

分野：自然科学系

キーワード：逆時空間、接触と反発、量子コンピュータ

光と電子の逆時空間での接触・反発の観測に成功

— 量子コンピュータのノイズ問題解消への新展開 —

【研究成果のポイント】

- ◆ 私たちが普段目にするのとは逆の時空間における光と電子の接触と反発を観測
- ◆ 微小な炭素の筒(カーボンナノチューブ)を綺麗に敷き詰め、光を鏡で閉じ込めることで観測可能に
- ◆ 今回の観測を発展させることで、ノイズの影響を受けない光の粒を制御する技術を開発することができ、量子コンピュータなどの実用化のために不可避なノイズ問題に対する、新たな解消法の確立につながる

❖ 概要

光は鏡によって反射されます。これは、鏡の中の電子に光が接触し、反発するからと言えますが、光はあまりにも速く進むため、接触と反発を観測するには、特別な実験装置が必要になります。

光と電子の接触と反発を、私たちが普段目にするのとは逆の時空間と空間(逆時空間)*で容易に観測できる試料と方法を、大阪大学大学院基礎工学研究科の馬場基彰招へい教員(科学技術振興機構さきがけ研究者兼務)は、米国ライス大学の河野淳一郎教授とウェイルー・ガオ氏らと共に見いだしました。

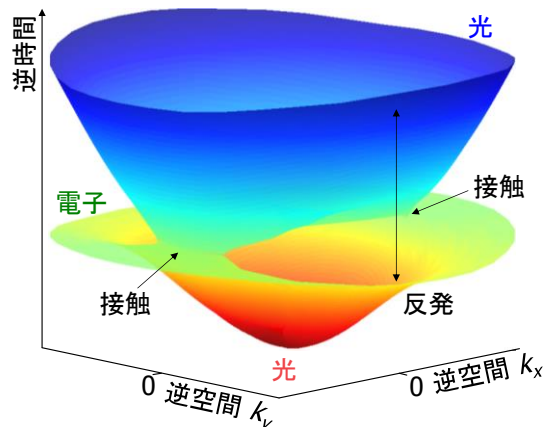
図が実験で観測された逆時空間での光と電子の接触と反発の様子です。逆時空間でほぼ平面な形を示す電子と、角が丸まった円錐型を示す光とが、試料を回転させるだけで、ある方位では接触し、それと垂直な方位では反発する様子を平易な実験装置で観測することに成功しました。今回の試料と観測方法を発展させていくことで、ノイズの影響を受けない光の粒を制御する技術を開発でき、量子情報技術の実用化に向けて常に問題となるノイズ問題に対して、新たな解消法を確立できる可能性があります。

本研究成果は、英国科学誌「Nature Photonics」に、5月1日(火)午前0時(日本時間)に公開されます。

❖ 研究成果

私たちが普段目にするのとは逆の時空間で物理現象を考え、観測することは、物理学の研究でよく行われます。太陽の光は、赤色や青色など、様々な色の光を含んでいます。光という波の時間的な振動の周期が、光の色に対応します。ただし、太陽をそのまま見ても、何色(どの周期)の光を含んでいるのかわかりません。プリズムなどで色分けすることで、何色(どの周期)の光が多く含まれているのかわかります。このように、振動する光を時間の代わりに周期(色)で特徴付けることが、逆時間で光を考えることに対応し、周期(色)ごとに光を分けて強さを測定することが、逆時間で光を観測することに対応します。図のように、逆時間軸の下側が赤色に、上側が青色に対応します。

光と電子(もしくは光同士)の逆時間上での接触と反発が、ここ数年注目を集めています。逆時間で接触することは、光と電子が独立に(ばらばらに)振動することに対応します。逆時間で反発することは、それらが一体となって振動する



図

観測された逆時空間での光と電子の接触と反発の様子。縦軸が逆時間、横の2軸が逆空間を表している。ほぼ平面な形を示す電子と、角が丸まった円錐型をとる光とが、接触したり反発したりする様子が見てとれる。

ことに対応します(なおかつ本来の光と電子の周期とは異なる周期で振動します)。ただし、光や電子は非常に早く振動するため、それらの一体化を実際に目にするのは難しく、物理学の研究では代わりに、プリズムなどで色分けして逆時間上での接触と反発を観測します。特に接触と反発が切り替わる特異点と呼ばれる状況で見られるユニークな光の挙動に興味を持っています。しかし、接触と反発の切り替わりを観測するためには、これまでは別の光を照射するなど工夫が必要でした。

今回、河野教授らの実験グループは、カーボンナノチューブと呼ばれる微小な炭素の筒の方向を揃えて綺麗に敷き詰めた1枚の膜を作製し、その両面に光を反射させる鏡を取り付けました。試料を回転させ、プリズムのようなもので光を色分けしながら、光がどれだけこの試料を透過するのか測定しました。その結果、図のように逆時間と2次元の逆空間で光とカーボンナノチューブ中の電子が接触し反発する様子を、平易な実験装置で観測することに成功しました。ただし、光が実際には鏡の外に漏れ出るため、実験結果だけでは本当に接触しているのか不明瞭でした。馬場招へい教員は、光の漏れを考慮した上で理論解析することで、光と電子が確かに接触していることを確認しました。その解析を基に、河野教授らのグループと馬場招へい教員は、実験結果から図の光と電子の接触と反発の様子を導き出しました。

❖ 本研究成果が社会に与える影響（本研究成果の意義）

本研究成果により、量子コンピュータや量子情報通信などの量子情報技術の実用化に向けて常に問題となるノイズ問題に対して、新たな解消法を確立できる可能性があります。光を用いた量子情報処理では、光子という光の粒1つ1つに情報を担わせますが、ノイズによる情報の改変や、光子自体がいなくなってしまうという問題があります。本研究で作製した試料は、光と電子が逆時空間で非常に強く反発する、つまり光と電子が非常に強く一体化することも特徴の一つです。光と電子とが非常に強く一体化することで、ノイズの影響を受けない光子を作り出せることが知られています。光と電子の接触(独立化)と反発(一体化)を容易に変化させられる本研究の試料と方法を今後発展させていくことで、ただノイズの影響を受けない光子を作り出すだけでなく、その光子を自在に制御できる技術を開発していけると考えています。それによって、量子情報技術が直面するノイズ問題に対して新たな解消法を確立できる可能性があります。

❖ 特記事項

本研究成果は、2018年5月1日(火)午前0時(日本時間)に英国科学誌「Nature Photonics」(オンライン)に掲載されます。

タイトル: “Continuous Transition between Weak and Ultrastrong Coupling through Exceptional Points in Carbon Nanotube Microcavity Exciton Polaritons”

著者名: Weilu Gao, Xinwei Li, Motoaki Bamba, and Junichiro Kono

なお、本研究は、米国 National Science Foundation、米国 Department of Energy Basic Energy Sciences、米国 Robert A. Welch Foundation、科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業さきがけ、内閣府革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)、日本学術振興会(JSPS)科学研究費助成事業から支援を受けました。

❖ 用語説明

※ 逆時空間

光は時間的・空間的に振動する電磁場の波である。その波の時間周期が、赤色や青色などの光の色に対応する。逆時間で光を観測することは、光をプリズムなどで色分けして、何色の光がどれだけ含まれているのかを測定することである。また、光を波長ごとに分けて、どの波長の光がどれだけ含まれているかを測定することが、逆空間で光を観測することに対応する。光だけならば、プリズムで色分けすることと波長ごとに分けることは同じことだが、電子がいる場合はその限りでない。つまり、光と電子が一体となって、逆時間上で反発する(本来とは異なる2つの周期で振動する)。本研究では、光に対する試料の傾きと回転によって特定の波長を指定した上で、プリズムのようなもので色分けすることで、どの色の光がどれだけ試料を透過するのか測定し、図のような接触と反発の様子を導き出した。

❖ 本件に関する問い合わせ先

<研究成果に関すること>

大阪大学 大学院基礎工学研究科 招へい教員 馬場 基彰(ばんば もとあき)

TEL:06-6850-6504 FAX: 06-6850-6504

E-mail: bamba@qi.mp.es.osaka-u.ac.jp

<JST事業に関すること>

科学技術振興機構 戦略研究推進部 中村 幹(なかむら つよし)

TEL:03-3512-3525 FAX: 03-3222-2066

E-mail: presto@jst.go.jp