

磁性体のスピン波理論

東京工芸大学 工学部 小口 武彦

磁気系の低励起モードを記述するスピン波理論を史実を踏まえながら、磁気系のお話を初めて聞く大学院学生にもわかる様に解説して頂きました。

有限温度で相転移を引き起こす3次元強磁性体(主に Heisenberg model)は Weiss の平均場理論で記述できることが知られるが、絶対零度近傍での描像が不十分である。そこで完全秩序状態からの小さな揺らぎを評価するために Bloch によって考案されたのがスピン波理論である。Krammers and Heller によって半古典的な解釈が与えられることも示された。さらに定式化が簡単になる Holstein-Primakoff 変換を用いた記法にも触れて頂いた。また、スピン波理論を用いた議論で空間次元による相違が明瞭に現れており、1次元及び2次元の格子では有限温度でスピン波の描像が破綻して長距離秩序が存在しないことを説明された。

また、スピン波理論は反強磁性体の基底状態での量子揺らぎを記述するのにも用いられる。第一近似としてスピン波間の相互作用を考えない方法から、近似の精度を高めるためにスピン波間の相互作用も考慮した方法として高橋の修正スピン波理論を解説された。高橋の理論はボゾンに変換するために Dyson-Maleev 変換を用いて、副格子自発磁化が0となる条件を課して、自由エネルギーが最小になるように変分を取るものである。さらに、2次元正方格子の反強磁性体の基底状態の評価をするのにスピン波理論を用いた議論をして頂いた。

構造相転移

東京大学 物性研究所 山田 安定

1. Introduction

固体における相転移は歴史における革命に当たるものであり、そこでは、

- 2つの相の自由エネルギーの伯仲
- 物理量の揺らぎの発散
- 感受率の増大
- 固体中の微視的相互作用の顕在化

が見られる。

構造相転移においては、転移後の原子位置の転移前の平衡位置からのずれの振幅 ξ が秩序パラメータとなる。

2. 揺らぎと感受率

感受率 χ の定義は、外力 X に対する応答を x とすると

$$x = \chi X$$

である。

外力が時間変化するとき感受率はその周波数に依存し、また、外力が空間的変調を持っている場合には感受率はその波数に依存する。

講義ノート

平衡点の周りで自由エネルギー F がある物理量 x の 2 次式で書けるとすると, x の外力に対する感受率は x の揺らぎの 2 乗に比例する.

3. 2 次相転移と揺らぎ

固体の相転移は, 一般に何らかの対称性の喪失 (秩序化) を伴う. 故に, 相転移が起こっているか否かは明確に決まり, 転移点では秩序パラメータ ξ に $\xi = 0$ から $\xi \neq 0$ への変化が起こる. 相転移の熱力学においては系の ξ に関する安定性を吟味する.

ξ を空間的に一様と考えて $\xi = 0$ の周りで自由エネルギー F をべき展開し, この $F(\xi)$ を最小とする ξ が安定とするのが Landau scheme であり, ξ が空間的に変調されているとして空間の関数 $\xi(\vec{r})$ の汎関数としての $F[\xi]$ を最小とする関数形 $\xi(\vec{r})$ が安定とするのが Ginzburg-Landau scheme である.

2 次相転移は, 現象としては

$$F(\xi) = F_0 + A\xi^2/2 + B\xi^4/4 \quad (B > 0)$$

のように展開される自由エネルギー F の 2 次の係数 A が正から負へと変化するこゝである. 従って ξ は, 転移点で連続的に変わる.

秩序パラメータ ξ の揺らぎは 2 次転移点の近傍で発散する.

4. 1 次相転移と揺らぎ

1 次相転移を説明するとき, $F(\xi)$ は初めから ξ に対し複数の極小を持つと考える. 転移はこれらの極小値の大小関係の逆転により起こるので ξ は転移点において不連続に変化する.

このとき極小と極小の間にあるポテンシャル障壁が十分高いならば 1 次転移点では ξ の揺らぎは発散しない. しかし, この障壁が転移点付近での熱エネルギー $k_B T_C$ と同程度のときには 1 次転移点で大きい揺らぎが起こり, 系の各領域は揺らぎによって 2 相間を行き来する.

このようなドメイン混入系の場合, 外力に対する $\langle \xi \rangle$ の応答は, ドメイン境界の移動によるもので, 各領域での振幅の増大によるものではない. このような応答を記述する係数を擬感受率と呼ぶ. 擬感受率の例としては, マルテンサイト相転移点近傍における超弾性定数などがある.

メゾスコピック系の物理学

学習院大学 理学部 川畑 有郷

メゾスコピック系の研究は, 久保による金属微粒子に関するものに端を発し, その後アンダーソン局在のスケール理論や, また技術的な向上も相俟って大きな発展を遂げている.

微粒子等の小さい系の電子状態を考える上でモデルとして電子ガスとランダムな境界及び不純物等を考える. 久保はエネルギー準位の統計的分布を調べるため全ての準位間には相関がないという仮定をたてて議論を行ったのに対し, Gor'kov と Eliashberg はランダム行列理論よりハミルトニアンの対称性によって 3 つの universality class に分類した.