

パリティ - 時間反転対称な開放量子光学系における トポロジカル相と振幅制御

小布施 秀明 / 北海道大学 工学研究院 助教

光学系の実験において、光の実験系からの意図せぬ流出は、悩ましい問題であり、通常高精度な実験結果を得るためには、光の流出を極力抑える必要があります。しかし、光の流出は光学系において厄介者以外の何者でもないのでしょうか？ 答えはノー。実は、光の流出を（可能であれば流入も）巧みに制御すると、「開放系におけるパリティ - 時間反転対称性 (PT 対称性)」に由来する奇妙な性質が発現し、光をより効果的に利用することが可能になります。我々は「開放系における PT 対称性」と「トポロジカル相」を「量子ウォーク」と呼ばれる量子系に対して調べることにより、光の振幅を制御できることを理論的に示し、さらに実験により実証しました。

この理論・実験研究で鍵となったのは、量子ウォークです。量子ウォークは、量子情報・量子計算の研究分野で発達し、量子アルゴリズムを実装するための量子状態の（通常はユニタリーな）変換を規定します。現在では、光学系・冷却原子・トラップイオンなど様々な系で実験が行われていますが、これらはいわゆる人工量子系であるため、系の詳細なパラメーター制御が可能です。そのため、量子ウォークは量子シミュレーターとして用いることもでき、トポロジカル相に起因するエッジ状態の実空間観測が行われてきました。今回の研究では、量子状態の非ユニタリーな変換を考えることにより、系と環境との間で粒子の流入がある PT 対称な量子ウォークを構築し [1,2]、さらにこの開放系におけるトポロジカル相を理論的に調べました。その結果、エッジ状態のみに PT 対称性の破れが生じ、対応する局在モードの確率振幅が時間とともに増幅することが分かりました。これにより、特定の位置の光の振幅を制御することができます。この理論結果をふまえ、エンタングルしたフォトン対を用いた量子ウォークにおいて、フォトンの環境への流出を制御した実験系を実際に構築することにより、我々の理論予測が正しいことを実験により実証しました [4]。この研究を基に、開放系におけるトポロジカル相や PT 対称な量子系に関する研究を発展させていきたいと思えます。



おぶせ・ひであき

1977 年生まれ。長野県生まれ。2005 年北海道大学大学院 工学研究科 量子物理工学専攻 博士後期課程修了。理化学研究所 古崎物性理論研究室（基礎科学特別研究員）、京都大学大学院 理学研究科 凝縮系理論グループ（学振特別研究員）、ドイツ・カールスルーエ工科大学ナノテクノロジー研究所（学振海外特別研究員）にて、トポロジカル絶縁体、アンダーソン転移、量子ウォークなどの理論研究に従事。2012 年 11 月より現職。

- [1] K. Mochizuki, D. Kim, and H. Obuse, Phys. Rev. A **93**, 062116 (2016).
- [2] K. Mochizuki and H. Obuse, Interdisciplinary Information Sciences **23**, **95** (2017).
- [3] D. Kim, K. Mochizuki, K. Kawakami, and H. Obuse, arXiv1609.09650.
- [4] L. Xiao, X. Zhan, Z.H. Bian, K.K. Wang, X.Zhang, X.P.Wang, J.Li, K. Mochizuki, D. Kim, N. Kawakami, W. Yi, H. Obuse, B.C. Sanders, and P. Xue, Nature Physic, **13**, 1117 (2017).
- [5] T. Endo, N. Konno, H. Obuse, and E. Segawa, J. Phys. A **50**, 455302 (2017).