

微弱な磁気双極子相互作用による ボース・アインシュタイン凝縮体スピンの空間構造形成： 磁性気体としての冷却 Rb 原子

衛藤雄二郎 〈学習院大学理学部物理学科〉

斎藤弘樹 〈電気通信大学大学院情報理工学研究科〉

平野琢也 〈学習院大学理学部物理学科〉

異方的な長距離力である磁気双極子相互作用は、磁性を持つ流体や固体の磁化における複雑なパターン形成など幅広い領域において重要な効果である。近年では、希薄な原子気体である中性原子気体ボース・アインシュタイン凝縮体 (BEC: Bose-Einstein condensate) においても、磁気双極子相互作用が大きな注目を集めている。通常、希薄気体における磁気双極子相互作用は微弱であり、熱揺らぎなどの効果により覆い隠されてしまう。しかしながら、BEC の持つ高い空間コヒーレンスや系の高い制御性を利用することにより、他の効果に隠されることなく、磁気双極子相互作用による BEC のダイナミクスを観測することが可能となる。

中性原子気体 BEC の重要な特徴の 1 つは、光を用いて閉じ込めポテンシャルを作り出すことによって、スピンの自由な方向を向くことができる点にある。このスピン自由度を持った BEC (スピノール BEC) は、2 体のスピン交換衝突やスピンスクイージングなどの豊富な物理を提供するだけでなく、高感度量子センサーや量子情報技術等、広範囲な応用を可能にする興味深い研究対象である。更には、磁気双極子相互作用するスピノール BEC を考えた場合、スピンと軌道の自由度の結合や BEC 界面でのスパイク状の構造形成といった、アインシュタイン・ドハース効果や超固体とも関連する多彩な現象がこれまでに予言されている。

最近我々は、 ^{87}Rb 原子 BEC のスピンの空間分布の自由度を利用することで、90 mG のバイアス磁場環境において、微弱

な磁気双極子相互作用による効果を観測することに成功した。磁気双極子相互作用は、バイアス磁場中でスピンの状態に依存した僅かな有効磁場を作り出すことが知られている。ここでいう有効磁場とは、周囲のスピンの磁気双極子による磁場のうち、ラーモア歳差運動による平均化後もスピンへの寄与が残る磁場のことである。本実験で使用した ^{87}Rb 原子の場合、生成される有効磁場の大きさは $10\ \mu\text{G}$ 程度しかなく、通常 90 mG のバイアス磁場中で、そのような小さな磁場の変化を観測することは容易なことではない。しかしながら、我々は、BEC の高い空間コヒーレンスを利用し、空間的に不均一なスピン分布を作り出すことで、微弱な大きさの有効磁場による影響を観測することに成功した。我々が着目した点は、有効磁場の大きさは小さいが、BEC が占有する数十 μm の小さな領域においてその向きを反転させることができれば、数 $\mu\text{G}/\mu\text{m}$ 程度の大きな磁場勾配が生成できるという点である。

実験では、ラジオ波によるスピン回転とバイアス磁場方向への適切な大きさの磁場勾配の印加により、螺旋状に分布するスピン状態を生成した。この螺旋状スピンによって作り出される空間変調された有効磁場が、バイアス磁場との相互作用のみでは生じえないスピンの空間構造を作り出す。我々の結果は、非常に微弱な磁気双極子相互作用が、スピン状態によっては磁場中のスピノール BEC のダイナミクスに大きな影響をもたらすことを示すものである。

—Keywords—

スピノール BEC :

スピン自由度を持つボース・アインシュタイン凝縮体。例えば、 ^{87}Rb 原子は電子スピン $1/2$ と核スピン $3/2$ を持ち、基底状態は合成スピンの大きさが $F=1$ と 2 の超微細準位に分裂する。 $F=1$ の場合 3 つ、 $F=2$ の場合は 5 つの磁気副準位を持つ。磁場によって凝縮体を保持する場合は、特定のスピンの状態の原子しか閉じ込めることができない。一方、光を用いると、磁気副準位によらず原子を閉じ込めることが可能である。そのため、スピンは自由な方向を向くことができ、スピン自由度を持った多成分凝縮体となる。