



2024年7月11日

報道関係各位

正エネルギー束縛状態を持つポテンシャルの一般的理論が完成 “束縛状態”の概念を大きく変更し、大きなエネルギーを局在化させ得る可能性を示唆

【本研究の要点】

- 現在まで観測されていない正エネルギーの束縛状態を持つポテンシャルを構築する一般的理論を完成させた。
- 物理的に許されるエルミートなポテンシャル全体の集合の中では、正エネルギー束縛状態は負エネルギー束縛状態と同じようにありふれた存在であり、その発見が待たれている。
- 正エネルギー束縛状態は、ミクロな世界でエネルギーロスの無い状態変化を可能にするだけでなく、エネルギーを局在させて蓄積する可能性すらも示唆している。

上智大学(東京都千代田区、学長: 暁道佳明) 理工学部の栗野真大博士(上智大学 PD)と高柳和雄教授は、正エネルギー束縛状態(Bound state in the continuum, BIC)を持つポテンシャルの理論を完成させ、そのようなポテンシャルの一般的性質を解明しました。

本研究成果は、日本物理学会の Progress of Theoretical and Experimental Physics 誌に 2024 年 6 月 18 日付でオンライン上に公開され、Editors' choice 論文に選ばれました。さらに、国際的なウェブジャーナルである JPS Hot Topics でも非専門家に向けて紹介されることになっています。

量子力学で扱われる電子や陽子は、“ポテンシャル”から力を受けて運動しており、その状態にはポテンシャル周辺に局在した状態である「束縛状態」と、広がった「散乱状態」の 2 つがあります。本研究はそのような粒子の束縛状態が持つエネルギーについて新しい知見を与えるものです。

私たちが量子力学で最初に出会うポテンシャルは局所ポテンシャル $V(r)$ の形をしており、そこから力を受けて運動する粒子の束縛状態のエネルギーは負であると習います。それに対し、正エネルギーの束縛状態を持つ局所ポテンシャルが例外的に存在することが 100 年近く前にフォンノイマンとウイグナーにより示されましたが、現在に至るまでその様な状態は発見されていません。

本研究では、より一般的に非局所ポテンシャル $V(r', r)$ で考えると、束縛状態のエネルギーは負の場合と同じだけ正にもなり得る、という事を示しました。これは束縛状態に対するこれまでの常識を覆すような結果です。また、本研究は、どのような非局所ポテンシャルが正エネルギー束縛状態を持つのか、また、実験的にはそのような状態をどのような手段で観測出来るのかを明らかにしています。この結果は、非局所ポテンシャルの理論を発展させ、正エネルギー束縛状態の観測に向けた今後の研究が進むべき方向を示すものです。

視点を変えてこの理論を応用面から見ると、広がった散乱状態を局在した正エネルギー束縛状態にエネルギーロスを生むことなく変化させる、ということが可能であることを示しており、電子の運動状態の制御への応用が期待されます。また、大きなエネルギーを局在した正エネルギー束縛状態に蓄積させられる可能性も示唆しており、エネルギーの新たな制御、貯蔵手段としての活用が期待されます。

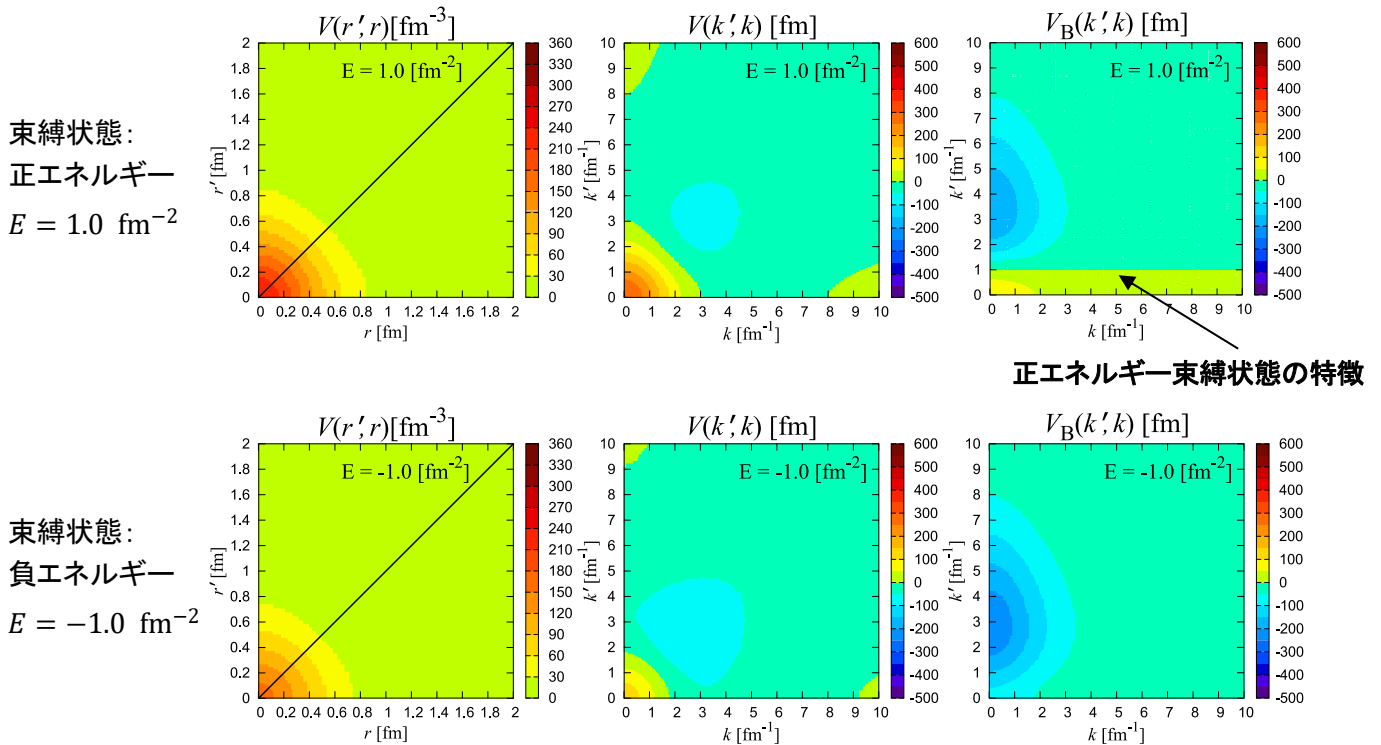
【論文名および著者】

媒体名:	Progress of Theoretical and Experimental Physics	
論文名:	General theory of constructing potential with bound states in the continuum	
オンライン版 URL:	https://doi.org/10.1093/ptep/ptae092	
著者(共著):	栗野 真大(上智大), 高柳 和雄(上智大)*	* 責任著者

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金 基盤研究C(23K03420)の助成を受けています。

【図 1】

同じ束縛状態を持つが、そのエネルギーが正 ($E = 1.0 \text{ fm}^{-2}$ 、上段) と、負 ($E = -1.0 \text{ fm}^{-2}$ 、下段) の場合のポテンシャル。左から V の座標表示、 V の運動量表示、 V_B の運動量表示。座標表示のポテンシャル $V(r', r)$ は、対角線 ($r' = r$) から離れた領域でも値を持ち、非局所ポテンシャルである。



ここでは図1を使い、同じ波動関数で表される束縛状態を、正エネルギー $E = 1.0 \text{ fm}^{-2}$ (上段) と、負エネルギー $E = -1.0 \text{ fm}^{-2}$ (下段) に持つポテンシャルの比較をしてみます。左に示した座標表示のポテンシャル $V(r', r)$ を上下で比較しても、上の $V(r', r)$ のみが正エネルギー束縛状態を持つということはありません。

正エネルギー束縛状態の存在は、 $V(r', r)$ を運動量表示でのポテンシャル $V(k', k)$ に変換し、それを更に束縛状態の空間に射影した右の $V_B(k', k)$ を見ることにより初めて確認できます。上段の $V_B(k', k)$ は $k = 1.0 \text{ fm}^{-1}$ で符号変化があり、正エネルギー $E = k^2 = 1.0 \text{ fm}^{-2}$ に束縛状態があることを示しています。

それに対し、下段の $V_B(k', k)$ ではその様な符号変化は見られず、束縛状態のエネルギーは負である事がわかります。このように本理論は正エネルギー束縛状態を持つポテンシャルの簡単な識別法も与えています。

【本リリース内容に関するお問い合わせ先】

上智大学 理工学部

上智大学PD 栗野 真大 (E-mail: m-kurino-ex5@eagle.sophia.ac.jp)

教授 高柳 和雄 (E-mail: k-takaya@sophia.ac.jp)

※本リリースの配布先：文部科学記者会および科学記者会

«本リリースの発信元：上智学院広報グループ»

E-mail sophiapr-co@sophia.ac.jp