

平成 21 年 5 月 28 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007 -2008
 課題番号：19740232
 研究課題名（和文） メゾスコピック領域における量子熱輸送の輸送特性や熱流揺らぎに関する理論的研究
 研究課題名（英文） Theoretical study on average current and current fluctuations in mesoscopic quantum heat transport
 研究代表者 齊藤 圭司 (Saito Keiji)
 東京大学・大学院理学系研究科・助教
 研究者番号：90312983

研究成果の概要：メゾスコピック系での熱伝導現象の熱流揺らぎの特性を明らかにし、その研究過程で得られた技術を電気伝導にも応用し実験につながる話に持っていった。またカーボンナノチューブの熱伝導を意識した、ランダムポテンシャルによる熱の局在現象の考察も行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	800,000	0	800,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,600,000	240,000	1,840,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・数理物理・物性基礎

キーワード：物性基礎論・非平衡定常

1. 研究開始当初の背景

揺らぎの定理などは、非平衡系の物理量における分布関数の関係であり、現在の非平衡統計力学の主な目的は、まさに分布そのものの普遍性を問うことである。特に熱伝導は、数値計算がしやすく、また最近ではカーボンナノチューブなどの実験も盛んになってきたことから、非平衡状態におけるさまざまな物理量を理論的に計算することが歓迎されている。そこで熱流揺らぎに注目し、その特性を明らかにする。

2. 研究の目的

そこで、量子熱伝導系で完全計数統計の技で

分布関数そのものを導出することが、できるかどうか、出せるとしたらどのような特性があるかを明らかにする。また、揺らぎの定理がどのように成り立っているかを問う。

3. 研究の方法

メゾスコピック系の電気伝導でさかんに使われている、完全計数統計の技術を使う。また、古典極限では、大規模な数値計算により理論の確からしさを確かめていく。

4. 研究成果

- (1) 量子熱伝導系での熱流分布の解析的な式を導くとともに、熱流揺らぎを生成汎関数が揺らぎの定理を反映する対称性を持つことを明らかにした。
- (2) (1)の研究をメソスコピック系の電気導の研究に結び付ける研究も行った。「完全計数統計」と統計力学の「揺らぎの定理」を結び付け、実験で観測できるオンサガー関係を超えた輸送係数間の関係式を見出した。非線形輸送係数とは、温度一定のもとで、2つの粒子浴(リード線)の間に伝導体を介して電流が流れる場合を考え、電流の任意のキュミュラントを電位差で展開した時の係数として定義される。時間反転対称性を考慮すると、これらの係数間に普遍的な関係式が成立することが見出される。電気伝導現象では実験が進んでおり、最近では高次のキュミュラントが測定されている。このことから、この関係式は実験で測定可能であると期待され、例えば、メソスコピック系でアハラノフ・ボーム干渉系を使えば観測できると思われる。

(3)熱伝導現象の研究として、典型的なモデルであるフェルミ・ウラム・パスタ(FPU)モデルを考え、局在現象と非線形効果の競合に関する研究を行った。よく知られているように質量がランダムである完全調和格子では局在現象が起こり、熱力学極限で熱流が消えてしまう。

非線形格子を考えたときでも、ナイーブに考えれば非線形項は低温ではきかず、高温だけでいってくる可能性がある。局在効果と非線形項の効果の競合にどのような特徴があるかを考えることは、興味深い。大規模な数値計算により、どのような温度領域でも熱力学極限では非線形項が無視できず、局在がとけることが見出された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計5件)

Keiji Saito and Abhishek Dhar,
Fluctuation theorem in Quantum Heat Conduction,
Phys. Rev. Lett. 99, 180601-180604 (2007),
査読有

Yosuke Kayanuma, and Keiji Saito,
Dynamical Localization, Coherent
destruction, and Landau-Zener,
Phys. Rev. A 77, 010101-010104 (2008) 査
読有

Keiji Saito,
Energy Dissipation and
Fluctuation Response in Driven Quantum
Langevin Dynamics,
Europhys Letters 83, 50006-50009,
(2008), 査読有

Keiji Saito and Yasuhiro Utsumi,,
Symmetry in Full Counting Statistics,
Fluctuation Theorem, and Relations
among Nonlinear Transport coefficients in
the presence of a Magnetic field,
Phys. Rev. B 78, 115429-115435 (2008), 査
読有

Abhishek Dhar and Keiji Saito,
Heat conduction in the disordered
Fermi-Pasta-Ulam chain,
Phys. Rev. E 78, 061136-061139 (2008), 査
読有

〔学会発表〕(計1件)

齊藤圭司, 量子輸送系での大偏差解析と
揺らぎの定理, 日本物理学会, 2008/9/21,
岩手大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齊藤圭司 (SAITO KEIJI)
東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号: 90312983

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者