

Skyrmion の波動関数と比熱ピークの理論

東京大学 総合文化研究科 吉岡 大二郎¹

1 はじめに

GaAs-AlGaAs ヘテロ接合で実現される量子ホール系では、以前はスピンの自由度はスピンゼーマン分離のため凍結されていて、考慮する必要はないと思われていたが、近年スピン自由度の重要性が認識されるようになってきた。スピン自由度が重要なのは、この系では g 因子が小さく、一方有効質量も小さいため、サイクロトロンエネルギーに比べて、ゼーマンエネルギーが圧倒的に小さくなるためである。それにも拘らず、従来スピン自由度が無視できたのは交換相互作用でスピンが揃うためである。しかし、ゼーマン分離が小さいために、スピンが揃った占有率 $\nu = 1$ の状態に導入された電子またはホールは回りの電子のスピン反転を引き起こし、skyrmion と呼ばれる準粒子を形成することが理論的にも、実験的にも明かにされてきた。この講演では、この skyrmion について、まず、波動関数を議論し、次に skyrmion の存在が比熱に及ぼす効果の議論を行なった。

2 skyrmion の波動関数

球面上で実現される有限サイズの 2 次元電子系では、ゼーマン分離を無視したときに、系の基底状態はホールまたは電子の導入によって、 $\nu = 1$ の完全スピン偏極した状態から、全スピンがゼロの 1 重項状態に変化することが数値計算で明かにされている [1]。この状態は古典的な描像では球面に垂直方向にスピンが向いたハリネズミ的状态と考えられているが、この状態は正しくはスピンゼロの状態ではない。この状態の正しい波動関数は

$$\Psi_q^{(r)} = \Psi_{q,q,q} \text{per}|M^{(r)}| \quad (1)$$

であることを示した [2]。ここで、 $\Psi_{q,q,q}$ は Halperin 波動関数、 $\text{per}|M^{(r)}|$ は ij 要素が $M_{ij}^{(r)} = (u_i \eta_j - v_i \xi_j)^r$ である行列のパーマネントであり、 u_i, v_i, ξ_i, η_i は up spin と down spin の電子の球面上の座標を与える変数である。

¹ E-mail: daijiro@toki.c.u-tokyo.ac.jp

上記の skyrmion では半数の電子がスピン反転しているが、これに対して、有限のゼーマン分離があるときの skyrmion は有限のスピン反転数、 K 、を量子数として持つ。このときの変分波動関数は次式で与えられる [3].

$$|\Psi_K\rangle = \sum_{m_K > \dots > m_1}^{N_\phi} \left[\prod_{k=1}^K \frac{e^{-\alpha m_k}}{\sqrt{m_k + 1}} c_{m_k+1, \uparrow}^\dagger c_{m_k, \downarrow} c_{0, \uparrow}^\dagger \right] |\Phi_{\nu=1}\rangle \quad (2)$$

さて、様々な K の skyrmion の重ね合わせで、古典描像のように、局所的にスピンの向きが決まった skyrmion を作ることができる。このときの Hartree-Fock 近似による波動関数の紹介も行なった。また、 K とスピンの角度 ϕ は共役であり、skyrmion の結晶状態は boson Hubbard model で記述できることを紹介した [4].

3 比熱

$\nu = 1$ の近傍では比熱はきわめて大きな値を示す。これはこのとき skyrmion が持つ低エネルギーのスピン励起を介して、電子系と核がエネルギーをやり取りできるためであると理解されている [5]. しかし、比熱は低温において核スピンによる Shottkey 比熱を上回る大きなピークを示す。この増大を skyrmion を介した核スピン間の相互作用により、核スピンが相転移を起こすためではないかと考え、計算を行なっている。その途中経過について報告を行なった。

参考文献

- [1] E.H. Rezayi: Phys. Rev. B **43** (1991) 5944.
- [2] D. Yoshioka: J. Phys. Soc. Jpn. **67** (1998) 3356.
- [3] J.J. Palacios, D. Yoshioka, and A.H. MacDonald: Phys. Rev. B **54** (1996) R2296.
- [4] R. Côté et al.: Phys. Rev. Lett. **78** (1997) 4825.
- [5] V. Bayot et al.: Phys. Rev. Lett. **76** (1996) 4584.