

氏名	宮崎 寛
授与した学位	博士
専攻分野の名称	理学
学位授与番号	博甲第3626号
学位授与の日付	平成20年 3月25日
学位授与の要件	自然科学研究科先端基礎科学専攻 (学位規則第5条第1項該当)
学位論文の題目	異方的ハルデン鎖における磁場誘起相転移とその磁場角度依存性
論文審査委員	教授 原田 勲 教授 大嶋 孝吉 教授 小林 達生

学位論文内容の要旨

本論文は、単イオン型の磁気異方性を持つハルデン鎖において磁場が誘起する量子相転移現象とその磁場角度に対する依存性についての研究結果である。

低次元量子反強磁性体では、熱ゆらぎのない絶対零度でさえも、強い量子ゆらぎによって乱された非磁気的な無秩序状態が基底状態となるなど、量子系特有の興味深い現象がしばしば発現する。近年では、その様な基底状態に磁場を印加することで、量子ゆらぎが抑制されて起こる量子相転移現象に注目が注がれている。

Ni化合物 $\text{Ni}(\text{C}_5\text{H}_{14}\text{N}_2)_2\text{N}_3(\text{PF}_6)$ (以下NDMAPと略記) は、非磁気的な基底状態から三次元秩序状態への秩序-無秩序転移が磁場によって引き起こされた最初の物質である。この物質は c 軸方向に連なった Ni^{2+} イオンのもつ $S=1$ スピンにより構成されるハルデン鎖のモデルで考えることができる。このとき各スピンはNi化合物の磁性体に特徴的な大きな容易面型の異方性をもち、さらに小さいが容易面内にも異方性をもつ。この物質において c 軸方向に磁場を印加した場合に、秩序-無秩序転移に引き続いて磁気秩序相内でも相転移が起こるという非常に興味深い実験結果が最近報告された。これまでに、前者の相転移については多くの研究がなされてきたが、その後の磁気秩序相内の現象についての研究はほとんど無い。NDMAPの特徴的な結晶構造から、 c 軸方向の磁場はスピンの困難軸(z 軸)から容易軸(x 軸)方向に 16° 傾いた方向に磁場を印加することに対応する。著者は秩序相内の相転移には、この異方性の主軸からの磁場の傾きが重要であると考え、本研究を行った。

密度行列繰り込み群による $ab\text{ initio}$ な数値計算とランダウ-ギンツブルグ型の現象論的な場の理論の2通りのアプローチによりこの系の磁場誘起相転移現象を調べた。これらの結果は定性的に一致し、また、後者で求めた励起エネルギーは、電子スピン共鳴、中性子非弾性散乱で観測された磁場強度変化、磁場角度変化を定量的に再現する。さらに、ある磁場角度領域では秩序-無秩序転移に引き続いてスピン・リオリエンテーション転移が磁場により誘起される事が明らかになった。この相転移は、誘起されたスタガード磁気モーメントが xz 面内に向けたXZ相と y 軸方向を向いたY相の間の一次相転移である。外部磁場は反強磁性的な交換相互作用との競争により、磁気モーメントの大きさを変化させ、それらを磁場方向に向ける働きをする。このとき、磁場が異方性の主軸から傾いていると、XZ相の不安定化が起こりY相へと転移する。NDMAPで新たな相転移が発見された磁場角度はスピン・リオリエンテーション転移が起こる角度領域内であり、この機構により説明可能であることが示された。

論文審査結果の要旨

本論文では、一次元反強磁性体に特有な乱れた量子力学的基底状態、例えばハルデン状態、とそれらの状態に付随する低エネルギー励起状態の特性について研究を行っている。特に、これらの乱れた基底状態に於ける磁場の役割と磁場誘起秩序化過程を明らかにするため、(A)「密度行列繰り込み群の方法」、(B)「現象論的場の理論」という2つの理論的手法を用いている。

異なるこれら2つの理論的手法を開発・拡張して、量子揺らぎが顕著な1次元 $S=1$ スピン鎖(ハルデン鎖)の典型物質、NDMAP、における磁場誘起無秩序—秩序相転移や磁場誘起秩序相間相転移を研究した。特に、NDMAPにおける異方性エネルギーの働きに着目し、それが新たな秩序相間の相転移を生じることを明らかにしたことは注目に値する。この発見は、これまで理解困難であった実験結果に新たな解釈を与えるばかりでなく、低次元量子系秩序層における揺らぎの大切な役割を再確認させるもので、その成果は高く評価される。

以上のように、本論文は1次元系に特有な量子揺らぎを磁場による秩序化を通して理解することに寄与するばかりでなく、秩序相においてなお揺らぎに由来する相転移が起きることを示した。さらに、このような基底状態における低エネルギーの励起状態の特性をも、秩序とゆらぎの関係という観点から明らかにし、それらを具体的な実験結果と関連付けて議論している。実験との関連を十分に意識し、理論を展開するこの研究手法は、正当な研究姿勢であると評価できる。また、これらの問題を研究する過程で、「密度行列繰り込み群の方法」や「現象論的場の理論」などの理論的手法の拡張にも成功し、今後のこの分野の研究に新たな道を与えたことは評価される。

本論文の内容、論文発表会、参考論文を総合的に審査した結果、本論文は博士学位論文に値するものと認定する。