

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 8 名

【1】量子状態制御と非平衡統計物理

(1) 非平衡物性と情報熱力学 (上村, 吉田, 都倉, 国際講演[10], 国内講演[11])

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変動させた時の、量子系における過剰エントロピー生成に関して断熱条件および非断熱条件での挙動を明らかにした。また、RWTH Aachen 工科大を訪問し、量子断熱ポンプ現象に現れるゲージの自由度について議論を行った。また、情報と熱力学(統計力学)の統一的な取り扱いの検討を開始した。

(2) メゾスコピック系の物性と伝導現象(都倉 論文[2], 国際講演[7,8,9,11], 国内講演[4,5,15])

理研の研究グループと協力し、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。また、NTT 物性科学基礎研究所の林研究員らとの共同研究によりランダム抵抗ネットワークにおけるフラクタルな挙動や低周波数領域のキャパシタンスを調べた。量子ドット中の電子スピンをマイクロ波により強励起した際の量子コヒーレンスを調べた。

(3) 非平衡フォノンによる電子スピンの動的応答(都倉 国内会議[2,3,17])

二重量子ドット間をトンネルする電子のダイナミクスはリアルタイムに電荷計を用いて調べることができる。一次近似でスピン禁制の過程はとても遅いが、近傍に配置したデバイスから出射される非平衡フォノンの影響を受けて、トンネルレートが増大する様子が観測された。東大の実験グループ(黒山ら)と協力し非平衡 2 フォノン散乱を取り入れた量子マスター方程式による理論的解析を行い、実験結果と比較を行った。

(4) 量子ドットの高周波特性(Giavaras, 都倉 論文[3], 国際講演[5,6], 国内講演[14])

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-量子マスター方程式による解析を行った。その結果、電子スピン制御の際、二重量子ドットのエネルギー間隔を制御する方法より、量子ドット間のトンネル結合を制御する方がより大きな影響が現れることを明らかにした。

【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(小澤, 都倉 論文[4], 国内講演[12])

光・量子飛躍フラグシッププログラム(Q-LEAP) 量子計測・センシング技術領域(研究代表者 波多野睦子教授)に参画を開始し、ダイヤモンド中の窒素・空孔光中心を用いた磁場センサーの研究に関し、産総研のグループと協力して研究を行った。また弱測定の理論について引き続き検討を進めた。

(2) 量子ビットと光子場の相互作用(加藤, 吉田, 都倉 国内講演[10, 16])

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。今回超強結合回路 QED の特性を調べ、特に外部パラメータを周期的に変化させた

時の Landau Zener Stuckelberg 干渉の様子を明らかにした。また、回路 QED 中における超放射の特性や、スピン・スキューニングの実現特性について検討を加えた。

(3) 量子系のコヒーレンスの制御(鈴木, 横浜, 竹村, 三宅, 佐々木, 吉田, 都倉 国際講演[4],国内講演[7,8,13])

量子状態を阻害するデコヒーレンス回避を目的として、連続弱測定を用いた量子フィードバックを拡散量子マスター方程式を用いて調べ、表面コードを改良したフォールト・トレラント量子回路を提案した。また SPDC 効果を用いたもつれ光子の効率的な生成について検討を開始した。

【3】統計力学と乱流の物理

(1) 古典・量子場の系のミクロ状態量としてのエントロピー(吉田 国内講演 [1])

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、量子場の系についてミクロ状態量としてのエントロピーの表式を提案した。提案した表式の典型性についての詳しい解析を行った。

(2) 対称性の破れを起こす非平衡量子転移現象の解析 (吉田 国際講演[1], 国内講演[9])

縮退光パラメトリック発振 (DPO) や Josephson 分岐増幅などパラメタの変化に伴い対称性を破る非平衡量子転移を起こす系がある。本研究では、特に DPO について、環境系の対称性が微小に破れている場合、それが非平衡量子転移にどのような影響を与えるかの検討を行った。

(3) 量子流体乱流の統計法則 (吉田 論文[1], 国際講演[2, 3], 国内講演 [6])

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) 方程式で表される。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った。非線形性の強い波数領域で粒子数密度が低波数から高波数へと輸送されることが分かり、予め得られていた完結近似理論解析の予想と整合するスペクトルが得られた。

<論文>

1. Kyo Yoshida, Hideaki Miura, Yoshiyuki Tsuji, “Spectrum in the the Strong Turbulence Region of Gross-Pitaevskii Turbulence”, *Journal of Low Temperature Physics*, *submitted*
2. T. Hayashi, Y. Tokura, and A. Fujiwara, “Field-dependent hopping conduction”, *Physica B: Condensed Matter* 541, 19–23 (2018).
3. G. Giavaras and Y. Tokura, “Spectroscopy of double quantum dot two-spin states by tuning the interdot barrier”, [Phys. Rev. B 99, 075412 \(2019\)](#).
4. H. Shibata, T. Hiraki, T. Tsuchizawa, K. Yamada, Y. Tokura, and S. Matsuo, “A waveguide-integrated superconducting nanowire single-photon detector with a spot-size converter on a Si photonics platform”, [Superconductor Science and Technology, 32, 034001 \(2019\)](#).

<書籍>

<講演: 国際会議>

1. Kyo Yoshida, “Degenerate optical parametric oscillator in a symmetry-broken environment”, poster presentation. Coherent Network Computing 2019, NTT Atsugi R&D Center/NTT Basic Research Laboratories, Atsugi, Japan, 19 Mar 2019.

2. Kyo Yoshida, Yoshiyuki Tsuji, and Hideaki Miura, "Spectrum in the strong turbulence region of Gross-Pitaevskii turbulence", poster presentation, International Symposium on Quantum Fluids and Solids 2018, Univ. Tokyo, Japan, 30 July 2018.
3. Kyo Yoshida, Yoshiyuki Tsuji, and Hideaki Miura, "Spectrum in the strong turbulence region of Gross-Pitaevskii turbulence", Quantum Turbulence Workshop at QFS2018, Univ. Tokyo, Japan, 29 July 2018.
4. Ryosuke Suzuki, Sumiya Kato, Kyo Yoshida, and Yasuhiro Tokura, "Quantum diffusive analysis of two electron spins in double quantum dots", poster presentation, 10th Biannual Conference on Quantum Dots, Univ. Toronto, Toronto, Canada, 26 June 2018.
5. Giorgos Giavaras and Yasuhiro Tokura, "Current antiresonance in spin-orbit coupled double quantum dots", 10th Biannual Conference on Quantum Dots (QD2018), Toronto, Canada, June 25-29 (2018) (Poster).
6. Giorgos Giavaras and Yasuhiro Tokura, "Current antiresonance in spin-orbit coupled double quantum dots", The 19th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications, Jeju, Korea, July 1-5 (2018).
7. T. Hayashi, L. Cong Duy, Y. Tokura, H. Murata, and A. Fujiwara, "Low-frequency capacitance of hopping transport materials", 34th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS2018), Montpellier, France, July 29-Aug. 3 (2018) (Poster).
8. Y. Sato, S. Matsuo, C.H. Hsu, P. Stano, D. Loss, K. Ueda, Y. Takesige, H. Kamata, J.S. Lee, B. Shojaei, J. Shabani, C. Parmström, Y. Tokura, S. Tarucha, "Tomonaga-Luttinger liquid behaviour in 1D electron system fabricated from InAs Quantum well holding strong spin-orbit interaction", 34th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS2018), Montpellier, France, July 29-Aug. 3 (2018).
9. Yasuhiro Tokura, "Strongly driven electric dipole spin resonance", 4th School and Conference on Spin-Based Quantum Information Processing (Spin-Qubit 4), Konstanz, Germany, Sep. 10-14 (2018) (Poster)
10. Yasuhiro Tokura, "Adiabatic and diabatic dynamics in quantum systems", Int. Symp. Frontiers of Quantum Transport in Nano Science (QINS), Kashiwa, Japan, Nov 7-10 (2018) (Invited).
11. Yasuhiro Tokura, "Fidelity of strongly driven electric dipole spin resonance", APS March Meeting 2019, Boston, Massachusetts, USA March 4-8 (2019).

〈講演：国内会議〉

1. 吉田恭 「量子場系のミクロ状態量としてのエントロピー」、日本物理学会第74回年次大会、九州大学、福岡、2019年3月16日。
2. 黒山和幸, 松尾貞茂, 村本文, Sascha R. Valentin, Arne Ludwig, Andreas D. Wieck, 都倉康弘, 樽茶清悟, 「GaAs 横型量子ドットにおけるスピン-格子相互作用を介したフォノンによる電子スピン反転の実時間測定」日本物理学会 2018 年秋季大会、京都 2018.9.12.
3. 黒山和幸, 松尾貞茂, 村本文, Sascha R. Valentin, Arne Ludwig, Andreas D. Wieck, 都倉康弘, 樽茶清悟, 「GaAs 横型二重量子ドットにおけるフォノン励起のスピン三重項を介した単一電子のトンネル現象の実時間観測」日本物理学会 2018 年度年会、福岡 2019.3.6.
4. 都倉康弘, 「電気双極子スピン共鳴の強励起条件での忠実度」日本物理学会 2018 年度年会、福岡 2019.3.6.

5. 林稔晶, 都倉康弘, 藤原聡, 「バリアブル・レンジ・ホッピング伝導による低周波キャパシタンス」日本物理学会 2018 年度年会、福岡 2019.3.5.
6. 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粒子数カスケード」、プラズマシミュレーションポジウム 2018、核融合科学研究所、土岐、2018 年 9 月 14 日。
7. Kohei Sasaki, Kyo Yoshida, Yasuhiro Tokura, "Review of non classical correlation", poster presentation. 8th Summer School on Semiconductor/Superconductor Quantum coherence effect and Quantum Information, Hotel Sunvalley Nasu, Nasu, Japan, 5 Sep 2018.
8. Sho Miyake, Kyo Yoshida, Yasuhiro Tokura, "Quantum entanglement of two photons", poster presentation. 8th Summer School on Semiconductor/Superconductor Quantum coherence effect and Quantum Information, Hotel Sunvalley Nasu, Nasu, Japan, 5 Sep 2018.
9. Kyo Yoshida, "Degenerate optical parametric oscillator in a symmetry-broken environment", poster presentation. 8th Summer School on Semiconductor/Superconductor Quantum coherence effect and Quantum Information, Hotel Sunvalley Nasu, Nasu, Japan, 5 Sep 2018.
10. Sumiya Kato, Kyo Yoshida, and Yasuhiro Tokura, "Numerical simulation of superradiance in circuit quantum electrodynamics", poster presentation. 8th Summer School on Semiconductor/Superconductor Quantum coherence effect and Quantum Information, Hotel Sunvalley Nasu, Nasu, Japan, 5 Sep 2018.
11. Shunsuke Kamimura, Kyo Yoshida, and Yasuhiro Tokura, "Information thermodynamics: relationships between information and thermo-dynamic quantities", poster presentation. 8th Summer School on Semiconductor/Superconductor Quantum coherence effect and Quantum Information, Hotel Sunvalley Nasu, Nasu, Japan, 5 Sep 2018.
12. Shinya Ozawa, Kyo Yoshida, and Yasuhiro Tokura, "The Weak Measurement in the Stern-Gerlach setup", poster presentation. 8th Summer School on Semiconductor/Superconductor Quantum coherence effect and Quantum Information Hotel Sunvalley Nasu, Nasu, Japan, 5 Sep 2018.
13. Ryosuke Suzuki, Kyo Yoshida, and Yasuhiro Tokura, "Feedback control of a spin qubit in a double quantum dot", poster presentation. 8th Summer School on Semiconductor/Superconductor Quantum coherence effect and Quantum Information, Hotel Sunvalley Nasu, Nasu, Japan, 5 Sep 2018.
14. G. Giavaras and Y. Tokura, "Current anti-resonance in AC-driven double quantum dots", 8th Summer School on Semiconductor/Superconductor Quantum coherence effect and Quantum Information, Hotel Sunvalley Nasu, Nasu, Japan, 5 Sep 2018.
15. Y. Tokura, "Shift of Rabi frequency and decoherence in electric-dipole spin resonance", poster presentation. 8th Summer School on Semiconductor/Superconductor Quantum coherence effect and Quantum Information, Hotel Sunvalley Nasu, Nasu, Japan, 5 Sep 2018.
16. 加藤登也, 吉田 恭, 都倉康弘, "超強結合領域の Circuit QED における Landau Zener Stuckelberg 干渉", 第 38 回量子情報技術研究会 (QIT38)、広島国際会議場 2018 年 6 月 4 日(月)~5 日(火)。
17. K. Kuroyama, S. Matsuo, J. Muramoto, S. R. Valentin, A. Ludwig, A. D. Wieck, Y. Tokura and S. Tarucha, "Two electron spin dynamics in a double quantum dot driven by a phonon source, One-day symposium on spintronic properties of Graphene and related 2D materials, Kashiwa, 11-22 (2018).

<学位論文>

(修士論文) 数理物質科学研究科

1. 鈴木遼介
「一重項-三重項量子ビットの量子フィードバック制御」
2. 横浜一輝
「Theoretical studies on coherent control of a qubit (コヒーレントな量子ビット操作に関する理論的研究)」
3. 加藤澄也
「Cavity-QED 系における量子状態操作の研究」
4. 澤口修平
「エンタングルメント QKD の秘匿性に関する研究」
5. 辻 恭平
「Capacity of Quantum Channel and Entanglement Measure (量子通信路の通信容量とエンタングルメントメジャーについて)」
6. 竹村彰人
「Defect 型 surface code における初期化効率の改善」

(学位論文)理工学群物理学類

1. 上村俊介
「熱力学第二法則に対する情報・ゆらぎを含んだ新しい視点」
2. 葛西紘人
「量子測定の解釈問題に関する研究」
3. 小澤慎也
「量子測定における量子性と Markov 過程におけるダイナミクス」
4. 吉田史弥
「量子コンピュータ実用化による RSA 暗号の脆弱化に関する研究」

<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ネルの非平衡電荷ダイナミクス」(分担)平成 30 年度:直接経費:968 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 30 年度:9,500 千円(平成27年12月1日～平成32年度)
3. 科学研究費 基盤研究(C) 課題番号: 18K03479「散逸を伴う量子状態制御・測定の研究」(代表)平成 30 年度:直接経費:1,000 千円(平成 30 年度～平成 32 年度)

<社会還元等>

1. 8th Summer School on Semiconductor/superconductor quantum coherence effect and quantum information, Nasu, Hotel Sunvalley Annex, 4-5 September, 2018 主催