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での 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や渦格子、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で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

測定反作用下の量子多体ダイナミクス

近年、量子気体系において量子多体ダイナミクスを 1 原子レベルでミクロに観測/制御する事が実現した。量子系のミクロな情報が得られる場合、その代償としてハイゼンベルグの不確定性関係に起因する測定の反作用がダイナミクスに本質的な影響を及ぼす。このような観測下の開放量子多体系についてその非平衡ダイナミクスと熱化過程に関して研究を行なった。特に、相関の伝搬速度の限界を与える Lieb-Robinson 限界を超えた伝搬が測定の反作用で誘起されること (図 1.1.1) [11]、及び非可積分な開放多体系が熱化することとその温度を効率よく求める理論手法を見出した [20]。

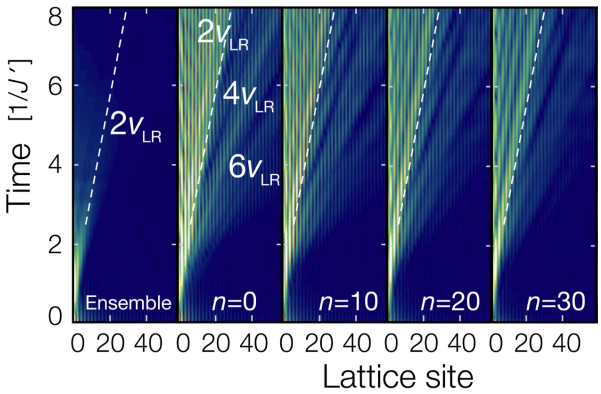

図 1.1.1: 量子測定の反作用により誘起される、多粒子系の速い相関伝搬モード。測定結果でアンサンブル平均した散逸的なダイナミクス（左）では、従来の速度限界である Lieb-Robinson 限界よりも速い相関の伝搬は生じない。測定結果で条件づけられた観測下の多粒子ダイナミクスではこの速度限界を超えた伝搬が生じ得る。[11]

平衡・非平衡下の量子不純物問題に対する変分的アプローチ

環境と系の間の相関が強い開放量子系では、Born-Markov 近似に基づいた記述は破綻する。そのような系の最も原型的な例として近藤問題に代表される量子不純物系に着目し、環境との量子もつれを解く新しい正準変換に基づいた高効率な理論手法を開発した [15, 16]。これにより、最先端の計算手法（MPS）よりも 2-3 桁少ないリソースで MPS と同程度の精度が平衡状態で達成された。さらに、MPS では計算が困難であった長時間領域の量子多体ダイナミクスにも成功し、これを冷却原子で実験的に検証する具体的な方法も提案した [12]。

重い不純物によって誘起される多体共鳴

冷却原子気体においてフェッシュバッハ共鳴を用いて相互作用を制御可能となったことで、散乱共鳴近傍における少数粒子系・多粒子系が示す普遍的な性質に対して関心が集まっている。近年では、ボース気体中の不純物が成すボース・ポーラロンが実験的に実現したことを受け、強相関領域におけるボース・ポーラロンの普遍性、特に普遍的な 3 粒子状態であるエフィモフ状態と多体状態であるボース・ポーラロンの関係に関して興味が持たれている。本研究 [23, 24] では、ボース粒子と重い不純物との相互作用が散乱共鳴近傍にあり束縛状態を持つとき、N 個のボース粒子と 1 つの不純物が成す極めて浅い束縛状態が存在することを明らかにした。また、これらの束縛状態が 3 体斥力の起源に依らず存在し、その束

縛エネルギーも散乱共鳴近傍で散乱長のみで決まる普遍的な値に漸近することを示し、その関数形を解析的に導出した。これらの結果は、3 体斥力の存在下において、安定な多体状態が存在しうることを示している。

二成分 BEC の渦格子の集団励起

人工磁場中の BEC においては、多数の渦が発生し、格子を形成する。そのような渦格子は、一成分系においては三角格子を組むが、二成分系では成分間・成分内相互作用の比に応じて 5 種類の格子構造を示す。興味深いことに、平均場理論の範囲では、二成分に印加する磁場が互いに平行であっても反平行であっても、基底状態の渦格子構造は変わらない。では、集団励起などの他の性質に平行・反平行磁場系の違いが現れるだろうか。我々は Bogoliubov 理論と有効場の理論を用いて、平行・反平行磁場中の二成分 BEC における渦格子の集団励起を調べた。その結果、いずれの場合においても、低エネルギーで一次と二次の分散関係を持つ二つの励起モードが現れることを見出した。さらに、成分間相互作用が引力のときに現れる「重なった三角格子相」において、平行・反平行系の励起の低エネルギー分散関係が適切にリスケールすることで一致するという非自明な関係を示した。また、高エネルギー領域で、二つの励起バンドが点上、線上で接するポイント・ノード、ライン・ノードが現れることを見出し、そのうちのいくつかについて半並進対称性からその起源を説明した。[27]

1.1.2 量子論・統計力学と情報理論の融合

非エルミート・トポロジカル相の分類

近年の膨大な数の研究により、ユニタリな閉じた系のトポロジカル物性に関しては基礎的な理解が確立されつつある。これに対し本研究では、非エルミートなハミルトニアンによって記述される開放系におけるトポロジカル相の新しい分類を行うことで、開放系のトポロジカル物性に統一的な理解を与えた [19]。数学的な分類表の構築にくわえて、非エルミート系で標準的な模型である「羽田野-Nelson 模型」の局在・非局在転移がトポロジカル相転移として解釈できることを指摘し、対応するトポロジカル数やダイナミクスを明らかにした [19]。また、非エルミート性によりスペクトラムが複素になることの自然な帰結として、時間反転対称性と粒子正孔対称性が同一視されることを見出した [28]。

非エルミート・トポロジカル相におけるバルク・エッジ対応

トポロジカル相の顕著な特徴のひとつは、バルクの非自明なトポロジーにともなって安定なエッジ状態が現れることである（バルク・エッジ対応）。近年の研究により、非エルミート性はバルク・エッジ対応の本質を変更しうることが明らかになってきた。本研究では、流入・散逸をともなう 1 次元トポロジカル超伝導体において、非エルミート性を受けた Majorana エッジ状態にともなう非局所的な輸送現象を明らかにした [18]。また、非エルミートな Chern 絶縁体において、エルミート系には対応物をもたない、特異なヘリカルエッジ状態が現れることを見出した [21]。さらに、非エルミートな 2 次トポロジカル絶縁体においても、そのバルク・エッジ対応を確立した [29]。

量子ダイナミクスにおけるエンタングルメント・スペクトルのトポロジカルな交差

我々は 1 次元全ての Altland-Zirnbauer クラスに対して、クエンチ・ダイナミクスにおける安定な 1+1 次元トポロジカル構造を解明し、それをエンタングルメント・スペクトルを用いて検出することを提案した。具体的には、あるトポロジカル相からスタートし、異なるトポロジカル数を持つハミルトニアンで時間発展させると、一粒子エンタングルメント・スペクトルが必ず交差することを示した。この交差は乱れに対して安定であり、交差の数は Z または Z_2 トポロジカル数を忠実に反映する。また、横磁場イジングモデルのクエンチ・ダイナミクスにおける多体エンタングルメント・スペクトルの一時的縮退の起源を明らかにした。以上の発見は、最先端の量子多体トモグラフィー技術を用いた冷却原子やイオントラップ系で検証できることが期待される。[26]

＜受賞＞

[1] 川畑幸平: ポスターセッション最優秀賞・分科会優秀発表賞、第 63 回物性若手夏の学校、2018.7.27.

[2] 川畑幸平: 2018 年度秋季大会学生優秀発表賞（領域 4）、日本物理学会、2018.10.18.

[3] 川畑幸平: ポスター賞（銀賞）、第 4 回「トポ物質科学」領域研究会、名古屋大学、2019.1.23.

[4] 藤本和也: ポスタープレビュー賞、第 4 回「トポ物質科学」領域研究会、名古屋大学、2019.1.23.

[5] 蘆田祐人: 第 9 回育志賞、日本学術振興会、2019.3.8.

[6] 蘆田祐人: 第 13 回若手奨励賞（領域 1 ）、日本物理学会、2019.3.15.

[7] 濱崎立資: 第 74 回年次大会学生優秀発表賞（領域 11）、日本物理学会、2019.3.15.

[8] 蘆田祐人: 平成 30 年度東京大学総長賞・理学系研究科研究奨励賞（博士課程）、2019.3.25.

[9] 東川翔: 平成 30 年度理学系研究科研究奨励賞（博士課程）、東京大学、2019.3.25.

[10] 川畑幸平: 平成 30 年度東京大学総長賞・理学系研究科研究奨励賞（修士課程）、2019.3.25.

＜報文＞

(原著論文)

[11] Y. Ashida and M. Ueda: Full-Counting Many-Particle Dynamics: Nonlocal and Chiral Propagation of Correlations, Phys. Rev. Lett. **120**, 185301 (2018).

[12] M. Kanasz-Nagy, Y. Ashida, T. Shi, C. P. Moca, T. N. Ikeda, S. Foelling, J. I. Cirac, G. Zarand, and E. Demler: Exploring the Kondo model in and out of equilibrium with alkaline-earth atoms, Phys. Rev. B **97**, 155156 (2018).

[13] N. T. Phuc and M. Ueda: Many-body spin Hall effect with space-inversion symmetry, Phys. Rev. A **97**, 061608(R) (2018).

[14] E. Yukawa and M. Ueda: Nonholonomy of order parameters and su(3) vortices in spin-1 Bose-Einstein condensates, Phys. Rev. A **98**, 013607 (2018).

[15] Y. Ashida, T. Shi, M. C. Banuls, J. I. Cirac, and E. Demler: Solving Quantum Impurity Problems in and out of Equilibrium with the Variational Approach, Phys. Rev. Lett. **121**, 026805 (2018).

[16] Y. Ashida, T. Shi, M. C. Banuls, J. I. Cirac, and E. Demler: Variational principle for quantum impurity systems in and out of equilibrium: Application to Kondo problems, Phys. Rev. B **98**, 024103 (2018).

[17] N. Tsuji, T. Shitara, and M. Ueda: Bound on the exponential growth rate of out-of-time-ordered correlators, Phys. Rev. E **98**, 012216 (2018).

[18] K. Kawabata, Y. Ashida, H. Katsura, and M. Ueda: Parity-time-symmetric topological superconductor, Phys. Rev. B **98**, 085116 (2018). Selected as Editors' Suggestion.

[19] Z. Gong, Y. Ashida, K. Kawabata, K. Takasan, S. Higashikawa, and M. Ueda: Topological Phases of Non-Hermitian Systems, Phys. Rev. X **8**, 031079 (2018). See also Viewpoint: Physics **11**, 96.

[20] Y. Ashida, K. Saito, and M. Ueda: Thermalization and Heating Dynamics in Open Generic Many-Body Systems, Phys. Rev. Lett. **121**, 170402 (2018).

[21] K. Kawabata, K. Shiozaki, and M. Ueda: Anomalous helical edge states in a non-Hermitian Chern insulator, Phys. Rev. B **98**, 165148 (2018).

[22] M. Nakagawa, N. Kawakami, and M. Ueda: Non-Hermitian Kondo Effect in Ultracold Alkaline-Earth Atoms, Phys. Rev. Lett. **121**, 203001 (2018).

[23] Z.-Y. Shi, S. M. Yoshida, M. M. Parish, and J. Levinsen: Impurity-Induced Multibody Resonances in a Bose Gas, Phys. Rev. Lett. **121**, 243401 (2018).

[24] S. M. Yoshida, Z.-Y. Shi, J. Levinsen, and M. M. Parish: Few-body states of bosons interacting with a heavy quantum impurity, Phys. Rev. A **98**, 062705 (2018).

[25] S. Uchino, M. Ueda, and J.-P. Brantut: Universal noise in continuous transport measurements of interacting fermions, Phys. Rev. A **98**, 063619 (2018).

[26] Z. Gong and M. Ueda: Topological Entanglement-Spectrum Crossing in Quench Dynamics, Phys. Rev. Lett. **121**, 250601 (2018).

[27] T. Yoshino, S. Furukawa, S. Higashikawa, and M. Ueda: Collective modes of vortex lattices in two-component BoseEinstein condensates under synthetic gauge fields, New J. Phys. **21**, 015001 (2019).

[28] K. Kawabata, S. Higashikawa, Z. Gong, Y. Ashida, and M. Ueda: Topological unification of time-reversal and particle-hole symmetries in non-Hermitian physics, Nat. Commun. **10**, 297 (2019). Selected as Editors' Highlights.

[29] T. Liu, Y.-R. Zhang, Q. Ai, Z. Gong, K. Kawabata, M. Ueda, and F. Nori: Second-Order Topological Phases in Non-Hermitian Systems, Phys. Rev. Lett. **122**, 076801 (2019).

(解説)

[30] T. Mori, T. N. Ikeda, E. Kaminishi, and M. Ueda: Thermalization and prethermalization in isolated quantum systems: a theoretical overview, J. Phys. B **51**, 112001 (2018).

(学位論文)

[31] Yuto Ashida: Quantum Many-Body Physics in Open Systems: Measurement and Strong Correlations（博士論文）.

[32] Sho Higashikawa: Floquet engineering of topological phenomena and nonlinear systems（博士論文）.

[33] Kohei Kawabata: Topological classification of non-Hermitian insulators and superconductors（修士論文）.

＜学術講演＞

(国際会議)

招待講演

[34] Z. Gong: Topological quench dynamics and non-Hermitian phases – lessons from Floquet topological systems, International Molecule Program on Floquet Theory: Fundamentals and Applications (symposium), Yukawa Institute for Theoretical Physics (YITP), Kyoto University, Kyoto, 2018.4.16-18.

[35] M. Ueda: Discrete Time-Crystalline Order in Cavity and Circuit-QED Systems, International Molecule Program on Floquet Theory: Fundamentals and Applitions (symposium).

[36] S. Furukawa and M. Ueda: Quantum Hall states with symmetry-enriched edge modes in multicomponent Bose gases, International Conference on Multi-Condensate Superconductivity and Superfluidity in Solids and Ultra-cold Gases (Multi-Super2018), International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italy, 2018.5.14-18.

[37] M. Ueda: Atypicality of most few-body observables, KITP QTHERMO-C18 Conference, University of California, Santa Barbara, U.S.A, 2018.6.25-29.

[38] M. Ueda: Non-equilibrium topo systems, Erice Workshop 2018, Ettore Majorana Foundation and Centre for Scientific Culture, Erice, Italy, 2018.7.21-27.

[39] M. Ueda: Linear response and sum rules of ultracold atomic gases, Linear Response and Non-Equilibrium Dynamics of Quantum Many-Body Systems, Schloss Burgbrohl, Burgbrohl, Germany, 2018.8.13-16.

[40] R. Hamazaki: Operator Noncommutativity and Irreversibility in Quantum Chaos, the 3rd Beijing-Tokyo Workshop on Ultracold Atomic Gases, Institute for Advanced Study, Tsinghua Univ., Beijing, China, 2018.8.25-26.

[41] K. Kawabata: Topological Classification of Non-Hermitian Insulators and Superconductors, the 3rd Beijing-Tokyo Workshop on Ultracold Atomic Gases.

[42] M. Ueda: Quantum many-body dynamics under continuous observation, US-Japan QELS-13, the 13th Japan-US Joint Seminar on Quantum Electronics and Laser Spectroscopy, APA Hotel Kanazawa-ekimae, Kanazawa, Japan, 2018.9.25-28.

[43] M. Ueda: Discrete time crystalline order in cavity and circuit-QED systems, The 8th CEMS Research Camp, Hotel Mahoroba Miura, Miura, Japan, 2018.10.5-6.

[44] M. Ueda: Dynamics of continuously monitored quantum many-body systems, Research Frontiers in Ultracold Quantum Gases, Physikzentrum Bad Honnef (PBH), Bad Honnef, Germany, 2018.12.17-21.

[45] M. Ueda: Nonequilibrium many-body quantum dynamics under continuous observation, Physics across Boundaries, Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel, 2019.1.20-24.

[46] M. Ueda: Nonequilibrium thermodynamics and many-body dynamics in open quantum systems, APS March Meeting, Boston Convention and Exhibition Center (BCEC), 2019.3.4-8.

[47] M. Ueda: Nonequilibrium many-body quantum dynamics under continuous observation, II Workshop on Quantum Information and Thermodynamics, International Institute of Physics, Natal, Brazil, 2019.3.11-22.

一般講演

[48] S. Higashikawa, M. Nakagawa and M. Ueda: Floquet chiral magnetic effect, International Molecule Program on Floquet Theory: Fundamentals and Applications, YITP, Kyoto, 2018.4.9-20.

[49] Y. Ashida: Solving quantum spin-impurity problems in and out of equilibrium with variational approach, Tokyo-Melbourne mini-workshop on ultracold atom theory, RIKEN, Wako, 2018.4.25.

[50] S. Higashikawa,M. Nakagawa and M. Ueda: Floquet chiral magnetic effect, Tokyo-Melbourne mini-workshop on ultra-cold atom theory.

[51] T. Yoshino, S. Furukawa, S. Higashikawa and M. Ueda: Collective Modes of Vortex Lattices in Two-Component Bose-Einstein Condensates, 49th Annual Meeting of the APS Division of Atomic, Molecular and Optical Physics (DAMOP), Ft. Lauderdale, Florida, USA, 2018.5. 28-6.1.

[52] K. Kawabata: Topological Unification of Time-Reversal and Particle-Hole Symmetries in Non-Hermitian Physics, Non-Hermitian Physics - PH-HQP XVIII, Bangalore, India, 2018.6.4.

[53] S. Furukawa and M. Ueda: Quantum Hall states with symmetry-enriched edge modes in multicomponent Bose gases, International Workshop on Symmetry and Topology in Condensed-Matter Physics, Univ. of Tokyo, Tokyo, 2018.6.19-21.

[54] K. Kawabata: Topological Unification of Time-Reversal and Particle-Hole Symmetries in Non-Hermitian Physics, International Workshop on Symmetry and Topology in Condensed-Matter Physics.

[55] T. Yoshino, S. Furukawa, S. Higashikawa and M. Ueda: Collective modes of vortex lattices in two-Component Bose-Einstein condensates in synthetic gauge fields, International Symposium on Quantum Fluids and Solids, Univ. of Tokyo, Tokyo, 2018.6.25-31.

[56] S. Furukawa and M. Ueda: Quantum Hall states with symmetry-enriched edge modes in multicomponent Bose gases, the 3rd Beijing-Tokyo Workshop on Ultracold Atomic Gases, Institute for Advanced Study, Tsinghua Univ., 2018.8.25-26.

[57] T. Yoshino, S. Furukawa, S. Higashikawa and M. Ueda: Collective modes of vortex lattices in two-component Bose-Einstein condensates, US-Japan QELS-13, the 13th Japan-US Joint Seminar on Quantum Electronics and Laser Spectroscopy, Kanazawa, 2018.9.25-28.

[58] Z. Liu, H. T. Yao-Hung, M. Yamada, R. Salakhutdinov: Semi-Supervised Pairing via Basis-Sharing Wasserstein Matching Auto-Encoder, NeurIPS 2018 Workshop on Bayesian Deep Learning, Palais des Congrès de Montréal, Montréal, Canada, 2018.12.7.

[59] Z. Liu, J. Chen, P. P. Liang, M. Ueda: Relational Attention Networks via Fully-Connected Conditional Random Fields, NeurIPS 2018 Workshop on Bayesian Deep Learning.

[60] P. P. Liang, Z. Liu, A. Zadeh, L.-P. Morency: Modeling Spatiotemporal Multimodal Language with Recurrent Multistage Fusion, NeurIPS 2018 Workshop on Modeling and Decision-making in the Spatiotemporal Domain, Palais des Congrès de Montréal, Montréal, Canada, 2018.12.7.

[61] K. Kawabata: Topological classification of non-Hermitian insulators and superconductors, International workshop BEC2018X, Tokyo, Japan, 2018.12.11.

[62] S. Furukawa and T. Momoi: Dzyaloshinskii-Moriya interactions in volborthite: magnetic orders and thermal Hall effect, Topological Phases and Functionality of Correlated Electron Systems (TPFC 2019), Institute for Solid State Physics, Univ. of Tokyo, Kashiwa, 2019.2.18-20.

[63] K. Fujimoto, R. Hamazaki, and M. Ueda: Nonthermal fixed points in a one-dimensional antiferromagnetic spinor Bose gas, APS March Meeting 2019, Boston, USA, 2019.3.4-8.

(国内会議)

招待講演

[64] 久良尚任、上田正仁: 機械学習と物理、大阪大学豊中キャンパス、2018.6.1.

[65] 蘆田祐人: Open quantum physics: recent topics in non-Hermitian systems and beyond、熱場の量子論とその応用、理研、2018.8.30.

[66] 濱崎立資: 孤立量子系における非平衡ダイナミクスと熱平衡化、同上.

[67] Zongping Gong: Nonequilibrium topological phases in driven and dissipative systems、非平衡系・非エルミート系の新奇量子現象、京都大学基礎物理学研究所、2018.11.30-12.1.

[68] 川畑幸平: 非エルミートなトポロジカル絶縁体・超伝導体の分類理論、同上.

[69] 古川俊輔、上田正仁: 多成分ボース気体の量子ホール物理：対称性による保護と富化、第 4 回「トポ物質科学」領域研究会、名古屋大学、2019.1.22-24.

[70] 蘆田祐人: 開いた系の量子多体物理：測定と強相関効果、第 7 回統計物理懇談会、学習院大学、2019.3.6.

[71] 蘆田祐人: 冷却原子気体における超解像測定法とそれを用いた開放量子多体系の理論的研究（若手奨励賞受賞講演）、日本物理学会第 74 回年次大会、九州大学、2019.3.15.

[72] 上田正仁: 「量子シュミレーション」とは何か？（シンポジウム講演　量子シミュレーションの最前線：極低温粒子系から探る宇宙・ハドロン・物性物理）、日本物理学会第 74 回年次大会、九州大学、2019.3.14.

[73] 川畑幸平: 非エルミート物理における対称性とトポロジー（シンポジウム講演　非エルミート量子力学の新展開）、日本物理学会第 74 回年次大会、九州大学、2019.3.14.

一般講演

[74] 蘆田祐人: Solving quantum impurity problems in and out of equilibrium with variational approach、量子情報・物性の新潮流、東京大学物性研究所、2018.8.2.

[75] 川畑幸平、東川翔、Zongping Gong、蘆田祐人、上田正仁: 非エルミートなトポロジカル相の分類理論：時間反転対称性と粒子正孔対称性の統一、同上.

[76] 濱崎立資: 非可換性の増大はカオス的不可逆性とどのように関係するか？、同上.

[77] 蘆田祐人、齊藤圭司、上田正仁: 連続観測下の開放量下体系における熱化、日本物理学 2018 年秋季大会、同志社大学京田辺キャンパス、2018.9.9-12.

[78] 川畑幸平、東川翔、Zongping Gong、蘆田祐人、上田正仁: 非エルミートなトポロジカル相の分類理論：時間反転対称性と粒子正孔対称性の統一、同上.

[79] 久良尚任、上田正仁: 連続関数における量子度量衡の標本限界、同上.

[80] 濱崎立資、川畑幸平、上田正仁: 非エルミート多体局在、同上.

[81] 濱崎立資、藤本和也、上田正仁: カオス的不可逆性の指標としての非可換性の増大、同上.

[82] 藤本和也、濱崎立資、上田正仁: 反強磁性スピノール Bose 気体における 1 次元系の粗視化ダイナミクス、同上.

[83] 古川俊輔、上田正仁: n 成分ボース気体の分数量子ホール状態：対称性により富化された端モード、同上.

[84] 濱崎立資: 非エルミート多体局在、非平衡系・非エルミート系の新奇量子現象、京都大学基礎物理学研究所、2018.11.30-12.1.

[85] 藤本和也、濱崎立資、上田正仁、1 次元スピノル Bose 気体における非熱的固定点、非平衡系の物理学ー階層性と普遍性ー、京都大学基礎物理学研究所、2018.12.26-28

[86] 川畑幸平、塩崎謙、上田正仁、佐藤昌利: 非エルミートなトポロジカル絶縁体・超伝導体の分類理論、第 4 回「トポ物質科学」領域研究会、名古屋大学、2019.1.22-24.

[87] 藤本和也、濱崎立資、上田正仁: Universal thermalization dynamics and a non-thermal fixed point in a one-dimensional antiferromagnetic spinor Bose gas、同上.

[88] 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：磁気秩序と熱ホール効果、同上.

[89] 松本徳文、川畑幸平、蘆田祐人、古川俊輔、上田正仁: 非エルミートなトーリック・コード模型における励起ギャップを閉じない連続相転移、同上.

[90] 吉野匠、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.

[91] 川畑幸平、塩崎謙、上田正仁、佐藤昌利: 非エルミートなトポロジカル絶縁体・超伝導体の分類理論、日本物理学会第 74 回年次大会、九州大学伊都キャンパス、2019.3.14-17.

[92] 濱崎立資、Marin Bukov, Snir Gazit, Ehud Altman: マクスウェルの悪魔に駆動された量子多体系の非平衡定常状態、同上.

[93] 松本徳文、川畑幸平、蘆田祐人、古川俊輔、上田正仁: 非エルミートなトーリック・コード模型における励起ギャップを閉じない連続相転移、同上.

[94] 吉野匠、古川俊輔、上田正仁 : 人工ゲージ場中における二成分 Bose-Einstein 凝縮体における渦格子の量子ゆらぎ、同上.

(セミナー)

[95] Z. Gong: Discrete Time-Crystalline Order in Cavity and Circuit QED Systems、矢上統計物理学セミナー (齊藤研究室)、慶應大学、2018.5.28.

[96] 川畑幸平: Topological Unification of Time-Reversal and Particle-Hole Symmetries in Non-Hermitian Physics、統計力学セミナー、東京大学、2018.6.25.

[97] 濱崎立資: 孤立量子系の統計力学に関する近年の話題、物性論セミナー (佐藤研究室)、茨城大学、2018.7.4.

[98] Z. Gong: Topological Phases of Non-Hermitian Systems、物性論セミナー (初貝研究室)、筑波大学、2018.7.11.1.

[99] 東川翔: 古典非線形方程式の Floquet-Magnus 展開と磁性体のダイナミクスへの応用、羽田野研究室セミナー、東京大学、2018.7.18.

[100] S. Higashikawa,M. Nakagawa and M. Ueda: Floquet chiral magnetic effect, Nonequilibrium Quantum Matter group seminar, Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems, 2018.8.28.

[101] Z. Gong: Order and topology out of equilibrium, Theory Seminar, Max-Planck-Institut für Quantenoptik, 2018.9.12.

[102] 蘆田祐人: Quantum many-body physics in open systems: measurement and strong correlations、物性論セミナー (初貝研究室)、筑波大学、2018.9.26.

[103] 藤本和也: 冷却原子気体における普遍的な緩和ダイナミクス、アインシュタインセミナー 2018、大津、KKR ホテルびわこ、2018.9.27.

[104] 川畑幸平: Topological classification of non-Hermitian insulators and superconductors、ハドロン物理セミナー、東京大学、2018.10.26.

[105] Z. Gong: Topological Phases of Non-Hermitian Systems、羽田野研究室セミナー、東京大学、2018.12.21.

[106] 蘆田祐人: Open quantum physics: recent topics in non-Hermitian physics and beyond、日本大学素粒子論セミナー、日本大学、2019.1.23.

[107] 川畑幸平: 非エルミートなトポロジカル絶縁体・超伝導体の分類理論、物性論セミナー（佐藤研究室）、茨城大学、2019.1.30.

[108] Kazuya Fujimoto: Soliton-induced non-thermal fixed points in a one-dimensional antiferromagnetic spin-1Bose gas, Hadron Physics seminar (Fukushima Lab)、東京大学、2019.2.8.

[109] Kazuya Fujimoto: Non-thermal fixed points and magnetic solitons in a one-dimensional spinor Bose gas, AMO seminar, Georgia Tech, Atlanta, USA, 2019.2.14.

[110] Kazuya Fujimoto: Non-thermal fixed points in a one-dimensional antiferromagnetic Bose gas, Atomic Physics Seminar, Yale University, New Haven, USA, 2019.2.27.

[111] 川畑幸平: Topological classification of non-Hermitian insulators and superconductors、AIMR math group semimar、東北大学、2019.3.8.

[112] 濱崎立資: Non-Hermitian Many-Body Localization、YITP セミナー、京都大学、2019.3.8.

(その他)

[113] 川畑幸平、東川翔、Zongping Gong、蘆田祐人、上田正仁 : 非平衡開放系におけるトポロジカル相 : 非エルミート性とトポロジー、第 63 回物性若手夏の学校、西浦温泉ホテル龍城、2018.7.25.

[114] 川畑幸平、東川翔、Zongping Gong、蘆田祐人、上田正仁 : 非エルミートなトポロジカル相の分類理論 : 時間反転対称性と粒子正孔対称性の統一、第 63 回物性若手夏の学校、西浦温泉ホテル龍城、2018.7.26.

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 and vortex lattices 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 FY2018 below.

- Quantum many-body phenomena in ultracold atoms
  - Quantum many-body dynamics under measurement backaction [1, 2]
  - Variational approach to quantum impurity problems in and out of equilibrium [3, 4]
  - Impurity-induced multibody resonances in a Bose gas [5, 6]
  - Collective modes of vortex lattices in two-component BECs under synthetic gauge fields [7]
- Quantum information, quantum measurement, and foundation of statistical mechanics
  - Classification of topological phases in non-Hermitian systems [8, 9]
  - Bulk-edge correspondence in non-Hermitian topological systems [10, 11]
  - Topological entanglement-spectrum crossing in quench dynamics [12]

[1] Y. Ashida and M. Ueda, Phys. Rev. Lett. **120**, 185301 (2018).

[2] Y. Ashida, K. Saito, and M. Ueda, Phys. Rev. Lett. **121**, 170402 (2018).

[3] Y. Ashida, T. Shi, M. C. Banuls, J. I. Cirac, and E. Demler, Phys. Rev. Lett. **121**, 026805 (2018).

[4] Y. Ashida, T. Shi, M. C. Banuls, J. I. Cirac, and E. Demler, Phys. Rev. B **98**, 024103 (2018).

[5] Z.-Y. Shi, S. M. Yoshida, M. M. Parish, and J. Levinsen, Phys. Rev. Lett. **121**, 243401 (2018).

[6] S. M. Yoshida, Z.-Y. Shi, J. Levinsen, and M. M. Parish, Phys. Rev. A **98**, 062705 (2018).

[7] T. Yoshino, S. Furukawa, S. Higashikawa, and M. Ueda, New J. Phys. **21**, 015001 (2019).

[8] Z. Gong, Y. Ashida, K. Kawabata, K. Takasan, S. Higashikawa, and M. Ueda, Phys. Rev. X **8**, 031079 (2018). See also Viewpoint: Physics **11**, 96.

[9] K. Kawabata, S. Higashikawa, Z. Gong, Y. Ashida, and M. Ueda, Nat. Commun. **10**, 297 (2019). Selected as Editors' Highlights.

[10] K. Kawabata, Y. Ashida, H. Katsura, and M. Ueda, Phys. Rev. B **98**, 085116 (2018). Selected as Editors' Suggestion.

[11] K. Kawabata, K. Shiozaki, and M. Ueda, Phys. Rev. B **98**, 165148 (2018).

[12] Z. Gong and M. Ueda, Phys. Rev. Lett. **121**, 250601 (2018).