

「エネルギーがゼロ」の束縛状態を観測 ーマヨラナ粒子による次世代量子計算への第一歩ー

理化学研究所（理研）、東京工業大学、東京大学の共同研究グループは、トポロジカル超伝導体 $\text{FeTe}_{0.6}\text{Se}_{0.4}$ （Fe：鉄、Te：テルル、Se：セレン）の量子渦において、マヨラナ粒子の特徴であるゼロエネルギー束縛状態（ZBS）の観測に成功しました。

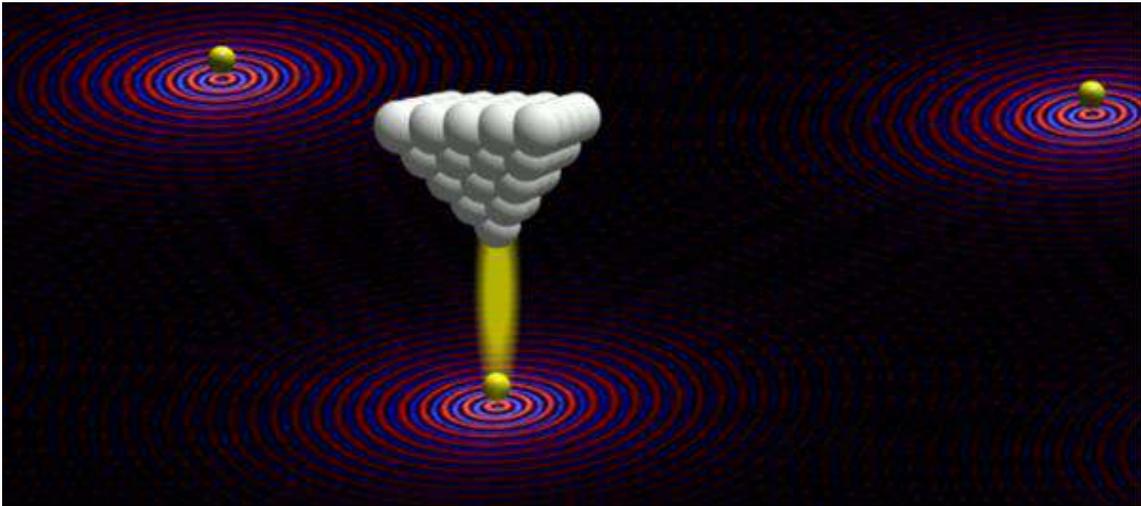


図 量子渦（超伝導電流の渦）に束縛されたマヨラナ粒子（黄色）検出のイメージ

本研究成果は、次世代の量子コンピュータの実現に向けたマヨラナ粒子の検出と制御法の基盤になると期待できます。

固体中にはホールや電子といったフェルミ粒子[6]が存在し、これらが物質の諸性質に重要な役割を果たしています。通常、これらの粒子には区別可能な反粒子[7]が存在します。例えば、負の電荷を持つ電子は、正の電荷を持つ陽電子の反粒子です。これらは、電荷の符号の違いで区別できます。一方で、理論的には、粒子と反粒子の区別がつかない、つまり電荷が正でも負でもない（＝中性の）粒子が存在可能であり、このような粒子は「マヨラナ粒子」と呼ばれています。

マヨラナ粒子は電荷を持たず、エネルギーが厳密にゼロの奇妙な粒子で、トポロジカル超伝導体の端部や超伝導電流の渦である量子渦に局在すると考えられています。マヨラナ粒子はノイズに強い次世代量子計算の基本要素として期待されており、マヨラナ粒子の実験的検証が試みられてきました。しかし、これまで

の測定ではエネルギー分解能が不十分で、決定的な証拠が得られていませんでした。

今回、共同研究グループは、トポロジカル超伝導体の候補物質である $\text{FeTe}_{0.6}\text{Se}_{0.4}$ (Fe: 鉄、Se: セレン、Te: テルル) に着目しました。この物質は、以前より鉄系超伝導体の一つとして知られていましたが、最近その表面で二次元のトポロジカル超伝導の発現が指摘され、超伝導転移温度が比較的高い物質としても知られるようになりました (超伝導転移温度: 14.5K、約-258.7°C)。さらに、この物質における量子渦では、マヨラナ粒子による ZBS と通常の電子による束縛状態のエネルギー差が 100 マイクロ電子ボルト (μeV 、 $1\mu\text{eV}$ は 100 万分の 1 電子ボルト) 程度と比較的大きくなることが予想されており、マヨラナ粒子検出に適した物質であるともいえます。

共同研究グループは、これまでにない高いエネルギー分解能 ($20\mu\text{eV}$) を実現するために、100mK 以下の超低温で動作する走査型トンネル顕微鏡 (STM) を新たに開発し、 $\text{FeTe}_{0.6}\text{Se}_{0.4}$ の量子渦近傍の状態を詳細に調べました。その結果、エネルギーがゼロの束縛状態の観測に成功しました。この状態は、通常の電子では説明することができず、量子渦に局在したマヨラナ粒子由来であることを強く示唆しています。

本研究は、英国の科学雑誌『Nature Materials』に掲載されるのに先立ち、オンライン版 (6月17日) に掲載されました。

(日文全文 http://www.riken.jp/pr/press/2019/20190618_1/)

文 JST 客観日本編集部