

Title	反強磁性体におけるスピン波の不純物状態とマグノン側線の理論
Author(s)	利根川, 孝
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/29626
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名・(本籍)	利根川 孝 とねがわ たかし
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	第 1358 号
学位授与の日付	昭 和 43 年 3 月 28 日
学位授与の要件	理学研究科物理学専攻 学位規則第5条第1項該当
学位論文名	反強磁性体におけるスピン波の不純物状態とマグノン側線の理論
論文審査委員	(主査) 教授 金森順次郎 (副査) 教授 川村 肇 教授 伊達 宗行

論 文 内 容 の 要 旨

反強磁性絶縁体中に含まれる一個の不純物スピン波スペクトルに対する影響を理論的に研究した。考えるハミルトニアンは、副格子間最近接スピン間の交換相互作用と、 $-DS_z^2$ 型の異方性エネルギーとの和であり、不純物スピンの副格子間最近接 host スピンと反強磁性的に結合している場合および強磁性的に結合している場合の両方を考える。このハミルトニアンを Holstein-Primakoff の boson の生成消滅演算子で展開し、それらについて二次の項までとって得られるハミルトニアンを、グリーン関数の方法で対角化することにより、スピン波の不純物状態のエネルギーを計算する為の式を一般的形で求める。

次にこの一般式を体心立方格子の結晶および MnF_2 (ルチル) 型の結晶について数値的に解いた。この結晶に於ては不純物スピン波のモードは、結晶の対称性を反映して s 型, p 型, d 型および f 型の対称性をもつモードに分類出来る。我々はそれぞれの対称性をもつモードについてそれらが局在波として出現する為の条件、および局在波として出現した時のそれらの持つエネルギーを、次の四つのパラメーター即ち $\alpha(=|J'|/J)$, $\beta(=S'/S)$, $\delta(=D/Jz)$ および $\delta'(=D'/Jz)$ (但しここで J, S, D はそれぞれ host スピンに関する副格子間最近接スピン間の交換積分, スピンの大きさ, および異方性常数であり, また J', S', D' は不純物スピンに関する同様な量である。更に z は副格子間の最近接スピンの数である。) の種々の組合せについてくわしく調べ、結果についての物理的な考察を行なった。数値計算の結果によれば、これらの局在波は、それぞれ上にあげた四つのパラメーターの適当な値に対して、スピン波のエネルギーの上部または下部および異方性エネルギーの存在のために生ずるエネルギー帯中の gap の中のどちらか一方または両方に出現する。我々は次にこの数値計算の結果を使って Mn^{2+} イオンを不純物として含む FeF_2 を議論した。

また我々は不純物スピンの副格子間最近接 host スピンと反強磁性的に結合している場合につ

いて、不純物スピンおよびその副格子間最近接 host スピンのもつ零点収縮を計算した。その結果後者のスピンの零点収縮は二つのパラメーター α および β の両方の振動関数であることが示された。

更に我々は、不純物スピン波の問題と関連して、 MnF_2 の光の吸収スペクトル中に最近観測された三つのマグノン側線 σ_1 , σ_2 , π_1 の吸収係数を、田辺, 守谷, 菅野によって与えられた effective spin-dependent electric dipole moment にもとずいて理論的に研究した。これらのマグノン側線は Mn^{2+} イオンの ${}^6\text{A}_{1g}({}^6\text{S})$ なる基底状態から ${}^4\text{T}_{1g}({}^4\text{G})$ なる励起状態への電子遷移と一つのスピン波の放出とが同時に起る過程から生ずることが知られているが、励起状態にある Mn^{2+} イオンはスピン波スペクトルに対して不純物スピンとして影響を及ぼすはずである。今までに発表されている理論と異なって、本研究ではこの不純物の効果を取り入れて議論する。この MnF_2 のスピン波側線の理論で考えるハミルトニアンは、Low 等の中性子線回折による研究に従って、結晶の $\langle 001 \rangle$ 方向に沿った副格子内最近接スピン間の強磁性的な交換相互作用と $\langle 111 \rangle$ 方向に沿った副格子間最近接スピン間の反強磁性的な交換相互作用の二種類の交換相互作用と $-DS_z^2$ 型の異方性エネルギーから成るとする。ここで述べた二種類の交換相互作用のうちの前者は σ 偏光のマグノン側線と偏光のマグノン側線の違いを議論する上で本質的な相互作用である。特に π_1 マグノン側線のピーク的位置に関して、不純物の効果を取り入れた本理論は今までの理論とくらべて実験結果をよりよく説明する。

以上の如き不純物の問題を考える時、グリーン関数の方法を使う関係上、スピン波の問題に限らず一般的に云って、結晶グリーン関数についての知識が必要となる。我々は副格子内最近接スピン間の交換相互作用および $-DS_z^2$ 型の異方性エネルギーをもつ MnF_2 (ルチル) 型の結晶に対するいくつかの結晶グリーン関数の解析的な性質及びお互いの間の関係を論じ、更に本研究中で問題となった交換積分および異方性定数の値に対するこれらの結晶グリーン関数の数値を表に与えた。

論文の審査結果の要旨

本論文は、反強磁性体での不純物原子の存在によってひきおこされる spin wave spectrum の変化を一般的に論じ、この理論を二、三の具体的な現象に応用した理論研究である。応用についてはとくに光の吸収でのいわゆる magnon side band について、不純物効果の重要性を指適し、 MnF_2 について詳細な計算を行なって実験結果と比較する。

Heisenberg 模型が適用される絶縁体反強磁性体において、1 コの磁性イオンが与えられた不純物原子によっておきかえられた場合を考える。不純物原子とまわりの母体の原子との間の交換相互作用の定数、および不純物原子のスピンの大きさが共に母体での値とこととなるとする。このとき、素励起としての spin wave を考える。不純物原子のスピンの大きさ、母体原子のスピンの交換相互作用の大きさによって、不純物原子およびその近傍に局在した spin wave が現われる場合がある。反強磁性体の場合には、交換相互作用の他に異方性エネルギーの存在が重要であって、利根川君の解析には、異方性エネルギーについても不純物原子と母体原子とを区別している。利根川君は、上記局在波の出現条件を一般的に論じ、局在波のエネルギーおよびその mode の計算法を確立することを論文の前半の主目的とした。 FeF_2 中の Mn 等の具体例についての計算も与えられている。

論文の後半においては、純粋な反強磁性体において、磁性イオンが光を吸収することによってその電子状態を変えたとき、それが不純物原子として振舞うことに着目した理論が展開されている。光の吸収のさいに、イオンの電子状態間の遷移に加えて1コの spin wave が放出される magnon side band においては、この不純物効果が直接に観測される筈である。MnF₂ について従来の理論では、偏光の方向によって変る吸収の極大の位置を定量的に説明することができなかつた。利根川君の詳細な計算によれば、不純物効果を考えに入れることによって、実験と理論とのズレをかなり締めることができ、その重要性が明らかになった。

利根川君の論文は、計算の困難さのためにあまり考えられていなかった反強磁性体での spin wave への不純物効果の問題を詳細に議論し、くわしい数値計算によって定量的な指針を与えたものとして高く評価される。とくに光の吸収の問題は今後の発展に寄与するところが多い。よつて本論文は、理学博士の学位論文として十分価値あるものと認める。