

【 25 】

氏名	川崎辰夫 かわ さき たつ お
学位の種類	理学博士
学位記番号	理博第127号
学位授与の日付	昭和43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	理学研究科物理学専攻
学位論文題目	Theory of Nonlinear Susceptibility —A diagrammatic approach— (非線型磁化率の理論—ダイヤグラム法—)
論文調査委員	(主査) 教授 富田和久 教授 松原武生 教授 端 恒夫

論文内容の要旨

“非線型”という数学的用語は種々の異なった場合に用いられ、その意味内容も様々であるが、ここでは外部から加えた励起 (excitation) に対して、一つの物理系が示す応答 (response) の性格に関する事柄に限定する。

応答の中で、広い意味で外場の大きさに比例する部分、すなわち、線型の応答 (linear response) については、以前より論ぜられており、特に最近10年程の間に理論の一般的形式が整理されて、計算すべき量の性格がかなり明らかになってきた。これに対して、外場に比例する形に書き切れぬ応答、すなわち非線型応答 (nonlinear response) に関しては、線型の場合に対比すべき一般論があるとは言えない。他方、近時、集積されてきた諸種の実験事実の中には、例えば(1)磁気共鳴の飽和、(2) non-Ohmic な電気伝導、(3)非線型光学における諸種の誘導効果、等のごとく、明白な非線型応答の実例が含まれている。理論の発展が要望される所以である。

非線型効果の中には、外場の n 次 ($n < \infty$) に比例する個々の項によって記述されるような摂動論的非線型が知られており、特に非線型光学の領域では、応用面の広い具体例 (例えば誘導 Brillouin 散乱等) が査べられつつあるが、吸収、あるいは誘導散乱が外場に対して飽和現象を呈する場合は、上記の様な項の有限個によって現象を記述することは出来ない。この種の現象を本質的な非線型性と呼ぶ。例えば、共鳴吸収における飽和効果は以前から知られているこの様な現象の例である。

申請者の主論文は、スピン系を一つの具体例として、上記の諸現象に含まれるこの様な本質的非線型効果を論じたものである。

方法としては、多体問題観点から、一般に n 次の応答に対応する $(n+1)$ 個の時間を含む多時間グリーン関数を考察し、この関数に対する自己エネルギーの内容を追求する。簡単化の条件として、(1) n 時間グリーン関数 $G_n(t_1, t_2, \dots, t_{n-1})$ に対する自己エネルギーが、2時間グリーン関数 $G_2(t_1, t_2)$ に対する自己エネルギーと略々同一であると仮定する (一種の random phase 近似) ことにより、問題は、線型的応答の

無限のくりかえしの形に整理される。すなわち、線型応答を用いて非線型応答関数の満足すべき方程式が得られる。(2)ここで線型応答を既知と仮定すれば、この方程式は解けることとなる。

上記の方法を用いて、申請者は、(1)磁気共鳴における Bloch の意味の飽和スペクトルを導出し、これがスピン温度の上った状態における線型応答に他ならぬことを示した。さらに進んで、(2)振動外場が二つ以上存在する場合におこる3次の帯磁率、あるいは誘導散乱過程に関して具体的結果を与えた。すなわち、結合周波数の発生 (Raman emission, 二量子遷移) の条件、ならびに振動外場が充分強くなった場合の飽和の状況をも導出している。

参考論文1. 2時間グリーン関数の方法を用いて反強磁性体の秩序相における緩和現象を詳細に論じたものである。低温における反強磁性スピン波の uniform mode の示す減衰係数 $\Gamma(0)$ が

(I) $k_B T \ll \sqrt{2H_B H_A}$ では

$$\Gamma(0) = C \frac{Z^2}{S^2} \frac{H_A}{H_B} \cdot k_B T \exp \left\{ -\frac{\sqrt{2H_B H_A}}{k_B T} \right\}$$

(II) $k_B T \gg \sqrt{2H_B H_A}$ では

$$\Gamma(0) = C \frac{Z^2}{S^2} \sqrt{\frac{H_A}{H_B}} \frac{1}{H_B} (k_B T)^2$$

であることを導いている、この結果は、従来異なった方法で計算が行なわれた谷の結果を支持し、Genkin-Fain の結果を否定している。

参考論文2. 2時間グリーン関数を用い、交互に chain を形成する二種のスピンの交換相互作用によって結ばれている場合、磁気共鳴の吸収線形が、ゼーマン・エネルギーの差と交換相互作用の大小によって、いかに変わるか (exchange amalgamation の現象) を具体的に論じたものである。

参考論文3 フェリ磁性体の転移点付近における常磁性帯磁率をグリーン関数の最低次近似で論じたものである。

論文審査の結果の要旨

物理系の外場に対する非線型応答の例は、実際的には数多く存在するが、理論的取扱いの進んでいるのは線型の範囲であり、非線型応答に関する考察は、現段階では少ないといえることができる。非線型応答の取り扱いは勿論従来なかった訳でなく、いくつかの現象論的方法があげられる。磁気共鳴における Bloch 方程式と、飽和現象に対するその解は一つの具体的な例である。しかし、微視的立場から非線型応答を考察した例は少ない。

申請者の主論文は、微視的な立場から出発し、近時理解の進んでいる多体問題的視点に立ち、その方法を利用して、本質的非線型性の一例であるスペクトルの飽和現象に、従来と異なった意味の光をあてたものである。すなわち、現象論と同軌の結果をうるために、おくべき微視的仮定の内容を明らかにし、また、従来現象論的にも導出されていなかった、誘導散乱の場合の飽和効果について具体的結果を与えた。これらの結果を導出するためには、かなり思いきった仮定を導入しているから、結果は必ずしも完全に一般的とはいえないが、にもかかわらず、微視的立場から、非線型応答の内容を検討し新たな結果をえた点は評価されてよく、今後この方面の理論の発展に対して、一つの刺激を与えるものと考えられる。

以上を要するに、申請者の主論文はスピン系を素材として、外場の誘起する本質的な非線型性を取り扱う新たな方法を提出したものであり、参考論文はスピン・ダイナミクスに関する造詣を示している。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。