

平成 22年 5月 28日現在

研究種目： 基盤研究(C)
研究期間： 2007～2009
課題番号： 19540364
研究課題名（和文） 振幅モードスピン波の理論的研究
研究課題名（英文） Theoretical Study of Longitudinal Spin-Wave Mode
研究代表者
松本 正茂 (MATSUMOTO MASASHIGE)
静岡大学・理学部・准教授
研究者番号： 20281058

研究成果の概要（和文）：

複数のスピンの強く結合したスピン多量体を基本単位として相互作用している系について、その磁気励起を拡張されたホルシュタイン・プリマコフ理論を用いて研究した。その結果、量子臨界点近傍においてスピン多量体の量子効果によって磁気モーメントが大きく縮む場合には、モーメントの伸び縮みに対応した振幅モードスピン波が低励起に現れることを示した。このモードは中性子散乱に強い散乱強度をもち、ラマン散乱は振幅モードを選択的に観測する良いプローブであることも見出した。このように、振幅モードの観点から、磁気励起の新しい側面を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

We investigated magnetic excitations in interacting multispin systems by applying an extended Holstein-Primakoff theory. We found that longitudinal magnetic excitation can appear in low-energy region when the ordered moment is suppressed by quantum effects of the multispin near a quantum critical point. This longitudinal mode has substantial intensity for inelastic neutron scattering. We also found that Raman scattering is a powerful tool to probe the longitudinal modes, since it probes them selectively. Thus, we revealed new aspects of magnetic excitations from the point of view of the longitudinal mode.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
20年度	800,000	240,000	1040,000
21年度	500,000	150,000	650,000
22年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：数物系科学
科研費の分科・細目：物理学・物性 II
キーワード：磁性、量子スピン系

1. 研究開始当初の背景

磁性体の励起状態は、ホルシュタイン・プリマコフによるスピン波理論で計算できる。この理論では、秩序化した磁気モーメントに垂直な成分の揺らぎを励起状態として記述する。これに対して、モーメント方向の揺らぎによる磁気励起は、振幅モードスピン波と呼ばれる。この振幅モードは単純なホルシュタイン・プリマコフ理論で記述することは難しい。通常の磁性体では振幅モードの励起エネルギーは高く、中性子散乱強度が低いいため観測されることはないが、このモードが観測される具体的な物質が報告され始めていた。

2. 研究の目的

振幅モードは従来型の磁性体では観測された例がほとんど無かったため、このモードの理解はあまり進んでいないのが現状であった。本研究では、振幅モードを正確に記述できる理論を構築し、このモードが観測されるために磁性体が持つべき性質を示す。磁気励起の新しい側面を、振幅モードスピン波の観点から明らかにすることが、本研究の目的である。

3. 研究の方法

容易面型の単イオン磁気異方性を有する整数スピンの系や、スピンドイマーに代表されるスピン多量体が相互作用している系の量子臨界点近傍においては、秩序化した磁気モーメントが量子効果によって大きく縮む。この場合には、振幅モードが観測される可能性がある。このような系は、スピン多重項が相互作用する系として統一的に捉えることができる。振幅モードを記述するためには、エネルギーの高い励起状態を理論に取り込む必要がある。これを実現するため、スピン多重項の各エネルギー固有状態に対してボーズ粒子を導入し、ホルシュタイン・プリマコフの理論を拡張する。これを具体的な典型

物質に適用して研究を進める。

4. 研究成果

(1) スピンドイマー系

拡張されたホルシュタイン・プリマコフの理論を、複雑な磁気異方性を有する場合に適用し、スピンドイマー系における電子スピン共鳴の理論を構築した。この成果は、下記の論文(4)として出版された。

次に、この理論を適用して振幅モードについて調べた。典型的なスピンドイマー系である TlCuCl_3 では、圧力を加えることで磁気秩序が現れる。この量子臨界点近傍では、振幅モードが低励起に現れ、強い中性子散乱強度を持つことを示した。また、圧力下での非弾性中性子散乱実験の結果と比較し、理論と実験の定量的な一致を確認した。この成果は、イギリス・スイスの実験グループとの共同研究として、下記の論文(5)として出版された。

(2) 容易面型 S=1 の系

容易面型の磁気異方性を有する S=1 の系においても、スピンドイマー系と同じ理論が適用できることを示し、これが実現されるモデル物質 $\text{NiCl}_2 \cdot 4\text{SC}(\text{NH}_2)_2$ を念頭において研究した。スピンドイマー系と同様に、圧力で制御された量子臨界点近傍で振幅モードが観測できることを示した。この成果は、下記の論文(8)として出版された。

(3) ラマン散乱と振幅モード

TlCuCl_3 の磁場誘起秩序相において、ラマン散乱の実験が行われた。上智大学の実験グループと協力して実験結果を解析した結果、ラマン散乱は振幅モードを選択的に観測する良いプローブであることがわかった。振幅モードを観測する強力な実験手段として、ラマン散乱の今後の発展につながる研究である。この成果は、実験グループとの共同研究として、下記の論文(3)、(6)、(7)として出版された。

(4) スピン四量体

スピンドイマー系に限らず、複数のスピン

が強く結合したクラスターを基本単位として相互作用しているスピン多量体系についても、振幅モードの観測が可能である。具体的には、スピン四量体の典型物質 $\text{Cu}_2\text{Fe}_2\text{Ge}_4\text{O}_{13}$ における中性子散乱を理論的に調べ、この物質の実験結果が定量的に説明できることを示した。この物質では四量体間の相互作用が比較的強いいため、振幅モードは高エネルギー領域にあるにもかかわらず、実験で観測されていることがわかった。また、もう一つの典型物質 $\text{Cu}_2\text{CdB}_2\text{O}_6$ についても調べ、今後の実験に役立つ理論を提出した。この成果は、実験グループとの共同研究として、下記の論文(1)、(2)として出版された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- (1) Transverse and Longitudinal Excitation Modes in Interacting Multispin Systems
M. Matsumoto, H. Kuroe, T. Sekine, and T. Masuda
to be published in J. Phys. Soc. Jpn. Vol.79, (2010) No. 8. (査読有)
- (2) Theory of magnetic excitation for coupled spin dimer and spin chain system $\text{Cu}_2\text{Fe}_2\text{Ge}_4\text{O}_{13}$
M. Matsumoto, H. Kuroe, T. Sekine, and T. Masuda
J. Phys. Conf. Ser. Vol. 200 (2010) 022034 (4 pages). (査読有)
- (3) Anticrossing effect between magnon and phonon in Bose-Einstein condensation phase of TlCuCl_3
H. Kuroe, A. Oosawa, T. Sekine, F. Yamada, H. Tanaka, and M. Matsumoto
J. Phys.: Conf. Ser. Vol. 150 (2009) 042104 (4 pages). (査読有)
- (4) Theory of Magnetic Excitations and Electron Spin Resonance for Anisotropic Spin Dimer Systems
M. Matsumoto, T. Shoji, and M. Koga
J. Phys. Soc. Jpn. Vol. 77 (2008) 074712 (13 pages). (査読有)
- (5) Quantum Magnets under Pressure: Controlling Elementary Excitations in TlCuCl_3
Ch. Rueegg, B. Normand, M. Matsumoto, A. Furrer, D. F. McMorrow, K. W. Kraemer, H.-U. Guedel, S. N. Gvasaliya, H. Mutka, and M. Boehm
Phys. Rev. Lett. Vol. 100 205701 (2008) (4 pages). (査読有)
- (6) Magnetic field-induced one-magnon Raman scattering in the magnon Bose-Einstein condensation phase of TlCuCl_3
H. Kuroe, K. Kusakabe, A. Oosawa, T. Sekine, F. Yamada, H. Tanaka, and M. Matsumoto
Phys. Rev. B Vol. 77 134420 (2008) (5 pages). (査読有)
- (7) One-Magnon Raman Scattering as a Probe of Longitudinal Excitation Mode in Spin Dimer Systems
M. Matsumoto, H. Kuroe, A. Oosawa, and T. Sekine
J. Phys. Soc. Jpn. Vol. 77 (2008) 033702 (4 pages). (査読有)
- (8) Longitudinal Spin-Wave Mode Near Quantum Critical Point Due to Uniaxial Anisotropy
M. Matsumoto and M. Koga
J. Phys. Soc. Jpn. Vol. 76 (2007) 073709 (4 pages). (査読有)

[学会発表] (計 6 件)

- (1) 低温・圧下における KCuCl_3 の光散乱
丹羽雅哉、黒江晴彦、関根智幸、山田文子、田中秀数、松本正茂、竹村謙一
日本物理学会 2009年9月27日 熊本市
- (2) Theory of magnetic excitation for coupled spin dimer and spin chain system $\text{Cu}_2\text{Fe}_2\text{Ge}_4\text{O}_{13}$
M. Matsumoto, H. Kuroe, T. Sekine, and T. Masuda
International Conference on Magnetism, 30th July, 2009 Karlsruhe (Germany)
- (3) 光散乱で観測した $\text{Cu}_2\text{Fe}_2\text{Ge}_4\text{O}_{13}$ の磁気励起
黒江晴彦、長谷川卓也、関根智幸、益田隆嗣、松本正茂
日本物理学会 2009年3月11日 東京都豊島区

- (4) $\text{Cu}_2\text{Fe}_2\text{Ge}_4\text{O}_{13}$ の磁気励起
松本正茂、黒江晴彦、関根智幸、益田隆嗣
日本物理学会 2008 年 9 月 20 日 盛岡市
- (5) 「光散乱で見た TlCuCl_3 におけるマグノンのボーズ・アインシュタイン凝縮」
黒江晴彦、日下部晃平、大沢明、関根智幸、松本正茂、山田文子、田中秀教
日本物理学会 2007 年 9 月 24 日 札幌市
- (6) スピンドイマー系におけるラマン散乱の理論
松本正茂、黒江晴彦、大沢明、関根智幸、田中秀教
日本物理学会 2007 年 9 月 24 日 札幌市

[その他]

ホームページ等

以下のホームページには、本研究に関して、出版されている論文のリストを掲載している。

<http://www.ipc.shizuoka.ac.jp/~spmmtu/papers.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 正茂 (MATSUMOTO MASASHIGE)
静岡大学・理学部・准教授
研究者番号：20281058

(2) 研究分担者

古賀 幹人 (MIKITO KOGA)
静岡大学・教育学部・准教授
研究者番号：40324321

(3) 連携研究者