

|         |   |               |  |
|---------|---|---------------|--|
| 氏名      | 川崎 健 司  |               |  |
| 学位の種類   | 博 士 (理 学)   |               |  |
| 学位記番号   | 第 4338 号  |               |  |
| 学位授与年月日 | 平成15年 3 月25日  |               |  |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 2 項該当者   |               |  |
| 学位論文名   | 0.8マイクロメートルの超流動ヘリウム 3 薄膜の相転移現象<br>(Phase Transition Phenomena of 0.8- $\mu\text{m}$ Superfluid Helium 3 Film) |               |  |
| 論文審査委員  | 主 査 教 授 畑 徹   | 副主査 教 授 唐 沢 力 |  |
|         | 副主査 助教授 石 川 修 六   | 副主査 助教授 坪 田 誠 |  |

### 論 文 内 容 の 要 旨

液体ヘリウム 3 は、温度 2 mK 以下で超流動相転移をし、そのようになったものは超流動ヘリウム 3 という。超流動ヘリウム 3 の状態は、コヒーレンス長と呼ばれる長さで記述され、その長さは 0.1  $\mu\text{m}$  程度である。超流動ヘリウム 3 の状態とコヒーレンス長との関係を具体的に示すものの 1 つとして、代表的な長さがコヒーレンス長程度である容器中では超流動ヘリウム 3 の超流動温度が低下する、或いは超流動性自体を示さないことが挙げられる。これらのことは、実験や理論の多くの研究がなされてきた。

超流動ヘリウム 3 に現れる相として、零磁場の下で温度と圧力に応じて A 相と B 相と呼ばれる 2 相がある。コヒーレンス長程度の狭い隙間を持つ容器中では、温度や圧力に加え、その長さや形状にも応じるようになる。併し、これらについての研究は、多くなされてきたとは言えない。

本研究の目的は、コヒーレンス長程度の隙間である超流動ヘリウム 3 の状態を実験によって調べることである。よって、隙間の形状と代表的な長さを容易に知ることの出来る狭い平行平板間中に超流動ヘリウム 3 を入れ、NMR 法で測定を行った。尚、平行平板という形状は、NMR の測定とその後の解析に適している。平行平板間の隙間のサイズは 0.8  $\mu\text{m}$  としたが、それは過去に行われた 0.3  $\mu\text{m}$  と 1.1  $\mu\text{m}$  のそれぞれの実験結果を補い、繋ぐ、という結果を期待した為である。

測定 (実験) は、圧力 0.14 MPa から 2.74 MPa のある圧力一定の下で、温度を変化させて行った。測定の最低温度は 0.3 mK である。測定したすべての圧力では超流動相転移温度以下で A 相を観測した。圧力 0.14 MPa では最低温度まで A 相のみが現れた。併し、それ以上の圧力では、さらに温度を下げると B 相を観測した。最低温度から昇温過程の測定では AB 相転移温度を決定することが出来、それは 1.1  $\mu\text{m}$  の結果から予想されるものとは矛盾は無かった。

今回の測定で得られた AB 相転移温度を用いて、臨界厚さと呼ばれる量を求めた。臨界厚さを用いた解析から、異なるサイズの平行平板間における超流動ヘリウム 3 の AB 相転移温度を計算した。それによると、隙間のサイズが 0.4  $\mu\text{m}$  以下の平行平板間中の超流動ヘリウム 3 は、A 相のみしか現れないことが分かり、過去に行われた 0.3  $\mu\text{m}$  の実験結果を矛盾なく説明するものとなった。

またコヒーレンス長程度の狭い隙間の実験では、容器の壁の状態が超流動ヘリウム 3 に影響することが知られている。純粋な液体ヘリウム 3 を狭い隙間にいれた実験では、隙間の表面には数層の固体ヘリウム 3 が存在する。これをヘリウム 4 で置き換えることで、狭い隙間にある超流動ヘリウム 3 に与える影響を変化させることが出来る。但し、隙間表面の固体ヘリウム 3 やそれを置き換えたヘリウム 4 がどのような機構で影響を与えているかは知られてはいない。このことを調べることも目的の 1 つである。

本研究では、純粋な液体ヘリウム 3 のみの実験の後に、隙間の表面を 2.5 層のヘリウム 4 で覆った実験

も行った。結果は、ヘリウム4で隙間表面を覆うとAB相転移温度や超流動転移温度が高くなるものであった。

### 論文審査の結果の要旨

異方的な超流動 $^3\text{He}$ の特徴的な長さの1つはコヒーレンス長である。この長さは圧力に依存し絶対零度では数十nmである。オーダーパラメータの空間変化の特徴的な長さはコヒーレンス長と同程度であるヒーリング長である。超流動 $^3\text{He}$ が入る容器の特徴的な長さがこのヒーリング長に近づくにつれ、超流動転移温度が低下したり、超流動密度が抑制されたりする。系の大きさは超流動状態の内部構造に対しても効果を及ぼし、液体が入る狭い空間のもつ異方性と超流動の異方性の競合によりバルク液体とは異なる相図が予想されている。つまり、高温、高圧力でのみ存在する非等方的(異方的)なA相がバルク液体中では安定である等方的なB相よりも安定化される問題である。

本研究では平行平板間の隙間間隔が $0.8\mu\text{m}$ の空間内に超流動 $^3\text{He}$ を入れて核磁気共鳴法(NMR)により相変化を調べ、空間サイズによるA相の安定化の機構、また壁での準粒子散乱過程が安定化に及ぼす効果を明かにすることを目的として実験が行われた。

測定は、 $0.14\text{MPa}$ から $2.74\text{MPa}$ の圧力範囲で行われた。全ての測定でバルク液体の転移温度より低い温度で超流動転移することと、超流動転移温度直下ではA相が出現することが観測されている。また、 $0.14\text{MPa}$ での測定を除いて、温度を下げるとB相へ相転移することが観測されている。このAB相転移では温度変化に対して共鳴周波数、磁化の大きさがともに履歴を示し、1次の相転移現象であると結論している。観測されたAB転移温度は強結合効果を考慮した計算結果の1つと良く一致することを指摘している。

容器の壁表面を薄膜超流動 $^4\text{He}$ が覆うと、 $^3\text{He}$ 準粒子の散乱過程が鏡面的になることが多くの実験からわかっている。 $^2.5$ 相の $^4\text{He}$ 薄膜を壁に付けた実験が行われ、全ての測定で超流動転移温度、AB転移温度がともに上昇することが観測されている。超流動転移温度の上昇は鏡面散乱過程から予想されるとおりであることと、AB転移温度の上昇は予想とは正反対であり、他の散乱過程を考慮する必要があることを指摘している。

このように本研究は、超流動 $^3\text{He}$ の安定性に関する独創的な研究を行い、空間の非等方性が引き起こす超流動状態の内部自由度の変更を伴うAB相転移現象に関し、新たな知見を提供したものであり、博士(理学)の学位を授与するに値するものであると認められると審査した。