

論文審査の結果の要旨

氏名 笹田 啓太

ナノスケール系の伝導特性は古くから興味を持たれ、盛んに研究が行われてきている。最近になって、量子ドットを含む系で伝導特性に非対称な共鳴ピーク（ファノ共鳴）が観測されてから、系のコヒーレントな伝導特性についてさらに詳しく議論がなされるようになった。その一方で、ナノスケール系は開いた量子系と見なすことも可能である。開いた量子系では、束縛状態のほかに共鳴状態の概念が用いられるが、これまでナノスケール系の伝導特性でそれを積極的に適用した研究は少なかった。修士（理学）笹田啓太提出の学位請求論文では、量子ドットを含む系の伝導特性を、離散共鳴状態の観点から解析的・数値的に取り扱われた。その結果、主にファノ共鳴ピーク形状に関して、以下に述べるいくつかの知見が得られた。

本論文は英文で6章からなる。まず第1章は序論であり、本研究の研究背景および研究動機が示された。引き続き第2章ではメゾスコピック系で観測されるファノ共鳴についての最近の実験が紹介された後、共鳴状態に関する理論のレビューが行われた。レビューでは、 S 行列の特異点と外向波条件(Siegert 条件)の関係が示された。また共鳴状態に対応する波動関数は遠方で発散する性質を持つが、その発散から来る困難を回避するためのアイデアであるコンプレックス・スケーリングについても簡単にまとめられた。

第3章では本研究で考察するモデルハミルトニアンが提示された。系は量子ドットと複数のリード線からなり、リードはすべて量子ドットの特定のサイトと接続している。まず系の束縛状態と散乱状態の一般解が解析的に導出された。次に外向波条件を用いて、量子ドットの共鳴状態の特徴付けが行われ、共鳴状態および反共鳴状態に対応する複素波数・複素エネルギーの複素平面上での位置が整理された。すでに述べたように、共鳴状態および反共鳴状態の波動関数は遠方で発散するという特徴をもっており、通常の内積の定義ではノルムが発散してしまう。これを回避するために、拡張されたヒルベルト空間における内積の再定義が行われ、それを用いて共鳴状態（反共鳴状態）の規格化定数が求められた。また離散共鳴状態（離散反共鳴状態）を数値的に求めるための方法である有効ポテンシャル法が導入された。グリーン関数は通常、束縛状態と連続散乱状態によって表記されるが、解析接続を行うことにより考察しているモ

デルの範囲内では、グリーン関数が束縛状態と離散共鳴状態および離散反共鳴状態（以下まとめて離散固有状態と呼ぶ）で書き表されることが見いだされた。さらに **Fisher-Lee** の関係式を用いて、量子ドットのコンダクタンスの表式が導出された。この表式は（１）リード線の状態密度および（２）量子ドットの局所状態密度のみで書き表されており、特に局所状態密度は離散固有状態を使って書き表される。この結果が本研究の主たる成果である。

第４章では具体的な系に対する数値計算の結果がまとめられた。まず単一量子ドットのモデルでは、束縛状態しか現れず、単一の **Breit-Wigner** ピークのみが現れる。一方、T型量子ドットのモデルでは束縛状態と共鳴状態の両方が現れ、ファノ共鳴ピークが現れる。離散固有状態の視点から、ファノ共鳴ピークは束縛状態と共鳴状態の干渉項によって決まることが議論された。この視点から、ファノ共鳴の非対称パラメータが離散固有状態からミクروسコピックに定まることが示された。さらに３準位量子ドットのモデルでは、複数の共鳴状態対が現れる。それに対応して、束縛状態と共鳴状態の干渉項だけでなく、共鳴状態対間の干渉項もファノ共鳴の非対称パラメータに寄与することが議論された。第５章では応用として、フラーレンの形状をもつ量子ドットのモデルに対して、離散固有状態からの議論が行われた。第６章で結果のまとめが行われた。

以上、各章の紹介と共に本論文で得られた知見を解説した。本論文は量子ドットの伝導特性を共鳴状態の視点から研究したものであり、基礎物理学への十分な貢献が認められる。従って審査員全員が学位論文として十分なレベルにあり、博士（理学）の学位を授与できると判断した。なお、第３章の一部は **Physica E** 誌で公表されており、第４章は **Journal of Physical Society of Japan** 誌に公表予定である。これらの論文では、第一著者である論文提出者が主体となって計算および結果の解釈を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断される。またこの件に関して、共同研究者の羽田野直道氏から同意承諾書が提出されている。