

平成21年 6月11日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008年

課題番号：19740248

研究課題名（和文） ボース凝縮体を用いた内部自由度を持つ量子渦生成

研究課題名（英文） Quantum vortices of Bose-Einstein condensate with internal degrees of freedom

研究代表者

東條 賢 (TOJO SATOSHI)

学習院大学・理学部・助教

研究者番号：30433709

研究成果の概要： 多成分量子渦生成のために必須である2つの重要な実験を行った。スピン2の内部自由度を持つ凝縮体(BEC)を用いた実験の全ての基礎となる非弾性衝突の定量的評価を実験および計算を行い、非弾性衝突パラメータを初めて見積った。また2成分BECの相互作用による相分離のダイナミクスを外場に対して安定なスピン状態で初めて行い、多成分BECを用いたダイナミクス解明へ向けた実験結果を示すことができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,500,000	0	1,500,000
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	540,000	3,840,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：原子・分子・量子エレクトロニクス・プラズマ

キーワード：量子エレクトロニクス、ボース凝縮体

1. 研究開始当初の背景

(1) スピン2のBECでは多様な緩和過程が予想されている高次量子渦の研究が可能である。理論的に予想されていたが、実験では崩壊を観測されていたが渦の配列化やスピン自由度を用いた渦は実現されていなかった。

(2) スピン2のBECを用いた実験では原子の非弾性衝突によるロスが大きいことは定性的にはわかっていた。内部自由度を利用する研究には定量的な知見が不可避であるが、内部スピン状態を考慮に入れた定量的な非弾性衝突の報告はこれまでなかった。スピン2の2体衝突においては同種異種の組み合わせを考えると9通りがあり、全てを再現性よく

評価することが要求されるために装置を高安定化する必要があった。また混合BECにおける系全体の振舞いについてはスピン自由度を制限された系や異種原子の実験報告はあるが、同種原子の内部スピン状態の混合実験はまだない。

2. 研究の目的

スピン2を用いる多成分BEC実験のための基礎的かつ重要なダイナミクスの解明を経て、スピン2状態の内部自由度を持つ量子渦生成を目標とした。スピン2を用いる全ての研究の基礎となる衝突ダイナミクスの解明、主にスピンに依存する非弾性衝突の定量的評価と混合BECの時間発展ダイナミクス

の解明を目的とした。

3. 研究の方法

^{87}Rb $F=2$ BECを光トラップに閉じ込め、rf波とマイクロ波により多成分BECを作る。さらに磁場反転によって高次量子渦を生成する。最終的には保持時間を変えて量子渦の形状を吸収撮像法によって破壊測定を行う。まず混合スピン 2BEC の評価をする必要があるため、具体的には以下の 2 種の実験を行った。

(1) まずスピン 2 の全ての 9 種の組み合わせの BEC の形状および原子数の時間発展の観測と計算による定量的評価を行う。

(2) 混合 2 成分の BEC をマイクロ波遷移を利用して作る。十分に大きな磁場にすることで他のスピン状態へのコヒーレントな遷移を阻止し、系全体がどのような振る舞いをするかを観測する。

4. 研究成果

(1) 非弾性衝突の評価

①まず 2 成分 BEC の非弾性ロスの評価を行った。非弾性衝突がスピン状態および原子数比にも依存することを定量的に示した(図 1)。

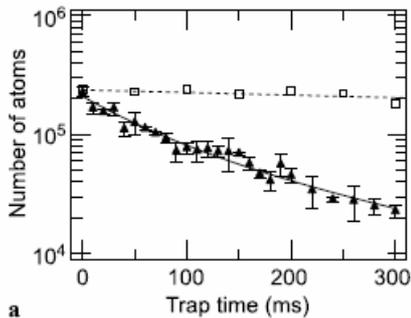


図 1 原子数変化 $m=+2$ (▲), $m=-2$ (□)

②次にスピン 2 の 9 通りの組み合わせを用意

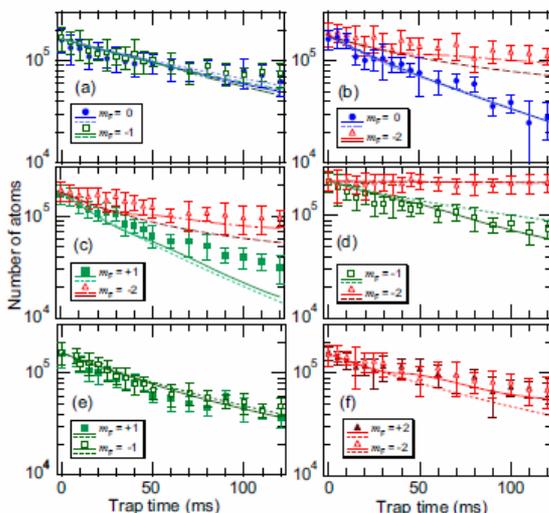


図 2 スピン 2 の混合 BEC の原子数変化

して非弾性衝突の定量的な評価を行った。これらの結果より、2 つの衝突パラメータで表せることが初めてわかりそのパラメータを見積った(図 2)。

(2) 2 成分 BEC の時間発展

スピン 2BEC に対し、スピン 1 状態を混ぜた 2 成分 BEC の時間発展を観測した。磁場勾配の影響によりスピン状態に依存した相分離が現れた。このことより磁場の影響を無視できる $|F=2, m=0\rangle$ と $|F=1, m=0\rangle$ の 2 状態を使って対称的な相分離を初めて観測できた。

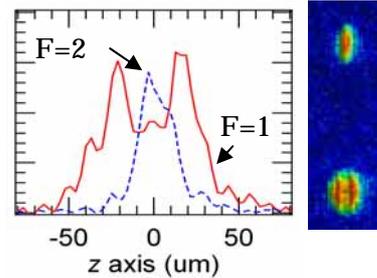


図 3, 2 成分 BEC の相分離. 保持時間は 50ms

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① S. Tojo, A. Tomiyama, M. Iwata, T. Kuwamoto, and T. Hirano, “Collision dynamics between stretched states of spin-2 ^{87}Rb Bose-Einstein condensates”, Applied Physics B, 93 巻, 403-407 ページ, (2008 年) (査読あり)

[学会発表] (計 11 件)

① 林太郎, 田邊達良, 井上恵美子, 東條賢, 平野琢也, “Clock statesにおける ^{87}Rb BEC の相分離”, 日本物理学会 第 64 回年次大会, 2009 年 3 月 30 日, 立教大学 (東京都)

② 東條賢, 桑本剛, 平野琢也, “スピン自由度を持つ希薄原子気体のボースアインシュタイン凝縮”, レーザー学会学術講演会 第 29 回年次大会, 2009 年 1 月 10 日, 徳島大学 (徳島県)

③ 田邊達良, 林太郎, 井上恵美子, 東條賢, 平野琢也, “Dynamics of ^{87}Rb $F=2$ BEC in one dimensional optical lattice”, Symposium on Physics of Quantum Technology, 2008 年 11 月 27 日, 奈良県新公会堂 (奈良県)

④ 林太郎, 田邊達良, 井上恵美子, 東條賢, 平野琢也, “Dynamics of ^{87}Rb binary Bose-Einstein condensates in clock states”, International Symposium on Physics of Quantum Technology, 2008年11月27日, 奈良県新公会堂 (奈良県)

⑤ 田邊達良, 林太郎, 井上恵美子, 東條賢, 平野琢也, “一次元光格子中の ^{87}Rb F=2 BEC のダイナミクス”, 日本物理学会 2008 年秋季大会, 2008 年 9 月 20 日, 岩手大学 (岩手県)

⑥ 東條賢, 林太郎, 田邊達良, 井上恵美子, 平野琢也, “Collision dynamics of ^{87}Rb spin-2 Bose-Einstein condensates”, 第 4 回量子情報未来テーマ開拓研究会, 2008 年 9 月 5 日, ホテルサンライズ知念 (沖縄県)

⑦ 東條賢, 林太郎, 田邊達良, 平野琢也, “Inelastic collision dynamics of ^{87}Rb spin-2 Bose-Einstein condensates”, The 21st International Conference on Atomic Physics(ICAP2008), 2008 年 7 月 31 日, ストーズ (アメリカ)

⑧ 東條賢, 林太郎, 田邊達良, 平野琢也, “ ^{87}Rb spin-2 BEC の衝突ダイナミクス”, 日本物理学会 第 63 回年次大会, 2008 年 3 月 25 日, 近畿大学 (大阪府)

⑨ 林太郎, 東條賢, 田邊達良, 平野琢也, “2 成分 ^{87}Rb BEC のダイナミクス”, 日本物理学会 第 63 回年次大会, 2008 年 3 月 25 日, 近畿大学 (大阪府)

⑩ 東條賢, 林太郎, 田邊達良, 桑本剛, 平野琢也, “Dynamics of spin-2 Bose-Einstein condensates with internal degrees of freedom”, International Symposium on Physics of New Quantum Phases in Superclean Materials (PSM2007), 2007 年 10 月 29 日, 長良川国際会議場 (岐阜県)

⑪ 東條賢, 富山彰夫, 岩田正文, 桑本剛, 平野琢也, “Dynamics of Bose-Einstein condensates in optical trap with internal degrees of freedom”, CLEO/Europe-IQEC 2007, 2007 年 6 月 18 日, ミュンヘン (ドイツ)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]
○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東條 賢 (TOJO SATOSHI)
学習院大学・理学部・助教
研究者番号: 30433709

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし