

報道機関 各位

国立大学法人電気通信大学

“かたち”が及ぼす平衡化への影響 格子の形による量子多体系の緩和の阻害の新たな機構を発見

【ポイント】

- * ハニカム格子上の量子多体系において、平衡化が必ずしも起こらないことを示した。
- * 平衡化が格子の形状に依存することを明らかにした。
- * その原因が、形状に起因するエネルギー構造にあることを示した。

【概要】

電気通信大学大学院情報理工学研究科基盤理工学専攻博士前期課程1年の原遼吾氏、同専攻遠藤晋平准教授、同専攻山鹿汐音助教らは、量子多体系において、格子幾何学が平衡化を阻害する新たな機構を発見しました。本研究は、量子多体系の非平衡ダイナミクスにおける平衡化の理解に新たな視点を与える基礎物理学的意義を持つとともに、量子状態の制御や量子シミュレーションへの応用に繋がることが期待されます。本研究は物理学の専門誌 *Physical Review B* (オンライン版) に 2026 年 4 月 20 日 (日本時間) 公開されました。

【背景】

多くの自然現象では時間の経過とともにやがて落ち着いた状態 (平衡状態 (※1)) に至ります。このような「平衡状態」は、物理学において普遍的に見られる基本的な性質です。

一方で、量子力学に従う系では、時間発展の性質により、外界と接続していない孤立した量子系は平衡状態に緩和しません。しかし、系の一部分 (部分系 (※2)) に着目すると、あたかも平衡状態に近づいたかのように振る舞うことが知られています。

このような平衡緩和のメカニズムにおいて、物質の配置や構造、すなわち「かたち」がどのような影響を与えるのかについては、これまで十分に調べられてきませんでした。

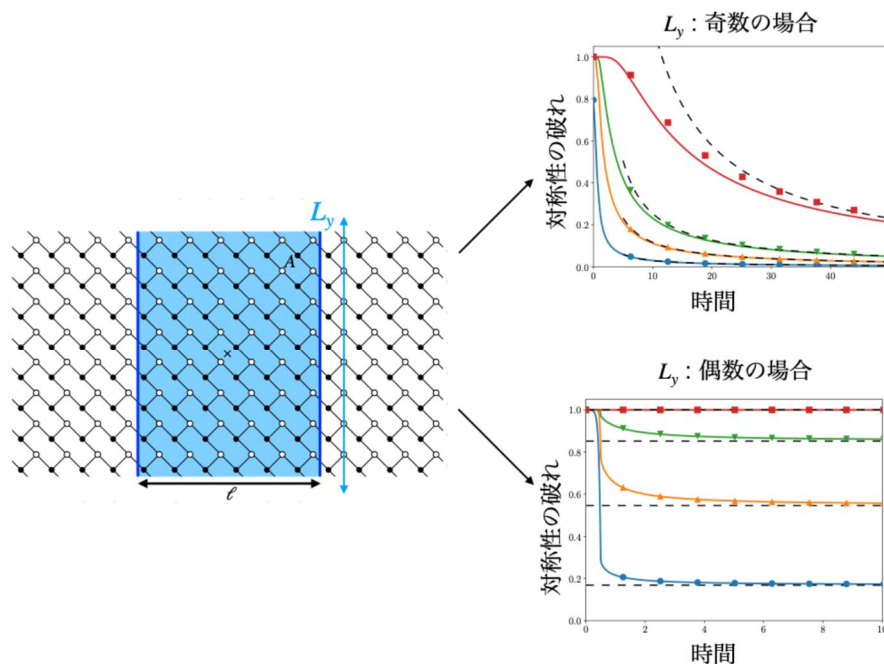
【手法】

本研究では、グラフェン (※3) の有効モデルなどでも知られるハニカム格子を採用しました。

非平衡状態から平衡状態へ行き着く過程において、部分系の対称性 (※4) が回復することに着目し、部分系における対称性の破れを定量化する指標として「エンタングルメントアシンメトリー (Entanglement Asymmetry) (※5)」を用い、その時間発展を解析しました。

【成果】

準粒子（※6）描像という手法を用いて解析を行い、その結果、対称性が回復するかどうか、系の長さの偶奇によって決まることを明らかにしました。さらに、この振る舞いの起源が系のエネルギー構造に現れる平坦なバンド（※7）にあることを示しました。



図：左図が今回考える系。縦方向の長さ L_y が奇数の場合、対称性の破れが回復する。一方、偶数の場合対称性の破れが回復しない様子を表している。

【今後の期待】

本研究により、量子多体系の緩和現象が格子の“かたち”によっても制御されることが示されました。今後は、相互作用を含む一般的な系への拡張や、冷却原子系などの実験による検証が期待されます。本研究の知見は量子シミュレーションや量子情報処理への応用にもつながる可能性があります。

（論文情報）

掲載誌：Physical Review B

タイトル：Dynamics of entanglement asymmetry for space-inversion symmetry of free fermions on honeycomb lattices

著者：Ryogo Hara, Shimpei Endo, and Shion Yamashika

DOI：https://doi.org/10.1103/lpz6-3v48

（外部資金情報）

本研究は、日本学術振興会（JSPS）科学研究費助成事業 研究活動スタート支援「長距離相互作用スピン鎖における量子ムペンバ効果の理論研究」（25K23355）、日本学術振興会（JSPS）科学研究費助成事業 基盤研究（B）「強相関物質における不純物粒子の量子ダイナミクスの普遍性の研究」（23H01174）、日本学術振興会（JSPS）科学研究費助成事業 基盤研究（C）「異方的相互作用に駆動されたフェルミ系のエフィモフ状態の新たな普遍的挙動」（25K00217）、松尾学術研究助成の支援を受けて実施されました。

（用語説明）

※1：平衡状態

時間が経つと、系の性質がほとんど変化しなくなった落ち着いた状態のこと。例えば、熱いコーヒ

ーが時間とともに冷め、室温に近づく現象は平衡状態への緩和の一例である。

※2：部分系

大きな系の一部を取り出して考えたもの。宇宙全体を一つの系だとみなせば、地球を部分系だと見なすことができる。

※3：グラフェン

炭素原子が蜂の巣状に結合したシート状の物質。高い強度や電気伝導性により様々な分野において活発に研究されている。2010年にノーベル物理学賞の受賞の対象になった。

※4：対称性

ある変換に対しても状態が変わらないという性質。

※5：エンタングルメントアシンメトリー (Entanglement Asymmetry)

部分系における対称性の破れの大きさを定量的に評価する指標。

※6：準粒子描像

量子多体系において、相互作用中する粒子の振る舞いを、その影響を含めた有効的な粒子として扱う考え方を準粒子という。しばしば「相互作用の衣をまとった粒子」とも表現される。この準粒子の伝播によって、平衡化を調べる方法を準粒子描像という。

※7：平坦なバンド (フラットバンド)

エネルギーが運動量に依存せず一定となるエネルギー構造のこと。そのエネルギー構造を持つ粒子は速度が0になる。

【連絡先】

＜研究内容に関すること＞

電気通信大学（所属）情報理工学研究科 基盤理工学専攻

【職名】助教

【氏名】山鹿 汐音

Tel : 042-443-5453 E-Mail : shion.yamashika@uec.ac.jp

＜報道に関すること＞

電気通信大学総務部総務企画課広報係

Tel : 042-443-5019 Fax : 042-443-5887

E-Mail : kouhou-k@office.uec.ac.jp