Валгушев С.Н.

Изучение взаимодействия статических зарядов в графене методом Монте-Карло

ИТЭФ, 2013 г.

Общие сведения

- Графен — однослойная шестиугольная кристаллическая решетка, составленная из атомов углерода. Графен обычно находится на подложке с некоторой диэлектрической проницаемостью \epsilon.

- Эффективная низкоэнергетическая квантовая теория поля графена:

$$\mathcal{Z} = \int \mathcal{D}\bar{\psi}\mathcal{D}\psi\mathcal{D}A_0 \exp\left(-\frac{1}{2}\int d^4x\,(\partial_i A_0)^2 -\right.$$

$$\left. - \int d^3x\,\bar{\psi}_f\,\left(\Gamma_0\,(\partial_0 - igA_0) - \sum_{i=1,2}\Gamma_i\partial_i\right)\psi_f\right)$$

$$g^2 = 2\alpha_{em}/(v_F(\epsilon+1))$$

Графен в решеточных вычислениях

- Действие для фермионов — фермионы Когута-Сасскинда:

$$S_\Psi\left[\bar\Psi_x, \Psi_x, \theta_{x,\mu}\right] = \sum_{x,y} \bar\Psi_x\, D_{x,y}\left[\theta_{x,\mu}\right]\, \Psi_y =$$

$$= \sum_x \delta_{x_3,0}\left(\sum_{\mu=0,1,2} \frac{K_\mu}{2}\bar\Psi_x \alpha_{x,\mu} e^{i\theta_{x,\mu}}\Psi_{x+\hat\mu} - \sum_{\mu=0,1,2}\frac{K_\mu}{2}\bar\Psi_x\alpha_{x,\mu}e^{-i\theta_{x,\mu}}\Psi_{x-\hat\mu} + m\bar\Psi_x\Psi_x\right)$$

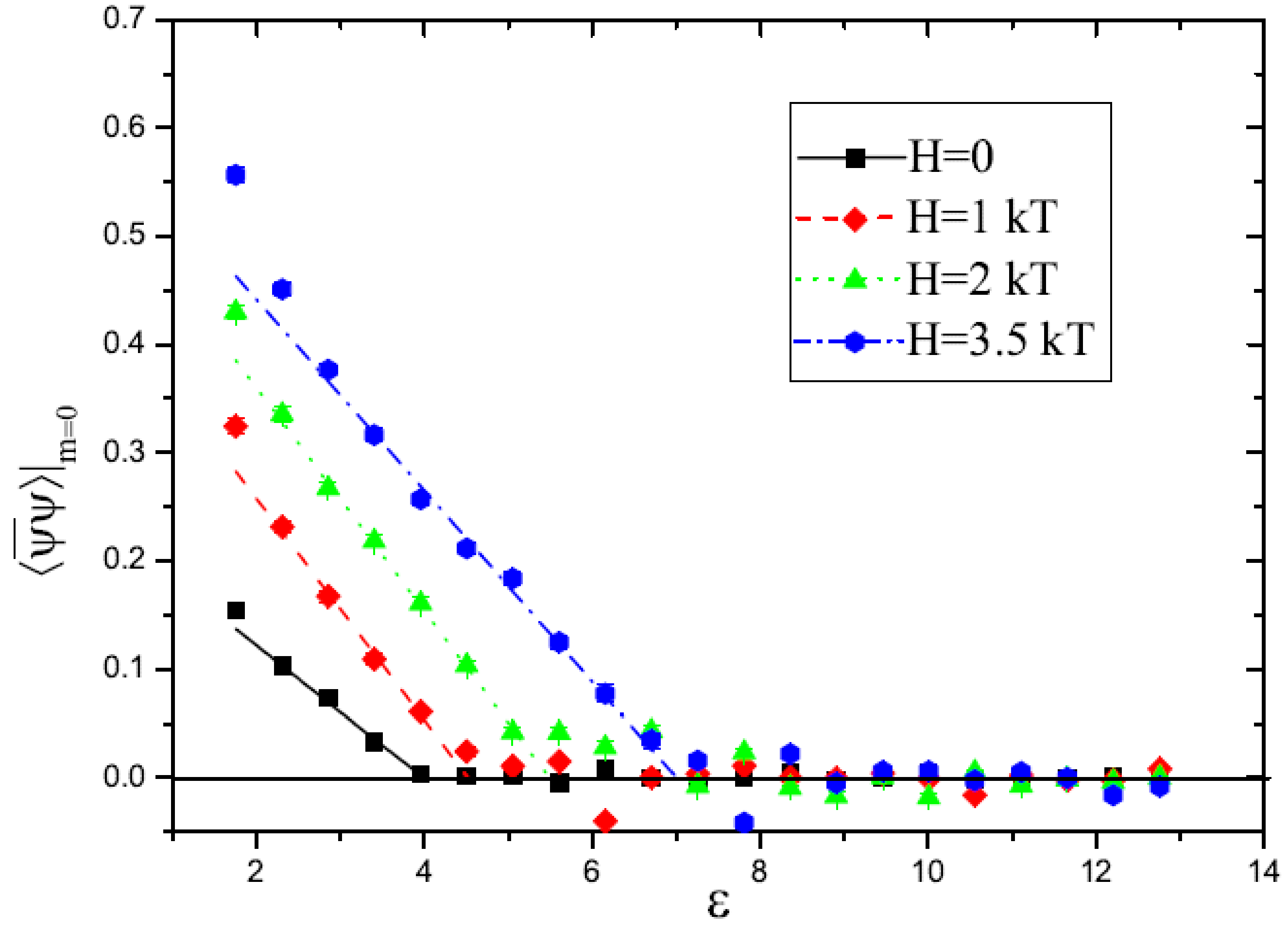
- Действие для калибровочного поля — действие Вильсона:

$$S_g\left[\theta_{x,\mu}\right] = \frac{\beta}{2}\sum_x\sum_{i=1}^{3}\left(\theta_{x,0} - \theta_{x+\hat i,0}\right)^2, \qquad \beta \equiv \frac{1}{g^2} = \frac{v_F}{4\pi e^2}\,\frac{\epsilon+1}{2}\left(\frac{a_s}{a_t}\right)$$

- Квантование магнитного поля на решетке:

$$H = \frac{2\pi}{eL_s^2}n$$

Киральный конденсат в графене



Зависимость кирального конденсата от величины магнитного поля и диэлектрической проницаемости подложки

Потенциал взаимодействия статических зарядов в графене

- Перенормировка эффективного заряда:

  $\alpha_0 = e^2 * 2 / (\epsilon + 1)$ — голый заряд

  $\alpha_R = \alpha_0 / \epsilon_R$ — перенормированный

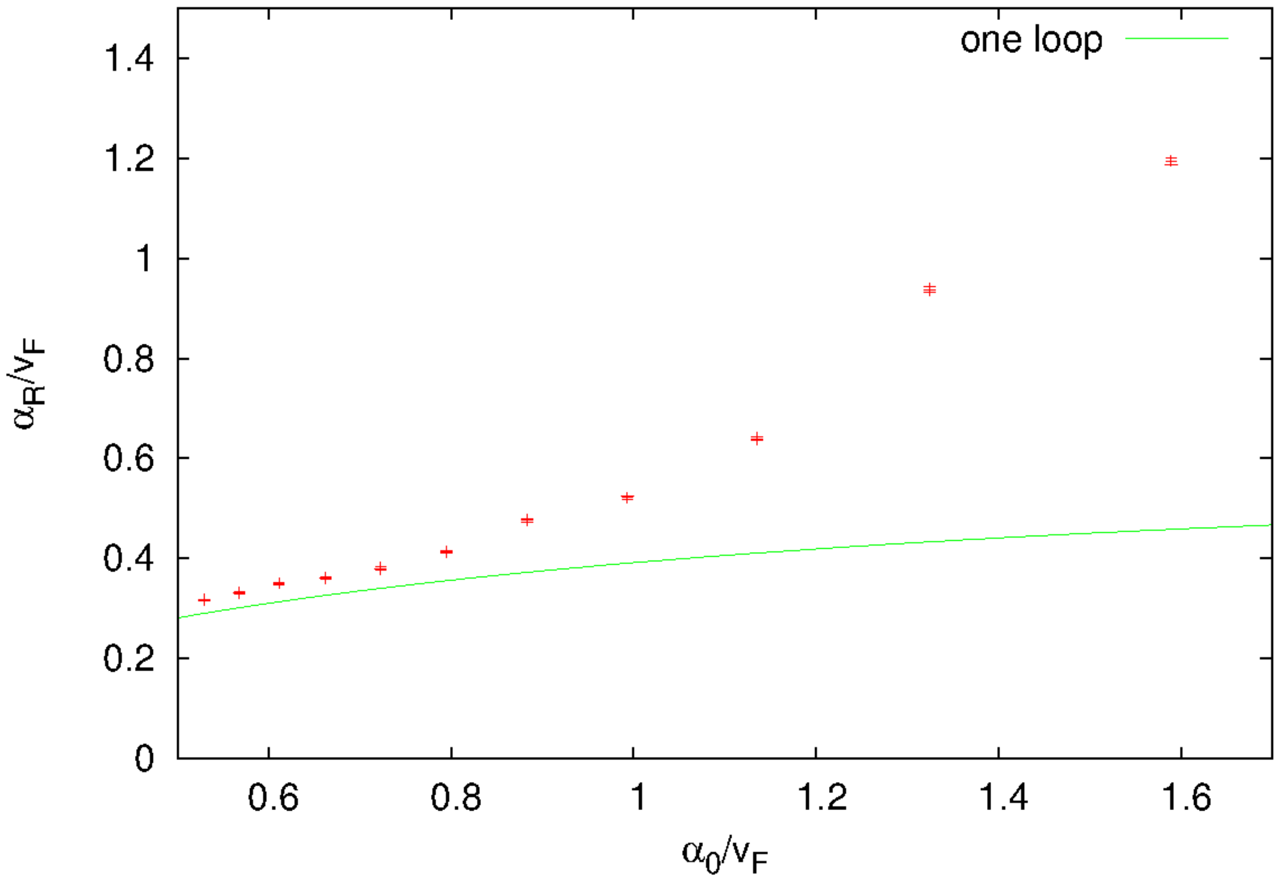
- Температурные эффекты:

  Важную роль играет фактор $\exp(-M(g^2) / T)$

  Дебаевское экранирование 2х-мерной плазмы

  Новый параметр — масса дебаевского экранирования m_D

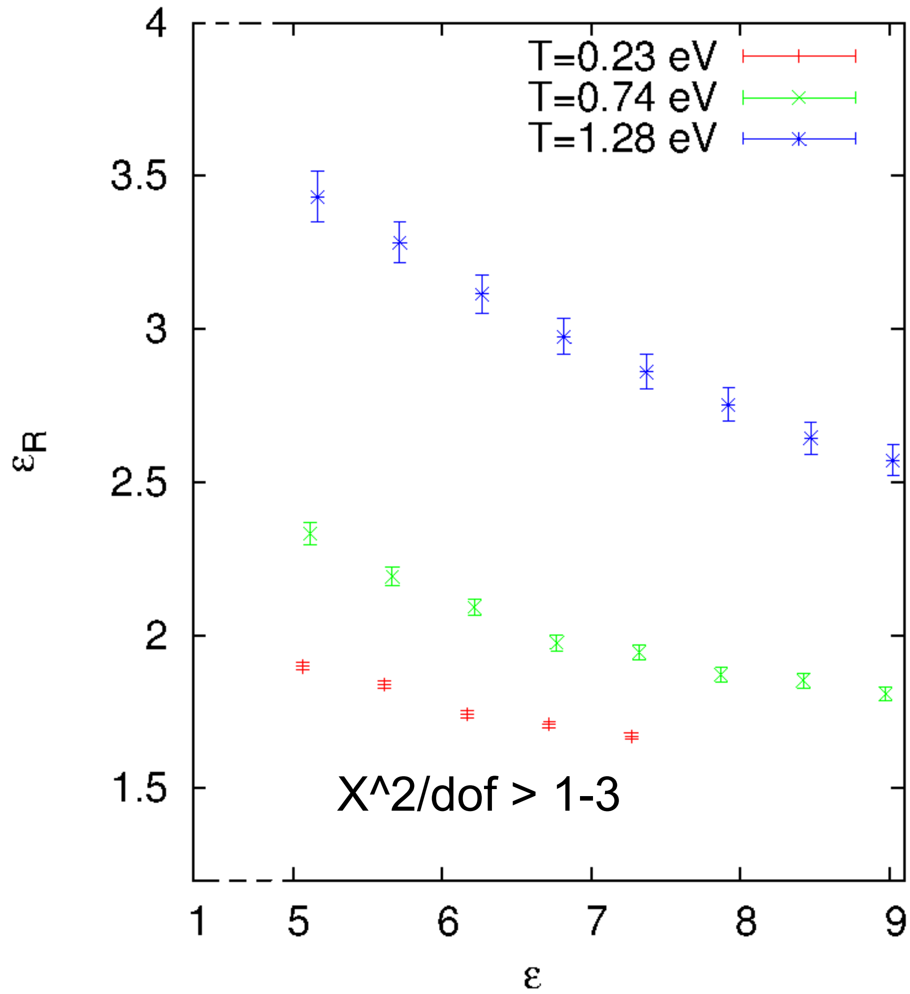
Потенциал взаимодействия статических зарядов



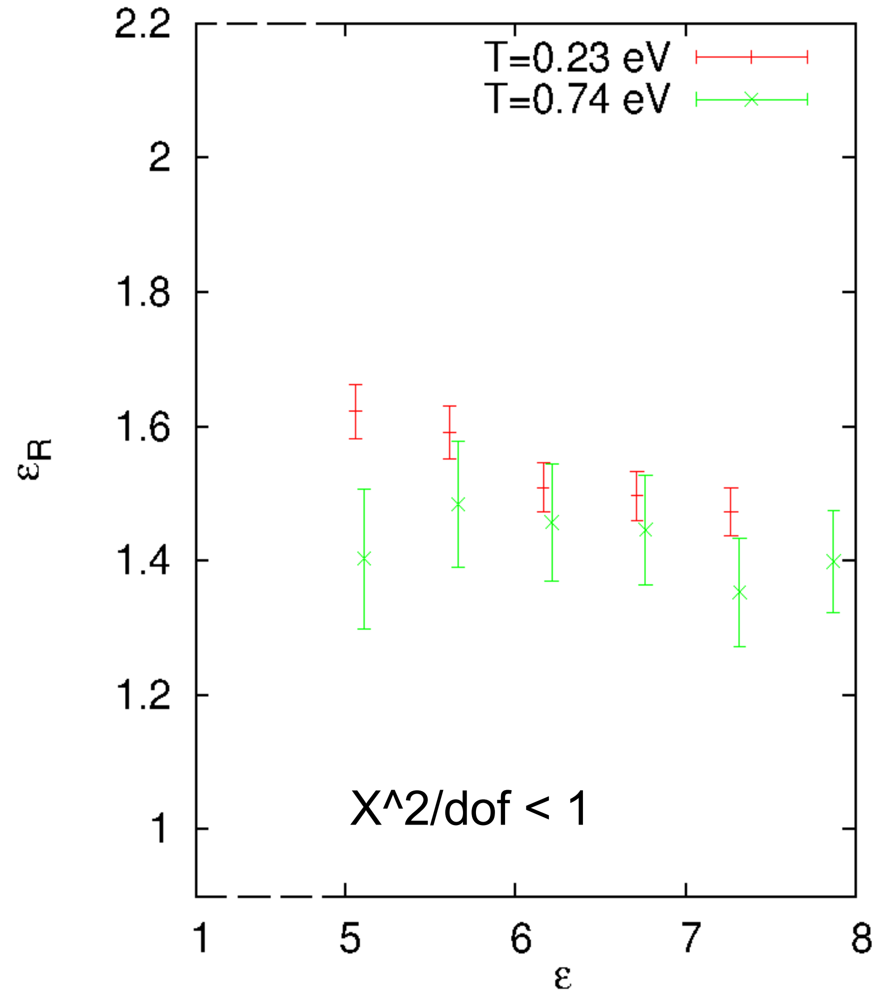
Зависимость перенормированной константы \alpha_R от \alpha_0 (фит потенциалом Кулона) и теоретическое значение с учетом однопетлевой поправки.

Размер решеток пространственных направлениях составлял 20^3. Подробности в нашей работе arXiv:1306.2544.

Учет дебаевского экранирования



Фит потенциалом Кулона



Фит потенциалом Дебая

(дополнительный параметр - m_D)

Свойства 2х-мерной плазмы

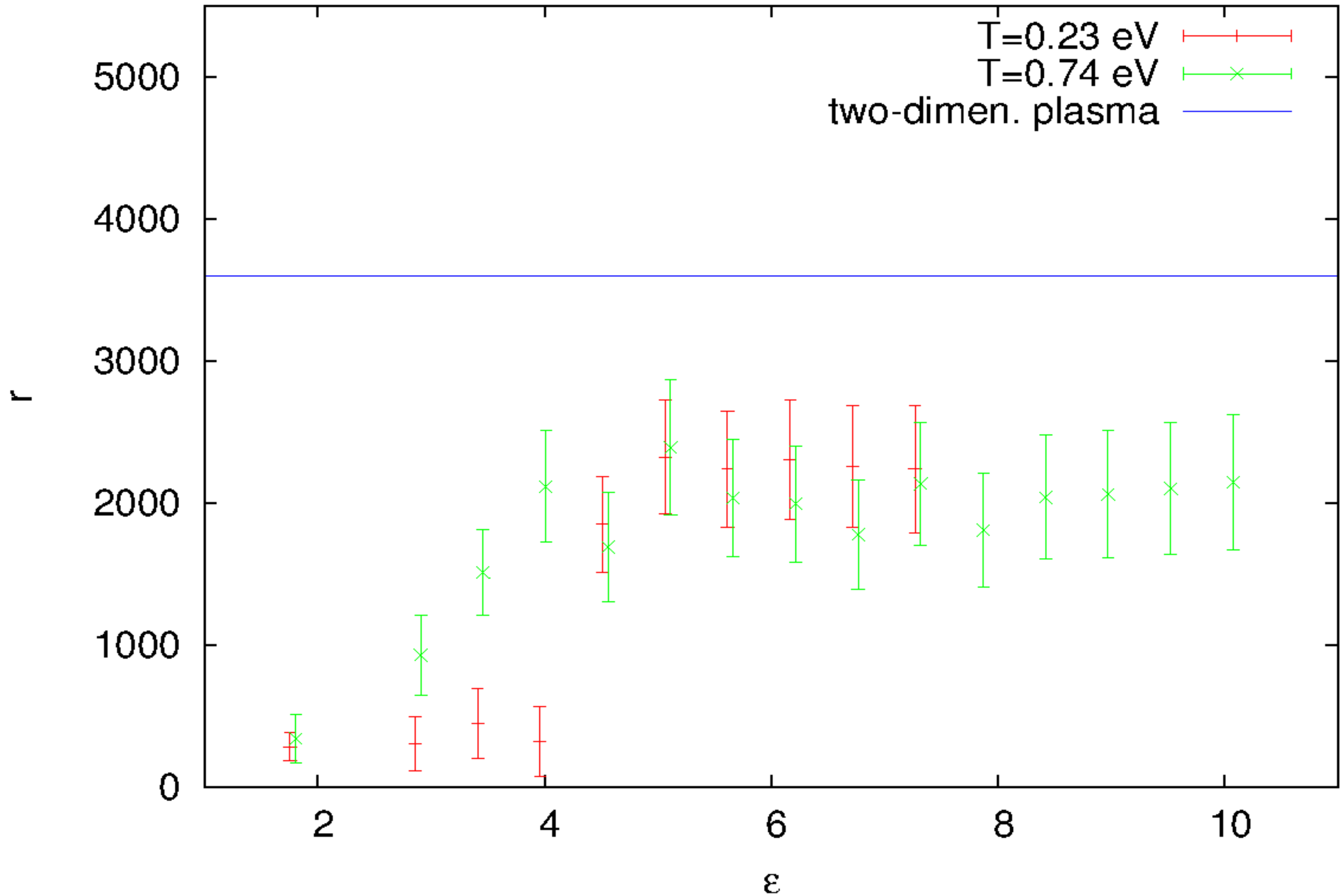
- Зависимость потенциала от температуры находится в m_D:

  $$m_D = K(e^2, T) \alpha_R n / T$$

- Если взаимодействия мало, то отношение плотности частиц n к квадрату температуры становится постоянным:

  $$r = n / T^2 = m_D e^2 / T \alpha_R = 8 \log 2 e^2 / v^2_F$$

Потенциал взаимодействия статических зарядов в графене (слайд 2/2)



Зависимость r = m_D*e^2 / \alpha_R * T от диэлектрической проницаемости подложки (фит потенциалом Дебая)

Заключение

- При низких температурах квазичастицы взаимодействуют по Кулону.
- Перенормировка эффективного заряда хорошо согласуется с однопетлевым приближением в области малых констант связи.
- При больших температурах значительную роль играет Дебавское экранирование.
- Масса дебаевского экранирования m_D можно рассматривать как параметр порядка в графене.

Спасибо за внимание.