

グリーン関数による強磁性緩和の理論 (学位論文)

田 中 基 之 (京大理)

要旨

強磁性体内の内部における緩和現象は応用上重要な問題であるが、その機構を反映する現象の典型的な一例は強磁性共鳴における吸収線の形状である。強磁性共鳴の周波数は Kittel 等の現象論によつて早くから理解されたが、吸収線の巾の方はその理解にかなりの時がかかった。オーに実験の側からみれば、吸収線の巾が使用した試料の形や表面の状態に敏感に依存するという難題がある。これは、常磁性状態の場合とちがつて、スピンの集団的運動の特徴が巨視的な性質に直接反映しているためであるが、他方集団運動が適当な記述を与えるという立場から出発すると、期待される状態減衰の強度にくらべて、多くの場合、観測される巾の方が遙かに大きいという事実がある。

Van Vleck は、強磁性体において共鳴吸収線の巾に影響を与え得る種々の機構を検討して、結局スピンの間の擬双極子型の相互作用がその要因であることを論じ、さらに(a)結晶の静的非一様性による巾と、(b)一様な結晶でも期待される巾とを区別したが、実験を説明するには至らなかつた。Kittel 等は温度変化に着目して(a) coherent part, (b)を fluctuation part と呼んだ。(a)は 0°K でも有限であるが、温度が上がれば減少し、(b)は 0°K では零であるが、温度が上がれば増大する。その後、Clogston等は具体的に試料の磁気的不規則性を扱つて(a)の機構による巾を計算し、フェライトの残留巾を説明することに成功した。彼等の新しい着眼は、有限の大きさの試料において、共鳴周波数と縮退した多数の他の mode が存在することを意識した点にあり、この着想によつて吸収線の巾に対する理解は急に進んだ。他方(b)の機構に関しては、スピン波理論にもとづくいくつかの理論が提出されてきたが、上記の如く有限の試料におけるスペクトルの縮退を考慮した理論はない。また、有限温度に対しては、スピン波状態の減衰と共磁性共鳴吸収の

田中基之

巾とは厳密には同じものでない。

このような事情の下において、申請者は強磁性共鳴の正しい mode を考察し有限の大きさの試料におけるスペクトルの縮退を明確にとり入れて、(b)の機構——すなわち、双極子相互作用の時間的揺動——による減衰を取り扱った。これが主論文である。取り扱いの方法は、スピン演算子に関する一般的な二時間グリーン関数を用い、decoupling によつて無限の方法式系を適当な階層までで閉じさせることにより、これを解いた。定式化の性質上、グリーン関数は全温度領域を通じて解かれるが、特に低温の秩序状態に着目し、明確な分散関係が存在することを考慮して、スピンの一様な横成分の減衰特性を導出した。

結果の概要は次の通りである。(1)スピンの一様な横成分の時間変化は振動減衰の形に求められる。振動スペクトルは低温の極限においてスピン波理論によつてえられる励起状態と同一であるが、温度が上昇すれば磁化に比例する量を介して変化し、分散は弱くなる。(2)減衰定数はスピンの二体の相関と三体の相関を用いて表現され、低温の極限では、擬粒子の相互作用による減衰という形で定式化された従来のスピン波理論と対比される。(3)スペクトルの縮退がある場合、横成分の対相関に依存する項は専ら振動数スペクトルの補正に寄与し、温度に対して $\{1 - CT^{5/2}\}$ の形で依存する励起スペクトルが導かれる。(4)減衰係数は縦成分の対相関に依存する項によつてほぼ決定され、えられた巾は極低温を除く低温領域で温度の 2 乗に比例して増加し、かつ試料の形に依存する。

なお、(a)の機構、すなわち試料の磁気的不規則性による巾もまた同一の理論形式で扱うことが可能であり、結果は Clogston 等のものと本質的に同等であることが示されている。

参考論文

その 1： スピン系の動的特性を論ずるため、2 時間グリーン関数の一般的理論を展開したものである。減衰定数は相互作用とスピンの対相関を用いてあらわされ、対相関も同じ理論形式の中で求められることが示されている。

その 2： 参考論文その 1 において展開した一般論を強磁性体の転移点以上の温度領域に適用したものである。

その 3： 反強磁性体、フェリ磁性体、異種イオンを含む常磁性体のごとく

グリーン関数による強磁性緩和の理論

交番部分格子構造をもつスピン配列の場合に、一般論を拡張したものである。

その4： 参考論文その3の応用例として、二種の等価でないイオンを含む常磁性体における磁気共鳴吸収が静磁場の変化に応じて著しくことなつた吸収スペクトルを示す問題 (exchange amalgamation) を扱つたものである。

その5： 参考論文その3のうち、帯磁率に関する結果の速報である。

その6： 参考論文その3のうち、励起エネルギーに対する高次項の補正を論じた速報である。