

量子スピン系の物理 – 物質創成の立場から Physics of Quantum Spin Systems from the Viewpoint of Material Development

田中秀数
東京工業大学理学院物理学系

対称性の破れや分子場のように、古くからスピン系は物理学の重要な概念形成の舞台になっている。一昨年のノーベル物理学賞の対象となった Berezinskii-Kosterlitz-Thouless 転移は 2 次元強磁性 XY 模型を念頭に構築された理論であり、Haldane 相は整数スピンの反強磁性体鎖を扱った理論である。今後もスピン系に端を発した新概念が生まれていくと信じている。顕著な量子多体効果を示すスピン系は量子スピン系と呼ばれていて、その量子多体効果は磁性研究の中心課題である。本講演では、基底状態が一重項状態のスピン系における量子相転移と Higgs モード、及びフラストレーションの強い量子スピン系における分数スピン励起を中心に中性子散乱の役割について、物質開拓の立場からお話をしたい。

2つのスピンが強く反強磁性的に結合してダイマーを形成し、それがダイマー間相互作用で結合したスピンドイマー系や大きな容易面型単イオン異方性をもつ系の基底状態は励起ギャップを持つスピン一重項状態になる。このような系に圧力を加えると、ギャップが潰れて秩序状態へ相転移を起こす場合がある。そのような圧力誘起量子相転移では、臨界圧力(量子臨界点)で励起モードの再構成が起こる。すなわち、ギャップのある縮退した三重項(二重項)励起は位相モードと振幅モードに再構成される。この位相モードは南部・ゴールドストーンモードに振幅モードは Higgs モードに対応する[1]。これは一見異なる磁性と素粒子論に共通の物理があることを示すもので、物理現象の普遍性を象徴している。この Higgs モードは中性子散乱で励起できるモードである。

スピン 1/2 の三角格子や籠目格子 Heisenberg 反強磁性体に代表されるフラストレーションの強い量子スピン系では、フラストレーションと量子ゆらぎの相乗効果で生ずるスピン液体と呼ばれる秩序のない基底状態が注目されている。一般の磁性体での励起はマグノンと呼ばれる全スピンの変化が 1 の励起であるが、スピン液体に特徴的な励起は全スピンの変化が 1/2 の励起である分数スピン励起である。スピン 1/2 の三角格子反強磁性体の基底状態はスピン液体ではなく、 120° 構造をもつ秩序状態になることが知られているが、マグノン励起のエネルギーは大きな量子再規格化を受ける。そして、最も特徴的なことは大きな散乱強度をもち、高エネルギーまで続く連続励起が現れることである[2]。この連続励起は基底状態が秩序状態であっても、分数スピン励起が起こることを強く示唆する現象と考えられる。

[1] D. Pekker and C. M. Varma, *Annu. Rev. Condense. Matter Phys.* **6**, 269 (2015).

[2] S. Ito et al., *Nat. Commun.* **8**, 235 (2017).