

氏 名	藤 田 利 光 ふじ た とし みつ
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 361 号
学位授与の日付	昭 和 50 年 5 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 一 専 攻
学位論文題目	Superfluidity of Liquid He³ (液体 He ³ の超流動性)

論文調査委員 (主 査) 教授 恒藤敏彦 教授 富田和久 教授 松原武生 教授 玉垣良三

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、数年前に $m^{\circ}K$ の極低温領域で発見された液体 He³ の超流動状態を対象とし、とくにその超流動の性質を理論的に研究したものである。

金属における超伝導現象は、電子対の考えにもとづくいわゆる BCS 理論によって見事に解明された。この場合にはフェルミ面の近くで電子がスピン角運動量も軌道角運動量も 0 の状態の対を作り、この電子対が量子力学的な 1 つの状態に凝縮する。液体 He³ も電子と同じくフェルミ粒子系であり、その超流動状態も対凝縮状態と考えられ、最近までの研究でそのことが確かめられている。しかし、金属電子の場合と異なり、液体 He³ では粒子間には近接したときに強い斥力が働くため、対を作るとすると軌道角運動量が有限な状態の対になると考えられる。事実、発見された He³ の超流動相のいろいろな性質は、³P 状態の対の凝縮としてよく説明される。このような有限の角運動量をもつ対が凝縮した超流体は、一般に非等方的であり、液晶に似た複雑な性質を示す。

申請者は、この超流動性を議論するために、まず金属の超伝導現象に対してきわめて有用であった Ginzburg-Landau 方程式を ³P 対の場合、とくに He³ のいわゆる A 相の場合に拡張する仕事を行った。申請者は、A 相が ³P 対が Equal spin state に凝縮した状態であると仮定し、転移温度附近で空間的にゆるやかに変化する秩序パラメーターの従う方程式を微視的理論から導いた。得られた方程式は、秩序パラメーター、すなわち、対の 3 成分の波動関数に対する非線形連立微分方程式である。さらに申請者は、系の自由エネルギーおよび超流体の流れの密度を対の波動関数で与える表式を求めている。

求められた G. L. 方程式は非線形であり、一般的にその解を調べることはきわめて困難であるが、申請者は次に 2 つの重要な場合、すなわち、一様な流れおよび 1 本の渦糸があるときの流れに対応する解を議論している。その重要な結果としては、対の内部状態と流れとの相関があげられる。たとえば、一様な流れの場合、対の波動関数の対称軸の方向が流れの方向と一致するのが安定な状態である。

以上に要約してきた申請者の論文は、これからの液体 He³ の超流動の研究に理論的な基礎を与えたも

のであり、学位論文として審査するに十分な内容をもつものと思われる。なお、この論文は Progress of Theoretical Physics 53 (1975) No.5 に公表される。参考論文3は、液体 He^3 と同じく有限な角運動量をもつ対凝縮の期待される中性子物質について主論文と同様な研究を行ったもので、この種の研究では最初のものである。

論文審査の結果の要旨

液体 He^3 が $2.6\text{ m}^\circ\text{K}$ 以下の温度で相転移をすることが1972年に発見され、その後の研究によってこの低温側の相はA, B相とよばれる2つの相からなり、共に金属電子の超伝導状態と同じく、対凝縮状態(BCS 状態)であることが確定的になっている。液体 He^3 の場合、対の軌道およびスピン角運動量は0でなく、この点で金属電子のBCS対とは異っているが、超流動性を示すことは当然期待される。しかし、内部構造をもつ対による超流動は、超伝導や液体 He^4 の超流動とは異った複雑な性質をもつものと考えられる。申請者は、この興味ある問題を取りあげ一連の研究を行ってきたが、主論文ではとくに液体 He^3 のA相における超流動についての理論的研究を発表している。

申請者はまず、金属の超伝導現象の取扱いにおいてきわめて有効であった Ginzburg-Landau 方程式に対応するものを、このA相の場合に微視的理論から導出した。同じ問題を申請者は参考論文3において、中性子物質で期待される $^3\text{P}_2$ 対の超流動状態について行ったが、今の場合には対が ^3P のいわゆる Equal spin state に凝縮するという仮定のもとに同じ手続を用いて秩序パラメーターに対する方程式を導いている。秩序パラメーターはこの場合、3つの成分をもつ対の波動関数であり、したがって求められた G-L 方程式は、非線形連立微分方程式となっている。さらに申請者は、系のエネルギーおよび超流体の流れの密度を対の波動関数で表わす表式を与えている。なおこれは、他の研究者が予想していた形とは異り、その誤りを正している。

申請者は、えられた G-L 方程式を用いて、超流体の一樣な流れおよび渦糸による流れを議論した。一樣な流れの場合には対応する解が求められ、対の内部状態を表わす波動関数の対称軸の方向が流れの方向と一致するとき、流れが安定であることが示されている。角運動量をもつ対凝縮による超流動では、一般に対の重心運動の方向と流れの方向とは一致しない状態が可能であるが、申請者はその場合には自由エネルギーが極小でないことを指摘したのである。渦糸に対応する解を完全に求めるのはきわめて困難であるが、申請者はまずこの非等方的な超流体中に1つの直線の渦糸があったとき、循環の量子化がどのような条件になるかを示し、さらに渦糸の中心から離れた所での流れを近似的に調べ、波動関数の対称軸が渦糸と平行のときに安定であるという興味ある結果をえている。なお、申請者は、このような流れと対の内部状態との相関を実験的に研究する可能性を議論し、流れの方向あるいは渦糸の方向と磁場の方向との関係で、核磁気共鳴の共鳴周波数の変化が期待されると指摘している。

以上のように、申請者の一連の研究は、有限な角運動量をもつ対凝縮による超流動の理論を最初に展開したもので、とくに主論文は、液体 He^3 の超流動について幾つかの興味深い結論を含んでいる。また、主論文、参考論文には申請者のこの分野におけるすぐれた研究能力と学識がうかがわれる。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。