

論文の審査の結果の要旨

論文提出者氏名 野村 健太郎

序

本論文は五章からなる。著者は第一章で量子ホール系について概説し、第二章で二重井戸構造における量子ホール効果についてこれまで行われてきた実験、理論について説明している。第三章では、イジング的異方性をもつ量子ホール状態の基底状態に関する本研究の結果と考察を述べ、第四章では占有数 $1/2$ の量子ホール系のエネルギーギャップについての本研究についての結果と考察を述べている。以上の成果のその意義が第五章でまとめられている。

二次元電子系は近年の物性物理学の中心的研究対象である。特に強磁場はそこでの電子相関の発現を劇的に増強し、系は数多くの新奇な様相を呈する。分数量子ホール効果はこのような強相関極限で実現する特異な量子輸送現象である。一方、ふたつの二次元電子系を近接させた二層系は層内と層間の相関効果と層間トンネリングの競合により実に多彩な相構造が実現しうる系である。二層系はそれ自身量子ホール効果よりも長い歴史を有するが、実験技術の進歩、理論の発展により、近年さらに注目を集めている。この系の実効的なパラメータは層間間隔、層間トンネリング率、層間バイアス電圧などであり、これらの変化に伴って、相転移が生じる。本博士論文の目的は量子ホール状態における強相関効果がスピンや層の自由度に如何に反映するかを理論的に調べることにある。

本博士論文の第一の成果は、二つの層における電子密度が異なる場合の基底状態に関するものである。今までの研究においては二つの層の電子密度が等しい場合が調べられてきたが、最近、ふたつの層の間にゲート電圧をかけることで実現し得る「非対称二層量子ホール系」が関心を呼んでいる。論文の著者は、占有率（電子数と磁束量子の比）が整数値を取る場合、非対称二層系量子ホール系の基底状態において、二次元面内の一方向のみに並進対称性が破れていることを見出した。さらに二つの層の電子密度の比によっては二つの層の電子の間に引力が生じることを見出した。基底状態の特異な性質に関するこれらの知見は、最近行われた非対称二層量子ホール系の伝導度の測定結果を説明する有力な候補となり得るものとして注目に値する。さらに著者はトンネリング率と層間間隔に対する非対称二層量子ホール系の基底状態の相図を数値計算と平均場近似を援用することで求め、量子相転移の存在を見出している。

さて、二層系において電子が層のどちらに在るかという自由度を「擬スピン」として、あたかも電子の内部自由度かのように扱うことができる。もちろん、系は、

この擬スピンに対する回転対称性を持たず、異方的である。ハミルトニアンを擬スピン表示すると、非対称二層量子ホール系は「イジング的異方性」をもつことがわかる。またトンネリング率は「横磁場」とみなすことができる。著者はこの擬スピン描像を用いて自ら得た、秩序状態、相図、相転移に関する結果に解釈を与えている。

本博士論文の第二の成果は、二層の電子密度が等しい、占有率が $1/2$ の「対称二層量子ホール系」に関するものである。この系の励起エネルギーギャップ（活性化エネルギー）がトンネリング率に関して非単調な振る舞いをするのが最近、実験的にわかっている。しかしその振る舞いは従来の理論では説明できないものであった。著者は、少数電子系に対する厳密対角化を用いて、この系のギャップ構造の変化を調べ、層間間隔とトンネリングにたいする相構造を明らかにした。著者は、まず実験結果と同じギャップ構造を再現することに成功した。さらにトンネリング率の変化に対して基底状態はクロスオーバーを示す一方、励起状態は不連続に移り変わることを見出し、上述の実験結果に対して初めて理論的解釈を与えた。

結び

以上のように論文著者は、オリジナルな結果を自ら得ており、またそれらに適切な物理的解釈を与えている。さらにそれらの成果は実験結果とも密接に関連するものである。よって本論文は博士（学術）の学位請求論文として合格と認められる。

なお、本論文中の第三、四章の一部は吉岡大二郎氏との共同研究であるが、論文の提出者が主体となって分析を行なったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。