

Семинар сектора, 25 сент. 2020

1. SYK модель. A.V.Lunkin, A.Yu.Kitaev, and M.V.Feigel'man, [arXiv:2006.14535](#) - дополнительные комментарии
2. Дебаевский механизм flux-flow проводимости (доклад будет 9 окт)
M.Smith, A.V.Andreev, M.V.Feigel'man, and B.Z.Spivak, [arXiv:2008.03344](#)
3. S-M переход в 2D *Annals of Physics* 417, 168138 (2020) , с К.Тихоновым
4. Неоднородная сверхпроводимость $\Delta(r)$ *Phys. Rev. B* 102, 024504 (2020)
(с М.Скворцов, А.Хвалюк, C.Brun, I.Tamir)
5. Электронный транспорт в SrTiO_3
(А.Андреев и студенты Х.Назарян, Д.Киселев)
6. Катастрофа ортогональности в изоляторе Андерсона (с В.Кравцовым)

1. SYK model: unsolved problems

- Обобщение на комплексные фермионы
- Представление реального времени
- Диссипация при периодической модуляции параметров гамильтониана (аналогично RMT)
- Возможности наблюдения ?
 - графен в сильном поле B на LLL [PRL 107, 225501 \(2011\)](#)
 - MABLG [Nat.Phys. <https://doi.org/10.1038/s41567-019-0596-3>](#)
[Phys. Rev. Lett. 124, 076801 \(2020\)](#)

Диссипация при периодическом возмущении гамильтониана

$$H = \frac{i}{2} \sum_{ij} \Gamma_{ij} (1 + \varphi(t)) \chi_i \chi_j$$

$$H = \frac{i^{q/2}}{q!} \sum_{i_1 \dots i_q} J_{i_1 \dots i_q} \chi_{i_1, s} \dots \chi_{i_q, s} + \frac{i}{2} \sum_{ij} \Gamma_{ij} (1 + \varphi(t)) \chi_i \chi_j$$

Обычная RMT проблема:

$$\text{Im } x(\omega) = \text{const} * \omega$$

SYK conformal solution:

$$\text{Im } x(\omega) = \text{const} * \tanh(\omega/2T)$$

Где-то скрывается резонанс на частоте Γ возбуждения “полярона”

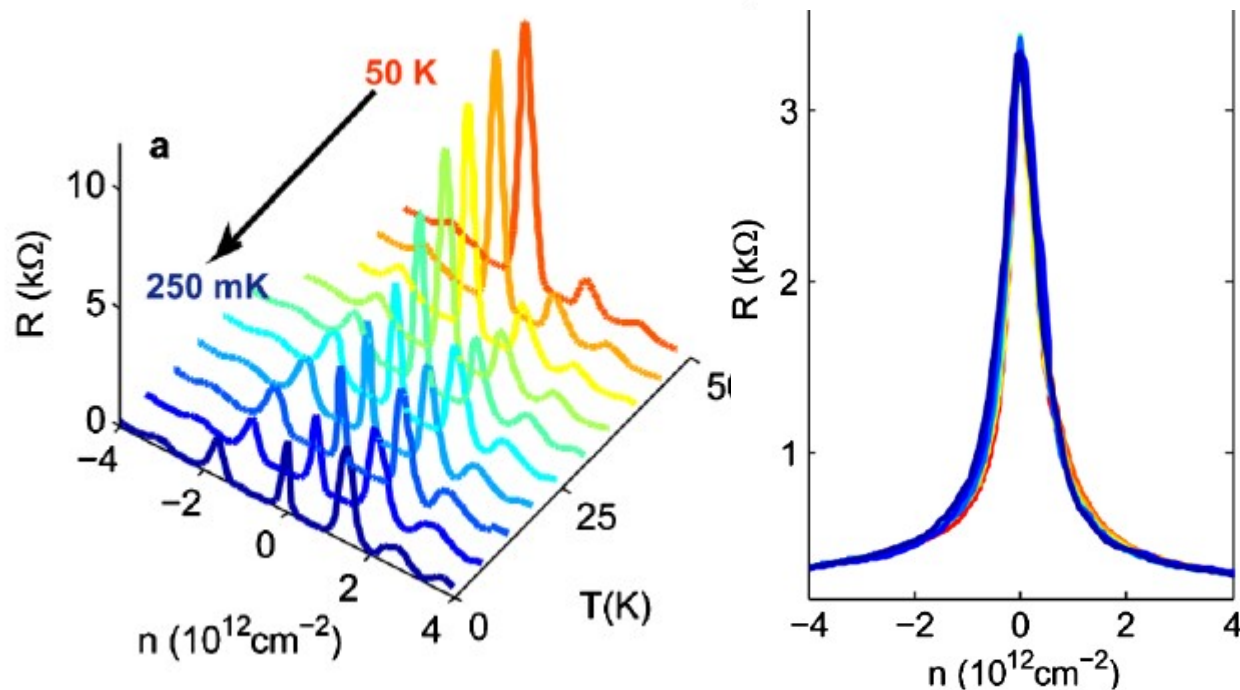
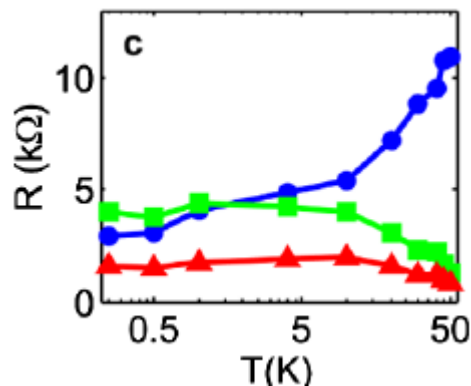
LLL графен как реализация SYK

- Теория: Quantum Holography in a Graphene Flake with an Irregular Boundary PHYS. REV. LETT. 121, 036403 (2018) – chiral symmetry

- Эксперимент:

PRL 107, 225501 (2011)

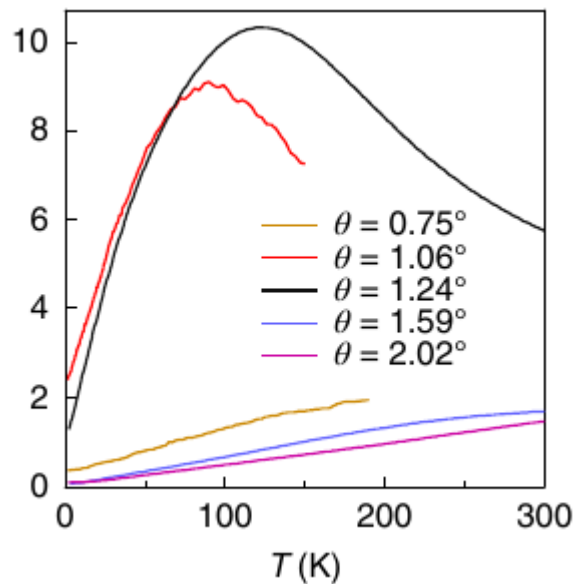
Cuoto, Sacepe, Morpurgo



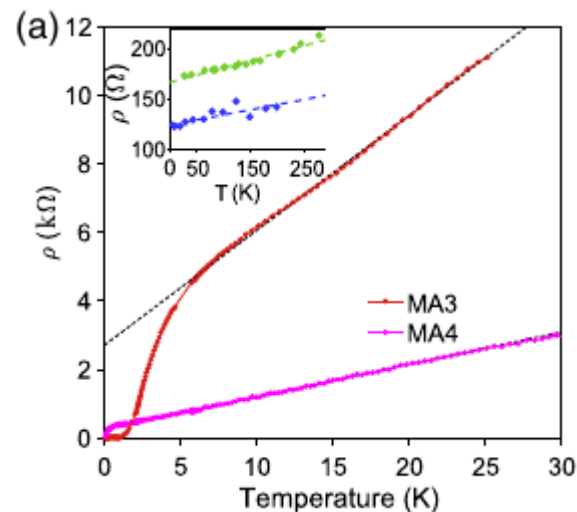
Magic angle BLG and $R(T) \sim T$: сильные корреляции или электрон-фононное рассеяние

Nat.Phys. <https://doi.org/10.1038/s41567-019-0596-3>

Phys. Rev. Lett. 124, 076801 (2020)



$$\rho = \frac{\pi F D_A^2}{g e^2 \hbar \rho_m v_F^2 v_{ph}^2} k_B T$$



$$\rho(T) = \frac{h}{e^2} \frac{\hbar \Gamma}{2 \varepsilon_F(V)} \quad \tilde{\Gamma} = C k_B T / \hbar$$

2. Дебаевский механизм flux-flow проводимости в сверхпроводниках

- Главное утверждение: возможна ситуация, когда flux flow проводимость пропорциональна времени неупругой релаксации $\tau_{inel} \gg \tau_{el}$
- Это ожидается при $T \ll T_c$ и $B \ll H_{c2}$
- Доклад 9 октября
- Новая не сделанная задача: микроволновое поглощение на фоне вихревого состояния

3. S-M переход в 2D – невыясненные вопросы

- Происхождение экспоненциального хвоста локализованных состояний с DoS $\rho(E) \sim \exp(\text{Const } E)$?
- Это явление имеет пороговый характер – появляется при степени беспорядка выше критической, когда локализуются состояния на краю спектра
- Задача имеет более общий характер, чем 2D SMT – в частности, подобный фазовый переход обсуждается и в связи с “вейлевскими материалами”

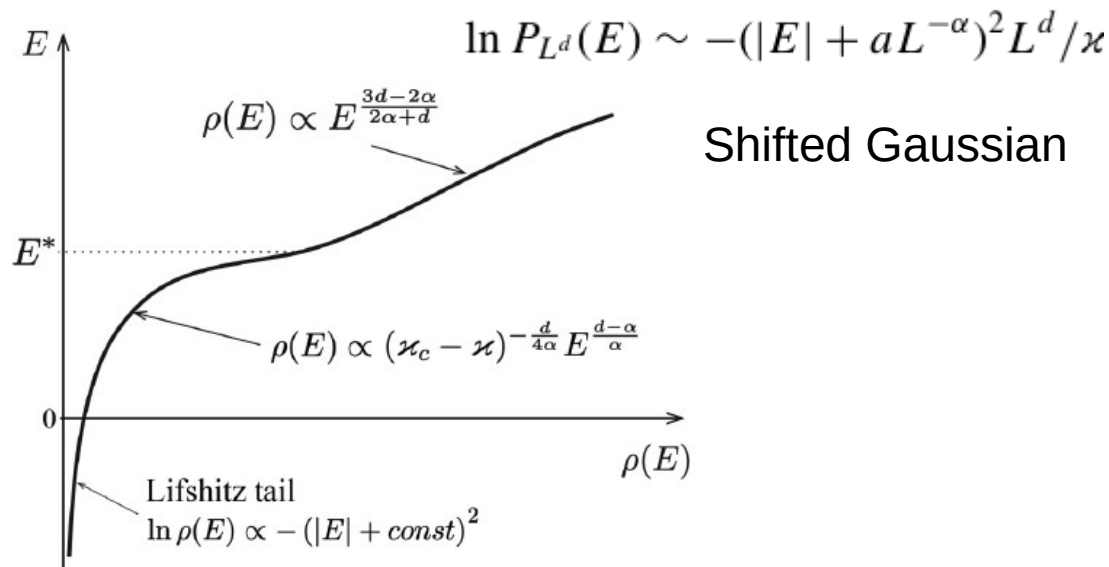
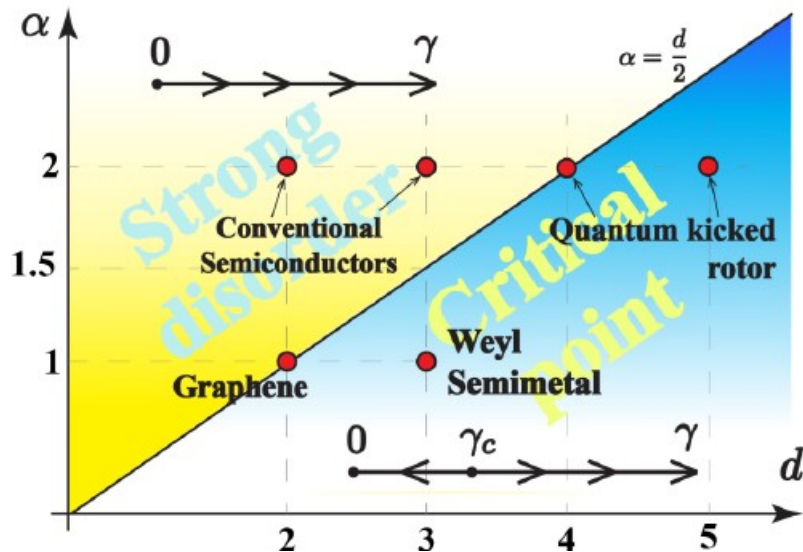
Recent papers on related subjects

PHYSICAL REVIEW B 91, 035133 (2015) S. V. Syzranov, V. Gurarie, and L. Radzihovsky

Unconventional localization transition in high dimensions

$$d > 2\alpha$$

$$\xi_{\mathbf{k}} = ak^\alpha$$

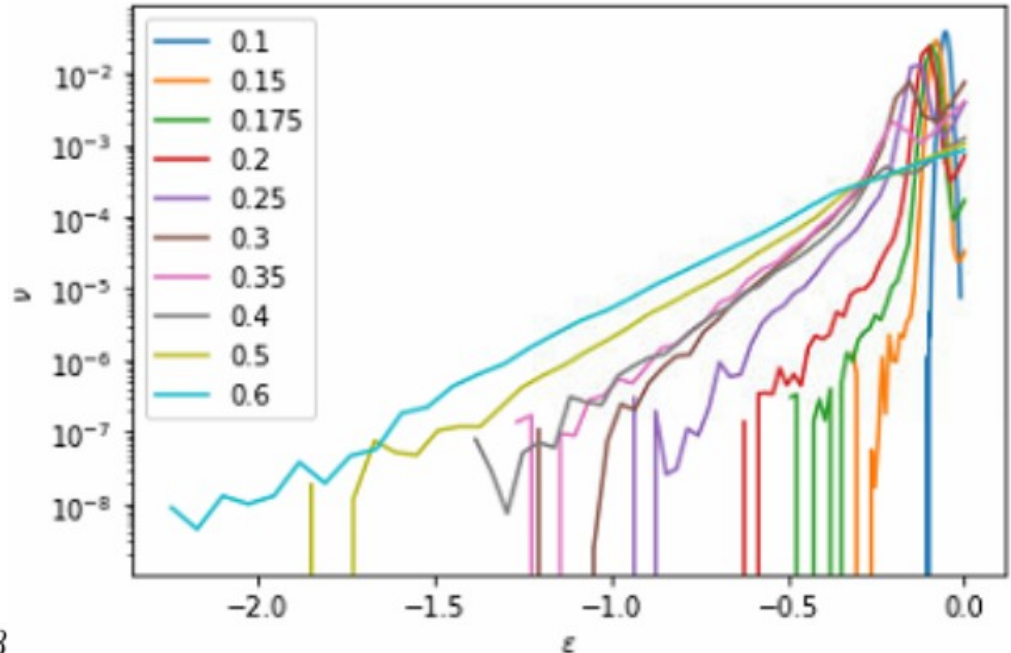
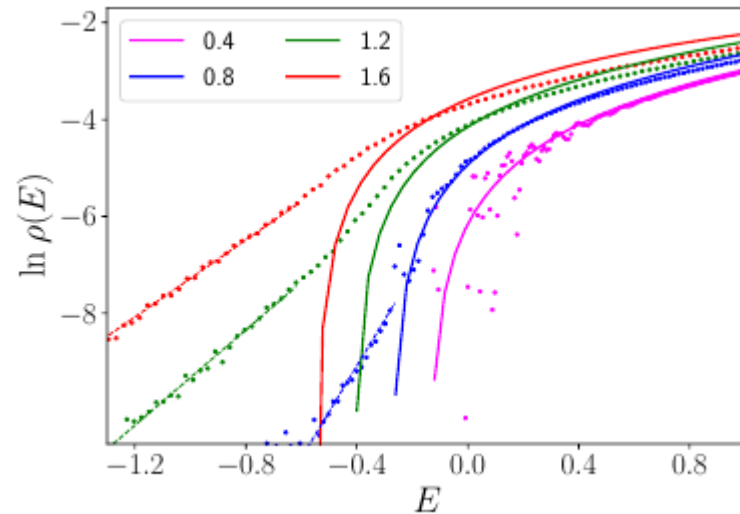


Экспоненциальный хвост. Откуда он берется ?

2D, $\beta = 2.8$
($\beta_c = 3$)

$$\beta = d + \alpha$$

1D, $\beta = 1.4$ ($\beta_c = 3/2$)



In our model real-space hopping $\sim r^{-\beta}$

4. Неоднородная сверхпроводимость $\Delta(r)$

- а) 2D корреляции между $\Delta(r)$ и кулоновской аномалией
(М.Скворцов, С.Brun et al) [Phys. Rev. B 102, 024504 \(2020\)](#)
(доклад будет 16 окт.)
- б) Классическая 3D задача (Ларкин-Овч.), но появился эксперимент (Idan Tamir) и его можно детально анализировать (М.Скворцов)
- в) Сильно неупорядоченная сверхпроводимость с псевдощелью.
Теория: А.Хвалюк (пишем статью),
эксперимент: Idan Tamir

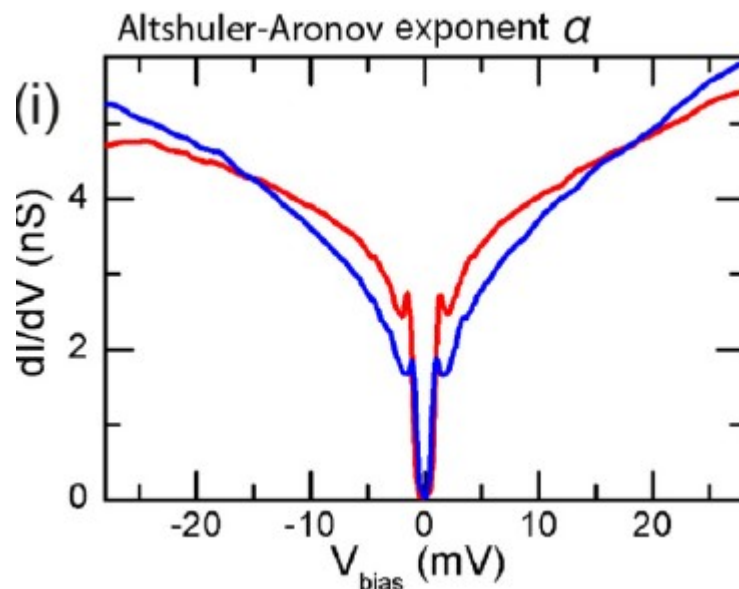
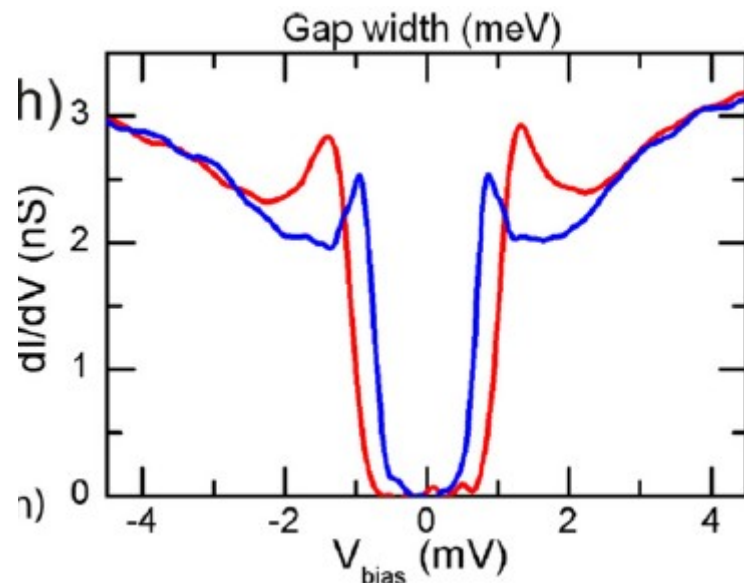
4a. 2D Local Finkelstein effect

$$\delta\alpha(\mathbf{r}, V) = \frac{\delta\rho(\mathbf{r})}{2\pi R_Q} \ln \frac{eV}{\hbar D/l_\alpha^2}.$$

PHYSICAL REVIEW B **102**, 024504 (2020)

C. Carbillet,¹ V. Cherkez,¹ M. A. Skvortsov,^{2,3,*} M. V. Feigel'man,³
F. Debontridder,¹ L. B. Ioffe,^{4,3} V. S. Stolyarov,
K. Ilin,⁷ M. Siegel,⁷ C. Noûs,⁸ D. Roditchev,^{1,9} T. Cren,¹ and C. Brun

$$\frac{\delta\Delta(\mathbf{r})}{\langle\Delta\rangle} \approx -\frac{\delta\rho(\mathbf{r})}{6\pi R_Q} \ln^3 \frac{\hbar\omega_D}{\Delta(0)}$$



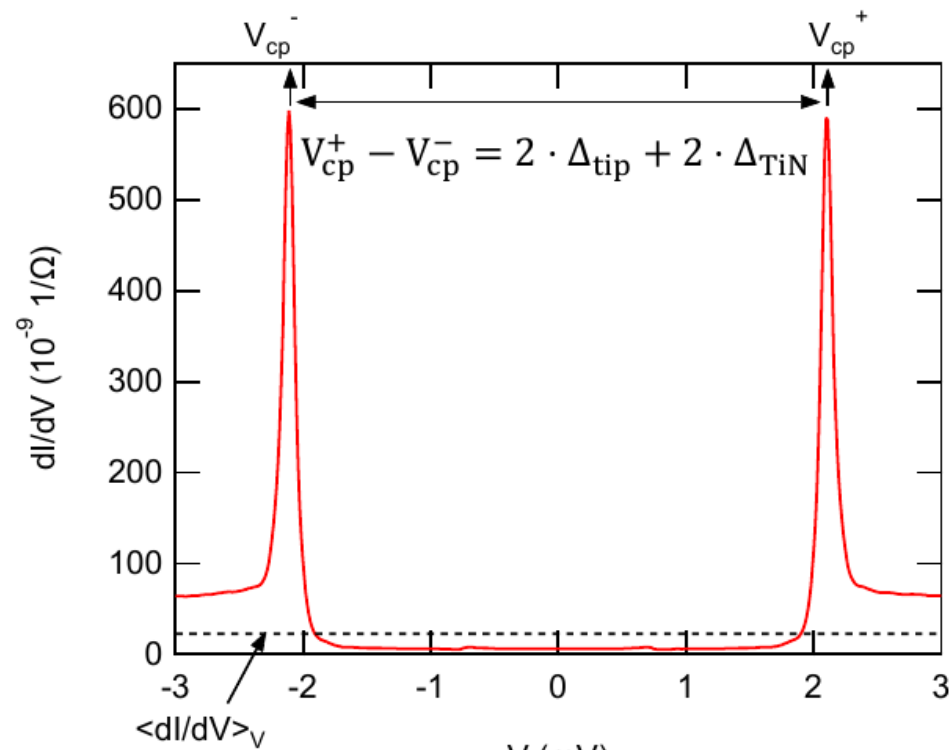
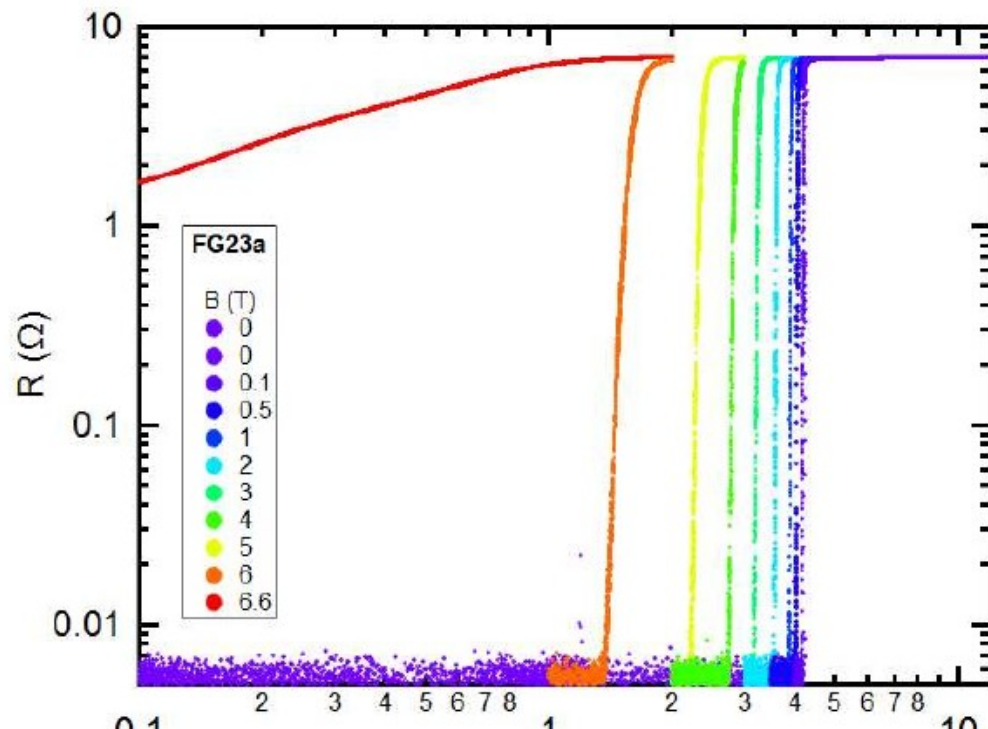
3D модель Ларкина-Овчинникова и STM в TiN

Флуктуации $\lambda(r)$
приводят к
флуктуациям $\Delta(r)$
и к распариванию

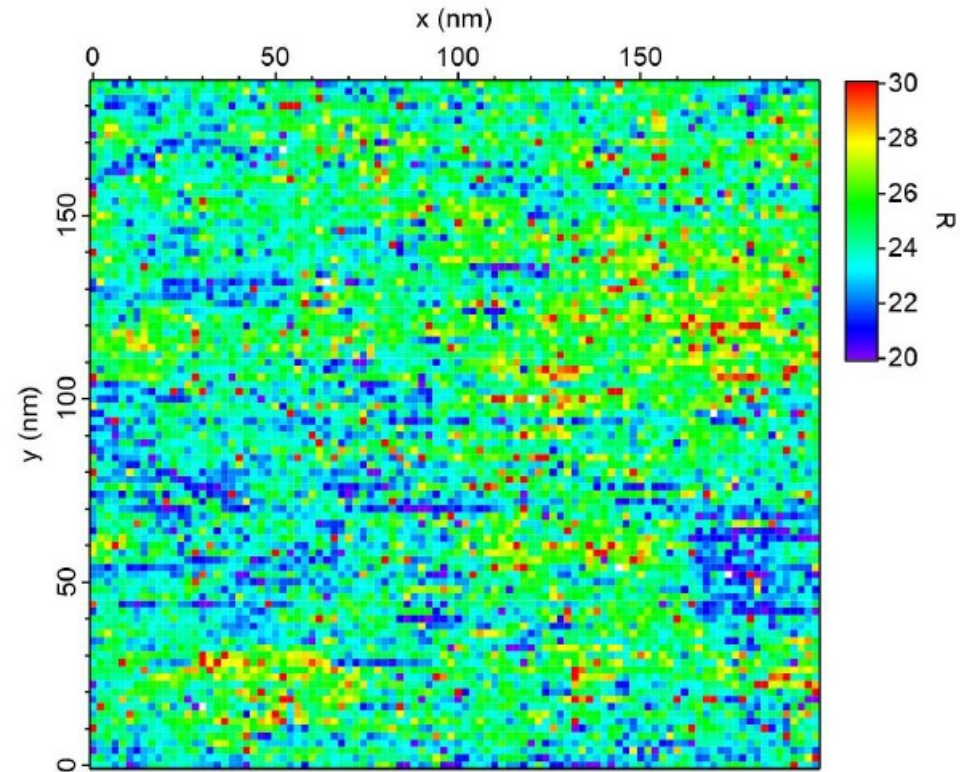
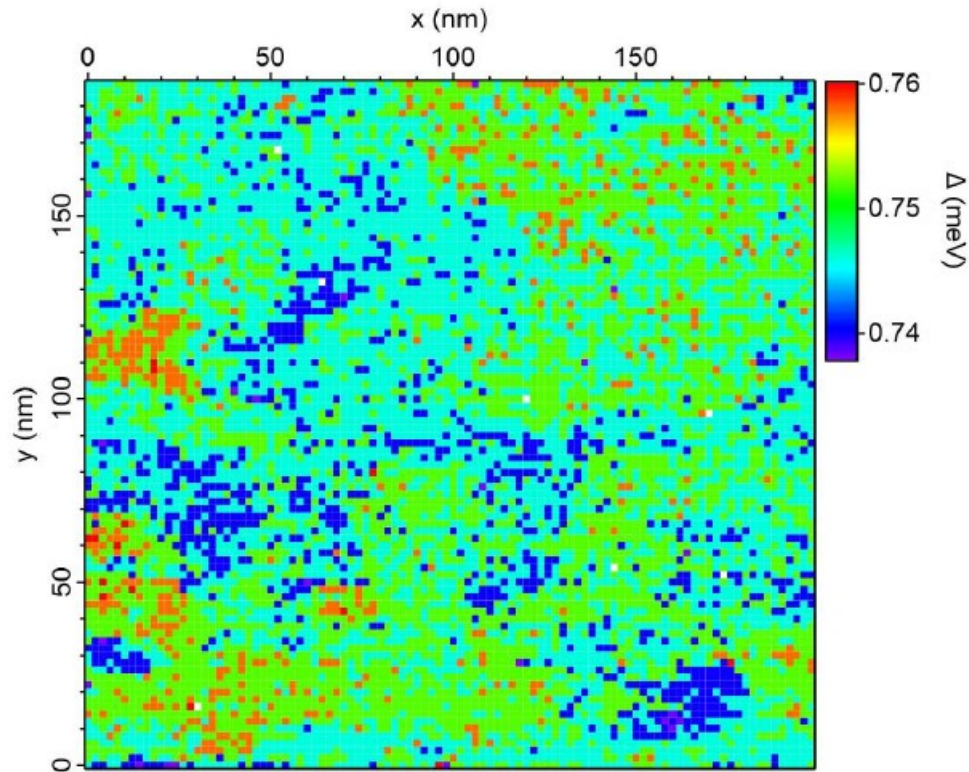
$$-iE \sin \theta - \Delta \cos \theta + \eta \Delta \sin \theta \cos \theta = 0$$

Измерения: локальная туннельная проводимость dI/dV

$$\eta \sim \frac{\langle \delta \Delta^2(r) \rangle}{\Delta^2} \frac{r_c^2}{\xi_0^2}$$

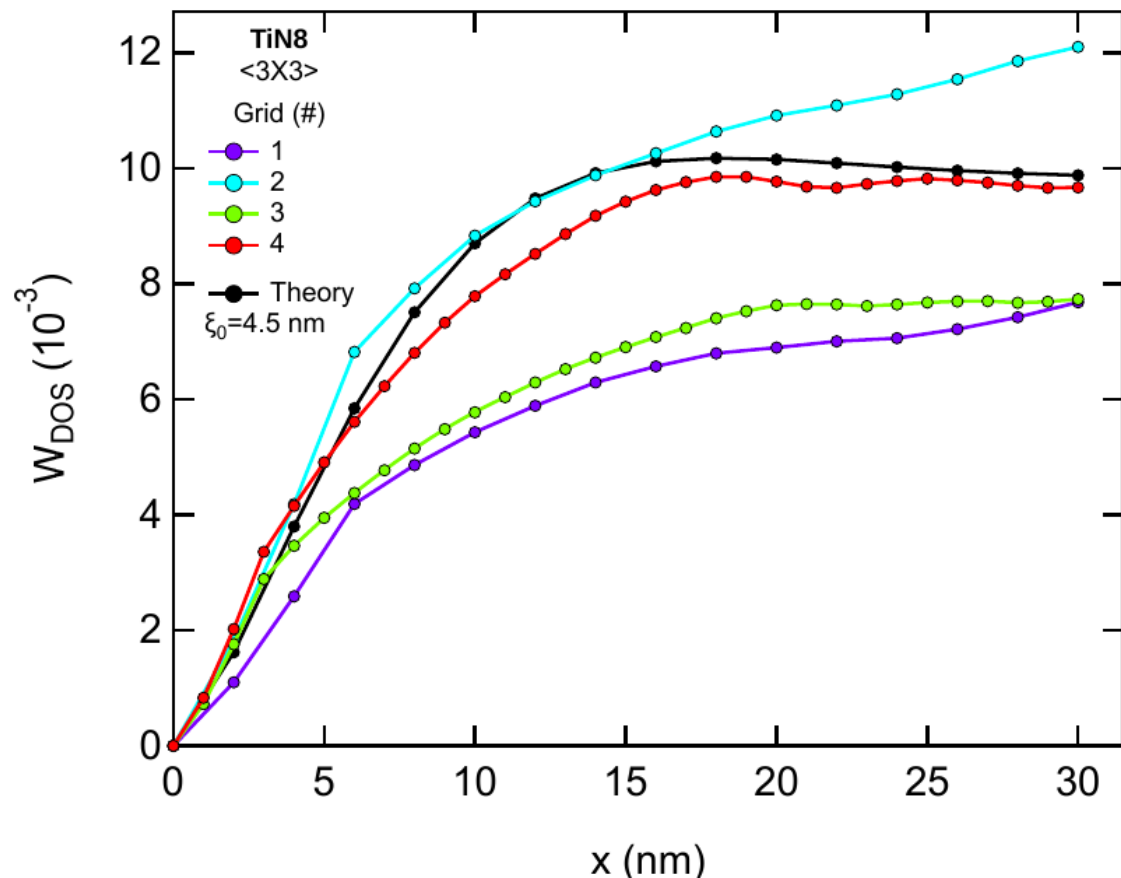


STS data – grid #1



Gap (left) and R (right) false color maps. The maps include 9,400 spectra with 2 nm spacing between adjacent points.

46 Theory v/s data



$$W(r) = \langle \delta \rho^2(r) \rangle - \langle \delta \rho(0) \delta \rho(r) \rangle$$

Пространственные корреляции
Флуктуаций плотности состояний
при энергии, соответствующей
максимуму DoS

ξ_0 находим из $H_{c2}(T)$

η находим из высоты пика

Free parameter - r_c

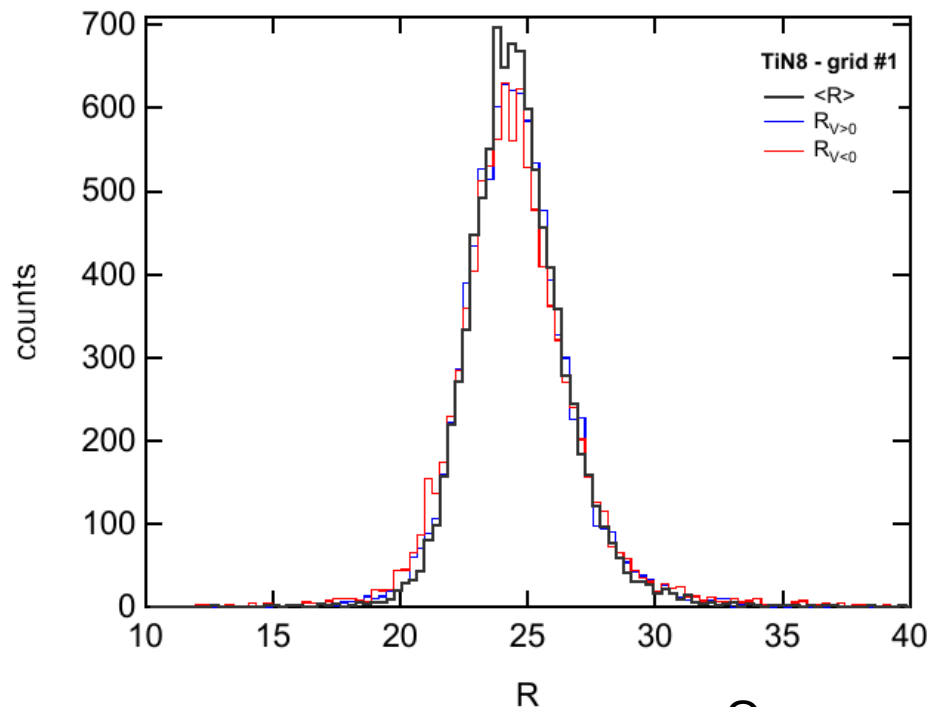
$$\eta \sim \frac{\langle \delta \Delta^2(r) \rangle}{\Delta^2} \frac{r_c^2}{\xi_0^2}$$

4в. Сильный беспорядок, негауссовы флуктуации параметра порядка

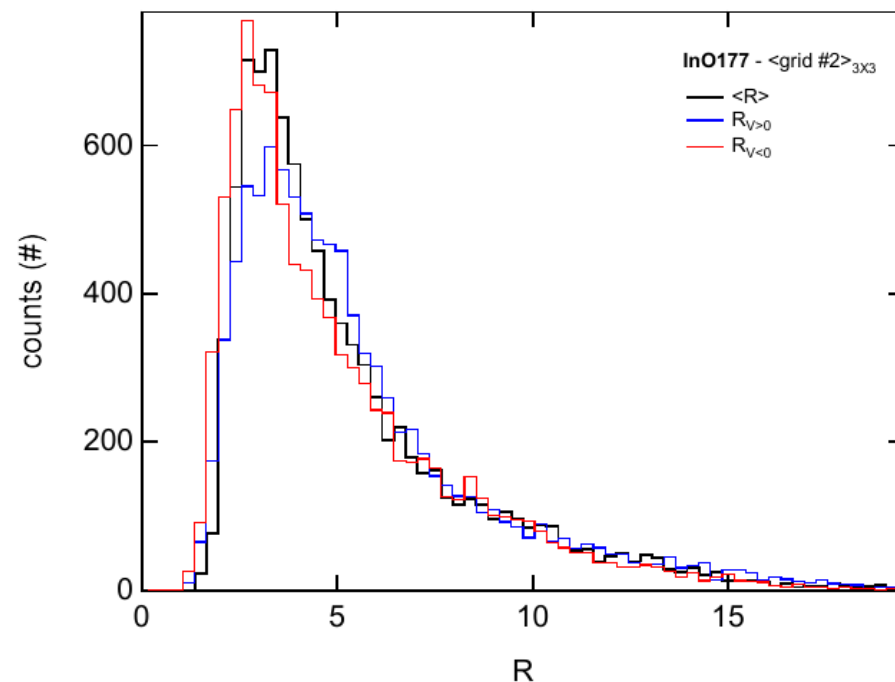
InOx data
(Idan Tamir)

(TiN)

Гауссово распределение высот пиков

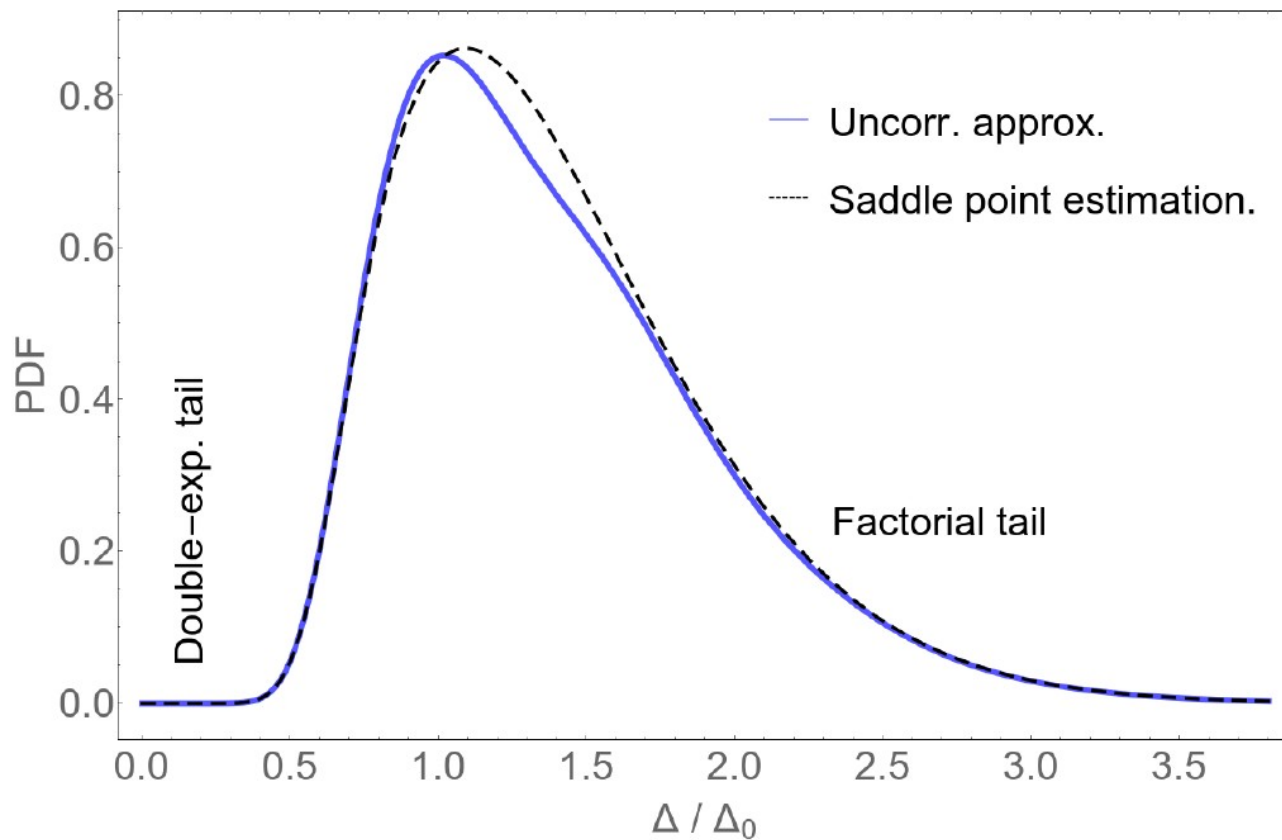


Негауссово распределение высот



Это распределение высот пиков в dI/dV

4в Теория- Антон Хвалюк (диплом)



Вычисление $P(\Delta)$
в случае сильного
беспорядка

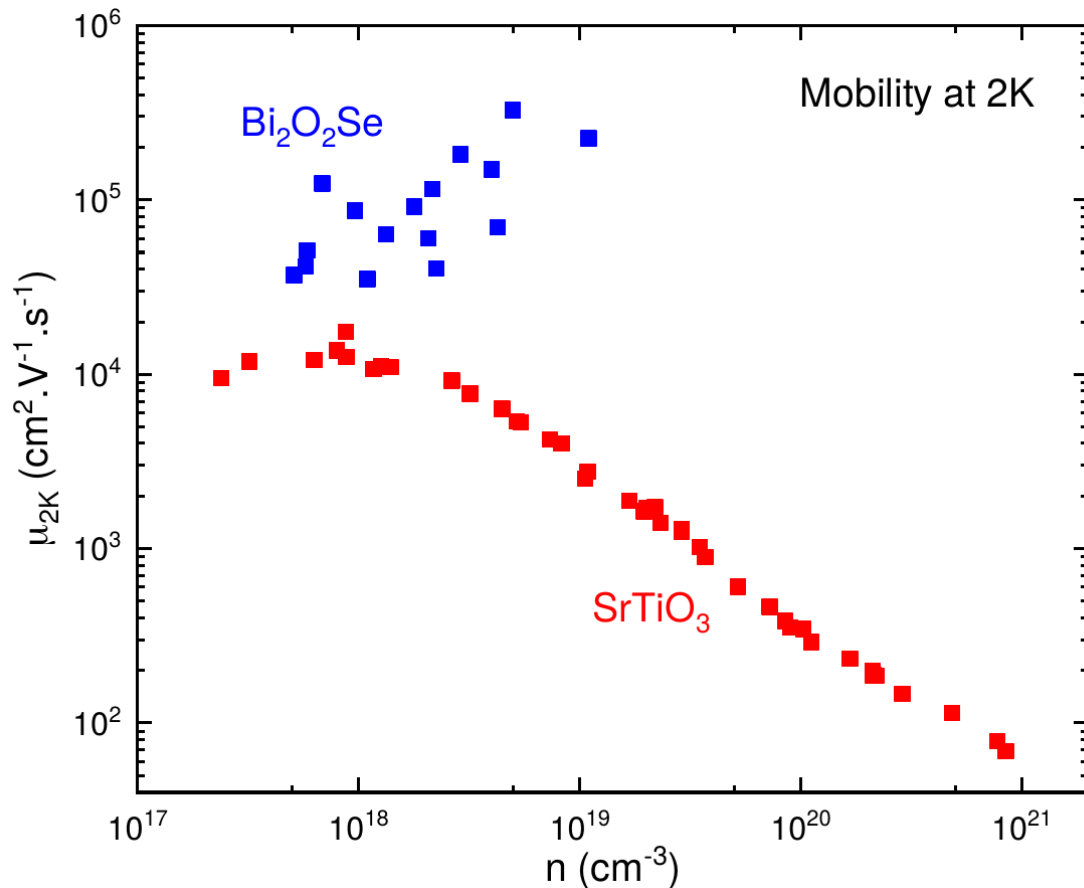
Paper in progress

5. Электронный транспорт в SrTiO_3 и подобных сильно разбавленных металлах

- а) Проводимость при $T \rightarrow 0$ в зависимости от плотности электронов (Д.Киселев, студент 4 курса)
- б) Подвижность при высоких температурах $T \gg E_F$ как функция температуры (Х.Назарян, студент 4 курса)
- в) Температурная зависимость проводимости $\sigma(T, n)$ в области вырожденного ферми-газа $T \ll E_F$ (с Антоном Андреевым)

а) Сопротивление из-за примесей, T=0

Дмитрий Киселев



$$V(r) = e \frac{\exp(-r/r_{TF})}{4\pi\epsilon r}$$

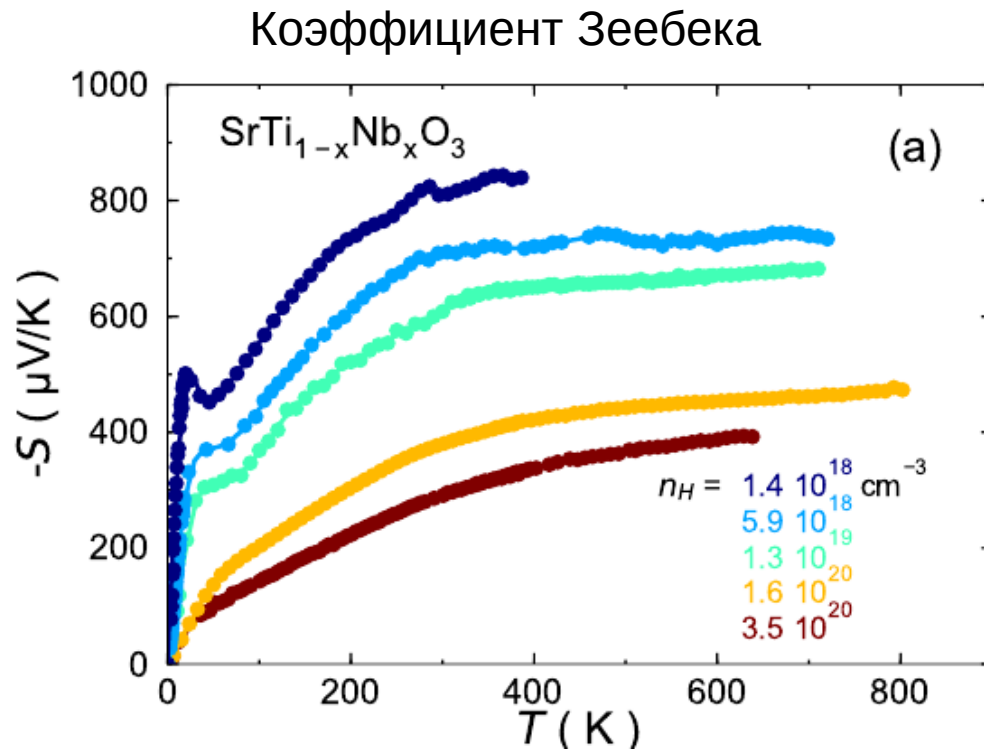
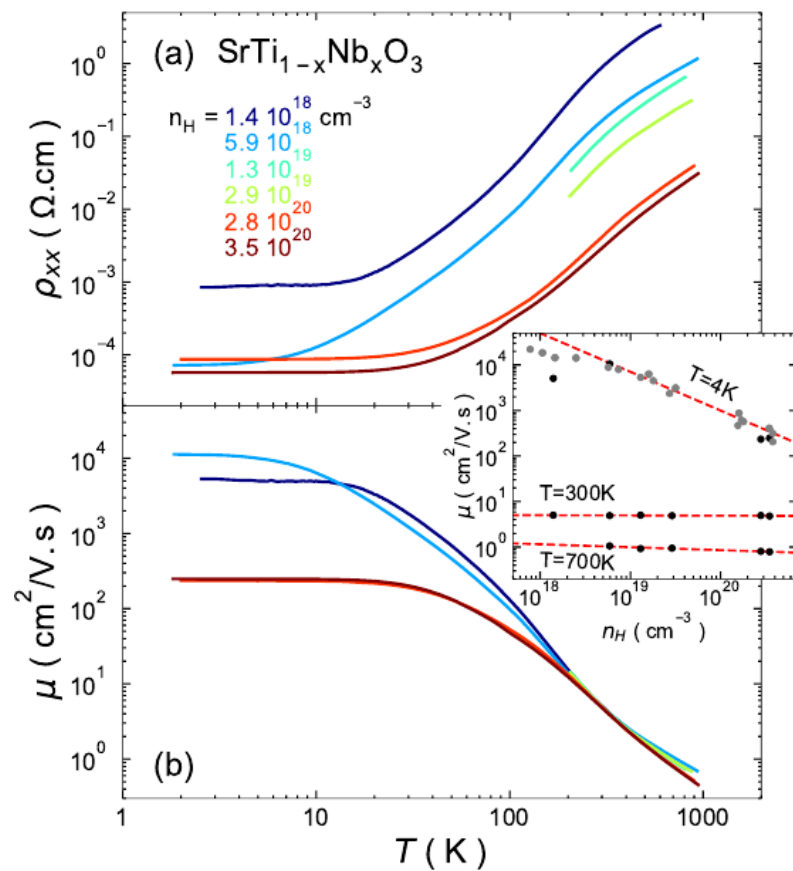
$$r_{TF}^2 = \frac{\pi a_B^*}{4k_F} \quad a_B^* = 0.6 \text{ mkm}$$

Рассеяние на кулоновских
центрах ничтожно слабое
из-за $\epsilon = 20\,000$

Механизм примесного рассеяния ??

б) Подвижность и коэф. Зеебека при $T \gg E_F$ (Хачатур Назарян)

Heavy non-degenerate
electrons in doped
strontium titanate
K.Behnia et al (2020)



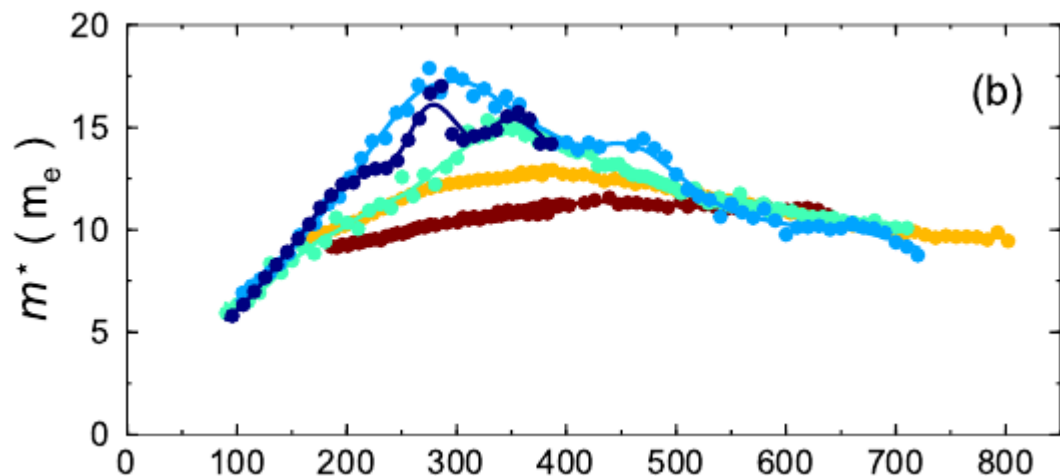
Коэф. Зеебека и энтропия на 1 электрон

Kamran Behnia et al:

$$\mathcal{S}_{ST} = Nk_B \left[\frac{5}{2} + \ln \left(\frac{1}{n\lambda_{dB}^3} \right) \right]$$

$$\lambda_{dB} = \sqrt{\frac{2\pi\hbar^2}{m^*k_B T}}$$

Отсюда извлекается $m^*(T)$



Довольно странная картина.....

В) Область $T \ll E_F$ — зависимость $\rho(T)$

Scalable T^2 resistivity in a small single-component Fermi surface

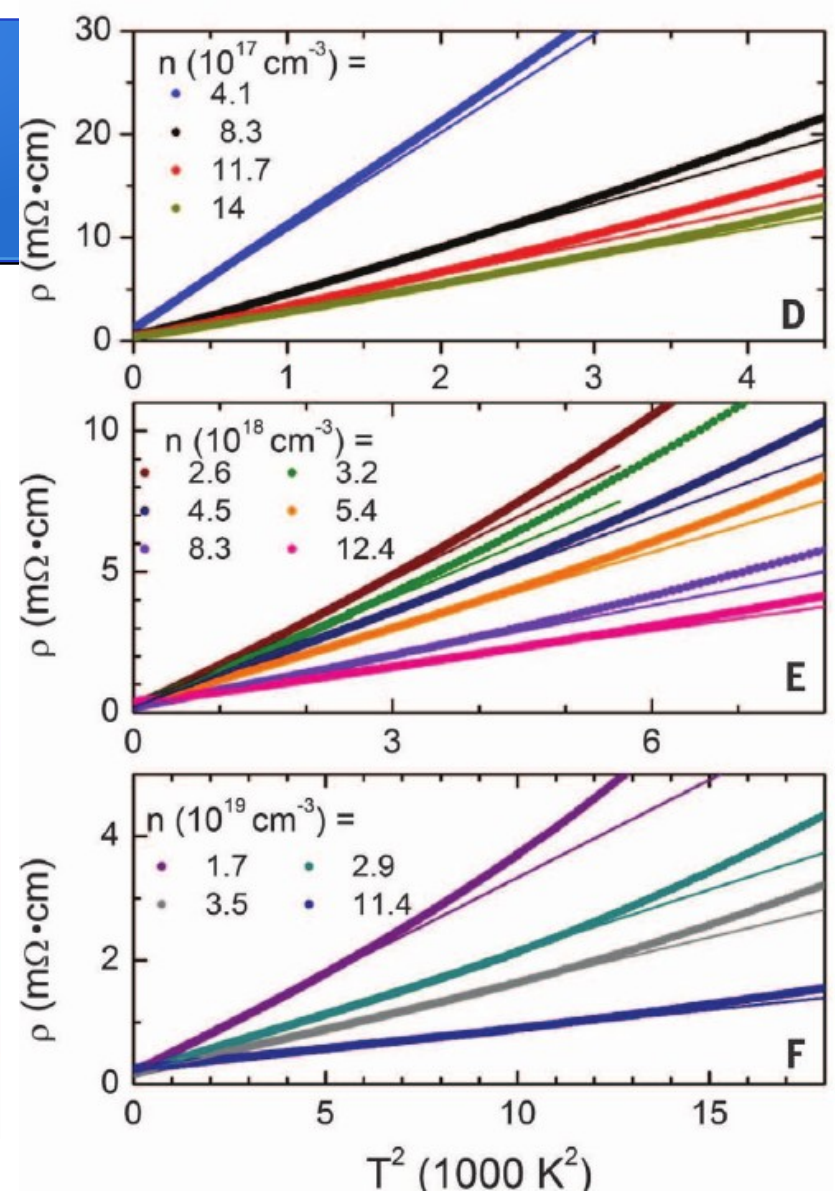
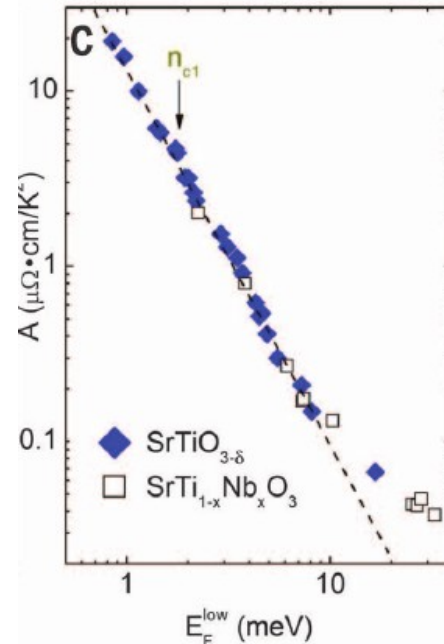
Xiao Lin, Benoît Fauqué, Kamran Behnia*

$$R(T) = R(0) + A T^2$$

$$A = \frac{\hbar}{e^2} \left(\frac{k_B}{E_F} \right)^2 \ell_{\text{quad}}$$

Эффект e-e interaction
в отсутствии перебросов ??

$$K_F < \frac{1}{4} K_{\text{BZ}}$$



6. Катастрофа ортогональности в изоляторе Андерсона

Exponential Orthogonality Catastrophe at the Anderson Metal-Insulator Transition

PRL **117**, 146602 (2016) S. Kettemann

$$\chi = F^2 = |\langle \psi | \psi' \rangle|^2 < \exp(-I_A) \quad I_A = \frac{1}{2} \sum_{\epsilon_n \leq 0, \epsilon_{m'} > 0} |\langle n | m' \rangle| = \frac{(2\pi\lambda)^2}{2\rho^2} \sum_{E_n < E_F} \sum_{E_m > E_F} \frac{|\psi_n(\mathbf{x})|^2 |\psi_m(\mathbf{x})|^2}{(E_n - E_m)^2}$$

$$C(\omega_{nm} = E_n - E_m) = L^d \int d^d r \langle |\psi_n(\mathbf{r})|^2 |\psi_m(\mathbf{r})|^2 \rangle = \left(\frac{E_c}{\text{Max}(|\omega_{nm}|, \Delta)} \right)^{\eta/d}, \quad 0 < |\omega_{nm}| < E_c,$$

$$\langle I_A \rangle|_{E_F=E_M} = \frac{2(\pi\lambda)^2}{\gamma(1+\gamma)} \left(\frac{E_c}{\Delta} \right)^\gamma$$

Степенной рост с размером L
на пороге Андерсона

Что будет в изоляторе ? Mott resonances

Cécile Monthus J. Phys. A: Math. Theor. **50** (2017) 095002

**Many-body-localization transition:
sensitivity to twisted boundary conditions**