

## 【特別推進研究】

### 理工系（数物系科学）



#### 研究課題名 ヘリウム表面における新奇量子現象 —マヨラナ状態の検証

理化学研究所・基幹研究所・主任研究員 この きみとし  
河野 公俊

研究分野：数物系科学

キーワード：超低温・量子凝縮系

#### 【研究の背景・目的】

2次元電子系やイオンなどを用いて、ヘリウム自由表面に生じるユニークな量子現象について、独創的な研究を行ってきた。この成果をもとに、研究をより一層深化させ、ヘリウム表面における真に新しい量子現象を探求する。

とりわけ、超流動ヘリウム 3 自由表面に存在することが理論的に予言された表面束縛状態のマヨラナ性を、理想的な条件のもとで検証することと、ヘリウム表面上 2 次元電子系で発見した、表面準位間マイクロ波吸収励起に伴う磁気抵抗消失現象の機構解明とその単電子量子ビットへの応用を具体的な目的とする。ここで、「マヨラナ」は粒子と反粒子が区別できない理論上のフェルミ粒子の呼称に由来する。

#### 【研究の方法】

超流動<sup>3</sup>Heの表面束縛状態がマヨラナであるための前提条件は<sup>3</sup>He原子が境界で鏡面的に反射されることであり、自由表面で最も理想的に満足される。その存在の決定的証拠は、顕著な磁気異方性であり、磁気共鳴（電子スピン共鳴(ESR)）によって、スピン緩和率の異方性を測定することが提案された。

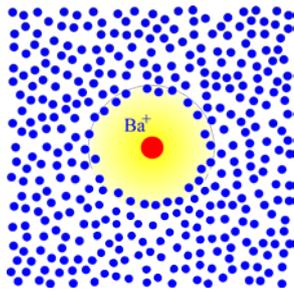


図1 He中のBaイオン

本計画では、スピン緩和率の測定に、ヘリウム中のBaイオンの光ポンピングという実験手法を提案する。BaイオンはHe中で空洞を作り、高い光学活性を維持する（図1）。表面近傍に制御して導入することができ、表面状態の高感度な検出が期待される。

一方、マイクロ波誘起磁気抵抗消失現象の研究では、100~200GHz周波数帯のマイクロ波を希釈冷凍機に導入し、同時にヘリウム液面電子の伝導度測定を行うという、我々が独自に開発した方法を用いる。

さらに、ヘリウム表面近傍に束縛したイオンの伝導度測定から、超流動<sup>3</sup>Heの表面近傍での顕著な異方性効果を探求する。

#### 【期待される成果と意義】

マヨラナ粒子は理論的に予言されているが、いまだ発見されていない、謎めいた素粒子である。それと物理的に等価な現象が超流動<sup>3</sup>Heで発見されれば、学界に大きな衝撃を与える。

マイクロ波励起磁気抵抗消失現象（図2）は非平衡・非線形現象の典型である可能性が高まり、いわゆる散逸構造と深く関連していることが期待される。極めて清浄で単純な量子多体系における現象を解明することによって、普遍的な理解が進むものと期待される。

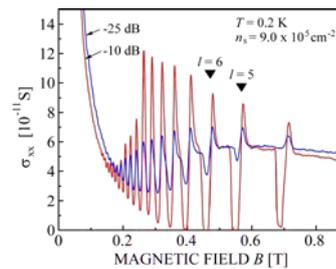


図2 マイクロ波誘起磁気抵抗消失

超流動<sup>3</sup>Heは、相転移に伴う自発的な対称性の破れの典型であり、これを理解することは、我々の宇宙の成り立ちを理解することにつながる。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- S. B. Chung and S.-C. Zhang: “Detecting the Majorana Fermion Surface State of <sup>3</sup>He-B through Spin Relaxation”, Phys. Rev. Lett. **103**, 235301 (2009).
- D. Konstantinov and K. Kono: “Detecting the Majorana Fermion Surface State of <sup>3</sup>He-B through Spin Relaxation”, Phys. Rev. Lett. **105**, 226801 (2010).

#### 【研究期間と研究経費】

平成24年度—28年度  
203,000千円

#### 【ホームページ等】

<http://lt.riken.jp>  
[kkono@riken.jp](mailto:kkono@riken.jp)