

VII-5. 量子輸送研究

教授: 都倉康弘

助教: 吉田恭

研究員: Giorgos Giavaras

大学院生: 前期課程 7 名

【1】量子状態制御と非平衡統計物理

(1) 過剰エントロピー生成 (中嶋、都倉、論文[5]、国際講演[2]、国内講演[16])

時間依存するポテンシャルの下での量子伝導現象に継続して取り組んでいる。熱浴の温度や科学ポテンシャルをゆっくり変動させた時の、過剰エントロピー生成に関して古典系では活発に議論されている。今回量子系での扱いについて、新しい方法を提案し、いくつかの極限条件で従来研究と整合していることを確かめた。また従来時間反転対称性がある場合に限定されていた解析を一般化した。

(2) メゾスコピック系の物性と伝導現象 (都倉 論文[2,4,6]、国際講演[12]、国内講演[18,23,24])

ジョセフソン接合における位相滑り現象に対する周期的な空間変調の効果を検討し、空間不均一性に敏感であることを示した。また量子ホールエッジ状態や InAs ナノワイアの非平衡励起のダイナミクスを朝永・ラッティンジャーモデルを用いて解析を進めた。擬二次元量子ドットに閉じ込められた電子スピンの様々なスピン・軌道相互作用がスペクトルや位相干渉効果に与える影響について検討を加えた。

(3) カーボンナノチューブの光吸収 (都倉 論文[3])

配向したカーボンナノチューブ系は光吸収特性に大きな偏光依存性を持つ。従来ディラック点近傍にフェルミ面があるカーボンナノチューブ系ではナノチューブ方向の電場成分が主に吸収されることが分かっていた。しかし、今回電荷ドープを行うことにより、その吸収偏光特性が 90 度回転する事を理論的に示した。

(4) 量子ドットの高周波特性 (Giavaras、都倉、横浜 国際講演[4,8]、国内講演[3,22])

離散的なエネルギースペクトルを持つ量子ドットに周期的な電場や磁場を印加すると様々な共鳴や干渉特性が期待される。複数の量子準位が関与する量子ドット系の動的特性を Floquet 理論や摂動論を用いて解析を行い、実験結果と比較を行った。また古典的な Rabi モデルにおいて、従来の回転波近似を適用できない強励起条件において、正確な π パルスを実現する条件について詳しく調べた。

【2】量子測定と量子系のデコヒーレンス、エンタングルメント

(1) 測定理論と量子連続測定 (浅井、都倉 国際講演[7,11]、国内講演[1,4])

また量子測定理論における、弱値とその測定過程である弱測定は量子力学の特徴が明瞭に現れる研究課題である。弱値は量子力学的平均を一般化したものであり、量子測定の感度向上や通常測りにくい物理量へアクセスできる可能性から注目を集めている。今回、この弱値を混合状態へ拡張する方法について提案を行った。また線形応答理論に本研究結果を適用した。

(2) 量子ビットと光子場の相互作用 (都倉 国際講演[13]、国内講演[2,19])

光子の偏光状態を電子スピン状態にコヒーレントに転写を行う場合の忠実度に関して、検討を加えた。忠実度を阻害する原因である交換相互作用を抑制するために、強い遮蔽効果と大きな閉じ込めポテ

ンシャルが有効であることを示し、忠実度 90%以上が可能であることを示した。

(3) 量子系のコヒーレンスの制御 (鈴木、竹村、辻、澤口、吉田、都倉 国際講演[6,9],国内講演 [5,6,8,9,15,18,20])

量子状態を阻害するデコヒーレンスを回避するために、連続弱測定を用いた量子フィードバック、量子蒸留回路を用いたエンタングルメントの蒸留、表面コードを改良したフォールトレラント量子回路、および量子通信の情報容量の高精度見積りのためのより良いエンタングルメントの指標の検討を開始した。

(4) 超強結合回路量子電磁気学(加藤、吉田、都倉 国際講演[5]、国内講演[10,21])

キャビティ光子と結合した量子 2 準位系は典型的な複合量子系で実験・理論ともに活発に研究が行われている。特に、その結合定数が他のパラメタに比べて非常に大きくなった超強結合系が最近実験的に実現され、新しい物性が期待されている。この系の量子状態を測定、制御するために、Landau-Zener 効果や Landau-Zener-Stuckelberg 干渉効果を適用する方法を提案し、具体的な計算を行った。また実験グループとの議論も開始した。

【3】統計力学と乱流の物理

(1) 古典・量子場の系のマイクロ状態量としてのエントロピー(吉田 国際講演 [10], 国内講演 [7,14])

統計力学のアンサンブル描像の基礎付けにおいて重要となる典型性の概念を基に、マイクロ状態量としてのエントロピーを考察した。昨年度までに古典場の系についてマイクロ状態量としてのエントロピーの表式を得たが、本年度は量子場の系についてマイクロ状態量としてのエントロピーの表式を提案した。

(2) 乱流中の慣性粒子分布に対する統計法則 (吉田 論文[1], 国際講演 [1,14], 国内講演 [13,26])

大気中の雲粒、太陽系惑星形成時のダストの運動等は、乱流中の慣性粒子の運動でモデル化される。本研究では、有木健人研究員(名古屋大学)らとの共同研究で、乱流中の慣性粒子分布に対して、緩和時間をパラメタとする摂動解析で大スケールにおける相似則を導いた。また、慣性粒子密度場の定量的解析を行うために、ヘッシンアン場に基づく完結近似手法を開発した。

(3) 量子流体乱流の統計法則 (吉田 国際講演 [3], 国内講演 [11,12,25])

液体ヘリウムの超流動状態や Bose-Einstein 凝縮体(BEC)の流動などの量子流体の運動は、適切な近似のもと Gross-Pitaevskii (GP)方程式により支配される。本研究は辻義之教授(名古屋大学)、三浦英昭准教授(核融合研)との共同研究で、GP 方程式に従う乱流の数値シミュレーションを行い、非線形性の強い波数領域の場のスペクトルを求め、粒子数密度が低波数から高波数へと輸送されていることを示した。

<論文>

1. Taketo Arika, Kyo Yoshida, Keigo Matsuda, and Katsunori Yoshimatsu, "Scale-similar clustering of heavy particles in the inertial range of turbulence", Phys. Rev. E **97**, 033109 (2018).
2. Aleksandr E. Svetogorov, Masahiko Taguchi, Yasuhiro Tokura, and Denis M. Basko, "Theory of coherent quantum phase-slip in Josephson junction chains with periodic spatial modulations", Phys. Rev. B **97**, 104514 (2018).
3. Ken-ichi Sasaki and Yasuhiro Tokura, "Theory of a Carbon-Nanotube Polarization Switch", accepted for

publication in Phys. Rev. Applied. **9**, 034018 (2018).

4. Masahi Inui, Tatsuki Tojo, Kyozauro Takeda, and Yasuhiro Tokura, “Spin-flip quantum transition driven by the time-oscillating Rashba field”, J. Phys. Commun. **2**, 015021 (2018).

5. Satoshi Nakajima and Yasuhiro Tokura, “Excess entropy production in quantum system: Quantum master equation approach”, J. Stat. Phys. **169**, 902–928 (2017).

6. Tatsuki Tojo, Masashi Inui, Ryo Ooi, Kyozauro Takeda, and Yasuhiro Tokura, “Effect of isotropy and anisotropy of the confinement potential on the Rashba spin-orbit interaction for an electron in two-dimensional quantum system”, Jpn. J. Appl. Phys **56**, 075201-1–15 (2017).

<書籍>

<講演:国際会議>

1. Taketo Arika, Kyo Yoshida, Keigo Matsuda, and Katsunori Yoshimatsu, “Self-similarity of heavy-particle clustering in the inertial range of turbulence”, 5th International Conference on Mathematical Theory of Turbulence via Harmonic Analysis and Computational Fluid Dynamics, Nagoya Univ., Nagoya, Japan, 13 Mar. (2018).

2. Yasuhiro Tokura, “Excess entropy production in quantum systems”, APS March Meeting 2018, Los Angeles, California, USA Mar. 5–9 (2018).

3. Kyo Yoshida, Yoshiyuki Tsuji, and Hideaki Miura, “Spectrum of turbulence in nonlinear Schrödinger (Gross-Pitaevskii) equation”, 5th International Conference on Mathematical Theory of Turbulence via Harmonic Analysis and Computational Fluid Dynamics, Nagoya Univ., Nagoya, Japan, 13 Mar. (2018).

4. G. Giavaras, Y. Tokura and K. Ono, “Spin resonance in spin-orbit-coupled quantum dots in the weak and strong driving regimes” 2017 Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems (WINDS), Hapuna Beach Prince Hotel, Hawaii, USA, Nov.30 (2017).

5. Sumiya Kato, Suzuki, Kyo Yoshida, Yasuhiro Tokura, “Effect of strong atom-cavity coupling on the entanglement dynamics of two atoms”, poster presentation. International School and Symposium on Nanoscale Transport and phoTonics (ISNTT) 2017, NTT Atsugi R&D Center, Atugi, Japan, 14 Nov. (2017).

6. K. Tsuji, and Y. Tokura, “Upper Bound on the Two-way Assisted Private Capacity of Various Quantum Channels”, poster presentation. International School and Symposium on Nanoscale Transport and phoTonics (ISNTT) 2017, NTT Atsugi R&D Center, Atugi, Japan, 14 Nov. (2017).

7. K. Asai, and Y. Tokura, “Non-unitary Transformation of the Square Root of Density Matrices”, poster presentation. International School and Symposium on Nanoscale Transport and phoTonics (ISNTT) 2017, NTT Atsugi R&D Center, Atugi, Japan, 14 Nov. (2017).

8. K. Yokohama, and Y. Tokura, “Spin Resonance beyond the Rotating Wave Approximations”, poster presentation. International School and Symposium on Nanoscale Transport and phoTonics (ISNTT) 2017, NTT Atsugi R&D Center, Atugi, Japan, 14 Nov. (2017).

9. A. Takemura, and Y. Tokura, “Two-way Quantum Computer”, poster presentation. International School and Symposium on Nanoscale Transport and phoTonics (ISNTT) 2017, NTT Atsugi R&D Center, Atugi, Japan, 14 Nov. (2017).

10. Kyo Yoshida, “Microscopic entropy for classical and quantum free field systems”,

poster presentation. YITP Workshop "Quantum Thermodynamics: Thermalization and Fluctuations", Kyoto Univ., Kyoto, Japan, 28 Sep. (2017).

11. Kaito Asai and Yasuhiro Tokura, "The definition and an observation of a weak value in density matrix form", VI Quantum Information School and Workshop, Paraty, Brazil, Aug. 14-18, (2017).

12. Yasuhiro Tokura, "Binary energy spectrum of counter-propagating Tomonaga-Luttinger liquid", 28th Int. Conf. on Low Temperature Physics (LT-28), Gothenburg, Sweden Aug. 9-16 (2017).

13. Yasuhiro Tokura, "The Coherence of a Photo-Generated Electron Spin in a Electrostatically- Confined Quantum Dot", 22nd Int. Conf. on Electronic Properties of Two Dimensional Systems (EP2DS-22), Pennsylvania State University, USA, July 31-Aug. 4 (2017).

14. Taketo Arika, Kyo Yoshida, Keigo Matsuda, Katsunori Yoshimatsu, "Scale similarity of the particle clustering in the inertial range of turbulence", Turbulence Colloquium at Mauna Kea (TCM2017): Recent advances in turbulence research, 98th Annual Meeting of the Pacific Division of the American Association for the Advancement of Science, Hawai'i Preparatory Academy, Waimea, Big Island, Hawai'i, 23 June (2017).

<講演:国内会議>

1. Kaito Asai and Yasuhiro Tokura, "The definition and an observation of a weak value in density matrix form", 第36回量子情報技術研究会(QIT36)、立命館大学朱雀キャンパス、京都、2017年5月29日。
2. Yasuhiro Tokura, "The coherence of a photo-generated electron spin in an electrostatically-confined quantum dot", 第7回半導体量子効果と量子情報の夏期研修会、ホテルラフォーレ修善寺、伊豆、2017年8月27日。
3. K. Ono, G. Giavaras, T. Tanamoto, T. Ohguro, X. Hu, and F. Nori, "Hole spin resonance and spin-orbit coupling in a Si MOSFET", 第7回半導体量子効果と量子情報の夏期研修会、ホテルラフォーレ修善寺、伊豆、2017年8月28日。
4. Kaito Asai, "The weak value in a mixed state represented by the square root of density matrix", 第7回半導体量子効果と量子情報の夏期研修会、ホテルラフォーレ修善寺、伊豆、2017年8月28日。
5. Akihito Takemura and Yasuhiro Tokura, "How to make the Toffoli gate by using a one-way quantum computer", poster presentation. 第7回半導体量子効果と量子情報の夏期研修会、ホテルラフォーレ修善寺、伊豆、2017年8月27日。
6. Kyohei Tsuji and Yasuhiro Tokura, "Entanglement measures", poster presentation. 第7回半導体量子効果と量子情報の夏期研修会、ホテルラフォーレ修善寺、伊豆、2017年8月27日。
7. Kyo Yoshida, "Microscopic entropy for quantum free field systems", poster presentation. 第7回半導体量子効果と量子情報の夏期研修会、ホテルラフォーレ修善寺、伊豆、2017年8月27日。
8. Shuhei Sawaguchi, "Entanglement distillation for mixed state", poster presentation. 第7回半導体量子効果と量子情報の夏期研修会、ホテルラフォーレ修善寺、伊豆、2017年8月27日。
9. Ryosuke Suzuki, Tokura Yasuhiro, Kyo Yoshida, Sumiya Kato, "Entanglement measure", poster presentation. 第7回半導体量子効果と量子情報の夏期研修会、ホテルラフォーレ修善寺、伊豆、2017年8月27日。
10. Sumiya Kato, Yasuhiro Tokura, Kyo Yoshida, Ryosuke Suzuki, "Theory of relaxation process of qubits by time-convolutionless master equation", poster presentation. 第7回半導体量子効果と量子情報の夏期研修会、ホテルラフォーレ修善寺、伊豆、2017年8月27日。

11. 吉田恭、辻義之、三浦英昭「量子流体乱流のシミュレーションにおけるスペクトル」、プラズマシミュレーションシンポジウム 2017、ポスター発表、核融合科学研究所、土岐、2017年9月7日。
12. 吉田恭、辻義之、三浦英昭「量子流体乱流の理論・実験・シミュレーション」、第12回名工大・核融合研共同セミナー、名古屋工業大学、名古屋、2017年9月11日。
13. 有木健人、吉田恭、松田景吾、芳松克則「乱流慣性領域における粒子分布のスケール相似性」、日本物理学会 2017 年秋季大会、岩手大学、盛岡、2017年9月23日。
14. 吉田恭、「量子場におけるマイクロ状態量としてのエントロピー」、第37回量子情報技術研究会(QIT37)、ポスター発表、埼玉大学、さいたま、2017年11月16日。
15. 澤口修平、都倉康弘「混合状態の量子もつれの蒸留における電子スピンのコヒーレンスを取り入れた評価」、第37回量子情報技術研究会(QIT37)、ポスター発表、埼玉大学、さいたま、2017年11月16日。
16. 中嶋慧、都倉康弘「量子マスター方程式による過剰エントロピー生成の解析的研究:経路依存性とBSNベクトル」、日本物理学会第73回年次大会、2018年3月22日、東京理科大野田キャンパス、千葉。
17. 鈴木遼介、加藤澄也、吉田恭、都倉康弘「電流ゆらぎの量子フィードバック制御プロセス」、日本物理学会第73回年次大会、2018年3月23日、東京理科大野田キャンパス、千葉。
18. 羽田野剛司、久保敏弘、天羽真一、都倉康弘、樽茶清悟「磁場中の並列結合2重量子ドットにおける並列及び直列電流経路の混成」、日本物理学会第73回年次大会、2018年3月23日、東京理科大野田キャンパス、千葉。
19. 都倉康弘「静電閉じ込め量子ドットに生成された電子スピンのコヒーレンス」、日本物理学会第73回年次大会、2018年3月23日、東京理科大野田キャンパス、千葉。
20. 澤口修平、都倉康弘「改善された混合状態のもつれの蒸留」、日本物理学会第73回年次大会、2018年3月23日、東京理科大野田キャンパス、千葉。
21. 加藤澄也、鈴木涼介、吉田恭、都倉康弘「補助量子ビットによる超強結合状態の量子状態制御」、日本物理学会第73回年次大会、2018年3月24日、東京理科大野田キャンパス、千葉。
22. 横浜一輝、Giorgos Giavaras、都倉康弘「古典Rabiモデルにおける共鳴条件」、日本物理学会第73回年次大会、2018年3月24日、東京理科大野田キャンパス、千葉。
23. 佐藤洋介、松尾貞茂、上田健斗、武重有祐、鎌田大、J. S. Lee, B. Shojaei, C. Palmstrom, 都倉康弘、樽茶清悟「InAs量子井戸に形成された1次元電子系の朝永ラッティンジャー液体的性質」、日本物理学会第73回年次大会、2018年3月24日、東京理科大野田キャンパス、千葉。
24. 久保敏弘、都倉康弘「Coulomb相互作用を介した電子スピンのベリー位相の間接的な獲得」、日本物理学会第73回年次大会、2018年3月25日、東京理科大野田キャンパス、千葉。
25. 吉田恭、辻義之、三浦英昭「量子流体乱流の強乱流領域におけるスペクトル」、日本物理学会第73回年次大会、東京理科大学、野田、2018年3月25日。
26. 有木健人、吉田恭、芳松克則「Hessian場に基づくpassive scalar乱流の完結近似」、日本物理学会第73回年次大会、東京理科大学、野田、2018年3月24日。

<学位論文>

(修士論文) 数理物質科学研究科

1. 浅井海図

「Weak Values Defined with Mixed States and Their Behaviours (混合状態における弱値とその振る舞い)」

<外部資金>

1. 科学研究費 基盤研究(A) 課題番号: 26247051「量子ホールエッジチャンネルの非平衡電荷ダイナミクス」(分担)平成 29 年度:直接経費:1,207 千円 (平成26年度～平成30年度、研究代表者:藤澤利正)
2. 国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業(チーム型研究(CREST))研究領域「新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする次世代フォトニクスの基盤技術」(研究代表者:大岩顕)研究課題「電子フォトニクス融合によるポアンカレインターフェースの創製」研究題目「光子-電子スピン量子変換理論」平成 29 年度:10,000 千円(平成27年12月1日～平成32年度)

<社会還元等>

1. 吉田恭、GFEST 物理特別実習、2017 年 12 月 27 日。