

ハイゼンベルクスピン系の Critical slowing-down

川崎 恭 治 (九大理)

最近臨界現象に伴うダイナミックスを取扱う一つのモデルとして、又強誘電体誘電緩和の実験を説明する為に Ising Model の Kinetics が色々調べられて居り、この研究会でもいくつかの面白い研究が報告された。更にこの種のモデルを調べる事の有用性が松原教授によって強調された。所で当然次に問題になる事はこのモデルで得られた結果がどれ程実際の物理現象にあてはめられるかと云う事、即ちこのモデルの限界をハッキリ認識する事である。この問題に一般的解答を与える事は大変難かしいと思われるので、特別な可能な場合についてこの点を調べる事が望まれる。この観点からハイゼンベルクスピン系をとり上げた。この系のダイナミックスは強磁性の場合、よく知られている様にスピン拡散によって記述され、拡散係数 D は従来の理論では

$$D = L/\chi \quad \text{..... (1)}$$

と書かれる。但し χ は帯磁率、 L は Onsager Kinetic coefficient でキュリー点 T_c で有限。所でこれは実験的には未だ検証されて居らず、むしろ D が T_c で有限に残ると主張する実験家もでてきた。これらの主張をそのまま信用するかどうかはさておき、これらの事情から(1)のミクロな理論的基礎をもっと立ち入って調べる必要がでてきた。そこで Glauber の Time-dependent Ising model をこの場合に拡張したモデルで調べてみると

$$D \leq L'/\chi \quad L' \text{ は有限}$$

と云う exact な不等式が出てくる。それゆえ上記実験家の主張が正しければこの場合には Ising model 的取扱いが許されない事になる。研究会ではこの問題についての筆者の最近の仕事 [J. Phys. Chem. Solids, 28 (1967) 1277] を紹介し、その後にはわかった二、三の事柄をつけ加えた。先づ Isotropic Heisenberg の時を考えて、一般化された damping constant $r_q^\alpha(z)$, ($\alpha=0, \pm$, z は imaginary frequency) の相関函数表示から出

発する。ここに出てくる spin current operator は $S_k^\alpha(t)$ を含むがこれを, Mori の Brownian motion の一般論を援用し, systematic な運動をあらわす部分 (これは又 $r_k^\alpha(z)$ と $S_k^\alpha(0)$ であらわされる。) と random part $f_k^\alpha(t)$ に分け, 後者は T_c で効かないと仮定して無視すると $r_k^\alpha(z)$ に対する self-consistent な閉じた方程式がえられる。これを使うと先づ長波長の極限で r_k^α は拡散であらわされ, 拡散係数は $D \propto \kappa^{+\frac{1}{2}} \propto \chi^{-\frac{1}{4}}$ となる。ここで κ^{-1} はスピンのゆらぎの correlation length。これは従来の理論にくらべて, T_c のより近くに行かなければ critical slowing-down があらわれない事を示して居り, 実験家の主張に一步近づいている。

更にこの理論では T_c に近づく程単純な拡散で記述できる領域が小さくなる事がでてくる。この事は Sloppy spin wave の問題とも関連して来る筈である。上記の事から, 強磁性の場合に critical slowing-down を特徴づける characteristic time τ_F は $\propto [\kappa^2]^{-1} \propto \kappa^{-\frac{5}{2}}$ 。反強磁性の時に同様にして Sublattice Magnetization の緩和を特徴づける characteristic time τ_A は $\propto \kappa^{-\frac{5}{2}}$ 。最近の Torrie の MnF_2 の中性子散乱の実験 (J. Phys. Soc. London, 39 (1966) 77) を説明するには従来の理論, $\tau_A \propto \kappa^{-2}$ より $\kappa^{-\frac{3}{2}}$ の方が如都合である。次に上でのべた self-consistent formulation の本質だけとり出して簡単化すると τ_F が次の形に求まる。

$$\tau_F^{-2} \sim ([\dot{S}_q^0]_\kappa, [\dot{S}_{-q}^0]_\kappa) / (S_q^0, S_{-q}^0) \quad (2)$$

ここで $q \sim \kappa$, 又 $[\dot{S}_q^0]_\kappa$ は

$$\dot{S}_q^0 = -iN^{-1} \sum_k J(k, q-k) S_k^+ S_{q-k}^-$$

で $k \lesssim \kappa$ の部分だけ残したものの。スピン緩和函数の 2 次モーメントが $(\dot{S}_q^0, \dot{S}_{-q}^0) / (S_q^0, S_{-q}^0)$ で与えられる事から (2) は 2 次モーメントの長波長部分になっている。これは示唆に富む結果で, 従来のモーメントを用いる理論ではすべての波数のゆらぎがはいって来たのにくらべ, (2) のような, critical

ハイゼンベルグスピン系の critical slowing-down

phenomena にとって重要な長波長のゆらぎのみがはいって来るような一種の truncated moments で理論を作る事ができれば話は見通しがよくなるに違いないが、これは将来の宿題として残されている。最後に, uniaxial anisotropy がある時には様子は全く違って来て, 従来の critical slowing-down の理論をこの場合に拡張した取扱いが悪いと云う積極的理由は今の所見当らない様である。

Diffuse Collective Modes in the Paramagnetic Phase

富 田 和 久 (京大理)

§ 1 序

最近 Ising 型の hamiltonian で支配されるスピン系の dynamics, 特に転移点近傍における異常性について多くの仕事が見われ, 種々の点が明らかにされつつあるが, これに関連して二つの注意が必要と思われる。才一に, Ising 型の系と異方性の強い Heisenberg 型の系とが似ていると思われるのは基底状態に限り, 励起状態はかなり異なることである。時間変化を論ずる場合, 一般には励起状態が関係してくる筈であるから, 実在の系の dynamical な性質を Ising 型の模型のみで予想しつくせるか否かには疑問がある。才二に, dynamics に関する論議の多くは速度論的な方法に頼っているが, 特に転移点近傍を論ずる際には, この様な stochastic な記述が充分であるか否か疑問がある。よく知られているように, stochastic な方法は long-time (又は large scale) の incoherent な振舞を記述するもので, 時間空間のいずれについても, 臨界的な scale 以下の部分においては, dynamically coherent な性質が表面に出てくるので, その妥当性を主張することはできない。実際 stochastic な記述の場合には, short-time (又は small-scale) に特有な sum rule は破られていることが多い。(形式的にこの欠点をおぎなっても, それが全般的改良となっている保証はないように思われる。)ところで, critical time-scale (又は space-scale) 自身は温度の関数であり, 転移点に近づくに従って, stochastic な記述の妥当する領域