



# **Эффект Джозефсона в структурах сверхпроводник-ферромагнетик- сверхпроводник**

**Презентация к докладу на микроконференции**

**11 мая 2011 г.  
Шейерман А. Е.  
гр. 853**

**Долгопрудный – 2011**

# Слабая сверхпроводимость

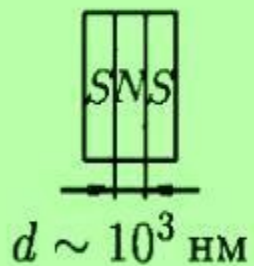
- Слабая связь
  1. Существенное подавление критического тока  $I_c$
  2. Размеры порядка длины когерентности  $\xi$

# Виды слабых связей

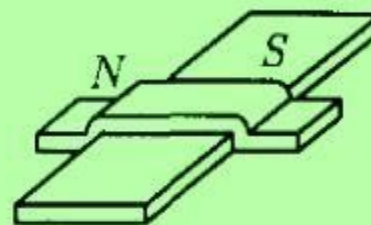
Изолятор



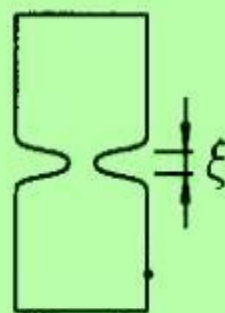
а)



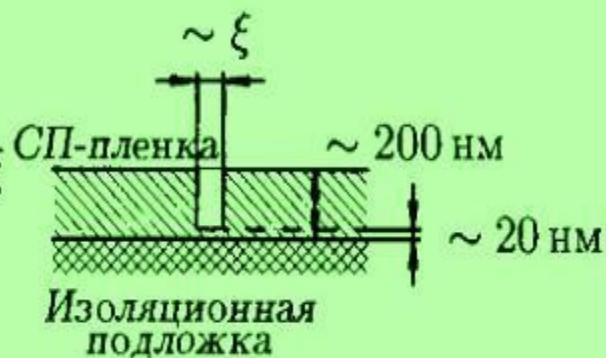
б)



в)



г)



д)



е)

# Стационарный эффект

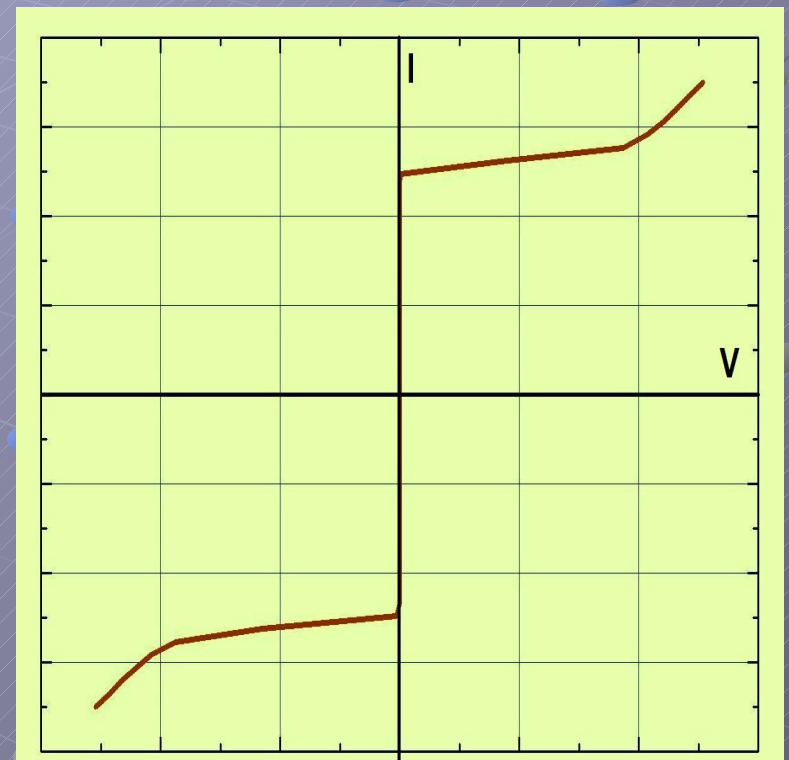
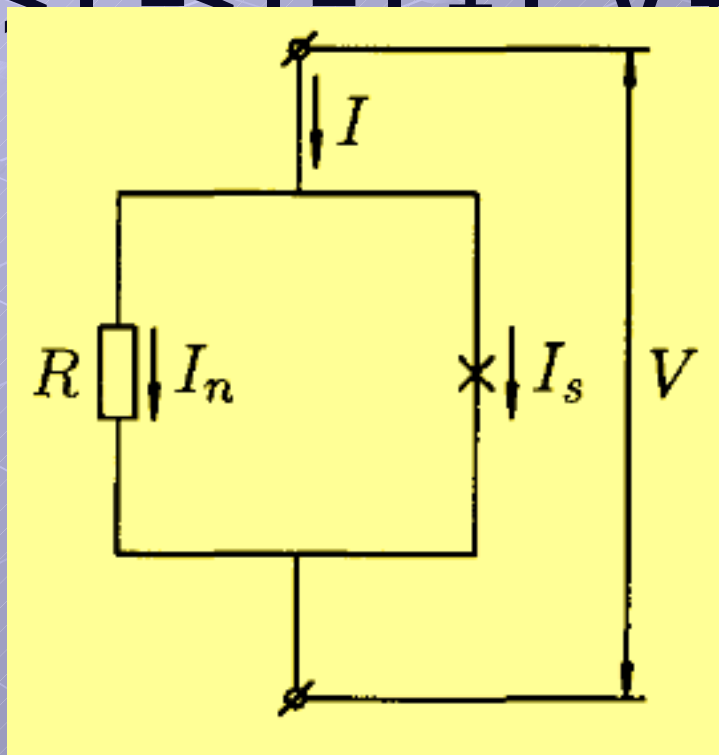
$$I < I_c \Rightarrow V = 0$$

- туннелирование носителей через слабую связь



# Нестационарный эффект

- резистивная модель  
**VAX**



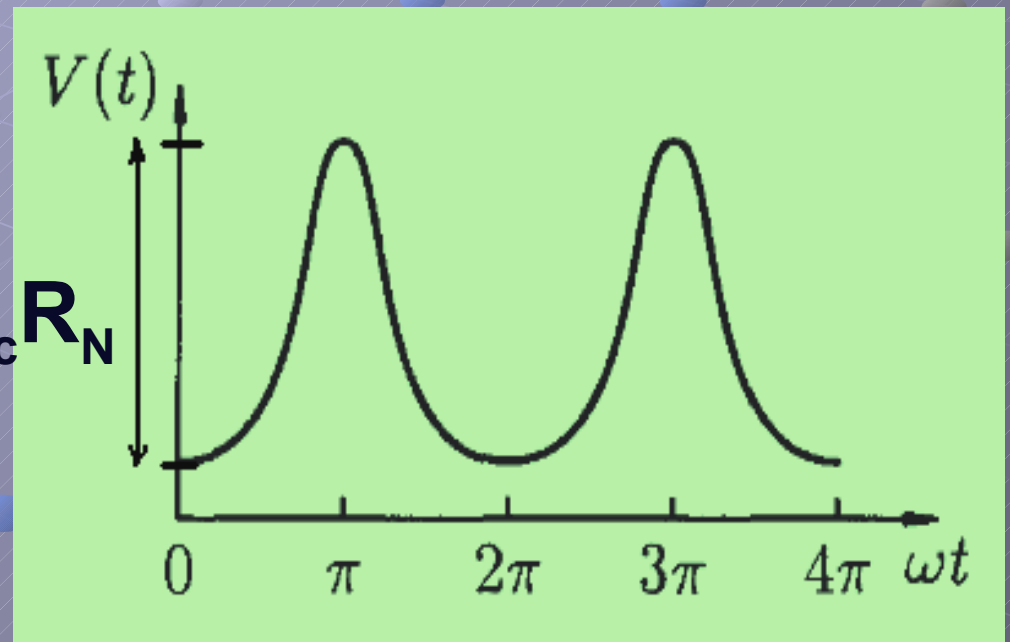
# Джозефсоновская генерация

$$2eV = \hbar \partial \phi / \partial t$$

$$2e\langle V \rangle = \hbar \omega$$

$$\omega \sim 100 \text{ ГГц}$$

$$2I_c R_N$$



# Эффект близости в SN-системе

$$\tau_p \Delta E \sim \hbar$$

- чистый металл ( $l \gg \xi$ ):  $\xi \sim v_F \tau_p$

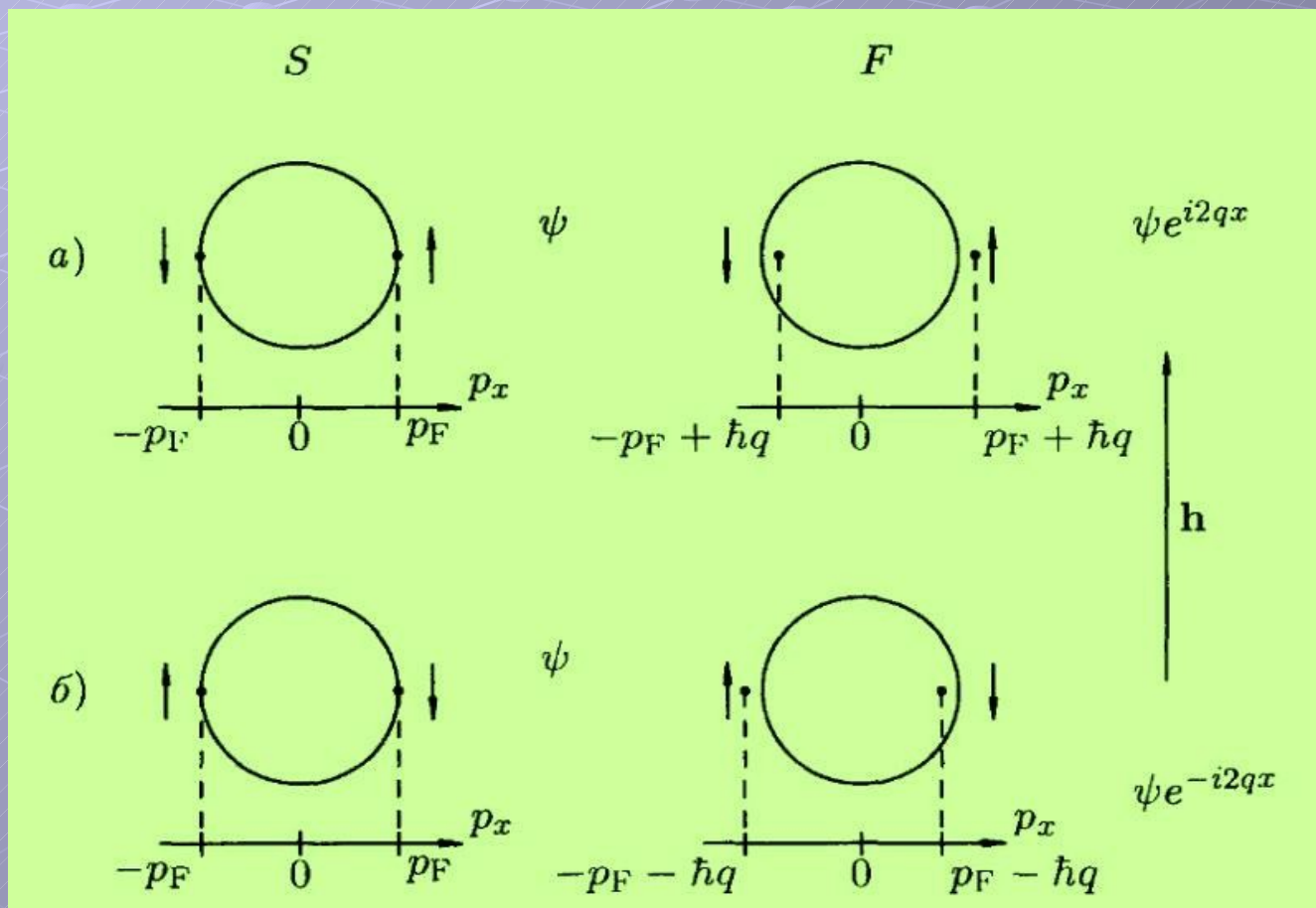
$$\xi \sim \hbar v_F / kT$$

- грязный металл ( $l \ll \xi$ ):  $\xi \sim (D \tau_p)^{1/2}$

$$\xi \sim (\hbar D / kT)^{1/2}, D = l v_F / 3$$

# Эффект близости в SF-системе

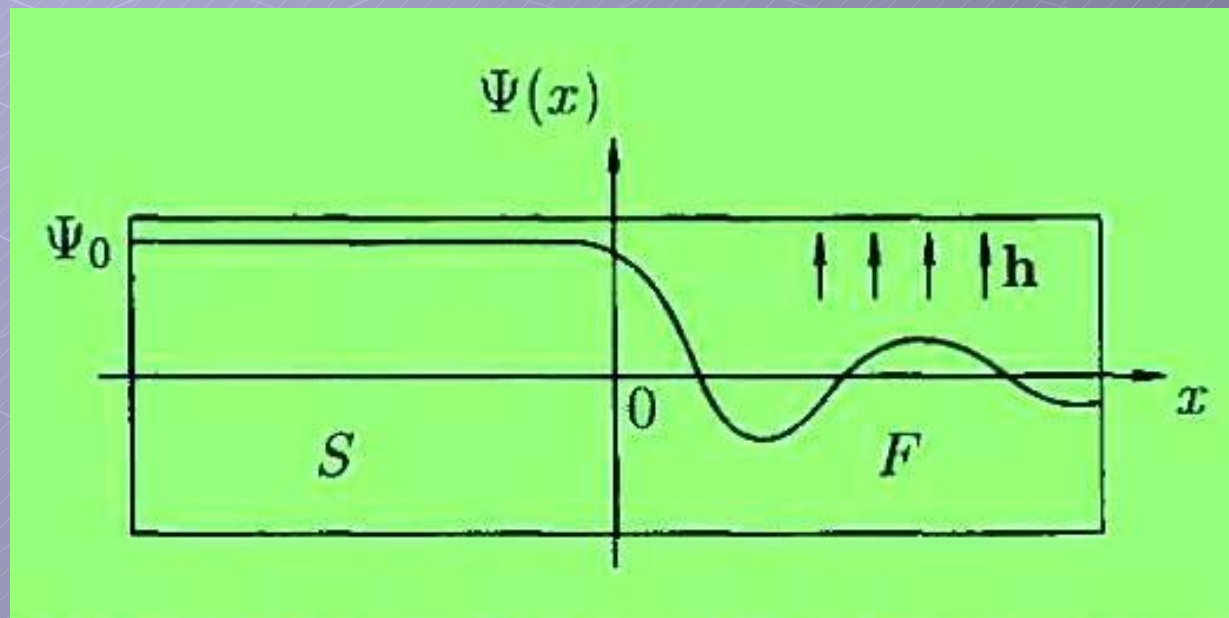
- ! появление пар с ненулевым суммарным импульсом в присутствии обменного поля ферромагнетика



# Параметр порядка $\Psi_F(x)$ на SF-границе

$$\xi = \xi_{F1} + i\xi_{F2}$$

=> на затухание параметра порядка  
накладываются пространственные  
осцилляции с периодом  $\lambda = 2\pi\xi_{F2}$





# Длина когерентности в SF-системе

- Сильные ферромагнетики ( $E_{ex} \gg kT$ : Fe, Co, Ni), грязный предел:  $\xi_{F1} = \xi_{F2}$

$$\xi_{F1} = \left( \frac{\hbar D}{E_{ex}} \right)^{1/2}$$

- Слабые ферромагнетики ( $E_{ex} \sim kT$ ), грязный предел

$$\xi_{F1,2} = \sqrt{\frac{\hbar D}{((\pi k_B T)^2 + E_{ex}^2)^{1/2} \pm \pi k_B T}}.$$

# Токо-фазовые соотношения в SFS-контактах

$$I_s(\varphi), I_s \sim dn_s/dt$$

- $I_s(0) = 0$
- $I_s(\varphi + 2\pi) = I_s(\varphi)$
- $I_s(\varphi) = -I_s(-\varphi)$

$$\text{SIS: } I = I_c \sin(\varphi)$$

$$\text{SFS: } I = I_{c1} \sin(\varphi) + q I_{c2} \sin(2\varphi)$$

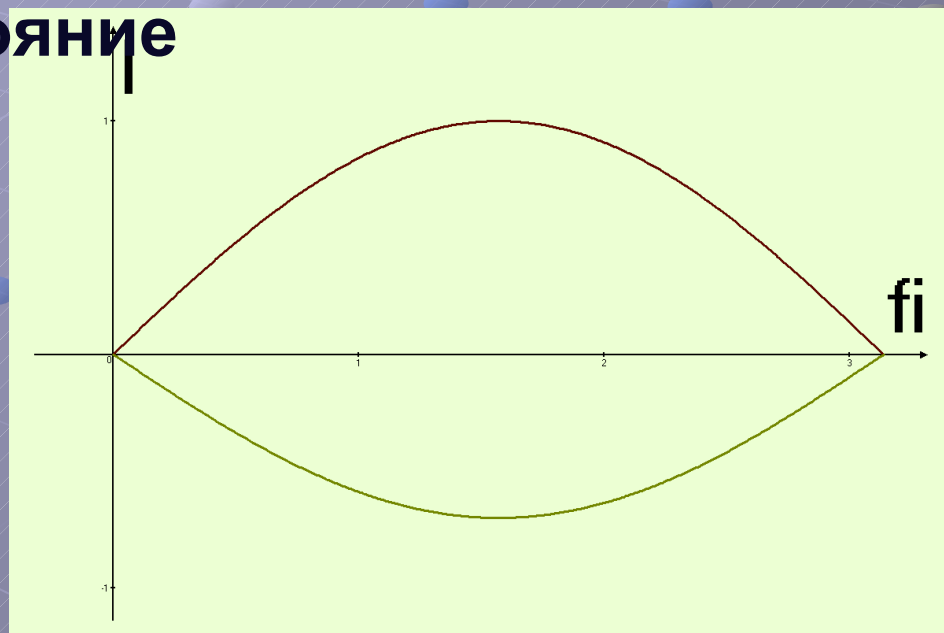
# $\pi$ -СОСТОЯНИЯ (в сверхпроводниках с S-волновой симметрией)

- $I_c < 0$

- Минимум энергии при  $\varphi = \pi$

$$d_F \sim \pi \xi_{F2} \quad 0\text{-состояние}$$

$\pi$  -состояние



# Переходы между 0- и $\pi$ -состояниями

1. Пространственные осцилляции параметра порядка
2. Скачкообразные изменения фазы (в том числе при  $d_F < \xi_{F2}$ )

# Литература

1. “Введение в физику сверхпроводников”, В. В. Шмидт, МЦНМО, 2000
2. “The current-phase relation in Josephson junctions”, A. A. Golubov, M. Yu. Kupriyanov, E. Il'ichev, Reviews of modern physics, vol. 76, 2004