

■ はじめに

近年、微細加工技術の進展に伴い、量子力学的な効果を人工的に制御できるようになってきました。特に、系のサイズが位相コヒーレンス長よりも小さな系であるメソスコピック系を舞台として、様々な量子現象が調べられています。位相コヒーレンス長とは、例えば電子が波としての性質を保持できる長さのことです。つまり、メソスコピック系とは、系全体にわたって量子性が保たれる系であり、量子力学の基本概念を調べる格好の舞台を提供してくれます。

量子力学における基本概念の1つである粒子・波動2重性は、ボーアの相補性原理における最もわかりやすい例の1つです。例えば2重スリットの実験で、電子が2つの経路のどちらの経路を通ったかを決定すると、波動性が弱められて粒子性が出現します。つまり、一方が現れるときには他方が消えるというように、この2つの性質は相補的なものです。

測定という行為には測定対象と測定装置との間の物理的な相互作用が不可欠であり、Heisenbergの不確定性原理によれば、量子力学で扱うミクロな対象が、測定装置から受ける反作用を無視することはできません。このような測定の結果として、系が受ける擾乱は位相緩和を引き起こします。

このような量子力学における測定の反作用という概念は、従来は思考実験として理論的にしか議論されてきませんでした。しかし、上で紹介したようなメソスコピック系においては、これを実験的に詳しく調べることが可能になってきました。量子状態を測定することは、量子フィードバックや量子計算において必要不可欠な要素であり、量子情報処理において位相緩和の過程を理解することは重要なことです。したがって、量子状態をコヒーレントに制御するために、測定装置からの反作用の機構を明らかにすることは、大変意義のあることです。これまでは主として、量子ポイントコンタクトを用いた電荷検出計による位相緩和が、理論・実験の両面から議論されてきました。その結果、量子ポイントコンタクトの場合には、電流ゆらぎが位相緩和を引き起こすことが知られています。一方、量子ドットと呼ばれる微小な電荷溜めは単電子トランジスタというデバイスを構成しており、非常に高感度な電荷計として働くことが知られており、このような量子ドット電荷計に注目が集まっています。

■ 研究内容

本研究では、量子ドット電荷計によって誘起される位相緩和の物理的な起源を明らかにします。このような測定の反作用によってどの程度の位相緩和が生じるかを実験的に検証することができるように、図1に示すような量子ドット電荷計(QDD)を含む環境と静電的に結合した量子ドット(QD)を含むAharonov-Bohm(AB)干渉計を考えます。AB干渉計における線形コンダクタンスには、量子力学的干渉効果の結果としてAB振動が生じますが、この振動の明瞭度(visibility)は位相コヒーレンスを特徴づける物理量です。したがって、visibilityの振舞いを調べることで、量子ドット電荷計によって誘起される位相緩和の影響を知ることができます[1]。

環境と干渉計の結合(V_c)を非平衡2次摂動理論により解析しました。その結果、量子ドット電荷計における電荷ゆらぎが位相緩和の物理的な起源であることを示します[2]。この位相緩和は、量子ドット電荷計が線形輸送領域にある状況においては、Fermi液体理論の非弾性電子-電子散乱による緩和過程として理解することができます。さらに、量子ドット電荷計が低バイアス電圧領域にあるときには、電荷ゆらぎの特性を反映して、位相緩和の大きさがバイアス電圧と共に増加するだけでなく、条件によっては減少することがあることも示します。

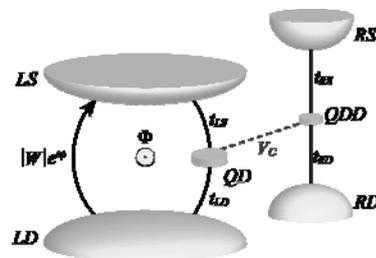


図1. 量子ドット電荷計(QDD)と結合した量子ドット(QD)を片方の経路に含む Aharonov-Bohm(AB)干渉計の模式図。Φは AB 干渉計を貫く磁束を、 V_c は QDD と QD の結合強度を表す。

■ 参考文献

- [1] T. Kubo, Y. Tokura, and S. Tarucha, J. Phys. A **43**, 354020 (2010).
- [2] T. Kubo and Y. Tokura, arXiv:1210.3089.

- キーワード: (1) 量子ドット
(2) 量子力学的干渉効果
(3) 位相緩和
(4) 非平衡電子輸送

代表発表者 久保 敏弘 (くぼ としひろ)
 所属 筑波大学 数理物質系
 物理学専攻 (都倉研究室)
 問合せ先 〒305-8571 つくば市天王台 1-1-1
 自然系学系 B 棟 B318
 TEL: 029-853-4312 FAX: 029-853-4492
 kubo.toshihiro.ft@u.tsukuba.ac.jp