T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ユウロピウム原子のボース・アインシュタイン凝縮
Title(English)	Bose-Einstein condensate of europium atoms
著者(和文)	宮澤裕貴
Author(English)	Yuuki Miyazawa
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12053号, 授与年月日:2021年9月24日, 学位の種別:課程博士, 審査員:上妻 幹旺,藤澤 利正,金森 英人,西田 祐介,相川 清隆
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12053号, Conferred date:2021/9/24, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（博士課程）

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第　　号		学位申請者氏名		宮澤　裕貴	
論文審査 審査員		氏　名	職　名		氏　名	職　名
	主査	上妻　幹旺	教授	審査員	相川　清隆	准教授
	審査員	藤澤　利正	教授			
		金森　英人	准教授			
		西田　祐介	准教授			

論文審査の要旨（2000字程度）

レーザー冷却技術を活用することで、1995年に中性原子気体のボース・アインシュタイン凝縮が実現されて以来、量子縮退気体を対象とした物性研究が精力的になされてきた。当初は、最外殻に単一の価電子を有するアルカリ原子が研究対象となっていたが、近年になり、Cr、Dy、Er といった複数価電子に由来した大きな磁気モーメントを有する原子種が注目されるようになってきた。これらの原子種のボース凝縮体中では、従来のアルカリ原子気体の物性を特徴づける短距離・等方的なｓ波散乱相互作用に加え、長距離・異方的な磁気双極子相互作用が発現する。これまでにｄ波崩壊や量子液滴（超固体）といった新規な物性現象の観測が実現されている。

こうした背景の中、本論文は、これまでレーザー冷却がなされたことのないユウロピウム(Eu)という新しい原子種に着目し、そのボース凝縮体を生成するとともに、各種の物性評価を行うことを主題としている。Eu は $7\mu_B$ という大きな磁気モーメントをもち、かつ Cr, Dy, Er とは異なりボソン同位体が超微細構造を有するため、これまで実現されたことのないゼロ磁場下におけるマイクロ波誘起 Feshbach 共鳴を観測できる可能性が高い。ゼロ磁場下において磁気モーメントを持つ原子がボース凝縮すると、スピンと軌道角運動量との結合をとおしスピンテクスチャや超流動渦を含む基底状態量子相が現れると理論的に予想されているが、上記したマイクロ波誘起 Feshbach 共鳴は、こうしたゼロ磁場下での量子相探索に有用と考えられている。

論文は「Bose-Einstein condensate of europium atoms」と題し、全８章から構成されている。

第１章「Introduction」では、大きな磁気モーメントを有する原子気体のボース凝縮体に関する先行研究について記載するとともに、本博士論文研究において Eu 原子を選択した理由について述べている。

第２章「Europium properties」では、Eu 原子がもつ物理的諸性質について、他の原子種との比較を交えつつ記述している。

第３章「Strategy for laser cooling of europium」では、Eu がレーザー冷却に適した基底状態からの光学遷移を持たないという問題を解決する新しい手法を提案している。具体的には、Eu 原子を一旦準安定状態に光ポンピングし、準安定状態でレーザー冷却を行いつつ、基底状態に原子を連続的に戻し、狭線幅光学遷移を用いて基底状態でもレーザー冷却を施すことで問題が回避できるとしている。ここでは基底状態の冷却遷移における分枝を考慮し、分枝比が大き

い場合でもレーザー冷却が可能となるリパンプ機構についても提案している。
第4章「Experimental setup」では、Euのボース凝縮体生成のために構築した真空装置、および、レーザー光源について説明している。
第5章「Narrow-line magneto-optical trapping for europium」では、第3章で提案したEuのレーザー冷却手法を実装し、原子数・温度・準安定状態への分枝比・位相空間密度といった磁気光学トラップの諸性質に関する測定結果について述べている。最終的に温度 6μK 、3.3×10^{7} 個の極低温原子気体を得たこと、対応する位相空間密度が 3×10^{-5} であることを記載している。
第6章「Optical dipole trap for europium」では、基底状態Euの分極率をsum-over state formulaを用いて推定した後、第5章で得られた極低温Eu原子気体を波長1550nmのレーザー光で作られた光トラップに捕捉した結果について述べている。捕捉された原子数は1.4×10^{6}個、温度 50μK であり、ボース凝縮体生成に向け、十分な数と温度の原子を光トラップに導入できたことを示している。
第7章「Bose-Einstein condensate for europium」では、光十字トラップ中での蒸発冷却を通し1.5×10^{4} 個のボース凝縮体を生成した実験結果について述べている。捕捉された凝縮体のスピンの方向を変化させることで、トラップから開放された原子集団がスピンの方向に引き伸ばされる形で拡散する実験結果について記載をしており、このことから得られた凝縮体中で磁気双極子相互作用が発現していることを結論付けている。またこの結果から磁気双極子相互作用のs波散乱相互作用に対する比 ε_{dd} が0.44、散乱長が $135a_B$ と見積もられることが記載されている。更に、印加する磁場の大きさを変化させることで、Feshbach共鳴スペクトルを得た結果について説明するとともに、印加した磁場の値に応じてトラップから開放されたボース凝縮体の形状が変化したことから、散乱長の制御が可能であることを示している。
第8章「Conclusion and outlook」では本研究の実験結果を端的にまとめ、現在の実験装置について改良すべき点を述べるとともに、超弱磁場下での量子相観測に向けた今後の展望について記述をしている。

このように学位申請者は、これまでレーザー冷却がなされたことのないEu原子に対し、独自のアイデアに基づきレーザー冷却を実現するとともに、ボース凝縮体を世界で初めて生成することに成功し、磁気双極子相互作用の発現や、Feshbach共鳴スペクトルの取得にも成功している。新規性の高い研究が数多くなされており、また実験技術、実験データ解析能力、理論的考察力、その全てにおいて卓越した能力をもっているといえる。よって、博士（理学）の学位に十分値するものと考える。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。