

氏 名	谷 憲 輔 たに けん すけ
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	論 理 博 第 51 号
学位授与の日付	昭 和 39 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Antiferromagnetic Spin Waves (反強磁性スピン波)

論文調査委員 (主 査)
教 授 山 本 常 信 教 授 高 木 秀 夫 教 授 松 原 武 生

論 文 内 容 の 要 旨

最近の磁気共鳴および中性子散乱に関する実験技術の進歩は、磁性体の磁氣的性質、特にその dynamic な面を次第に明らかにしつつある。このような実験の側からの進歩に刺激されて、理論の側からも盛んに研究が行なわれるようになり、強磁性体に関しては今日すでにすぐれた研究が多くなされている。これに対して反強磁性体については、その平衡系の性質に関するものは別として、スピン波の緩和過程を扱った研究は今のところきわめて少ない。僅かに共鳴幅が kinetic equation の方法で調べられているに過ぎない。波数が有限の一般のスピン波の減衰はまだ誰も手をつけていない。反強磁性体の性質を理解するためには、スピン波の緩和過程を明らかにすることがきわめて重要である。この見地から、著者は 2—格子反強磁性体のスピン波の性質を、その dynamic な振舞いに重点をおいて、理論的に研究した。考察を 2—格子模型に限っているけれども、非可逆過程の量子統計力学における緩和函数の方法を用いて、徹底的に組織的に調べあげて、スピン波の諸性質を温度の函数として導いた。得られた結果を要約すれば：

(I) 一軸異方性反強磁性体の共鳴幅 ΔH は、共鳴振動数を ω_0 として

$k_B T \ll \hbar \omega_0$ の温度領域では

$$\Delta H \doteq \frac{3z^3}{27\pi^3 S^2 g \mu_B} \frac{H_A}{H_E} k_B T \exp\left(-\frac{g \mu_B \sqrt{2H_A H_E}}{k_B T}\right)$$

$k_B T \gg \hbar \omega_0$ の温度領域では

$$\Delta H \doteq \frac{3z^3 c}{2^{15/2} \pi^3 S^2 g^2 \mu_B^2} \sqrt{\frac{H_A}{H_E^3}} (k_B T)^2$$

で与えられる。ここに、 H_A および H_E はそれぞれ異方性場、および交換相互作用場； $g \mu_B / 2$ は電子の磁気能率； k_B はボルツマン定数； S はスピンの大きさ； z は近接磁気イオンの数； c は 0(1) の数因子である。この結果は、前述した kinetic equation の方法による結果と質的に喰い違っている。具体例として $M_n F_2$ をとると、後者は $6^\circ K$ で $\Delta H = 160 oe$ を与えるのに対して前者は $\Delta H = 50 oe$ となり、これは Johnson および Nethercot の実験とよく一致している。

(II) 波数が有限 ($q \neq 0$) のスピン波の減衰定数 Γ_q は

$$\Gamma_q = \frac{3z^{5/2}}{2^{15/2} \pi^3 S^3 \hbar} \frac{aq}{|J(0)|} (k_B T)^2$$

で与えられる。ただし $J(0)$ は交換相互作用のフリーエー-0-成分, a は格子定数である。

(III) 任意の温度において, $q \neq 0$ のスピン波の振動数 ω_q に対して次の表式が求められた:

$$\hbar \omega_q = \frac{(g\mu_B)^2 \sigma}{\sqrt{\chi_{\perp q} \chi'_{\perp q}}}$$

σ は磁気イオン当りの磁化の強さ $\chi_{\perp q}$ および $\chi'_{\perp q}$ はいずれも垂直帯磁率 (前者は通常の磁場に対するもの, 後者はいわゆる staggered field に対するもの) である。この表式の特別の場合として, $q=0$ とおけば, 共鳴振動数に対する Nagamiya-Keffer-Kittel の式が導かれる。かくして Nagamiya-Keffer-Kittel の式が量子統計力学の立場からはじめて証明され, その適用限界も明らかにされた。

(IV) 交換相互作用のみが存在する場合, スピン波の振動数に対して今一つの表式

$$\hbar \omega_q = \varepsilon_q \left(1 - \frac{\varepsilon}{2S} \right)$$

が導かれた。 ε_q は自由なスピン波のエネルギーであり, ε はスピン波間の相互作用の効果を表わし, それは T によらない項と T^4 に比例する項とからなる。これは Keffer および Loudon が直観的な考察から示唆していたものであった。

(V) 2-格子フェリ磁性体のスピン波についても同様な定式化を行なった。特に光学的モードのスピン波の減衰が, 強磁性, 反強磁性のいずれとも異なる興味ある振舞いを示すであろうことが指摘された。

参考論文 1, 2, 3 はいずれも電気抵抗に関する問題を扱った興味深い研究である。4, 5 は非線型の非可逆過程に関する定式化を試みたものである。

論文審査の結果の要旨

最近の磁気共鳴および中性子散乱に関する実験技術の進歩に刺戟されて, 磁性体のスピン波の性質, 特にその dynamic な振舞いに関する理論的研究が近時盛んに行なわれるようになった。実際強磁性体に関してはすでにすぐれた研究が多くなされている。しかし反強磁性体については, 今日までほとんど未開拓のまま残されていて, 僅かに共鳴幅に関して予備的な研究がなされているに過ぎず, 波数が有限の一般のスピン波の緩和過程はまだ誰も手をつけてはいなかった。著者は2-格子反強磁性体のスピン波の性質を, その dynamic な面に重点をおいて, 非可逆過程の量子統計力学における緩和函数の方法を用いて, 徹底的に組織的に調べあげた。かくして, 2-格子模型に関する限り, スピン波の主要な特徴は温度の函数として明らかにされた。著者によって得られた主な結果を要約すれば:

(I) 一軸異方性反強磁性体の共鳴幅が温度, 異方性場, および交換相互作用場の函数として求められて実験と比較された。

(II) 有限の波数をもったスピン波の減衰が求められた。

(III) スピン波の振動数スペクトルに対する一般的表式を任意の温度について導いた。その特別の場合として, 共鳴振動数に関する Nagamiya-Keffer-Kittel の式が量子統計力学の立場からはじめて証明された。

(IV) スピン波の振動数スペクトルに対するスピン波同志の相互作用の効果が調べられた。その結果 Keffer-Loudon の直観の正しいことが証明された。

(V) 2-格子フェリ磁性体のスピン波の減衰についても同様な定式化を行なって、光学的モードの特徴が指摘された。

参考論文 5 編のうち 3 編は電気抵抗の問題を扱った興味深い研究であり、残る 2 編は非線型非可逆過程の統計力学的定式化を試みた研究である。

要するに、著者谷憲輔は、反強磁性体のスピン波を、量子統計力学の立場から系統的に研究して多くのすぐれた成果を挙げ、この分野の発展に寄与貢献するところが大きい。また非可逆過程の統計力学の広い分野にわたって豊富な知識とすぐれた研究能力とをもっていることが認められる。

よって本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。