

磁気光学トラップの開発

－量子乱流生成に向けて－

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. 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、磁気光学トラップ（fig1参照）でドップラー冷却という技術を用いて原子を冷却、捕獲しQUIC磁気トラップ（fig1参照）中でBECを生成する。そこに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磁気光学トラップの作成である。

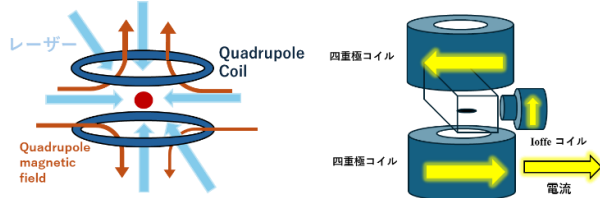


Fig1 磁気光学トラップ、QUIC磁気トラップ

四重極磁場と6つの円偏光レーザーを離調させることによって原子の運動エネルギーを奪い捕獲、冷却させる。ドップラー冷却という原子集団の遷移周波数付近のレーザー光を照射し、光子の持つ運動量を原子に与え、原子集団のエネルギーを奪うことで、冷却を行う。これは、レーザー光を前後か軸上に対向させて照射する。レーザー光は原子の共鳴周波数に対して負に離調をとっている。動てる原子に対して原子の進行に対向するレーザー光をよく吸収し減速される（ドップラー効果）ため原子を冷却させることを可能にする。TopticaDLX110(FIG2参照)をメインレーザー一にして光学系を築いていく。



Fig 2 TopticaDLX110

Fig3は、光学系概略図であり、実際に構築した光学系は、Fig4である。アイソレーターやレンズを組み込むことによって戻り光を防ぎ、シングルモードでレーザー発振ができる光学系を築いている。

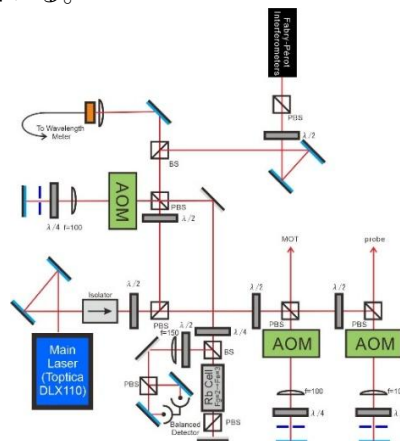


Fig 3 光学系概略図

Development of magneto-optical traps

－ Towards quantum turbulence generation －

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

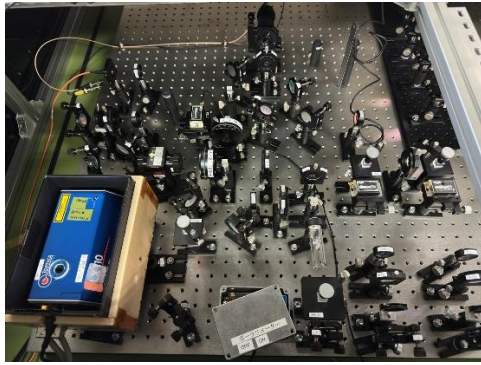


Fig4 光学系

波長計やファブリペローを用いることでレーザーの波長、状態を確認しながら780.247nm付近の波長を目指していく。Fig5参照は、 ^{87}Rb 原子の遷移周波数である。波長を合わせることで原子の遷移周波数に近づけることが出来る。ルビジウムガラスセルに通したのちポーラリメーターで光の強度の差を見ることで分光信号を確認する。音響光学素子（AOM）を用いて周波数を離長させ光強度などをフレキシブルに変えてレーザー冷却を実現させる。

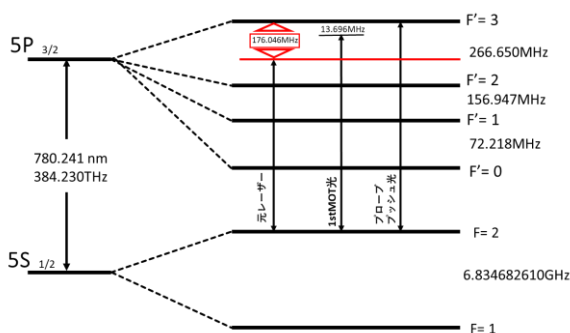


Fig5 各レーザーの波長

3. 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。

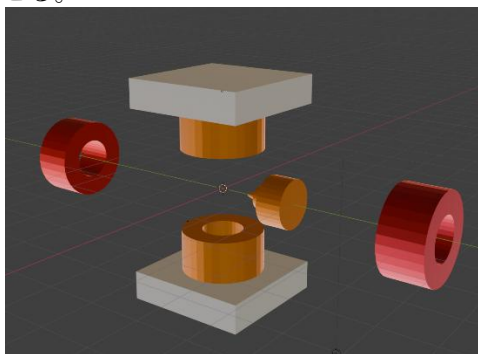


Fig6 ACコイル配置

Fig6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。

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。

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

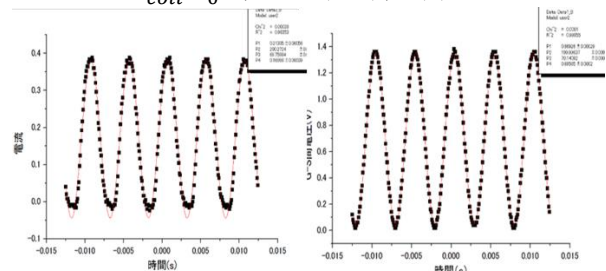


Fig7 指示した波形、観測した波形
電流コントロールを行うためにFETを用いる。FETを操作する信号は、NF社のファンクションジェネレータ(WF1973)で任意波形を作成した。Fig7は、ホール素子を使って観測した測定データである。周波数が 200.28 ± 0.06 Hzと観測されたためFETによる電流コントロールができていると考える。

3 まとめ

BEC生成を行うための磁気光学トラップの作成を行った。今回の設計では ^{87}Rb 原子をドップラー冷却させる為の機構を設計、作成することが出来た。今後は、作成した磁気光学トラップ、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。

参考文献

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