

課題名(タイトル):

## 超伝導／超流動における準粒子励起

利用者氏名:

○堤 康雅(1)

理研における所属研究室名:

(1)創発物性科学研究センター 計算量子物性研究チーム

## 1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

マヨラナフェルミオンは素粒子理論で提案された生成と消滅の演算子が等しいフェルミオンである。このマヨラナフェルミオンが物質中の準粒子励起として実現されることが理論的に示されてから、観測を目指す研究が精力的に続けられている。さらに、マヨラナフェルミオンが非可換統計性を示すことを利用すると量子計算を行えることから、量子計算機への応用を見据えた研究も行われている。

いくつかのマヨラナフェルミオンの実現が理論的に示された系で、マヨラナフェルミオンの存在を示す定性的な証拠が観測されているが、定量的な証拠が示されているのは超流動ヘリウム3-B 相の表面に束縛されたマヨラナフェルミオンだけである。

超流動ヘリウム3の自由表面近傍に電子バブルと呼ばれる不純物を沈めて、電場で駆動したときの移動度を測定すると、バルク中の電子バブルよりも移動度が減少することが観測された。この移動度の低下は、電子バブルが表面に束縛されたマヨラナフェルミオンに散乱されることが原因であると考えられる。実際に、電子バブルとマヨラナフェルミオンの散乱を定式化して移動度を数値計算すると、実験で観測された移動度の温度依存性、電子バブルの自由表面からの深さ依存性を定量的に再現することができた。

## 2. 具体的な利用内容、計算方法

電子バブルを散乱体として、マヨラナフェルミオンの波動関数が従う Lippmann-Schwinger 方程式を行列で記述し、数値対角化を行うことで散乱の  $T$  行列を求めた。この  $T$  行列から電子バブルの移動度は計算することができる。

## 3. 結果

マヨラナフェルミオンの散乱を考慮して数値計算で得られた電子バブルの移動度と、実験で観測された電子バブルの移動度は、温度依存性、電子バブルの自由表面からの深さ依存性が定量的に一致しており、超流動ヘリウム3-B 相において、マヨラナフェルミオンの存在が定量的に実証されたと言える。これまでのところ、マヨラナフェルミオンが存在する定量的な証拠が示されているのはこの系だけである。

また、マヨラナフェルミオンは電子バブルには直接散乱されず、電子バブルの周りに形成される準粒子束縛状態に散乱されている。これは、マヨラナフェルミオンの生成と消滅の演算子が等しいことに密接な関係があり、マヨラナフェルミオンの物理的性質も電子バブルの移動度として現れている。

## 4. まとめ

実験結果と定量的に一致する電子バブルの移動度を、マヨラナフェルミオンを考慮した数値計算で示すことで、超流動ヘリウム3-B相の表面束縛状態として、マヨラナフェルミオンが存在することを定量的に示した。

本研究結果はすでに論文として発表しているが、マヨラナフェルミオン探索研究の最近の進展として招待講演を行った。その際、マヨラナフェルミオンの物理的性質の影響を数値計算結果から示した。

## 5. 利用がなかった場合の理由

本研究は、昨年度までに HOKUSAI を利用して得られた計算データに基づいている。昨年度までの利用で、十分な計算データが得られていたため、今年度は追加の利用が必要なかった。

2019 年度 利用研究成果リスト

**【口頭発表】**

堤康雅, “超流動ヘリウム3表面に束縛されたマヨラナ励起の散乱理論”, 新学術領域「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」連携研究会「マヨラナ励起の実証に向けて」, 2019 年 11 月, 東京工業大学, 招待講演.