

氏名	ふる かわ ひと し 古川 人士
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2584号
学位授与の日付	平成15年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
学位論文題目	固体 ³ HeのU2D2相における熱伝導率の研究

論文調査委員 (主査) 教授 大見 哲 巨 教授 水崎 隆 雄 教授 藪崎 努

論 文 内 容 の 要 旨

bcc 固体³Heの反強磁性相であるU2D2相において、その熱的性質は低温のためフォノンの寄与は無視することができ、磁氣的励起であるマグノンに支配されている。Stanford大学のFeng達によって行われた熱伝導の実験も高温領域ではマグノンのウムクラブ散乱により説明できる。しかし、低温領域においてはウムクラブ散乱による理論曲線に実験結果がのらなくなり、他にマグノンの散乱を起こすなんらかの機構を考える必要があるといわれてきた。申請者古川人士的論文はそれを結晶の転位によって引き起こされる磁気欠陥によるものと考え、U2D2固体³Heにどのような磁気欠陥が存在するかを理論的に調べ、それによって低温領域での熱伝導の実験結果が説明できることを示したものである。

³He固体は非常に純粋で不純物は完全と言っていいほど存在しない。また、Feng達の実験は単一磁区で行われているためドメインウォールも存在しない。唯一考えられる欠陥は結晶が成長するとき必要な転位の存在が考えられる。ただ、転位は線状欠陥であり、数もそれほど多いとは考えられないので、そのままでは熱伝導の原因になるとは考えにくい。申請者は線状欠陥である転位がスピンの上向き、上向き、下向き、下向きと並んだU2D2相では面状磁気欠陥を引き起こすというアイデアに導かれ、具体的にどのような磁気欠陥が存在可能かを理論的に調べた。

まずbcc結晶での一番起こりやすいであろう転位を想定し、それによって引き起こされる面状磁気欠陥のエネルギーをバルクの固体³Heの磁氣的性質を説明するのに通常使われている多体交換模型を用いて計算し、その中から一番エネルギーが低く、安定と思われる二つの磁気欠陥を決定した。

次に、熱伝導率の計算に必要なこれらの磁気欠陥でのマグノンの透過率を計算した。面状欠陥の面に任意の波数ベクトルを持って入射するマグノンの透過率はスピンの運動方程式を数値的に解くことによって求められる。透過率の大雑把な特徴として、ポテンシャル散乱の場合と違ってエネルギーの低いマグノンの方が比較的透過しやすいという結果が得られた。この結果は透過率がすべての波数で変化しないとしたときより低温での熱伝導率が大きくなるという傾向を導き、実験とよく符合する。

このように熱伝導率の実験の温度変化は説明されたがその絶対値は転位の数により決まる。実験結果から推測される転位の数は妥当と思われる範囲に入っているが、正確な数については比較できる実験がない。それについては今後の実験を待たねばならない。

申請者はさらに同じ手法を用いて磁気ドメインウォールによるマグノン透過率の計算も行った。それはドメインウォールで隔てられた磁区が熱的に孤立しているのではないかという実験からの予想も行われていたため、その疑問に答えるのが目的であった。結果は磁区を隔てているドメインウォールも波数空間全体で見れば、面状磁気欠陥とほとんど同じ透過率の傾向を示し、磁区は熱的に孤立することはないというはっきりした結論を得た。

論文審査の結果の要旨

申請論文は bcc 固体 ^3He の反強磁性相, U2D2 相において, 結晶の転位に伴ってできる面状磁気欠陥を考えることによって, その低温領域での熱伝導率の実験結果, 特に温度変化が説明できることを理論的に示したものである。また, 熱伝導率の絶対値からは試料中にどれだけの転位が存在するかを推測することができた。

熱伝導率の計算にあたり, 申請者は結晶の線状の欠陥である転位が U2D2 磁気秩序相では面状の磁気欠陥を導くというアイデアの基に研究を開始したが, 固体 ^3He の転位についての研究がそれ程なされていないということもあって, まず bcc 固体の転位についての考察から始める必要があった。次に転位に伴う面状磁気欠陥を分類し, 境界エネルギー計算しエネルギーの低い, 安定に存在するであろう磁気欠陥を決定した。最後にその面状磁気欠陥に伴うマグノンの透過率を数値計算し, それを用いて熱伝導率を求めた。

結晶の転位が磁気秩序相で面状の欠陥を導くという興味深い議論はトポロジ等を用いた一般論からは既に予想されていたが, それを実際に行われた実験結果と結び付け, 具体的な熱伝導率という物理量に表れているということを計算して示したのがこの論文である。また, 結晶が成長するためには結晶での転位が存在するだろうと言われてきたが, それもこの論文により明確に証明され, またその数についての情報も得られた。さらに, バルクの状態で用いられている多体交換模型についてはその妥当性について現在まだ議論が収束していないが, この論文で空間的に一様でない系に適用して一応の成功を修めたということは多体交換模型の妥当性についての議論に一石を投じたものとして, その面からも評価される。

さらに, 申請者は熱伝導率と同じ手法を用いて磁気ドメインウォールによるマグノン透過率の計算も行い, ドメインウォールを通して熱は流れることができ, 磁区は熱的に孤立することはないことも示した。この結果も今後 U2D2 固体 ^3He の研究を進めていく上で重要で評価できる。

以上のような申請論文は学位論文として十分な価値を有するものと判断した。さらに, 関連する学識について調査し, 申請者が十分な学識を有していることを確認した。この結果, 学位審査は合格と認めた。