

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Effects of Magnetic Fields on Transverse Acoustic Impedance in Superfluid $^3\text{He-B}$
著者(和文)	秋山綱紀
Author(English)	Koki Akiyama
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10056号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:井澤 公一,吉野 淳二,田中 秀数,大熊 哲,村上 修一,奥田 雄一
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10056号, Conferred date:2016/3/26, 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

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		秋山 綱紀	
		氏 名	職 名		氏 名	職 名
論文審査 審査員	主査	井澤 公一	教授	審査員	村上 修一	教授
	審査員	吉野 淳二	教授		奥田 雄一	名誉教授
		田中 秀数	教授			
		大熊 哲	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、超流動 $^3\text{He-B}$ の表面に形成される表面束縛状態の外部磁場に対する応答を、横波音響インピーダンスの手法によって調べた実験の論文である。数十ミリテスラから 220 ミリテスラの磁場を表面に垂直に印加したとき、音響インピーダンスに小さいながら明確なドロップが現れることを見出している。論文では、この実験結果の解析から、表面束縛状態のゼロエネルギー近傍に Zeeman エネルギーに対応するエネルギーギャップが開いていることを結論付けた。論文のタイトルは「Effects of Magnetic Fields on Transverse Acoustic Impedance in Superfluid $^3\text{He-B}$ 」としており、以下の 5 章から構成されている。

第 1 章「Introduction」では、超流動 ^3He が数ミリケルビンの超低温において P 波の超流動状態に相転移することについて概観し、等方的にギャップの開く B 相の表面に表面束縛状態が形成されることを述べている。また、最近の topological 超流動の考え方から、表面束縛状態を見通しよく理解されること、および、この表面状態の準粒子が、粒子と反粒子の区別のない Majorana fermion の性質を有していることを述べている。さらに、最近の理論により予測されている表面束縛状態の磁気異方性(壁と磁場の関係)を紹介し、それに基づいて本論文の研究目的が述べられている。

第 2 章「Review of previous experiments」では、横波音響インピーダンスによる表面束縛状態の先行研究のレビューを行っている。超流体に接している壁の横波音響インピーダンスを測定することで、表面束縛状態が実験的に観測できることを述べ、実際に水晶振動子を横波モードで共振させ、その複素インピーダンスを測定することで束縛状態を捉えることができたこと、さらには、共鳴振動数を超流動 ^3He のギャップ・エネルギーに相当する値に設定することで、束縛状態を分光学的に調べることができたこと、等のこれまでの先行研究を紹介し、本研究の重要な実験的背景となっていることを強調している。

第 3 章「Experimental setup」では、超流動 ^3He の実験を遂行するための具体的実験方法について述べている。転移温度がミリケルビンの超低温であるため、銅の原子核を使った断熱消磁法を用いたことを述べ、さらに、分光学的測定における温度測定の重要性、超低温での測定の難しさを述べ、温度校正を詳細に吟味している。

第 4 章「Results and discussions」では、外部磁場を表面に垂直に印加して測定した横波音響インピーダンスの実験結果とその解析について述べている。これまでの研究から、音響インピーダンスに現れる異常は、表面束縛状態の状態密度における形状の特徴を反映することが分かっているので、解析は状態密度の特徴に対応させて行っている。本実験では、トランスデューサーの表面に特別な処理を施さない diffusive 散乱での実験であり、この境界条件では、ゼロ・エネルギー近傍の状態密度が大きくなっているのが特徴である。磁場は 220 mT まで、30~50 mT 間隔で変化させて実験し、小さな異常が見出されている。100 mT までの低い磁場でインピーダンスに見出された小さな変化は、バルクのギャップ・エネルギーの磁場による歪みによると結論づけている。磁場をさらに大きくしていくと、インピーダンスの実部、虚部に小さいながら明瞭な異常が見出された。その異常の観測された温度は磁場の増加にしたがって低温へシフトしていく。表面束縛状態の状態密度の特徴的なエネルギーと横波音波のエネルギーの対応関係を精査し、最も簡単なプロセスで磁場変化に合致するものを抽出した結果、表面束縛状態のゼロエネルギー近傍に Zeeman エネルギーに対応するギャップ(禁制帯)が発現していることが判明した。これは本研究の中心的な結果である。

第 5 章「Summary and future works」では、本研究で得られた実験結果およびその解析から得られた知見について結論としてまとめを行い、さらに残された課題、新たに提案された問題などを述べている。

以上を要するに、本論文は、超低温における超流動 ^3He の B 相の表面束縛状態の磁場効果を音響インピーダンスで初めて見出したもので、外部磁場により表面束縛状態のゼロエネルギー近傍の状態が消失していることを実験的に示したと言える。外部磁場により時間反転対称性が破れ、その結果ゼロエネルギー近傍の状態が消失したという、topological 超流動の立場からの重要な結果である。困難な実験を遂行し、興味深い実験結果を見出し、また理論的解析もきちんと行うことで ^3He -B の表面状態の理解を深めたもので、これは申請者の研究能力の高さと学識の深さを表しており、本論文は博士（理学）の学位論文に十分値すると判断される。

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。