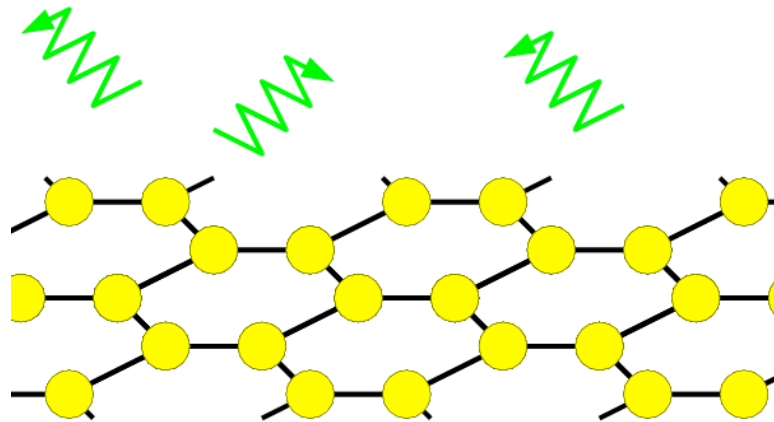


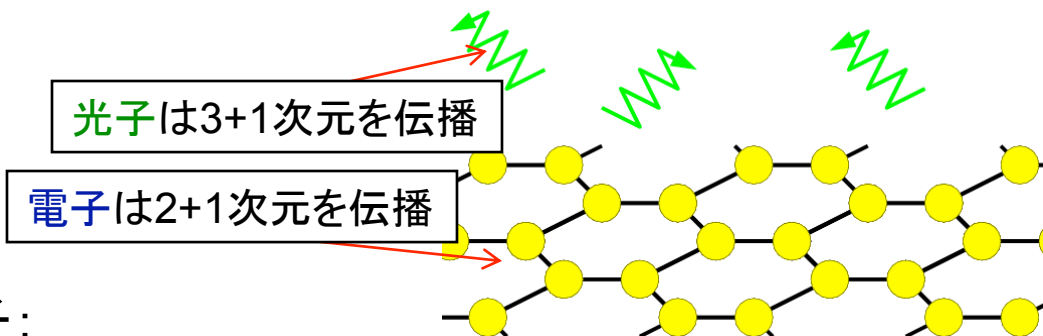
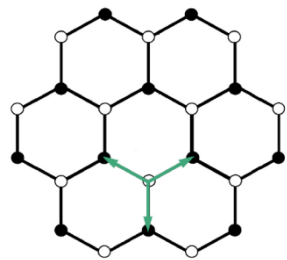
格子ゲージ理論を用いた グラフェンの相構造の解析



荒木 康史, 初田 哲男
(東京大学)

グラフェンと場の理論

グラフェン(graphene)=炭素原子によってなる単原子層



グラフェン上の電子:

低エネルギー領域では無質量Dirac粒子として記述
強いCoulomb相互作用(QEDの約300倍)



強結合ゲージ理論
としての扱い

強結合QCD	グラフェン
ゲージ場 A_μ^a	電磁場 A_μ
結合定数 g^2	$e^2/v\epsilon$
クォーク	電子
カイラル凝縮 $\langle \bar{q}q \rangle$	エキシトン凝縮 $\langle \bar{\psi}\psi \rangle$
フレーバー数 N_f	層数×スピン自由度

v = フェルミ速度、 ϵ = 誘電率

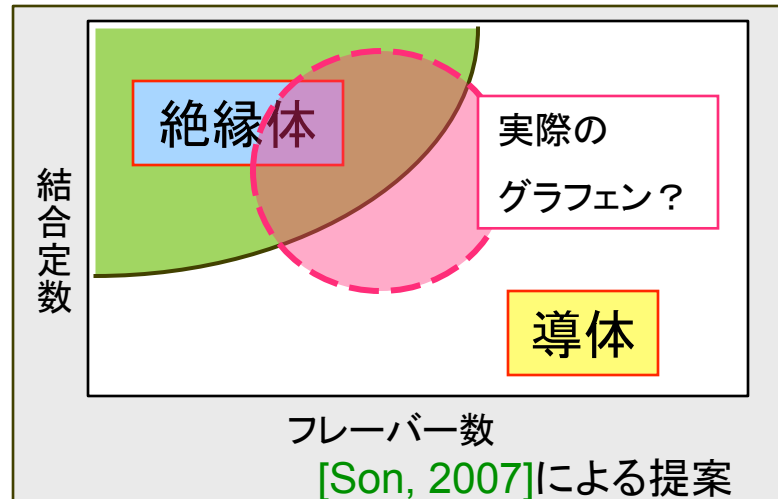
Chiral対称性とグラフェン

もしカイラル凝縮(エキシトン凝縮)が生成すれば

→ ギャップ生成 → 絶縁体(Mott insulator)

カイラル相転移(場の理論) = 導体-絶縁体相転移(グラフェン)

相転移はどこで起こる？



QCD相図の解析と同様の方法が適用できる！

e.g.)

- Schwinger-Dyson方程式
[Khveshchenko,2001,2004]
- Large N展開→繰り込み群
[Son,2007]
- Lattice Monte Carlo
[Drut & Lahde,2009]

目標：格子ゲージ理論を解析的に扱い、温度、結合定数、フレーバー数、...空間でグラフェンの相図を解明する。

強結合極限での解析

[Son,2007]で導入された低エネルギー有効理論(連続極限):

$$S = - \sum_{a=1}^{N_f} \int dt d^2x \bar{\psi}_a [\gamma^0 (\partial_0 + iA_0) + \gamma^i \partial_i + m_0] \psi_a + \frac{\beta}{2} \int dt d^3x (\partial_i A_0)^2$$

$\beta \equiv \frac{v}{g^2}$

Fermi速度 $v \ll 1$ \longrightarrow 電磁場は時間成分のみ考えればよい

この研究での手法

正方格子化されたゲージ理論で考える。

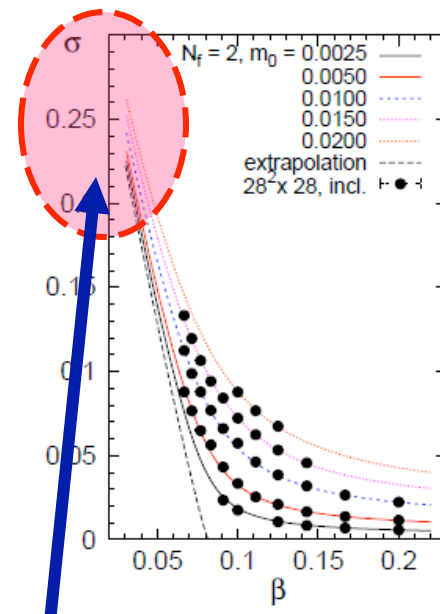
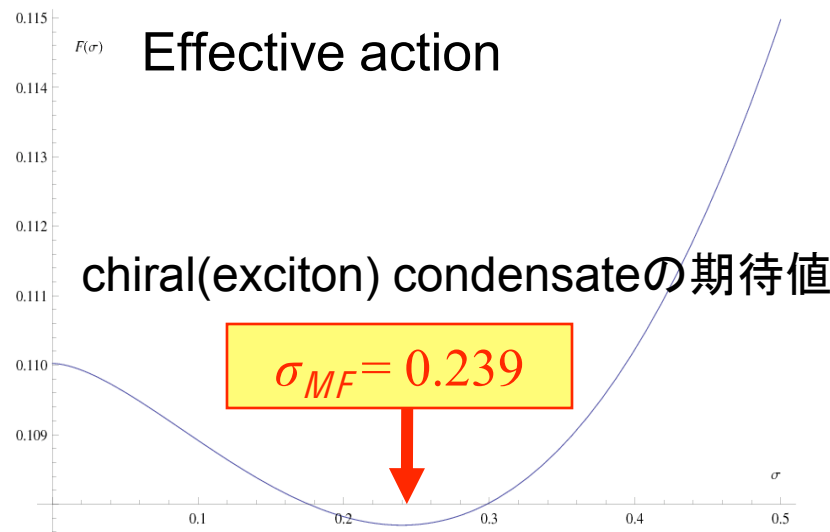
$v \ll 1$ \longrightarrow β が十分小さい(強結合極限)の扱いが可能!

Meson(exciton)場 σ の関数として書き直す。

$$S_{\text{eff}}[\sigma]/L^2 = \frac{1}{4} \sum_t \sigma(t)\sigma(t+1) - \frac{2}{L^2} \sum_{k_1, k_2=0}^{\pi} \ln \left[\frac{1}{4} (\sigma(t-1) + \sigma(t+1))^2 + \sin^2 k_1 + \sin^2 k_2 \right]$$

$$\langle \bar{\chi}(x, t) \chi(x, t) \rangle = \langle \sigma(x, t) \rangle$$

平均場近似での解析



Lattice simulation [Drut & Lahde, 2009] から外挿した値とほぼ同じ。



格子上での強結合展開は、グラフェンの相構造を
解明する手段として信頼できると考えられる。

今後の展望

- 相図の解明 (有限温度、結合定数、...)
- 電子、excitonのスペクトルの計算