

Загороднев Игорь^{1,2}, Ж. Девизорова^{1,2},

В. Еналдиев², В.А. Волков^{2,1}

¹ *Московский физико-технический институт,*

² *ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН*

Рассеяние электронов на квазистационарных уровнях графеновой антиточки

XIV конференция "Проблемы физики твердого тела и высоких давлений"
12 сентября (суббота) 2015 г.

План доклада

1. Краевые (таммовские) состояния в графене
(введение)

2. Какие бывают антиточки и краевые состояния в них (введение)

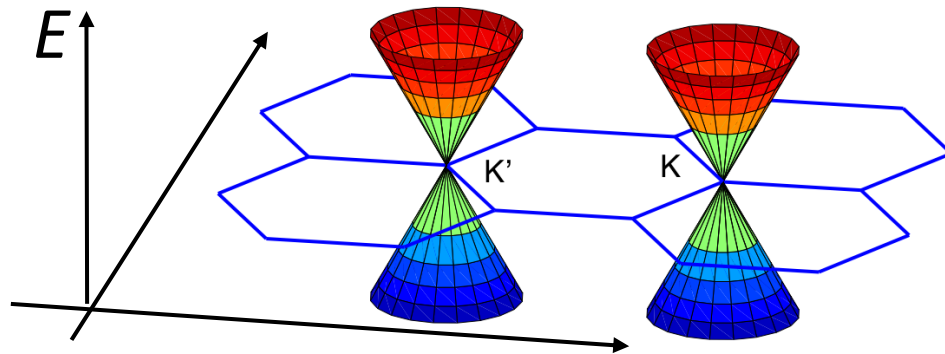
3. Амплитуда и сечение рассеяния электронов на антиточке с краевыми состояниями, а также локальная плотность состояний вблизи нее
(основные результаты)

Глобальная задача: теоретически описать (или предсказать) возможные проявления краевых состояний. В данной работе - в проводимости и локальной плотности состояний.

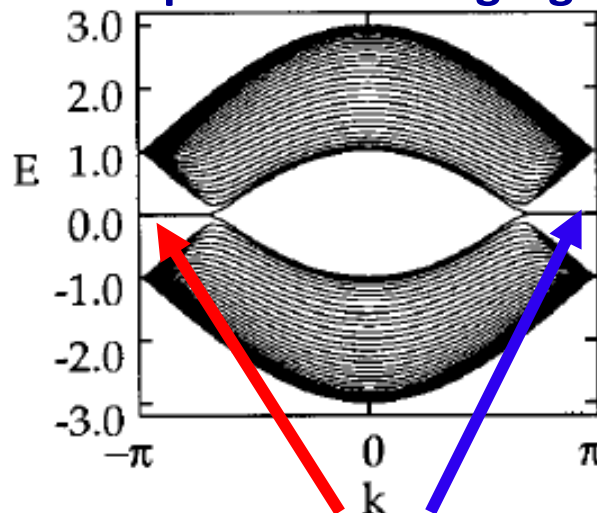
Краевые состояния в графене:

(приближение ближайших соседей модели сильной
связи)

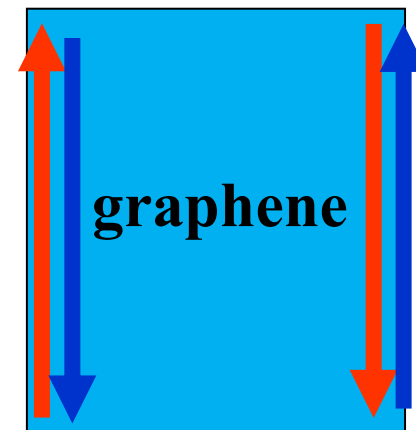
Обратная решетка и электронный спектр



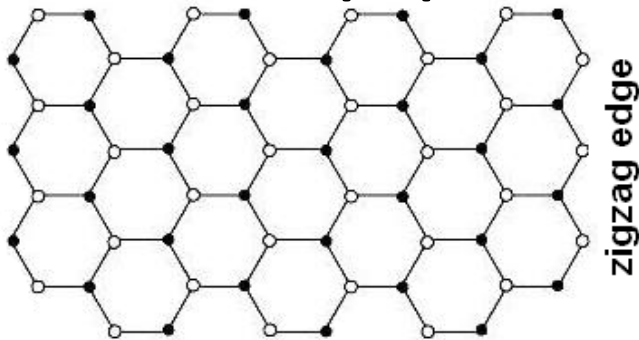
с краями типа zigzag:



Краевые состояния есть!

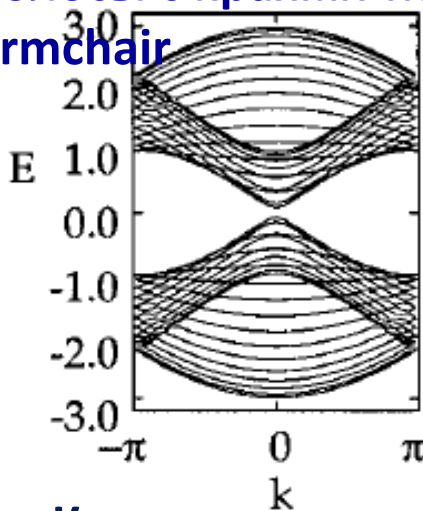


Решетка графена



armchair edge

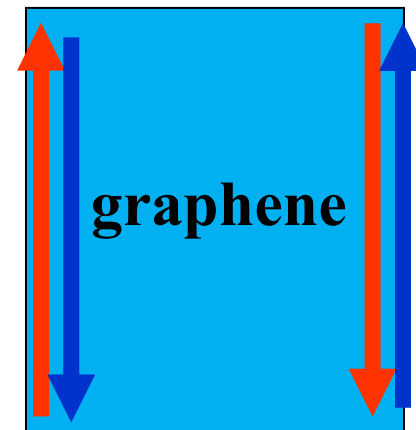
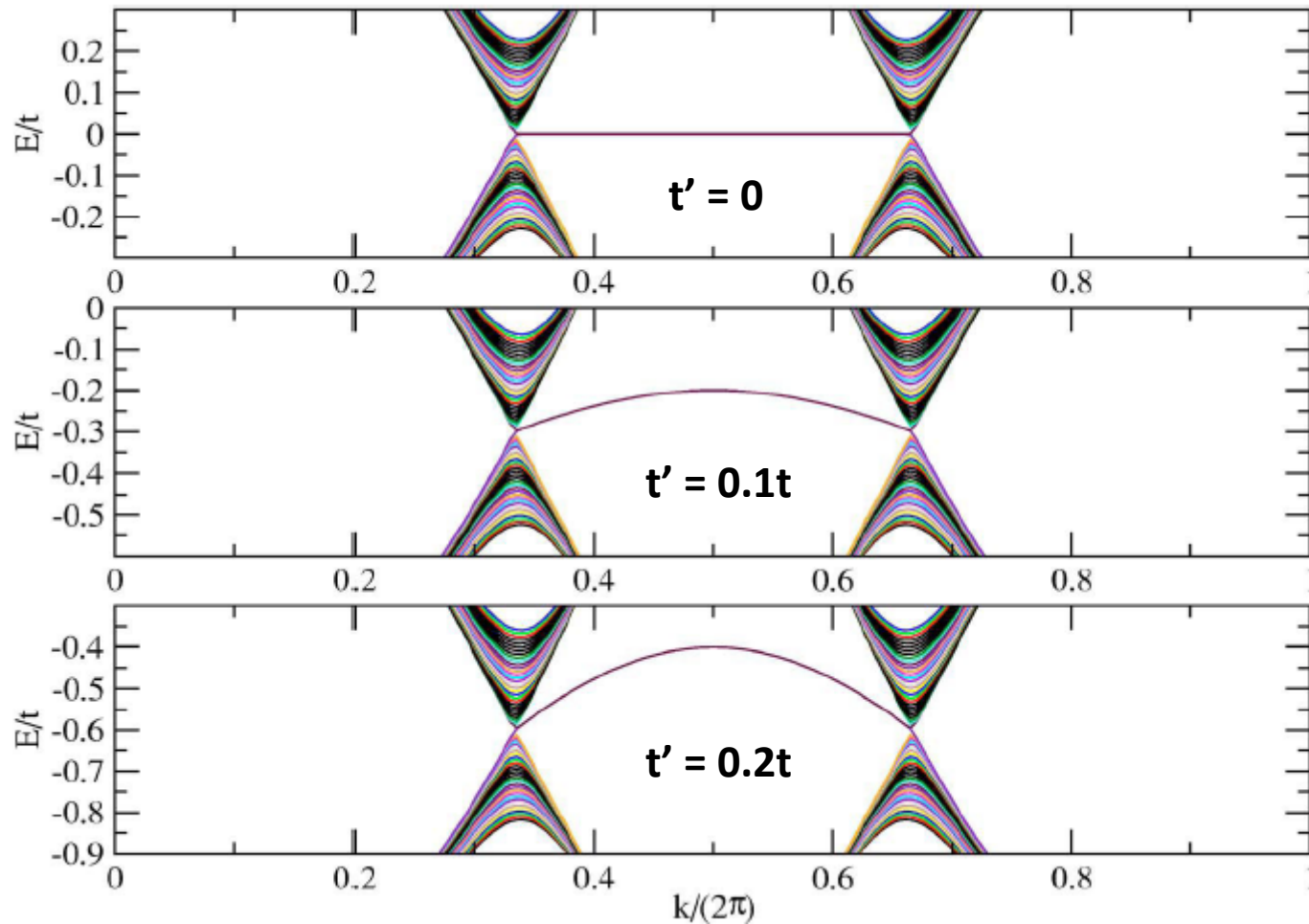
Электронный спектр
полосы с краями типа
armchair



Краевые состояния
отсутствуют

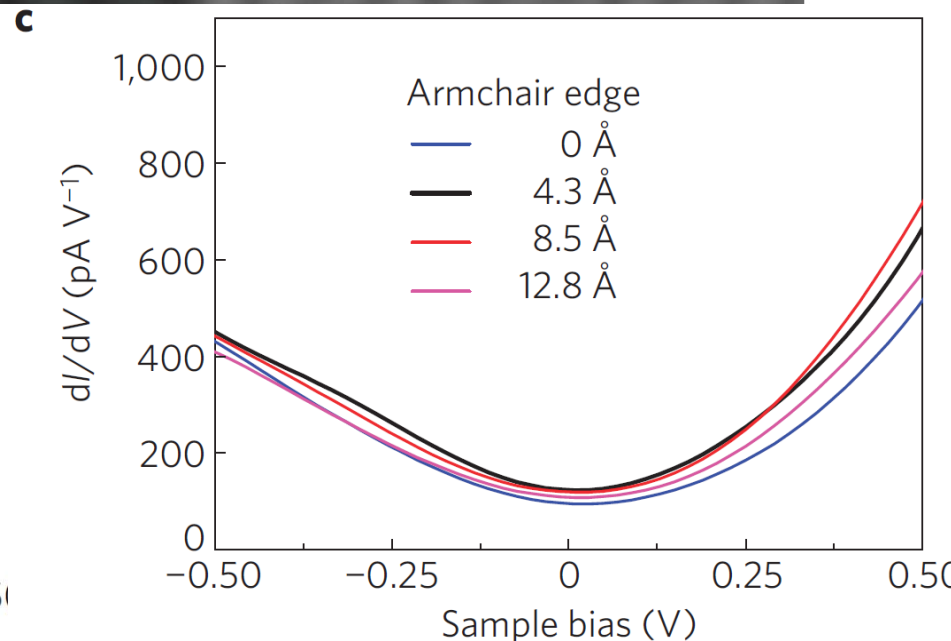
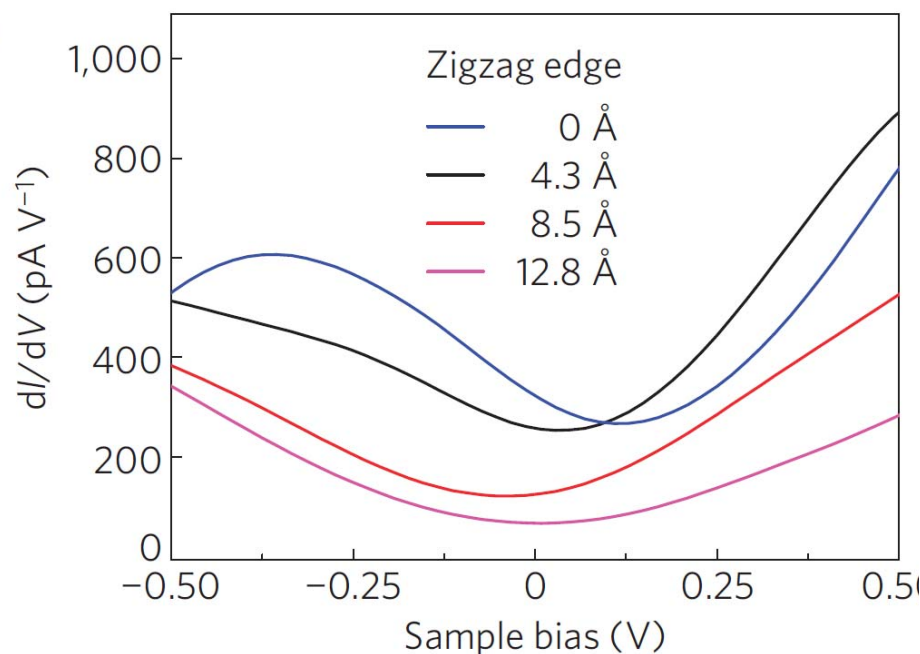
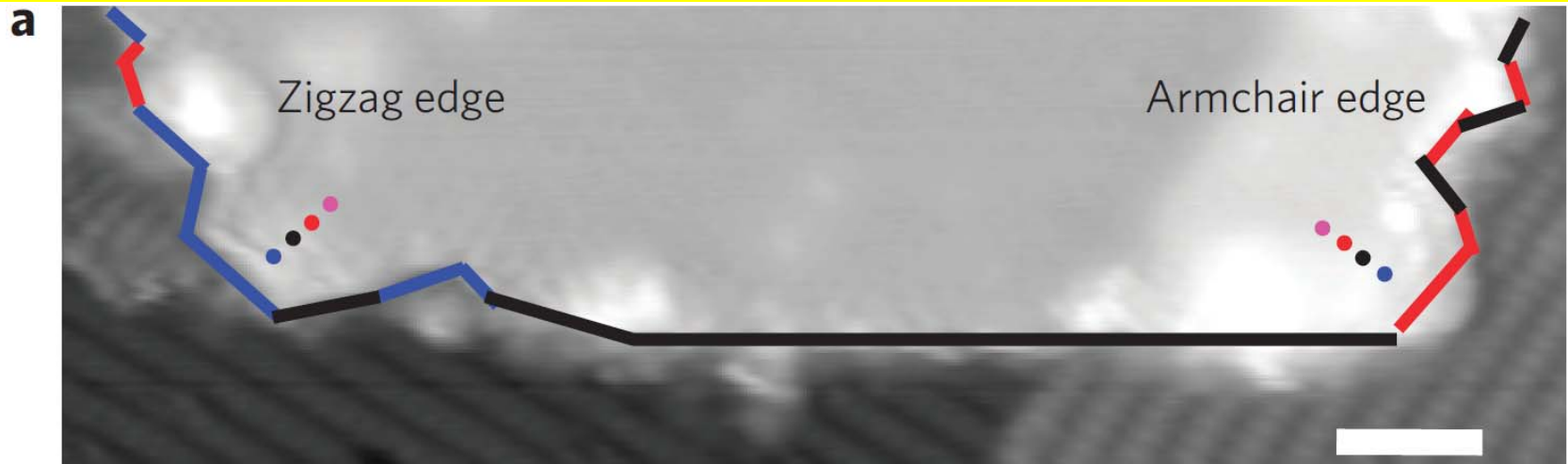
K. Nakada et al., *PRB* (1996)

Краевые состояния на крае типа zigzag (приближение следующих за ближайшими соседями)



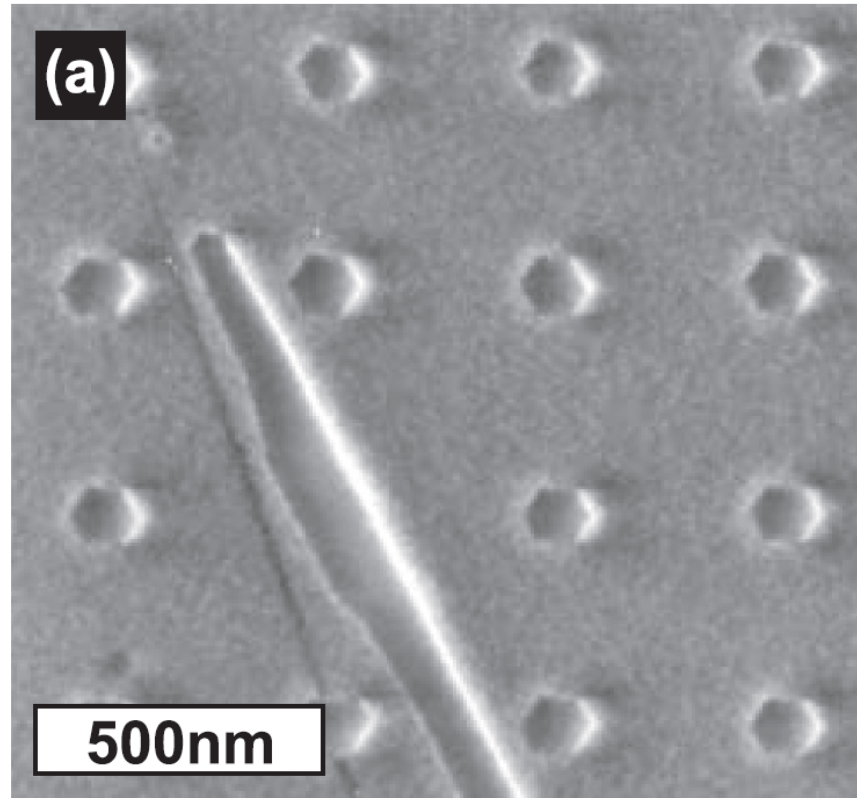
N.M.R. Peres et al., PRB (2006). Электронный спектр графеновой полосы с краями типа zigzag при учете интеграла перекрытия (t') между следующими за ближайшими соседями

Локальная плотность состояний близи zigzag и armchair



K. Ritter et al., *Nature Materials* (2009)

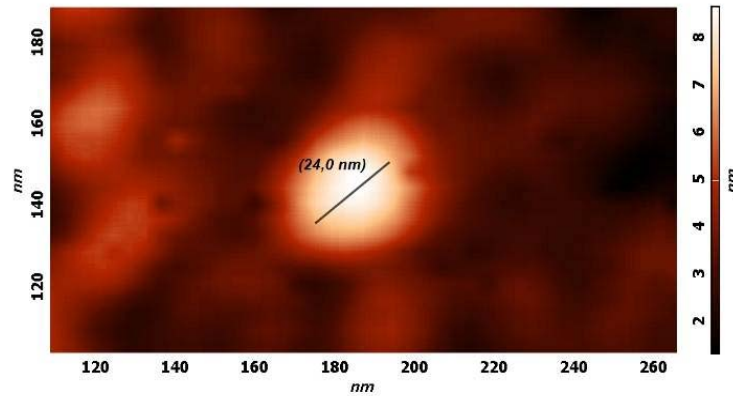
Гексагональные графеновые антиточки с краями типа зигзаг



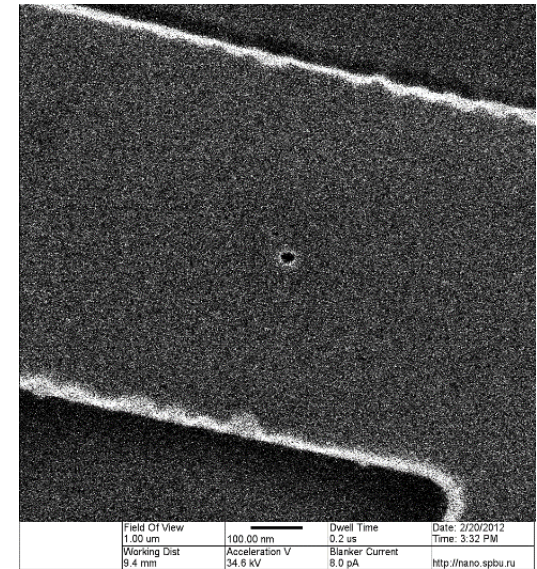
F. Oberhuber et al., *Appl. Phys. Lett.* (2013).

Круглые графеновые антиточки полученные различными способами (с неопределенными краями)

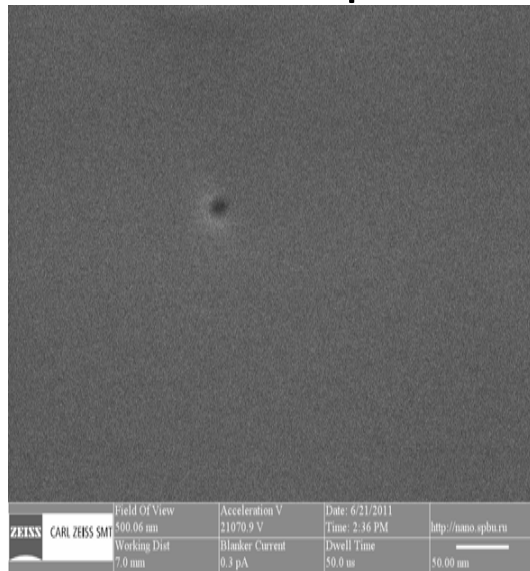
1. С помощью высокоэнергетичных ИОНОВ



2. FIB



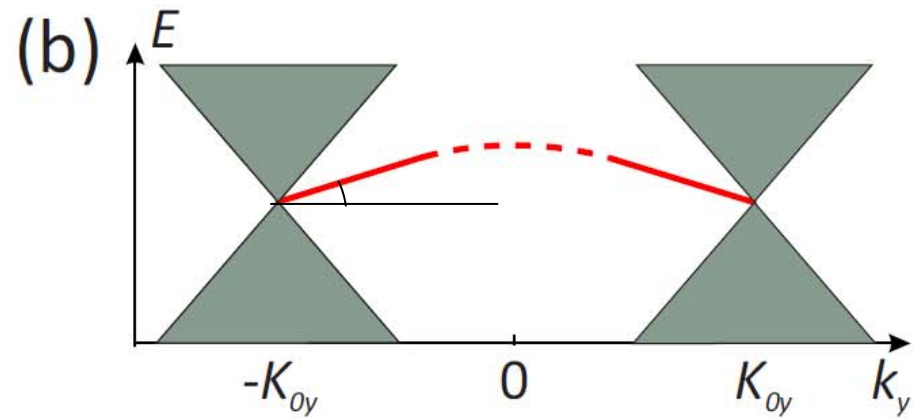
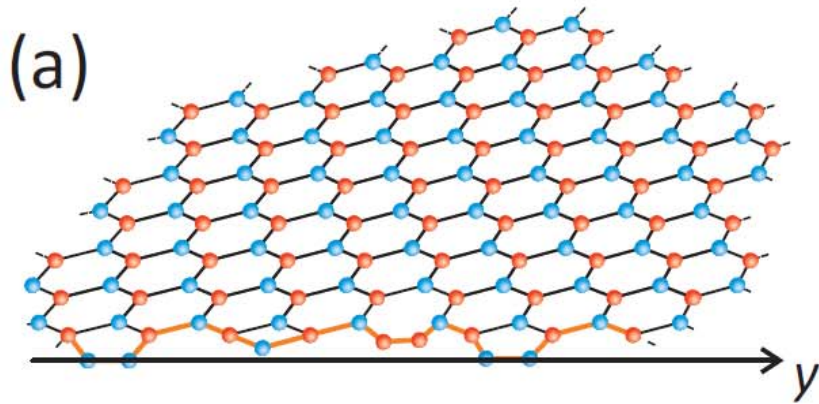
3. Гелиевый микроскоп



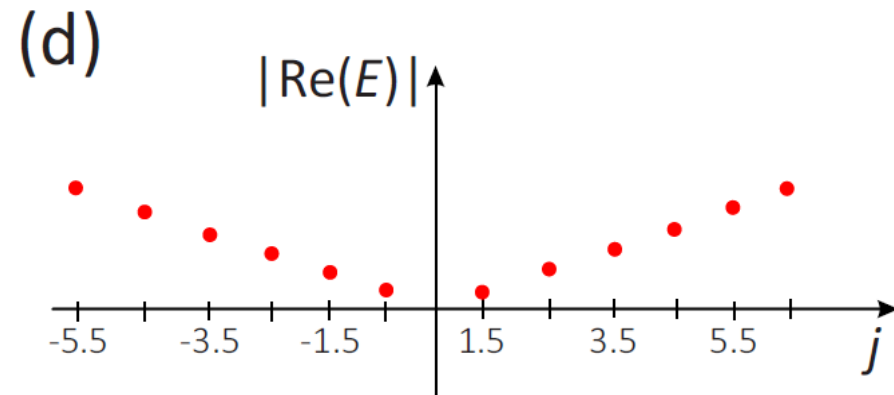
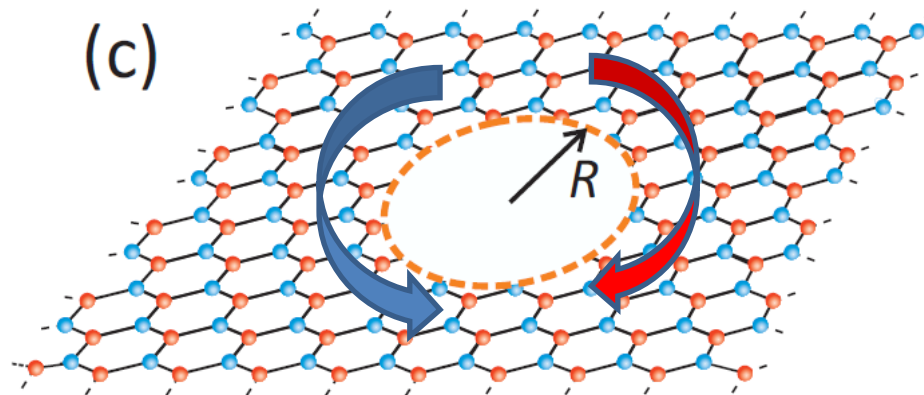
Yu.I. Latyshev et al., *Scientific Reports* (2014)

Краевые состояния (теория)

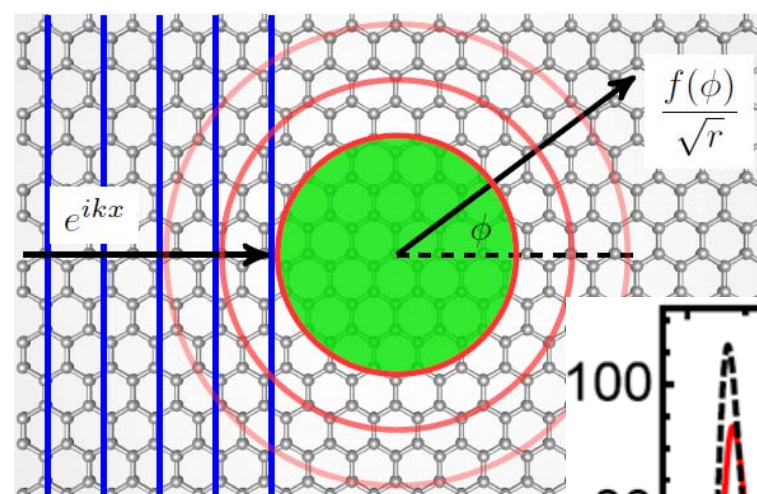
Линейный край (полуплоскость $x > 0$)



Круглая дырка в графене

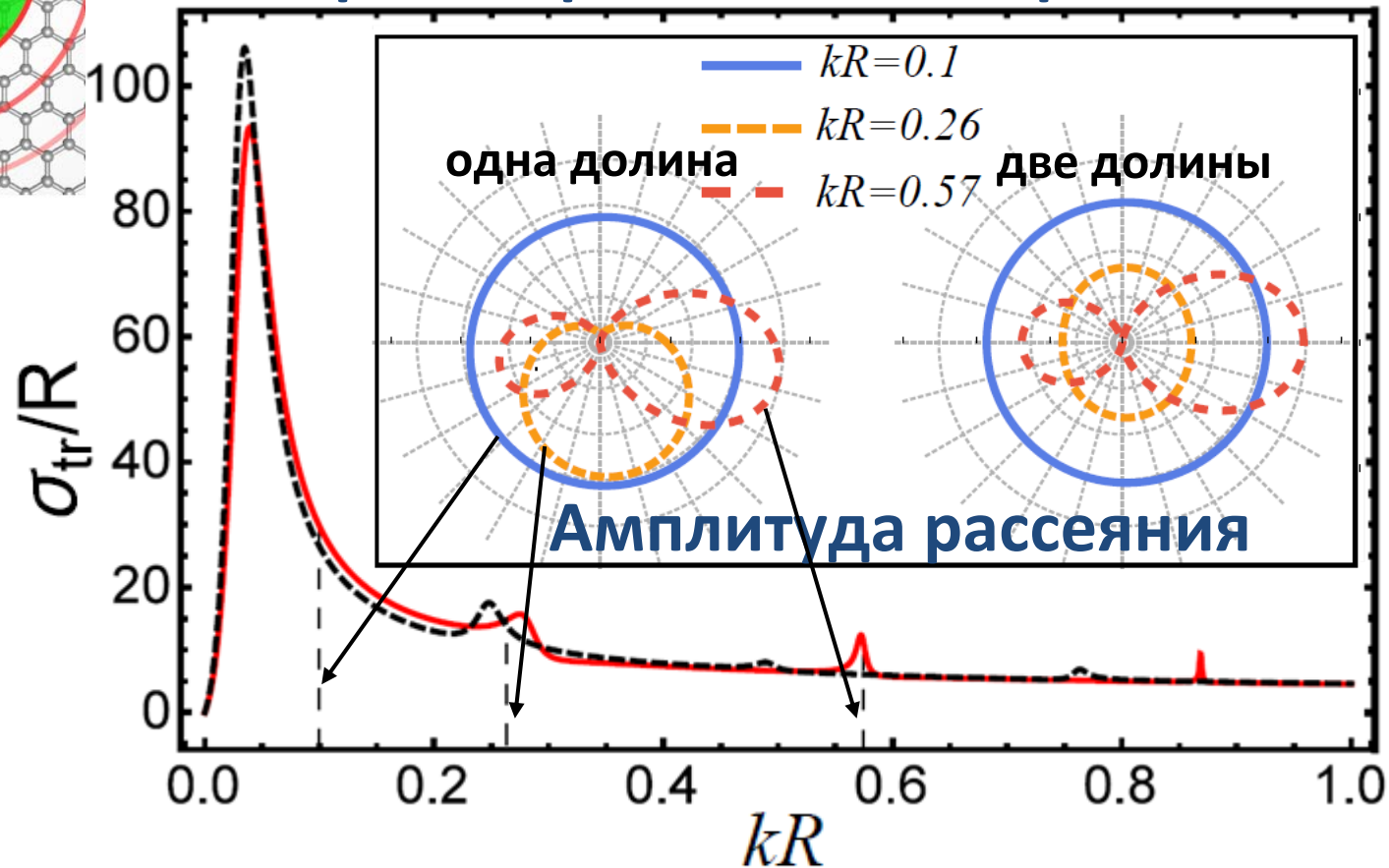


Рассеяние электронов на антиточке с краевыми состояниями

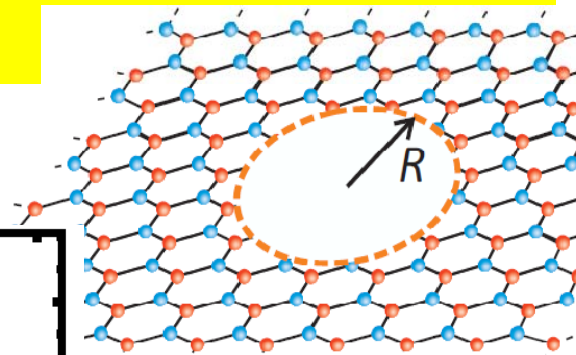
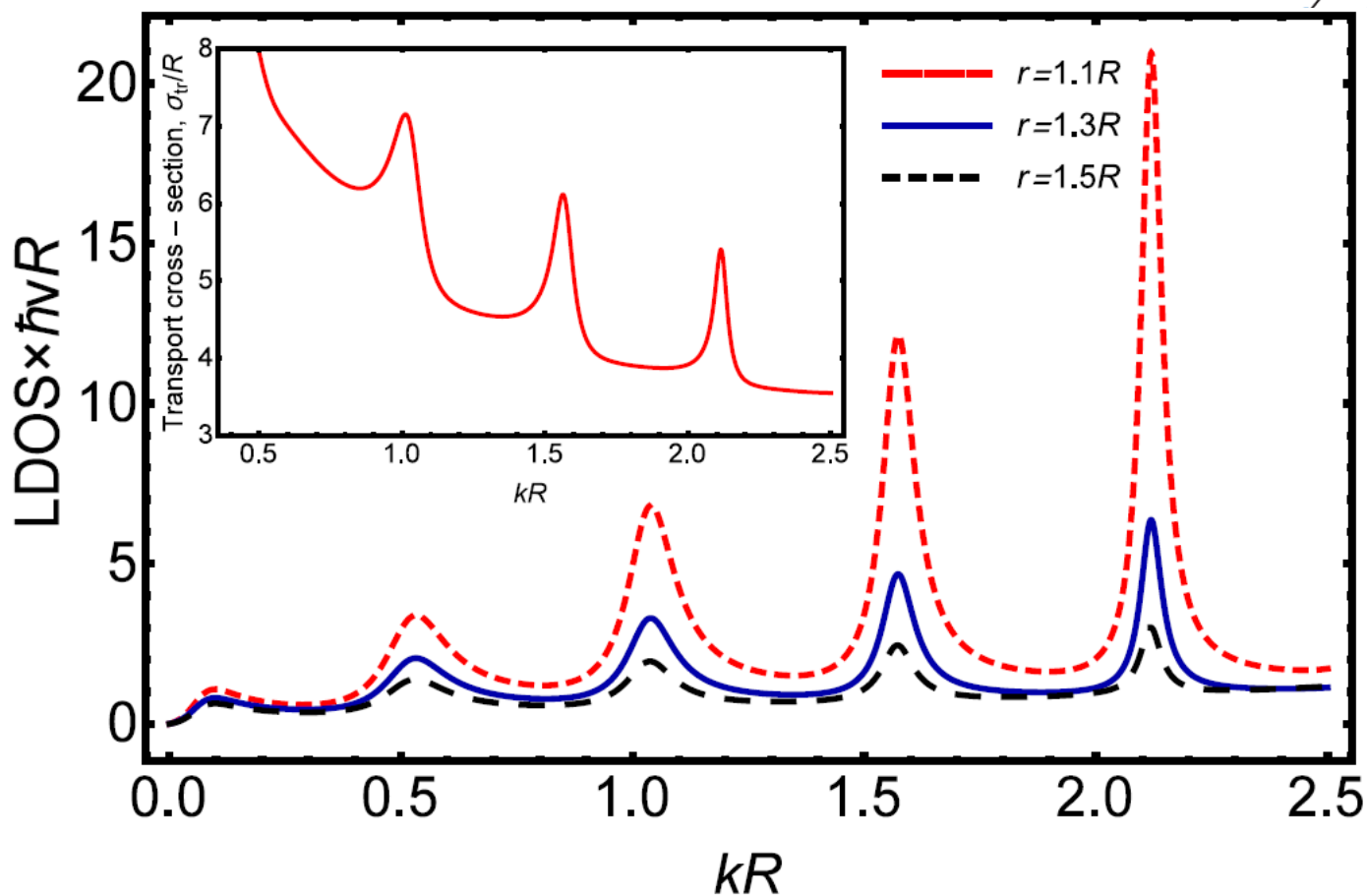


$$k = |E|/\hbar v$$

Транспортное сечение рассеяния



Локальная плотность состояний вблизи антиточки



Основные новые результаты

Рассеяние электронов на графеновой антиточке содержащей краевые состояния носит резонансный характер, так же как и локальная плотность состояний вблизи нее.

Положение и параметры резонансов определяются параметрами краевых состояний.

Амплитуда рассеяния вблизи резонансов долинно асимметрична, что должно приводить к резонансному долинному эффекту Холла.

Спасибо за внимание!

Приложения

Осцилляции сопротивления перфорированного графена при изменении уровня Ферми ($B = 0$)

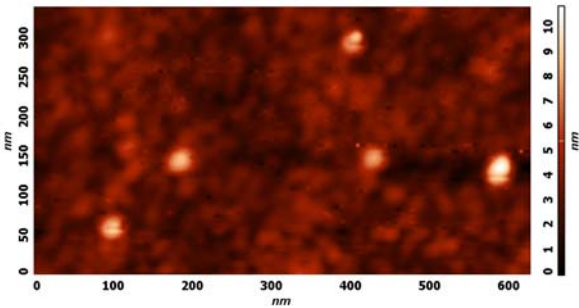
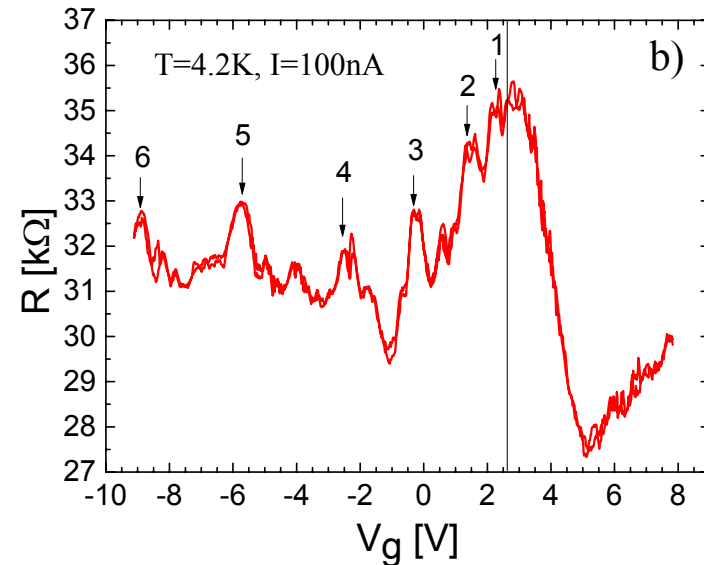
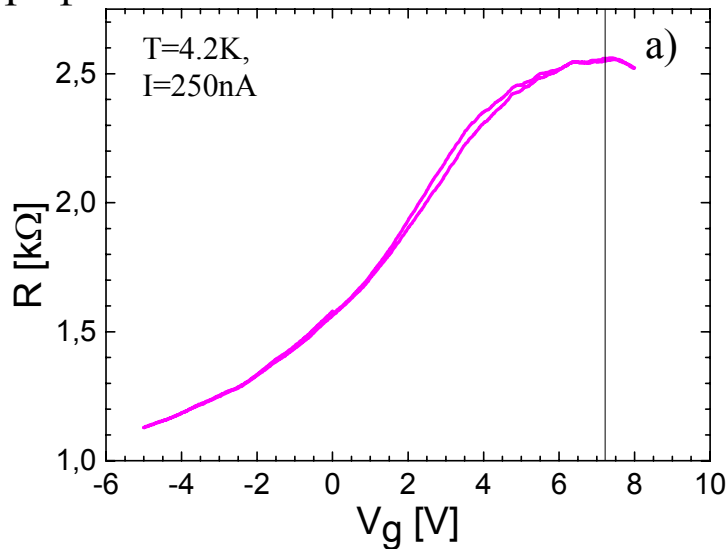


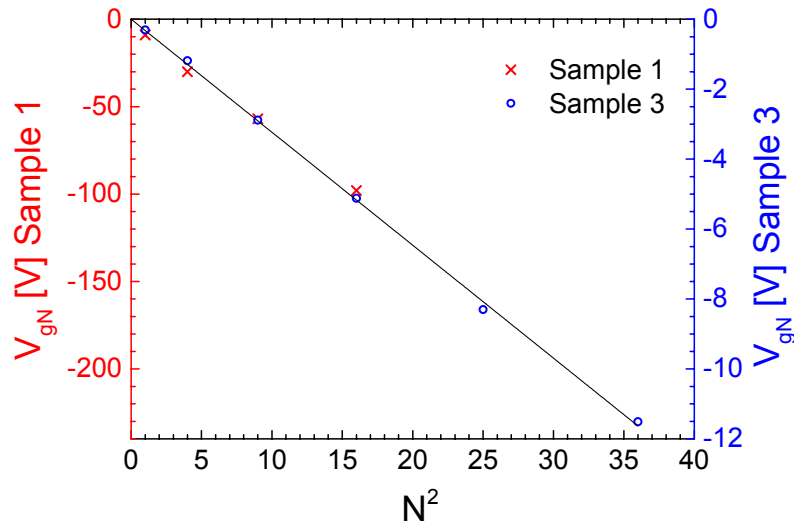
Рис. 1. АФМ изображение перфорированного графена

Рис. 2. Зависимость сопротивления от затворного напряжения:

(a) - контрольный образец графена,
(b) - графен, облученный тяжелыми ионами



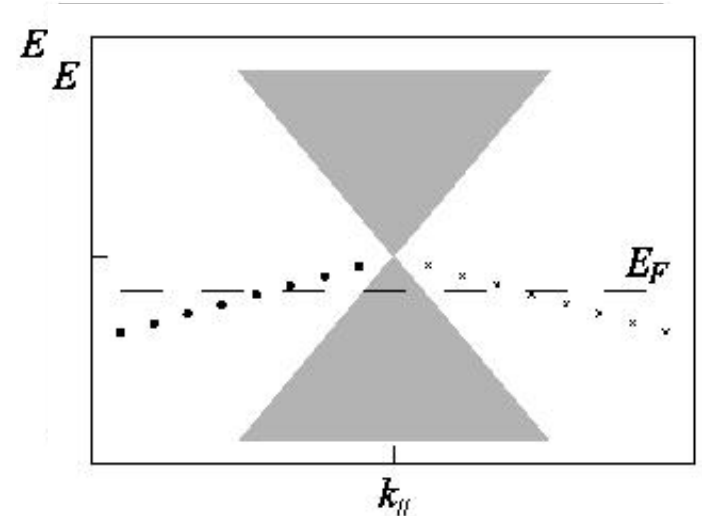
Квантование энергии краевых дираковских фермионов в наноперфорированном графене



$$E_F = \hbar v_F (\pi n)^{1/2}$$

$$n = V_g \epsilon_0 \epsilon / e d$$

$$V_{gN} = (16 a^2 e d / \pi \epsilon_0 \epsilon) (N/D)^2$$



$$E_F = 2 \hbar a v_F s |k_{//}|$$

$$k_{//} = 2N/D$$

Краевые электроны вращаются вдоль периметра отверстия (диаметр D) по или против часовой стрелки в левой (правой) долине. Периметрическое квантование даёт лестницу краевых уровней дырочного типа в левой (точки) и правой (крестики) долине.

Из прямой $V_{gN} (N^2)$ извлечем краевой параметр теории $a \approx -0,07$, что согласуется с данными по эффекту Ааронова-Бома (ниже).