

学位論文題名

希釈ハイゼンベルグ反強磁性体の動的性質

学位論文内容の要旨

磁性体の研究は、古くから物性物理学分野の中心課題の一つであると共に磁気メモリや磁気ディスク等の応用分野にみられるように工学的にも極めて重要なものである。磁性体中の磁性原子を非磁性原子で希釈した物質である希釈磁性体の物理的性質は、パーコレーション、相転移、ランダム磁場効果など、様々な観点から興味の対象となっている。特に希釈磁性体は、理想的なパーコレーション構造をもつ系として注目されている。すなわち、磁性原子の濃度がパーコレーション臨界濃度よりも高ければ、交換相互作用によって結合したスピンの無限大クラスターが存在する。特に磁性原子の濃度が臨界濃度に十分近ければ、パーコレーションの相関長は十分長くなり、その範囲内でスピンのネットワークはフラクタル(自己相似)になっていると見なせる。

希釈ハイゼンベルグ反強磁性体の動的性質について、自己相似性が系の動的性質にどのような影響を及ぼすのであろうかという観点からの研究はほとんどなされていなかった。ハイゼンベルグ磁性体には、イジング磁性体には存在しないスピン波励起という励起状態が存在する。また現実の希釈磁性体はそのほとんどが希釈反強磁性体である。本論文はスピン波励起が希釈、フラクタルという効果によって、どのような動的性質を示すのかという問題について研究したものである。特に等方的な希釈ハイゼンベルグ反強磁性体におけるエネルギー状態密度および分散関係について、大規模数値計算とスケーリング理論の立場から調べた。希釈反強磁性体の動的性質に関しては、中性子非弾性散乱実験によって、その散乱強度すなわち動的構造因子を通して詳しく調べる事が出来る。本論文では、動的構造因子に関する新しい数値計算法の開発を行い、それを適用することによって様々な濃度領域における希釈ハイゼンベルグ反強磁性体の動的構造因子の詳細な振る舞いを明らかにした。この計算結果をもとにして、最近得られた中性子散乱実験の結果に新しい理論的解釈を与えた。

本論文の構成は以下のようにになっている。

第1章では、これまでの研究の背景と本論文の目的が述べられている。

第2章で、希釈反強磁性体の構造を記述するパーコレーション・ネットワークの基本的性質、および自己相似性を動的性質に顕著に反映した物理現象である異常拡散およびフラクトン励起について述べられている。また、希釈反強磁性体の基本的性質についても述べる。

第3章では、本論文の主題の一つである反強磁性フラクトンの動的性質について述べる。スケーリング理論および大規模計算機シミュレーションの結果から、反強磁性フラクトンのフラクトン次元の値が求められている。この結果から従来調べられてきた格子振動フラクトン等とは異なるユニバーサリティー・クラスに属する事が明らかにされている。

第4章では、希釈ハイゼンベルグ反強磁性体の動的構造因子に関する数値計算結果について述べる。まず臨界濃度の系において、反強磁性フラクトンが唯一つの特徴的長さで記述できるという単一長さスケーリング(single-length-scaling)仮説を満たす事を明らかにする。また動的構造因子の漸近的なエネルギーと波数依存性を明らかにした。また、臨界濃度よりも高い濃度を持つ系における動的構造因子についても調べた。その結果従来の予想と異なりマグノン-フラクトン・クロスオーバーにおいて動的構造因子のエネルギー依存性には2重ピークが存在しない事が明らかになった。また実験的に観測されている動的構造因子の2重ピークに関する物理的起源についても議論する。

第5章では、大規模行列の固有値解析の数値計算アルゴリズムである強制振動子法の、非対称行列の場合への拡張について述べる。また、動的構造因子のエネルギー・波数依存性に関する数値計算のアルゴリズム開発について述べる。これらのアルゴリズムを用いて、第3章、第4章に述べた希釈ハイゼンベルグ反強磁性体に関する大規模計算が初めて可能となった。

第6章では、本論文で得られた結果を総括し、今後の課題について言及している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 中 山 恒 義
副 査 教 授 山 谷 和 彦
副 査 教 授 田 村 信 一 朗
副 査 教 授 徳 田 直 樹

学位論文題名

希釈ハイゼンベルグ反強磁性体の動的性質

磁性体の研究は、古くから物性物理学分野の中心課題の一つであると共に磁気メモリや磁気ディスク等の応用分野にみられるように工学的にも極めて重要なものである。磁性体中の磁性原子を非磁性原子で希釈した物質である希釈磁性体は、理想的なパーコレーション構造をもつ系として注目されており、様々な観点から興味の対象となっている。この系において、磁性原子の濃度が臨界濃度に十分近ければ、パーコレーションの相関長は十分長くなり、その範囲内でスピンのネットワークはフラクタル（自己相似）構造をとる。本論文は、希釈ハイゼンベルグ反強磁性体の動的性質について、主に自己相似性が系の動的性質にどのような影響を及ぼすかという観点からの研究成果をまとめたものであり、その主要な成果は次のように要約される。

① 希釈ハイゼンベルグ反強磁性体において、系の自己相似性を反映した励起状態である反強磁性フラク톤のスペクトル次元の値を大規模計算機シミュレーションによって明らかにした。その結果、反強磁性フラク톤は従来調べられてきた格子振動フラク톤などとは異なるユニバーサリティー・クラスに属する事を明らかにした。

② 臨界濃度の希釈ハイゼンベルグ反強磁性体において、中性子非弾性散乱実験の散乱強度に対応する物理量である動的構造因子を数値的に調べた結果、反強磁性フラク톤は唯一つの特徴的長さで記述できるという単一長さスケーリング(single-length-scaling)仮説を満たす事を明らかにした。また、臨界濃度よりも高い濃度を有する系に関して調べた結果、従来の予想と反しマグノン-フラク톤・クロスオーバーにおいて動的構造因子には2重ピークが存在しない事を明らかにした。また実験的に観測されている動的構造因子に関し、そのエネルギー・スペクトルの物理的起源について明らかにした。

③ 大規模行列の固有値解析の数値計算アルゴリズムである強制振動子法に対して、非対称行列の場合への拡張を行った。また、動的構造因子に関する数値計算アルゴリズムを強制振動子法の立場から新たに開発した。これらを用いる事によって上記①と②の新知見を得る事が可能になった。これらの新しいアルゴリズムは今後工学の様々な分野に応用されるであろう。

これを要するに、著者は、希釈ハイゼンベルグ反強磁性体についてそのスピン波励起の動的性質の新知見を得たものであり、応用物理学に対して貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。