

論文審査の結果の要旨および担当者

| | |
|------|---------------|
| 報告番号 | ※ 甲 第 13593 号 |
|------|---------------|

氏 名 大橋 輝道

論文題目

原子気体ボース・アインシュタイン凝縮体におけるトポロジカル相
と輸送現象
(Topological Phase and Transport Phenomena in Cold Atomic
Bose-Einstein Condensates)

論文審査担当者

| | | | |
|----|-------|-----|--------|
| 主査 | 名古屋大学 | 教授 | 川口 由紀 |
| 委員 | 名古屋大学 | 教授 | 田仲 由喜夫 |
| 委員 | 名古屋大学 | 教授 | 張 紹良 |
| 委員 | 名古屋大学 | 准教授 | 小山 剛史 |
| 委員 | 京都大学 | 教授 | 佐藤 昌利 |

論文審査の結果の要旨

大橋輝道君提出の論文「原子気体ボース・アインシュタイン凝縮体におけるトポロジカル相と輸送現象」は、原子気体ボース・アインシュタイン凝縮体 (BEC) における非エルミート性が誘起するトポロジカル物性および輸送現象を明らかにしている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、本研究の研究背景について述べられている。

第2章では、原子気体BECの基礎理論、および非エルミート系の数学的事項について述べられている。内部自由度を持ったBECに対する平均場理論から始まり、準粒子励起を記述するボゴリューボフ理論、およびそれが本研究の主題となる非エルミート系となることが説明されている。さらに、非エルミート演算子の固有値・固有状態の性質や、エルミート系との違い、例外点が出現する条件、などが詳しく述べられている。

第3章では、1次元BECのトポロジカル相を特徴付けるトポロジカル不変量の一般化がまとめられている。トポロジカル不変量は一般に、エネルギーギャップのあいた系でのみ定義可能であるが、本研究では、エネルギーギャップの閉じる例外点の存在下においてもトポロジカル不変量が定義できることを示した。さらに、バルクのトポロジカル数により保護された局在状態が系の端に出現することを数値計算により示し、固有値が実数・複素数にかかわらずバルク-エッジ対応が成り立つことを示した。これは、現在急速に発展しつつある非エルミート系トポロジカル相の具体的なモデル計算として重要な結果である。

第4章では、1次元の動的不安定なBECにおける輸送現象に関する研究がまとめられている。ボース凝縮を起こした系では、ポテンシャル壁で散乱される準粒子がゼロエネルギー極限でポテンシャル壁を完全透過するという顕著な性質を持つ。これは、BECが自発的にU(1)対称性の破れた系であることに由来し、ゼロエネルギー極限で準粒子波動関数が凝縮体波動関数と完全に一致するためである。本研究では、この問題を複素エネルギーを持つ準粒子に展開してトンネル問題を考えた結果、虚数方向からゼロエネルギー極限を取る場合でも完全透過を起こすこと、またエネルギーの虚部が最大となる点で完全反射を起こすことを見出した。この結果は、非エルミート系特有の複素エネルギーモードが特異な輸送特性を示す重要な例となっている。

第5章では、本研究の総括を与えている。

以上のように本論文では、原子気体BECにおける非エルミート性のもたらす物理現象を明らかにしている。これらの計算方法並びに得られた結果は、より一般的な開放量子系に対する非エルミート性のもたらす現象を包括的に理解するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である大橋輝道君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。