

1 一般物理理論

1.1 上田研究室

近年のナノサイエンスの発展により、原子や分子、光子を量子 1 個のレベルで精密に測定し、制御することが可能になってきた。当研究室では、このような高い制御性を有する系での量子多体問題の解明と、その基礎となるナノスケールの熱力学・統計力学の構築を目指して理論研究を行っている。特に近年の中心的テーマとなっているのは、冷却原子気体の研究、および、量子論・統計力学と情報論の融合である。レーザー冷却により絶対零度近くまで冷却された原子系においては、高い制御性のもとで、ボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) などの巨視的量子現象や、固体物理、宇宙物理とも類似した現象を創り出し、その普遍的性質と新しい量子多体物理の可能性を探究することができる。私たちは、スピノル BEC におけるトポロジカル励起や粗視化ダイナミクス、人工的な散逸による非ユニタリ・ダイナミクス、原子間相互作用の強さを制御するもとの Efimov 状態や不純物問題、人工ゲージ場中での (量子) ホール効果、孤立量子系の熱平衡化などについて研究を行っている。同時に私たちは、情報をキーワードとして量子論や統計力学の基礎概念を捉え直し、物理と情報を融合させた新分野の構築を目指す研究にも取り組んでいる。特に測定やフィードバック制御を行うもとの情報の流れに着目し、熱力学の第二法則や揺らぎの定理の一般化、波束収縮のダイナミクス、測定結果からのハミルトニアン推定などの研究を行っている。

1.1.1 冷却原子気体

ゼノ・ホール効果

量子ゼノ効果とは測定を頻繁に行った場合、或いは強い散逸がある場合において、波動関数のダイナミクスが系のヒルベルト空間の部分空間に閉じ込められる現象である。量子ゼノ効果の鍵となるアイディアは実はフォン・ノイマンによって指摘されており、連続的な射影測定により 2 つの量子状態間を確率 1 で遷移させることができることが明らかにされていた。本研究では、近年冷却原子気体で発達した人工ゲージ場と量子開放系の技術によりスピン状態の量子ゼノ効果をスピン軌道相互作用と組み合わせ、フォン・ノイマンのアイディアを実空間の波束の輸送に応用できることを明らかにした。この「ゼノ・ホール効果」は異常ホール効果の量子開放系での対応物

とすべきものであり、バンド分散のエネルギーの虚部がギャップを持つため波束は非自明なベリー曲率を持つバンドに閉じ込められ、ポテンシャル勾配下では非自明なベリー曲率によりポテンシャル勾配に垂直な方向に波動関数が移動する。さらに閉じ込められるバンドがフラットな分散関係を持つために、波束が壁にぶつくと再帰的な反射が起こる (入射方向に反射される) ことも明らかにした。論文では光格子中の冷却原子気体でのゼノホール効果の実装方法についても議論した。[8]

パリティ・時間対称な系における量子臨界現象

理想的な孤立量子系に散逸や流入を導入し連続観測を行う事で非ユニタリ系の研究が可能となる。研究 [10] では、観測の非ユニタリ性により引き起こされる新奇な多体臨界現象について研究を行った。特に、サイン-ゴルドン模型をパリティ・時間 (PT) 対称な非エルミート系に拡張することで、開放系特有の新しいくりこみ群固定点が発現する事、および c 定理を破る特異なくくりこみ群の流れが生じる事を、くりこみ群解析と数値計算 (厳密対角化・iTEBD) により明らかにした。研究 [13] では、PT 対称な量子開放系における情報の流れについて研究を行った。PT 対称性が破れていない領域では環境に流れた情報が完全に回復すること、および破れた領域では情報が一方的に流れることを示した。また、この二つの相の間の転移点付近で系が臨界的なダイナミクスを示す事を指摘した。

BEC 中の不純物の示す普遍性

スケール不変な相互作用を持つユニタリー・フェルミ気体は、冷却原子気体から希薄な中性子物質までを説明する普遍的なモデル物質であり、特に基底状態の熱力学を定める Bertsch パラメータの決定は大きな潮流を成してきた。しかし、ユニタリー・ボース気体においては、Efimov 効果によってスケール不変性が破れ、多くの束縛状態を持ちうるため、多体系の持つ普遍性の理解は進んでいない。本研究では、弱く相互作用するボース気体と強く相互作用する不純物が成すボース・ポーラロンの基底状態について研究を行った。特に、3 つの理論模型による計算を比較し、エネルギーが Efimov 効果の特徴づける 3 体パラメータの普遍的な関数となることを示した。[20]

磁気ポーラロンの多体干渉

冷却原子気体に低密度の異なる種類の原子気体を導入する事で制御された量子不純物系の研究が可能となる。本研究では 2 成分 BEC に不純物原子を導入した系を時間依存の変分法により解析し、多体 Ramsey 干渉により磁気ポーラロンの実時間ダイナミクスが観測可能である事を示した。特に、従来の固体物質中では到達困難な強相関領域において、多体束縛状態

の形成に伴う自励振動現象など磁気不純物が発現する新しい非平衡ダイナミクスを明らかにした。本成果は Nature Physics 誌の Research highlight [Nat. Phys. 14, 206 (2018)] でも取り上げられた。[22]

一次元スピノル BEC の普遍的粗視化ダイナミクス

極低温冷却原子気体は、外部環境から隔離した孤立量子系として振る舞うとともに、粒子数密度が希薄であるため非平衡ダイナミクスを実時間観測することが可能である。そのため、孤立量子系の非平衡現象の普遍的性質を探求するのに非常に適した実験系である。本研究は、位相欠陥が支配的な緩和現象である粗視化ダイナミクスの理論研究を極低温冷却原子気体を舞台として行った。もともと、粗視化ダイナミクスはエネルギーが散逸する古典開放系で精力的に研究が行われており、そのダイナミクスは幾つかの普遍性クラスに分類されることが知られている。本研究では、エネルギーが保存する孤立系に特有の普遍性クラスが存在することを 1 次元スピノル Bose-Hubbard 模型を用いて、解析・数値的に明らかにした。[21]

トポロジカル励起間のトポロジカルな影響

近年冷却原子気体や磁性体、超伝導体において、渦やスカーミオンなどの多彩なトポロジカル励起を生成・操作する技術が発達してきている。理論的にも渦とトポロジカル励起の間にはトポロジカルに非自明な相互作用（トポロジカルな影響）が存在し、トポロジカル励起が渦の周りを回るとそのトポロジカルチャージが変化することが明らかにされていた。しかしながら、内部自由度のある系などでは多彩なトポロジカル励起が現れるため、トポロジカルな影響の存在条件とその種類を系統的に調べることは難しかった。我々はトポロジカルチャージを特徴付けるホモトピー群を一般的に計算する公式を開発し、一般の渦とトポロジカル励起の間に非自明なトポロジカルな影響が存在するための条件を明らかにした。また SU(3) ハイゼンベルグ模型において、3 要素の置換群で特徴付けられる新しいトポロジカルな影響が存在することを明らかにした。[7]

光格子中の強磁性スピン 1 ボース気体

近年、スピン自由度を持った冷却原子が、スピン自由度と位置自由度の協奏を探究する場として、注目を集めている。この文脈において、光格子中の反強磁性的相互作用をするスピナーボゾンが、そのスカラーボゾンとは著しく異なる振舞いから、広く研究されてきた。一方、強磁性スピナーボゾンは、外部磁場がない場合にはスカラーボゾンと大きな違いを示さないことから、詳しく調べられていなかった。しかし、超流動相平均場理論からは、強磁性相互作用と外部磁場の競合により、様々な量子相が現れることが示

唆されていた。本研究では、強磁性相互作用する光格子中のスピナーボゾン系の外部磁場下での振舞いを調べた。手法としてはサイト分断平均場理論を用い、基底状態と非零温度での相図を得た。相図では、従来の Mott 絶縁体-超流動相間の転移に加えて、超流動相内部にも polar 相と broken-axisymmetry 相 (BA 相) の 2 つの相の間の転移が見られた。更に、BA 相と他の相の間の転移は、相境界の一部で一次転移になることを見出した。これは、外部磁場がない場合には 2 次転移しか見られないことと対照的である。[11]

1.1.2 量子論・統計力学と情報理論の融合

キャビティおよび回路 QED における離散時間結晶

周期 T で駆動されているにもかかわらず、相互作用によって周期 nT ($n = 2, 3, \dots$) を持つ物理量の振動が安定化されるような量子多体系を離散時間結晶と言う。離散時間結晶はこれまでイオントラップやダイヤモンド窒素-空孔中心など孤立量子系でのみ実現されており、開放系では不安定になると考えられていた。我々は、共振器量子電磁力学系で実現されている散逸のあるディッケモデルを周期的に駆動した場合の時間発展を考えた。その結果、原子数が非常に多い場合は半古典的な分岐を反映して、離散時間結晶を含む幾つかのダイナミカル相が安定化されることを発見した。また、原子数が有限で量子揺らぎが強い場合でも、相互作用が強い場合に限り、離散時間結晶の相が散逸によって指数的に長い時間まで安定化されることを見出した。[16]

ほとんどの少数多体物理量の非典型性

近年、孤立量子系のユニタリー発展のみから統計力学を正当化する試みが実験・理論の両面で進展している。特に、熱平衡状態への緩和の必要条件として eigenstate thermalization hypothesis (ETH) という仮説が注目されている。ETH は「小さなエネルギーシェル内では、その中に属するエネルギー固有状態で物理量を挟んだ期待値がほぼ等しい」という仮説で、多くの非可積分系と few-body の物理量について数値的に確認されている。典型性の議論を仮定すれば、エネルギーシェル内の物理量の固有状態期待値の差は系のサイズとともに指数的に小さくなり、ETH を正当化することができる。一方我々はいくつかの仮定のもと、few-body の相互作用を持つハミルトニアンでランダムな few-body の物理量を選ぶと、そのほとんどに対して物理量の固有状態期待値の差の最大値は指数的には小さくならないことを示した。我々の結果は、実際に興味のある few-body ハミルトニアンと物理量のセットアップでは、従来の典型性の議論による ETH の正当化が適用できないことを示唆する。[23]

ハミルトニアン推定における限界

量子系の推定において、エンタングルメントによる並列化を用いると効率的な推定が可能であり、これは量子度量衡における Heisenberg 限界として知られている。本研究では、多数の未知パラメータを含むハミルトニアンを推定するための時間的コストを、変数の数やヒルベルト空間の次元といったハミルトニアンの複雑さに対するスケーリング則として評価した。具体的には、Fisher 情報量を用いた情報幾何学的な理論から時間的コストの下界を、実際に構成可能なアルゴリズムを用いて時間的コストの上界を導いた。特筆すべきことに、ハミルトニアンの複雑さによらず、エンタングルメントによる並列化は同程度に有効となることが示された。[17]

<受賞>

- [1] 川口由紀: 第 21 回久保亮五記念賞、井上科学振興財団、2017.10.7.
- [2] 藤本和也: 第 34 回井上研究奨励賞、井上科学振興財団、2018.2.2.
- [3] 沙川貴大: 第 5 回ヤマト科学賞、ヤマト科学株式会社、2018.3.7.
- [4] 村下湧音: 平成 29 年度理学系研究科研究奨励賞 (博士課程)、東京大学、2018.3.

<報文>

(原著論文)

- [5] M. Nakagawa and S. Furukawa: Bosonic integer quantum Hall effect as topological pumping, *Phys. Rev. B* **95**, 165116 (2017). Editors' suggestion.
- [6] T. Y. Saito and S. Furukawa: Devil's staircases in synthetic dimensions and gauge fields, *Phys. Rev. A* **95**, 043613 (2017).
- [7] S. Higashikawa and M. Ueda: Influence of topological constraints and topological excitations: Decomposition formulas for calculating homotopy groups of symmetry-broken phases, *Phys. Rev. B* **95**, 134520 (2017).
- [8] Z. Gong, S. Higashikawa, and M. Ueda: Zeno Hall Effect, *Phys. Rev. Lett.* **118**, 200401 (2017). Editors' suggestion.
- [9] K. Kawabata, R. Kobayashi, N. Wu, and H. Katsura: Exact zero modes in twisted Kitaev chains, *Phys. Rev. B* **95**, 195140 (2017).
- [10] Y. Ashida, S. Furukawa, and M. Ueda: Parity-time symmetric quantum critical phenomena, *Nat. Commun.* **8**, 15791 (2017).
- [11] K. H. So and M. Ueda: Strongly spinor ferromagnetic Bose gases, *Phys. Rev. A* **96**, 023628 (2017).
- [12] Y. Murashita, Z. Gong, Y. Ashida, and M. Ueda: Fluctuation theorems in feedback-controlled open quantum systems: Quantum coherence and absolute irreversibility, *Phys. Rev. A* **96**, 043840 (2017).
- [13] K. Kawabata, Y. Ashida, and M. Ueda: Information Retrieval and Criticality in Parity-Time-Symmetric Systems, *Phys. Rev. Lett.* **119**, 190401 (2017).
- [14] Y. O. Nakagawa and S. Furukawa: Capacity of entanglement and the distribution of density matrix eigenvalues in gapless systems, *Phys. Rev. B* **96**, 205108 (2017).
- [15] S. Furukawa and M. Ueda: Quantum Hall phase diagram of two-component Bose gases: Intercomponent entanglement and pseudopotentials, *Phys. Rev. A* **96**, 053626 (2017).
- [16] Z. Gong, R. Hamazaki, and M. Ueda: Discrete Time-Crystalline Order in Cavity and Circuit QED Systems, *Phys. Rev. Lett.* **120**, 040404 (2018).
- [17] N. Kura and M. Ueda: Finite-error metrological bounds on multiparameter Hamiltonian estimation, *Phys. Rev. A* **97**, 010201 (2018).
- [18] N. Tsuji, T. Shitara, and M. Ueda: Out-of-time-order fluctuation-dissipation theorem, *Phys. Rev. E* **97**, 012101 (2018).
- [19] E. Kaminishi, T. Mori, T. N. Ikeda, and M. Ueda: Entanglement prethermalization in the Tomonaga-Luttinger model, *Phys. Rev. A* **97**, 013622 (2018).
- [20] S. M. Yoshida, S. Endo, J. Levinsen, and M. M. Parish: Universality of an Impurity in a Bose-Einstein Condensate, *Phys. Rev. X* **8**, 011024 (2018).
- [21] K. Fujimoto, R. Hamazaki, and M. Ueda: Unconventional Universality Class of One-Dimensional Isolated Coarsening Dynamics in a Spinor Bose Gas, *Phys. Rev. Lett.* **120**, 073002 (2018).
- [22] Y. Ashida, R. Schmidt, L. Tarruell, and E. Demler: Many-body interferometry of magnetic polaron dynamics, *Phys. Rev. B* **97**, 060302(R) (2018).
- [23] R. Hamazaki and M. Ueda: Atypicality of Most Few-Body Observables, *Phys. Rev. Lett.* **120**, 080603 (2018).
- [24] J. Bengtsson, M. Nilsson Tengstrand, A. Wacker, P. Samuelsson, M. Ueda, H. Linke, and S.M. Reimann: Quantum Szilard Engine with Attractively Interacting Bosons, *Phys. Rev. Lett.* **120**, 100601 (2018).
- [25] Y. Masuyama, K. Funo, Y. Murashita, A. Noguchi, S. Kono, Y. Tabuchi, R. Yamazaki, M. Ueda, and Y. Nakamura, *Nat. Commun.* **9**, 1291 (2018).

(解説)

- [26] M. Tsubota, K. Fujimoto, and S. Yui: Numerical Studies of Quantum Turbulence, *J. Low. Temp. Phys.* **188**, 119 (2017).

(会議抄録)

- [27] 久良尚任: ハミルトニアンの複雑性に対する推定時間限界のスケーリング. 数理解析研究所講究録 2059 「量子システム推定の数理」所収, pp. 130–139 (2017).

(学位論文)

- [28] Yuto Murashita: Fluctuation theorems under divergent entropy production and their applications for fundamental problems in statistical physics (博士論文).
- [29] Tomohiro Shitara: Geometric Approach to Nonequilibrium Statistical Mechanics (博士論文).
- [30] Shuhei M. Yoshida: Theoretical Study on Universal Few-Body Effects in Ultracold Atomic Gases (博士論文).
- [31] Takumi Yoshino: Collective modes of vortex lattices in two-component Bose-Einstein condensates (修士論文).

< 学術講演 >

(国際会議)

招待講演

- [32] Y. Ashida: Parity-time-symmetric quantum critical phenomena, The 19th International Conference on Recent Progress in Many-Body Theories, Pohang, Korea, 2017.6.27.
- [33] S. Higashikawa: Topological catalysis: continuous production of topological solitons assisted by topological defects, The 26th annual International Laser Physics Workshop (LPHYS'17), Kazan, Russia, 2017.7.17.
- [34] Y. Ashida: Quantum many-body phenomena under continuous observation, Quantum Science and Technology Workshop, Boston, USA, 2017.7.25.
- [35] M. Ueda: Quantum many-body dynamics and critical phenomena under continuous observation, Information Engines at the Frontiers of Nanoscale Thermodynamics, Telluride Intermediate School, Telluride, Colorado, USA, 2017.8.6-14.
- [36] S. Furukawa: Magnetic properties of volborthite determined by a coupled-trimer model, 1st Asia Pacific Workshop on Quantum Magnetism (APWQM2017), Seoul, Korea, 2017.8.28-30.
- [37] S. Furukawa: Quantum critical phenomena under continuous observation, Trends in Theory of Correlated Materials (Swiss-Japan Workshop TTCM2017), Tsukuba, 2017.9.10-13.
- [38] M. Ueda: Dynamics of continuously monitored quantum many-body systems, Quantum Optix IX Conference, Hotel Gdansk Posejdon, Poland, 2017.9.17-23.
- [39] M. Ueda: Quantum many-body dynamics under continuous observation, Quantum Thermodynamics: Thermalization and Fluctuations (QTTF2017), YITP, Kyoto Univ., Kyoto, 2017.9.26-30.
- [40] Y. Ashida: Quantum many-body phenomena under continuous observation, The 2nd Beijing-Tokyo Workshop on Ultracold atoms, Univ. of Tokyo, Tokyo, 2017.10.2-3.
- [41] Z. Gong: Nonequilibrium dynamics and phases in open quantum systems, The 2nd Beijing-Tokyo Workshop on Ultracold atoms.
- [42] M. Ueda: Zeno Hall Effect, ENS-UT Workshop on Physics 2017, Univ. of Tokyo, Tokyo, 2017.11.15-16.
- [43] S. Furukawa: Entanglement entropy and spectra in topological phases, Topological Science Symposium 2017, Hiyoshi Campus, Keio Univ., Yokohama, 2017.11.21-22.
- [44] M. Ueda: Zeno Hall Effect, Topological Science Symposium 2017.
- [45] M. Ueda: Zeno Hall Effect and Spin Hall Effect with Space Inversion Symmetry, Workshop on Long-Range Interaction in Atomic Systems: Magnetic Dipoles, Rydberg Atoms and Ions, IFSC Institute of Physics of São Carlos, São Carlos, Brazil, 2017.12.3-10.
- [46] M. Ueda: Zeno Hall Effect, The 2nd CEMS International Symposium on Dynamics in Artificial Quantum Systems (DAQS2018), Research Center for Advanced Science and Technology (RCAST), Univ. of Tokyo, Tokyo, 2018.1.15-17.
- [47] M. Ueda: Quantum many-body dynamics under continuous observation, MPQ Colloquium, MPQ, Munich, Germany, 2018.1.21-25.
- [48] M. Ueda: Atypicality of most few-body observables, Quantum Many-Body Systems Far from Equilibrium: Quench Dynamics, Thermalisation, and Many-Body Localisation, National Institute for Theoretical Physics in Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa, 2018.3.11-16.

一般講演

- [49] S. M. Yoshida, and M. Ueda: Universal Properties in a Fermi Gas with a Resonant p -Wave Interaction, Obergurgl, Austria, 2017.4.10-13.
- [50] Y. Ashida, S. Furukawa and M. Ueda: Parity-time-symmetric quantum critical phenomena, International Conference on Topological Materials Science 2017 (TopoMat2017), Tokyo Tech, Tokyo, 2017.5.9-13. Poster Award (Bronze Prize).
- [51] K. Kawabata, R. Kobayashi, N. Wu, and H. Katsura: Majorana zero modes without edges, TopoMat2017. Poster Award (Bronze Prize).
- [52] K. Fujimoto, R. Hamazaki, and M. Ueda: Coarsening dynamics of spin domains in a one-dimensional spin-1 spinor Bose gas, TopoMat2017. Poster Preview Award.
- [53] S. Higashikawa and M. Ueda: Topological catalysis: continuous production of topological solitons assisted by topological defects, TopoMat2017. Poster Preview Award.
- [54] S. Furukawa and M. Ueda: Quantum Hall phase diagram of two-component Bose gases, TopoMat2017.

- [55] Z. Gong, S. Higashikawa and M. Ueda: Zeno Hall Effect, TopoMat2017.
- [56] Y. Ashida, S. Furukawa and M. Ueda: Parity-time-symmetric quantum critical phenomena, Non-Hermitian Hamiltonians in Physics: Theory and Experiment, Bad Honnef, Germany, 2017.5.14-19. Best Poster Prize.
- [57] K. Kawabata, Y. Ashida, and M. Ueda: Information flow in PT-symmetric systems, Non-Hermitian Hamiltonians in Physics: Theory and Experiment. Best Poster Prize.
- [58] K. Fujimoto, R. Hamazaki, and M. Ueda: Coarsening in the one-dimensional spin-1 spinor Bose-Hubbard model, 48th Annual DAMOP Meeting, Sacramento, USA, 2017.6.5-9.
- [59] S. Higashikawa and M. Ueda: Non-conservation of topological charges in multiple topological excitations, Gordon Research Conference (Topological material), Hong Kong, China, 2017.6.18-23.
- [60] R. Hamazaki, T. N. Ikeda and M. Ueda: Generalized Gibbs ensemble in nonintegrable systems with an extensive number of local symmetries, Sigma Phi 2017 - International Conference on Statistical Mechanics, Corfu, Greece, 2017.7.10-14.
- [61] Y. Ashida, S. Furukawa and M. Ueda: Quantum many-body phenomena under continuous observation, Bose-Einstein Condensation Frontiers in Quantum Gases, Sain Feliu de Guixols, Spain, 2017.9.2-8.
- [62] K. Fujimoto, R. Hamazaki, and M. Ueda: Universal coarsening dynamics in a one-dimensional spin-1 spinor Bose gas, QTTF2017, Kyoto, 2017.9.27-30.
- [63] R. Hamazaki and M. Ueda: Atypicality of most few-body observables, QTTF2017.
- [64] Y. Murashita, Z. Gong, Y. Ashida and M. Ueda: Fluctuation theorems in feedback-controlled open quantum systems: quantum coherence and absolute irreversibility, QTTF2017.
- [65] Y. Ashida, T. Shi, M.-C. Banuls, J. I. Cirac and E. Demler: Variational principle for quantum impurity systems in and out of equilibrium, DAQS2018, Tokyo, 2018.1.15-17.
- [66] Z. Gong, R. Hamazaki and M. Ueda: Discrete Time-Crystalline Order in Cavity and Circuit QED Systems, DAQS2018.
- [67] K. Kawabata, Y. Ashida, and M. Ueda: Information Retrieval and Criticality in Parity-Time-Symmetric Systems, DAQS2018.
- [68] K. Fujimoto: Isolated coarsening dynamics in a one-dimensional ferromagnetic spinor Bose gas, Finite Temperature Non-equilibrium Superfluid system, Wanaka, New Zealand, 2018.2.19-23.
- [69] S. M. Yoshida, S. Endo, J. Levinsen, and M. M. Parish: Universality of an impurity in a Bose-Einstein condensate, Victoria Ultracold Atoms Network Workshop, Melbourne, Australia, 2018.2.27.
- [70] R. Hamazaki and M. Ueda: Atypicality of Most Few-Body Observables, APS March Meeting 2018, Los Angeles, USA, 2018.3.5-9.
- [71] Y. Murashita, N. Kura and M. Ueda: Transient Fractality as a Mechanism of Emergent Irreversibility in Chaotic Hamiltonian Dynamics, APS March Meeting 2018.
- (国内会議)
招待講演
- [72] 東川翔、中川大也、上田正仁: ワイルフェルミオンの非断熱なトポロジカルポンプとニールセン・二宮の定理の破れ、熱場の量子論とその応用、京都大学基礎物理学研究所、2017.8.30.
- [73] 吉田周平、遠藤晋平、Jesper Levinsen、Meera M. Parish: Bose-Einstein 凝縮体中の不純物が示す普遍性、量子クラスターで読み解く物質の階層構造、東京工業大学大岡山キャンパス、2018.3.30-31.
- 一般講演
- [74] 川畑幸平、蘆田祐人、上田正仁: パリティ・時間対称な量子開放系における情報の回復と臨界性、日本物理学会 2017 年秋季大会、岩手大学上田キャンパス、盛岡、2017.9.21-24. 領域 1 第 6 回学生プレゼンテーション賞.
- [75] 吉田周平、遠藤晋平、Meera M. Meera、Jesper Levinsen: ボース・アインシュタイン凝縮体中のポーラロンにおける普遍性、同上. 領域 1 第 6 回学生プレゼンテーション賞.
- [76] 蘆田祐人、古川俊輔、上田正仁: 連続観測下の量子臨界現象 I: 超流動-Mott 絶縁体と朝永-Luttinger 液体、同上.
- [77] 蘆田祐人、古川俊輔、上田正仁: 連続観測下の量子臨界現象 II: パリティ・時間対称な sine-Gordon 模型、同上.
- [78] 蘆田祐人、上田正仁: 連続観測下の多粒子ダイナミクス: 計数統計と Lieb-Robinson 限界、同上.
- [79] 濱崎立資、藤本和也、上田正仁: Truncated Wigner 近似による非時間順序相関関数の解析、同上.
- [80] 濱崎立資、上田正仁: ほとんどの少数多体物理量の行列要素の非典型性、同上.
- [81] 藤本和也、坪田誠、Christoph Eigen、Jinyi Zhang、Raphael Lopes、Nir Navon、Robert Smith、Zoran Hadzibabic: Experimental and numerical studies of a turbulent cascade in a 3D Bose gas、同上.
- [82] 藤本和也、濱崎立資、上田正仁: 1 次元スピノール Bose-Hubbard 模型におけるスピンドメインの安定性と量子揺らぎ、同上.
- [83] 村下湧音、久良尚任、上田正仁: Loschmidt パラドックス、過渡的フラクタル、絶対不可逆性、同上.

- [84] 吉野匠、東川翔、古川俊輔、上田正仁: 人工ゲージ場中の二成分 Bose-Einstein 凝縮体における渦格子の集団励起、同上。
- [85] 濱崎立資、藤本和也、上田正仁: 半古典カオス系での異時刻四点相関関数、非平衡物理の最前線—素粒子・宇宙から物性まで—、理化学研究所、2017.12.6-8.
- [86] 藤本和也: Universality Class of Coarsening Dynamics in an Isolated One-Dimensional Spinor Bose Gas、若手研究会「統計物理学とその周辺」、東京大学本郷キャンパス、2018.3.1-2
- [87] 蘆田祐人、Tao Shi, Mari Carmen Banuls, J. Ignacio Cirac, Eugene Demler: 非ガウシアン多体波動関数による不純物系の基底状態・非平衡ダイナミクスの研究、日本物理学会第 73 回年次大会、東京理科大学野田キャンパス、野田、2018.3.22-25.
- [88] 川畑幸平、蘆田祐人、桂法称、上田正仁: 流入・散逸のあるキタエフ鎖におけるパリティ・時間対称性によって誘起されたエッジ状態、同上。
- [89] Zongping Gong、濱崎立資、上田正仁: Discrete Time-Crystalline Order in Cavity and Circuit QED Systems、同上。
- [90] 古川俊輔、桃井勉: ボルボサイトにおける Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用の効果、同上。
- [91] 吉野匠、東川翔、古川俊輔、上田正仁: 人工ゲージ場中の二成分 Bose-Einstein 凝縮体における渦格子の集団励起 II、同上。
- [92] 吉野匠、東川翔、古川俊輔、上田正仁: Collective Modes of Vortex Lattices in Two-Component Bose-Einstein Condensates、ImPACT 第 4 回全体会議 (量子情報技術ワークショップ)、JST 東京本部別館 1 階ホール、2018.3.27-29.
- (セミナー)
- [93] 蘆田祐人: Quantum critical phenomena under measurement backaction、羽田野研セミナー、東京大学、2017.4.14.
- [94] 濱崎立資: 孤立量子系における熱平衡化現象、根掘り葉掘りセミナー (清水研究室)、東京大学、2017.4.25.
- [95] 古川俊輔: ボソンの整数量子ホール状態、第 42 回トポロジカル物質科学セミナー (田仲・川口研)、名古屋大学、2017.5.22.
- [96] R. Hamazaki: Atypicality of most few-body observables, iTHES Physics Seminar, RIKEN, 2017.5.29
- [97] 川畑幸平: Information Retrieval and Criticality in Parity-Time-Symmetric Systems、羽田野研セミナー、東京大学、2017.7.7.
- [98] 設楽智洋: 線形応答理論に基づく量子 Fisher 情報量の決定法、羽田野研セミナー、東京大学、2017.7.14.
- [99] S. Higashikawa: Topological pump of Weyl fermion and Floquet chiral magnetic effect、京都大学基礎物理学研究所凝縮系物理研究室、2017.9.14.
- [100] Y. Ashida: Quantum critical phenomena under continuous observation, The 24-th Quantum simulation meeting, RIKEN CEMS, 2017.9.15
- [101] Z. Gong: Discrete Time-Crystalline Order in Cavity and Circuit QED Systems、NICT、2017.10.30
- [102] 濱崎立資: 非時間順序相関関数とその半古典的解析、巨視的量子物理プロジェクト、NICT、2017.10.30
- [103] 藤本和也: Turbulent cascade in a 3D ultracold Bose gas、統計力学セミナー、東京大学本郷キャンパス、2017.11.20.
- [104] 濱崎立資: 局在した初期状態での量子カオスにおける三点非時間順序相関関数の支配性、矢上統計物理学セミナー (齊藤研究室)、慶應大学、2017.12.20.
- [105] 東川翔、中川大也、上田正仁: フロケカイラル磁気効果、茨城大学理学部物理学領域物性セミナー、2018.1.23.
- [106] S. Furukawa: Entanglement entropy and spectra in topological phases, Seminar of Keio Topological Science Project, Hiyoshi Campus, Keio Univ., Yokohama, 2018.1.31.
- [107] K. Kawabata: Open Topological Systems: Non-Hermiticity and Topology, Condensed Matter Seminar, Kyoto Univ., 2018.2.8.
- [108] Y. Ashida: Theoretical studies on open quantum many-body phenomena, ITAMP Lunch Seminar, Harvard Univ., 2018.2.14
- [109] Y. Ashida: Solving quantum impurity systems in and out of equilibrium with variational approach, Harvard Condensed Matter Theory Seminar, Harvard Univ., 2018.2.16
- [110] R. Hamazaki: Atypicality of most few-body observables, Condensed Matter Theory Center, Univ. of California, Berkeley, 2018.3.29.
- (その他)
- [111] 川畑幸平、蘆田祐人、上田正仁: パリティ・時間対称な量子開放系における情報の回復と臨界性、第 62 回 物性若手夏の学校、長良川ホテルパーク、2017.7.25-29. 優秀ポスター賞 (総合第 2 位) .

1 Ueda Group

Research Subjects: Bose-Einstein condensation, fermionic superfluidity, topological phenomena, reservoir engineering, information thermodynamics, quantum information, measurement theory

Member: Masahito Ueda and Shunsuke Furukawa

With recent advances in nanoscience, it has become possible to precisely measure and control atoms, molecules, and photons at the level of a single quantum. We are interested in theoretically studying emergent quantum many-body problems in such highly controllable systems and developing nanoscale thermodynamics and statistical physics that lay the foundations of such problems. Our particular focuses in recent years include many-body physics of ultracold atomic gases and unification of quantum and statistical physics and information theory. Atomic gases which are cooled down to nearly zero temperature by laser cooling techniques offer unique opportunities for studying macroscopic quantum phenomena such as a Bose-Einstein condensation (BEC) in controlled manners. Unprecedented controllability of such gases also enables us to simulate phenomena analogous to condensed matter and astronomical physics, to investigate their universal properties, and to explore unknown quantum many-body physics. In our recent works, we have studied topological excitations and coarsening dynamics in spinor BECs, non-unitary dynamics in driven-dissipative systems, Efimov physics and impurity problems under the control of an atomic interaction strength, (quantum) Hall effect in synthetic gauge fields, and thermalization of isolated quantum systems. We are also interested in relating fundamental concepts of quantum and statistical physics with information theory and exploring interdisciplinary fields that unify physics and information. In particular, we have recently worked on generalizations of the second law of thermodynamics and fluctuation theorems and the formulations of state reduction dynamics and Hamiltonian estimation in light of information flow under measurements and feedback controls. We list our main research subjects in FY2017 below.

- Quantum many-body phenomena in ultracold atoms
 - Zeno Hall effect [1]
 - Quantum critical phenomena in parity-time-symmetric systems [2, 3]
 - Universality of an impurity in a Bose-Einstein condensate [4]
 - Many-body interferometry of magnetic polaron dynamics [5]
 - Universal coarsening dynamics of a one-dimensional spinor Bose gas [6]
 - Topological influence between topological excitations [7]
 - Phase diagram of ferromagnetic spin-1 bosons in optical lattices [8]
- Quantum Information, quantum measurement, and foundation of statistical mechanics
 - Discrete time-crystalline order in cavity and circuit QED systems [9]
 - Atypicality of most few-body observables [10]
 - Finite-error metrological bounds on multiparameter Hamiltonian estimation [11]

- [1] Z. Gong, S. Higashikawa, and M. Ueda, Phys. Rev. Lett. **118**, 200401 (2017). Editors' suggestion.
 [2] Y. Ashida, S. Furukawa, and M. Ueda, Nat. Commun. **8**, 15791 (2017).
 [3] K. Kawabata, Y. Ashida, and M. Ueda, Phys. Rev. Lett. **119**, 190401 (2017).
 [4] S. M. Yoshida, S. Endo, J. Levinsen, and M. M. Parish, Phys. Rev. X **8**, 011024 (2018).
 [5] Y. Ashida, R. Schmidt, L. Tarruell, and E. Demler, Phys. Rev. B **97**, 060302(R) (2018).
 [6] K. Fujimoto, R. Hamazaki, and M. Ueda, Phys. Rev. Lett. **120**, 073002 (2018).
 [7] S. Higashikawa and M. Ueda, Phys. Rev. B **95**, 134520 (2017).
 [8] K. H. So and M. Ueda, Phys. Rev. A **96**, 023628 (2017).
 [9] Z. Gong, R. Hamazaki, and M. Ueda, Phys. Rev. Lett. **120**, 040404 (2018).
 [10] R. Hamazaki and M. Ueda, Phys. Rev. Lett. **120**, 080603 (2018).
 [11] N. Kura and M. Ueda, Phys. Rev. A **97**, 010201 (2018).