

論文審査の結果の要旨

氏名 椎野 俊之

^3He 原子はスピン 1/2 をもつフェルミ粒子である。飽和蒸気圧下の液体 ^3He は、量子効果により超低温下においても固化することなく、 $T_c=0.9\text{mK}$ において超流動状態に相転移する。狭義の BCS 超伝導体と異なり、超流動 ^3He においては p 波三重項のクーパ対が形成されるため、多彩な内部自由度を持つ。そして、そのクリーンな自由表面近傍においては、オーダーパラメーターの異方的な空間変化、アンドレーエフ反射、さらにはアンドレーエフ束縛状態などの豊富な物理が期待される。本論文では、自由表面近傍における超流動 ^3He の物性に対する知見を得ることを主な目的として、表面下に束縛された正イオンまたは負イオンをプローブとして用い、移動度測定を行った。

本論文は 4 章からなる。1 章はイントロダクションであり本研究の背景や目的が記されている。2 章ではバルク液体 ^3He 中のイオンの移動度に対して、これまで行われた実験や理論計算が紹介されている。

3 章は、実験装置・方法についての記述である。実験は、核断熱消磁冷凍機に装着された試料セルを用いて行われた。液体 ^3He は、細管を通じて試料セル内に導入され、焼結銀の熱交換器を通して冷却された。正イオンまたは負イオンは、液体 ^3He 中におかれたタングステンチップに高電圧をかけることによって生成され、液体表面に垂直にかけられた電場と表面での鏡像ポテンシャルによって表面直下 320nm の深さに束縛された。正イオンと負イオンの半径は、それぞれ 6Å、21Å、また有効質量は、それぞれ ^3He 原子の 30 倍、300 倍と見積もられる。イオンの移動度は、液体表面直上におかれたコルビノ電極との容量結合を通して測定された。この試料セルの作製は、論文提出者が独力で行った。液体 ^3He 上のイオンの非常に小さな伝導率を正確に測定するために多くの回路上の工夫も行われた。

4 章に実験結果と考察が記されている。常流動 ^3He 表面下の正イオンに対する測定では、500mK から 1mK にわたる温度低下に伴い、温度の対数に比例する移動度の増加が観測された。バルク液体 ^3He 中の正イオンの場合と同様に、準粒子の衝突による正イオンの反跳の効果として理解することができる。また、負イオンに対する測定では、液体 ^3He の粘性の温度変化を反映して移動度は温

度の低下とともに減少し、10mK 以下で一定値を示した。正および負イオンに対する結果は、他のグループにより観測されたバルク液体 ^3He 中のイオンの移動度に対する測定結果と、実験上の問題などを考慮に入れると、ほぼ一致している。これより、常流動 ^3He 表面下のイオンの移動度は、液体内部から飛来する ^3He 準粒子とイオンとの衝突によって決まることがわかった。

超流動 ^3He 表面下の正イオンおよび負イオンに対する測定では、準粒子密度の増減を反映した急激な移動度の温度依存性が観測された。表面近傍ではオーダーパラメーターがバルクの値から大きく変化しているにもかかわらず、少なくとも $0.5T_c$ より高温での結果は、バルク超流動 ^3He に対する実験結果および理論計算と良く一致した。この温度領域での移動度は、液体内部からやってくる ^3He 準粒子による散乱によって決まると解釈された。また、 $0.5T_c$ 以下では、移動度の温度依存性は飽和傾向を示し、バルク超流動 ^3He における値よりも低くなった。熱流入により試料と温度計との間に温度差が生じたことによる可能性も否定できないが、表面でのアンドレーエフ束縛状態の形成による解釈も可能である。さらに、正イオンの測定では、イオンのドリフト速度がランダウの臨界速度を越えて対破壊が引き起こされることによる非線形効果が観測された。

以上、本論文では、液体 ^3He の自由表面下に束縛された正イオンおよび負イオンの移動度の温度依存性を常流動相から超流動相にわたる広い温度範囲において実験的に研究した。実験結果は、これまでバルク液体 ^3He 中のイオンに対して得られていた結果とほぼ一致し、表面固有の現象の確証は得られなかった。しかし、液体 ^3He 表面下におけるイオンの移動度測定は、本論文の研究が初めてであり、本論文提出者は実験上のさまざまな困難を克服して測定を遂行した。本論文が、今後の研究の貴重なステップとなることが十分に期待される。

また、本論文は、河野公俊氏、椋田秀和氏、W. F. Vinen 氏との共同研究であり、共著の形で一部すでに公表されているが、論文提出者が主体となって試料セルの設計・製作および物性測定の遂行、実験結果の解析・考察を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

しがたって、審査委員全員一致で、博士（理学）の学位を授与できると認める。

以上