

磁場中 2 次元電子系への応用

— 量子ホール系の電子状態 —

東北大学 理学研究科 柴田 尚和

二次元電子系に垂直磁場を加えると、電子のサイクロトロン運動によりランダウ準位が形成される。その結果、マクロな数の電子の運動エネルギーが同一になり、ランダウ準位が電子によって完全に満たされた特殊な場合を除いて、基底状態には膨大な縮退が現れる。このマクロな縮退は、電子間に働くクーロン相互作用によって解かれ、多体効果の影響を強く受けた多彩な基底状態が実現する。

ランダウ準位内のマクロな縮退を解くクーロン相互作用はサイクロトロン運動をしている電子の中心座標の間に働く有効相互作用として表現することができる。その相互作用の形はサイクロトロン半径などランダウ準位によって変化する一電子波動関数の形によって決まるため、基底状態はランダウ準位内の電子の占有率だけでなく、何番目のランダウ準位を電子が占有しているかに依存することになる。

実際にどのような構造が安定化するかという問題は Hartree-Fock 近似を用いて相互作用を静的なポテンシャルとして取り扱うことで調べることができる。このような研究から最低ランダウ準位では Wigner 結晶が、また、高次のランダウ準位ではストライプやバブルと呼ばれるクラスター構造が安定であることが示された。しかし、量子効果を見捨てる近似で得られる構造が真の基底状態に近いかどうかは実際に量子効果を考慮した計算をしてみなければ判断できない。事実、Hartree-Fock 近似では、ラフリン状態は現れないという誤った結論に達してしまう。

量子効果を正確に評価するために、我々は密度行列繰り込み群 (DMRG) をこの系に適用した。DMRG の方法は厳密対角化の方法と実空間繰り込み群の方法を組み合わせた精密な変分法であり、厳密対角化の方法では取り扱うことのできない大きな系の基底状態を得ることができる。また、エネルギーや波動関数の精度は計算の過程で用いる密度行列の固有値から知ることができ、今回の計算では、基底エネルギーに関して $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度の精度が得られている。

この計算法によりラフリン状態を含む非圧縮性液体相 (FQHE) やフェルミ液体に代表される圧縮性液体相をはじめとして、ストライプ、バブル、ウィグナー結晶といった電荷秩序相など、様々な電子状態が磁場の強さによって決まるランダウ準位の占有率 ν を変化させるだけで次々と現れることが明らかになった。このような相図は Hartree-Fock 近似で得られているものと異なり、量子効果の重要性和多体効果が生み出す多様性をよく示している。

- 1) N.Shibata and D.Yoshioka, Phys. Rev. Lett. **86** (2001), 5755; J. Phys. Soc. Jpn. **72** (2003), 664.
- 2) N.Shibata, J. Phys. A: Math. Gen. **36** (2003), R381.