



Title	Non-equilibrium many-body states in carbon nanotube quantum dots
Author(s)	秦, 徳郎
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/69329
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (秦 徳 郎)	
論文題名	Non-equilibrium many-body states in carbon nanotube quantum dots (カーボンナノチューブ量子ドットにおける非平衡量子多体状態)
論文内容の要旨 多数の粒子が量子力学的な相互作用をすることにより、一体問題からは全く想像できないような振る舞いが現れる。このような量子多体現象は、物性物理学の中心的な研究対象の一つである。微小な固体素子であるメゾスコピック系は、伝導に関わる電子の制御性が高いため、量子多体現象を定量的に調査することのできる理想的な舞台を提供する。しかしながら、多体系の非平衡状態(非平衡多体状態)を完全に理解することは未だ難しい。 本研究では、非平衡多体状態の定量的理解を目指して、カーボンナノチューブ量子ドットで発現する近藤状態の非平衡輸送を調べた。また、電極に超伝導体を用いることで、近藤状態—超伝導体接合における非平衡輸送も調べた。通常の伝導度測定に加えて、ショット雑音測定を組み合わせた点が、本研究の大きな特色となっている。本研究は「近藤量子ドット」・「近藤量子ドットでの対称性クロスオーバー」・「近藤効果・超伝導競合系」の三つのトピックから構成される。 「近藤量子ドット」では、近藤状態が発現する量子ドットでの非平衡状態での電子輸送を明らかにした。伝導度およびショット雑音測定を行うことで、後方散乱過程における有効電荷(e^*)を見積もった。その値($e^*=1.7e$)は素電荷eよりも大きく、理論値と定量的に一致した。本研究結果は、理想的な近藤状態での非平衡輸送を定量化し、かつ理論を初めて実証した重要なものであり、他の非平衡多体状態研究への大きな試金石となる。 「近藤量子ドットでの対称性クロスオーバー」では、カーボンナノチューブ量子ドット特有の近藤状態であるSU(4)近藤状態を対象にした。さらに、磁場を印加し、SU(4)—SU(2)対称性クロスオーバー領域についても調べた。クロスオーバー領域でのショット雑音研究は理論実験ともに例がなく、本実験はクロスオーバー領域での非平衡輸送を定量化することに成功した初めての研究である。対称性という概念が物理学において重要であることを考えると、本研究結果は、近藤効果を含めた多体系研究への大きな刺激を与える。 「近藤効果・超伝導競合系」では、近藤効果が発現する量子ドットに超伝導体電極を接合した系を調査した。特に、ショット雑音測定を行うことで、近藤効果・超伝導競合系における非平衡輸送を評価した。その結果、多重アンドレーエフ反射(MAR)が近藤効果によって増大されることを定量的に明らかにした。近藤効果・超伝導競合系でのショット雑音研究は本研究が初めてであり、理論研究も知られていない。そのため、有効電荷という定量的な指標を与えた本実験は、近藤効果・超伝導競合系さらには他の多体効果競合系の実験的・理論的研究に新展開をもたらすことが期待される。 以上のように、本論文は3つのトピックにおいて量子多体状態の非平衡輸送を調べた。ショット雑音測定を用いて、非平衡輸送の理論を定量的に検証し、さらには既存の理論を超える新たな知見を与えたことは、本実験の独創的な点であり、今後の多体系研究を加速させるものである。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (秦 徳 郎)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教 授
	副 査	教 授
	副 査	教 授
	副 査	教 授
	副 査	准 教 授
		小 林 研 介
		黒 木 和 彦
		大 岩 顕
		越 野 幹 人
		新 見 康 洋

論文審査の結果の要旨

多数の粒子が量子力学的な相互作用をすることにより、一粒子系では全く想像できないような振る舞いが現れる。このような量子多体现象は、物性物理学の中心的研究対象の 1 つである。微小な固体素子であるメソスコピック系は、伝導に関わる電子の制御性が高いため、量子多体现象を定量的に調査することのできる理想的な舞台を提供する。しかしながら、量子多体系の非平衡状態(非平衡量子多体状態)を完全に理解することは未だ難しい。

本研究では、非平衡多体状態の定量的理解を目指して、カーボンナノチューブ量子ドットで発現する近藤状態の非平衡輸送を調べた。また、電極に超伝導体を用いることで、近藤状態—超伝導体接合における非平衡輸送も調べた。通常の伝導度測定に加えて、ショット雑音測定を組み合わせた点が、本研究の大きな特色である。本研究は「近藤量子ドット」・「近藤量子ドットでの対称性クロスオーバー」・「近藤効果・超伝導競合系」の三つのトピックから構成される。

「近藤量子ドット」では、近藤状態が発現する量子ドットでの非平衡状態での電子輸送を明らかにした。伝導度およびショット雑音測定を行うことで、後方散乱過程における有効電荷(e^*)を見積もった。その値($e^*=1.7e$)は素電荷 e よりも大きく、理論値と定量的に一致した。本研究結果は、理想的な近藤状態での非平衡輸送を定量化し、かつ理論を初めて実証した重要なものであり、他の非平衡多体状態研究への大きな試金石となる。

「近藤量子ドットでの対称性クロスオーバー」では、カーボンナノチューブ量子ドット特有の近藤状態である $SU(4)$ 近藤状態を対象にした。さらに、磁場を印加し、 $SU(4)$ — $SU(2)$ 対称性クロスオーバー領域についても調べた。クロスオーバー領域でのショット雑音研究は理論実験ともに例がなく、本実験は対称性クロスオーバー領域での非平衡輸送を定量化することに成功した初めての研究である。対称性の概念が物理学において重要であることを考えると、本研究結果は、近藤効果を含めた多体系研究への大きな刺激を与える。

「近藤効果・超伝導競合系」では、近藤効果が発現する量子ドットに超伝導電極を接合した系を調査した。特に、ショット雑音測定を行うことで、近藤効果・超伝導競合系における非平衡輸送を評価した。その結果、多重アンドレーエフ反射(MAR)が近藤効果によって増大されることを定量的に明らかにした。近藤効果・超伝導競合系でのショット雑音研究は本研究が初めてであり、理論研究も知られていない。そのため、有効電荷という定量的な指標を与えた本実験は、近藤効果・超伝導競合系さらには他の多体効果競合系の実験的・理論的研究に新展開をもたらすことが期待される。

以上のように、本論文は 3 つのトピックにおいて量子多体状態の非平衡輸送を調べた。ショット雑音測定を用いて、非平衡輸送の理論を定量的に検証し、さらには既存の理論を超える新たな知見を与えたことは、本実験的研究の独創的な点であり、今後の多体系研究を加速させるものである。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。