

量子乱流生成に向けた QUIC 磁気トラップの作成

日大生産工(学部) ○瀧澤 航平 日大生産工(学部) 齋藤 佑月
日大量科研 桑本 剛 日大生産工 荒巻 光利 日大生産工 柴山 均

1. はじめに

本研究で着目する物理現象は乱流である。乱流とは簡単に述べれば渦が纏れ合った状態である。乱流は、数学・物理学から工学などのさまざまな分野で研究されてきた。しかし、長い歴史にもかかわらず乱流の解明には至っていない。その理由は古典流体系に存在する渦の定義が曖昧だからである。一方、ボース・アインシュタイン凝縮体（Bose-Einstein Condensation :BEC と略す）や超流動液体ヘリウム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。この量子渦のダイナミクスを詳細に研究することは、量子乱流や量子力学的物質のダイナミクスを知る基盤となると期待できる。量子流体系における渦（以下：量子渦）の特徴は循環が量子化されていることである（渦の強さを表す渦度が整数で表される）。そのため、渦の発現する条件が厳密に定義できる。さらに、量子渦の複雑な運動によって構成される乱流状態も渦の視点から理解できる。以上で述べたように、純粋な量子流体系である BEC 中で乱流を研究することは非常に有用である。本研究では、QUIC 磁気トラップ中で BEC を生成し、AC 磁場を印加することで量子乱流を形成するシステムを構築する。

2. 実験手法

本研究の目的は、量子乱流生成に向けたQUIC磁気トラップ (Fig1参照) を作成である。磁気光学トラップで捕獲された ^{87}Rb 原子集団はQUICトラップの調和振動子型ポテンシャルで捕獲される。捕獲された原子集団はラジオ周波数RFによってBECの相転移温度以下まで冷却される。このようにしてBECを生成する。その後BECにAC磁場をかけ振動を与えることで量子渦を生成させ量子乱流まで発展させる。これらのQUIC磁気トラップとAC磁場コイルを共存可能な装置を開発する。

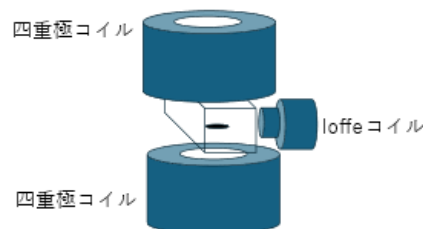


Fig1 QUIC磁気トラップ

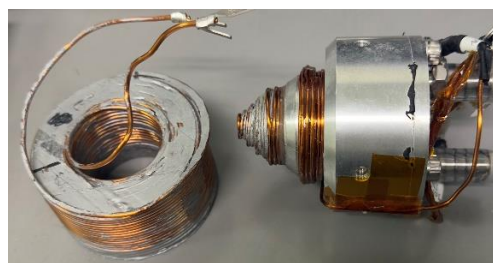


Fig2 四重極コイルとIoffeコイル

3. QUIC磁気トラップ作成方法

我々が作成するQUIC磁気トラップは二つの180巻き四重極コイル(外形約7cm)と一つの160巻きIoffeコイル(外形約3cm)を用いて作成する。日本大学量子科学研究所桑本研究室で作成した実際の四重極コイルとIoffeコイルをFig2に示す。四重極コイルはポリエステル導線(PEW)1.8mmを使用し、IoffeコイルはPEW1.6mmを使用している。

Fig3に作成した巻き機を示す。アルミ製のボビンにポリエステル導線を巻きつけていく。磁気トラップ時に流す電流は、最大で30A程度であり、かなりの発熱が想定される。熱伝導性を向上させることおよびコイルの強度を上げるためにアレルコボンドを1相ごとに塗りながら巻いていく。アレルコボンドを使用することでFig2に示すように表面が金属のようになる。

Creation of a QUIC magnetic trap for quantum turbulence generation

Kohei TAKIZAWA, Yuzuki SAITO, Takeshi KUWAMOTO,
Mitsutoshi ARAMAKI and Hitoshi SHIBAYAMA



Fig 3 コイル巻き機

また、電流を流す際に外部制御を行う必要がある。コンテック社のデジタル出力USB I/Oユニット DO-16TY-USBをLabViewで操作することで外部制御を行う。

4. 量子乱流生成装置の開発

QUIC磁気トラップ中BECにAC磁場をかけることによって量子渦を生成させ量子乱流まで発展させる。Fig4のようにACコイルをQUIC磁気トラップの軸方向に配置する。

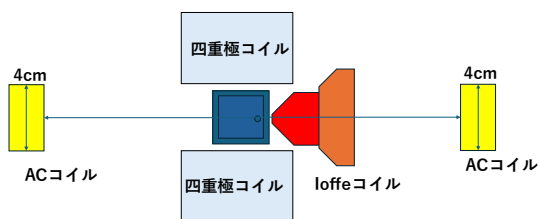


Fig4 AC コイル配置

表 1 磁場勾配

電流I (A)	コイル間隔(m)	巻き数	磁場勾配[mG/cm]
5	0.24	150	517
5	0.26	200	504
5	0.28	270	509
10	0.24	75	517
10	0.26	100	504
10	0.28	135	509

表1のようにACコイルの間隔と巻き数、電流を変化させていき、500mG/cm付近の磁場勾配を生み出す。サンパウロ大学での先行研究では、磁場勾配が160～220[mG/cm]で10～25個ほどの渦が観測された[1]。我々は磁場勾配を0～500[mG/cm]に設定することで量子渦を生成し、量子乱流まで成長させる。また、ACコイルに流す電流を(1)式のように変化させる。ここでの角周波数 ω は、 $2\pi \times 200$ Hzである。

$$I_{coil}=I_0 (1-\cos(\omega t)) \quad (1)$$

電流コントロールを行うためにFETを用いる。FETを操作する信号は、NF社のファンクショ

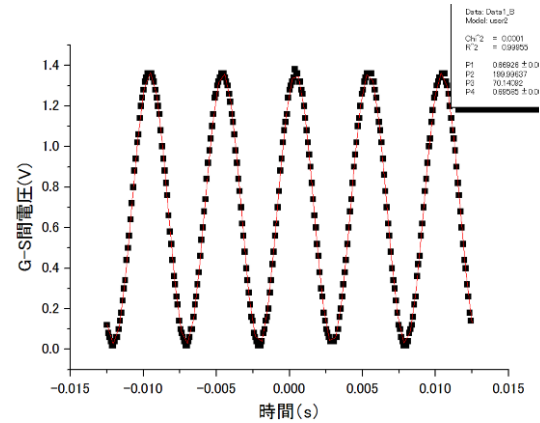


Fig5 指示した波形

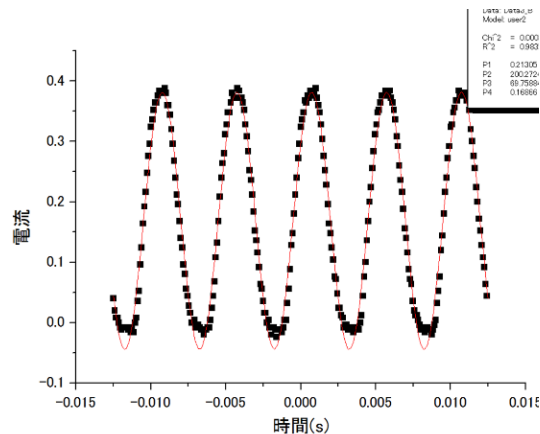


Fig6 観測した波形

ンジェネレータ (WF1973) で任意波形を作成した (Fig5を参照)。Fig6は、ホール素子を使って観測した測定データである。周波数が 200.28 ± 0.06 Hzと観測されたためFETによる電流コントロールができていると考える。

5.まとめ

BEC生成およびACコイルを共存させるのためQUIC磁気トラップを作成する。今回の設計では、最大500 mG/cmを印加するためのコイル配置を構成できた。また、FETを用いて200 Hzの電流変化を実現した。今後は、作成したQUIC磁気トラップ中でBECを生成し、AC磁場をかけ続けることによって量子乱流まで発展させていくことを目指す。

6. 参考文献

1) E. A. L. Henn *et al.*, Phys. Rev. Lett. 103, 045301 (2009).