

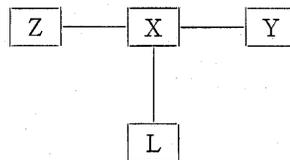
氏名	前川 覚 まへがわ さとる
学位の種類	理学博士
学位記番号	理博第 571 号
学位授与の日付	昭和 54 年 5 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科・専攻	理学研究科物理学第一専攻
学位論文題目	<sup>3</sup> He Nuclear Spin Relaxation in Solid <sup>3</sup> He with <sup>4</sup> He Impurities ( <sup>4</sup> He 不純物を含んだ固体 <sup>3</sup> He の <sup>3</sup> He 核スピン緩和)
論文調査委員	(主査) 教授 端 恒夫 教授 富田和久 教授 恒藤敏彦

論 文 内 容 の 要 旨

固体 <sup>3</sup>He は、大きな零点振動のために <sup>3</sup>He 原子間に直接の大きな交換相互作用がある等、通常の固体とは異った性質を示し、「量子固体」とも呼ばれている。本論文は、不純物として <sup>4</sup>He を含むこのような量子固体 <sup>3</sup>He のスピン格子緩和時間 (T<sub>1</sub>) の不純物濃度及び温度依存性を測定し、このような固体における種々の素励起状態と緩和過程について調べたものである。

用いられた試料は <sup>4</sup>He 不純物濃度 (x) が 2.0×10<sup>-5</sup> より 1.47×10<sup>-2</sup> の範囲にわたる13種類のもので、温度 (T) 範囲は <sup>3</sup>He クライオスタットを用いて約 2 K より 0.4 K であり、試料の分子容は 19.4 cm<sup>3</sup>/mole で hcp 相で、NMR 実験の共鳴周波数は 3 MHz である。<sup>3</sup>He の核磁化の回復過程の観測には、90°-90° パルス法が用いられている。又、T<sub>1</sub> の非常に長いものに対しては、「多パルス飽和法」も併用されている。更に、核磁化の大きさをデジタル化し、パルス法 NMR のタイミング系とデータ集録系をマイクロコンピュータを用いて自動化し、精度よくデータをとっている。

3 種類の緩和過程が見出され、実験結果は第 1 図に示すごとき「4 熱浴モデル」を用いて解析されている。ここで、Z はゼーマン浴、X と Y とは現象論的に導入されたものであり、L は格子 (或いは、フォノン) 浴である。このモデルに基いて、X 浴及び Y 浴のエネルギー定数 (内部エネルギーを温度の逆数で微分したもの)、及び各熱浴間の「固有の緩和時間」の不純物濃度及び温度依存性が実験データの解析から求められている。



第 1 図

その結果、X 浴は <sup>3</sup>He-<sup>3</sup>He 交換相互作用浴と不純物 <sup>4</sup>He-<sup>4</sup>He 弾性的相互作用浴の一部、Y 浴は <sup>4</sup>He-<sup>4</sup>He 弾性的相互作用浴の主部分であることが結論されている。又、X 浴から Y 浴への緩和過程は、不純物濃度に大きく依存し (∝x<sup>n</sup>; n=3~4)、しかも非指数関数的な過程であった。これは、Y 浴が温度が定義できるような内部熱平衡状態にはなくて、Y 浴が X 浴を通して熱平衡に達して行く過程そのものを観測していることによると推論している。又 X 浴から格子浴への緩和時間 (T<sub>XL</sub>) は x<sup>-1</sup>・T<sup>-7</sup> の濃度及

び温度依存性を示すことを実験的に求めている。そしてこのような緩和時間は Exchange enhancement mechanism (不純物  $^4\text{He}$  のまわりの  $^3\text{He}$  間の交換相互作用が増大されていると考える機構) と 2・フォノン・ラマン過程として理解できることを示している。

参考論文1は固体ヘリウムの融解現象について  $^3\text{He}$  の NMR 法を用いて調べたもの、参考論文2, 3は回転系におけるスピン緩和時間 ( $T_{1\rho}$ ) の測定を中心として、希釈  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  混合固体中の  $^3\text{He}$  のトンネリング運動について調べたもの、参考論文4は本論文の基礎となった微量  $^4\text{He}$  を含む固体  $^3\text{He}$  中での  $T_1$  の温度変化の測定に関する報告である。

### 論文審査の結果の要旨

固体  $^3\text{He}$  は「量子固体」として極めて特徴的な性質を示す。その素励起状態に関する知見は、比熱や磁気圧力等の測定からも得られるが、 $^3\text{He}$  の核スピン格子緩和時間 ( $T_1$ ) の測定によって最も簡明且つ詳細に得られる。事実、bcc 相の固体  $^3\text{He}$  に対してこのような研究がなされている。しかし、不純物として  $^4\text{He}$  を含む固体  $^3\text{He}$  の hcp 相については、系統的な研究は殆んどなされていない。

申請者は、固体  $^3\text{He}$  の核磁化の回復過程の温度依存性を、非常に広い不純物  $^4\text{He}$  の濃度範囲にわたって詳細に測定している。特に、非指数関数的な回復過程を精密に測定するため、データ処理に特殊な工夫をこらしている。

申請者の得た結論の中で最も重要なものは、「4熱浴モデル」を提案し、その熱浴が第1図に示すように結合している場合にのみ実験データをよく説明できることを明らかにしたことである。次いで、夫々の熱浴の性質を明らかにした。X浴は  $^3\text{He}$ - $^3\text{He}$  交換相互作用浴と不純物  $^4\text{He}$ - $^4\text{He}$  弾性的相互作用浴の一部、Y浴は  $^4\text{He}$ - $^4\text{He}$  弾性的相互作用浴の大部分である。この結論は、かなり現象論的な側面はあるが、不純物を入れたことによって生ずる新しい熱浴の存在を示したものとして注目に値する。更に、これらの熱浴 (X浴とY浴) を結びつける緩和過程が非指数関数的であるという興味ある実験事実を見出している。このことは、Y浴がその内部で熱平衡を達成する機構がなく、X浴を通じて熱平衡に近づいて行くことによるものであることを示している。又、X浴から格子浴への不純物に依存する緩和時間 ( $T_{XL}$ ) は  $T^{-7}$  に比例するという実験結果を得ている。このことは、bcc 固体  $^3\text{He}$  における不純物効果として既に実験的に確立され、Tsuneto 等の理論によって説明されている  $T^{-9}$  の温度依存性とは異なり、今後の議論の対象となりうるものである。

以上を要するに、本論文に、不純物  $^4\text{He}$  を含む量子固体  $^3\text{He}$  の hcp 相について、 $^3\text{He}$  の核磁化の回復過程を、広い不純物の濃度範囲と温度範囲にわたって精度よく測定し、この固体における素励起状態の性質について新しい知見を得たものであって、極低温物理学及び固体物理学の分野の発展に貴重な寄与をなしたものと言える。参考論文は、いずれも固体ヘリウムの NMR に関するものであって価値あるものである。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。