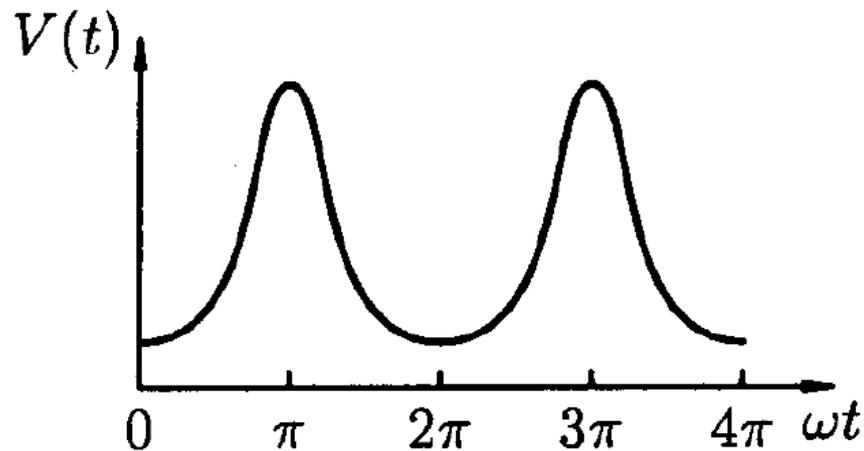
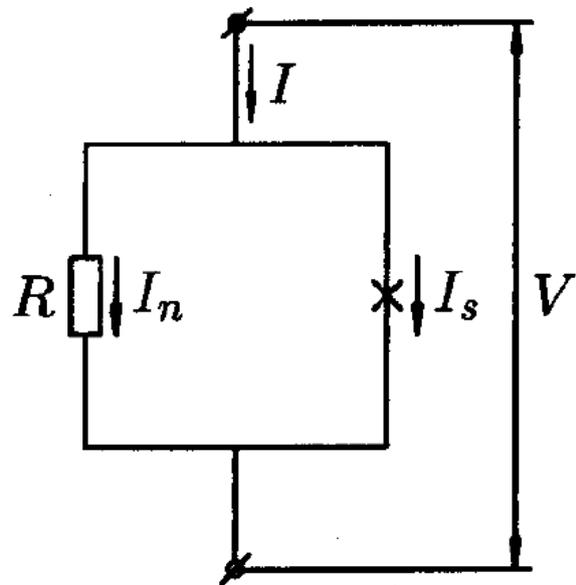
$$2eV = \hbar \frac{\partial \varphi}{\partial t}$$

$$I = I_c \sin \varphi + \frac{\hbar}{2eR} \frac{\partial \varphi}{\partial t}$$

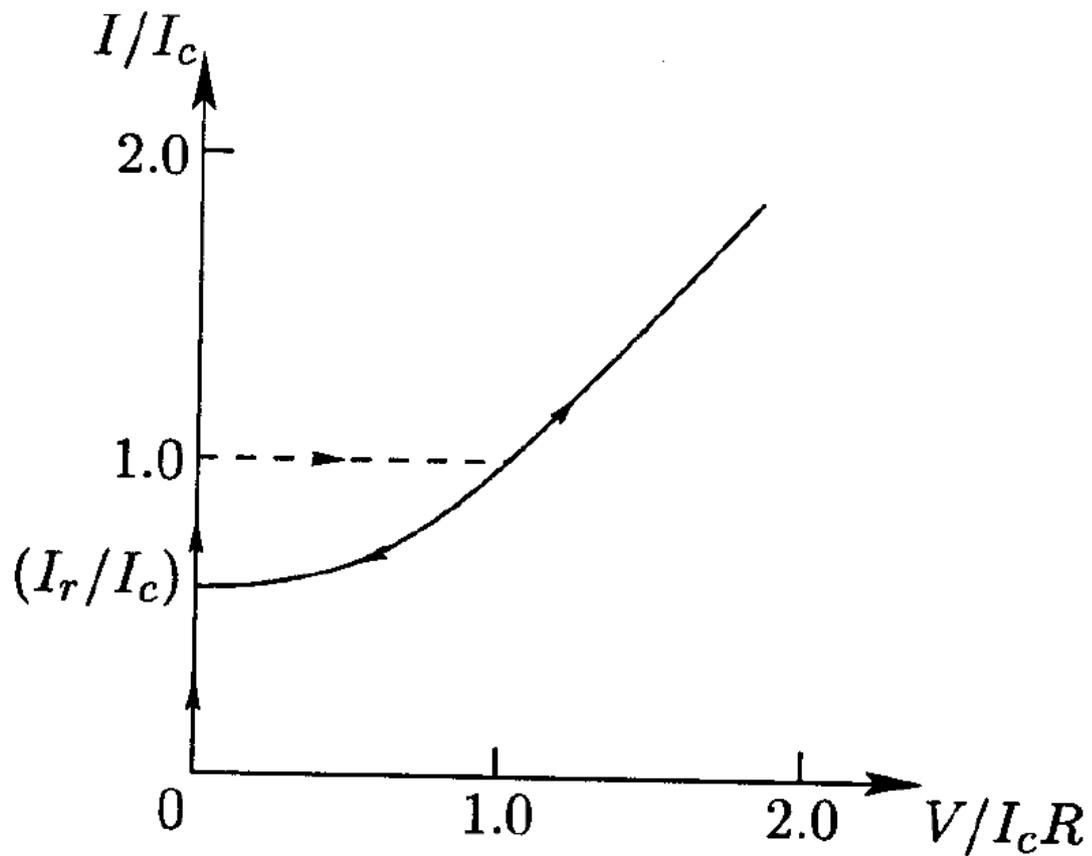
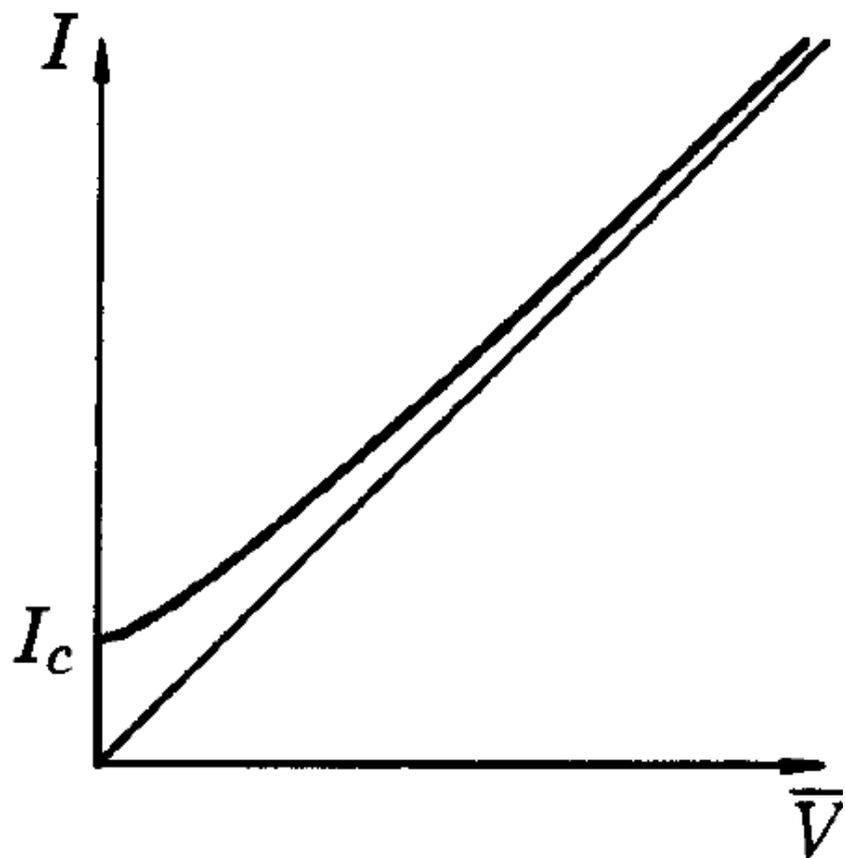
$$V = R \frac{I^2 - I_c^2}{I + I_c \cos(\omega t)}$$

$$\omega = \frac{2e}{\hbar} R \sqrt{I^2 - I_c^2}$$

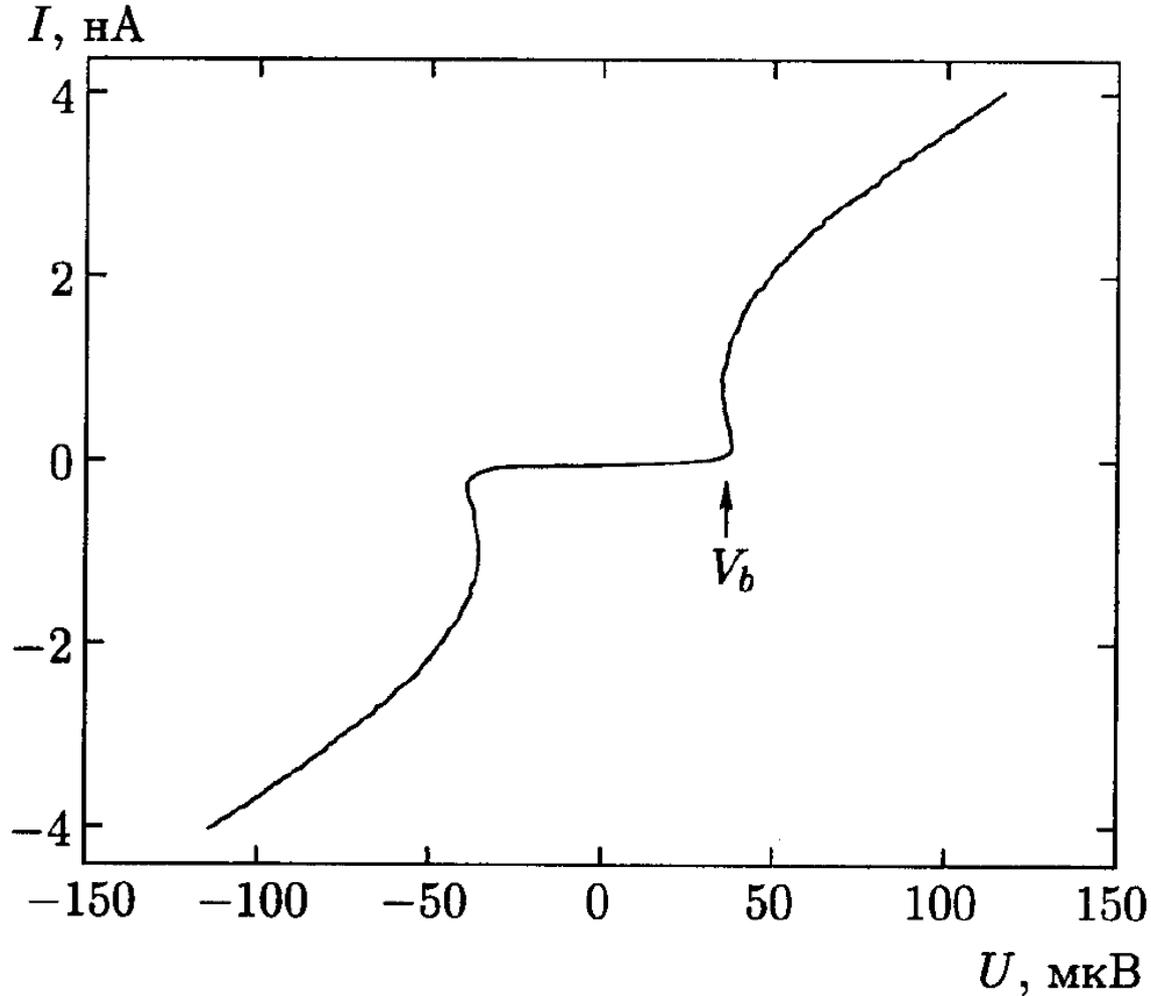
$$2e\bar{V} = \hbar \omega$$



Критический ток и вольт-амперная характеристика «идеального» туннельного контакта и контакта с учётом ёмкости туннельного контакта

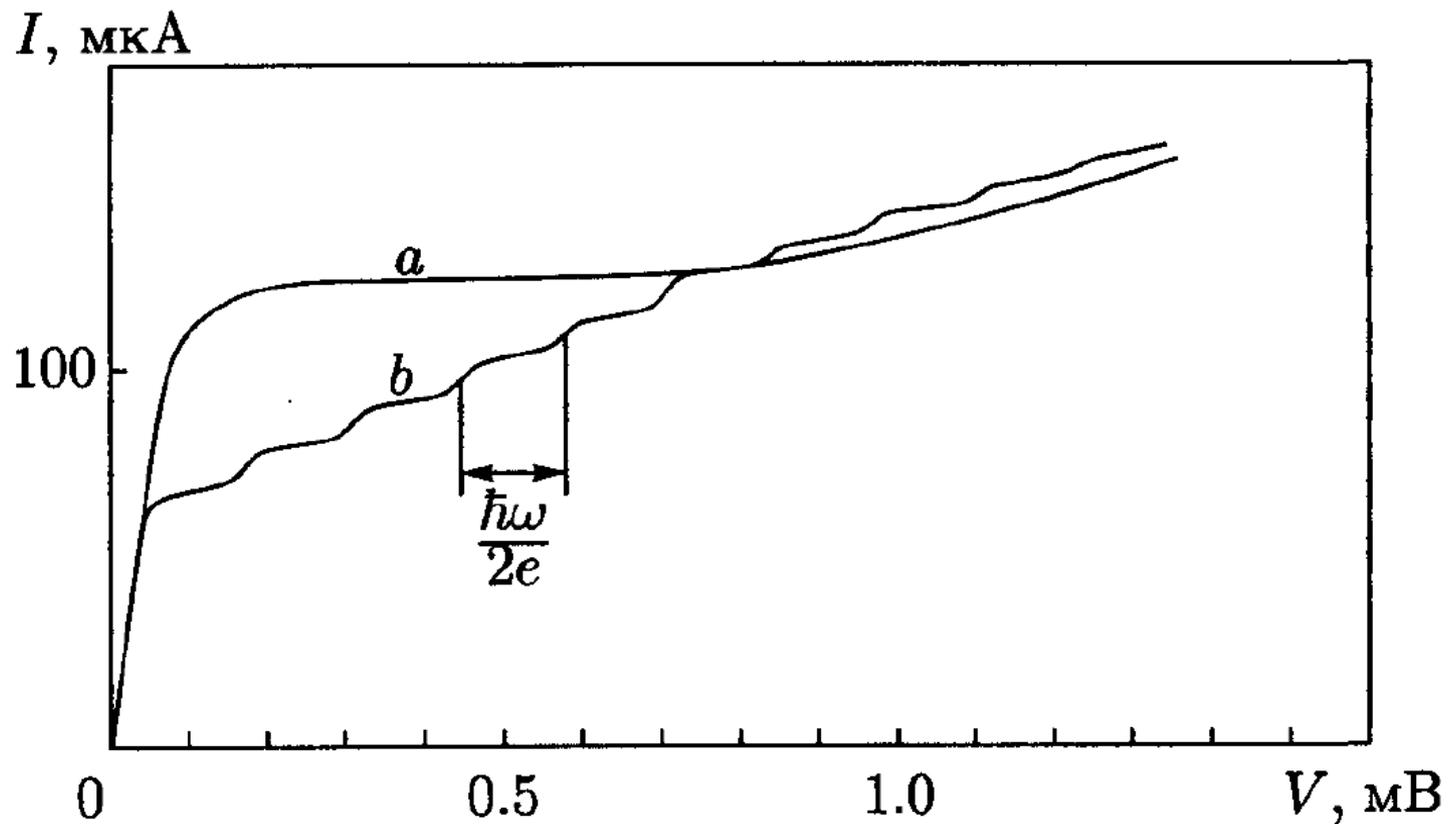


Разрушение сверхпроводящего тока в субмикронных туннельных контактах квантовой неопределённостью

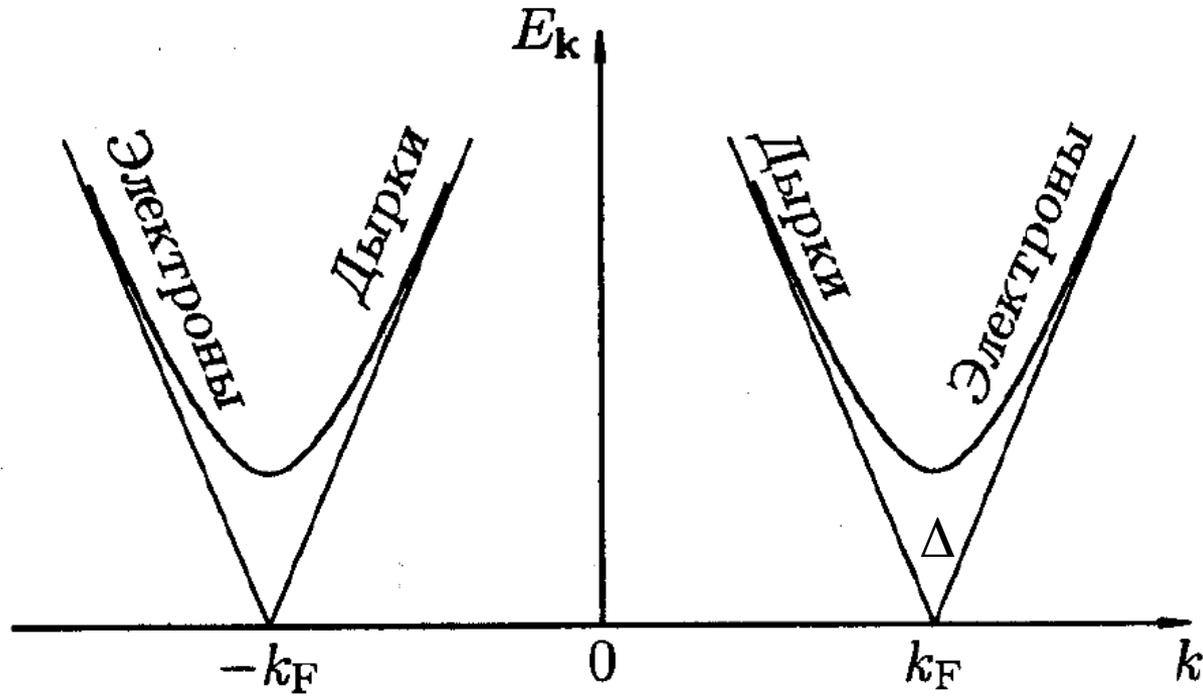


$$\Delta Q \Delta \varphi \sim 2e$$

Вольт-амперная характеристика туннельного контакта в присутствии высокочастотного внешнего электромагнитного излучения. Эталон Вольты.

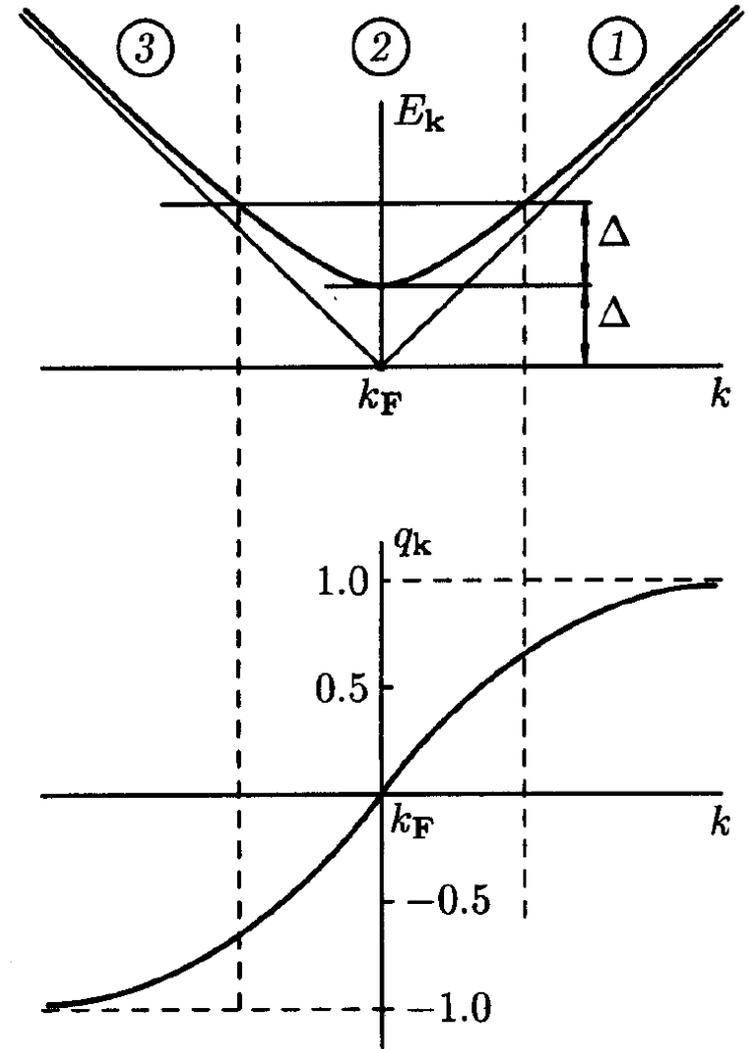


Квазичастицы в сверхпроводнике. Заряд и скорость.

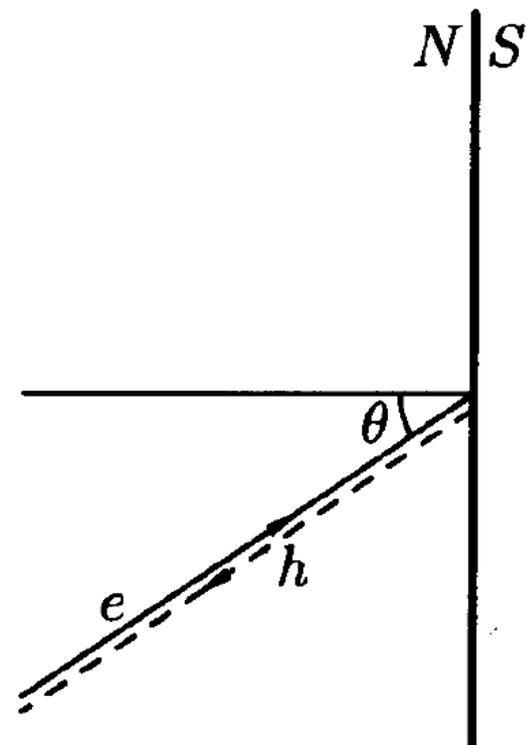
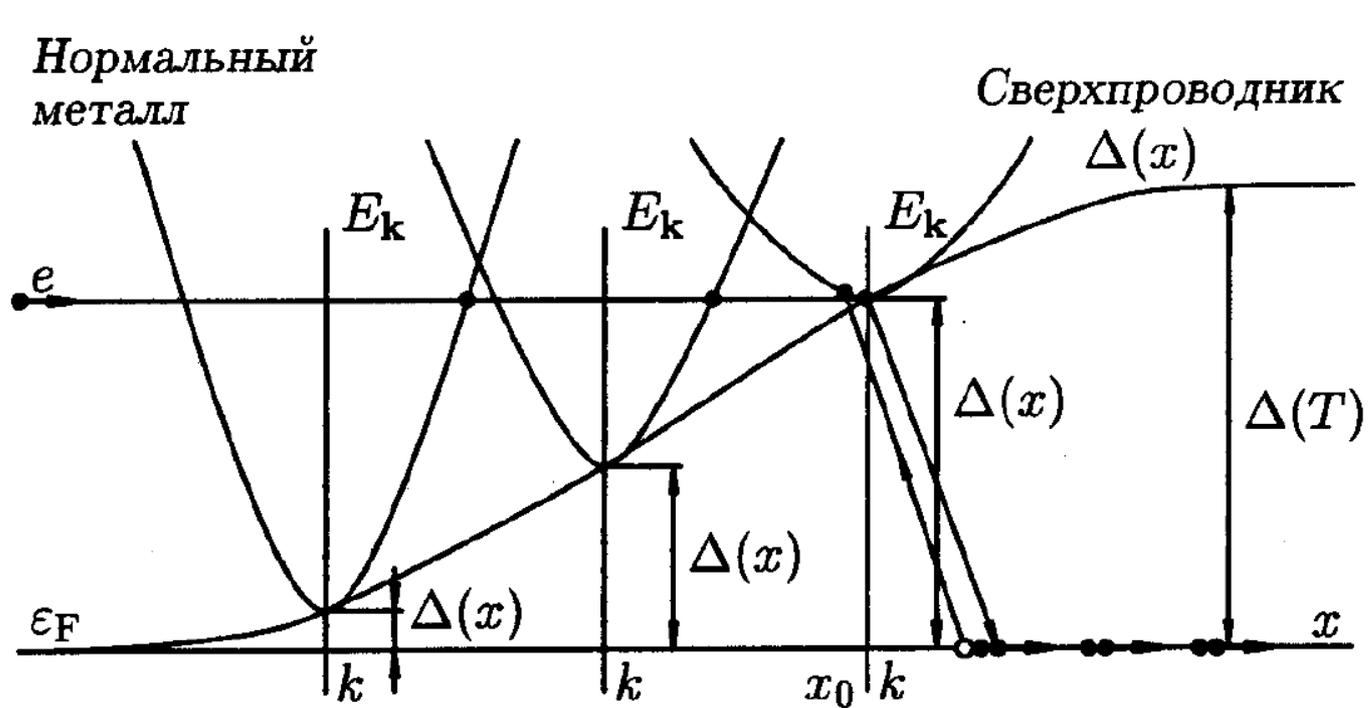


$$\vec{v}_K = \frac{1}{\hbar} \nabla_k E_k$$

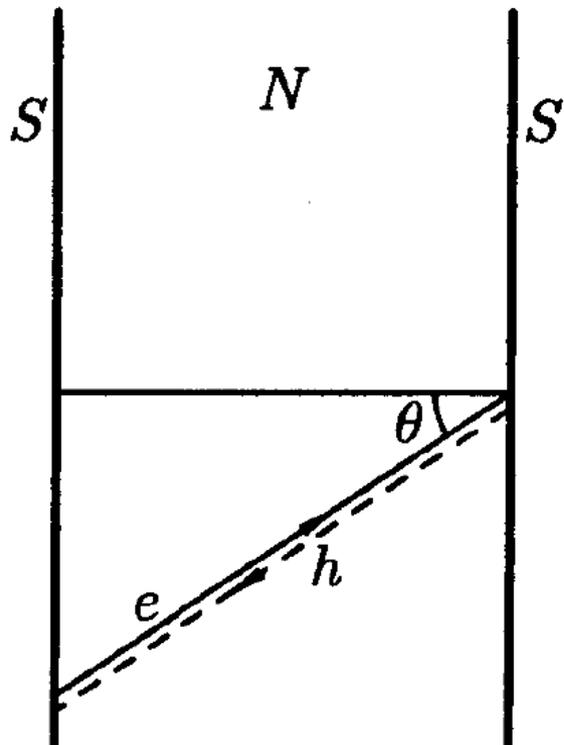
$$q_{\vec{k}} = \frac{E - F}{\sqrt{(E - F)^2 + \Delta^2}}$$



Контакт нормальный металл-сверхпроводник. Андреевское отражение



Множественное андреевское отражение. Андреевская спектроскопия



$$2N eV = \Delta$$

