

Thorsten Dröse

Darstellung der Forschungsaktivitäten

Gegenstand der theoretischen Arbeit sind Systeme aus mehreren gekoppelten Freiheitsgraden, die in einer Kette angeordnet sind und sich in einem metastabilen Zustand befinden. Studiert worden sind die thermische Aktivierung der Kette aus der Falle [1], der kontinuierliche Grenzfall [2], der durch quantenmechanisches Tunneln induzierte Zerfall [3] und der Einfluß von Unordnung [4, 5].

Zunächst sind verschiedene Phasen im thermisch aktivierten Zerfall identifiziert und in einem Phasendiagramm dargestellt worden [1]. Wir haben die Zerfallsrate in exponentieller Genauigkeit berechnet und die Fluktuationsbeiträge in den jeweiligen Phasen ermittelt. Durch Analyse der Fluktuationsbeiträge haben wir zusätzlich den Übergang von Oberflächen- zu Volumennukleation bestimmt, der typischerweise in langen Ketten mit geringer Steifheit auftritt. Ein Übergang von „steifem“ zu „elastischem“ Zerfall findet statt, wenn die Teilchenzahl, die Einteilchenenergien oder die Kopplungsstärke zwischen den Teilchen variiert wird. Im steifen Regime ist die Einteilchenenergiebarriere klein im Vergleich mit der Kopplungsstärke und der Zerfall findet hauptsächlich durch eine Konfiguration statt, bei der alle Freiheitsgrade gleichzeitig die Falle verlassen. Erhöht man die Barriere, geht das System in das elastische Regime über. In dieser Phase wird der Zerfall durch gebogene Konfigurationen verursacht, die die Elastizität der Kette nutzen, um ihre Aktivierungsenergie zu erniedrigen. Nahe dem steif-elastisch Übergang findet Nukleation an den Enden des Systems statt (Oberflächennukleation). Hier spielt die diskrete Natur des Modells keine wesentliche Rolle, der Übergang tritt vollkommen analog im kontinuierlichen Modell auf [2]. Wenn die Einteilchenbarriere weiter erhöht wird, kann es in großen Systemen in Abhängigkeit der Temperatur zu einem zweiten Übergang von Oberflächen- zu Volumennukleation kommen. Wir haben die Zerfallsrate im steifen und in den verschiedenen elastischen Bereichen in Gauss'scher Näherung berechnet. In der Übergangsregion von steifem zu elastischen Zerfall sind höhere Ordnungen berücksichtigt worden. In diesem Bereich zeigt die Zerfallsrate in Abhängigkeit der Barrierenhöhe ein Skalenverhalten. Die theoretischen Ergebnisse sind anhand diskreter Josephson-Transmissionslinien (DJTL), langer Josephson-Kontakte (LJK) und durch kolumnare Defekte gepinnte Vortizes in Supraleitern diskutiert worden.

Bei niedrigen Temperaturen werden Quantenfluktuationen relevant, und es findet ein Übergang vom thermischen Zerfall zum thermisch assistierten Quantentunneln statt. Analog zum thermischen Zerfall gibt es auch im Fall des Quantentunnelns steife und elastische Phasen. Wir haben die vier Bereiche bestimmt und in einem Zerfallsdiagramm aufgetragen [3]. Die von uns diskutierten Übergänge im Zerfall metastabiler Zustände weisen Analogien zu den klassischen Phasenübergängen auf. Die diskontinuierlichen und kontinuierlichen Übergänge werden analog als Übergang erster und zweiter Ordnung klassifiziert und haben in letzter Zeit großes Interesse gefunden. Die in dem von uns betrachteten Modell auftretenden Übergänge sind bis auf den Übergang vom quantenmechanisch-steifen

zum quantenmechanisch-elastischen Zerfall zweiter Ordnung. Letzterer ist für kleine Barrierenhöhe zunächst kontinuierlich, wird dann aber oberhalb eines trikritischen Punktes diskontinuierlich. Um diesen trikritischen Punkt und die Zerfallsrate in der Nähe des Übergangs zu berechnen, müssen die Sattelpunktlösungen der Euklidischen Wirkung des Systems bestimmt werden. Die Schwierigkeit einer solchen Rechnung liegt darin, daß die zugehörigen Bewegungsgleichungen nichtlinear und gekoppelt sind. Um dieses Problem zu lösen, haben wir ein störungstheoretisches Verfahren ausgearbeitet. Die resultierenden Sattelpunktlösungen sind inhomogen im Ort und in der imaginären Zeit. Es gelang uns zum ersten Mal, den trikritischen Punkt in stark überdämpften Systemen in Abhängigkeit der Systemparameter zu bestimmen [3]. Desweiteren berechneten wir die Zerfallsrate nahe dem Übergang von steifem zu elastischem quantenmechanischem Zerfall. Die Ergebnisse sind von uns im Zusammenhang mit stromgetriebenen Josephson-Systemen diskutiert worden. Dazu zählen wir Gleichstrom-SQUIDs, DJTL und LJK. So ist die qualitative Beschreibung stark gedämpfter Gleichstrom-SQUIDs um quantitative Resultate (trikritischer Punkt) erweitert worden. Weiterhin haben wir gezeigt, daß der Zerfall in DJTL und LJK auf die gleiche Art und Weise stattfindet und zum ersten Mal die experimentell verifizierbare quantenmechanische Zerfallsrate in exponentieller Genauigkeit bestimmt [3].

In Kollaboration mit der Gruppe um Prof. Dr. P. H. Kes (Leiden/Niederlande) sind die Untersuchungen auf ungeordnete Systeme ausgedehnt worden. In diesem Zusammenhang ist der Transport von Vortizes durch sogenannte Vortexflußkanäle in künstlich strukturierten, supraleitenden Filmen von aktuellem Interesse. Experimentell beobachtete Oszillationen des kritischen treibenden Stromes in Abhängigkeit der Magnetfeldstärke sind durch Kommensurabilitätseffekte zwischen dem Vortexgitter im Kanal und der dem Gitter der Umgebung interpretiert worden: Im kommensurablen Fall mit hoher kritischer Kraft rasten die Vortizes im Kanal in das durch die äußeren Vortizes vorgegebene Gitterpotential ein. Sobald die Kommensurabilität jedoch verlorengeht, bilden sich Dislokationen im Kanal aus, die zu einer Abschwächung der kritischen Kraft führen.

Die Kommensurabilitätseffekte wurden numerisch und analytisch studiert [4]. Grundlage für die Untersuchungen ist ein ungeordnetes Frenkel-Kontorova Modell, dessen Koeffizienten aus dem London-Modell für Typ-II Supraleiter in der Meißnerphase abgeleitet worden sind. Anhand der numerischen Ergebnisse läßt sich die Ausbildung der topologischen Defekte im inkommensurablen Fall sehr gut nachvollziehen [5]. Weiterhin konnte die Strom-Spannungs-Charakteristik des Systems bestimmt und mit den experimentellen Ergebnissen verglichen werden.

Zusammenarbeit mit anderen Mitgliedern des Graduiertenkollegs

Diskussionen über offene Quantensysteme wurden mit dem Stipendiaten

- Dipl.-Phys. Sven Willenbücher geführt.

Fragen bezüglich der Vortexdynamik in Hochtemperatursupraleitern wurden mit

- Prof. Dr. Jürgen Kötzler

erörtert. Mit dem Stipendiaten

- Dipl.-Phys. Nils Hasselmann

aus der Arbeitsgruppe Schmidt/de Morais Smith wurde über theoretische Aspekte auf dem Gebiet der Hochtemperatursupraleitung diskutiert.

Publikationen

Angehörige und Gäste des Graduiertenkollegs sind unterstrichen

- [1] T. Dröse und C. de Morais Smith: *Crossovers in the thermal decay of metastable states in discrete systems*, Phys. Rev. B **60**, 9763 (1999).
- [2] T. Dröse und C. de Morais Smith: *Crossover from rigid to elastic vortex creep in superconducting films with columnar defects*, in *Physics and Materials Sciences of Vortex States, Flux Pinning and Dynamics*, R. Kossowsky et al Hrsg., NATO ASI Series E, Applied Sciences, (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht) Seiten 599–607 (1999).
- [3] T. Dröse und C. de Morais Smith: *Metastability in discrete Josephson Transmission Lines*, Phys. Rev. B **61**, 1506 (2000).
- [4] R. Bessling, T. Dröse, R. Niggebrugge und P. H. Kes: *Commensurate-incommensurate transition in ordered and disordered vortex flow channels*, in *Proceedings of the International Workshop on Electronic Crystals*, May 31 to June 5, 1999 France (Provence) Colle sur Loup, Seguei Brasovski und Pierre Monceau Hrsg., Les Editions de Physique (1999).
- [5] R. Bessling, T. Dröse und P. H. Kes: *Depinning of disordered vortex rows through defect nucleation*, Physica C (2000), im Druck.
- [6] T. Dröse, M. Batsch, I. Kh. Zharekeshev und B. Kramer: *Phase diagram of localization in a magnetic field*, Phys. Rev. B **57**, 37–40 (1998).

Teilnahme an Tagungen

- „Crossover from Stiff to Elastic Creep in Superconducting Multilayer Structures“
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)
in Regensburg, März 1998
Beitragsform: Vortrag
- „Crossover from Stiff to Elastic Creep in Superconducting Multilayer Structures“
Fluctuations far from Equilibrium: Noise induced transport
in Dresden, April 1998
Beitragsform: Poster
- „Metastability in discrete Josephson transmission lines“
Swiss Workshop on Superconductivity and Materials with Novel Electronic Properties
in Les Diablerets (Schweiz), September 1999
Beitragsform: Poster

Forschungsaufenthalte und eingeladene Vorträge

- „Thermal and quantum creep of harmonic chains“
Vortrag an der Universität Leiden (Niederlande), November 1998
Einladung durch: Prof. Dr. P. Kes

- „Crossovers in the thermal and quantum creep of harmonic chains“
Vortrag an der ETH-Zürich (Schweiz), November 1998
Einladung durch: Prof. Dr. G. Blatter
- „Crossovers in the thermal and quantum creep of harmonic chains“
Vortrag an der Universität Fribourg (Schweiz), Januar 1999
Einladung durch: Prof. Dr. D. Baeriswyl
- „Metastability in discrete Josephson transmission lines“,
Vortrag an der Universität Erlangen, Februar 1999
Einladung durch: Prof. Dr. A. Ustinov
- Forschungsaufenthalt an der Universität Fribourg (Schweiz), 1.3.-30.6.1999

Tagungsbeiträge als Mitautor

- „Crossover from Stiff to Elastic Creep in Superconducting Multilayer Structures“
C. de Morais Smith und T. Dröse
March Meeting der American Physical Society (APS)
in Los Angeles (USA), März 1998
Beitragsform: Poster
- „Metastability in discrete Josephson transmission lines“
C. de Morais Smith und T. Dröse
March Meeting der American Physical Society (APS)
in Atlanta (USA), März 1999
Beitragsform: Vortrag
- „Commensurate-incommensurate transition in ordered and disordered vortex flow channels “
R. Bessling, T. Dröse, R. Niggebrugge und P. H. Kes
International Workshop on Electronic Crystals
in Colle sur Loup /Provence (Frankreich), Mai/Juni 1999
Beitragsform: Vortrag
- „Depinning of disordered vortex rows through defect nucleation “
R. Bessling, T. Dröse und P. H. Kes
Conference on Magnetic Materials and Superconductors (M²S)
Austin/Texas (USA), Februar 2000
Beitragsform: Vortrag

Eigene Vorträge im Rahmen des Graduiertenkollegs

- „Vortextkriechen in Hochtemperatursupraleitern“
1. Workshop des Graduiertenkollegs
„Physik nanostrukturierter Festkörper“
in Timmendorfer Strand, Januar 1997

- „Quantenhalleffekt“
2. Workshop des Graduiertenkollegs
„Physik nanostrukturierter Festkörper“
in St. Peter, Januar 1998
- „Metastability in Structured Superconductors“
Ringvorlesung des Graduiertenkollegs „Physik nanostrukturierter Festkörper“
“GrK - Physik der Mikrostrukturen“
in Hamburg, Juni 2000