

## racetrack コイル磁場による BEC への位相幾何学的方法による多重渦度量子渦生成

## - 対抗超流動に向けて -

日大生産工 ○齋藤佑月 日大生産工 瀧澤航平  
日大量科研 桑本 剛 日大生産工 柴山均

## 1. まえがき

渦は数学・物理学から工学など様々な分野で登場し、その状態を知ると、系全体の特徴を捉える可能性を秘めており、盛んに研究されてきた。液体や空気の流れなどが代表的な古典流体系に存在する渦は、レイノルズ数によって定められ、この数値の大小で層流から乱流への転移やカルマン渦などの状態を予想することが可能である。しかしながら、古典流体系において発生した一つの渦の状態や渦の持つ角運動量など詳細な状態を知ることは困難であると考えられる。一方、ボース・アインシュタイン凝縮体 (Bose-Einstein condensateの略で以下: BEC) や超流動液体ヘリウム、超伝導体などの量子流体系における渦つまり量子渦は、循環が量子化されているため渦の発現する条件が厳密に定義できる。Fig. 1 に本研究で題材となる量子渦の応用を示した。量子渦は様々な量子流体系に現れる多様な物理を探るプローブとして重要かつ有用であり中性子星の内部構造解明や超流動の特性を理解する上で重要な情報を与える。また、近年盛んに研究されているラゲールガウシアン (LG) ビームなどの光渦へのリファレンス (渦度の標準) としても活用できるのではないかと考えている。さらに、量子渦をBEC中に生成し続ける (角運動量を与え続ける) ことで、乱流状態へと成長することが先行研究から明らかになっている。この量子乱流状態でもエネルギーカスケードが起きる

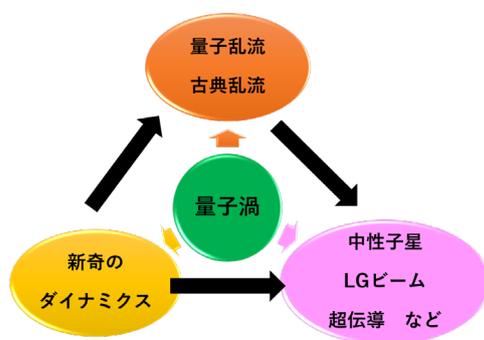


Fig.1 量子渦の応用

ことが分かっており、量子乱流を研究することで古典乱流をシミュレーションできると期待されている。これらの応用を行うためには量子渦の様々な状態でのダイナミクスを知る必要がある。新奇のダイナミクスを発見することで、超流動状態の更なる理解へとつなげていく。本研究では、Fig. 2 の研究の概要に示すように、2成分のBEC中に対向する多重渦度量子渦を形成し、多重渦度量子渦の新奇の崩壊ダイナミクスを観測するための装置を開発する。

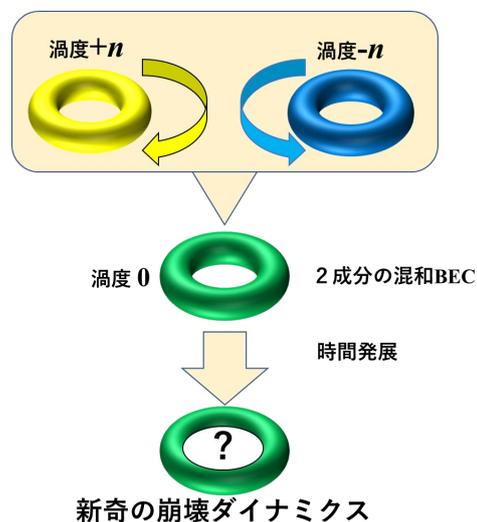


Fig.2 研究の概要

## 2. 提案手法

本研究の目的は、Fig. 2 に示すシチュエーションを実現する装置を構築する。QUIC磁気トラップ中で生成したルビジウム87原子 (以下:  $^{87}\text{Rb}$ 原子) 気体のBEC中に、対向する多重渦度量子渦を形成する。多重渦度量子渦および対向する多重渦度量子渦を形成するために、位相幾何学的方法を活用する。また、対向する多重渦度量子渦によって起因した新規の崩壊ダイナミクスを観測する。原子気体BEC中へ多重渦度量子渦を形成する方法として、四重極磁場中にあるBECのスピンを反転させて幾何学的位相 (ベリー位相) をBECに転写する

Multi-charged quantum vortex generation by topological phase imprinting method to BEC using racetrack coil magnetic field

- In order to conduct research on counter-superfluidity -

Yuzuki SAITOU, Kohei TAKIZAWA, Takeshi KUWAMOTO and Hitoshi SHIBAYAMA

方法がある。この位相幾何学的方法により BEC 中に対向する多重渦度量子渦を形成する。この方法は、BEC 中の原子のスピンの状態によって渦度が決まる非常にユニークな方法である。渦度と原子スピンの関係は、

$$\text{渦度} = \text{原子のスピンの状態} \times 2$$

である。つまり原子のスピンの状態が 1 の場合は渦度 2 の多重渦度量子渦が形成され、スピンの状態が -1 の場合は渦度 -2 の多重渦度量子渦が形成される。この状態を実現させるために、 $^{87}\text{Rb}$  原子気体の BEC のスピンの状態を操作する。Fig. 3 は渦度 2, -2 の対向する多重渦度量子渦を形成可能な BEC スピン状態である。

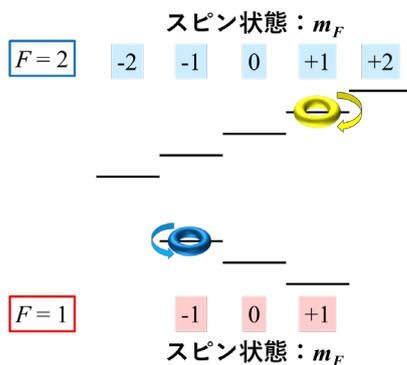


Fig.3  $^{87}\text{Rb}$  原子気体の BEC のスピン状態および選択したスピン状態

る。このスピン状態を選んだ理由を 2 つ挙げる。

- ① s 波散乱長の差から混和状態
- ② いずれもスピン成分も弱磁場シーキング状態 (磁場の弱い場所にとどまる)

混和であることは大前提であるが、②の条件も重要である。これは位相幾何学的方法を行う上で重要な四重極磁場の中心に 2 成分とも留まることができるからである。

さらに、実験では位相幾何学的方法を行うために必要不可欠な四重極磁場を印加する特殊なコイルを考案する。Fig. 4 は、本研究のために考案した racetrack コイルの設計図と実際に作成した写真である。このコイル形状は、BEC 生成に必要なオプティカルアクセスおよび QUIC 磁気トラップとの共存を行うためこのような形状となった。また、2 種類のコイルペアを使う。この形状の違いにより、X-Z 方向 (Fig. 4 の (a)) には四重極磁場を、Y 方向には磁場勾配の極力少ない磁場環境を実現することができる。

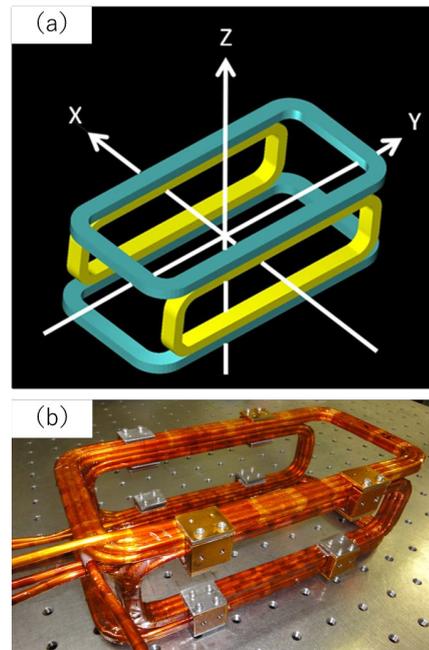


Fig.4 racetrack コイル  
(a) 設計した図。(b) 作成した写真。

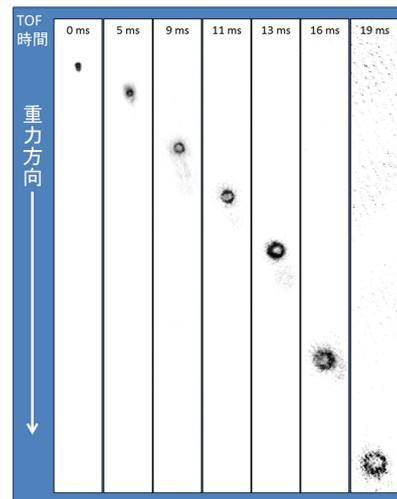


Fig5. racetrack コイル磁場を使った BEC 中の量子渦の吸収イメージング画像

### 3. 実験結果および検討

Fig. 5 は、racetrack コイル磁場を使って位相幾何学的方法を行い、BEC 中へ量子渦生成を行った吸収イメージング画像である。自由膨張させて時間経過させても中心の密度欠陥がなくなることから、量子渦が BEC 中へ生成できていることが分かった。本発表では、今回生成した量子渦の生成方法や評価について報告し、今後の展望について述べる。