

Real-space correlations in dissipative quantum systems

Etienne Gärtner

Kurzzusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden dissipative Quantenstörstellen-Systeme betrachtet, in denen verschieden geartete Störstellen an eine gemeinsame dissipative Umgebung koppeln. Die dissipative Umgebung wird hierbei in beiden Fällen durch eine eindimensionale Kette von Bosonen mit ohmscher Spektraldichte beschrieben. Da durch die Kopplung von Störstellen an die Umgebung deren Translationsinvarianz gebrochen wird, ergibt sich die Frage, inwiefern verschiedenartige Störstellen innerhalb der eindimensionalen Kette nachweisbar sind. Hierzu werden statische thermische Erwartungswerte innerhalb der Kette als Funktion des Abstandes zu den Störstellen in beiden Modellen betrachtet.

In dem zuerst betrachteten Modell fungiert ein Oszillator als Störstelle, der mit sich selbst durch Dichte-Dichte-Wechselwirkungen interagieren kann. Bei Abwesenheit dieser Selbstwechselwirkung können die Bewegungsgleichungen des betrachteten, rein bosonischen Modells, vollständig analytisch gelöst werden. Im Grenzfall unendlich starker Selbstwechselwirkung geht das Modell in das bekannte Spin-Boson Modell über [2, 4]. Dieses zeigt einen Kosterlitz-Thouless Quantenphasenübergang in Abhängigkeit der Kopplungsstärke zwischen Störstellenoszillator und Umgebung. Hierbei findet der Übergang zwischen einer delokalisierten Phase und einer lokalisierten Phase auf der Störstelle statt. Während in der delokalisierten Phase eine endliche Tunnelwahrscheinlichkeit zwischen den beiden möglichen Zuständen der Störstelle besteht, wird die Störstelle in der lokalisierten Phase durch die starke Kopplung an ihre Umgebung in einem der beiden Zustände eingefroren und ein Tunneln ist nicht mehr möglich. Da das System für endliche Selbstwechselwirkungsstärken nicht analytisch lösbar ist, verwenden wir in diesem Parameterregime die Numerische Renormierungsgruppenmethode (NRG), um Resultate zu erhalten. Basierend auf den Ergebnissen der NRG-Berechnungen wird ein Phasendiagramm entwickelt, welches eine Linie von Quantenphasenübergängen als Funktion der Kopplungsstärke zwischen Störstellenoszillator und Umgebung für alle Werte der Selbstwechselwirkung der Störstelle aufweist.

Für das zweite betrachtete Modell werden zwei magnetische Spin-1/2 Momente als Störstellen gewählt, die in einem endlichen Abstand voneinander an die gemeinsame Umgebung koppeln. Dieses Modell wurde bereits ausgiebig für den Fall untersucht, dass

beide Störstellen lokal an die gleiche Stelle der Umgebung koppeln [3, 1]. In dem Fall induziert die Kopplung beider Störstellen-Spins über deren z -Komponente an die gemeinsame Umgebung effektiv eine ferromagnetische Wechselwirkung. Innerhalb des zweidimensionalen Unterraums parallel ausgerichteter Spins findet dann wieder ein Kosterlitz-Thouless Quantenphasenübergang als Funktion der Kopplungsstärke zwischen Störstellen und Umgebung statt. Im Fall unendlich weit separierter Spins werden diese unabhängig voneinander und die korrekte Beschreibung des Modells ist die zweier unabhängiger Spin-Boson Modelle. Das Modell wird für verschiedene Abstände mehrerer Größenordnungen zwischen den beiden Störstellen untersucht, um die Grenzfälle keines und unendlich großen Abstandes miteinander in Verbindung zu bringen. Zu diesem Zweck wird eine Zwei-Kanal-NRG für bosonische Modelle entwickelt, mit deren Hilfe beide Grenzfälle untersucht werden können. Details zur Zwei-Kanal-NRG und ihrer Implementierung werden in der Arbeit vorgestellt.

In allen Phasen der betrachteten Modelle wird die lokale Besetzung der einzelnen Umgebungsoszillatoren durch die Anwesenheit der Störstellen erhöht. Hierbei fällt die zusätzliche Besetzung als Funktion des Abstandes zu den Störstellen nach einem Potenzgesetz ab. Des Weiteren wird die Änderung der mittleren Auslenkung der Umgebungsoszillatoren durch die Anwesenheit der Störstellen untersucht. Es zeigt sich, dass diese Berechnungen für große Abstände numerisch ungenau werden, da dort starke Oszillationen der freien Propagatoren vorliegen. Dennoch zeigen sich für eine Vielzahl von Parametern und kleine bis mittlere Abstände zu den Störstellen ebenfalls Potenzgesetze für die Änderung der mittleren Oszillatorauslenkung in der Umgebung. Zwischen den beiden Störstellen des zweiten Modells ergeben sich vergleichsweise starke Änderungen in den Erwartungswerten der Umgebung, die auf eine indirekte Wechselwirkung der Spins miteinander durch die gemeinsame Umgebung hindeutet. Aus den untersuchten Modellen lassen sich für die verschiedenen Störstellen keine typischen Längenskalen ableiten.

Literatur

- [1] E. Gärtner. Coupled Qubits in a Dissipative Environment: A Numerical Renormalization Group Approach to the Two-Spin-Boson Model. Diploma thesis, University of Cologne, May 2010.
- [2] A. J. Leggett, S. Chakravarty, A. T. Dorsey, M. P. A. Fisher, A. Garg, and W. Zwerger. Dynamics of the dissipative two-state system. *Rev. Mod. Phys.*, 59:1–85, Jan 1987.
- [3] P. P. Orth, D. Roosen, W. Hofstetter, and K. Le Hur. Dynamics, synchronization, and quantum phase transitions of two dissipative spins. *Phys. Rev. B*, 82:144423, Oct 2010.
- [4] U. Weiss. *Quantum Dissipative Systems*, volume 13 of *Series in Modern Condensed Matter Physics*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., third edition, 2008.