

論文審査の結果の要旨

氏名 丸山 勲

金属中の磁性不純物問題は典型的な多体問題であり、特に低温領域でおこる伝道電子によって局在スピンの消失する現象、すなわち近藤効果は長年にわたって研究が行われてきた。近年になり、同様の現象が2次元電子系を用いた量子ドット系で生ずることが実験的に示され、新たな視点から注目を集めている。一方で、アハラノフボームリングと量子ドットの複合系において、量子ドットに印加するバイアス電圧の関数としてコンダクタンスを測定した時に、ファノ共鳴と呼ばれる特徴的な共鳴構造が観測されるようになってきた。これは連続スペクトル中に局在エネルギーレベルがコヒーレントに結合することにより生ずる現象である。さらに近藤効果が起こる場合のファノ共鳴の実験も行われつつある。修士(理学)丸山勲提出の学位請求論文では、この近藤効果が生じる状況下でのファノ共鳴(近藤ファノ効果)が理論的に考察された。主にリード線の脇に量子ドットを置いたT形量子ドットと呼ばれる構造を1次元のタイトバインディング模型によってモデル化し、有限温度密度行列繰り込み群の数値計算手法を用いてコンダクタンスなどの評価を行った。

本論文は英文で6章からなる。第1章ではこれまでの関連する研究と論文の目的について述べられ、第2章では最近の実験結果が紹介されている。第3章では量子ドット系のモデル化が行われ、続く第4章と第5章で有限温度繰り込み群による数値計算の結果がまとめられている。最後の第6章は全体のまとめにあてられている。なお補章にリード部分に相互作用が含まれる場合についての簡単な議論が含まれている。以下では第3章から第5章で述べられている理論的計算とその結果について概説する。

第3章ではまず量子ドット系のモデルとして、量子ドットを一つのサイト(dサイト)で代表させ、それを一次元鎖の一つのサイト(0サイト)に結合させるモデルを導入した。またこの系のコンダクタンスが0サイトのグリーン関数を用いて定式化されることを述べている。もしdサイトを切り離して0サイトにのみクーロン相互作用を入れた場合は、量子ドット系の近藤効果が議論された当初のモデルと一致する。この形状では、近藤効果が生じない領域でコンダクタンスに見られる共鳴構造は通常のローレンツ型となり、ファノパラメータが無限大の極限と対応する。一方、dサイトを結合させたモデルでは、近藤効果が生じない領域ではファノパラメータが0となるディップ構造が見られる。本論文では以上の場合に加えて、0サイトのエネルギー準位を制御することによって、

有限のファノパラメータで特徴づけられるファノ共鳴構造が現れることを指摘し、この特徴を積極的に利用してファノ近藤効果を調べている。この点が、従来行われてきた理論計算と異なる点である。この模型の範囲で、ファノパラメータとdサイトのグリーン関数を結ぶ関係式を導いているが、この関係式が近藤ファノ効果の本質を表していると考えられる。

第4章では有限温度密度行列繰り込み群による数値計算を帯磁率と電荷感受率に関して行っている。低温領域では数値計算が困難になるため、クーロン相互作用がドットとリードの結合の大きさに比べて大きくなり近藤温度が低くなる場合には、近藤効果を議論することができない。以降ではドット・リード結合と同程度のクーロン相互作用をとることによって近藤温度を大きくとった場合を主に考察する方針をとっている。

第5章では本論文の課題であるコンダクタンスに現れるファノ共鳴構造に焦点が当てられる。比較的高温領域では相互作用を大きくしていくと、クーロンブロッケードに起因した二つのファノ構造が明瞭に観測される。この二つのピークは、dサイトの電子占有率によって重み付けされた二つの準位による近似(ズバレフ近似)によりよく説明される。一方、温度0の極限ではフリーデル和法則によって、dサイトの電子占有率だけでコンダクタンスが決まっている。その結果、全体として一つのファノ共鳴構造が現れ、その中央に近藤プラトーと呼ぶべき平坦な構造が現れることを示した。こうして高温極限と低温の近藤効果が顕著になる極限をおさえた後、二つの極限間のクロスオーバーを数値計算により議論した。高温の二つのファノ構造が、温度を下げるに従って一つのファノ構造へと変化していく様子は印象的である。

以上のようにこの論文では、典型的な多体効果である近藤効果のもとでコンダクタンスにどのようなファノ共鳴構造が観測されるかを議論した。計算手法に限界がある点や、有限温度でファノパラメータをどのように特徴づければよいかなど、いくつかの問題点を含むものの、コンダクタンスのバイアス電圧依存性に関して定性的ながら初めてファノ共鳴構造における近藤効果の特徴を明らかにした点が評価される。また実験家に対して観測の指針を提供した点も評価される。このように本論文は博士(理学)の学位論文としてふさわしい内容をもつものとして審査員全員が合格と判定した。

なお本論文の主たる業績は、上田和夫教授らとの共著の形ですでに論文が公表されている。これらの論文では学位申請者が第一著者であり、実際の計算の遂行や解析、解釈などにおいて、学位申請者の寄与が重要であると判断された。