

大学院工学研究科精密科学・応用物理学専攻 応用物理学講座 量子物理学領域 川上・菅研究室



研究室紹介

川上 則 雄*

Kawakami-Suga Lab.

Key Words : condensed matter theory, correlated electron systems

1. はじめに

私たちの研究室では、量子力学や統計物理の方法を用いて、主に物性基礎理論ならびにその応用に関する研究を行っています。特に最近話題となっている、ナノスケールの系、超伝導体、磁性体などに見られる興味深い諸物性をミクロな観点から解明すべく、「強相関電子系」の理論研究を展開しています。この「強相関電子系」という言葉は、最近かなりポピュラーになってきたものと思います。これが物性物理学の重要課題の一つであり、電子間の相互作用による多体効果に起因するものであるということをご存知の方も多いと思います。上に述べた金属、絶縁体、磁性、超伝導のみならず最近流行のナノ系などの基本現象を理解するのに必要不可欠なものです。このように物性物理学にはホットでチャレンジングな話題が盛りだくさんです。私たちは、これら物理学の基本に関わる問題を取り上げ、多体量子論を駆使して研究を行っています。最近取り上げているテーマの例として

1. 量子ドット、量子細線などのナノスケール系での量子現象
2. 高温超伝導体やモット絶縁体などにおける電子相関効果。

3. 低次元スピン系における量子異常現象
4. 低次元電子系における動的性質
5. レーザー冷却された原子と多体効果
6. 場の量子論や厳密解を応用した物性理論などがあります。

これらを研究する理論手法は工学系の専攻ではあまりなじみのないものかもしれません。物性理論のスタンダードな方法である平均場近似や摂動論などの他に、共形場理論、非線型シグマ模型、厳密解、ボゾン化法など(初めて耳にされる方がほとんどだと思います)の低次元量子系に有効な「場の理論的手法」も用いています。もちろん、このような難しげな方法ばかりでは学生さんが頭痛を起こしてしまいますので、コンピュータを駆使した計算物理の方法も大いに活用しています。ややこしい研究内容との印象を持たれる方も多いと思いますが、物性物理に関することは一通り習得していますので、興味深い話題でもありましたら、いつでも研究室に来て議論していただければ光栄に思います。

ここでは、紙面の制限もありますので上記の研究テーマ1.の中の量子ドットについて簡単な紹介をしたいと思います。研究舞台となるのは、近年のナノテクノロジーの進歩によって人工的に作成されたナノスケールの系です。中心的な役割を担うのはGaAs/AlGaAsの半導体2次元接合面であり、これをゲート電極などによってさらに絞り込むことで量子細線(1次元)や量子ドット(0次元)が実現されることとなります。特に「人工原子」ともよばれる量子ドット系では「原子のパラメタ」を自在に操ることができるようになってきました。このような量子ドットの研究の中で、ここ5年ほどの間に面白い進展がいくつかありました。中でも輸送現象における「電子相関効果」の観測は著しいものです(1998, Goldhaber-Gordon

*Norio KAWAKAMI
1958年1月生
1982年大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了
現在、大阪大学工学研究科精密科学・応用物理学専攻、教授、工学博士、物性理論
TEL 06-6879-7863
FAX 06-6879-7863
E-mail : kawakami@tp.ap.eng.osaka-u.ac.jp



ら)。一般に半導体では電子間クーロン相互作用はあまり重要ではありませんが、量子ドットのように狭い空間に電子が閉じ込められるとこれが大きな役割を演じます。例えば、クーロン閉塞とよばれるコンダクタンス抑圧の現象は、これが電子の流れを止めるために生じます。さらに、低温になるとクーロン相互作用は「近藤効果」とよばれる電子相関効果を引き起こすことが知られています。もともと、近藤効果は金属中の磁性不純物が引き起こす異常な伝導現象で、1964年の近藤の理論をかわきりに種々の分野で現在まで精力的に研究されています。量子ドット内の電子数はゲート電圧の変化で自由に調節できることが大きなメリットです。電子数が奇数のとき量子ドットはあたかも「磁気モーメントをもった原子」のように振舞います。このようなドットにリード線から電子をトンネルさせると低温で近藤効果が生じるわけです。実際の現象としては、数Kから数百mK程度の温度で通常のトンネル効果では説明できない異常なコンダクタンスの上昇がみられます。この近藤効果は少々ややこしいメカニズムで生じるものではありますが、量子ドット内での「スピン」を検出する方法として有望視されています。ところで、ナノ系で忘れてはならない他の重要な現象に、電子の波動性による干渉効果があります。実際の系では上記の電子相関と干渉効果はともに存在するので、「電子相関を干渉効果で操る」ことができるのではないかと期待が膨らみます。この方向での研究は最近大きな興味を集めており、我々の研究室でも研究を進めています。具体的には、量子ドットを複数個結合し

た多重量子ドット系での干渉効果と電子相関、超伝導と量子ドットを組み合わせた複合系での量子効果の研究などです。ちなみに「電子相関を人工的に操る」というような発想は、最近のナノテクノロジーの進展なしには成立しないものです。今後とも、量子ドットを含むメゾ系(あるいはナノ系)の研究は急速に進展していくものと思います。量子物理という観点から、このような研究に寄与ができればと考えています。

私たちの研究室は比較的新しく、1995年に私が京都大学より本学工学研究科物質生命工学専攻に赴任し、その後しばらくして応用物理学専攻に配置換えになったときから活動が開始されました。最初しばらくは教授一人で学生の面倒を見ていましたが、現在、研究室は教授(川上)、菅誠一郎助教授、古賀昌久助手から構成されています。また、2005年12月現在で、大学院後期課程が6名、前期課程が8名、学部4年生が3名在籍しています。大学院生を巻き込んで、教育と研究を一体化する形で研究を進めています。学生諸君にやる気を出してもらうためにも、面白くしっかりとした研究テーマを選ぶよう常に努力しています。日々学生と密に接触し、わいわいガヤガヤと楽しく研究するのがモットーです。研究室セミナーに外国の方を招待したときなどは、セミナー後に甘いものを食べながらあれこれと外国の世間話を聞かせてもらうのが慣わしとなっています。研究室ホームページは、<http://heath.ap.eng.osaka-u.ac.jp/>にあります。一度アクセスして研究室の雰囲気を感じただければと思います。

この記事をお読みにになり、著者の研究室の訪問見学をご希望の方は、当協会事務局へご連絡ください。

事務局で著者と日程を調整して、お知らせいたします。

申し込み期限：本誌発行から2ヵ月後の月末日

申し込み先：生産技術振興協会 tel 06-6944-0604 E-mail seisan@maple.ocn.ne.jp

必要事項：お名前、ご所属、希望日時(選択の幅をもたせてください)、複数人の場合はそれぞれのお名前、ご所属、代表者の連絡先

著者の都合でご希望に添えない場合もありますので、予めご了承ください。