

Спонтанное формирование вихрей в джозефсоновских контактах при их охлаждении

докладчик: Гордеева А.В.

науч. руководитель:

к.ф.-м.н. Панкратов А.Л.

Нижний Новгород, 2008

План

- 1. Введение. История проблемы
- 2. Фазовые переходы
- 3. Джозефсоновский контакт
- 4. Эксперименты

История вопроса

Теория Большого взрыва – во время стремительного расширения, когда температура падала, Вселенная претерпела ряд фазовых переходов.

Распределение массы во Вселенной – результат тех далеких фазовых переходов

1976 г. Киббл предложил, что наличие дефектов – прямое следствие причинности

1980-е гг. Зурек предложил протестировать сценарий Киббла в доступных системах (сверхтекучий гелий, сверхпроводники)

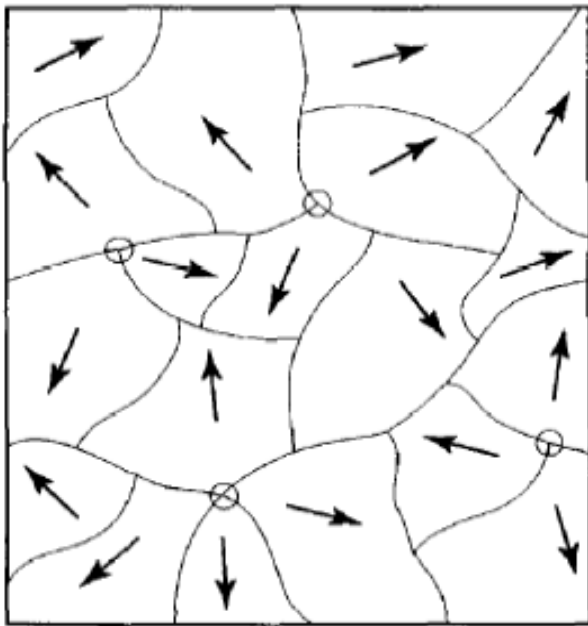
Фазовый переход I-ого рода

1. Ниже T_c формируются зародыши новой фазы независимо друг от друга
2. Рост зародышей
3. На границах между доменами остаются фрагменты с первоначальной фазой

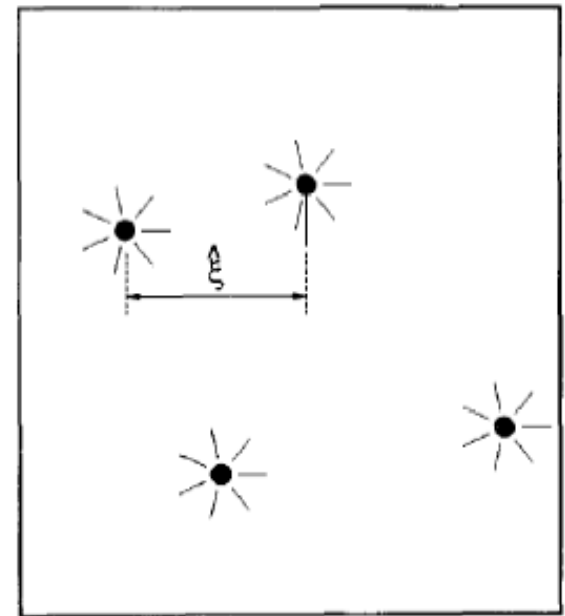
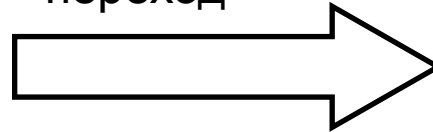
Фазовый переход II-ого рода

1. Переход происходит сразу во всем объеме
2. Скорость распространения информации о локальном выборе фазы конечна
3. Переход происходит за конечное время
4. Разные фрагменты системы могут не успеть обменяться информацией и сделать разный выбор

Формирование дефектов при быстром фазовом переходе



фазовый
переход



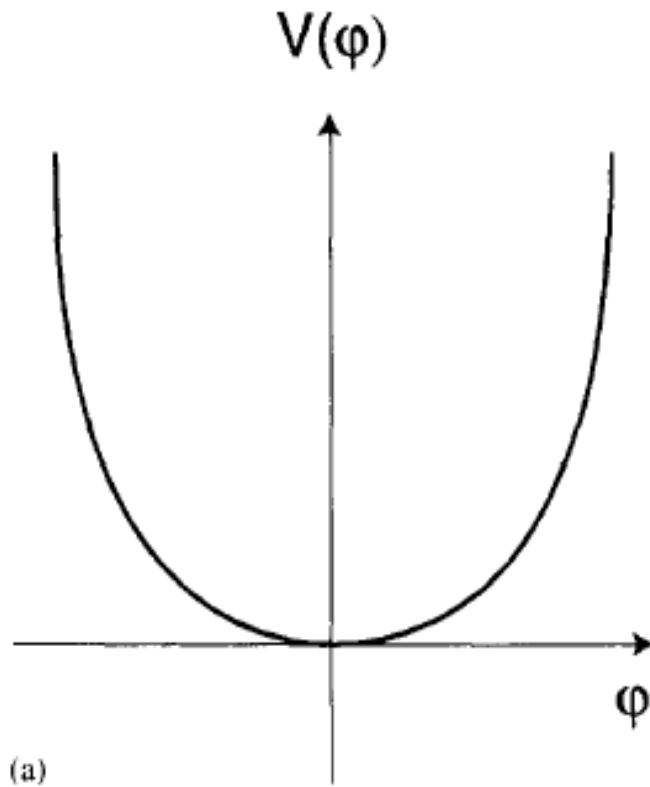
Потенциал Гинзбурга-Ландау

$$V(\varphi) = \alpha |\varphi|^2 + \frac{1}{2} \beta |\varphi|^4$$

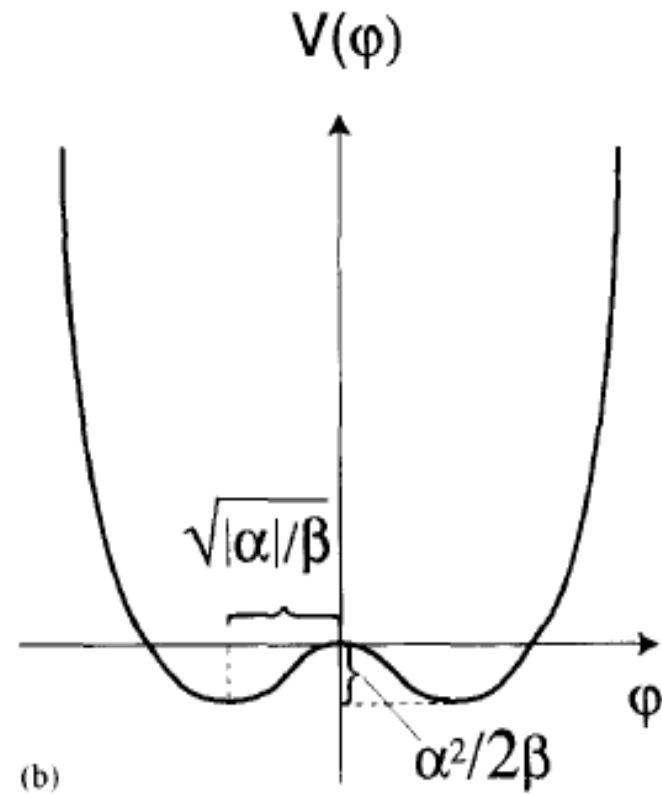
$$\alpha \propto T - T_c$$

$$\beta = \text{const}$$

Потенциал в модели Гинзбурга-Ландау



Выше T_c



Ниже T_c

Время и длина релаксации

$$\xi(t) = \xi_0 \left| \frac{t}{\tau_Q} \right|^{-\nu} \qquad \tau(t) = \tau_0 \left| \frac{t}{\tau_Q} \right|^{-\gamma}$$

Максимальная скорость, с которой параметр порядка может поменяться:

$$\bar{c}(t) = \frac{\xi(t)}{\tau(t)}$$

Два режима во время фазового перехода

1. Адиабатический режим $T < T_c$

Время релаксации меньше времени охлаждения

2. Импульсный режим $T \approx T_c$

время релаксации больше времени, при котором температуру в системе можно считать постоянной

Расстояние между дефектами

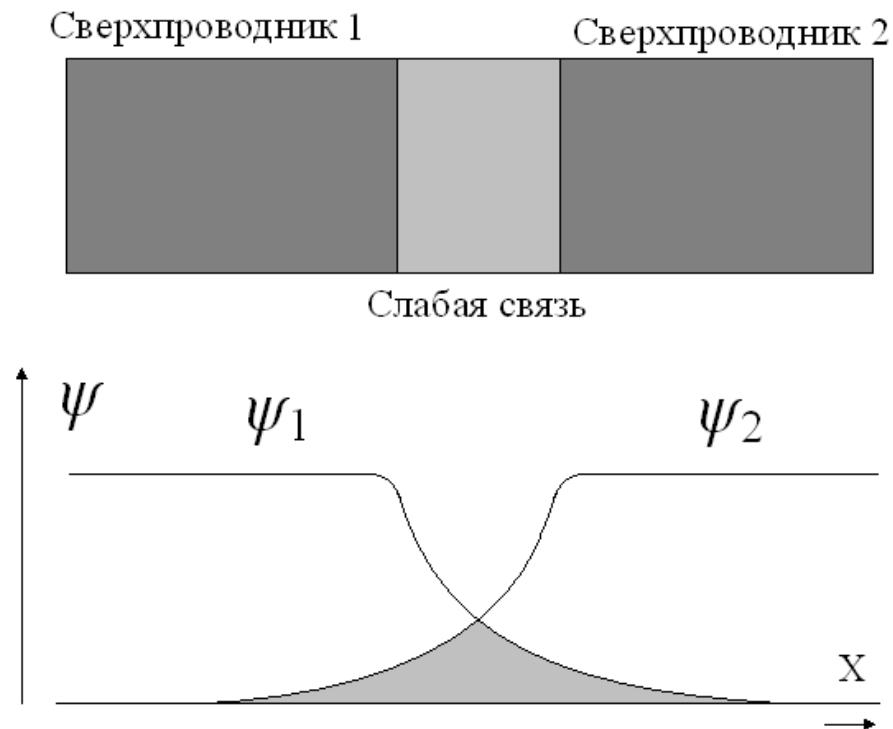
Определяется моментом \bar{t} , когда происходит переход между двумя режимами:

$$\bar{\xi} = \xi(\bar{t})$$

Для джозефсоновских контактов:

$$\bar{\xi} \sim \xi_0 \left(\frac{\tau_Q}{\tau_0} \right)^{1/4}$$

Джозефсоновский контакт



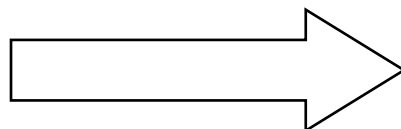
Джозефсоновская фаза:

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$$

Соотношения джозефсона

$$\left\{ \begin{array}{l} I_s = I_c \sin \varphi \\ V = \frac{\hbar}{2e} \frac{d\varphi}{dt} \end{array} \right.$$

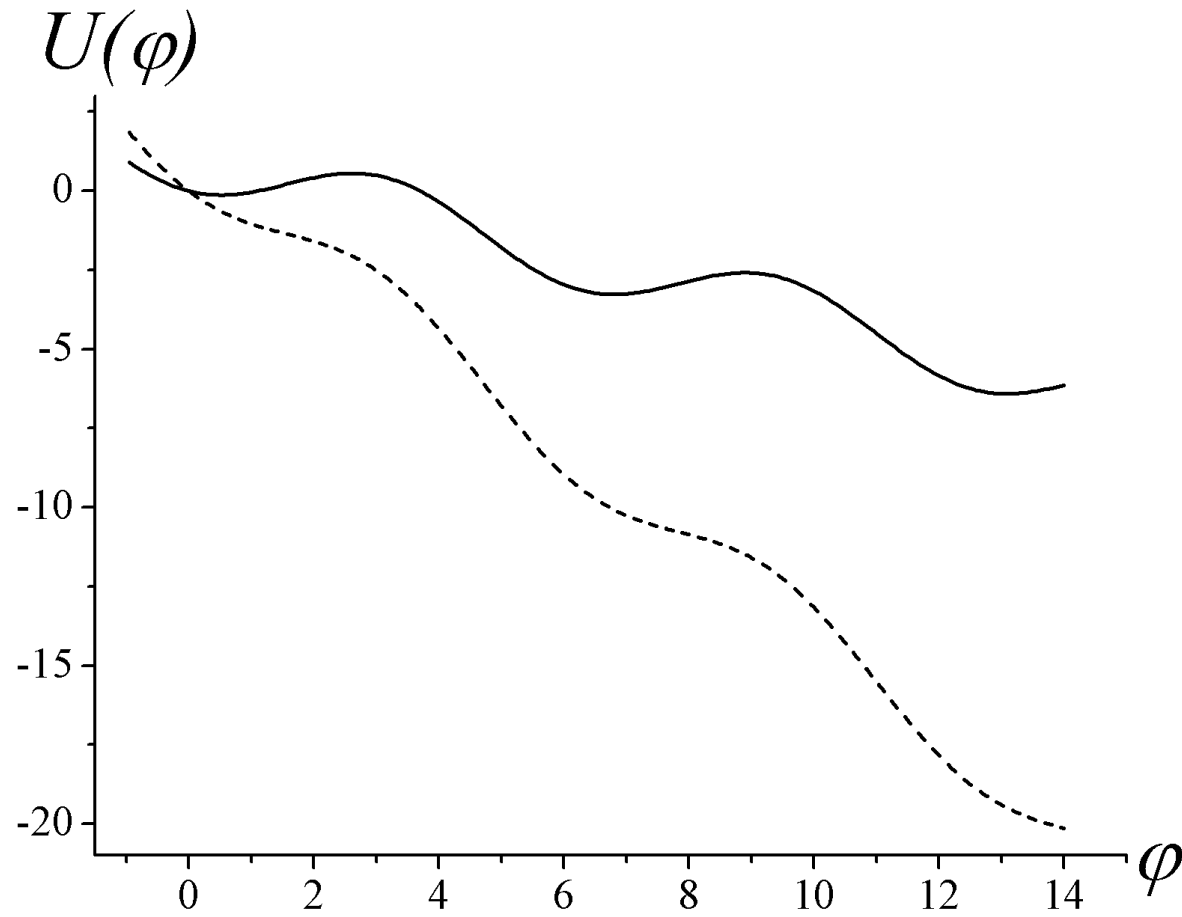
Электромагнитное излучение
с частотой



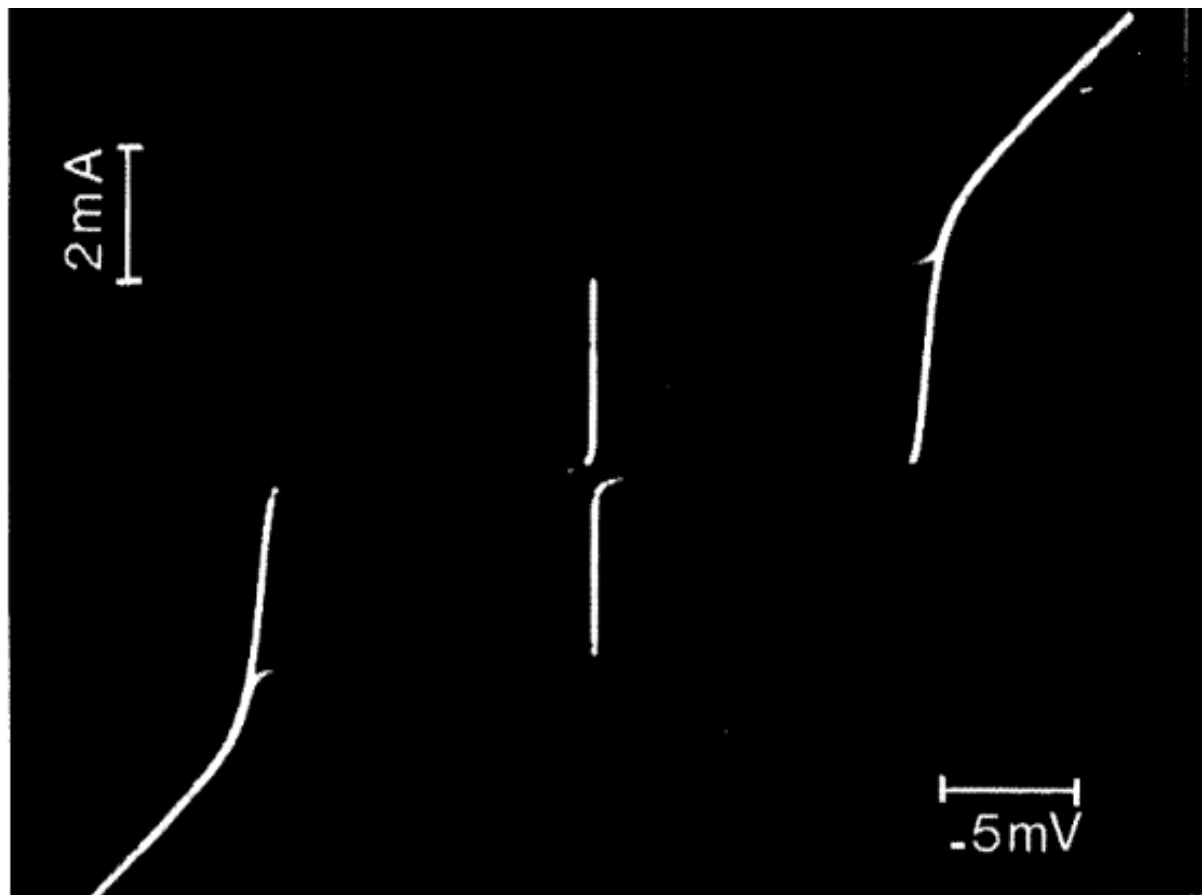
$$f = \frac{V}{\Phi_0}$$

$$\Phi_0 = \frac{h}{2e} \approx 2.07 \times 10^{-15} \text{ Вб}$$

Потенциальный профиль для джозефсоновской фазы



Вольт-амперная характеристика джозефсоновского контакта



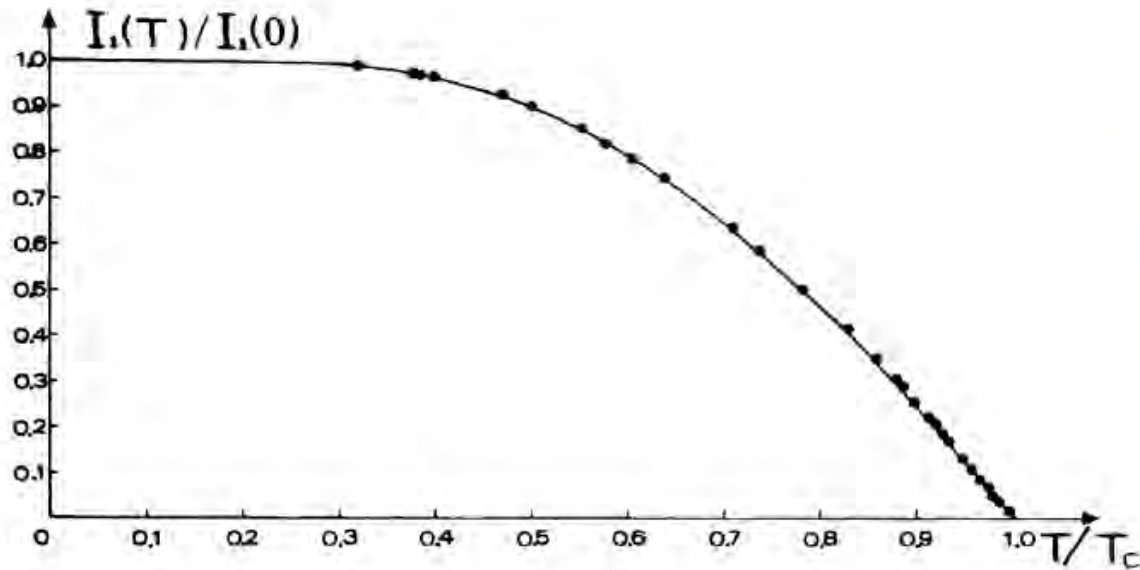
Джозефсоновская длина

$$\xi(t) \quad \longrightarrow \quad \lambda_J(t)$$

$$\lambda_J(t) = \sqrt{\frac{\hbar}{2e\mu_0 d(t) J_C(t)}}$$

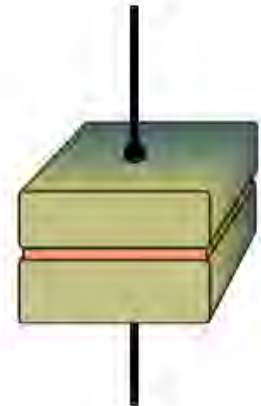
$d(t)$ - магнитная толщина

Температурная зависимость критического тока



© A.Barone data

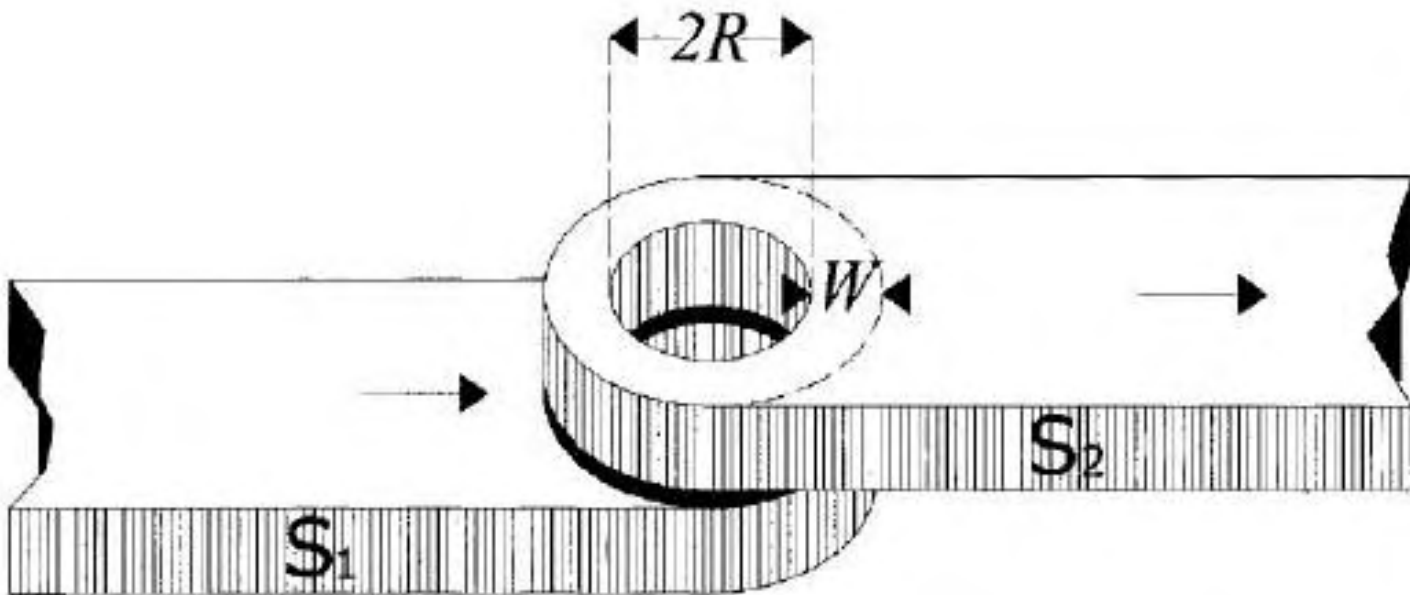
Sn-SnO_x-Sn junction



Ambegaokar and Baratoff (1963)

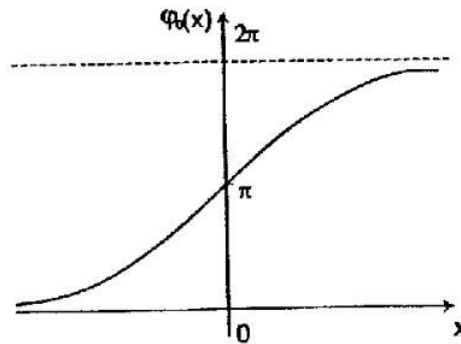
$$I_c(T) = \frac{\pi}{2} \frac{\Delta(T)}{R_n} \tanh \frac{\Delta(T)}{2k_B T}$$

Образец

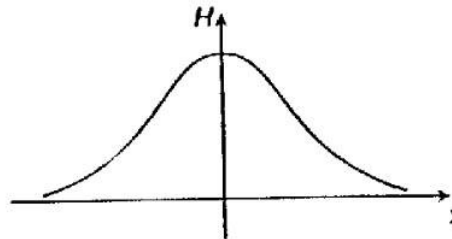


Джозефсоновский вихрь

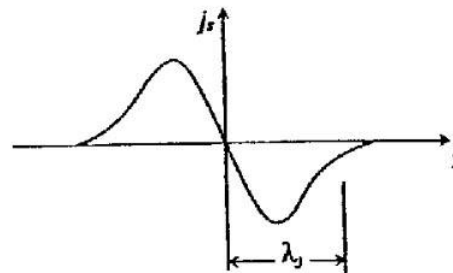
Фаза



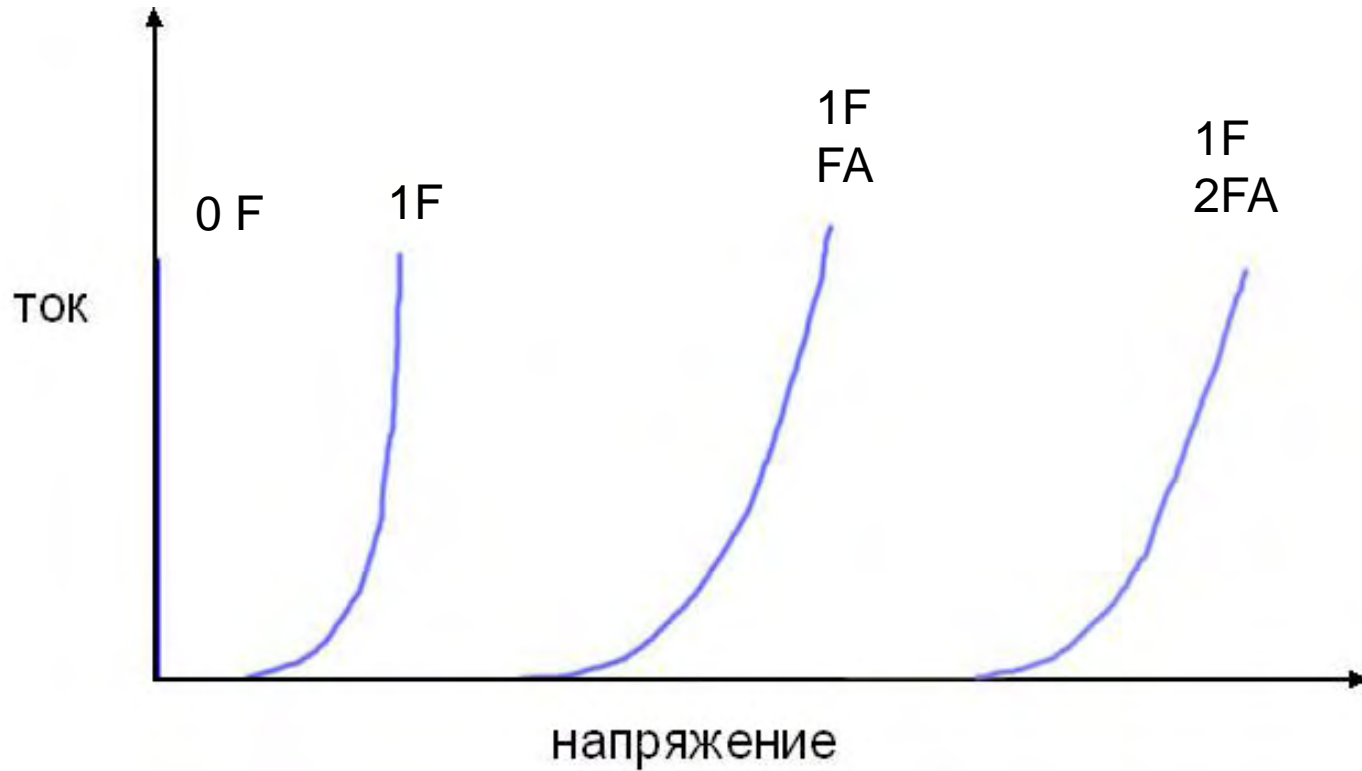
Магнитное поле



Сверхпроводящий ток

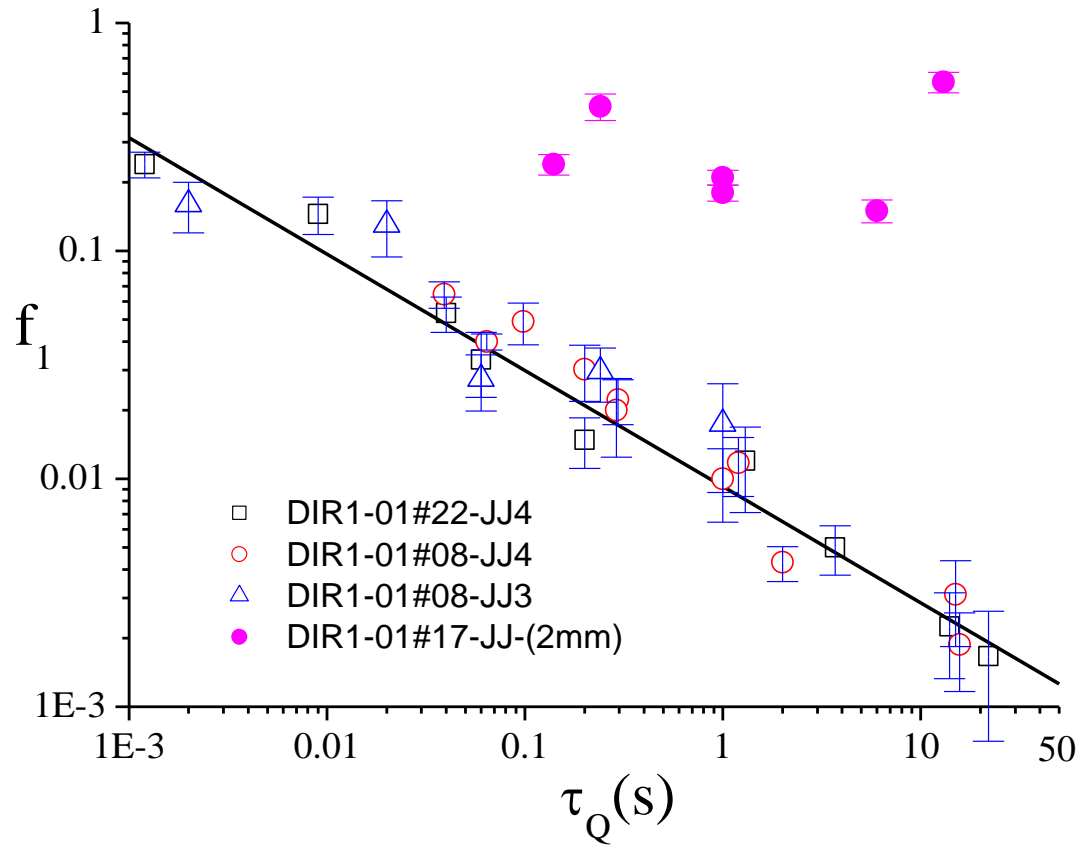


Измерение захваченных вихрей



Результаты экспериментов

с джозефсоновскими контактами



Литература

- К.К. Лихарев, Введение в динамику джозефсоновских переходов – М.:Наука, (1985)
- A. Barone and G. Paterno, *Physics and Applications of the Josephson Effect* - Wiley, New York, (1982)
- W. H. Zurek, Phys. Rep. **276**, 177 (1996)
- T.W. B. Kibble, Phys. Rep. **67**, 183 (1980)
- R. Monaco, J. Mygind, and R. J.Rivers, Phys. Rev. B **67**, 104506 (2003)
- R. Monaco, M. Aaroe, J. Mygind, and R. J.Rivers, Phys. Rev. B **74**, 144513 (2006)

Безразмерное уравнение

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \alpha \frac{\partial \varphi}{\partial t} - \frac{1}{\lambda_J^2(T)} \sin \varphi = i_f$$

Координата $\lambda_J = \sqrt{\frac{\hbar}{2eLJ_C}}$ - джозефсоновская длина

Время $\frac{1}{\omega_p} = \sqrt{\frac{2eJ_C}{\hbar C}}$ - обратная плазменная частота

Остальные параметры $\alpha = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{\hbar}{2eCJ_C}}$, $\gamma(T) = \frac{2ekT}{\hbar J_C \lambda_J}$

Шум $\langle i_f \rangle = 0$

$$\langle i_f(x, t) i_f(x + l, t + \tau) \rangle = 2\gamma\alpha \delta(l) \delta(\tau)$$