

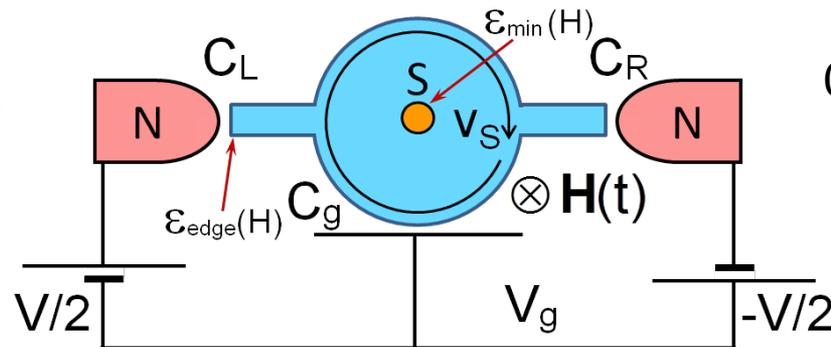
Перекачка заряда через одноэлектронный транзистор с помощью модуляции эффекта чётности

И. М. Хаймович¹,

А. С. Мельников¹,

V. F. Maisi²,

J. P. Pekola²,



Phys. Rev. B **92**,
020501(R) (2015)

(1) *Институт физики микроструктур РАН, Н. Новгород, Россия;*

(2) *Low Temperature Lab, Dept of Appl Phys, Aalto University, Finland.*



Institute for physics of microstructures



Russian academy of sciences

План доклада

- **Взаимодействие заряда и завихренности**
- **Одноэлектронные источники тока:**
Основные идеи, составляющие и результаты
- **Эффект чётности и его подавление**
вихрём Абрикосова
- **Новый вид электронного «насоса»**
Модуляция эффекта чётности
- **Вариант возможной реализации**
Периодическое магнитное поле
- **Выводы**

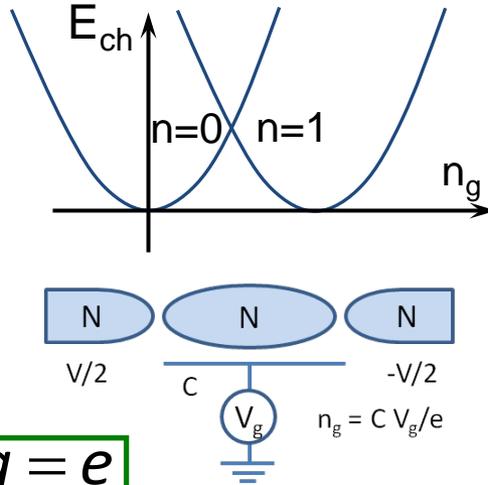
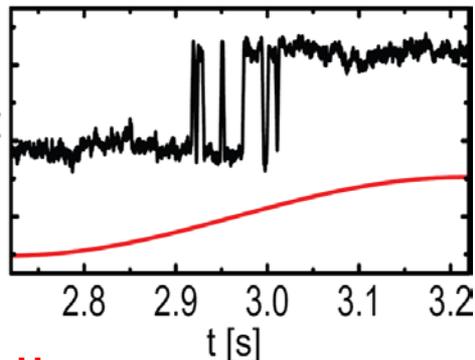
План доклада

- **Взаимодействие заряда и завихренности**
- Одноэлектронные источники тока:
Основные идеи, составляющие и результаты
- Эффект чётности и его подавление
вихрём Абрикосова
- **Новый вид электронного «насоса»**
Модуляция эффекта чётности
- **Вариант возможной реализации**
Периодическое магнитное поле
- **Выводы**

Квантование заряда и потока

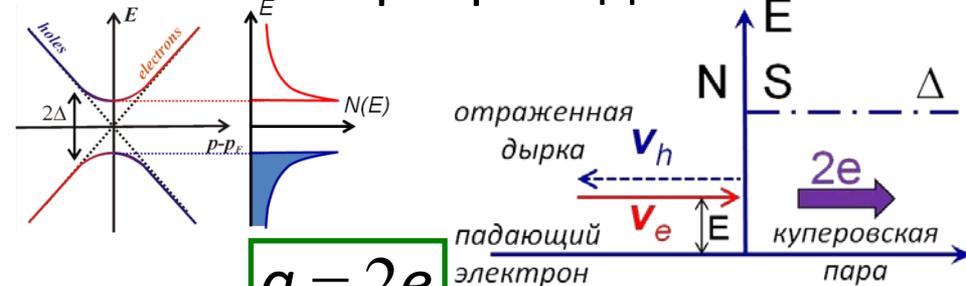
Квантование заряда Нормальный металл

Зарядовое состояние



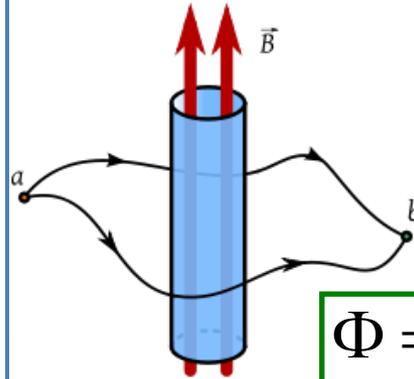
$$q = e$$

Сверхпроводник



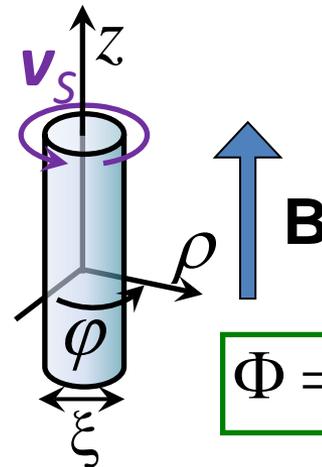
$$q = 2e$$

Квантование магнитн. потока



Эффект
Ааронова-Бома

$$\Phi = n \cdot 2\Phi_0 = n \cdot hc/e$$



Вихрь
Абрикосова

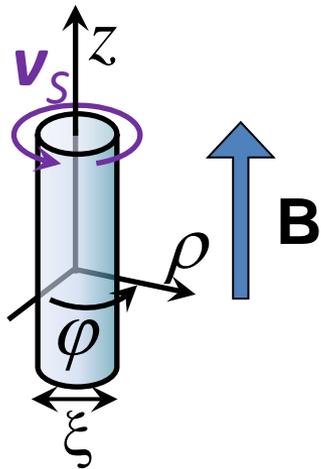
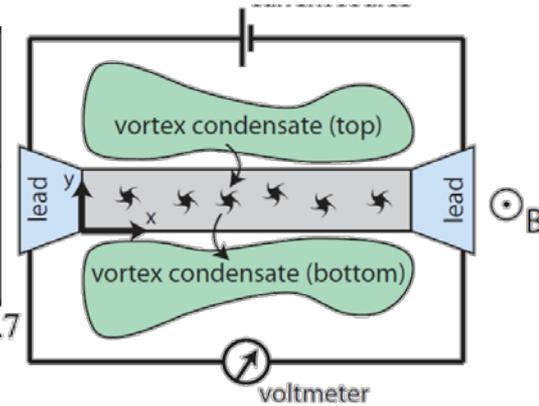
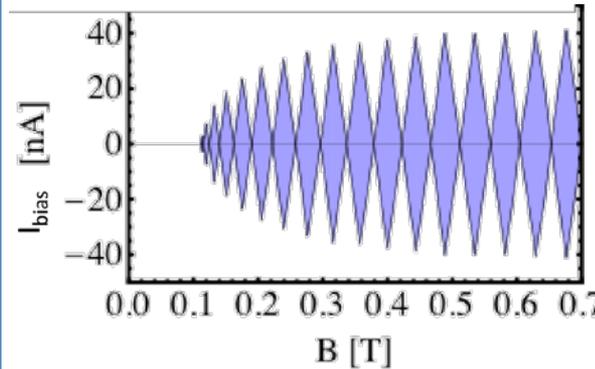
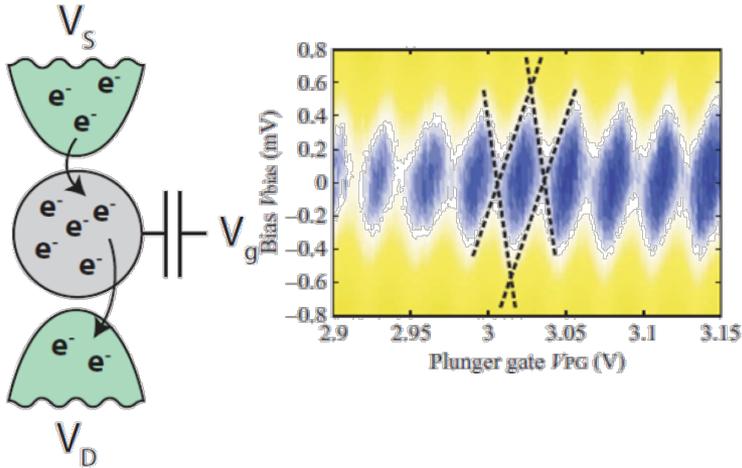
$$\Phi = n\Phi_0 = n \cdot hc/2e$$

Дуальность заряда и завихренности.

Заряд вихря

Квантование заряда

Квантование завихренности

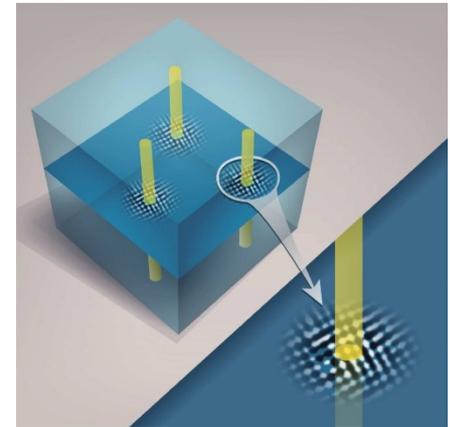


Вихрь
Абрикосова

$$q_v \sim e \Delta / E_F \ll e$$

$$\Phi_0 = hc / 2e$$

T. Wu et. al, *Nature Comm.* **4**, 2113 (2013)



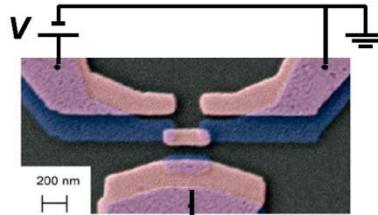
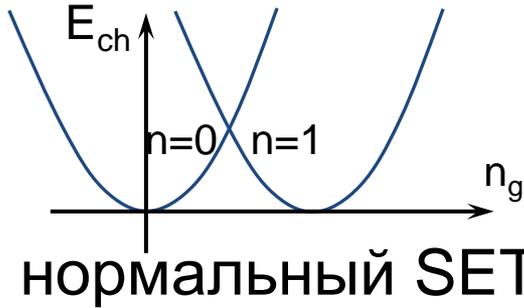
Blatter, Feigel'man, Geshkenbein, Larkin, and van Otterlo, PRL **77**, 566 (1996).

D. I. Khomskii and A. Freimuth, PRL **75**, 1384 (1995).

План доклада

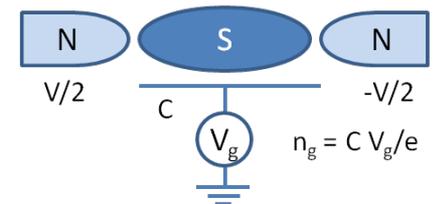
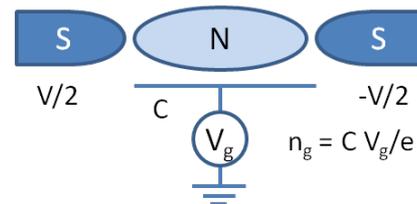
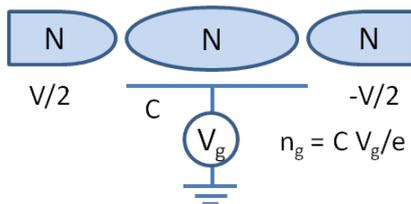
- Взаимодействие заряда и завихренности
- **Одноэлектронные источники тока:**
Основные идеи, составляющие и результаты
- Эффект чётности и его подавление
вихрём Абрикосова
- **Новый вид электронного «насоса»**
Модуляция эффекта чётности
- **Вариант возможной реализации**
Периодическое магнитное поле
- **Выводы**

Одноэлектронный транзистор (SET)

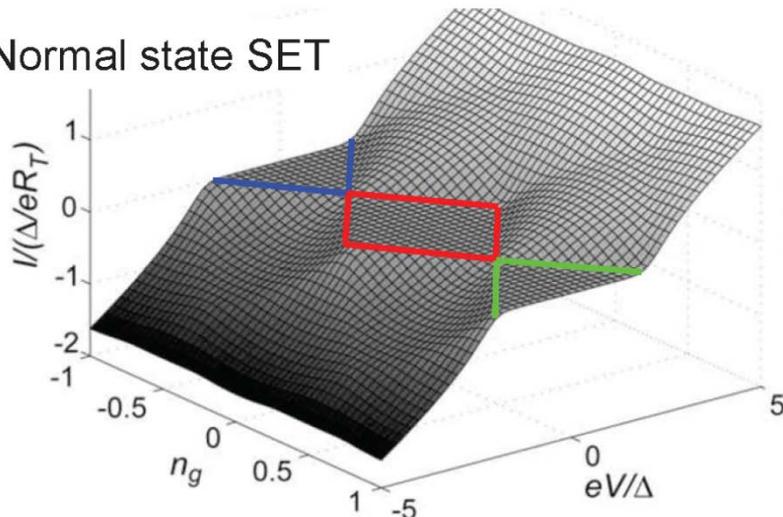


J.P. Pekola et al Nat. Phys. (2008)

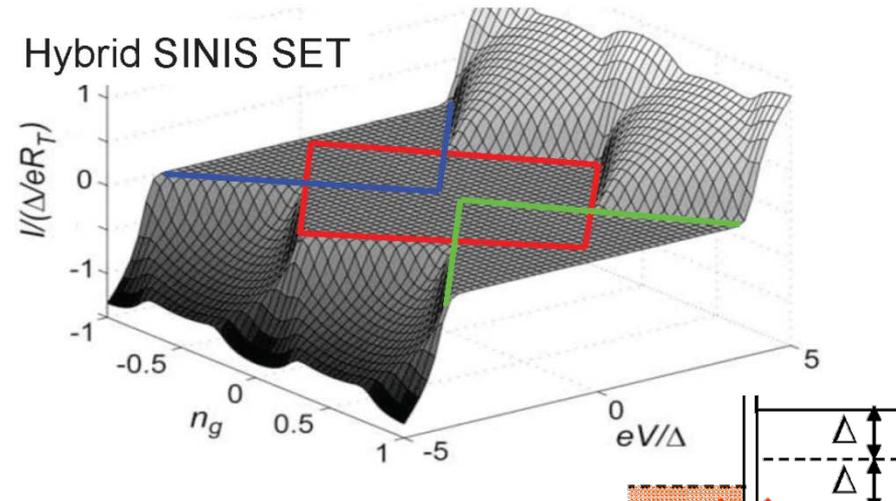
гибридный SINIS или NISIN SET



Normal state SET

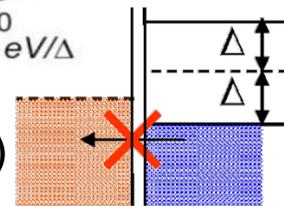


Hybrid SINIS SET



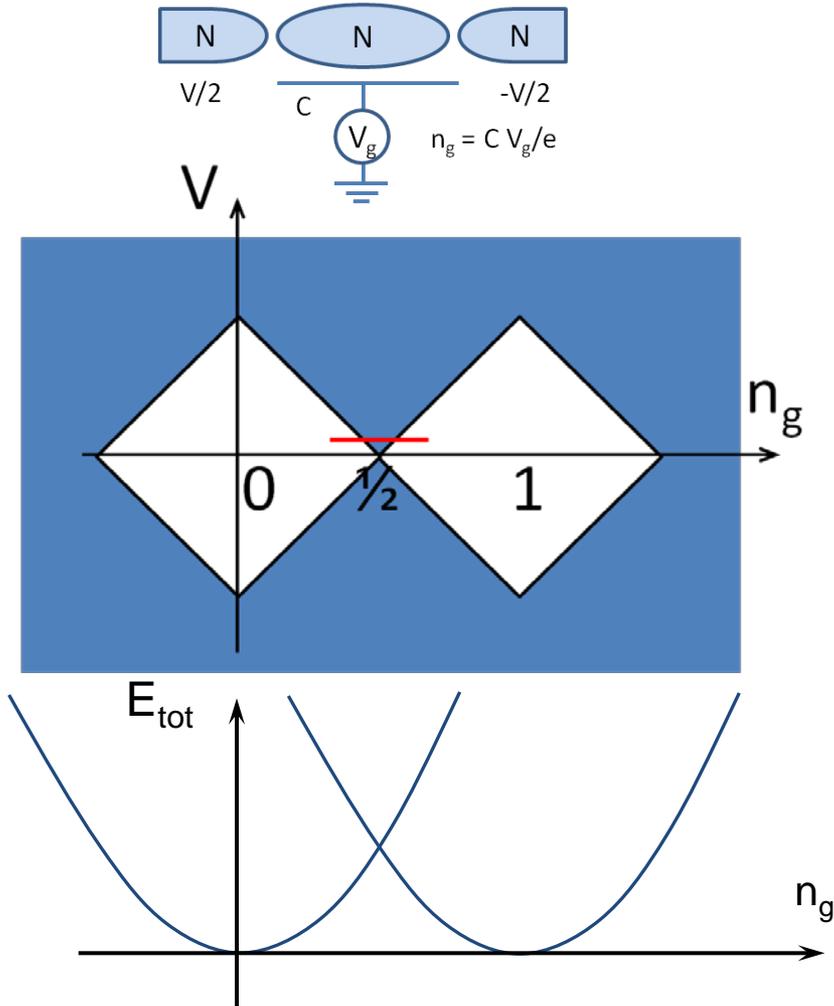
Averin, Likharev *Mesoscopic Phenomena in Solids*, p.173 (1991)

Averin, Nazarov *Single Charge Tunneling*, Vol. 294 (1992)

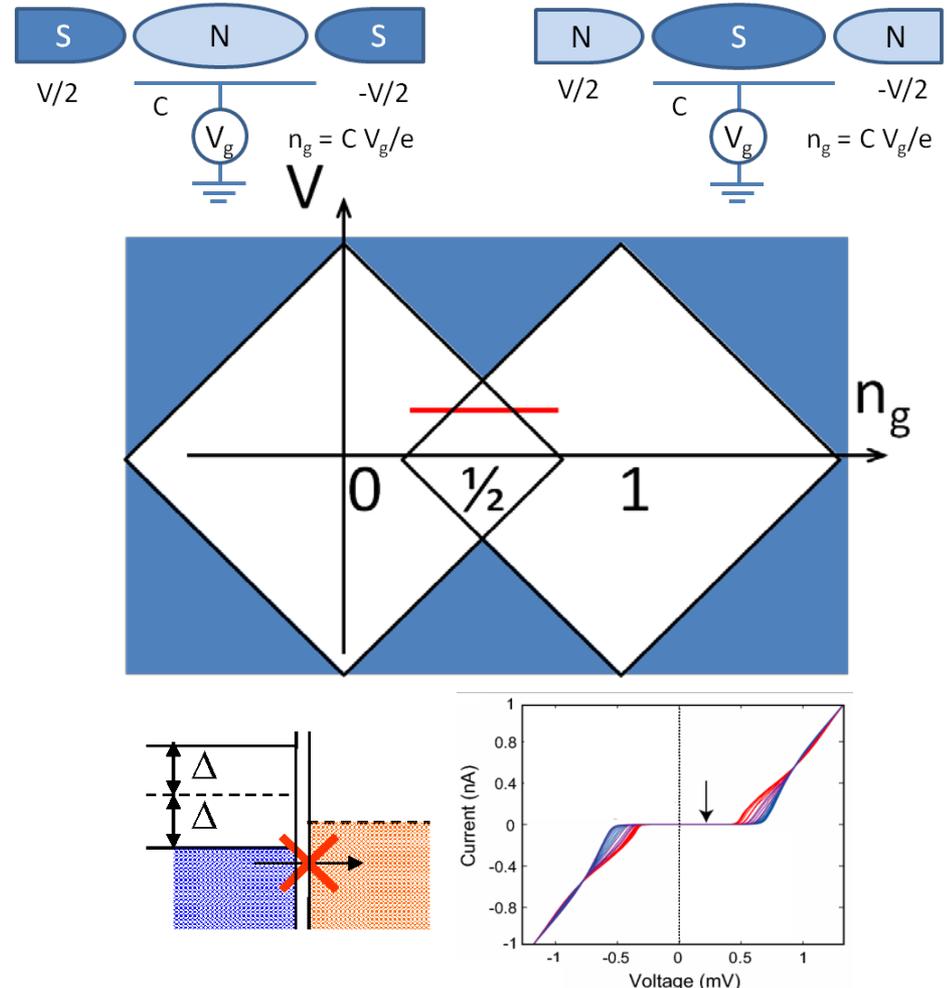


SET. Принцип работы насоса

Нормальный SET

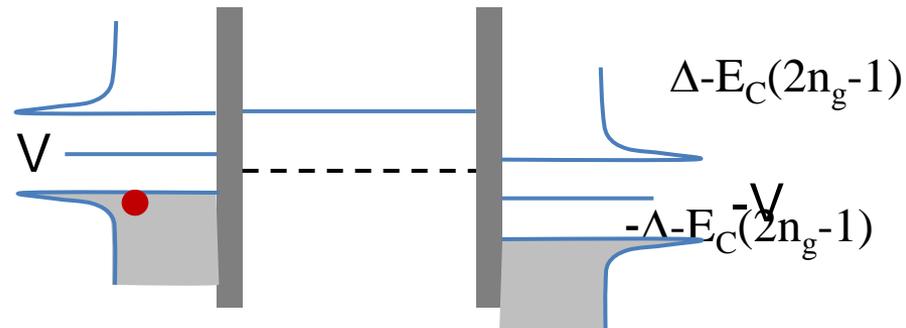
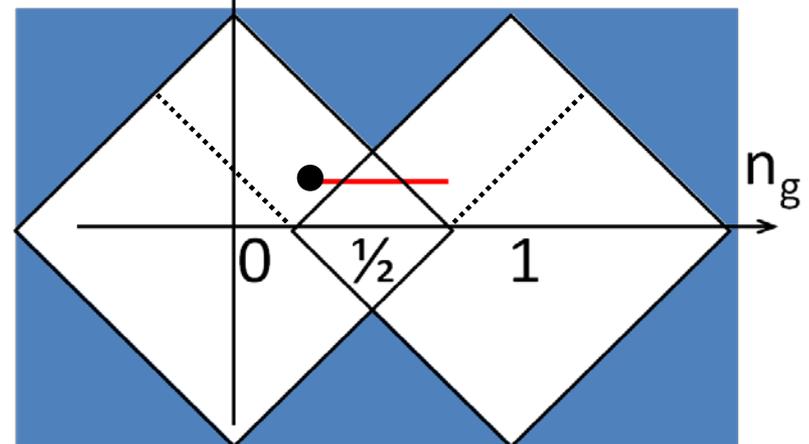
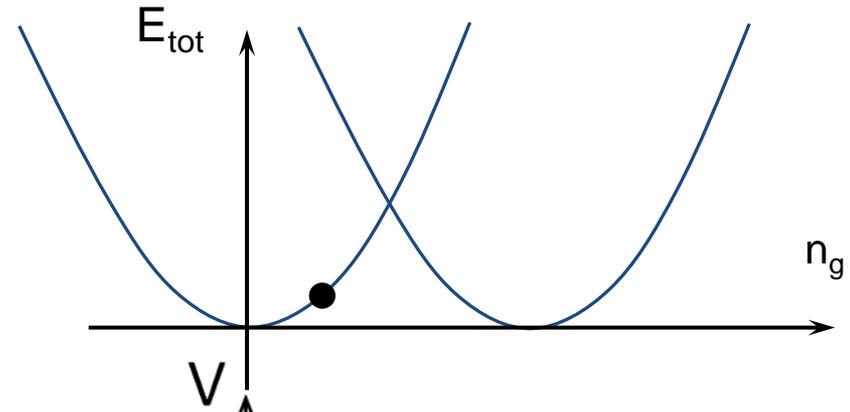
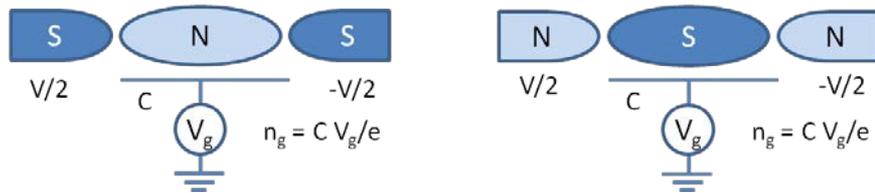
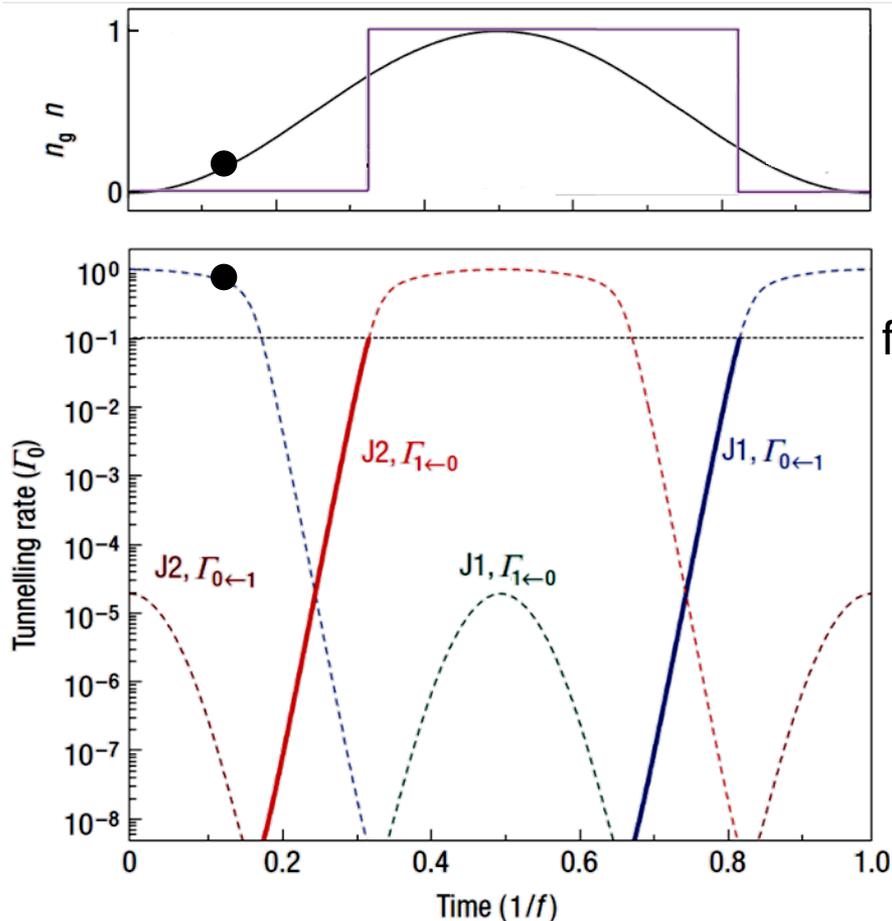


SINIS или NISIN SET



SET. Принцип работы насоса

Периодическое изменение $n_g(t)$

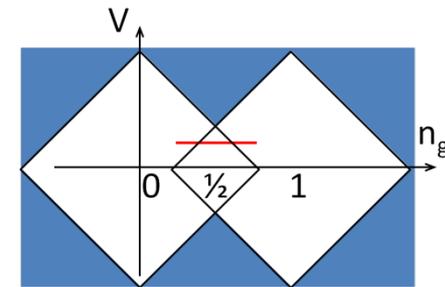
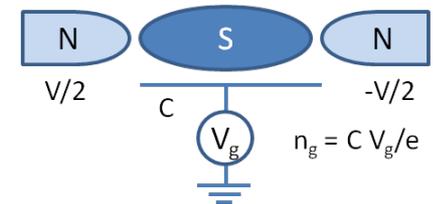
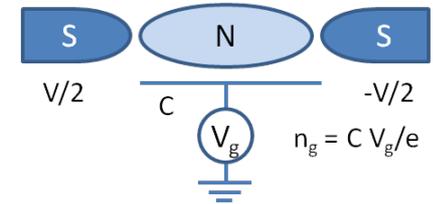
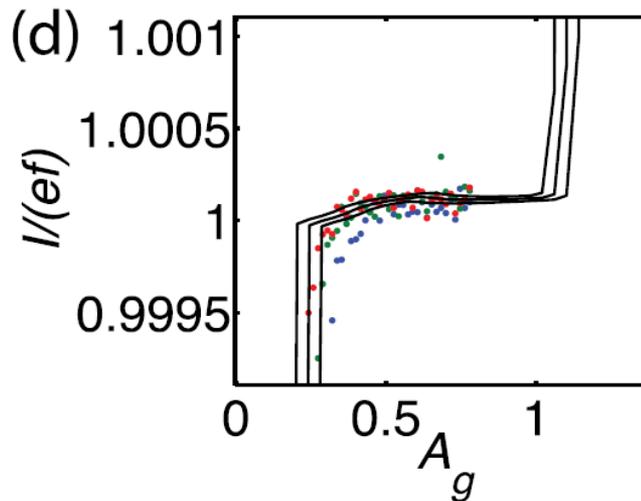
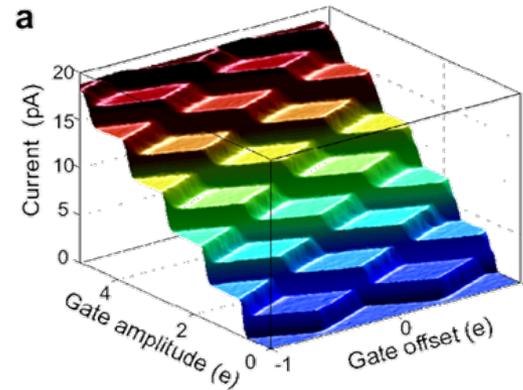
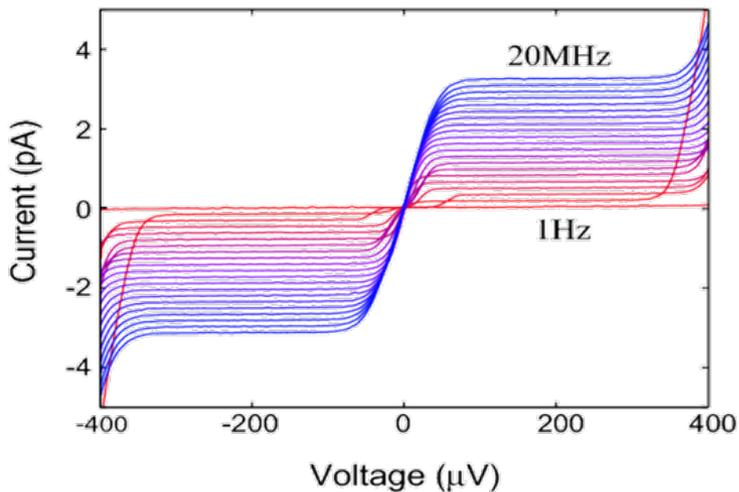
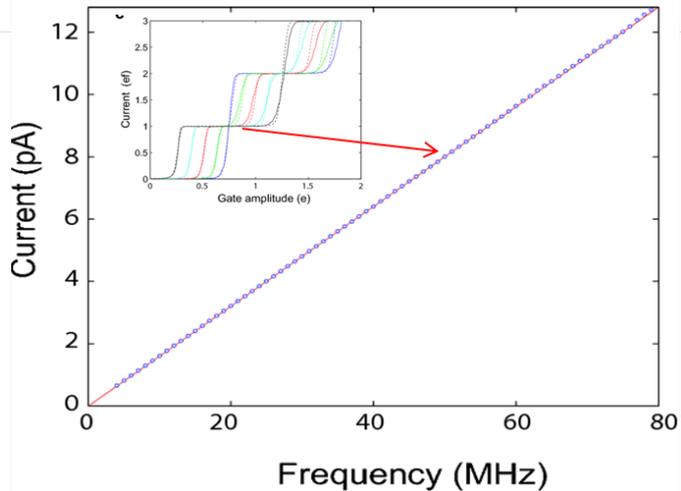


J.P. Pekola et al Nat. Phys. 4, 120 (2008)

SINIS «турникет». Эксперимент.

$$I = nef$$

SINIS или NISIN SET

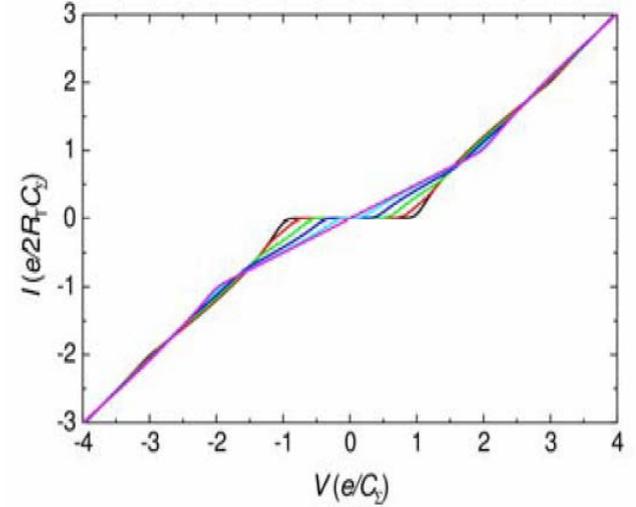
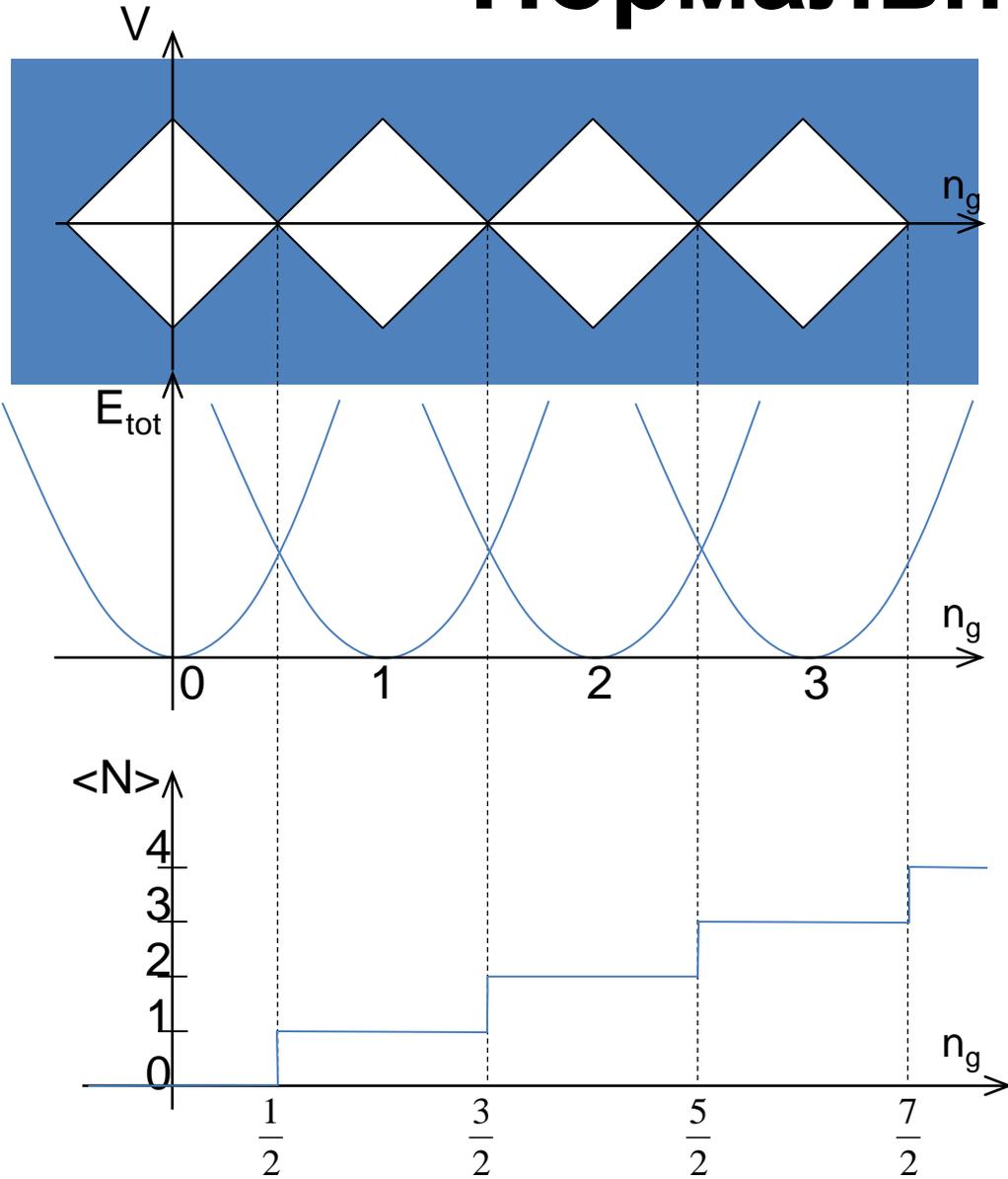


J.P. Pekola et al
Nature Phys. (2008);

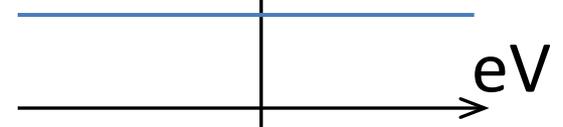
План доклада

- Взаимодействие заряда и завихренности
- Одноэлектронные источники тока:
Основные идеи, составляющие и результаты
- **Эффект чётности и его подавление
вихрём Абрикосова**
- **Новый вид электронного «насоса»**
Модуляция эффекта чётности
- Вариант возможной реализации
Периодическое магнитное поле
- Выводы

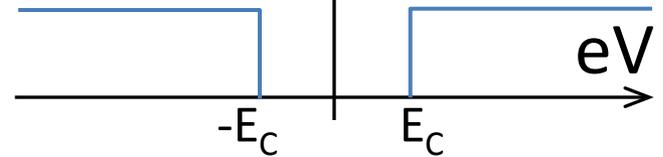
Нормальный SET



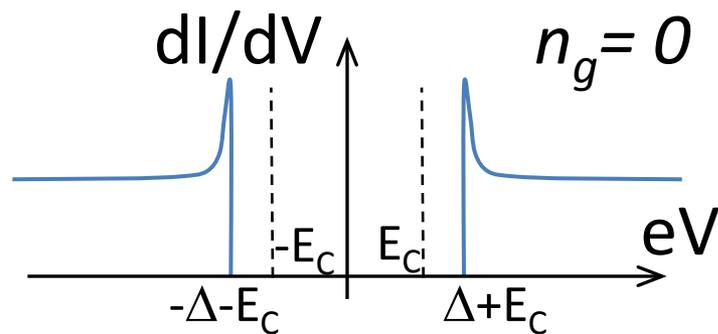
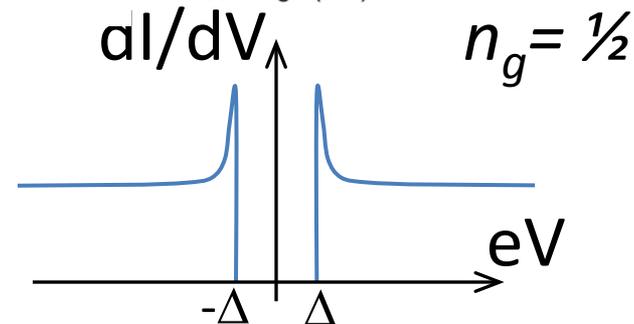
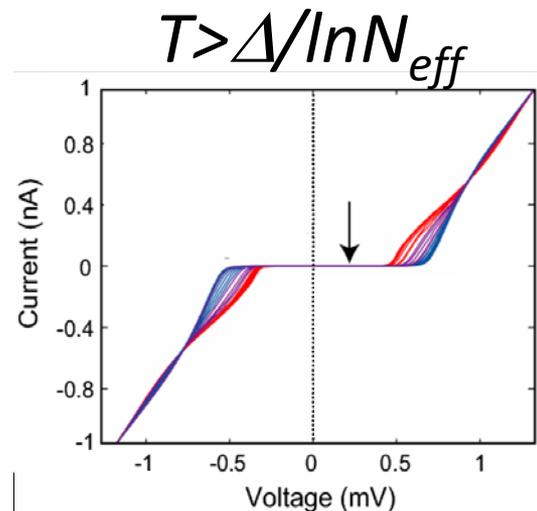
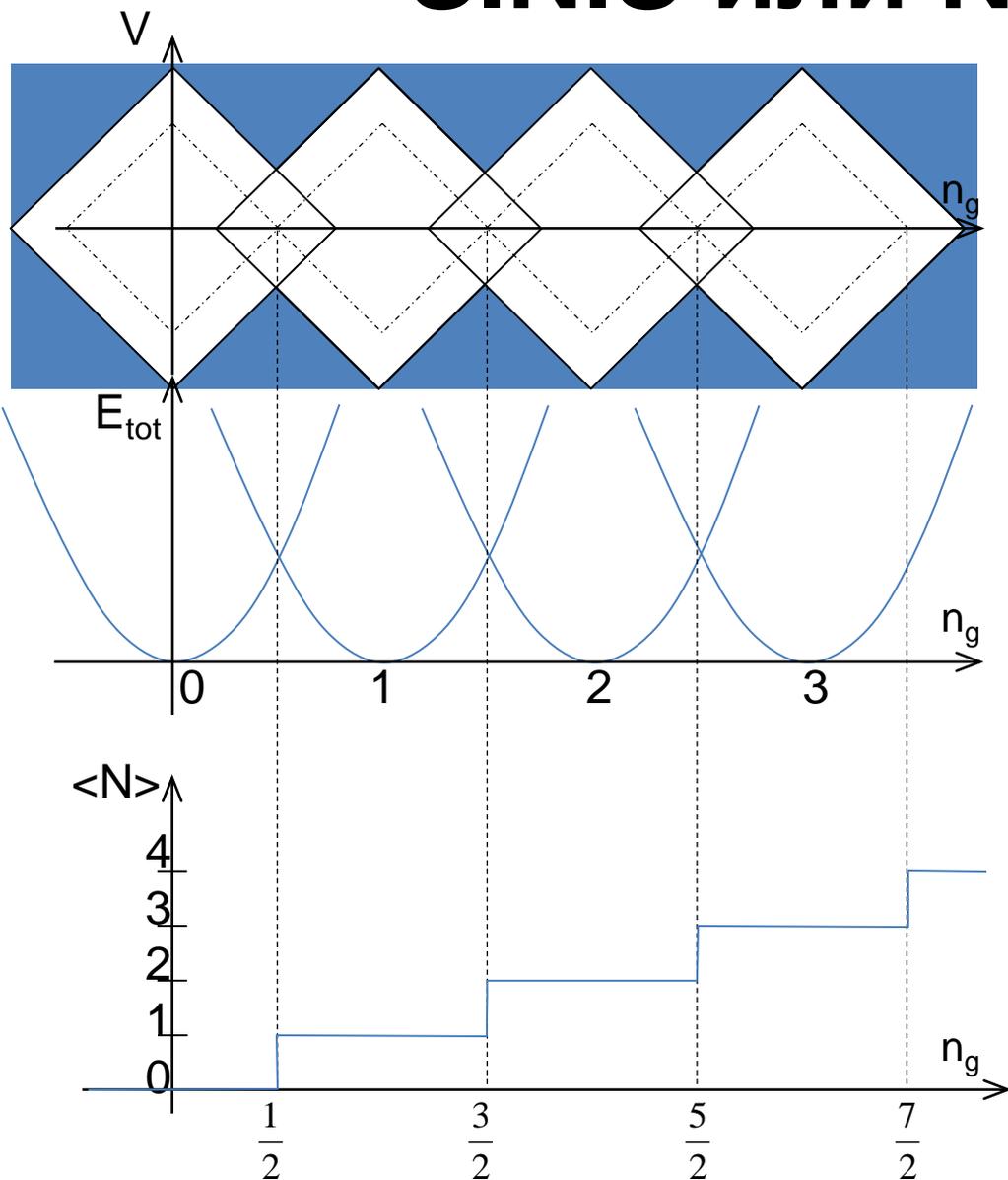
dI/dV $n_g = 1/2$



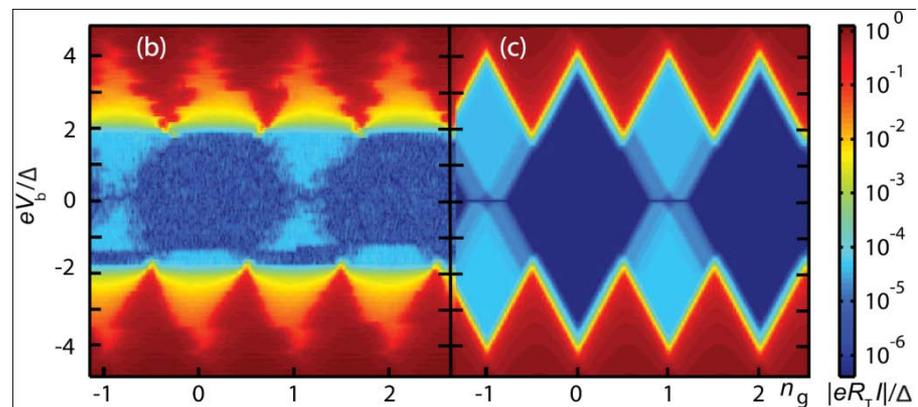
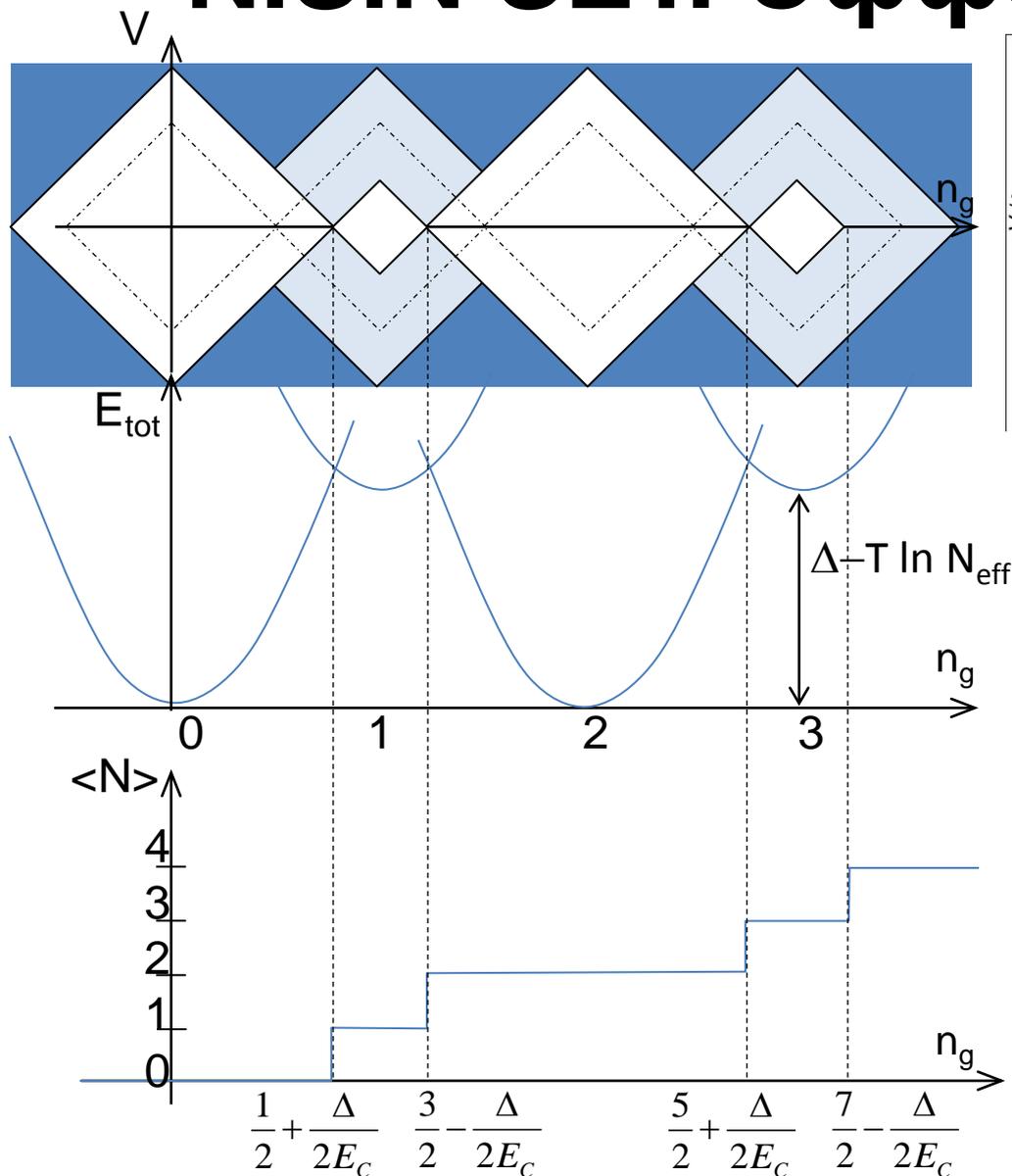
dI/dV $n_g = 0$



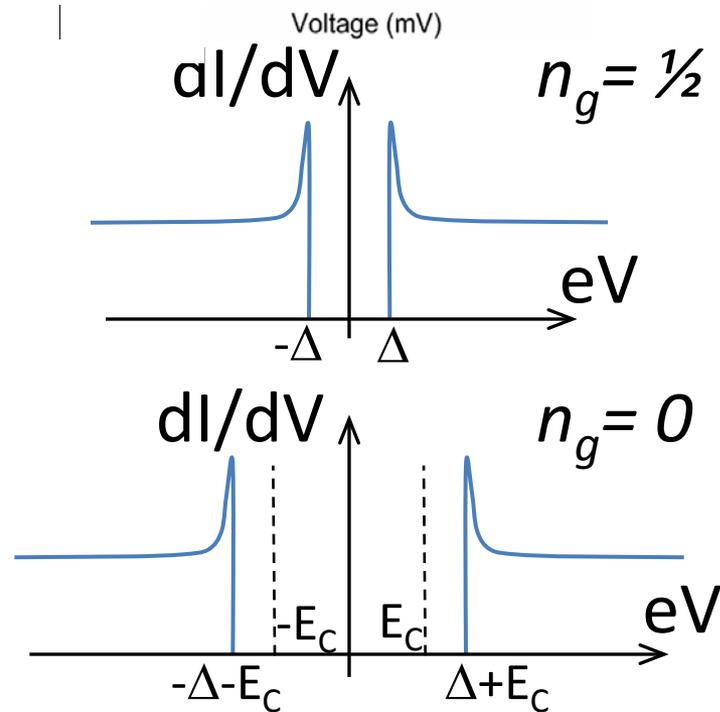
SINIS или NISIN SET



NISIN SET. Эффект чётности

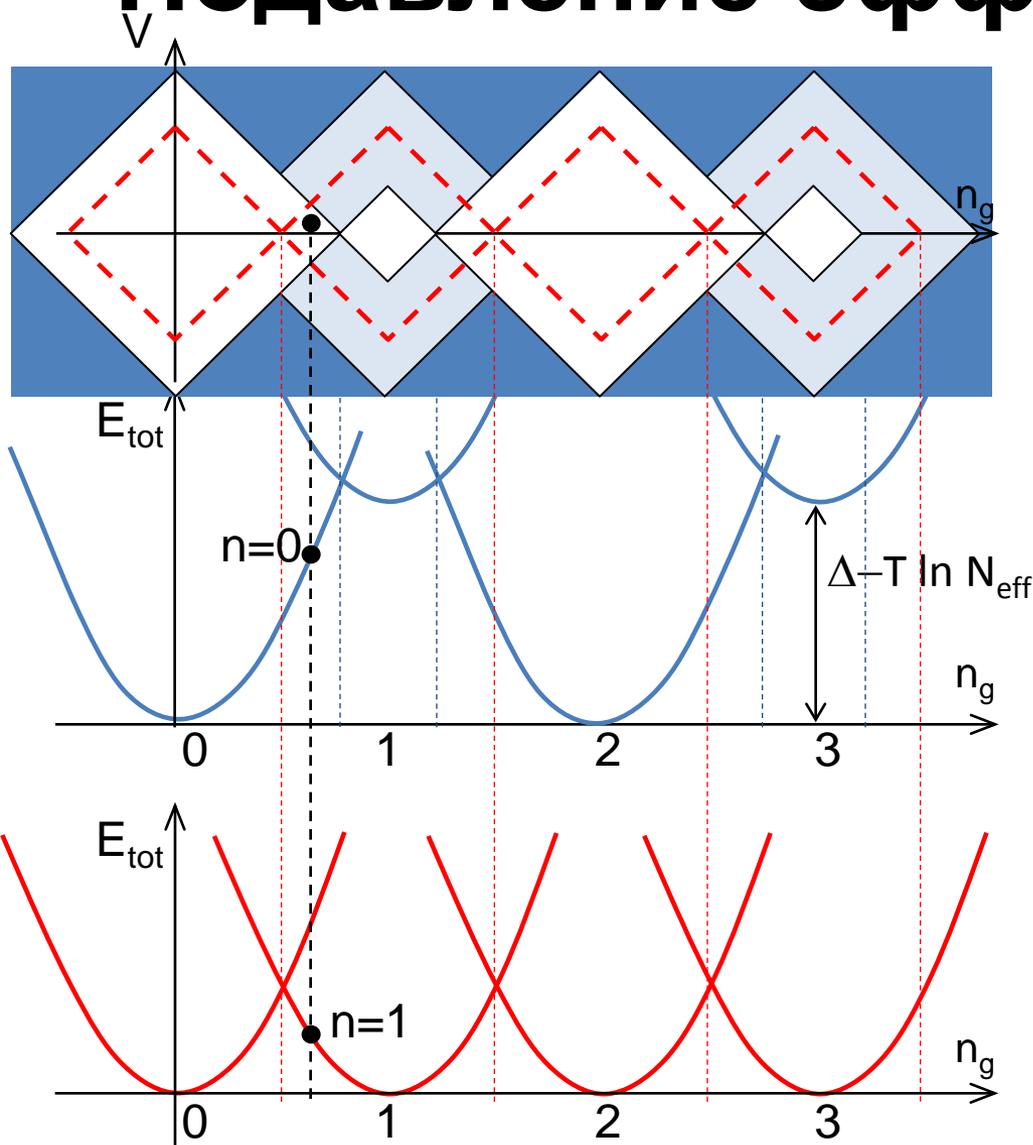


V. Maisi et al PRL 111, 147001 (2013)

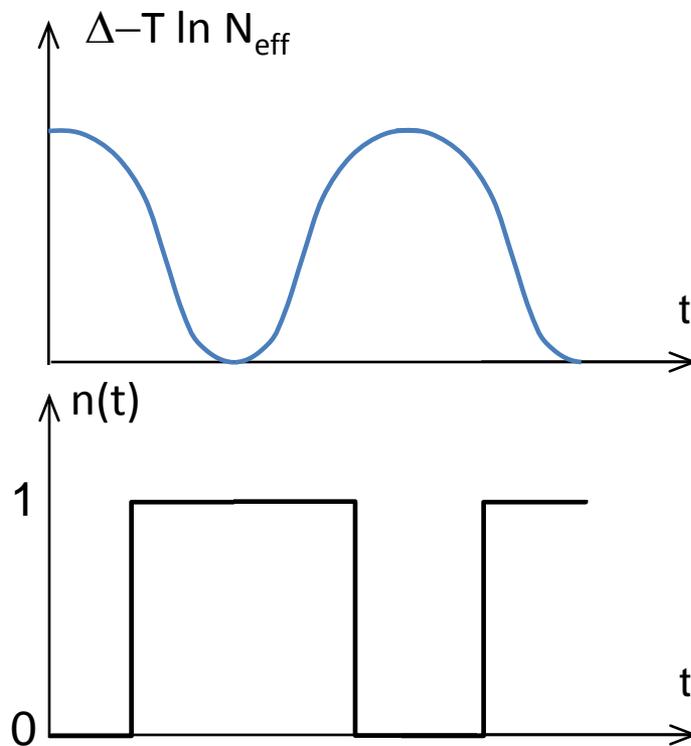


M.T. Tuominen et al PRL, 69, 1997(1992); Averin, Nazarov Physica B 203, 310 (1994)

Подавление эффекта чётности



$\Delta(t)$ or $T(t)$



План доклада

- Взаимодействие заряда и завихренности
- Одноэлектронные источники тока:
Основные идеи, составляющие и результаты
- Эффект чётности и его подавление
вихрём Абрикосова
- Новый вид электронного «насоса»
Модуляция эффекта чётности
- **Вариант возможной реализации**
Периодическое магнитное поле
- Выводы

Вариант реализации.

Сверхпроводящая гранула в магнитном поле

$$\frac{dp_1}{dt} = \Gamma_{0 \rightarrow 1} p_0 - \Gamma_{1 \rightarrow 0} p_1$$

Low temperature limit

$$E_C \gg k_B T \iff n = 0, 1$$

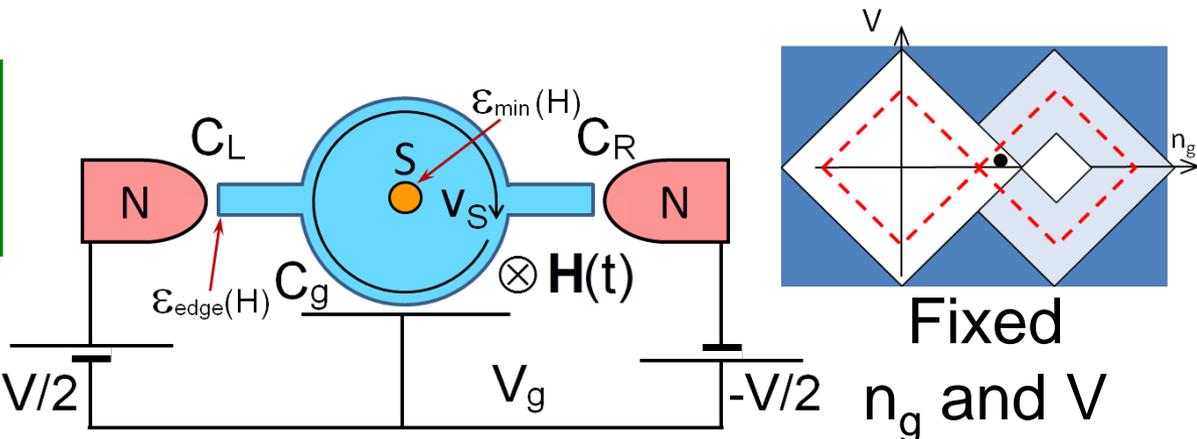
$$p_0 + p_1 = 1$$

$$\Gamma_{0 \rightarrow 1} = \Gamma_L^e [U_L(t)] + \Gamma_R^e [U_R(t)]$$

$$\Gamma_{1 \rightarrow 0} = \Gamma_L^o [-U_L(t)] + \Gamma_R^o [-U_R(t)]$$

$$f_N(E) = \frac{1}{e^{E/T} + 1}$$

$$U_{L,R} = E_C(2n_g - 1) \mp eV/2$$



Fixed

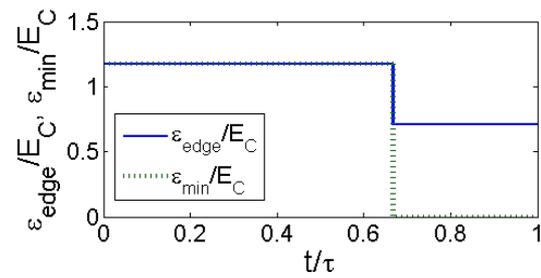
n_g and V

$$\Gamma_j^{e,o} [U(t)] = \frac{1}{e^2 R_T} \int v_s(E, \mathbf{r}_j) f_N(E - U(t)) [1 - f_s^{e,o}(E)] dE$$

$$v_s(E, \mathbf{r}_j) = \text{Re}[\cos \theta(E, \mathbf{r}_j)]$$

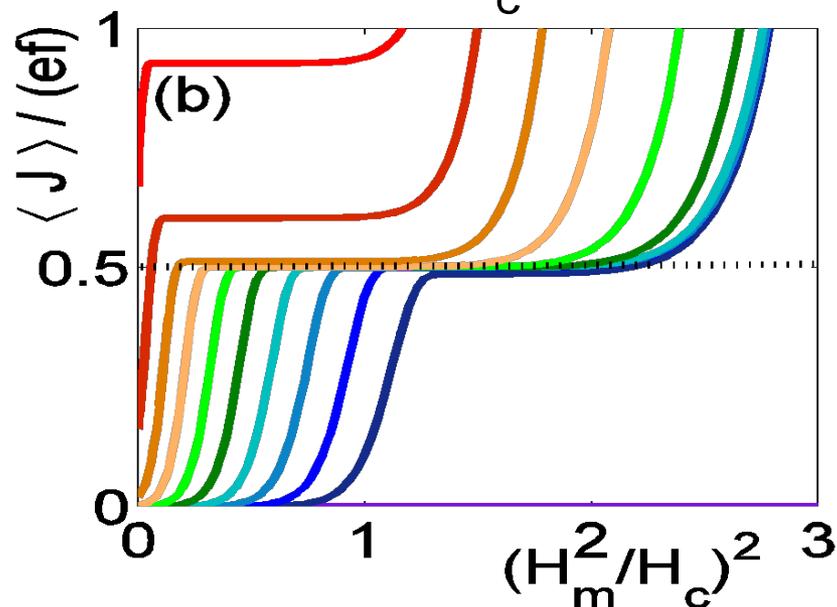
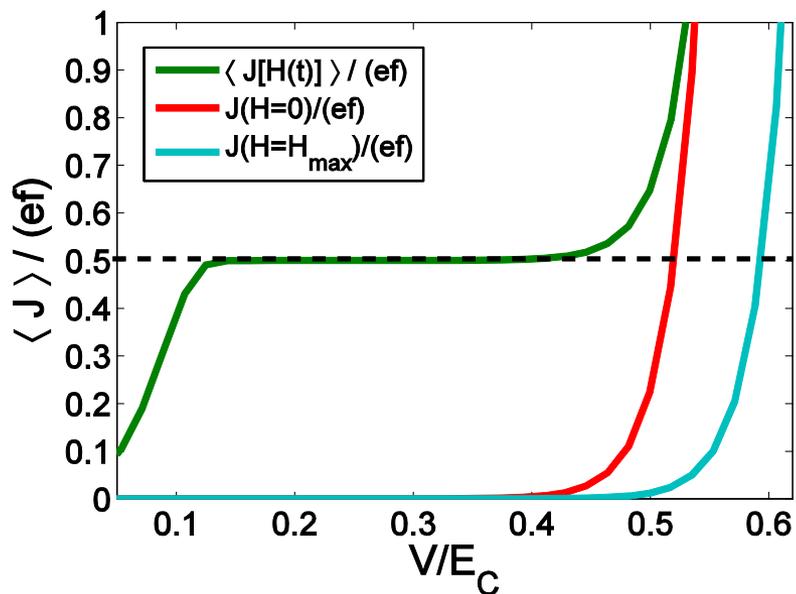
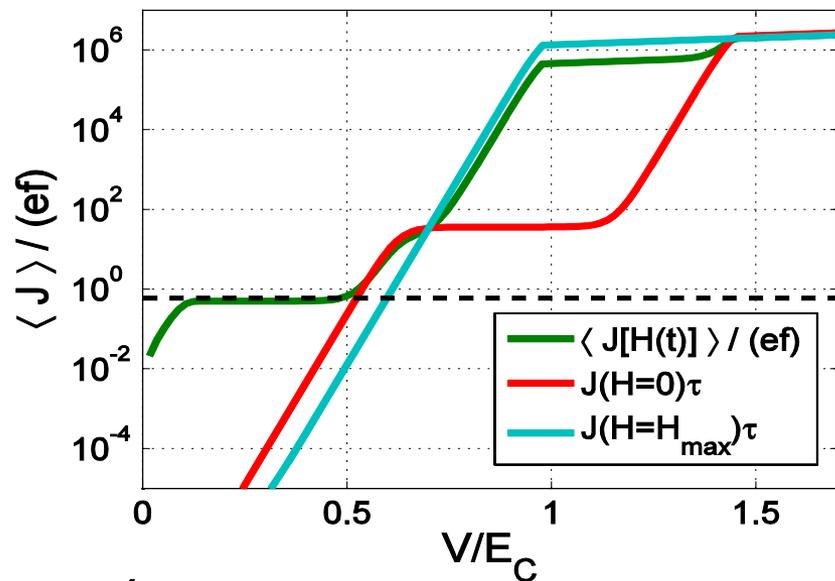
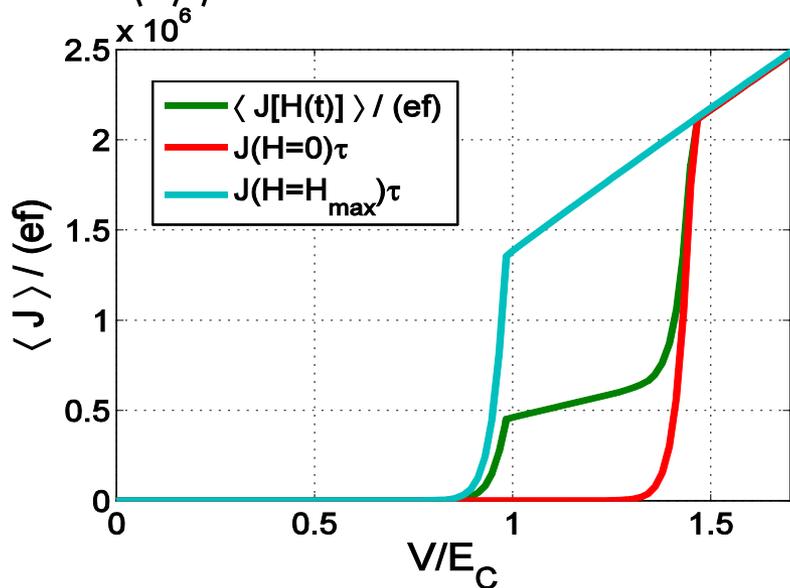
$$v_s(E, \mathbf{r}_j) = 0 \text{ for } |E| < \varepsilon_{edge}$$

$$\frac{E}{\Delta_0} + i\gamma_H(\mathbf{r}_j) \cos \theta = i \frac{\Delta_H}{\Delta_0} \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$$



Результаты

$$2\langle I \rangle / ef = 1 - 2e^{-|eV|/\tau} + \gamma_0 t_0 + \gamma_v t_v - e^{-\Gamma_{tot}^0 t_0} - e^{-\Gamma_{tot}^v t_v}$$



Выводы

Предложен новый метод создания контролируемого одноэлектронного транспорта, основанный на периодическом подавлении эффекта чётности в сверхпроводящей грануле в режиме кулоновской блокады.

В качестве возможной реализации рассмотрено подавление щели периодическим магнитным полем

Проведены аналитические вычисления транспортно́го тока через систему на основе ортодоксальной теории кулоновской блокады с учётом эффекта чётности.