

## 論文審査の結果の要旨

論文提出者 吉川豊

レーザー技術の発展は、気体原子を 100 万分の 1 ケルビン以下の極低温にまで冷却することを可能にした。このような極低温の原子は、波動性が顕著に現れるため原子波(物質波)とも呼ばれる。また近年では物質波をさらに冷却して量子縮退させる技術も確立し、物質波を用いた基礎学問領域から応用技術領域にわたる広範な研究が盛んに行われている。その中で吉川氏は超放射ラマン散乱過程に着目し、物質波の内部状態および外部(運動量)状態をレーザー光によりコヒーレントに制御する実験的研究を行った。

超放射とは、多数の発光体から放出される光がどの発光体から放出されたものかを区別できないことに起因する協同現象として理解されている。たとえば、個々の発光体が独立に光を放射する通常の等方的な発光に対し、超放射は発光体の空間分布形状に依存する非等方的なものとなる。また発光強度も、通常発光では発光体の数に比例した強度から次第に減衰していくのに対し、超放射では発光体数の二乗に比例するピーク強度をもつ速やかに減衰するものとなる。

なかでも超放射ラマン散乱は、入射させるレーザー光の周波数、偏光等により、散乱過程の中断、再開、反転等を行うことができる。これは、関与する気体原子の内部状態、外部状態をレーザー光により自在に操ることが可能であるということであり、量子情報処理をはじめとした様々な研究分野への応用が期待されている。

このような点に着目した吉川氏は、冷却された原子集団、およびさらに冷却して量子縮退領域、ボース・アインシュタイン凝縮した原子集団を用いて、超放射ラマン散乱による物質波のコヒーレント制御についての詳しい実験的研究を行った。

まず、超放射ラマン散乱現象の物理学的な起源を探るために、ボース・アインシュタイン凝縮体と凝縮していない冷却原子集団において系統的な実験、および比較を行った。その結果、超放射現象は量子凝縮相に特有の現象ではなく、冷却原子集団でも起こることを確認した。さらに理論的な考察から、超放射ラマン散乱現象は励起光と散乱光によって原子集団内に書き込まれるコヒーレンスグレーティングにより説明できることを示し、シミュレーションにより実験結果を再現した。

このように、超放射により冷却原子集団内にはコヒーレンスグレーティングができ上がる。そしてグレーティングの寿命は発光体が集団内で移動する速さで決まる。したがって十分に冷却した発光体、特にボース・アインシュタイン凝縮体ではこのグレーティングは長持ちする。この長寿命な点と、超放射ラマン散乱過程は人為的な制御が可能であることに着目した吉川氏は、この原子集団内に光のもつ情報を貯蔵し再生ができるのではないかと、すなわち量子メモリーとして利用できるのではないかとという発想に至った。そして、実際に光のもつ情報の書き込みと読み出しに成功した。さらにこの手法では、一つの原子集団内に複数個の情報を記録することも原理的には可能であることを予想した。そして吉川氏は、実際に二種類の情報を貯蔵・再生できることも確認した。学術的にも今後の応用に向けても大変価値の高い研究成果である。

論文は、第一章から第三章までが研究の背景や超放射、ボース・アインシュタイン凝縮の理論的な枠組み、第四章から第六章までが実験についての詳細な解説にあてられており、

そして第七章がまとめである。いずれの章も必要な事柄が詳しくかつ分かりやすく記述されており、学位申請論文として十分なものと考えられる。

また、本申請論文の第四章から第六章で記述された光と物質波のコヒーレント制御についての研究成果は、既に物理学の専門雑誌に公表されている。

したがって、本審査委員会は博士(学術)の学位を授与するにふさわしいものと認定する。