

【 3 】

氏名	恒 藤 敏 彦 つね とう とし ひこ
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 3 7 号
学位授与の日付	昭 和 36 年 9 月 26 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 専 攻
学位論文題目	<b>Ultrasonic Attenuation in Superconductors</b> (超伝導体における超音波吸収)
論文調査委員	(主 査) 教 授 松 原 武 生 教 授 湯 川 秀 樹 教 授 富 田 和 久

論 文 内 容 の 要 旨

主論文は極低温において金属が超音波を吸収する際、一定の転移温度以下で金属が超伝導状態になると突然音波の吸収率が減少するという異常な現象を、金属電子論の立場から説明したものである。

通常金属の極低温における超音波の吸収は次のように説明される。超音波が金属内にはいると金属イオン格子に強制振動を起し、そのため金属内に電磁場が誘起される。それに伴って電流が流れジュール熱が発生する。すなわち超音波のエネルギーはまず誘起電流の形で自由電子に与えられ、自由電子と格子振動の相互作用を通じて最後に熱エネルギーに変えられる。したがって金属による超音波の吸収の強さは、超音波と同じ振動数と波数をもった電磁場に対して自由電子群が示す応答の度合いによってきまる。一方最近のBardeen-Cooper-Schrieffer らによる超伝導の理論によれば、転移点以下で反平行スピンをもった電子の間に強い相関を生じ、その結果自由電子の有効数は急激に減少する。したがって超音波によって誘起された電磁場に応答する自由電子の数も急激に減少すると考えられる。これが超伝導体による超音波の異常吸収の定性的な説明である。

しかし実験事実はそれほど単純ではなく、たとえば縦波型超音波と横波型超音波とで吸収の温度変化が非常にちがうし、また吸収の強さは超音波の波長にも依存する。そこで著者はこのような実験事実の詳細をも説明できるような超伝導体による超音波吸収の一般論を試みている。

従来この種の緩和現象を扱うのに Boltzmann の方程式が出発点として採られていた。しかし超伝導状態のように電子間の相関が強い場合にはこの方法は用いることができない。そのため著者はわが国で最近発展した電気伝導の一般論に従い、電子系の密度行列を用いて誘起電流の平均値の時間変化を追跡する新しい方法を用いてこの問題を扱っている。まず通常金属について、電気抵抗の主な原因として不純物散乱を考え、超音波の速度場と超音波によって誘起された電場のそれぞれに比例する電流の大きさあるいは電気伝導度を一般論によって計算し、Maxwell の方程式を援用して吸収係数と電気伝導度を結びつける。電

気伝導度の計算は、適当な変形によって結局不純物による散乱を受けながら走る電子のグリーン関数を求めることに帰せられるが、著者はここで場の理論で用いられる計算技術を駆使して見通しよく計算を進め、最後に得られる結果が従来の Boltzmann 方程式による結果と完全に一致することを確かめている。

次に超伝導体に対しては、電子間の強い相関を考慮するために電子系のハミルトニアンに Bogolyubov 変換を施した後、通常金属の場合とほとんど同様にして強い相関をもって運動する電子のグリーン関数を求め、それから電気伝導度を計算し吸収係数の一般式を導いている。縦波の場合も横波の場合もほとんど同じように扱えるが、横波の場合、ゲージ不変性に関係した不定さが現われるので、著者はこの点についても周到に吟味している。こうして得られた結果は縦波横波の種々の波長について実験と比較されているが、定性的には一応満足な一致が得られている。

著者の参考論文その 1 は、超伝導体の励起状態として電子の横波型集団振動の可能性を議論したもので、水銀と鉛の超伝導状態において観測されているマイクロ波の異常吸収をこの横波型振動の励起で説明しようとしている。実験を説明するには吸収の強さが小さすぎるという結果であるが、理論的にはきわめて興味深い計算である。参考論文その 2 は、 $0, 1/2$  よりも大きいスピン値をもつ素粒子の相対論的波動方程式を一般的に導いたものである。

### 論文審査の結果の要旨

主論文は超伝導体における超音波吸収の異常性を金属電子論の立場から扱ったものである。

極低温において金属に超音波をあてると、主として自由電子との相互作用によって超音波の吸収がおこるが、金属が超伝導状態になるとともに吸収は急激に減少する事実が観測されている。この超伝導体による超音波吸収の異常性は単純な金属電子論では説明できず、Bardeen-Cooper-Schrieffer らによる超伝導の理論 (BCS 理論) が完成するまで不明のままに残されていた。BCS 理論は縦振動の超音波の吸収について定性的な説明を与えることができたが、最近の実験によると横振動の超音波の吸収にも縦振動にまして大きな異常があり、また超音波の波長によつて吸収の強さが異なる。そこで著者は縦、横両方の超音波の任意の波長に対して用いられる超伝導体による吸収の一般論を試みたのである。

通常金属の超音波吸収についてはすでに Pippard その他の人たちの理論があるが、それらは自由電子に対する Boltzmann の輸送方程式を基礎にしている。しかし超伝導状態のように電子間の相関が非常に強い場合には Boltzmann の方程式は用いられない。著者はこの困難をさけるために、外から加えられた超音波による摂動で電子系に誘起された電流を、密度行列を用いて時間的に追求するという新しい方法を採用した。著者が苦心したもう一つの点は、電子の主な散乱体である金属中の不純物が、音波の振動に伴って動くことにより電子が受ける余分の力をどのように取り扱うかということである。これは超音波とともに動く座標系から電子の運動を見ることによって巧みに処理されている。

結局著者は超音波と自由電子の相互作用として電磁氣的なもの、すなわち音波が結晶内に誘起する電磁場と自由電子の相互作用を採り、音波の吸収の問題を誘起された振動電磁場によって流れる電流の複素電気伝導度の計算に帰している。そしてまず通常金属に対して新しい方法によって音波の吸収係数を導き、それが従来の Boltzmann 方程式を用いて得られた結果と完全に一致することを確かめ、次に BCS 理論

を持込んで超伝導体の吸収係数を導いている。途中の計算は複雑であるが、著者は場の理論で用いられる計算技術を駆使して非常に巧妙に処理し、実験と直接比較できる量を求めている。得られた結果と実験の一致も一応満足である。強い相互作用をもった系の非可逆過程、特に相転移を伴う場合の輸送現象の異常性は物性理論で最も注目されている問題であるが、著者の主論文はこの問題の解釈に光を投げたものであって、主論文に扱われた計算方法は他の問題にも広く応用でき、きわめて大きな寄与をなしたものと考えられる。

参考論文1は超伝導体の横波型集団励起振動を論じたもので、この種の計算でしばしば引用される重要な文献になっている。参考論文2は大きいスピン値をもつ素粒子の相対論的波動方程式について論じたもので著者が素粒子の分野にも深い素養をもつことを示している。

これを要するに、主論文は非可逆過程の理論に重要な貢献をなし、また参考論文2編はともに著者が素粒子・物性両分野にわたってすぐれた研究能力をもっていることを示している。

したがって、この論文は理学博士の学位論文として価値があるものと認める。