# <sup>87</sup>Rb ボース・アインシュタイン凝縮体の生成および諸特性の評価

## Makeing and assessment of characteristics of a <sup>87</sup>Rb Bose-Einstein Condensate

○國吉大輔1, 柴山均1, 森澤信吾2, 荒井俊介2, 加藤敦史2, 三嶋智記2, 鷲尾和久2, 桑本剛3

#### 1. はじめに

我々は極低温気体原子を用いた量子メモリ実現の ための基礎研究として、<sup>87</sup>Rb 原子気体のボース・アイ ンシュタイン凝縮体(以下 BEC)へ光を保存し、波長や 位相等の光の性質を保持したまま再生することを目指し ている。今回は安定的なボース・アインシュタイン凝 縮体の生成に成功したので報告する。

BEC は最低エネルギー準位を占める粒子数がマクロな数になったものであり、現在までその物性やコヒーレント物質波源としての応用に関する研究が盛んに行われている。原子気体においては 1995 年に実験的に実現された。[1]

### 2. BEC の生成プロセス

BEC の生成に必要な条件は、冷却によって熱的 ド・ブロイ波長、すなわち原子の波束の幅が十分に 広がり、原子密度が原子の波動関数が重なり合うほ どに高いことである。

一般的なボース・アインシュタイン凝縮体の生成 プロセスを以下に示す。

- 磁気光学トラップ(MOT):磁場とレーザー光に よって 10<sup>9</sup>個程度の原子を冷却・捕獲する。Rb の場合、ここでの到達温度の限界は 150µK 程度 である。
- ② 偏光勾配冷却:無磁場中で共鳴周波数から 70MHz ほど負に離調したレーザー光を、数 ms 照射することで数 10µK まで冷却する。
- 磁気トラップ:磁場のみを用いて原子を捕獲し 直す。
- ④ 断熱圧縮:磁気トラップのポテンシャルをタイトにして原子集団を圧縮し、密度を高める。
- ⑤ 蒸発冷却:磁気トラップにRf波を照射すること

で運動エネルギーの高い原子を選択的に排除し、 原子集団の温度を大きく下げる。Rf 波の周波数 は16MHzから0.74MHzまで20sかけて掃引す る。

#### 3. 実験装置

Fig.1 に実験装置の概略を示す。実験系は主に光 源(レーザー系)と真空系に分けられる。BEC は超高 真空の環境下で生成される。

レーザーは Rb の共鳴周波数をふまえ、2 台の外 部共振器型半導体レーザーと音響光学素子(AOM) を用いて 5 種類の光を用意している。

真空系に関しては差動排気を行い、高真空領域と 超高真空領域を用意した。Rb ディスペンサーから 高真空領域に供給された Rb 原子を、高真空領域に ある第 1MOT に一旦捕獲し、それを超高真空領域に ある第 2MOT に輸送した。これは、バックグラウン ドから原子がロードできるような真空度では蒸発冷 却のステップで冷却された原子を磁気トラップ内に 留めておくことができず、かといって蒸発冷却が十 分可能な真空度では MOT に原子をロードすること が困難なためである。原子の輸送は、第 1MOT に捕 獲された原子集団にレーザービームを照射し、第 2MOT 方向へ押し出すことで行った。

磁場コイルにはQUICトラップと呼ばれる方式を 用いた。四重極コイルによって発生した磁場に Ioffe コイルと呼ばれるテーパー形状のコイルによる磁場 を加えることで、非常にタイトなポテンシャルが形 成できる。

4. 生成した BEC の観察

Fig.2 に TOF (Time of Flight) 法による、BEC

1:日大理工・院・量子 2:日大理工・学部・物理 3:日大・量科研



Fig.1 実験装置の概略:実線矢印はレーザー光を示す。

の時間発展の様子を示す。TOF 法とは、原子をトラ ップから解放して、任意時間だけ拡散させた後にレ ーザー光を照射し、原子による光の吸収を CCD カ メラで撮影するものである。TOF 法は拡散した原子 の空間的分布を調べる手法であるが、解析から、 BEC の磁気トラップ中での運動量分布を知ること ができる。Fig.2 の黒いスポットが生成された BEC であり、画像下側が重力方向、TOF 時間はそれぞれ 1,7,12,17,23ms 時のものを示した。この画像の BEC の原子数は、おおよそ 1×10<sup>5</sup> 個である。

Fig.2 を見ると、黒いスポットは楕円形で輪郭が くっきりとしており、靄のような拡散が無いことが わかる。これは光学密度が通常の原子集団ではガウ ス型の関数になっているのに対し、BEC では非常に 細いピーク状になっているためであり、BEC が生成 された証拠である。

また時間に伴い横方向の楕円から縦方向の楕円に 変わっていることがわかる。これは非等方的なトラ ップポテンシャル中にあった BEC の平均場エネル ギーが解放された結果であり、明らかに BEC の特 徴を表しているものと言える。

Fig.2 では示していないが重力方向以外の横方向 にも原子が移動しており、これは BEC の生成時に 磁場が完全には消去できていないためと考えられ、 同様に奥行方向への移動も予想される。



Fig. 2 TOF 時間ごとの BEC のふるまい

#### 5. 結論と将来展望

このように、現在までに BEC を安定的に生成す ることに成功している。今後は実験装置に更なる改 良や工夫を加え、光の保存・再生についての研究や 超流動体としての BEC の諸物性についても研究を 行っていく。

## 〈参考文献〉

M. H. Anderson, J. R. Ensher, M. R. Matthews,
C. E. Wieman, and E. A. Cornell, Science 269, 198 (1995)
[2]伊藤健一, 修士論文(2001)
[3]鳥井寿夫,博士論文(2000)