

氏 名	渡 會 征 三 わた らい せい ぞう
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 313 号
学位授与の日付	昭 和 49 年 3 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	スピン波領域における反強磁性体の分光学的考察 —スピン波の不安定化と不純物モードの温度変化—

(主 査)
論文調査委員 教授 松原武生 教授 恒藤敏彦 教授 富田和久

論 文 内 容 の 要 旨

申請者の主論文は低温における反強磁体の性質をスピン波励起を通して調べたもので二部からなっている。その第一部は温度と共に磁気構造が変化する相転移現象を、スピン波の不安定化の見地から論じたものである。ヘマタイトは、ネール温度が $T_N=960^\circ\text{K}$ の反強磁性体であるが、温度をさらに下げてゆくと、 $T_M=263^\circ\text{K}$ において磁化容易軸がC面内からC軸方向に変化する転移をおこす。これはモーリン転移と呼ばれ T_M はモーリン転移温度といわれるが、このスピンの方向変換を伴う転移については、従来分子場理論を用いて、系の内部エネルギーのうち異方性エネルギーを与える部分の釣合を静的に論ずることにより、簡単な説明が与えられてきた。申請者はこれを音響型スピン化の不安定化という動的観点から取上げた。ヘマタイトの磁性を記述する。

$$H = \sum_{\langle ij \rangle} (JS_i \cdot S_j + D \cdot S_i \times S_j - H_m S_i^2 S_j^2) - H_s \sum_j (S_j^2)^2$$

の形のモデル・ハミルトニアンを採用し、ハートリ・フォック近似の範囲内で、スピン波励起モードの最低エネルギーを計算すると、Zを結晶格子の配位数、 $S=5/2$ としたとき、結合係数間に

$$6\left(\frac{H_m}{J} + \frac{|D|^2}{J^2}\right) > \frac{8H_s}{ZJ} > 5\left(\frac{H_m}{J} + \frac{|D|^2}{J^2}\right)$$

なる関係がみたされるならば、スピン波のエネルギーは

$$\hbar\omega_0 \propto |T - T_0|^{1/2}$$

の如く温度変化し、スピン容易磁化軸の変化のおこる転移温度 T_0 (ヘマタイトの T_M に相当する温度) 付近で、波数0のモードのソフト化がおこることをたしかめた。この結果をヘマタイトに応用すると、ヘマタイトのモーリン転移点近傍での反強磁性共鳴吸収の実験データとの比較は極めて良好であった。

主論文の第二部では、反強磁性体における不純物効果によって生ずる局在化したスピン波モードの温度変化を理論的に計算することを試みている。分光学的なデータによれば、スピン波の不純物モードと呼ばれるものの温度依存性は、完全結晶系のスピン波モードの温度依存性とことなっている。このことを説明

するために、申請者は不純物が母体におよぼす影響は、不純物格子点からの距離が大きくなると急激に小さくなるものと仮定し、最近接格子点間にのみ不純物の効果を考慮して、有限温度のグリーン関数法により、局在スピン波のエネルギーを計算した。その結果を反強磁体 KMnF_2 に Ni^{2+} および Eu^{3+} をドーブした場合と MnF_2 に Ni^{2+} をドーブした場合の実験と比較しているが、計算値は実験事実と極めてよく符合し、このことから逆にその前提とした仮定の正しさを立証した。このように申請者は主論文において、反強磁性体における素励起に関連した興味深い実験事実を理論的に解明することを試み成功している。

参考論文 1 は主論文第二部の内容の前段階的研究の速報であり参考論文 2 は磁性体での素励起の複合モードに関する研究報告である。

論文審査の結果の要旨

固体が示す物性をそこに励起されている素励起の集団の性質として説明しようとする「素励起の物理学」は、近代的固体論の一つの流れであるが、中性子非弾性散乱やレーザー光による光散乱等の実験手段の発達により、素励起そのものの直接検出が可能になったために、次第に実験的な支持が得られるようになった。中でも構造変化を伴う相転移、いわゆる構造転移を、関連するある種の素励起が不安化する現象として捕えるソフト・モード理論は、相転移現象の理解の上に非常に有効な新しい視点をひらいたものであった。磁性体においても、磁気的秩序構造が変化するような相転移は、その構造に付随する磁性体の素励起すなわちスピン波の不安定化として捕えられるはずである。この着想を申請者は主論文の第一部でヘマタイトのモーリン転移に適用した。ヘマタイトのモーリン転移は、従来異方性エネルギーの温度変化を分子場近似で計算することによって議論されて来たが、申請者はこの問題を転移の動的な機構に焦点をあて、ソフト・モード理論の立場から再検討しようとしたのである。従来の分子場近似で用いられるのと同じハミルトニアンから出発して、転移温度の上下でことなる秩序構造を基盤にするスピン波の振動数を理論的に計算し、いずれの場合も温度が転移温度に近づくと、長波長音響型のスピン波が不安定化することを示している。そして定量的には反強磁共鳴吸収の実験における共鳴周波数の温度変化と関連させて計算結果との比較をおこない満足すべき結論を得ている。この申請者の新しい理論は、従来の静的理論を支持するだけでなく、モーリン型の相転移の動的機構をソフト・モードの考えで理解させる道をひらいたもので高く評価されるものである。

また申請者は主論文の第二部で、反強磁性体に不純物をドーブしたときに現われる不純物スピン波モードについて新しい試みをしている。反強磁性体の不純物スピン波については既に理論がいくつか提出されているが、それらは $T=0$ の基底状態に限られていた。しかし実験的に観測されるのは有限温度における不純物モードであって、常に温度変化を伴っている。しかも実験的に見出されるその温度変化は、完全結晶のスピン波の温度変化とことなっていることが知られている。そこで申請者は実測と比較できるような不純物スピン波モードの理論を目指し、二時間グリーン関数を用いてこの問題を新しく定式化した。完全結晶のスピン波に対するグリーン関数法と同じような近似方法で問題を線型化して解くのであるが、不純物の影響として申請者が“local energy renormalization factor”と名づける量が新しく定義され、不純物を中心として格子点ごとに一般にことなる有効相互作用が導入される。これらをつじつまの合った方

法できめる際に、申請者は不純物の効果は近接格子点だけに及ぶものと仮定して、巧みに計算可能な閉じた方程式の系にまとめ、実験と対比できるよう適当なパラメータ値を選んだ上、数値計算を実行している。こうして計算された不純物スピン波モードの振動数の温度変化は、 $M_nF_2:N_i^{2+}$ の場合と $KM_nF_3:E_n^{3+}$ の場合について実験値と比較され、極めて良い一致が見られた。このことから申請者が問題をとく為に設定した基礎の仮定が正当化され、また反強磁性体のスピン波に及ぼす不純物の影響についての貴重な知見が得られたことになる。

要するに、申請者渡会征三は反強磁性体のスピン波励起の中でも、やや特殊な不安定モードおよび不純物モードに注目し、反強磁性体に見られる磁気構造変化を伴った相転移機構および不純物の影響を明らかにする諸研究を行ない、すぐれた成果を収めたものであって、関連した分野に寄与するところが少なくない。

また主論文、参考論文を通じて、この分野に豊富な知識および、すぐれた研究能力をもっていることを認めることができる。

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。