

審査結果の要旨

論文提出者氏名 小原 顕

本論文は”強磁場下の液体ヘリウム3の正イオン移動度”と題し、超流動転移に至る超低温領域において、常流動ヘリウム3中に生成されたイオン特に正の電荷を持つイオンの移動度を強磁場下で初めて測定したものであり、全6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究で取り扱う液体および固体ヘリウム3の一般的な物理的性質、相境界である融解圧曲線について簡単に述べられている。次いで液体ヘリウム中のイオンについて、その構造が電荷の正負により大きく異なること、大きさの圧力依存性などが詳述されている。

第2章では、本研究の背景と目的がのべられている。液体ヘリウム3中の正イオンは"snow ball"と呼ばれる nm 程度の半径を持つ固体ヘリウム3で、フェルミ液体中に局在した磁気的不純物と考えられる。その移動度は、液体ヘリウム3が十分フェルミ縮退した低温ではヘリウム3準粒子との散乱によって決められており、過去の実験結果によると移動度の温度依存性は数 10 mK 以下では $\text{Log}(1/T)$ に従うことが知られている。理論的には正イオンが準粒子より径が大きいことから、正イオンが準粒子と非弾性散乱しながらフェルミ流体中を拡散していくとして、実験を再現する温度依存性が導かれている。一方"electron bubble"と呼ばれる負イオンは同じ温度領域でほとんど温度に依らない。この事実から、正イオンの対数的温度依存性は表面局在スピンと準粒子のスピン間の交換相互作用による近藤効果に似た現象ではないかという考えも提出されている。以上の背景を示した上で、本研究の目的はこの交換相互作用の存在と大きさの確認であることが述べられている。

第3章では、実験装置が述べられている。まず液体ヘリウム3を 15 T までの強磁場中で mK あるいはそれ以下に冷却するための効率的な核磁気冷凍機や試料セルの工夫が紹介されている。本実験では発熱を低く抑えるために、低い電圧で正イオンを生成できるタングステン針が不可欠であるが、470 V というこれまでにない低い電圧での生成に成功している。次いで均一な電場を持つイオンのドリフト空間の製作、ゲートを用いた飛行時間測定による移動度の測定法が詳しく述べられている。

第4章は、主として 28.6 気圧における 20 mK 以下の常流動状態での正イオンの移動度の実験結果である。重要なことは、飛行時間から求められたドリフト速度と電界の線形性であり、全ての移動度はこの線形領域で得られた。磁場をパラメーターとした温度依

存性は、15 T の強磁場でもやはり $\text{Log}(1/T)$ 依存性を示すことおよびその係数が磁場に依存することが明らかにされた。温度をパラメーターとした磁場依存性は 20 mK では緩やかな減少を示すが、約 3.2 mK 以下では緩やかな増加の後、7 T 付近でピークを示しその後大きな減少を示すことが見いだされた。さらに 3.2 mK の磁場依存性は、20 気圧以上では圧力の低下とともに強磁場側の減少成分は小さくなり上述のピークが高磁場側にシフトすること、3 気圧では全く磁場に依らなくなることが判った。一方、半径が近い 29.3 気圧の負イオンでは、移動度の磁場依存性は 20 mK, 3.2 mK でも全く観測されなかった。

第 5 章は結果の考察である。高圧の正イオン移動度の磁場依存性が負イオンと大きく異なることから、正イオン表面のヘリウム 3 核スピンと準粒子核スピン間に磁氣的相互作用が存在することが示された。得られた結果は実測の融解圧の磁場依存性だけでは説明できず、固液間の表面張力に適当な磁場依存性を入れる必要が指摘されている。しかし表面張力の磁場依存性の実測値がなく、強くは主張されていない。現時点で新たに見いだされた磁場依存性を説明する理論は存在しないが、固体ヘリウム 3 核スピン偏極が大きな寄与をしていることが指摘されている。最後にミクロな立場から、この核スピン偏極の成長に伴う 2 つの可能性が述べられている。即ち 1) 準粒子と表面核スピン間のスピントリップ散乱の抑制 2) 固体表面近傍の液体ヘリウム 3 核スピンの RKKY 振動に伴う偏極である。しかし複雑な実験結果を定量的に説明するためには新しい理論の構築が必要である。

第 6 章は本論文の総括であり、本研究で明らかにされた常流動状態ヘリウム 3 中の正イオン移動度の強磁場における温度依存性、磁場依存性とその圧力依存性に関する新しい知見が要約されるとともに、考え得る機構と将来の展望が述べられている。

以上をまとめると、本論文では液体ヘリウム 3 中の正イオンの移動度が強磁場中において初めて測定され、その温度・磁場・圧力依存性に関する新しい知見が得られている。これはフェルミ流体中の重い荷電粒子の運動を理解する上に貴重な情報を提供しており、物理学・物理工学への寄与は大きい。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。