
Abstract:

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Dimer-Phase des Shastry-Sutherland-Modells, einem geometrisch stark frustrierten Quanten-Spin-1/2-Modell, im externen Magnetfeld bei Temperatur $T = 0$. Die Analyse dieses Modells ist durch das Material $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ motiviert, das gut durch das Shastry-Sutherland-Modell beschrieben wird. $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ zeichnet sich dadurch aus, dass sich beim Anlegen eines externen Feldes ungewöhnliche Magnetisierungsplateaus herausbilden. In dieser Arbeit liegt das besondere Interesse in der mikroskopischen Beschreibung der Magnetisierungsplateaus, die stark korrelierten bosonischen Mott-Isolatoren mit spontaner Symmetriebrechung entsprechen. Von theoretischer Seite werden zwei Regime für die Magnetisierung unterschieden, die auch in diese Arbeit getrennt behandelt werden.

Zuerst werden die Plateaus bei niedriger Magnetisierung behandelt. Für dieses Regime sagt die etablierte Theorie Anregungen voraus, die aufgrund von starken repulsiven Wechselwirkungen zu kristallinen Phasen lokalisieren. Für mittlere Magnetisierungen formen sich hingegen sogenannte Streifen-Strukturen. Diskrepanzen zwischen Theorie und Experiment werden in dieser Arbeit aufgelöst, indem zunächst ein geometrisch reduziertes System, die Shastry-Sutherland-4-Bein-Röhre, betrachtet wird. Für dieses System wird perturbativ ein effektives Modell zu hoher Ordnung abgeleitet und mit einer klassischen Näherung sowie exakten Diagonalisierungen gelöst. Ein Vergleich mit der Dichte-Matrix-Renormierungs-Gruppe zeigt, dass Diskrepanzen nicht durch das effektive Modell induziert werden, sondern von der Vernachlässigung der exotischen Kinetik des effektiven Modells in der klassischen Näherung herrühren. Unsere Ergebnisse deuten auf eine Erweiterung des etablierten Bildes der Magnetisierungsplateaus hin, dass auch von variationellen Methoden im zweidimensionalen Modell für niedrige Magnetisierungen bestätigt wird. Da im System starke korrelierte Hüpfprozesse vorliegen, kann es zu einer Bindung der Teilchen im System kommen. Dies erklärt unseren Befund auf der 4-Bein-Röhre, dass gebundene Zwei-Teilchen-Zustände zu kommensurablen Phasen lokalisieren. Unsere Ergebnisse für die 4-Bein-Röhre lassen sich für $1/8 M_{\text{Sat}}$ und $1/4 M_{\text{Sat}}$ unmittelbar auf das zweidimensionale Modell übertragen. Für $1/4 M_{\text{Sat}}$ finden wir durch korreliertes Hüpfen stabilisierte, semi-klassische Streifen-Strukturen, analog zum zweidimensionalen Modell.

Der zweite Teil dieser Arbeit behandelt das zweidimensionale System im Bereich mittlerer Magnetisierung zwischen $1/4 M_{\text{Sat}}$ und $1/2 M_{\text{Sat}}$, indem ein störungstheoretischer Ansatz zur Beschreibung von Streifen-Strukturen bei endlicher Magnetisierung konstruiert wird. Die Methode erlaubt es die Energie und die Anregungslücken des Systems bei endlicher Magnetisierung perturbativ zu bestimmen. Mit dieser Methode werden erfolgreich die Breiten der Plateaus mit $1/3 M_{\text{Sat}}$ und $1/2 M_{\text{Sat}}$ bestimmt, die auch direkt mit experimentellen Ergebnissen verglichen werden. Aus dem Vergleich folgt die Bestimmung von $J'/J = 0.63$ für das Material $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$.