ETH zürich

ETH Library

Topology and localization out-of-equilibrium

Doctoral Thesis

Author(s):
van Nieuwenburg, Evert P.L.

Publication date:
2016

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-010744286

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

DISS. ETH NO. 23762

TOPOLOGY AND LOCALIZATION OUT-OF-EQUILIBRIUM

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

EVERARD PIETER LODEWIJK VAN NIEUWENBURG

Master of Science, Universiteit Leiden, Leiden, Netherlands

born on 10.03.1990

citizen of
The Netherlands

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Sebastian D. Huber, examiner
Prof. Dr. Erez Berg, co-examiner

2016

SUMMARY

A recent trend in condensed matter physics is that of taking systems out-of-equilibrium. In such a setting, physical phenomena are possible that do not have equilibrium counterparts. Two typical scenarios for non-equilibrium physics are that of *open* systems, i.e. systems that couple to an environment, and that of quenches, where the system is suddenly taken out-of-equilibrium and its relaxation is studied. The present dissertation adresses three questions, two of which deal with these two scenarios of non-equilibrium situations. The third question is slightly orthogonal, and asks about the potential applications of machine learning to condensed matter physics.

As the first question, we asked about the fate of one dimensional symmetry protected topological (SPT) states when coupled to an environment. By showing how to extend the concept of entanglement spectra for pure states to that of mixed states, we were able to identify genuine mixed states with the properties of topologically non-trivial states. Additionally, we showed how to extend the classification scheme of SPT states based on projective symmetry representations to open systems. As an example, we have also considered the evolution of initial states that are topologically non-trivial upon coupling them to an environment. We have found that the topological non-trivial nature of the state dissapears on the way to reaching a steady state.

As the second question, we asked about the relaxation to equilibrium of a single spin probe coupled to an environment. We showed that the transient behaviour of the decoherence of this probe spin can be used to investigate an interacting and disordered spin chain. For weak disorder this spin chain is in a thermalizing phase, whereas for strong disorder the system avoids thermalization and instead forms a many-body localized (MBL) phase. We showed that the decoherence properties of the spin probe provide an unambiguous signal of the MBL phase. This work provides an important experimental probe for investigating the properties of many-body quantum systems further.

For the third question, we considered an equilibrium scenario and asked what potential use a machine learning algorithm can be for such cases. We showed that by compressing the information of the wavefunction in the form of the entanglement spectrum, it is possible to detect phase transitions using an approach based on artificial neural networks. The application of machine learning techniques to condensed matter physics is a very novel trend, and it is a fast-moving subject. Next to developing our own approach in this dissertation, we provide an overview of the recent works, thereby giving an understanding of the potential uses of machine learning in condensed matter physics.

These three projects together, each in their own right, address important questions in condensed matter physics. Each of them deals with a recent topic that is of interest to a broad community, and provides non-trivial results that further these communities.

KURZFASSUNG

Ein moderner Trend in der Festkörperphysik ist dass betrachten Nichtgleichgewichtssystemen. In einer solchen Situation gibt es physikalische Phänomene die in einem Gleichgewichtszustand nicht möglich sind. Zwei typische Fälle sind gegeben durch *offene* Systeme, das heisst Systeme die in Kontakt sind mit ihrer Umgebung, und Quenches, in denen das System plötzlich ausser Gleichgewicht gebracht wird und man die Relaxation studiert. In dieser Thesis werden drei Fragen beantwortet, wovon sich zwei mit nichtgleichtgewichts-systemen beschäftigen. Bei der dritten Frage handelt es sich um die Anwendung von Maschinellem Lernen auf die Festkörperphysik.

Als Erstes betrachten wir was mit eindimensionalen topologischen Zustände passiert wenn sie mit einer Umgebung in Kontakt gebracht werden. Dazu zeigen wir zuerst wie man das Konzept des Verschränkungsspekrums von reinen Zustände auf gemischte Zustände übertragen kann. Wir zeigen dass es gemischte Zustände gibt mit Verschränkngsspektra die topologisch nicht-triviale Situationen entsprechen. Ausserdem zeigen wir wie man die Klassifizierung solcher symmetriegeschützten topologischen Zustände, basierend auf projektiven Darstellungen, von reinen auf gemischte Zustände erweitern kann. Als Beispiel betrachten wir dazu die Zeitentwicklung eines Zustandes, nachdem dieser in einem reinen Zustand war und eine Wechselwirkung mit der Umgebung eingeschaltet wurde. Wir finden dass die nicht-triviale Natur des Zustandes eine solche Wechselwirkung mit der Umgebung nicht übersteht.

Die zweite Frage beschäftigt sich mit der Relaxation eines einzelnen Spins, nachdem dieser an einer Umgebung gekoppelt wurde. Wir zeigen dass man durch das Verhalten dieses Spins, nämlich durch seine Kohärenz, die Eigenschaften der Umgebung bestimmen kann. Wir verwenden diese Methode für eine wechselwirkende und ungeordnete Umgebung, die sich für schwache Unordnung als thermaler Zustand verhält, jedoch als vielteilchen-lokalisiert für starke Unordnung. Die Dekohärenz dieses einzelnen Spins setzt ein eindeutiges Signal der lokalisierten Phase voraus. Damit gibt dieses Projekt einen wichtigen Anhaltspunkt für experimentelle Untersuchungen in vielteilchen Quantensysteme.

Zuletzt untersuchen wir wie wir Maschinelles Lernen in der Festkörperphysik einsetzen können. Wir zeigen dass es möglich ist mittels eines neurales Netzwerks Phasenübergänge im entanglement spectra zu finden. Die Verwendung des Maschinellen Lernens ist ein neuer Trend welche sich momentan schnell weiterentwickelt. Unabhängig von unserer eigenen Arbeit geben wir einen Überblick über die Publikationen dieses jungen Feldes.

Diese drei Projekten behandeln zusammen, jedes in seinem eigenen Rahmen, wichtige Fragen der heutigen Festkörperphysik. Mit dieser Thesis hoffen wir relevante Antworten zu geben die ihren entsprechenden Forschungsgebieten einen Schritt weiter helfen.