

Title	一次元 $S=1/2$ 量子スピン系の磁場中での性質に関する研究
Author(s)	宇佐見, 護
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/41388
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"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	宇佐見 護
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 14604 号
学位授与年月日	平成11年3月25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	一次元 $S=1/2$ 量子スピン系の磁場中での性質に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 川上 則雄 (副査) 教授 河田 聡 教授 伊東 一良 教授 萩行 正憲 講師 菅 誠一郎

論文内容の要旨

本論文は、エネルギーギャップを持つ一次元 $S=1/2$ 量子スピン系の磁場中での性質を調べることを目的として、 $S=1/2$ 二本足スピン梯子系のスピン相関関数の臨界指数、及び第二近接相互作用を持つ $S=1/2$ ボンド交替鎖のスピン相関関数の臨界指数、磁化曲線、動的構造因子の計算を行ったものであり、下記の五章から構成される。

第一章は序論であり、本研究の背景及び目的について述べている。

第二章では、数値対角化と共形場理論に基づく有限サイズスケールリングを組み合わせることにより、第二近接相互作用を持つ $S=1/2$ ボンド交替鎖の磁場中でのセントラルチャージ、磁化曲線、及びスピン相関関数の臨界指数の磁化依存性を求めている。その結果、セントラルチャージは1であり、この系が朝永-ラッティンジャー流体で記述できることを明らかにしている。また、磁化曲線は、強い量子効果を反映して線形には変化しないことを指摘している。さらにスピン相関関数の臨界指数の磁化依存性は、 $S=1/2$ 及び $S=1$ のハイゼンベルグ鎖の場合とは定性的に異なった振る舞いを示し、この系に特有の性質を示すことを指摘している。

第三章では、 $S=1/2$ 二本足スピン梯子系におけるスピン相関関数の臨界指数の磁化依存性について述べている。計算結果から、横木方向の相互作用が反強磁性的か強磁性的かにより、臨界指数の磁化依存性は定性的に異なった振る舞いを示すことを明らかにしている。また、ごく最近行われた $S=1/2$ 二本足梯子物質に対する磁場中での核磁気共鳴の実験に基づいて、スピン相関関数の臨界指数の磁化依存性が考察されているので、この物質を記述すると考えられているパラメータを用いてスピン相関関数の臨界指数の磁化依存性を計算し、実験結果と比較している。計算結果は実験結果と定性的に異なっているが、この原因としては、梯子間の相互作用や格子歪みの影響などが考えられることを指摘している。

第四章では、第二近接相互作用を持つ $S=1/2$ ボンド交替鎖の動的構造因子をランチョス法に基づく連分数展開を用いて調べている。このモデルには磁化曲線に plateau が出現するパラメータ領域が存在するので、plateau が出現している場合を中心に調べている。その結果、磁化曲線に plateau が現れるパラメータに対しては、plateau の存在を反映した特徴的な振る舞いが動的構造因子に見られることを明らかにしている。動的構造因子は非弾性中性子散乱により直接測定可能な物理量であるので、得られた計算結果は実験により観測される可能性があることを指摘している。

第五章では本研究で得られた成果をまとめ、総括を行うとともに、今後の展望について述べている。

論文審査の結果の要旨

高温超伝導体の発見を契機として、量子ゆらぎや多体効果が固体物理学における基礎的かつ重要な問題として再認識されるようになり、それらが重要な役割を果たす舞台として、低次元量子系に対する研究が、理論、実験の両面から現在精力的に進められている。特に、一次元量子スピン系は厳密な解析的計算を行うことができる系を存在するうえ、大規模な数値計算が可能であることから、理論的に詳しく調べられている。また、近年の物質合成技術の進歩により、一次元とみなせる物質が作られるようになり、実験と理論との精密な比較が現在活発に行われている。

本論文はエネルギーギャップを持つ一次元 $S=1/2$ 量子スピン系の磁場中での性質を調べることを目的として、 $S=1/2$ 二本足スピン梯子系のスピン相関関数の臨界指数、及び第二近接相互作用を持つ $S=1/2$ ボンド交替鎖のスピン相関関数の臨界指数、磁化曲線、動的構造因子を数値計算により解析した結果をまとめたものであり、その主な結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 共形場理論に基づく有限サイズスケールリングと数値厳密対角化を組み合わせることにより、第二近接相互作用を持つ $S=1/2$ ボンド交替鎖の臨界的な性質を調べ、磁場によりエネルギーギャップが閉じた状態が朝永-ラッティンジャー流体で記述されることを明らかにしている。さらに、磁場に垂直方向のスピン相関関数の臨界指数は磁化と共に増加し、最大値をとった後、磁化の増加に伴い減少するのに対し、磁場に平行方向のスピン相関関数の臨界指数は磁化の増加に伴って減少し、最小値をとった後、増加することを明らかにしている。
- (2) $S=1/2$ 二本足スピン梯子系のスピン相関関数の臨界指数の磁化依存性を調べ、横木方向の相互作用が強磁性的か反強磁性的かによって、臨界指数の磁化依存性は定性的に異なったふるまいを示すことを明らかにしている。また、 $S=1/2$ 二本足スピン梯子系と考えられる物質を用いて行われた核磁気共鳴実験に基づいて、スピン相関関数の臨界指数の磁化依存性が考察されているので、この物質を記述すると考えられているパラメータを用いてスピン相関関数の臨界指数の磁化依存性を調べ、実験結果と比較検討している。そして実験結果は計算結果と定性的に異なっているが、これを説明するためには梯子間相互作用や格子歪みの影響が重要であることを指摘している。
- (3) 第二近接相互作用を持つ $S=1/2$ ボンド交替鎖の磁化曲線に plateau が出現する状態での動的構造因子を調べ、磁場に平行な動的構造因子は波数依存性が小さいピーク構造を示すのに対し、磁場に垂直方向の動的構造因子は特徴的波数依存性を持つピーク構造を示すことを明らかにしている。

以上のように、本論文はエネルギーギャップを持つ一次元 $S=1/2$ 量子スピン系の磁場中での臨界的な性質及び動的性質を数値計算により調べたものであり、得られた結果は応用物理、特に電子及び磁気デバイス工学の基礎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。