

強磁場下量子 2 次元電子系の DMRG

東北大学 理学研究科 東 達也

密度行列繰り込み群法 (DMRG) を強磁場下のグラフェンに適用した結果について講演する。

グラフェンとは単原子層のグラファイトシートのことであり、低エネルギー励起が線形分散で与えられるなど、従来型 2 次元系とは異なる性質を持つ新たな 2 次元系物質である。炭素原子が蜂の巣格子を組んだ構造を持ち、単位胞に含まれる 2 つの炭素原子は、それぞれが A、B 副格子を形成し、それに対応して、電子の波動関数は 2 成分となる。磁場中のグラフェンの N 番目 (但し、 $N \neq 0$) のランダウ準位の固有関数の各成分は、従来型 2 次元系の N 番目と $N - 1$ 番目のランダウ準位の固有関数で書かれる。なお、最低ランダウ準位 ($N = 0$) の固有関数は、従来型のものと変わらない。

十分な強磁場で、ランダウ準位の分裂幅が典型的なクーロン相互作用の強さを大きく上回る時、準位間の散乱は抑えられ、その結果として、電子状態は準位内での有効電子間相互作用で決まると考えられる。グラフェンの N 番目 (但し、 $N \neq 0$) のランダウ準位の有効電子間相互作用は、先に述べた固有関数の特徴から、従来型 2 次元系の N 番目と $N - 1$ 番目の有効相互作用が混じった形を持つ。

この相互作用の違いがどのような形で現れるのかを知るために、強磁場中の従来型 2 次元系に特有の現象である分数量子ホール効果 (FQHE) のグラフェンでの実現可能性を調べ、次に、従来型の高次のランダウ準位における多彩な CDW 相が、グラフェンではいかなる変更を受けるかについて (今回は $N = 3$ のランダウ準位を) 調べた。

従来型 2 次元系の FQHE は平均場では説明できないことなどから、今回の問題でも相互作用の厳密な取り扱いが要求され、さらにそれには、基底の数の指数関数的な増加という難点も付いてくる。これらの困難は、DMRG の特性を生かして克服する。また、今回のような長距離力の 2 次元系への DMRG の適用自体にも困難があるが、それに対しては、基底状態には含まれない基底も取り込むなどの対処法をとる。

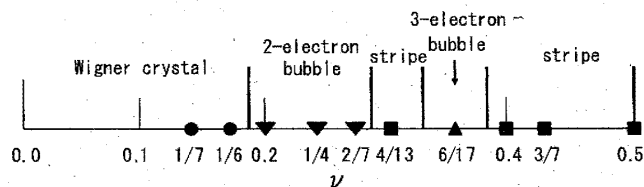


図 1: 今回得られたグラフェンの $N = 3$ のランダウ準位における基底状態の相図。 ν は $N = 3$ のランダウ準位における占有率。