



Физический факультет  
Московского  
государственного университета  
имени М.В.Ломоносова

Межфакультетский курс

# ФИЗИКА СВЕРХПРОВОДИМОСТИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Лекция 7: ЯВЛЕНИЕ МАКРОСКОПИЧЕСКОЙ  
КВАНТОВОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

Лекторы:

профессор Корнев Виктор Константинович

доцент Колотинский Николай Васильевич



# Явление макроскопической квантовой интерференции

Нобелевская премия  
2025 года



«За открытие макроскопического квантово-механического туннелирования и квантования энергии в электрической цепи»

*for the discovery of macroscopic quantum mechanical tunnelling and energy quantisation in an electric circuit*



Джон Кларк



Джон  
Мартинис

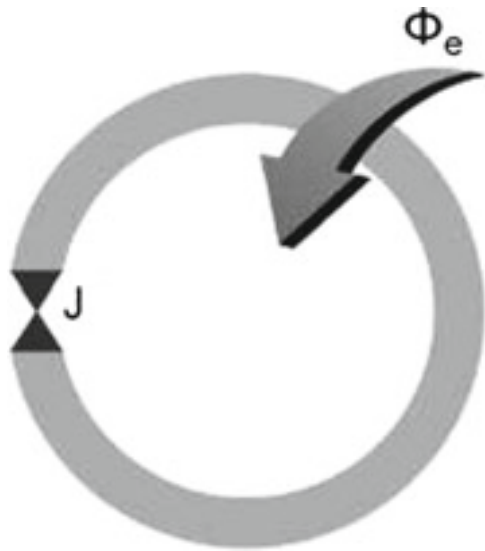


Мишель  
Деворе

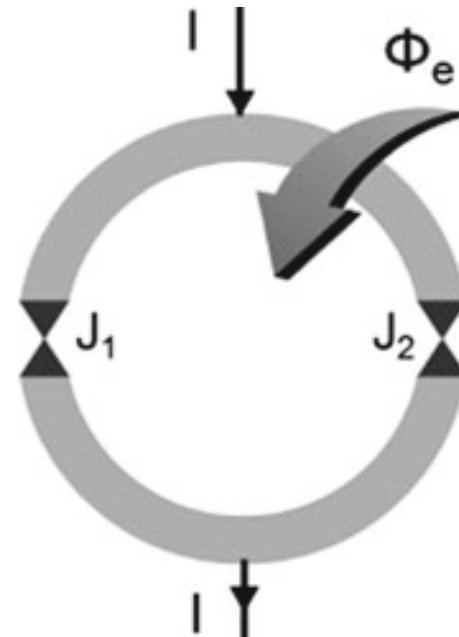


# Явление макроскопической квантовой интерференции

Одноконтактный сквид  
сквид переменного тока



Двухконтактный сквид  
сквид постоянного тока



# Эффект Джозефсона

- Первое уравнение Джозефсона

$$I_s = I_c \sin \varphi$$

$I_c$  - критический ток джозефсоновского перехода

- Второе уравнение Джозефсона

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(\xi, t)}{\partial t} = \hat{H} \Psi(\xi, t), \quad \Psi(\xi, t) = |\Psi| e^{i\theta}, \quad H\Psi = E\Psi, \quad -\hbar \frac{\partial \theta}{\partial t} = E$$

$$\hbar \frac{\partial \varphi}{\partial t} = E_2 - E_1 = 2eV$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{2e}{\hbar} V = \frac{2\pi}{\Phi_0} V, \quad \Phi_0 = \frac{h}{2e} \approx 2,07 \cdot 10^{-15} \text{ Вб}$$



# Одноконтактный СКВИД

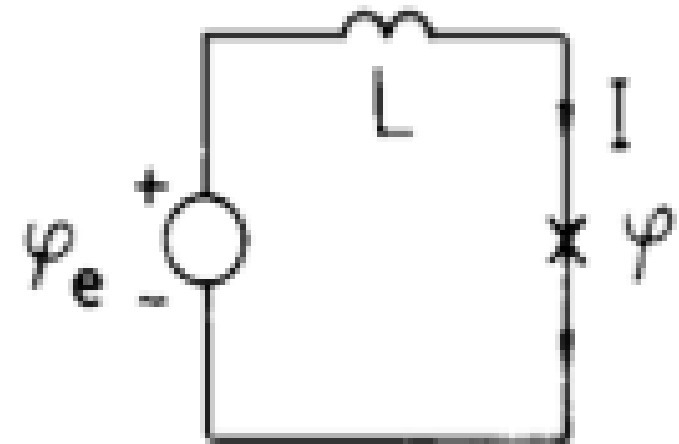
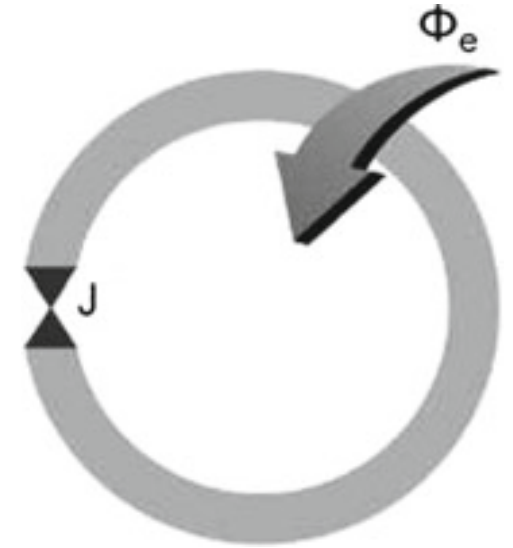
$$V = \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\varphi = \frac{2\pi\Phi}{\Phi_0}, \quad \Phi_0 = \frac{h}{2e}$$

$$\Phi = \Phi_e - LI \Rightarrow \varphi = \varphi_e - li$$

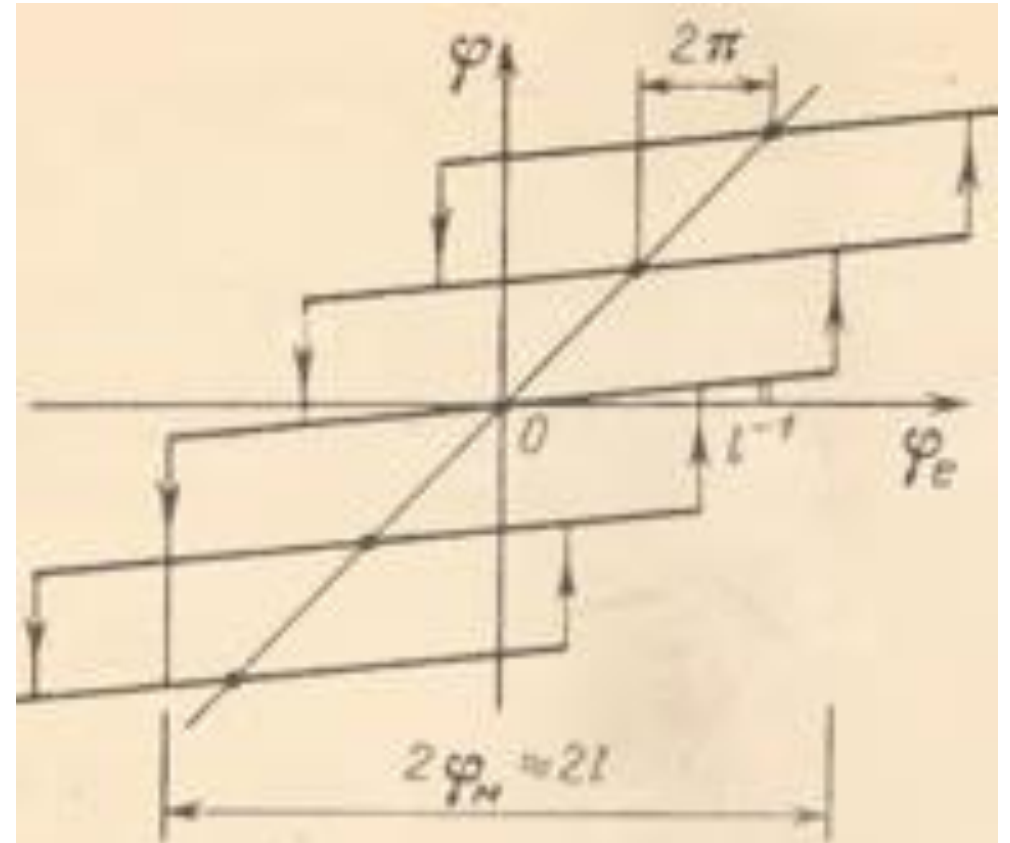
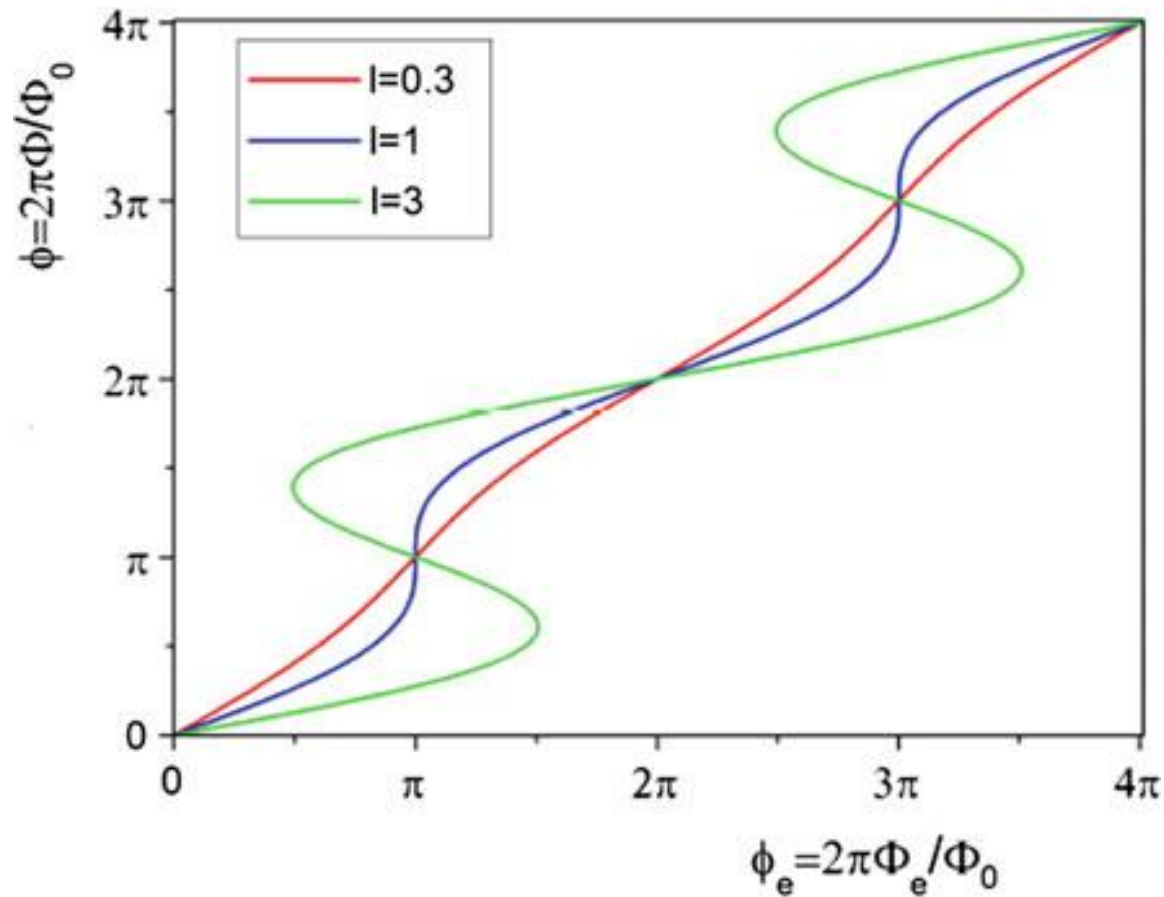
$$\varphi_e = \frac{2\pi\Phi_e}{\Phi_0}, \quad l = \frac{2\pi I_c L}{\Phi_0} = \frac{L}{L_C}$$

$$\varphi = \varphi_e - l \cdot \sin \varphi$$

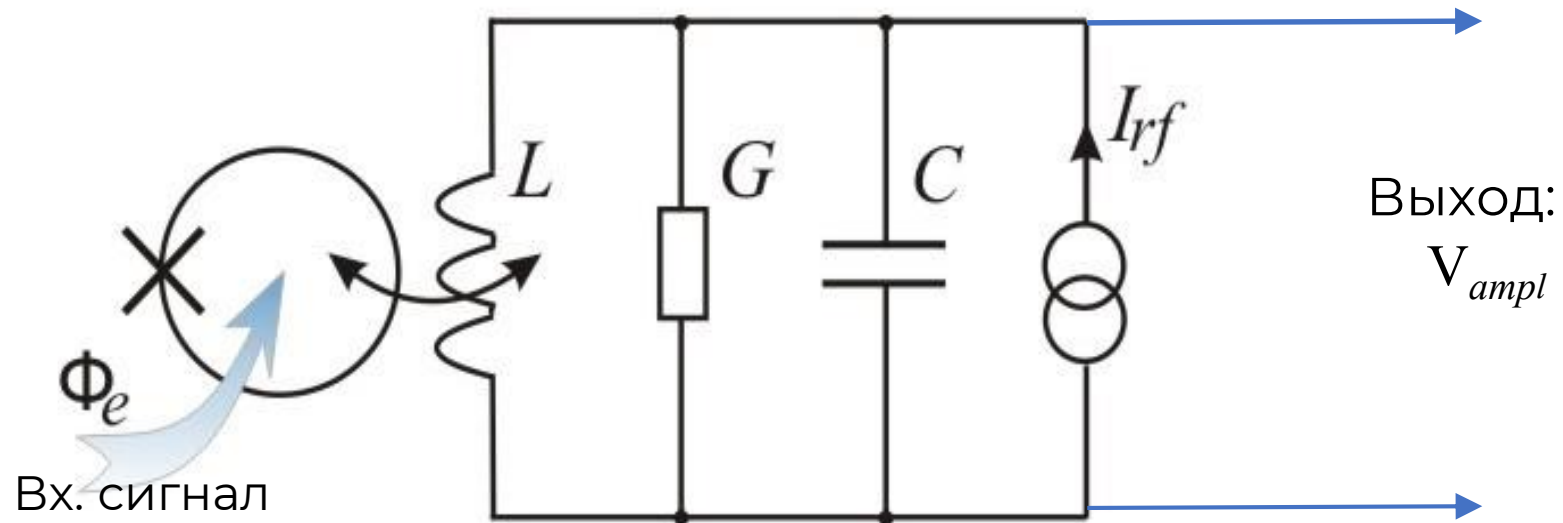


# Одноконтактный СКВИД

$$\varphi = \varphi_e - l \cdot \sin \varphi$$



# Датчик на основе одноконтактного СКВИДА



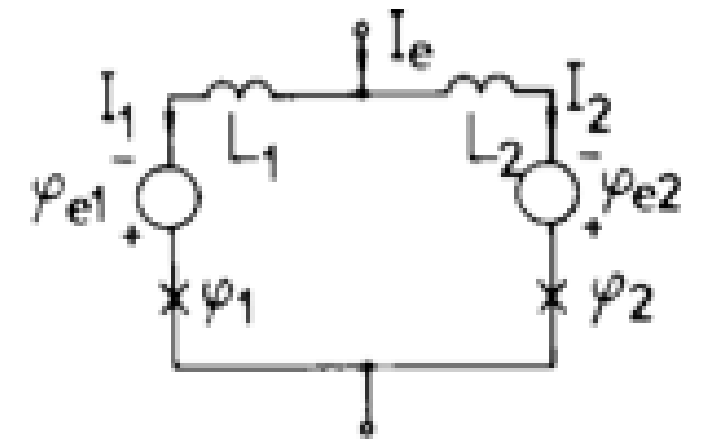
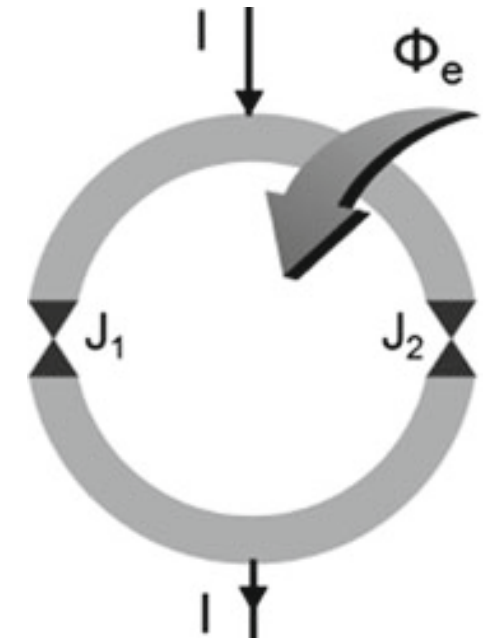
Выходным сигналом является амплитуда осцилляций напряжения в добротном колебательном контуре



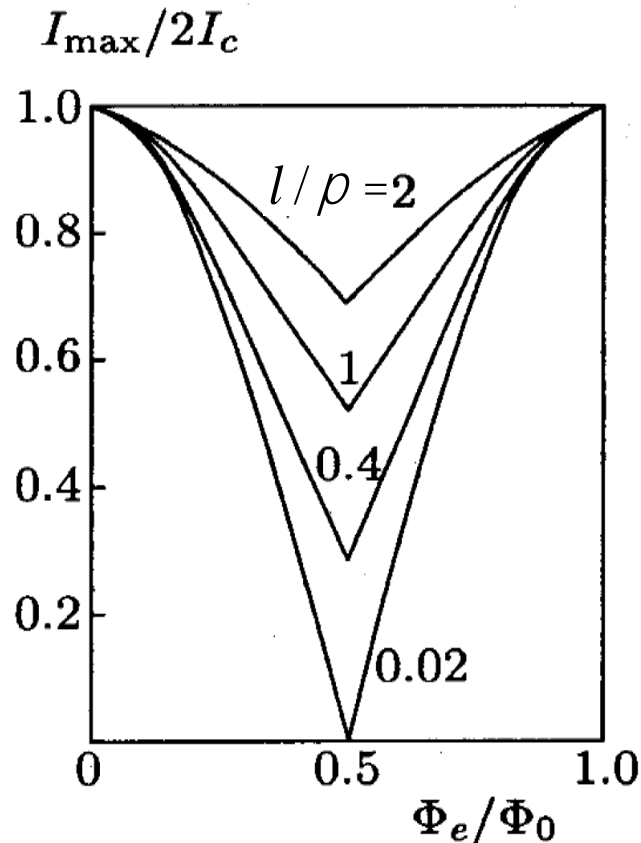
# Двухконтактный СКВИД

$$I = I_1 + I_2; \quad \varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi\Phi/\Phi_0$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_e - (l_1 i_1 + l_2 i_2)$$



# Двухконтактный СКВИД



$$I_{\max} = 2I_c |\cos(\varphi_e/2)|$$

Чувствительность СКВИДА

$$V_{\Phi} \equiv \frac{d\bar{V}}{d\Phi_x} \sim \frac{V_c}{\Phi_0} \sim 2 \cdot 10^{-9} \text{ В/Вб}$$

Условие обнаружения сигнала:  $\delta\Phi \cdot V_{\Phi} = \sqrt{S_V(f)\Delta f}$

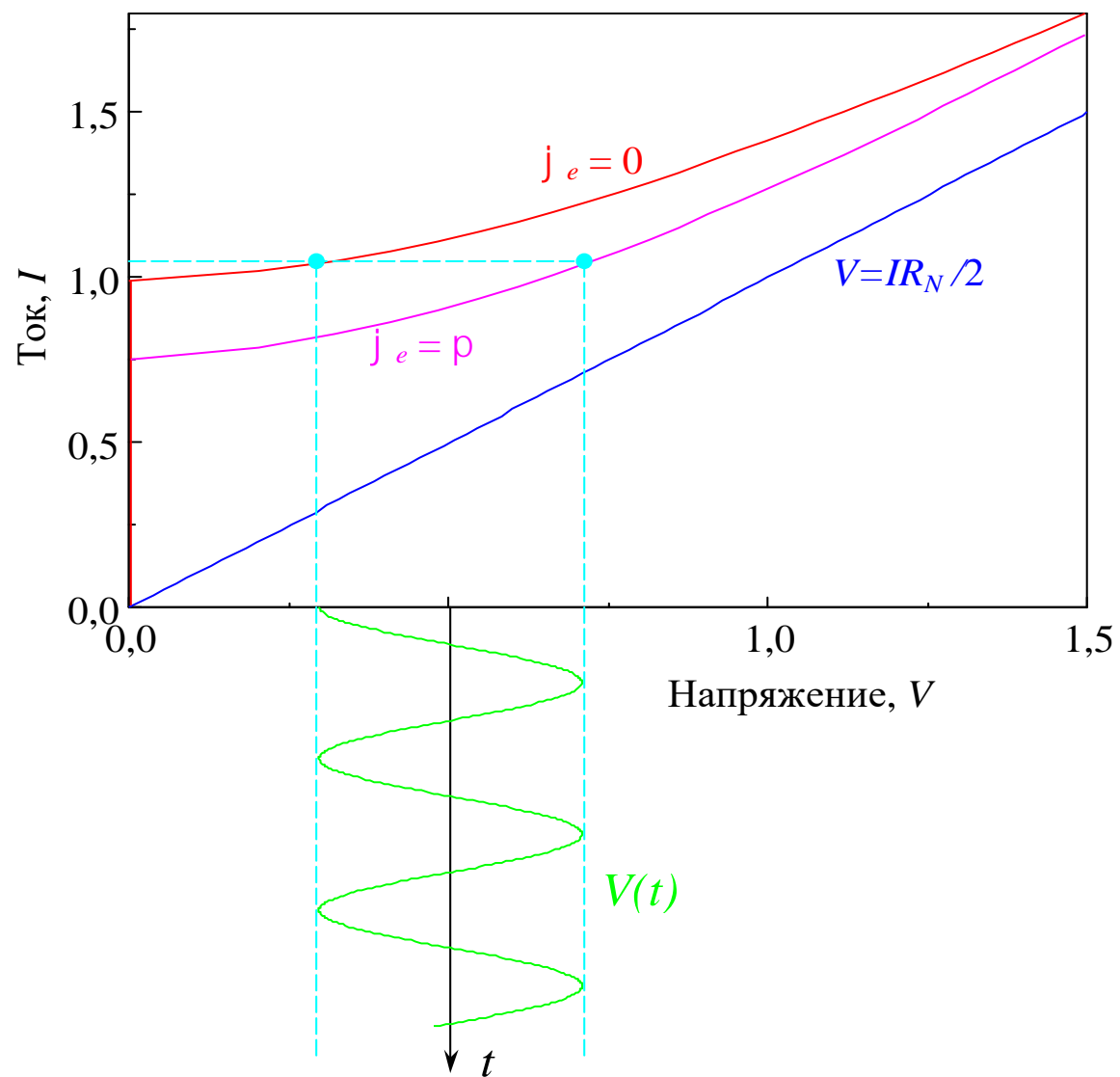
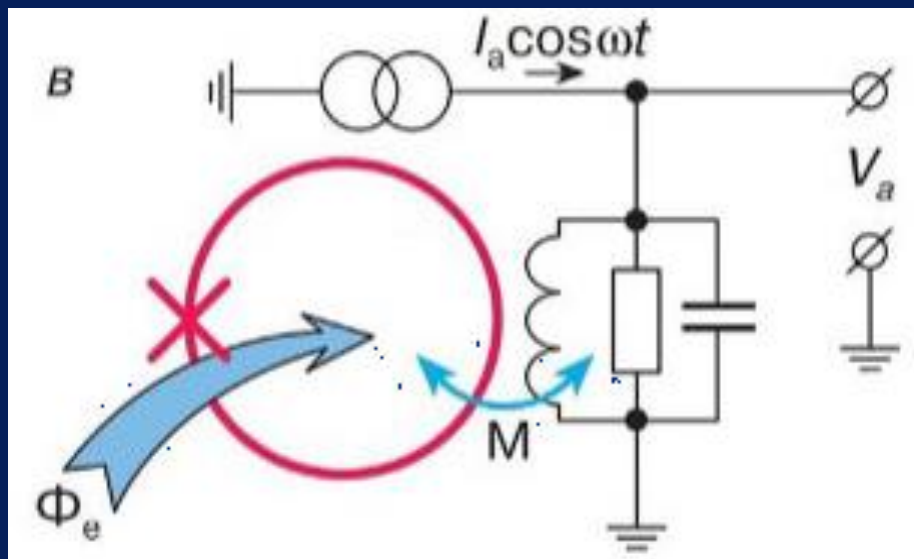
$$\frac{\delta\Phi}{\sqrt{\Delta f}} \sim 10^{-6} \Phi_0 / \sqrt{\Gamma\text{ц}}$$

$$\frac{\delta E}{\Delta f} \sim h$$





# Датчик на основе двухконтактного СКВИДА



Периодическая зависимость  $V$  от  $\Phi_e$   
– Сигнальная характеристика  $V(\Phi_e)$