

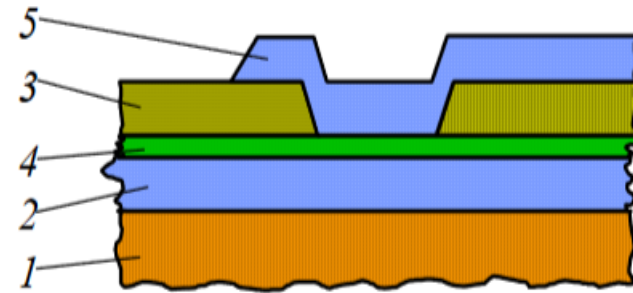
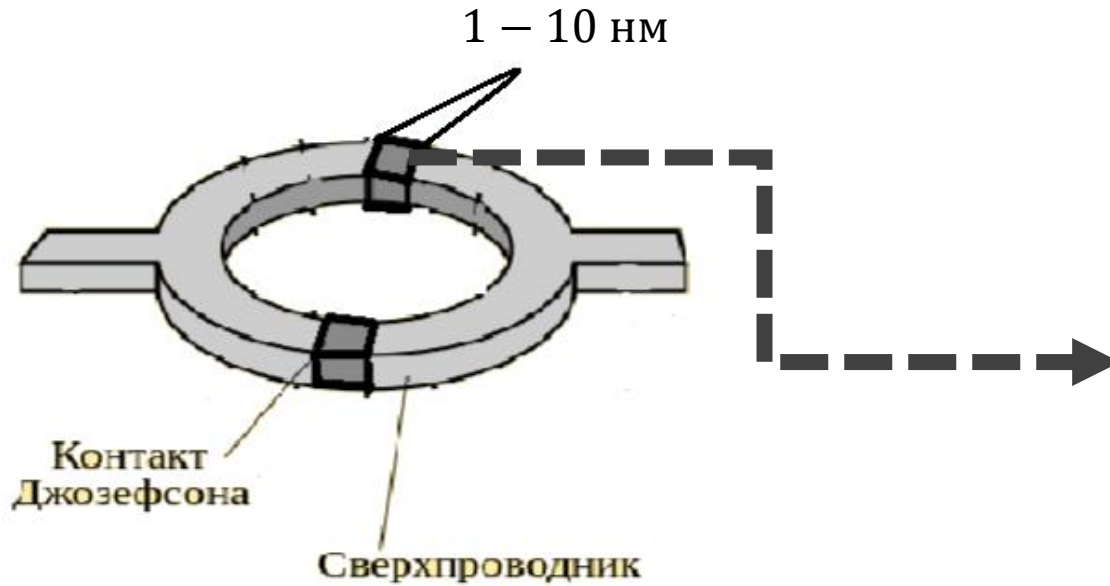
# Сверхпроводящие квантовые интерференционные датчики (СКВИДЫ) и их применение.

Миклуш Ярослав 215  
Научный руководитель:  
профессор Корнев  
Виктор Константинович

# Актуальность

Вопрос об изучении и применении сквидов остаётся актуальным на сегодняшний день благодаря тому, что они обладают исключительной чувствительностью к магнитным полям и могут быть использованы для решения многочисленных задач в таких областях как: медицина, геофизика, промышленность и многие др.

# Что из себя представляет сквид?



Джозефсоновский переход SNS  
типа (сверхпр. – металл – сверхпр.)

- 1 – Диэлектрическая подложка
- 2,5 – слои сверхпроводников
- 3 – слой диэлектрика
- 4 – слой нормального металла

В простейшем случае сквид – это кольцо из сверхпроводящего материала, в котором присутствуют один или несколько Джозефсоновских контактов.

Для понимания того, как работает сквид необходимо иметь представление о нескольких интересных эффектах:

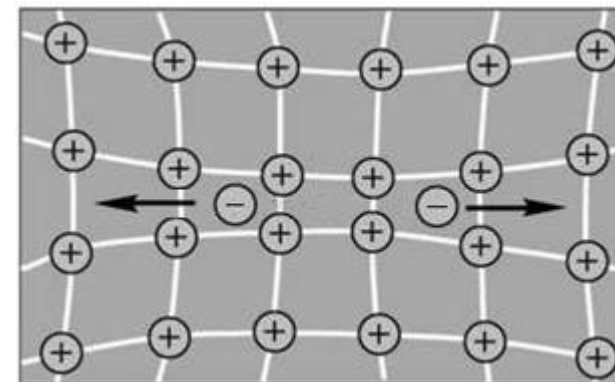
1. Сверхпроводимость
2. Квантование магнитного потока
3. Эффект Мейсснера
4. Эффект Джозефсона
5. Эффект макроскопической квантовой интерференции

**Сверхпроводимость** – фазовое состояние вещества, находясь в котором оно обладает строго нулевым сопротивлением  $R$  для постоянного тока, при этом  $B_{in} = 0$ .

Теория БКШ – объясняет возникновение куперовских пар

Все Куперовские пары описываются единой волновой функцией – они когерентны.

### Куперовская пара



### Квантование магнитного потока.

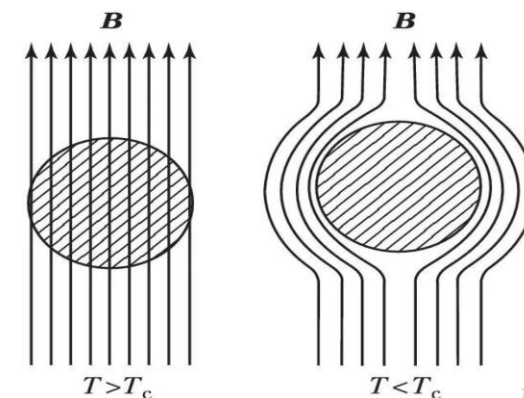
Магнитный поток, пронизывающий сверхпроводящее кольцо принимает значения кратные элементарному кванту потока:

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

$$\Phi = m\Phi_0; m = 0, 1, 2, \dots$$

### Эффект Мейсснера

Эффект Мейсснера – при охлаждении в постоянном и не очень сильном магнитном поле, при  $T < T_c$  магнитное поле выталкивается из толщи сверхпроводника. В итоге  $B_{in} = 0$ .



## Эффект Джозефсона.

Эффект Джозефсона описывается системой из двух уравнений:

$$\begin{aligned} 1) \quad I_s &= I_c * \sin(\varphi) \\ 2) \quad V &= \left(\frac{\hbar}{2e}\right) \frac{d\varphi}{dt} \end{aligned}$$

Где  $\varphi$  – разность фаз волновых функций Куперовских пар по обе стороны от перехода,  $I_c$  – критический ток для контакта,  $V$  – напряжение на переходе.

**Стационарный эффект Джозефсона** состоит в том, что постоянный сверхпроводящий ток  $I < I_c$  может протекать через Джозефсоновский переход без приложения напряжения.

При пропускании тока  $I > I_c$  через переход и при наличии постоянного магнитного потока имеет место

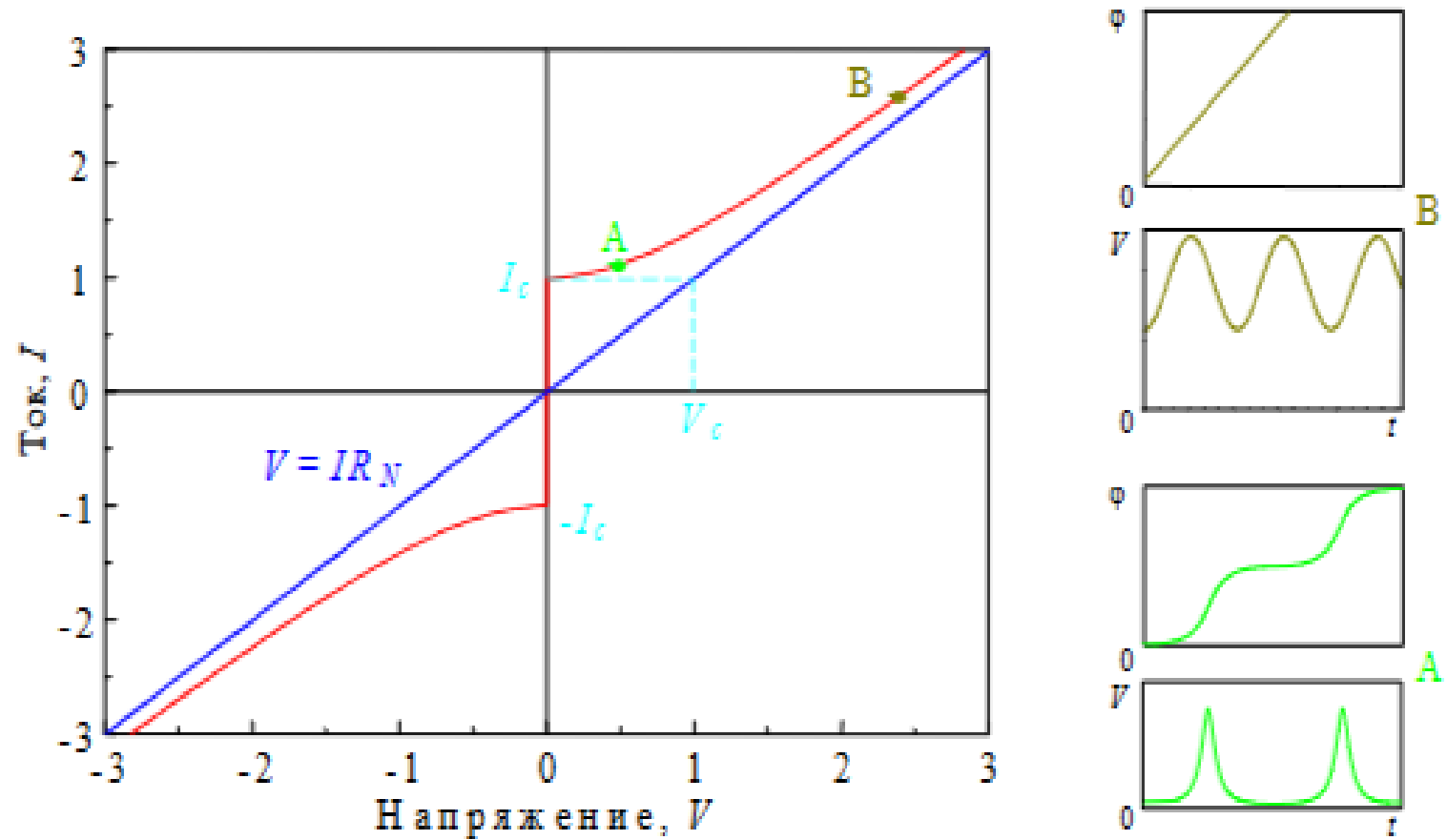
**нестационарный эффект Джозефсона :**

$I = I_s + I_n$  . Протекание нормальной компоненты тока обуславливает появление напряжения :  $V = I_n * R_n$ .

$I_s$  и  $I_n$  осциллируют в противофазе с частотой, пропорциональной постоянной составляющей падения напряжения на переходе (частота осцилляций:  $\Omega = \frac{2e}{\hbar} \bar{V}$ ) ; это приводит к осцилляции напряжения  $V(t) = I_n(t) * R_n$  – так называемая Джозефсоновская генерация. Такое состояние Джозефсоновского перехода называется резистивным.

# ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА 1 ДЖОЗЕФСОНСКОГО ПЕРЕХОДА

ВАХ перехода с малой ёмкостью



Ток нормирован на  $I_c$ , напряжение – на  $V_c$

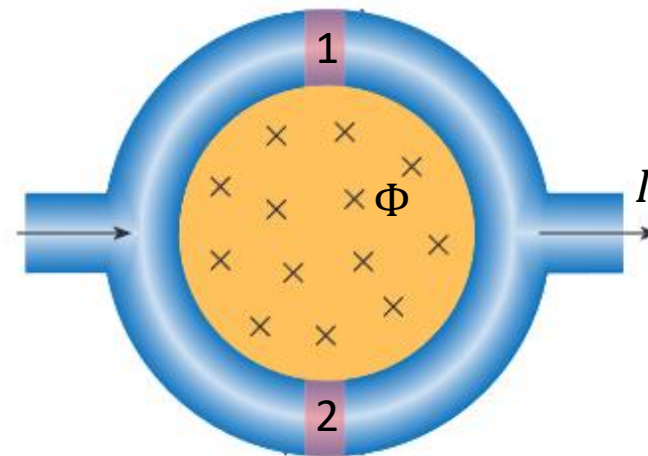
## Эффект квантовой макроскопической интерференции

В сквиде, например, с двумя Джозефсоновскими переходами возникает интерференция волновых функций Куперовских пар, разность фаз волновых функций определяется магнитным потоком  $\Phi$ , пронизывающим сквид.

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{2\pi}{\Phi_0} \Phi_{\text{СКВ}} \quad (1)$$

$$I = I_c * \sin(\varphi_1) + I_c * \sin(\varphi_2) \quad (2)$$

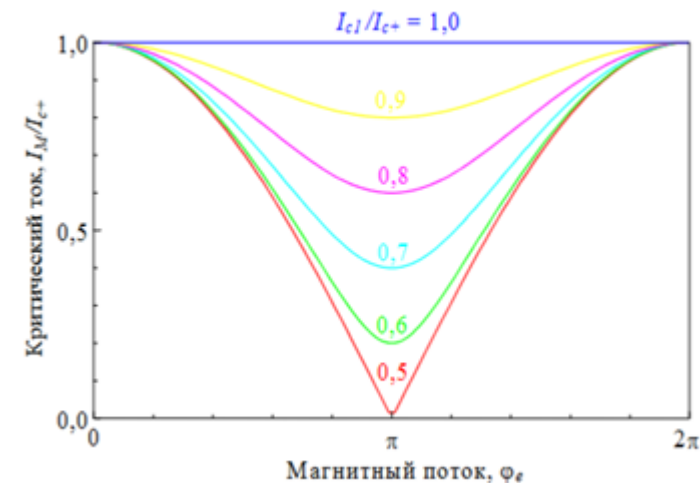
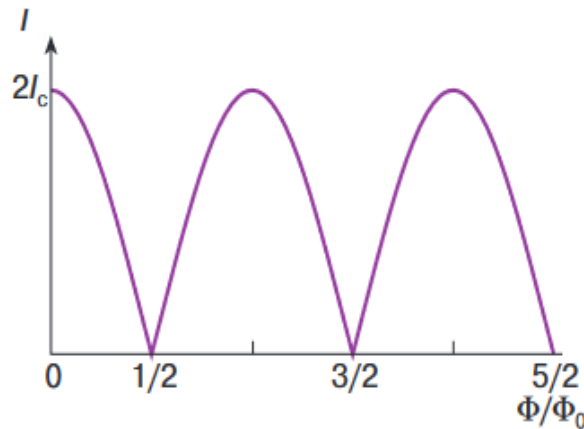
$$\Phi_{\text{СКВ}} = \Phi_{\text{внеш}} - LI \quad (3)$$



$\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – скачки фаз волновых функций на 1 и 2 переходах,  $I_c$  для простоты рассмотрения одинаковы.

Изменение  $\Phi$  – внешнего потока приводит к периодическому изменению полного тока  $I$  через сквид, с периодом  $\Phi_0$ .

В данном случае  $I$  обращается в 0, когда  $\Phi = \left(m + \frac{1}{2}\right) \Phi_0$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots$





## Объяснение явления макроскопической интерференции в сверхпроводниках

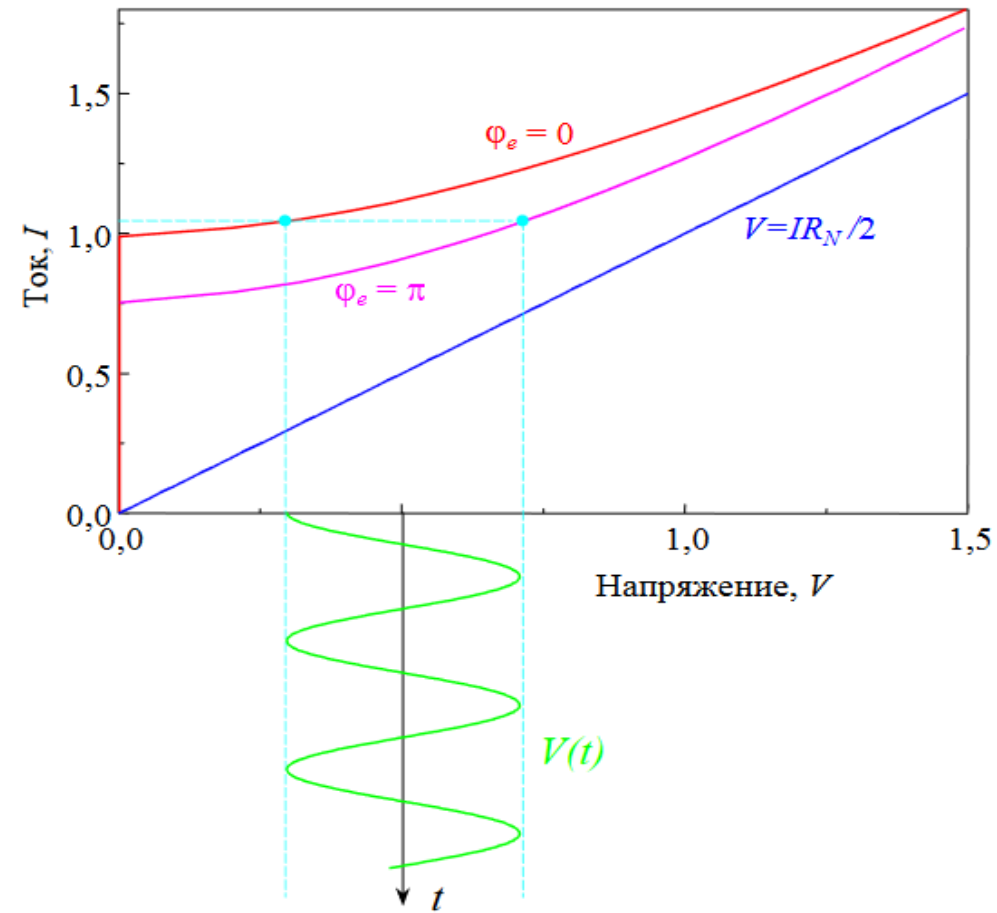
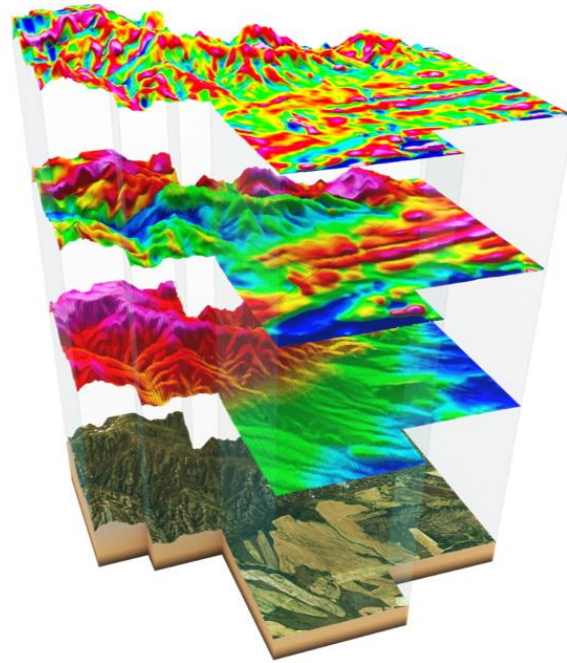


Рис. 6. ВАХ двухконтактного интерферометра для значений внешнего магнитного потока  $\varphi_e = 0$  и  $\varphi_e = \pi$ , а также соответствующая сигнальная характеристика  $\bar{V}(t)$  при линейном нарастании внешнего потока  $\varphi_e$ .

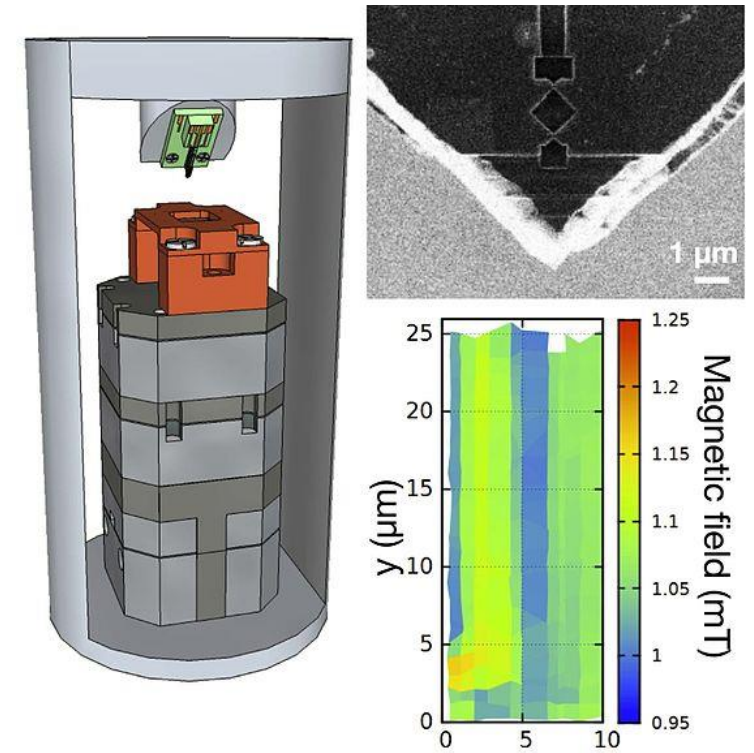
## Применение сквидов.



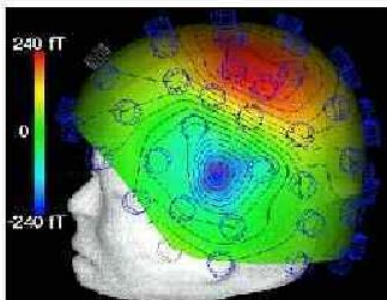
MEG – магнитоэнцефалография



Аэромагниторазведка



Сквид – микроскопия



Спасибо за внимание.