

量子乱流生成にむけた AC コイルシステムの開発

日大生産工 竹部 孝翼 日大生産工 山崎 優作
 日大生産工(院) 瀧澤 航平 日大生産工(院) 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. 研究背景

量子乱流とは、ボース・アインシュタイン凝縮体 (BEC) や超流動液体ヘリウムなどの超流動中に形成される、量子化された渦が複雑に絡み合う非線形な流れである。各渦は離散的な循環を持ち、従来の連続的な乱流とは異なり、明瞭に観測・制御できる量子スケールの構造である。近年、量子乱流の研究は、量子流体の基礎理解や量子シミュレーションへの応用において重要な役割を果たしている。

2. 研究目的

本研究では、BEC 中に外部励起を加えることで渦を多数生成し、量子乱流状態を実現することを目的とする(1)。そのための一環として、BEC 中に周期的な磁場勾配を印加できる AC コイルシステムを開発する。Fig1 は、QUIC 磁気トラップと AC コイルの配置図である。AC コイルを QUIC 磁気トラップに組み合わせることで、0～500mG/cm の磁場勾配を時間的に変化させる装置を構築することを目指す。

本発表では、ACコイルシステムの設計、製作過程、動作確認の結果について報告する。

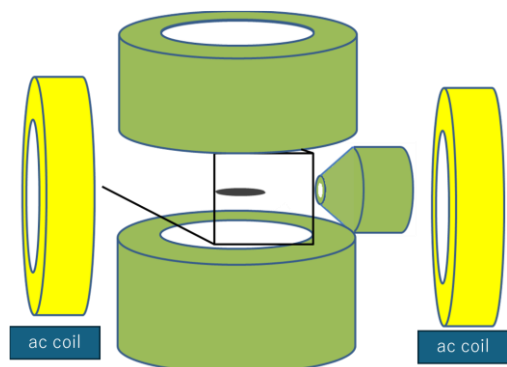


Fig.1 QUIC 磁気トラップと AC コイルの配置

3. 本研究の流れ

Fig 2 は、量子乱流プロジェクトの大まかな流れである。まず、磁気光学トラップ (MOT) を用いて、ヘルムホルツ配置のコイルによる四重極磁場と 6 方向からの円偏光レーザー照射によって、 ^{87}Rb 原子をレーザー冷却し、数百 μK 程度まで温度を下げながら原子を捕獲する。

次に、捕獲した原子集団を QUIC 磁気トラップで形成した調振動子型ポテンシャルで捕獲し、原子密度を上げる。Fig 1 に示すように、QUIC 磁気トラップは、Ioffe コイルと 2 つの四重極コイルで構成された磁気トラップである。

その後、蒸発冷却を行い、高エネルギーの原子をラジオ波(数十 MHz~kHz まで掃引)で選択的に除去することで、原子集団全体の温度をさらに低下させ、原子密度を上昇させる。最終的に、原子の熱運動が抑制され、数十～数百 nK という極低温状態に達したとき、BEC が生成される。

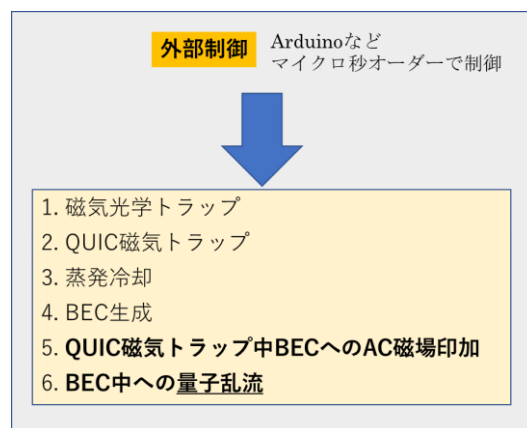


Fig2 研究の流れ。

この項目以外にも、冷却過程としては偏光勾配冷却や光ポンピングなどの過程もあるが、今回は省略する。

QUIC 磁気トラップ中で BEC を捕獲し、本研究で設計した AC コイルをコイル間隔 30cm で設置し、AC 磁場により BEC に周期的に外部刺激を加えることで、外部励起を誘発し渦の生成と量子乱流の発現を目指す。

また、本研究では BEC システム全体を制御するために Arduino を外部制御装置として用い、制御信号などの時間制度を評価した。

4. 進捗状況と成果

Fig3 は、30 cm にコイル間隔をした時の磁場勾配を測定した様子である。外部励起を与えるための AC コイルの設計と配置を行い、コイル間隔を 30.00cm に設定することで、実験条件に適した磁場変調が可能となるよう構築した。加えて、AC コイルによって発生する磁場の強度を実測し、その空間分布を可視化することにも成功している。Fig4 は磁場の測定結果を表したグラフである。電流値を変えて (1.00 A, 5.00 A, 10.00 A)



Fig3 AC コイル磁場測定時の様子

磁場勾配を測定することによって、電流と磁場勾配の関係が、線形であることが分かった。(1)式は、その関係を表している。

$$\text{磁場勾配} = 113.18 \cdot I + 13.392$$

(1)

我々が理想とする、500mG/cmを測定するには 4.30 A を流せば良いことがこの結果によりわかった。

5. 磁場勾配の変調

外部制御をおこなって、磁場勾配を変調しようとしている。その外部制御の一つとして現在、Arduino というハードウェアを用いて

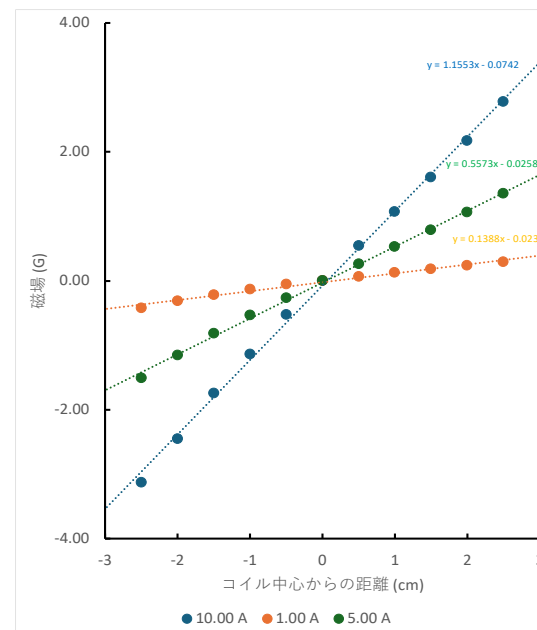


Fig4 磁場の測定結果

sin 波形を出力できるかを試みている。

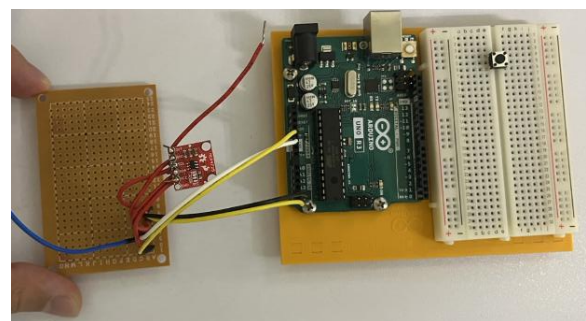


Fig5 Arduino の写真

6. 今後の課題

AC 磁場の周波数・振幅制御を構築し、BEC 内での渦生成の観察に向けた検証を行う。また、実験系の安定性を高めるとともに、観測装置との同期をとり、量子乱流の構造解析を可能にするシステムを構築する。

参考文献

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