



Title	エネルギーギャップを持つ1次元量子スピン系における磁場中での動的性質及び臨界的性質
Author(s)	鈴木, 隆史
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46961
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 ＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed >大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	すず 鈴 木 たか 隆 史
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 19836 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 17 年 10 月 31 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科応用物理学専攻
学 位 論 文 名	エネルギーギャップを持つ 1 次元量子スピン系における磁場中での動的性質及び臨界的性質
論 文 審 査 委 員	(主査) 助教授 菅 誠一郎 (副査) 教 授 川上 則雄 教 授 笠井 秀明 教 授 八木 厚志 助教授 谷 正彦

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、理論、実験の両面から注目が集まっているエネルギーギャップを持つ 1 次元量子スピン系を取り上げ、量子揺らぎと多体効果が系の物理的性質に与える影響を理解することを目指した。量子揺らぎと多体効果は系の低エネルギー励起の振る舞いに顕著に現れることから、この系の磁場中での動的性質及び臨界的性質について調べた。

第一章では、本研究の背景と目的を記した。

第二章では、単一イオン異方性を持つ $S=1$ ボンド交替ハイゼンベルグスピン鎖 (ボンド交替鎖) の垂直磁場中における動的性質について数値対角化法を用いて調べた。この系はボンド交替の強さによってダイマー相からハルデー相へ量子相転移することから、垂直磁場中での各相の素励起の特徴について調べた。そして、相の違いが動的性質に著しく現れることを明らかにし、その理由を解明した。また、得られた結果を基に、モデル物質に対する非弾性中性子散乱実験の結果について説明を行った。

第三章では、有限温度における $S=1$ ボンド交替鎖のダイマー相が示す動的性質について Pair Dynamical Correlated-Effective Field 近似を用いて調べた。まず、数値対角化法による計算結果との比較をとおして、この方法が有効なパラメータ領域を調べた。得られた結果から、この系の動的性質に現れる熱揺らぎの効果について議論した。

第四章では単一イオン異方性を持つ $S=1$ ボンド交替鎖の磁化プラトーが現れる磁場中での動的性質について調べた。本章では、数値対角化法と摂動クラスター展開を用いて系の素励起について調べ、その物理的描像について議論した。

第五章では、次近接相互作用を持つ $S=1/2$ ボンド交替鎖の磁場中での臨界的性質と磁場誘起スピン秩序について調べた。本章では、数値対角化法と共形場理論に基づく有限サイズスケーリングを用いて、系の励起がギャップレスとなる磁場領域において、スピン相関関数の臨界指数の磁場依存性を調べた。そして、磁場を強くすると、支配的なスピン相関が磁場に垂直方向の反強磁性相関から、磁場方向の非整合なスピン密度相関に移り変わることを明らかにした。続いて、この系で鎖間相互作用によって誘起される磁場中のスピン秩序について、平均場近似と密度行列繰込み群を組み合わせることで調べ、誘起されるスピンの秩序状態は系で支配的なスピン相関を強く反映したものであることを明らかにした。本章の最後で、 $S=1/2$ ボンド交替鎖のモデル物質に対して行われた磁場中 NMR 緩和率の実験結果に

ついて解析を行った。

第六章では、本論文の総括を行い、今後の展望についてまとめた。

論文審査の結果の要旨

本研究は、エネルギーギャップを持つ1次元量子スピン系における量子揺らぎと多体効果の影響を理解することを目的として、その系の磁場中での動的性質および臨界的性質に関する理論的研究を行い、以下の六章にまとめたものである。

第一章では、緒言として、エネルギーギャップを持つ1次元量子スピン系の動的性質に関するこれまでの研究結果や1次元量子系の理論的枠組みを与える朝永-ラッティンジャー流体について概説し、本研究の位置づけを明らかにしている。

第二章では、まず、数値対角化法を用いて1次元量子系の動的性質を計算するためのアルゴリズムについて説明している。次に、この方法によって、スピン間に働く交換相互作用が交互に異なる $S=1$ ボンド交替スピン鎖の垂直磁場中における動的性質について調べている。そして、交互に異なる交換相互作用の比の変化によるダイマー相からハルデー相への量子相転移に伴い、二つの相での動的構造因子に著しい違いが現れることを明らかにし、その原因が素励起連続帯の磁場依存性の違いに起因することを指摘している。また、得られた結果を基に、二つの相でのモデル物質に対する非弾性中性子散乱実験の結果について説明を行っている。

第三章では、有限温度における $S=1$ ボンド交替スピン鎖のダイマー相における動的性質について、Pair Dynamical Correlated-Effective Field 近似を用いて調べている。まず、この近似方法と数値対角化法による熱力学量および素励起の分散関係の計算結果を比較することによって、この近似方法が有効となる温度およびパラメータ領域を決定している。そして、この系の動的構造因子を計算し、そこに現れる熱揺らぎの効果を明らかにしている。

第四章では、単一イオン異方性を持つ $S=1$ ボンド交替スピン鎖において、磁化プラトーが現れる磁場中での動的性質を調べている。数値対角化法によって動的構造因子を計算し、結果を摂動クラスター展開による素励起の分散関係と比較することによって、磁化プラトー領域での素励起の物理的描像を議論している。

第五章では、次近接相互作用を持つ $S=1/2$ ボンド交替スピン鎖の磁場中での臨界的性質と磁場誘起スピン秩序について調べている。数値対角化法と共形場理論に基づく有限サイズスケーリングを用いてスピン相関関数の臨界指数を調べ、支配的なスピン相関は磁場増加に伴い、「磁場に垂直方向の反強磁性相関」—「磁場方向の非整合なスピン密度相関」—「磁場に垂直方向の反強磁性相関」へと移り変わることを明らかにしている。また、ここで得られた結果に基づいて計算した磁場中 NMR 緩和率の温度依存性は、 $S=1/2$ ボンド交替スピン鎖のモデル物質に対して行われた磁場中 NMR 緩和率の実験結果を良く再現することを指摘している。次に、鎖間相互作用によって誘起される磁場中のスピン秩序について、平均場近似と密度行列繰込み群を組み合わせることで調べ、誘起されるスピンの秩序状態は鎖内で支配的なスピン相関を反映したものであることを明らかにしている。

第六章では、本論文の総括を行い、今後の展望についてまとめている。

以上のように、本論文はエネルギーギャップを持つ1次元量子スピン系における磁場中での動的性質および臨界的性質について理論的に解析したもので、基礎的な面のみならず応用の面でも有益な知見を得ており、応用物理学、特に物性物理学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。