

Электрон в двойной квантовой точке - квантовый вариант «храповика и собачки»

В. Храпай^{1,2}, С. Людвиг¹, Й. Коттхауз¹

1 - ЛМУ Мюнхен

2 – ИФТТ РАН

В. Вегшайдер

Университет Регенсбурга

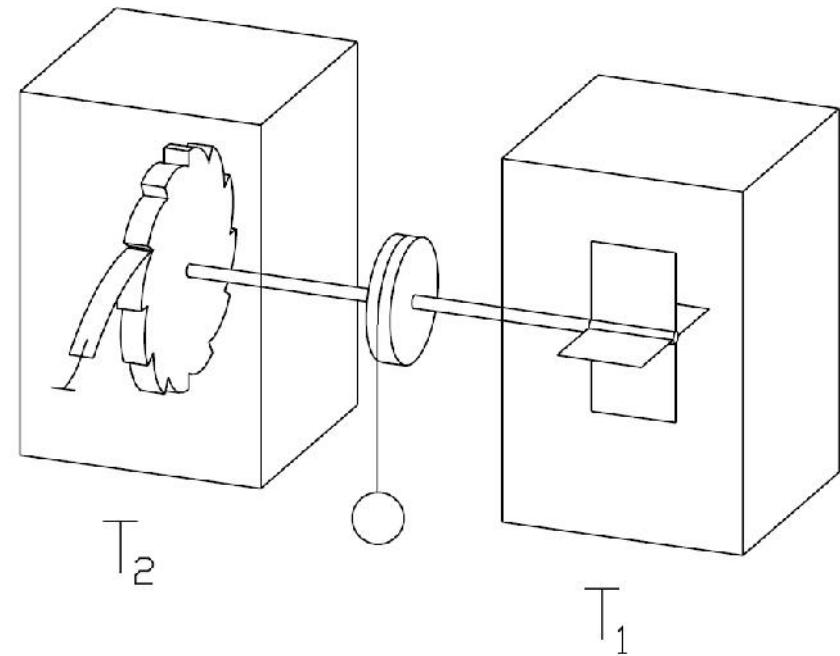


LMU

Классические «храповик и собачка»

Пространственная
асимметрия недостаточна
для вращения в тепловом
равновесии

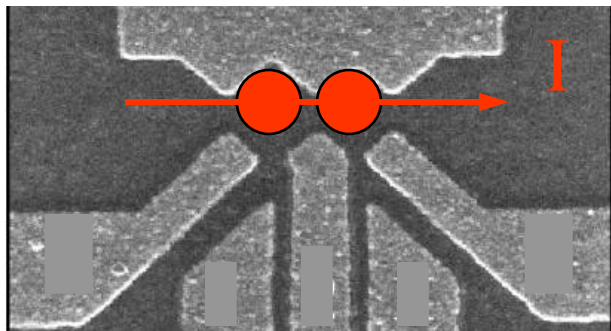
Smoluchowski (1912)



При $T_1 \neq T_2$ направление движения
зависит от знака асимметрии

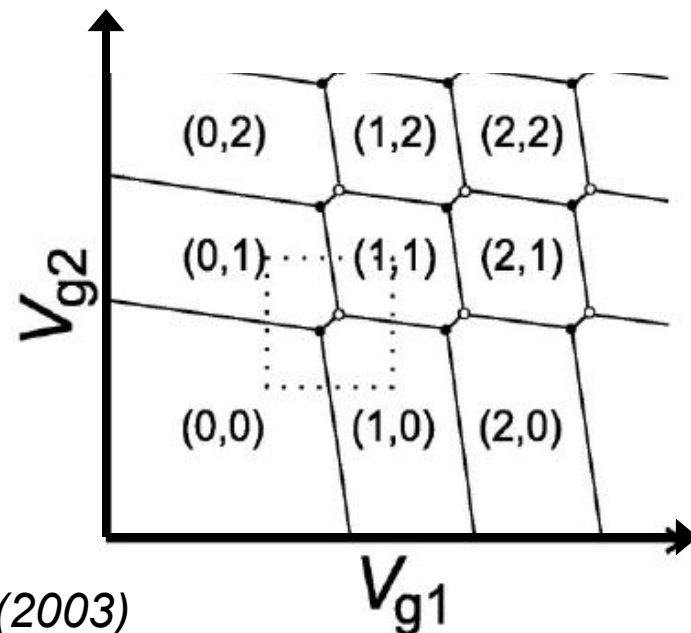
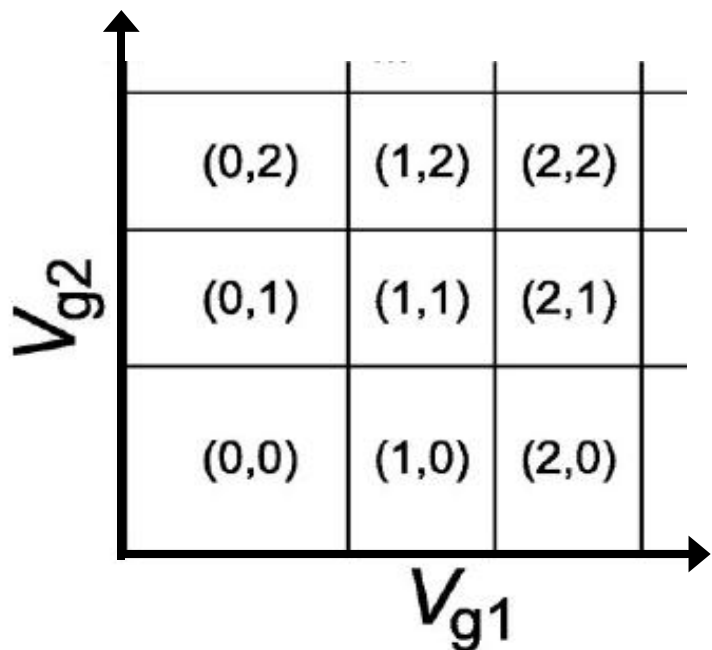
Feynman (1960)

Введение. Двойная квантовая точка



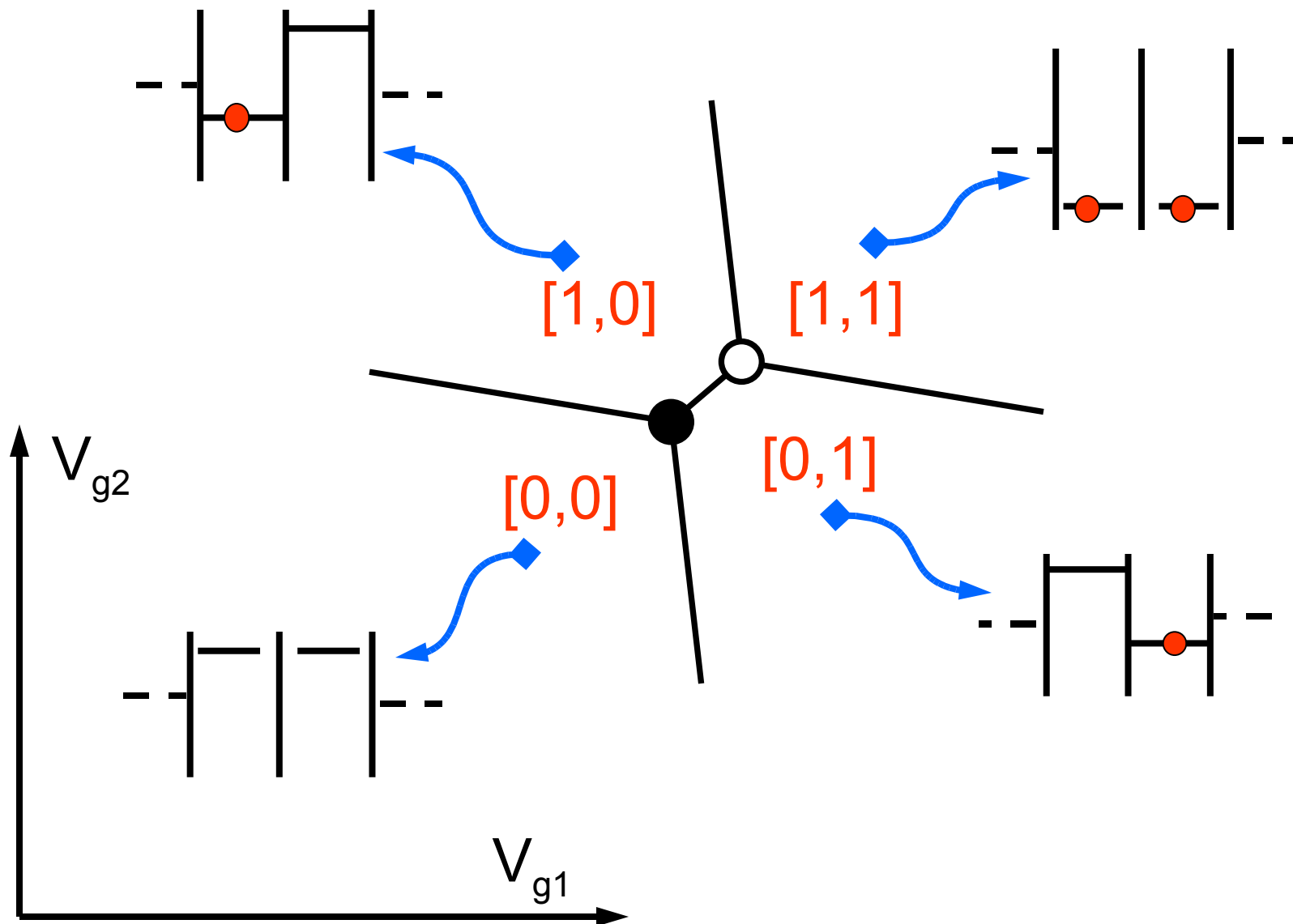
V_{g2} V_{g1}

Для протекания тока необходимо снять Кулоновскую блокаду в обеих последовательно соединенных квантовых точках.

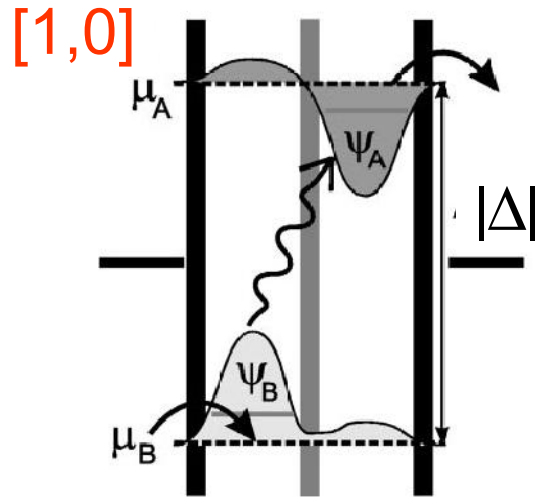


van der Wiel et al. (2003)

Введение. Двойная квантовая точка



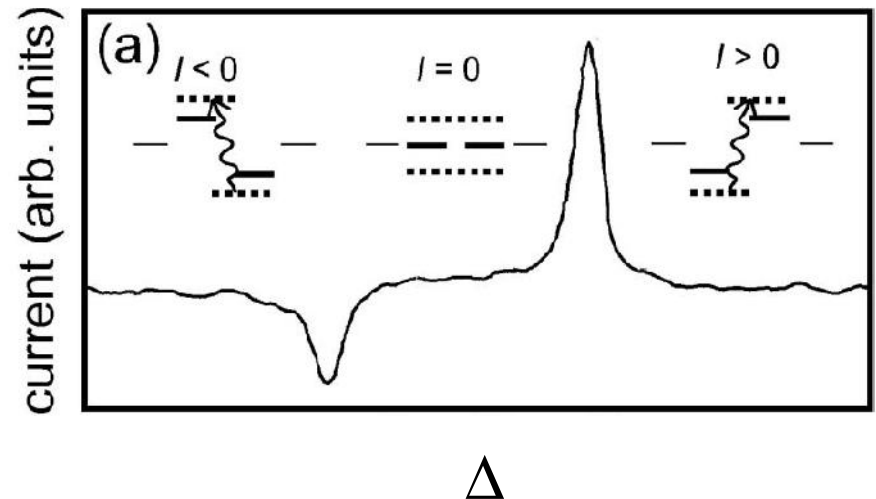
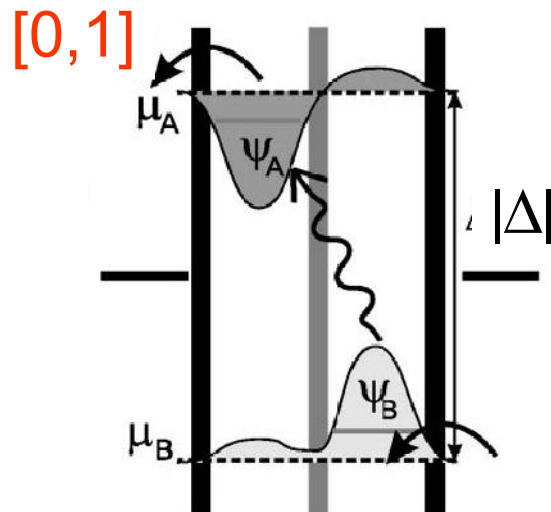
Введение. Туннелирование с поглощением фотона в двойной кв. точке.



Неупругие переходы между состояниями в разных квантовых точках приводят к току в двойной точке, в отсутствие разности потенциалов между берегами.

Резонансное поглощение фотонов: $h\nu = \Delta$

van der Wiel et al. (2003)



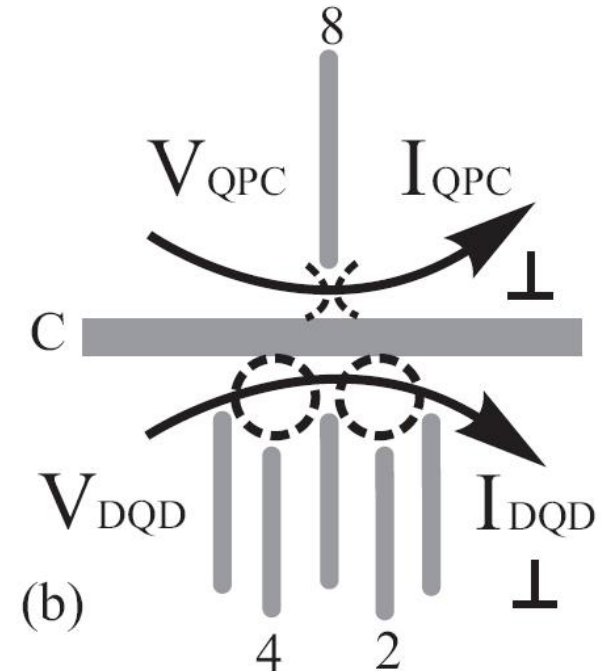
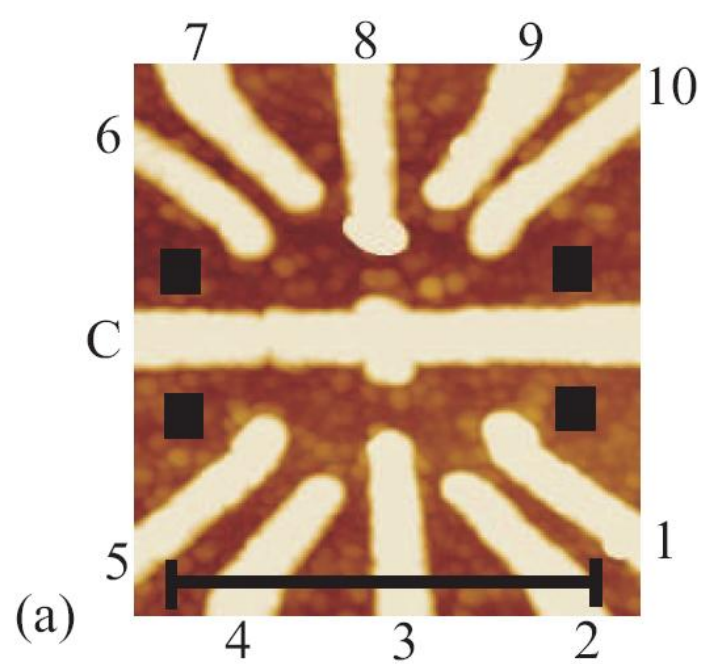
Эксперимент. Наноструктура

GaAs/AlGaAs
гетероструктура

2D слой - 90 нм под
поверхностью

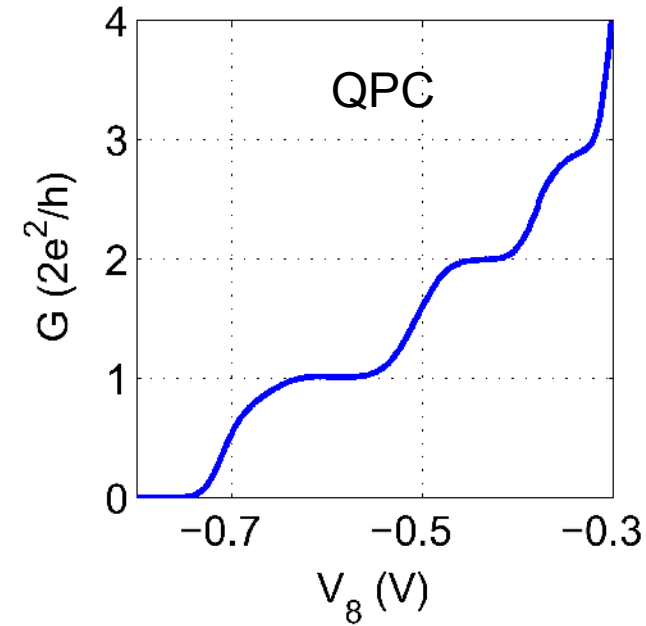
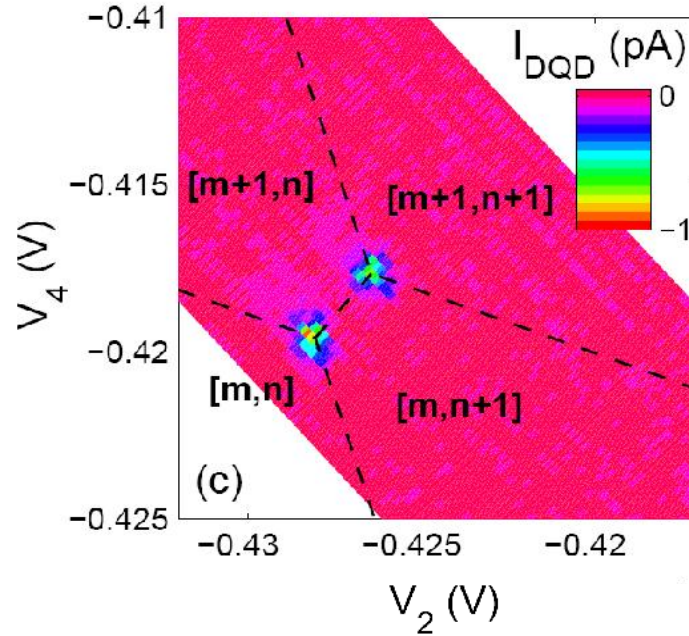
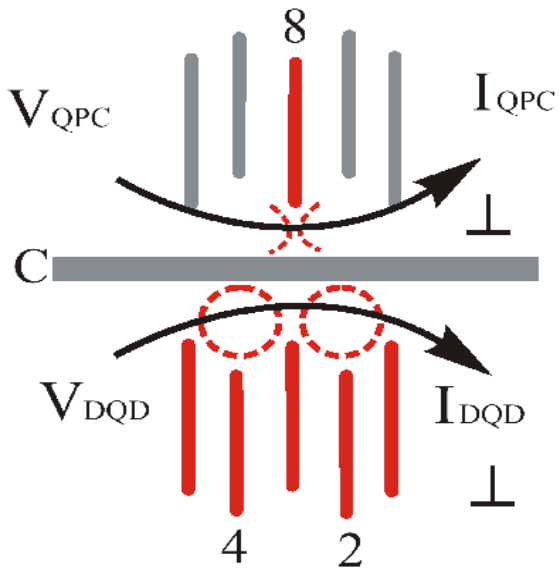
$N_S = 2.8 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$

$\mu = 1.4 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

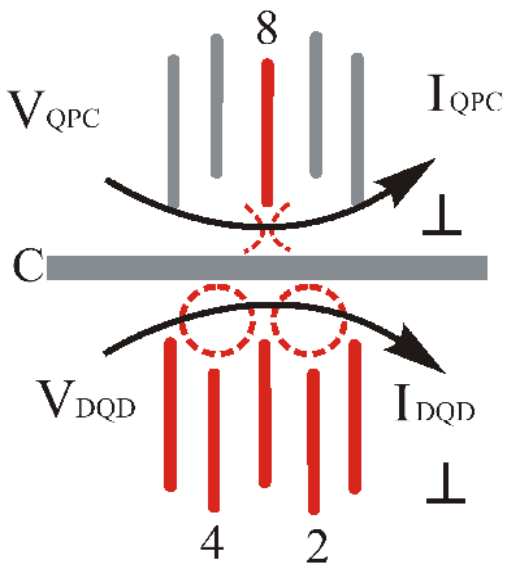


- Металлические затворы (e-beam литография)
- 2 независимые электрические цепи
- Измерение постоянного тока
- $T_{\text{эл}} < 150 \text{ мК}$

Эксперимент. Характеризация наноструктуры.

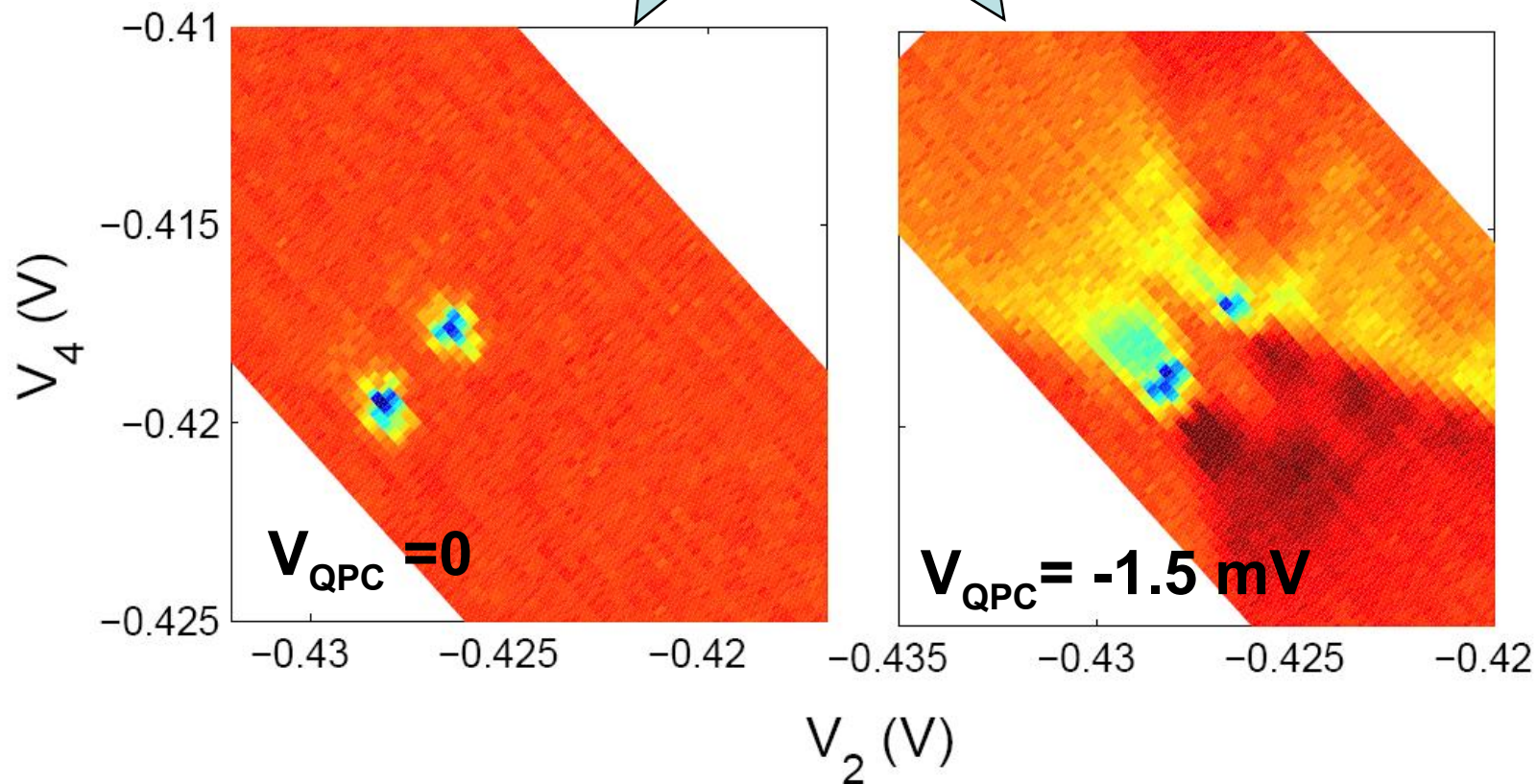


- Кв. Точки: Кулоновская энергия $E_C \approx 1.5 \text{ meV}$
- Двойная точка: $t_0 \approx 0.1 \text{ } \mu\text{eV}$; $\Gamma_R, \Gamma_L \approx 40 \text{ } \mu\text{eV}$
- QPC: межподзональное расщепление $\approx 4 \text{ meV}$

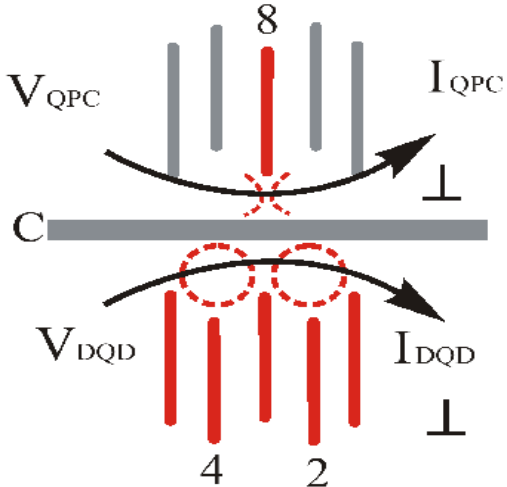


Experiment. Dynamic interaction QPC \leftrightarrow DQD

I_{DQD} measured at $V_{\text{DQD}} = -20 \mu\text{V}$



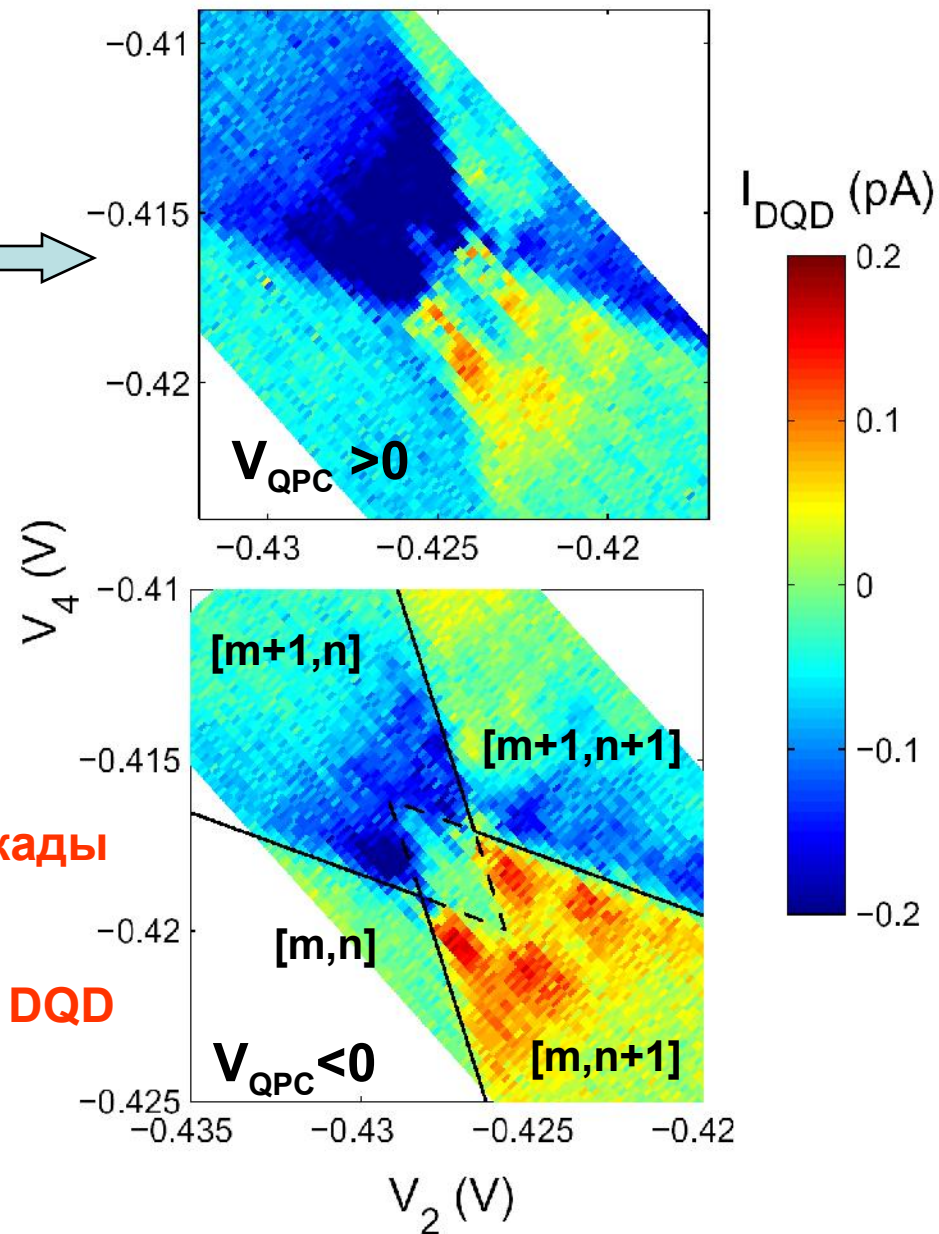
Эксперимент. Динамическое взаимодействие QPC \leftrightarrow DQD



Измеряется

I_{DQD}

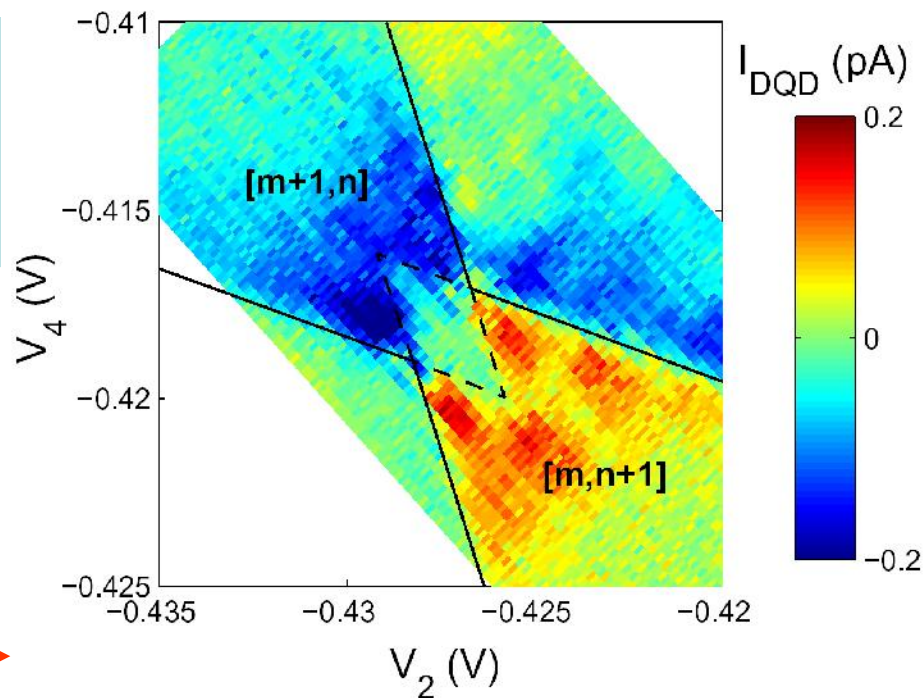
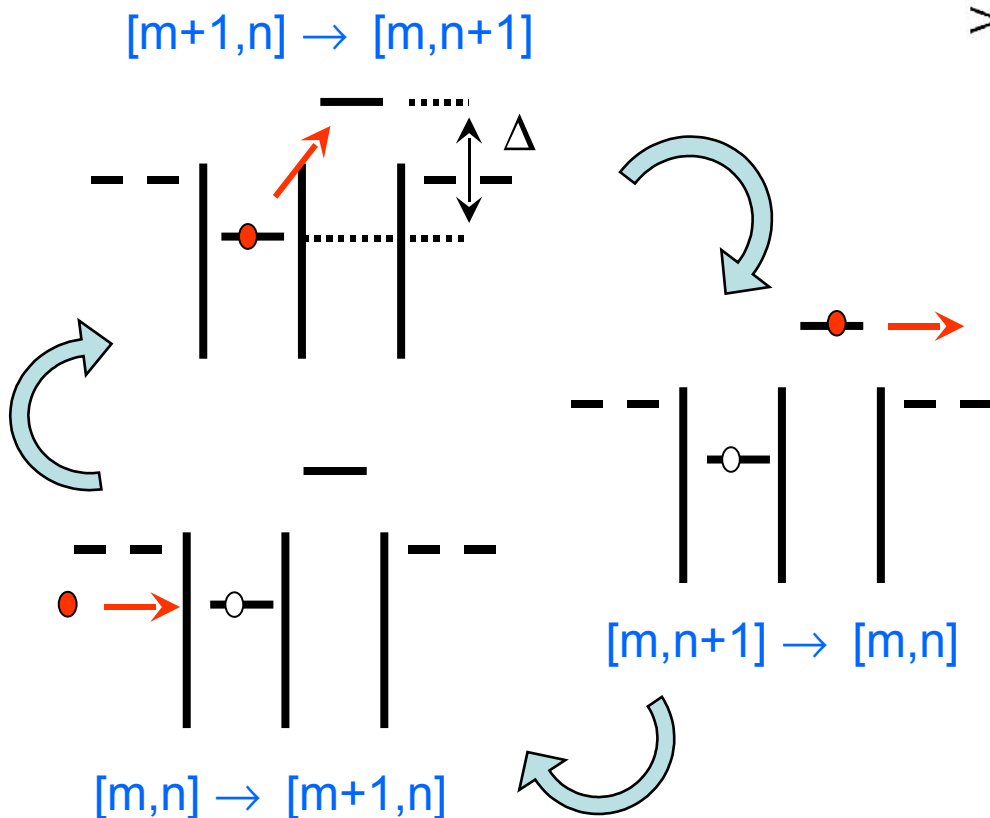
$V_{DQD} = 0 \mu V$
 $V_{QPC} = +/- 1.45 mV$
 $G_{QPC} \approx e^2/h$



- Ток в DQD в отсутствие напряжения
- Ток течет в режиме Кулоновской блокады
- Направление тока определяется конфигурацией основного состояния DQD

Эксперимент. Неупругое туннелирование?

Знак эффекта и зависимость от конфигурации основного состояния можно объяснить неупругими процессами

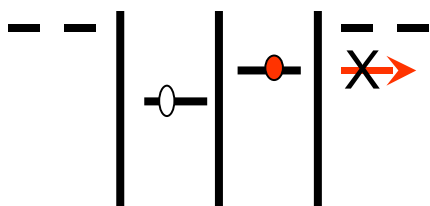
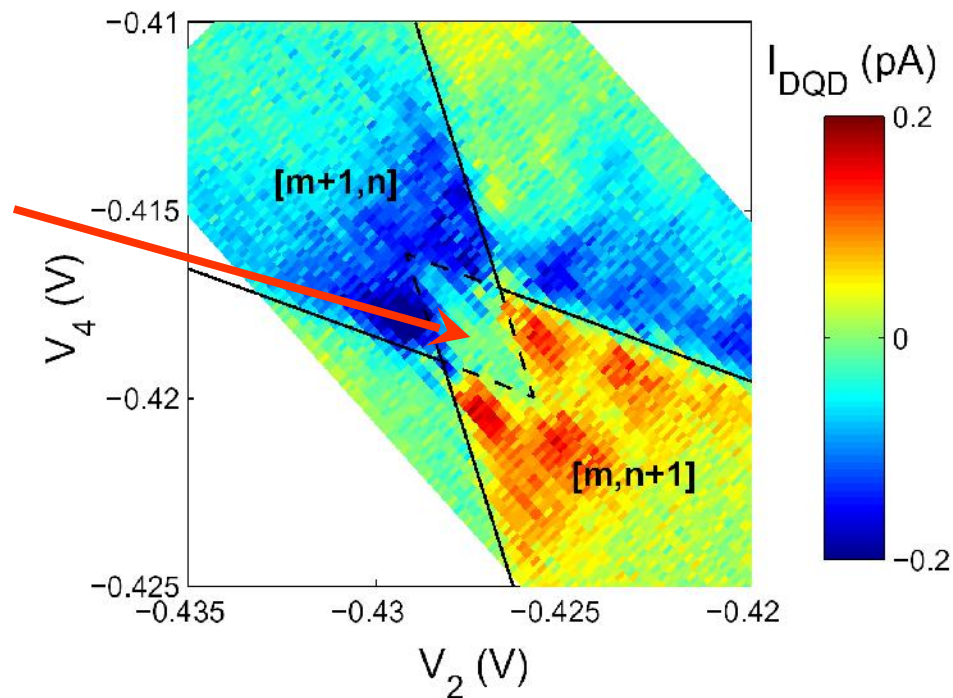


Подобно туннелированию с поглощением фотона

van der Wiel et al. (2003)

Эксперимент. Неупругое туннелирование!

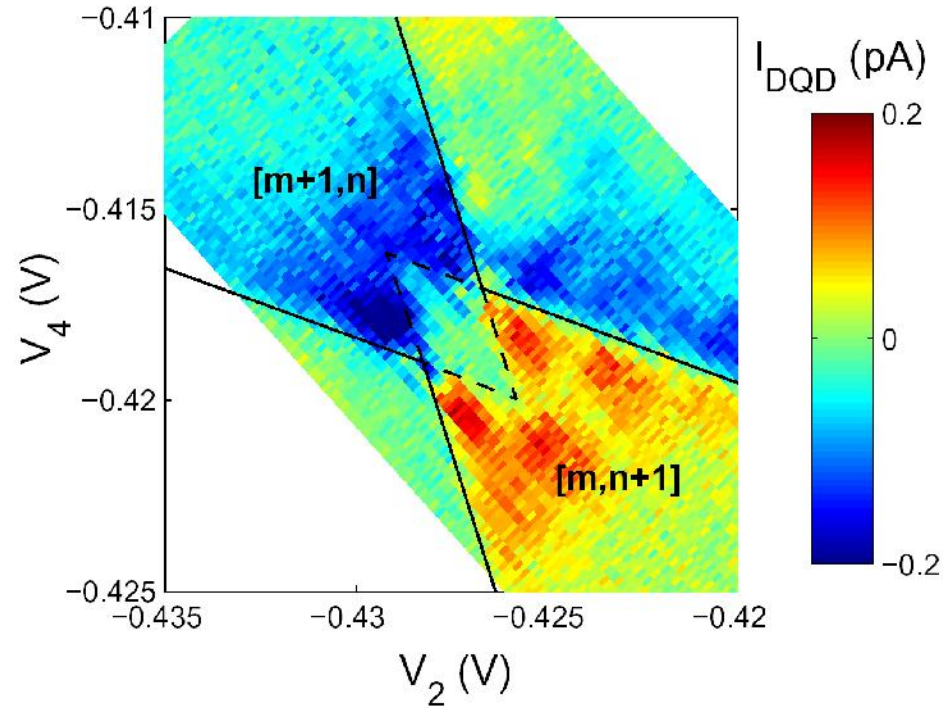
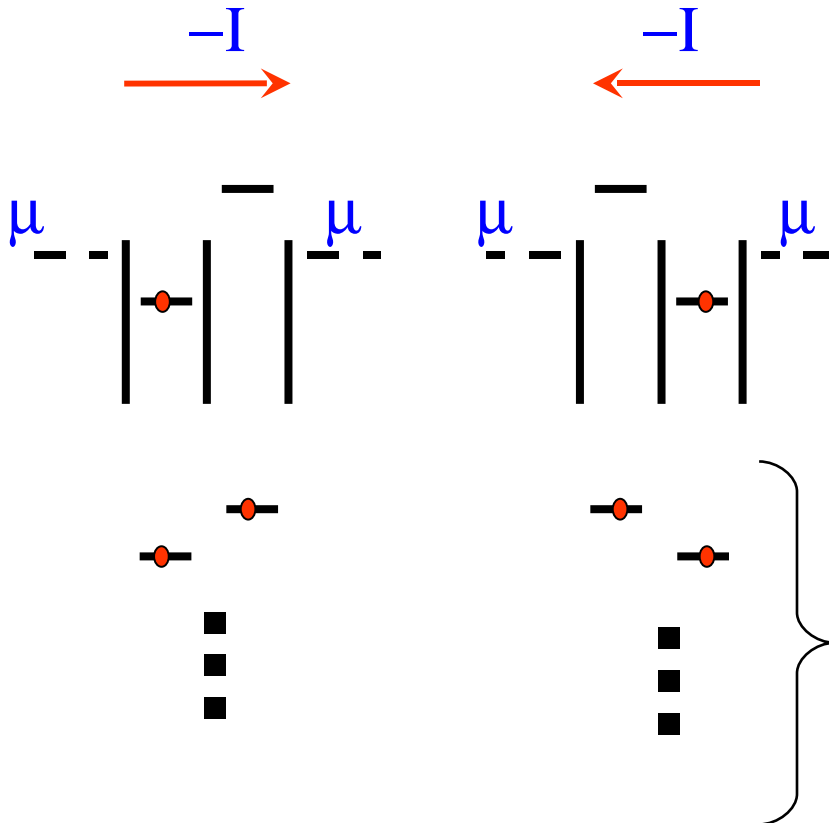
Подавление тока – явный признак неупругого туннелирования между квантовыми точками



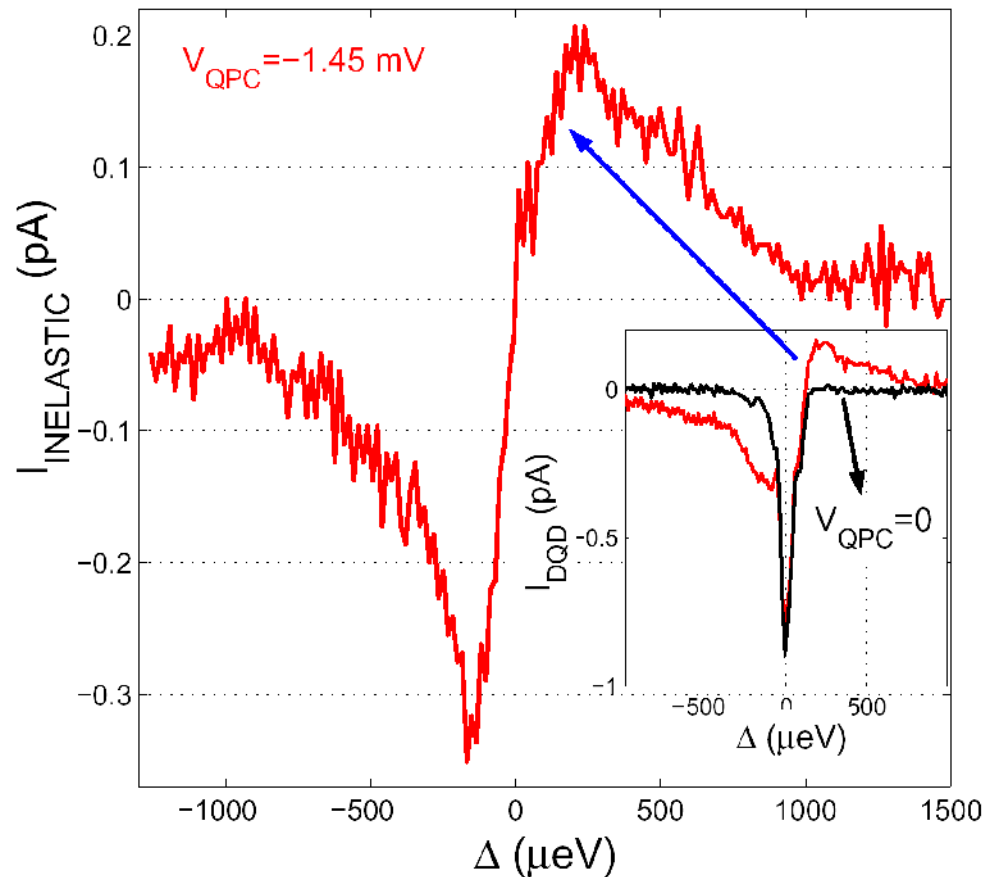
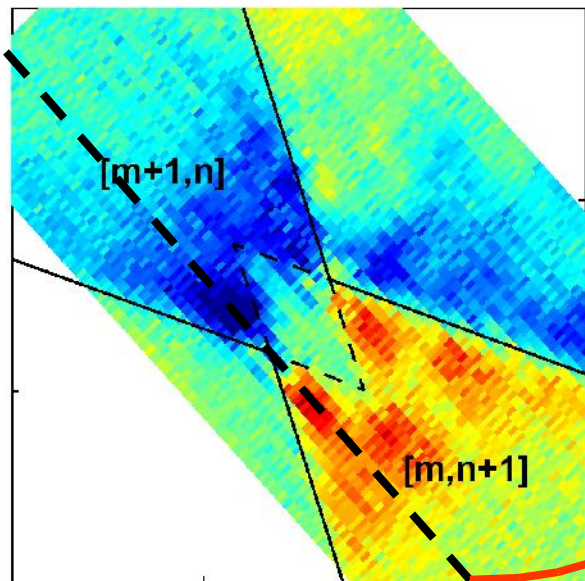
В пределах ромба возбужденный электрон не имеет энергии, чтобы покинуть двойную точку

Эксперимент. Квантовый вариант «храповика и собачки»

Внутренняя асимметрия DQD определяет направление наведенного тока



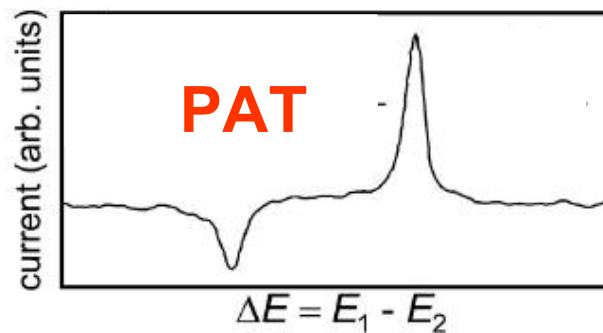
Эксперимент. Спектроскопия возмущения



Двойная точка как
настраиваемый спектрометр |
 $\Delta| = \hbar\nu$

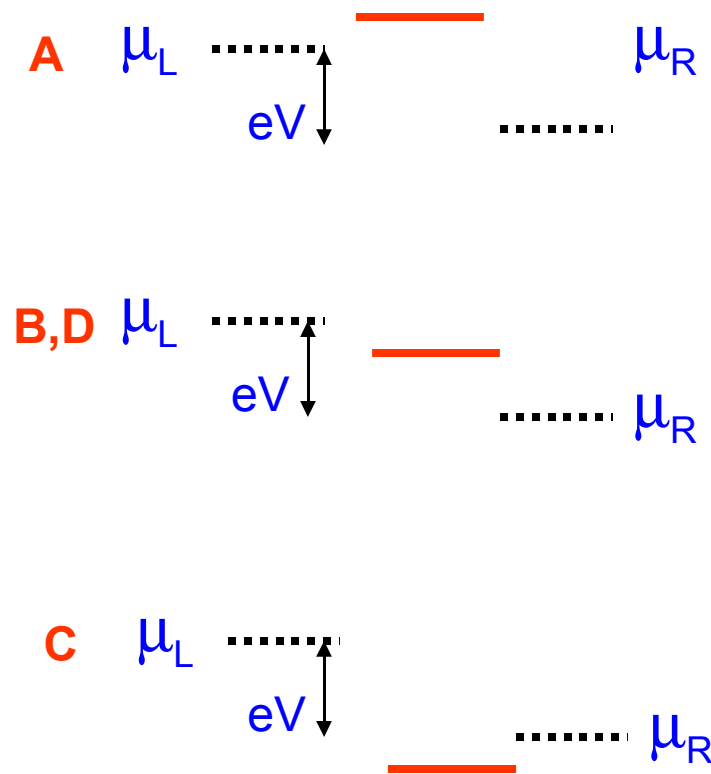
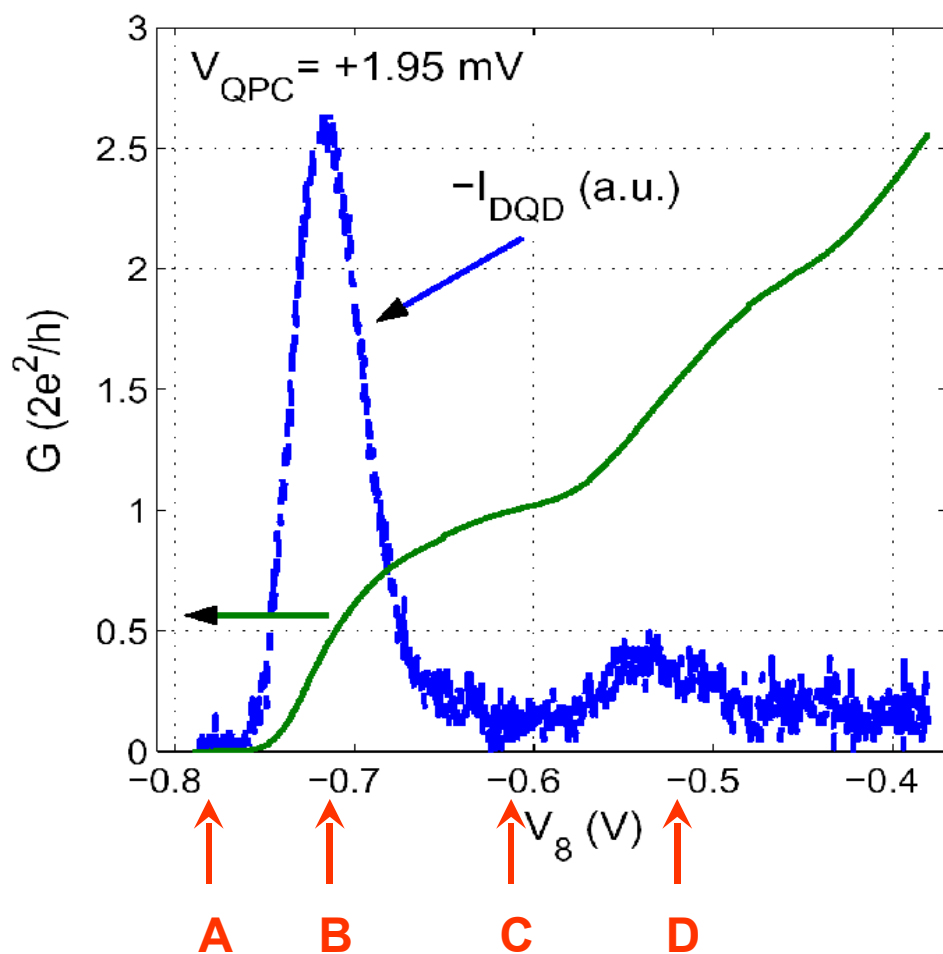
Fujisawa et al. '98

**Широкополосное возбуждение
(250 GHz) в отличие от PAT**



*van der Wiel
et al. (2003)*

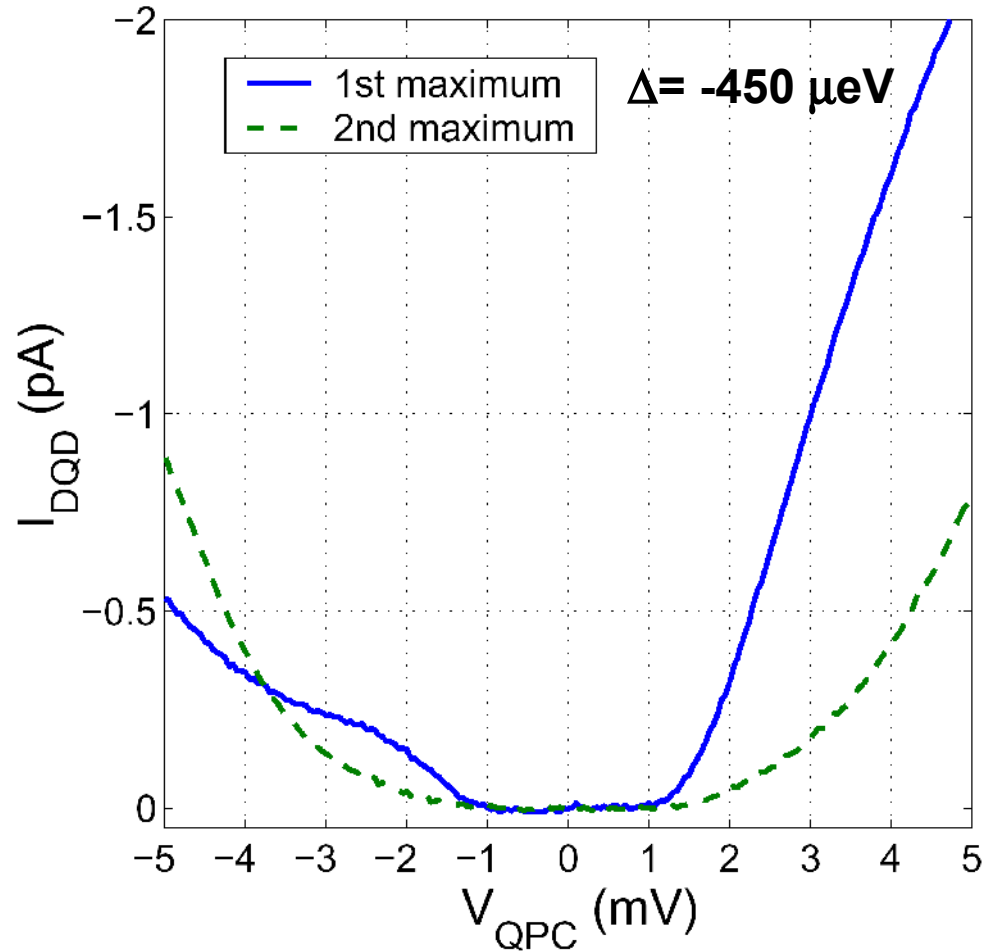
Эксперимент. Зависимость эффекта от прозрачности QPC



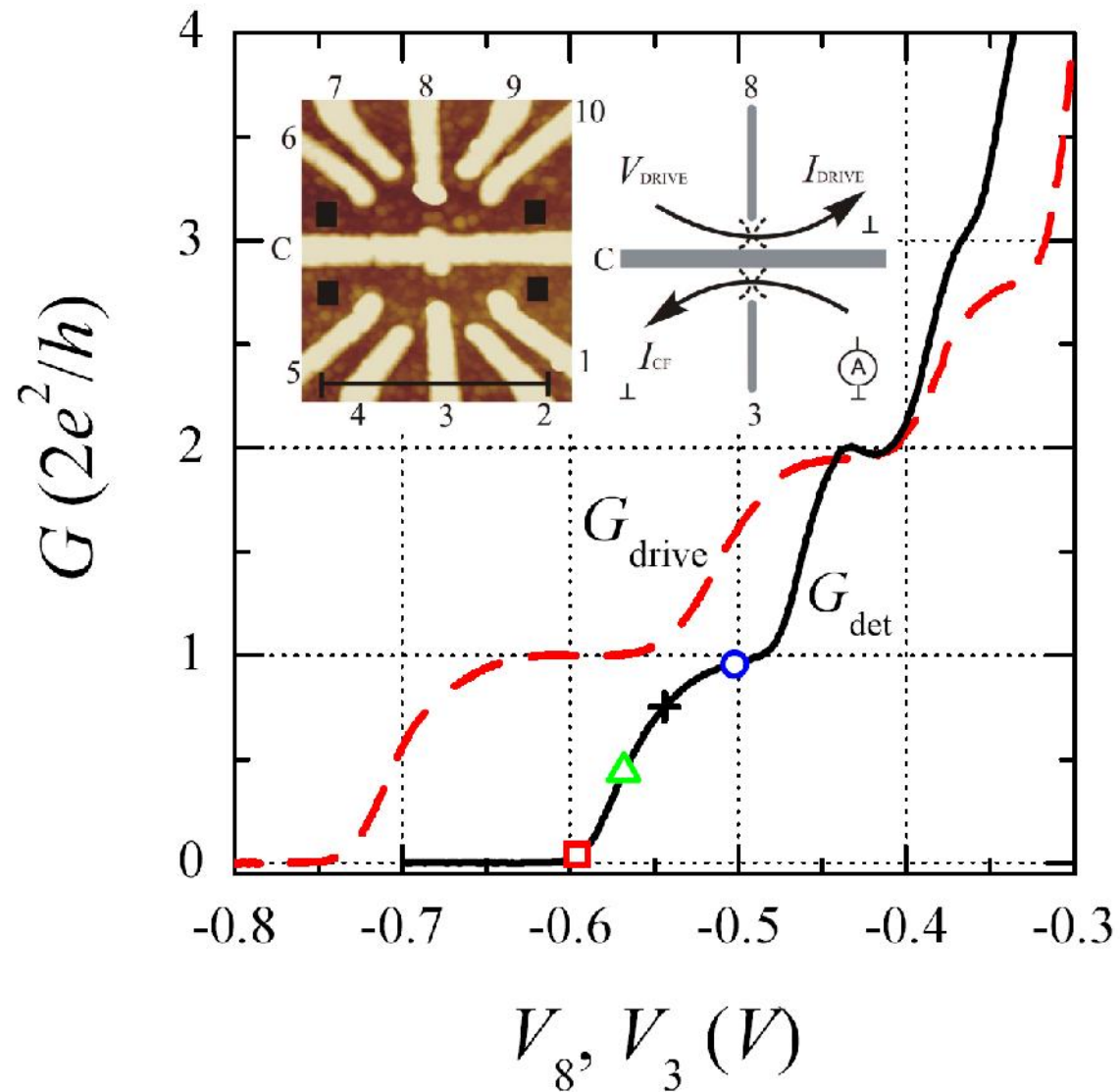
Эксперимент. Зависимость эффекта от разности потенциалов на QPC

- Направление тока в двойной точке не зависит от тока в QPC

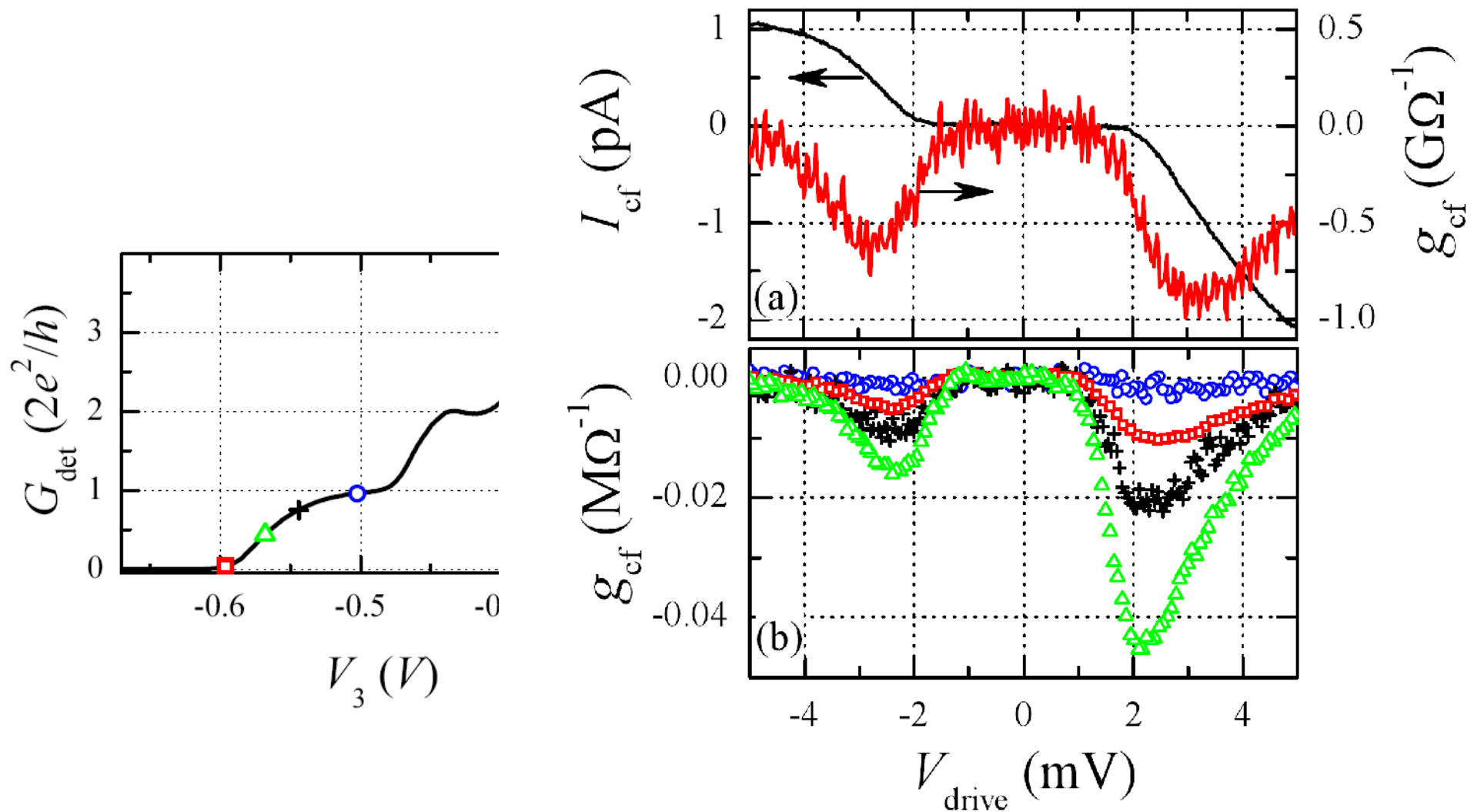
- Нет эффекта при напряжениях $V_{\text{QPC}} < 1 \text{ mV}$



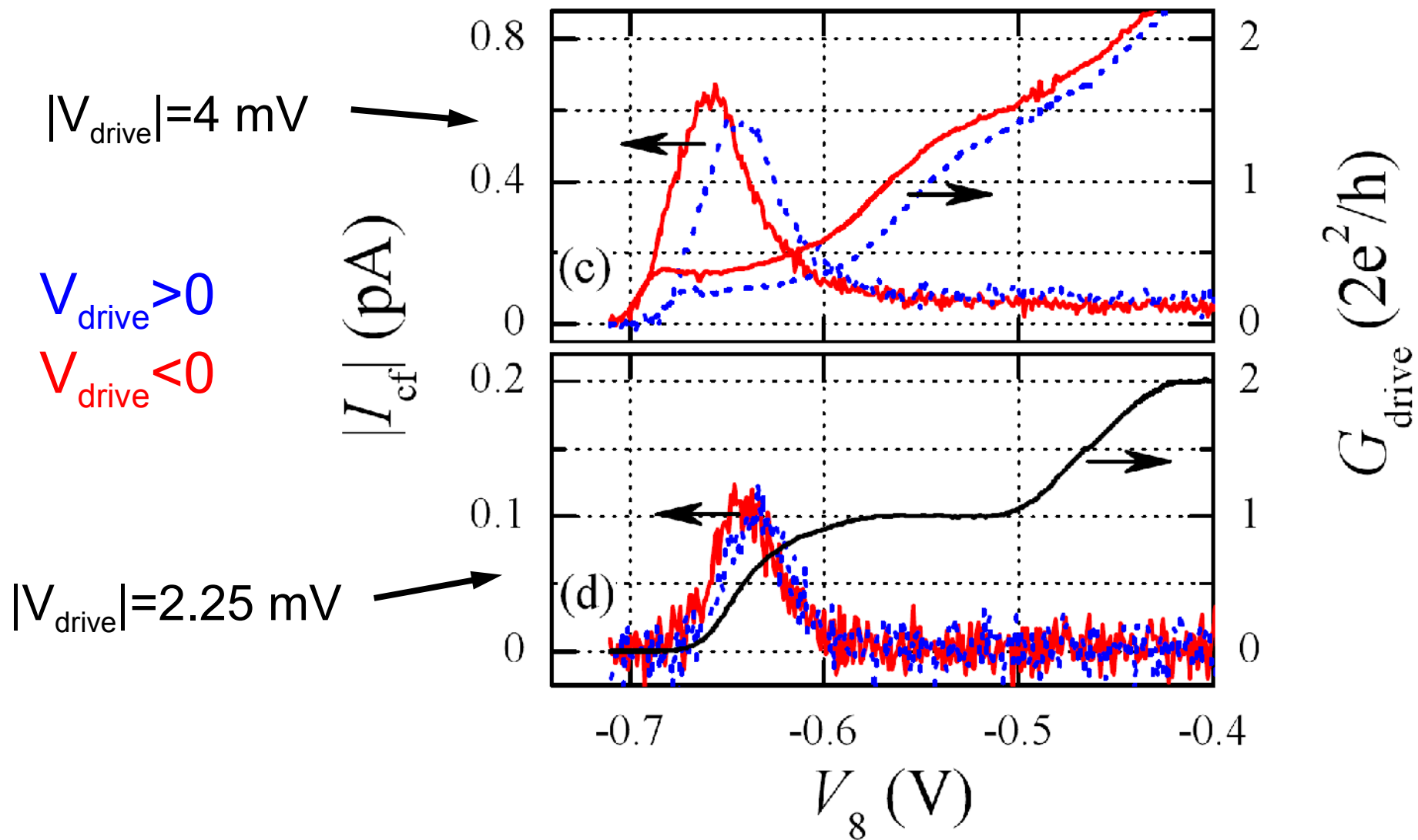
Неравновесное взаимодействие двух квантовых контактов



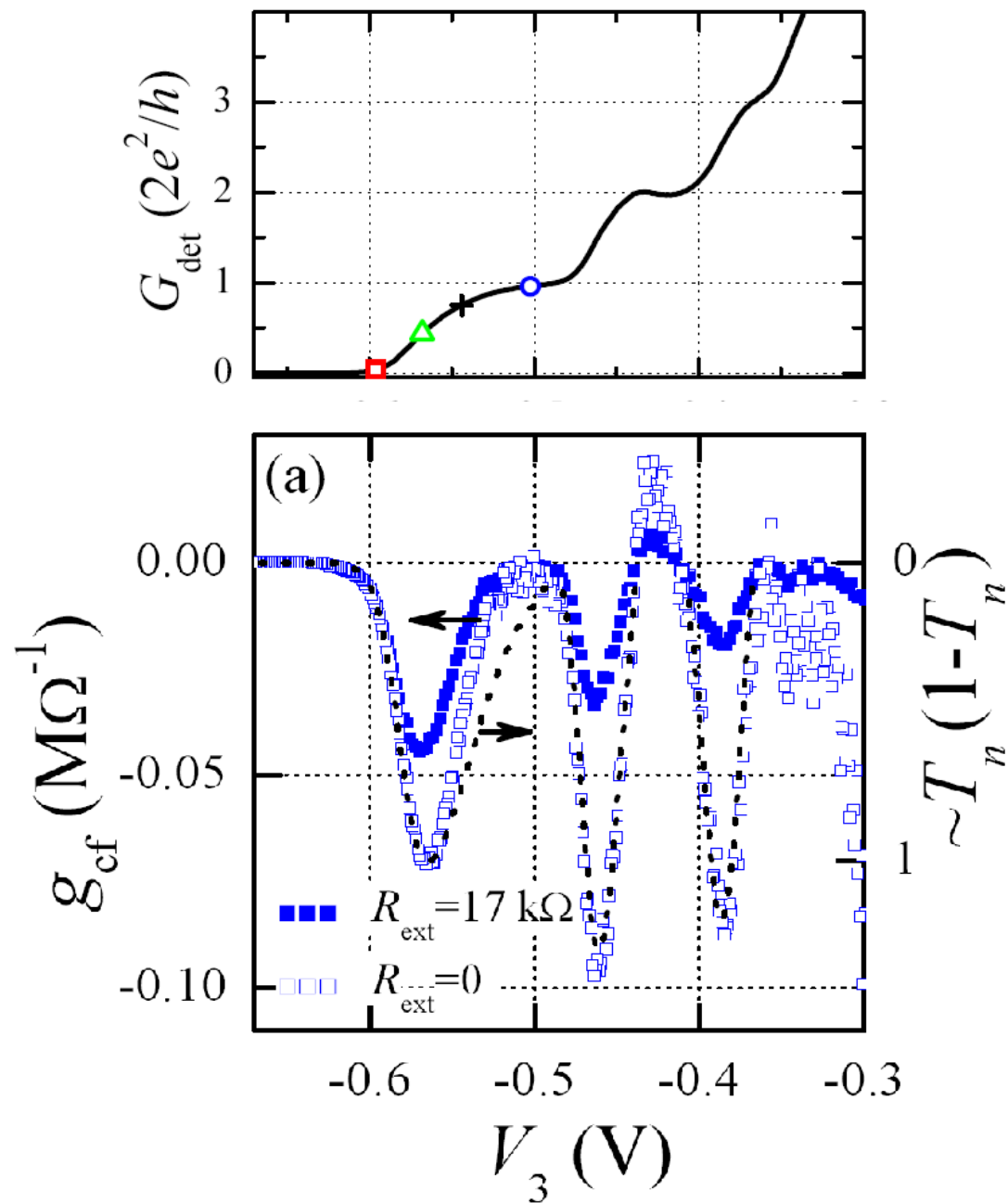
Генерация противотока электронов в ненагруженном квантовом контакте



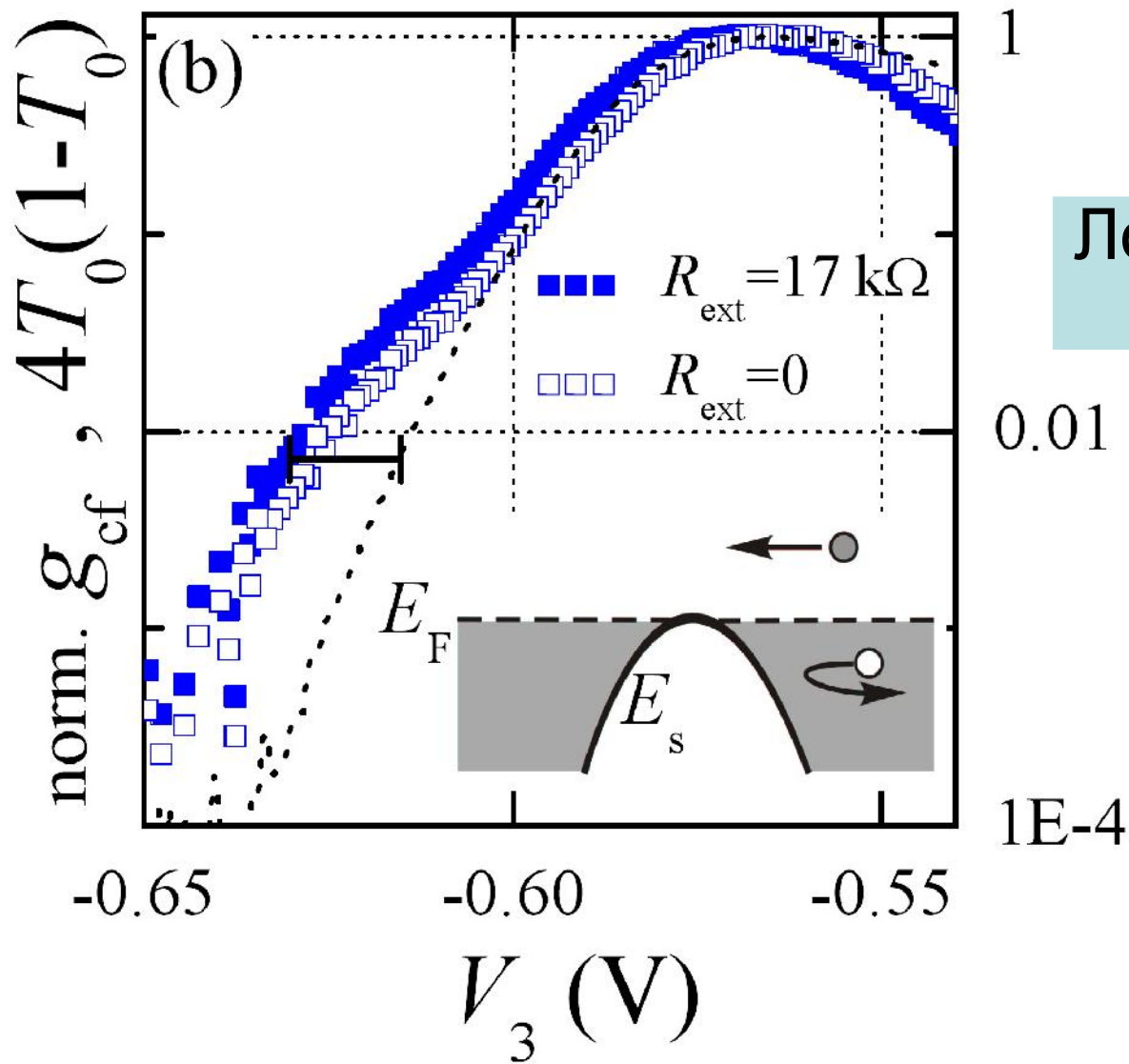
Зависимость противотока от прозрачности ведущего QPC



Влияние прозрачности ведомого QPC

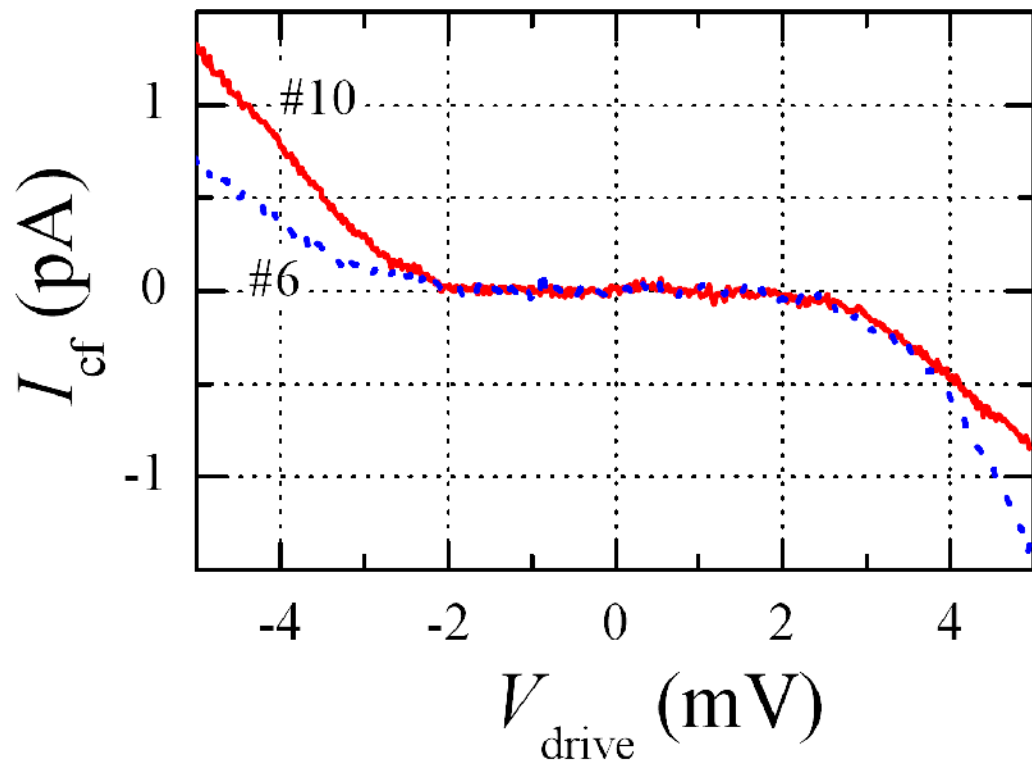
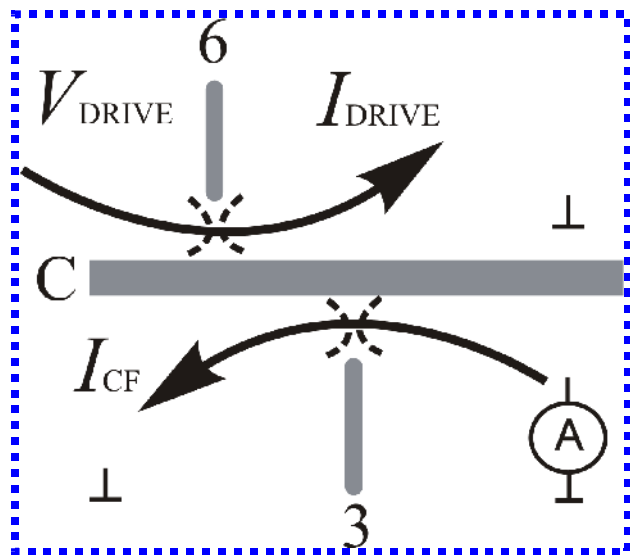
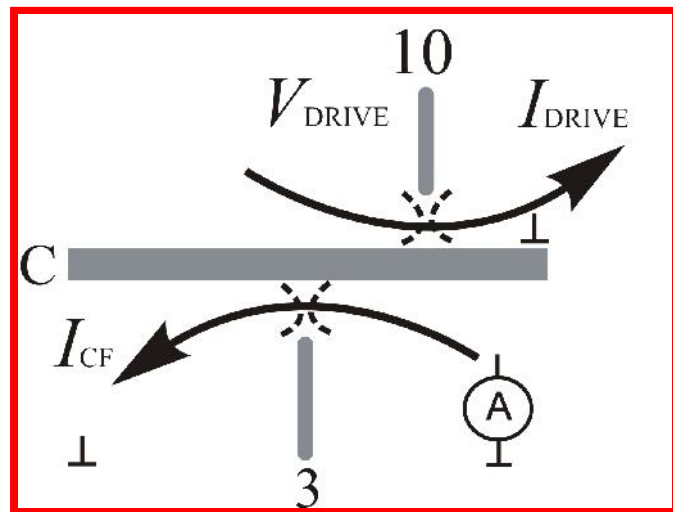


Противоток в туннельном режиме – признак сильной неравновесности!!



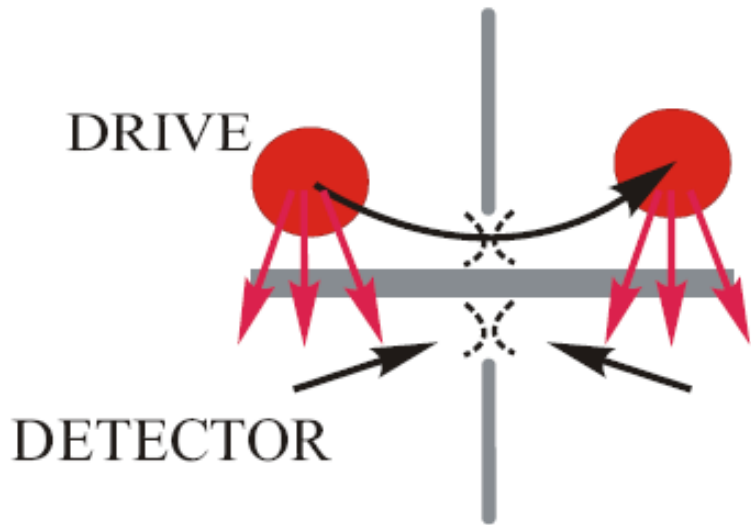
Логарифмическая
шкала

Нелокальность эффекта



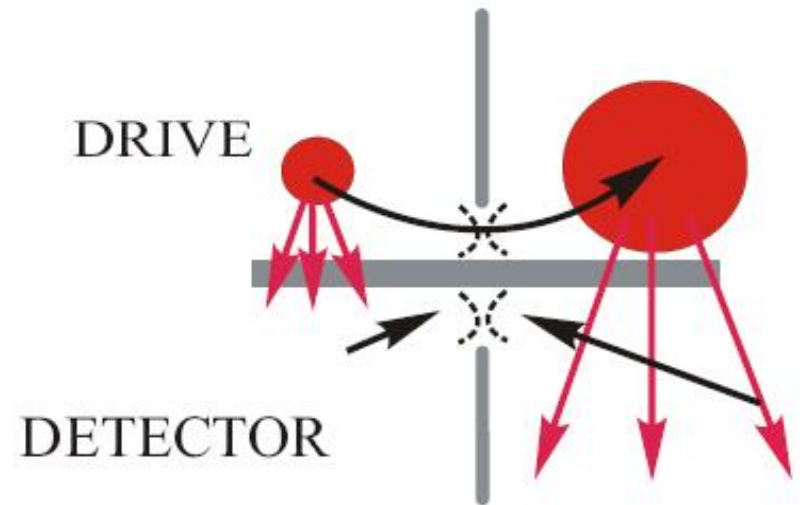
Объяснение - несимметричное выделение Джоулева тепла в ведущем квантовом контакте

линейный режим,
симметричный нагрев



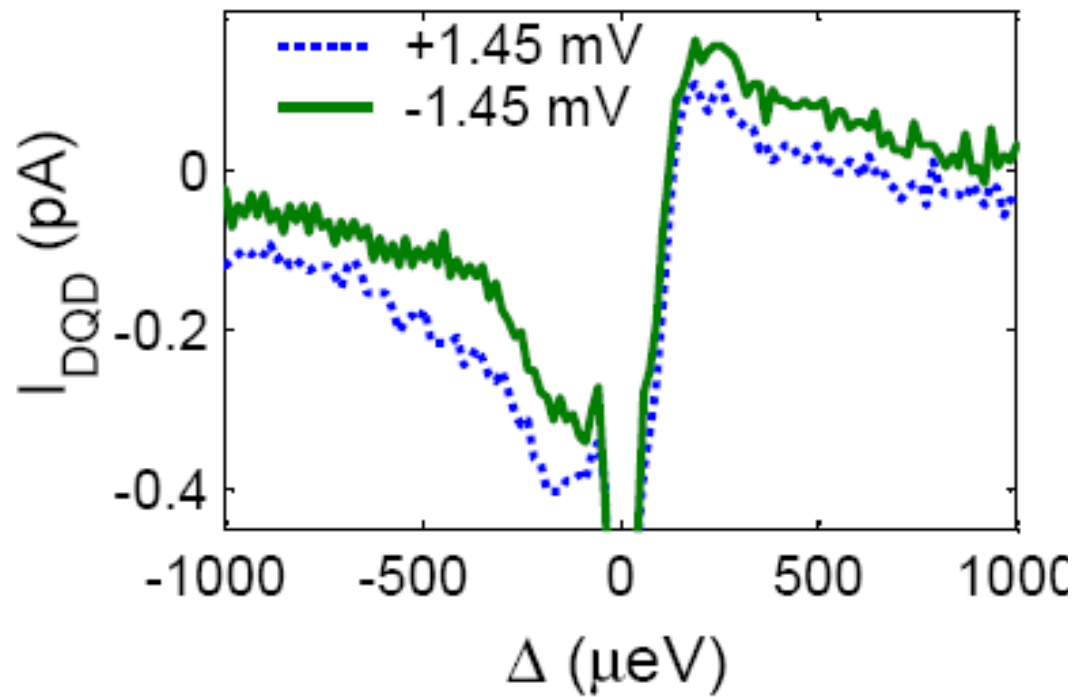
нет тока

нелинейный режим,
несимметричный нагрев



противоток

Противоток через двойную квантовую точку



Соавторы



Jorg P. Kotthaus



Stefan Ludwig