

トポロジカル相を活用した光ダイナミクスの時空間制御

小布施 秀明 / 北海道大学 工学研究院 助教

トポロジカル絶縁体では、電子の波動関数を持つトポロジカルな性質により、対称性を守る不純物に対して安定な表面状態が現れます。この特異な性質は電子系に限らず、フォトンや、さらに近軸近似を行った Maxwell 方程式によって記述される古典的なレーザー光を用いた系にも備わっています。このことから光学系におけるトポロジカル相の研究も現在盛んに行われており、表面状態の直接観測がいくつかの実験系で可能となっています。その一例にビームスプリッター列による量子ウォーク実験 [Kitagawa *et al.*, Nat. Commun. (2012)] があります。この実験ではトポロジカル相を誘起するパラメーターを空間的に変化させていますが、さらにパラメーターを時間的に変化させることも可能です。このような系では、動的制御が可能なトポロジカル相を積極的に活用することにより、光学系における光ダイナミクスを制御することが期待できます。この観点から理論研究を行い、実験提案を行うことを公募研究の大きな目的として、本新学術領域研究に参加させていただくことになりました。本新学術領域研究で行われている研究テーマの中では異色であると思いますが、どうぞよろしくお願いいたします。

昨年は、まずは静的なトポロジカル相を用いることにより、光学系で問題となるフォトンやレーザー光の損失を抑制することを目的とした研究を主に行いました。損失があるような開放量子系を現象論的に扱くと、複素数の固有エネルギーを持つ非エルミート系となるため、一般にその系のダイナミクスは複雑なものになります。しかし、非エルミート系であっても、空間反転と時間反転操作を組み合わせた PT 対称性という特殊な対称性がある場合、トポロジカル相に由来する表面状態以外の固有エネルギーは実数となる系の存在が知られています。我々は、この性質を基に、フォトンの確率振幅に対するゲインと損失の効果を取り入れた量子ウォークにおいて PT 対称性が保たれる条件を明らかにし [1]、さらにこの系のダイナミクスを調べた結果、トポロジカル相に起因する表面状態の存在確率を指数関数的に増幅できることを示しました [2]。さらに、この結果を損失の効果しかない量子ウォークに拡張した場合、表面状態のみ減衰の効果が極めて小さくなることが分かりました。この理論結果に基づき、ビームスプリッター列による量子ウォークの実験を行ったところ、実験結果と理論予測が良く一致することが確かめられました。今後は、トポロジカル相が動的に変化した場合の表面状態の安定性について本格的に研究を行います。

[1] K. Mochizuki, D. Kim, and H. Obuse, Phys. Rev. A **93**, 062116 (2016).

[2] D. Kim, K. Mochizuki, N. Kawakami, and H. Obuse, arXiv:1609.09650.



おぶせ・ひであき

1977 年生まれ。長野県出身。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。その後、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)、ドイツのカールスルーヘ工科大学 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。

量子ウォークの研究を開始したのは、京都大学でポスドクとして川上先生のお世話になっていた頃です。量子ウォークが、アンダーソン転移の理論研究で重要なネットワーク・モデルと数理構造がよく似ていることから興味を抱き、さらに実験も可能ということに衝撃を受け、川上先生のご助言を頂きながら、地道に取り組んでいました。最近では、量子ウォークに軸足が移っている感もありますが、個人的にはアンダーソン転移の派生研究という位置づけで楽しんでいきます。