

量子臨界点近傍における中性子散乱強度の総和則

[1] 要旨

中性子散乱は磁性体の研究に重要な実験手段である。この中性子散乱の散乱強度は、エネルギーと運動量で積分すると一定値となり、総和則が成り立つ。磁性体の励起状態には、磁気モーメントの方向と大きさの揺らぎに由来する横モードと縦モードがあり、量子臨界点近傍では後者の揺らぎは無視できない。この縦モードを取り込んだ総和則が導出され、量子臨界点近傍における磁性体の励起構造の解明に、重要な役割を果たすことが期待される。

[2] 本文

磁性材料の開発研究には、磁性体の性質を詳細に調べる基礎研究が必要とされる場合がある。比熱・磁化率等の熱力学的な測定はその代表的なものであるが、励起状態が関与するダイナミカルな性質の測定には、光や中性子散乱が用いられる。中性子はスピンを持ち、物質中の磁場と相互作用するため、磁性を担う電子のスピンによって散乱される。中性子のエネルギーと運動量について、散乱前後での変化を調べることで、磁性体に存在する励起状態を、詳細に観測することができる。このような中性子散乱の散乱強度（正確には動的スピン相関関数）は、エネルギーと運動量で積分すると一定値となり、総和則が成り立つことが知られている。

温度を下げると磁性体には磁気モーメントが発生し、秩序が形成される。このとき、磁気モーメントが揺らぐことによる励起状態を担う準粒子は **magnon**（マグノン）と呼ばれ、中性子散乱で観測される。散乱強度は、中性子のエネルギー変化を伴わないもの（弾性散乱）と、伴うもの（非弾性散乱）に分類できる。非弾性散乱の過程には、**magnon** を1つ励起したもの（**one-magnon**）と、複数励起したもの（**multi-magnon**）がある。総和則の中で、これら三者（弾性、**one-magnon**、**multi-magnon**）の過程に由来する散乱強度が、どのような比率になっているのか調べ、磁性体の中性子散乱の解析に用いられている。

一方、磁性体には、温度を下げるだけでは秩序を示さず、低温で磁場や圧力を加えることで秩序が形成される物質がある。これは量子相転移と呼ばれ、秩序と非秩序を分ける量子臨界点の近傍では、強い揺らぎを反映した現象が起こる。例えば、量子臨界点近傍の秩序相では、磁気モーメントが大きく縮み、励起状態には、磁気モーメントの方向が揺らぐ横モードに加え、モーメントの大きさが伸び縮みする縦モードも存在する（図1参照）。前者は通常のスピン波理論で記述される励起につながるモードであるが、後者の励起は量子臨界点から離れると強度が失われ、観測が難しいことが知られている。

最近、静岡大学の研究グループは、量子臨界点近傍において、横モードだけでなく、縦モードについても考慮し、中性子散乱強度に関する総和則を初めて導いた。この結果は、日本物理学会が発行する英文誌 **Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)** の2021年1月号に掲載された。その理論を用いると、非弾性散乱に加え、縦モードによる **one-magnon** と **two-magnon** 励起、横モードによる **one-magnon** と **two-magnon** 励起の散乱強度比率がわかる。論文では、量子相転移を示す系として、容易面型の異方性があるスピン系と、2つのスピンの強く結合したダイマー系が取り上げられている。また、理論の具体的な応用例として、ダイマー系物質 **Cr₂WO₆** で観測されたエネルギーの

高い励起モードについて解析をおこない、横モードの two-magnon 励起ではなく、縦モードの one-magnon 励起で理解できることが示されている。

量子相転移を示す磁性体は新奇な物性を示す可能性があり、励起状態の構造を解明することは重要である。その基礎研究で用いられる中性子散乱において、今後、研究成果が役立つものと期待される。

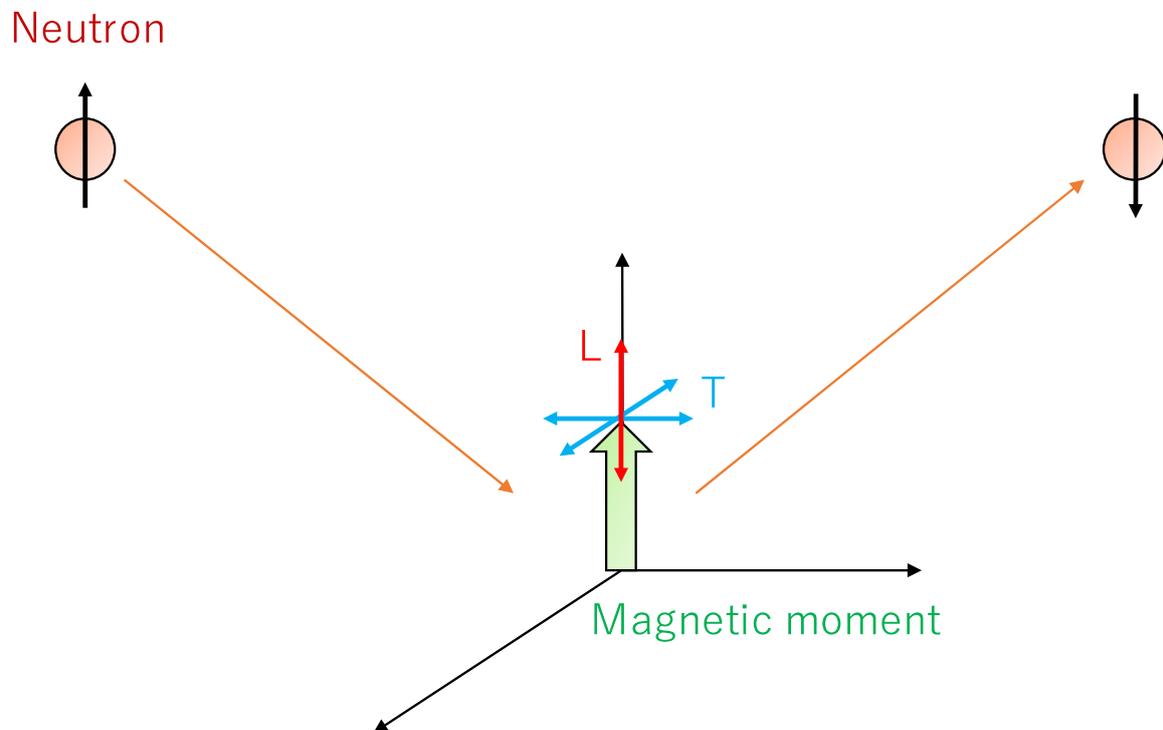


図 1. 中性子散乱によって、磁気モーメントに揺らぎが生じる。Lは縦揺らぎ、Tは横揺らぎを意味する。磁気モーメントの揺らぎは磁性体中を伝搬して励起状態が形成される。

原論文(12月3日公開済)

Total Moment Sum Rule for Magnets in the Vicinity of Quantum Critical Point

Masashige Matsumoto: J. Phys. Soc. Jpn. **90**, 014701 (2021)

<情報提供 松本 正茂 (静岡大学理学部) >