

Tetracritical point of $S=1$ XXZ chain with single-ion anisotropy

白石, 修一

<https://hdl.handle.net/2324/7363582>

出版情報 : Kyushu University, 2024, 博士 (理学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名	白石 修一			
論 文 名	Tetracritical point of S=1 XXZ chain with single-ion anisotropy (1 イオン異方性を伴う S=1 XXZ 鎖の四重臨界点)			
論文調査委員	主 査	九州大学	准教授	野村 清英
	副 査	九州大学	教授	福田 順一
	副 査	九州大学	教授	鈴木 博
	副 査	福岡工業大学	准教授	丸山 勲

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究者の白石氏は、1 イオン異方性を持つ $S = 1$ XXZ スピン鎖の基底状態について、4 つの相 (XY1、XY2 (Spin Nematic)、Neel、Haldane 相) に着目して理論的研究を行った。モデルのハミルトニアンは

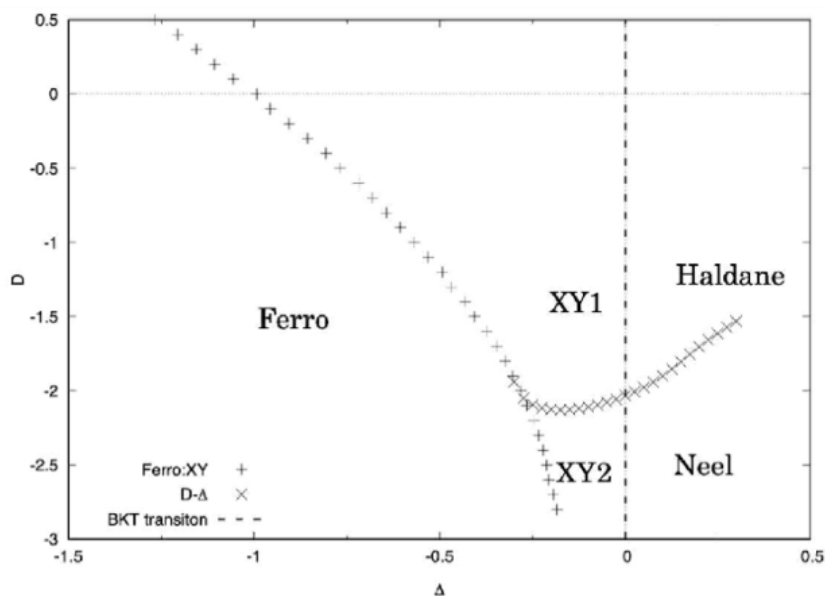
$$H = \sum_j (S_j^x S_{j+1}^x + S_j^y S_{j+1}^y + \Delta S_j^z S_{j+1}^z + D(S_j^z)^2)$$

と表され、モデルのパラメータ Δ 、 D に応じて異なる相をとる。

このモデルの基底状態の相図については先行研究が存在するものの、前述の4つの相が一点で交わっているかどうかについては曖昧な部分があった。特に最近、従来の数値計算手法ではこれら4つの相は1点で交差しなことが報告されており、ボゾン化理論に基づく先行研究と矛盾している。本研究ではこの矛盾を解決するために、共形場理論(CFT)と数値対角化を組み合わせることにより、相境界を決定する統一的な方法を提案した。

さらに Gibbs の相律の観点から考察すると、四重点が存在することは自明ではなく、本研究の動機の一つとなっている。

低次元量子系の臨界現象を扱うにあたっては共形場理論が強力な道具となる。相関距離が発散している領域については系がスケール不変性を持ち、共形場理論によって記述が可能だが、有限な相関を含む場合には共形場理論からのずれが生じることが予想される。共形場理論が成り立つ領域では、有限サイズスケーリングに基づき、セントラルチャージと呼ばれる臨界指数を用いて、エネルギーとセントラルチャージの関係



が利用できる。本研究では、数値対角化により系のエネルギーを計算し、スピン波速度に関して幾つかのパターンの仮定を行うことで、実際に相境界を特定することに成功した。

数値計算の解析によると XY1 相および XY2 相ではセントラルチャージ $c = 1$ であるといつてよく、これは先行研究による予想と矛盾がない。注目している多重臨界点は $D \sim -2$ に相当するが、相境界ではスピン波速度が複数存在すると考えるのが妥当であり、ある種の「比」を D の関数として解析することで実際に図 1 のような基底状態の相図を得ることができた。この解析の大きな特徴は Haldane-Neel の相境界と XY1-XY2 の相境界を同一の手法によって解析することができるという点である。

これらの 2 つの相境界は連続的に接続するため、 $\Delta = 0$ 上で既に知られている Berezinskii-Kosterlitz-Thouless 転移線と組み合わせることで、当初予想されたように四重臨界点の存在を示すことができた。

また、四重臨界点のユニバーサリティクラスについて、スピン波速度の異なる 2 つの独立な場の理論から構成される理由についても議論した。これらはスピン梯子の反転対称性で説明できる。

本研究で用いた解析手法は量子スピン梯子系やボーズハバード系など他のモデルの理論的な研究への応用のみならず、レーザー冷却された原子系のような実験系とも関連し、量子多体系の分野の研究が進展することが期待される。

よって、本研究者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。