

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。近年の実験技術と（固体物理、統計力学も含む）理論概念の進展を背景に、私たちは、スピノル BEC におけるトポロジカル励起や相関効果、原子間相互作用の強さを制御するもとの BCS-BEC クロスオーバーや Efimov 状態、人工ゲージ場中での量子ホール状態、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などの研究を行っている。

1.1.1 冷却原子気体

連続的対称性の自発的破れへの群論的アプローチ

対称性の破れは自然界に普遍的に現れる現象であり、強磁性体や超伝導体を含む多くの物質が対称性の破れによって理解できる。従って、対称性の破れた相、及び代表的な励起である南部・ゴールドストーンモードやトポロジカル励起を分類し、系統的に理解することは重要である。我々は、リー代数とその表現を用いた対称性の破れた相の分類について研究を行った。特に、これまで知られている多くの相では、基底状態が同時対角化できる部分リー代数 (カルタン部分代数) の固有状態になっていることを発見し、これらの相を μ -symmetry breaking と名付けた。さらに、このクラスの相に対しては、カルタン部分代数の固有値によって系統的な分類が可能であり、南部・ゴールドストーンモードやトポロジカル

励起も簡便な線形代数的手法により計算できることを示した。例えば、南部・ゴールドストーンモードの分散関係を記述する有効ラグランジアンが、カルタン標準形と呼ばれるリー代数の標準的な基底により対角化される。[6]

共鳴 p 波 Fermi 気体における普遍的関係式と異方性

冷却原子気体において、Feshbach 共鳴を利用した強相関気体を実現している。このような系では物理量を精密に計算することが困難であるため、計算手法の開発とともに近似に依らず成り立つ厳密な結果を得ることが重要である。我々は、強く p 波相互作用するフェルミ気体において、強い 2 体相互作用のために短距離相関に特異性が生じ、それを特徴づける指数が相互作用の詳細に依存しない普遍的な値を取ることを示した。また、短距離相関と熱力学量の間になり立つ厳密な関係式を導出した。両者は共に p 波コンタクトと呼ばれる物理量で特徴づけられるが、特に p 波相互作用が異方性を持つ場合には、 p 波コンタクトがテンソル量になることを明らかにした。これらは相互作用の詳細やトラップ形状、超流動相か常流動相か等に依らず成り立つ一般的な結果である。[7]

測定反作用下の量子ダイナミクスと量子臨界現象

量子系を連続的に観測すると測定の反作用がダイナミクスに本質的な影響を及ぼす。従来このような振る舞いは少数自由度の量子系において研究が行われてきたが、近年の冷却原子気体の実験技術の発展により、測定の反作用が量子多体系においても重要となる状況が実現しつつある。特に、量子気体顕微鏡と呼ばれる技術により 1 原子レベルで多粒子系を観測することが可能となっている。我々は、連続観測下にある量子多体系において測定の反作用が量子ダイナミクス・量子臨界現象に与える影響について研究を行った。特に測定のレートが高く分解能が低い極限において、多粒子系の時間発展を記述する確率微分方程式を導出し、粒子の識別可能性に応じてダイナミクスが定性的に変化することを示した。また、実効的な非エルミートハミルトニアンを解析することで、測定の反作用により (i) 超流動-モット絶縁体転移の転移点がシフトすること、(ii) 朝永-ラッティンジャー流体において 1 粒子相関と密度相関の臨界指数の振る舞いが異なる新しい普遍クラスが生じることを明らかにした。[10, 21]

4 体 Efimov 物理における繰り込み群リミット・サイクル

強相関の 3 粒子系には、ミクロなハミルトニアンに依らない普遍的な束縛状態構造、すなわち無数の Efimov 状態が現れることが知られている。この無数の Efimov 状態は互いに自己相似であり、繰り込み群

においてリミットサイクルと呼ばれる周期構造で特徴づけられるという点で、ユニークな現象である。近年の冷却原子気体の実験技術により、この Efimov 状態が多様な原子種で観測され、1970 年代初頭の Efimov による予言から 40 年近く経って新たなリバイバルを起こしている。中でも、粒子数を 4 粒子へと拡張したときの物理がひとつの基礎的な問題として近年盛んに研究されている。我々は、4 粒子の普遍的な物理と繰り込み群のリミットサイクルがどのように関係しているかという問題に、汎関数繰り込み群を用いて取り組み、4 粒子のセクターにおいても繰り込み群が周期的な構造を持つことを示し、なおかつその周期を束縛状態数と結びつけることに初めて成功した。またこの結果を元に、4 粒子の束縛状態数と理論空間のトポロジカル不変量とが関係するという新しい解釈を行った。[12]

1.1.2 量子論・統計力学と情報理論の融合

フィードバック制御下の量子開放系における揺らぎの定理

近年、ナノサイエンスの実験的技術の進展により、測定やフィードバック制御のある非平衡微小系の熱力学が注目を集めてきた。古典系または孤立量子系に対して、仕事やエントロピー生成などの熱力学量と測定で得た情報を統一的に扱う「情報熱力学」と呼ばれる理論が発展し、測定やフィードバック制御の効果を含む揺らぎの定理が導かれてきた。一方、実際の実験系は量子性と散逸の両方を無視できない開放量子系である場合も多いが、それに対応して情報熱力学を議論することができていなかった。我々は量子軌道のテクニックを使い、情報熱力学を開放量子系に適用するように拡張し、量子と熱揺らぎ、測定反作用及びフィードバック制御の効果を全て取り込んだ揺らぎの定理を導いた。また、本研究の理論を超伝導量子ビット系で検証する方法を提案した。[4]

量子 Fisher 情報量と線形応答理論

量子 Fisher 情報量は、量子状態の推定精度の限界を与える量として知られているが、近年、多体エンタングルメントの検出や量子相転移の特徴付けなど、物理の様々な分野に応用されている。量子 Fisher 情報量には無数の種類があることが知られ、それらは量子状態空間上の計量であってどのような操作に対しても単調に減少するという単調性で特徴付けられる。この無数の量子 Fisher 情報量が単調性を超えてどのような操作的意義を持つのか、あるいはそもそも測定可能量とどのような関係にあるのかについて統一的な理解はこれまで無かった。我々は、統計力学における揺動散逸定理を一般化し、量子 Fisher 情報量と等価な情報を持つ一般化共分散という量と線形応答関数との間に定量的な関係があることを見出した。これをもとに、熱平衡状態の周期的な外場に対する応答である複素アドミッタンスを測定するこ

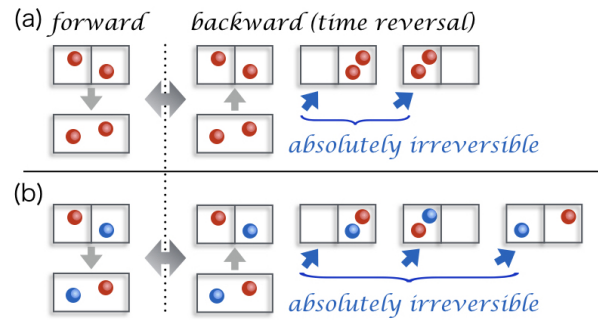


図 1.1.1: (a) 同種気体混合と (b) 異種気体混合における順過程 (左) と時間反転過程 (右)。順過程に対応する事象を持たないような時間反転過程の事象が絶対不可逆性に寄与する (青矢印)。異種気体混合では異種粒子の配分の組み合わせ数に応じて絶対不可逆性が増加する ((b) の右端の事象)。ここでの絶対不可逆性の程度の差が、エントロピーの粒子数依存性を決定する際に本質的な役割を果たす。[19]

とにより、一般化共分散や量子 Fisher 情報量を実験的に決定する方法を提案した。[14]

Gibbs パラドックスと絶対不可逆性

19 世紀後半に提唱された Gibbs パラドックスは、気体の混合エントロピーに関する問題であり、熱力学や統計力学の基礎に関わる様々な側面を持つ。その中に、熱力学エントロピーと古典統計力学エントロピーの差をどのように決定すべきかという問題がある。マクロな理想気体においては熱力学的エントロピーに示量性を要請することによってこの差は決定される。しかし、ミクロな非理想気体に対しては、一般的に示量性が成り立たないためにこの方法は使えない。そこで我々はミクロな相互作用系においても成立する揺らぎの定理を用いることにした。気体混合は、エントロピー生成が軌道レベルで発散する絶対不可逆な過程を含むので、従来の揺らぎの定理を適用することはできず、絶対不可逆過程に拡張された揺らぎの定理が必要になる。我々は、熱力学量が絶対不可逆な揺らぎの定理を満たすことを課すことによって、エントロピーの粒子数依存性が同種気体混合と異種気体混合の絶対不可逆性の程度の違いにより記述されることを示した (図 1.1.1)。そして、絶対不可逆性の程度を定量的に比較することによって熱力学エントロピーと古典統計力学エントロピーの差を導いた。この結果は古典の問題である Gibbs パラドックスの理解を一步進展させるものである。[19]

<受賞>

- [1] 濱崎立資: 分科会優秀発表賞 (第 61 回物性若手夏の学校、2016 年 7 月)。

- [2] 東川翔: ベストプレビュー賞、ポスター賞(銀賞)(第2回「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」領域研究会、2016年12月).
- [3] 中島秀太: 第11回日本物理学会若手奨励賞(領域1)(日本物理学会、2017年3月).
- <報文>
- (原著論文)
- [4] Z. Gong, Y. Ashida, and M. Ueda: Quantum-trajectory thermodynamics with discrete feedback control, *Phys. Rev. A* **94**, 012107 (2016).
- [5] O. Janson, S. Furukawa, T. Momoi, P. Sindzingre, J. Richter, and K. Held: Magnetic behavior of volborthite $\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_7(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_2$ determined by coupled trimers rather than frustrated chains, *Phys. Rev. Lett.* **117**, 037206 (2016).
- [6] S. Higashikawa and M. Ueda: μ -symmetry breaking: An algebraic approach to finding mean fields of quantum many-body systems, *Phys. Rev. A* **94**, 013613 (2016).
- [7] S. M. Yoshida and M. Ueda: p -wave contact tensor: Universal properties of axisymmetry-broken p -wave Fermi gases, *Phys. Rev. A* **94**, 033611 (2016).
- [8] H. Fujita, Y. O. Nakagawa, Y. Ashida, and S. Furukawa: Fractional quantum Hall states of dipolar fermions in a strained optical lattice, *Phys. Rev. A*, **94**, 043641 (2016).
- [9] Z. Gong, Y. Lan, and H. T. Quan: Stochastic Thermodynamics of a Particle in a Box, *Phys. Rev. Lett.* **117**, 180603 (2016).
- [10] Y. Ashida, S. Furukawa, and M. Ueda: Quantum critical behavior influenced by measurement backaction in ultracold gases, *Phys. Rev. A* **94**, 053615 (2016).
- [11] K. Tiurev, P. Kuopanportti, A. Márton Gunyhó, M. Ueda, and M. Möttönen: Evolution of an isolated monopole in a spin-1 Bose-Einstein condensate, *Phys. Rev. A* **94**, 053616 (2016).
- [12] Y. Horinouchi and M. Ueda: Topological origin of universal few-body clusters in Efimov physics, *Phys. Rev. A* **94**, 050702(R) (2016).
- [13] K. Funo, T. Shitara, and M. Ueda: Work fluctuation and total entropy production in nonequilibrium processes, *Phys. Rev. E* **94**, 062112 (2016).
- [14] T. Shitara and M. Ueda: Determining the continuous family of quantum Fisher information from linear-response theory, *Phys. Rev. A* **94**, 062316 (2016).
- [15] Y. Murashita and M. Esposito: Overdamped stochastic thermodynamics with multiple reservoirs, *Phys. Rev. E* **94**, 062148 (2016). Editors' suggestion.
- [16] H. Ishizuka, T. Hayata, M. Ueda, and N. Nagaosa: Emergent Electromagnetic Induction and Adiabatic Charge Pumping in Noncentrosymmetric Weyl Semimetals, *Phys. Rev. Lett.* **117**, 216601 (2016).
- [17] N. Tsuji, P. Werner, and M. Ueda: Exact out-of-time-ordered correlation functions for an interacting lattice fermion model, *Phys. Rev. A* **95**, 011601(R) (2017).
- [18] N. T. Phuc, T. Momoi, S. Furukawa, Y. Kawaguchi, T. Fukuhara, and M. Ueda: Geometrically frustrated coarsening dynamics in spinor Bose-Fermi mixtures, *Phys. Rev. A* **95**, 013620 (2017).
- [19] Y. Murashita and M. Ueda: Gibbs Paradox Revisited from the Fluctuation Theorem with Absolute Irreversibility, *Phys. Rev. Lett.* **118**, 060601 (2017).
- [20] T. N. Ikeda, T. Mori, E. Kaminishi, and M. Ueda: Entanglement prethermalization in an interaction quench between two harmonic oscillators, *Phys. Rev. E* **95**, 022129 (2017).
- [21] Y. Ashida and M. Ueda: Multiparticle quantum dynamics under real-time observation, *Phys. Rev. A* **95**, 022124 (2017).
- [22] K. Funo, J.-N. Zhang, C. Chatou, K. Kim, M. Ueda, and A. del Campo: Universal Work Fluctuations During Shortcuts to Adiabaticity by Counterdiabatic Driving, *Phys. Rev. Lett.* **118**, 100602 (2017).
- [23] S. Uchino and M. Ueda: Anomalous Transport in the Superfluid Fluctuation Regime, *Phys. Rev. Lett.* **118**, 105303 (2017).
- (解説)
- [24] M. Ueda: Fermi gases: Anisotropic universality, *Nat. Phys.* **12**, 530 (2016).
- (学位論文)
- [25] Ken Funo: Theoretical Study of Controlling Nonequilibrium Systems using Fluctuation Theorems and Trade-off Relations (博士論文).
- [26] Yusuke Horinouchi: Theoretical Study on a Renormalization Group Limit Cycle in Efimov Physics (博士論文).
- [27] Kohaku H. Z. So (Hongbo Zeng): Theoretical study on phases and phase transitions of ferromagnetic spin-1 bosons in optical lattices (博士論文).
- [28] Ryusuke Hamazaki: Theoretical study on thermalization in isolated systems (修士論文).
- [29] Naoto Kura: Geometrical analysis of multi-parameter Hamiltonian estimation problems and their time complexity (修士論文).
- <学術講演>

(国際会議)

一般講演

- [30] Y. Horinouchi and M. Ueda: Topological property of a limit cycle and universal four-body bound states in Efimov physics, *Few-Body Physics in Cold Atomic Gases*, The Institute of Physics, Beijing, China, 2016.4.14-16.
- [31] S. M. Yoshida and M. Ueda: Universality and Anisotropy in a Resonant p-Wave Fermi Gas, *Few-Body Physics in Cold Atomic Gases*, The Institute of Physics, Beijing, China, 2016.4.14-16.
- [32] Z. Gong, Y. Ashida and M. Ueda: Quantum Trajectory Thermodynamics with Discrete Feedback Control, *C3QS2016: Coherent Control of Complex Quantum Systems*, OIST, 2016.4.18-21.
- [33] S. M. Yoshida and M. Ueda: Universality and Anisotropy in a Resonant p-Wave Fermi Gas, *CIFAR Quantum Materials Summer School & Main Meeting*, Marriott Bloor Yorkville Hotel, Toronto, Canada, 2016.4.25-30.
- [34] U. Ebling and M. Ueda: Dynamics of nematic order in ultracold dipolar gases, *47th Regular DAMOP Meeting*, Rhode Island Convention Center, Providence, USA, 2016.5.23-27.
- [35] S. M. Yoshida and M. Ueda: Contact Tensor in a p-Wave Fermi Gas with Anisotropic Feshbach Resonances, *47th Regular DAMOP Meeting*, Rhode Island Convention Center, Providence, USA, 2016.5.23-27.
- [36] Y. Ashida, S. Furukawa, and M. Ueda: Quantum critical behavior influenced by measurement backaction, *CEMS Topical Meeting on Cold Atoms*, RIKEN, 2016.6.10-11.
- [37] U. Ebling and M. Ueda: Spinor and spatial dynamics of trapped dipolar Fermions, *CEMS Topical Meeting on Cold Atoms*, RIKEN, 2016.6.10-11.
- [38] R. Hamazaki, T. N. Ikeda and M. Ueda: Generalized Gibbs Ensemble in Nonintegrable Systems with an Extensive Number of Local Symmetries, *CEMS Topical Meeting on Cold Atoms*, RIKEN, 2016.6.10-11.
- [39] S. Higashikawa and M. Ueda: Homotopy-formula approach to topological excitation and topological influence, *CEMS Topical Meeting on Cold Atoms*, RIKEN, 2016.6.10-11.
- [40] K. H. Z. So and M. Ueda: Phase diagram of ferromagnetic spinor bosons in an optical lattice under an external magnetic field, *CEMS Topical Meeting on Cold Atoms*, RIKEN, 2016.6.10-11.
- [41] S. M. Yoshida and M. Ueda: Universality and Anisotropy in a Resonant p-Wave Fermi Gas, *CEMS Topical Meeting on Cold Atoms*, RIKEN, 2016.6.10-11.
- [42] Y. Murashita and M. Ueda: Resolving the Gibbs paradox in small thermodynamic systems, *Quantum Matter, Spacetime and Information*, YITP, 2016.6.12-17.
- [43] Y. Murashita and M. Ueda: Resolving the Gibbs paradox in small thermodynamic systems, *The Seventh KIAS Conference on Statistical Physics: Nonequilibrium Statistical Physics of Complex Systems*, Seoul, Korea, 2016.7.4-7.
- [44] T. Shitara and M. Ueda: Determining the quantum Fisher information from linear response theory, *The International Conference on Quantum Communication, Measurement, and Computing*, National University of Singapore, Singapore, 2016.7.4-8.
- [45] Y. Murashita and M. Ueda: The Gibbs paradox revisited from the fluctuation theorem with absolute irreversibility, *Statphys26*, Lyon, France, 2016.7.16-24.
- [46] Y. Ashida, S. Furukawa, and M. Ueda: Quantum critical behavior influenced by measurement backaction, *The 25-th international conference on atomic physics (ICAP 2016)*, Seoul, Korea, 2016.7.24-29.
- [47] U. Ebling and M. Ueda: Spinor and spatial dynamics of trapped dipolar Fermions, *The 25-th international conference on atomic physics (ICAP 2016)*, Seoul, Korea, 2016.7.24-29.
- [48] K. Fujimoto and M. Tsubota: Weak wave turbulence in spin-1 spinor Bose-Einstein condensates, *The 25-th international conference on atomic physics (ICAP 2016)*, Seoul, Korea, 2016.7.24-29.
- [49] S. Higashikawa and M. Ueda: Homotopy-formula approach to topological excitation and topological influence, *Synthetic Topological Quantum Matter*, Peking, China, 2016.8.1-5.
- [50] R. Hamazaki, T. N. Ikeda and M. Ueda: Generalized Gibbs Ensemble in Nonintegrable Systems with an Extensive Number of Local Symmetries, *DOQS 2016 - Workshop on Many-body Dynamics and Open Quantum Systems*, Glasgow, Scotland, 2016. 8.30-9.2
- [51] S. Higashikawa and M. Ueda: Analysis of topological excitations and topological influence based on formulas of homotopy group, *Physics of bulk-edge correspondence and its universality: From solid state physics to cold atoms*, Kyoto University, 2016.9.27-30.
- [52] T. Shitara and M. Ueda: How to Determine the quantum Fisher information from linear response theory, *The international annual Quantum Information Processing*, Seattle, America, 2017.1.16-20.
- [53] Z. Gong, S. Higashikawa and M. Ueda: Zeno Hall Effect, *International School on Topological Science and Topological Matters*, Kyoto University, 2017.2.13-18.

- [54] S. Higashikawa and M. Ueda: Non-conservation of topological charges in multiple topological excitations, International School on Topological Science and Topological Matters, Kyoto University, 2017.2.13-18.
- [55] R. Hamazaki and M. Ueda: Observable dependence of how random matrix theories can predict ETH corrections, Quantum-Classical Transition in Many-Body Systems: Indistinguishability, Interference and Interactions, Dresden, Germany, 2017.2.13-17.
- [56] Z. Gong, S. Higashikawa and M. Ueda: Zeno Hall Effect, APS March Meeting 2017, New Orleans, Louisiana, 2017.3.13-17.
- 招待講演
- [57] S. Furukawa: Devil's staircases in synthetic dimensions and gauge fields, Beijing-Tokyo Joint Workshop on Ultracold Atoms, Beijing, China, 2016.4.12-13.
- [58] Y. Horinouchi: Topological property of a limit cycle and universal four-body bound states in Efimov physics, Beijing-Tokyo Joint Workshop on Ultracold Atoms, Beijing, China, 2016.4.12-13.
- [59] S. M. Yoshida: Universal Properties and Contact Tensor in a p-Wave Fermi Gas, Beijing-Tokyo Joint Workshop on Ultracold Atoms, Beijing, China, 2016.4.12-13.
- [60] S. Furukawa: Magnetic properties of volborthite determined by a coupled-trimer model, Trends in Theory of Correlated Materials (Swiss-Japan Workshop 2016), Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland, 2016.5.23-25.
- [61] M. Ueda: Entanglement Prethermalization in a Bose Gas, International Conference on the Frontiers in Atomic, Molecular, and Optical Physics, NYU Shanghai, Shanghai, China, 2016.5.23-26.
- [62] S. Furukawa: Mutual information of two disjoint intervals in Tomonaga-Luttinger liquids: bosons versus fermions, YITP long term workshop 2016 "Quantum Information in String Theory and Many-Body Systems" (4-day conference "Holography and Quantum Information"), Kyoto, 2016.5.31-6.3.
- [63] M. Ueda: Gibbs paradox and entanglement prethermalization in a Bose gas, Quantum Non-Equilibrium Phenomena, International Institute of Physics, Natal, Brazil, 2016.6.6-18
- [64] S. Furukawa: Excitation band topology and edge matter waves in Bose-Einstein condensates in optical lattices, CEMS Topical Meeting on Cold Atoms, RIKEN, Wako, 2016.6.10-11.
- [65] S. Furukawa: Magnetic properties of volborthite determined by a coupled-trimer model, Current Frontiers in Condensed Matter Physics, International Center for Theoretical Sciences (ICTS), Bangalore, India, 2016.6.20-29.
- [66] M. Ueda: Entanglement pre-thermalization in a Bose gas, Information Engines at the Frontiers of Nanoscale Thermodynamics, Telluride Elementary School, Telluride, USA., 2016.6.23-28.
- [67] S. M. Yoshida: Universal Relations and Contact Tensor in a Resonant p-Wave Fermi Gas, The 25th Annual International Laser Physics Workshop, Elite Plaza Business Center, Yerevan, Armenia, 2016.7.11-15.
- [68] M. Ueda: P-wave contact tensor, KITPC/PKU Conference on the Synthetic Topological Quantum Matter, Kavli Institute for Theoretical Physics China at the Chinese Academy of Science, Beijing, China, 2016.8.1-19.
- [69] M. Ueda: Topological quantum phenomena in spinor Bose-Einstein condensates (keynote talk), Multicomponent Atomic Condensates and Rotational Dynamics (MACRO) Conference and JQC Symposium, New Castle University, New Castle, UK., 2016.9.13-16.
- [70] M. Ueda: Topological Phenomena in Ultracold Atoms, Solid State Devices and Materials (SSDM2016), Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan, 2016, 9.26-29.
- [71] M. Ueda: Quantum many-body dynamics under continuous observation, Workshop University of Tokyo/ENS, ENS Paris, France, 2016.11.16-18.
- [72] M. Ueda: Topological Quantum Phenomena in Spinor Bose-Einstein Condensates (keynote talk), The 13th Joint Asia Pacific Physics Conference, Brisbane Convention and Exhibition Centre (APPC), Brisbane, Australia, 2016.12.4-8.
- [73] M. Ueda: Quantum many-body dynamics and critical phenomena under continuous observation, Quantum Dynamics: from Models to Materials, Aspen Center for Physics, Aspen, Colorado, USA, 2017.1.15-21.
- [74] M. Ueda: Quantum many-body dynamics and critical phenomena under continuous observation, スウェーデン・日本量子ナノ物理・エレクトロニクス ワークショップ, パシフィコ横浜国際会議場 4 階 423, Yokohama, Japan, 2017.3.23-24.
- [75] M. Ueda: Gibbs paradox in mesoscopic systems, Fundamental Aspects of Statistical Physics and Thermodynamics, Bielefeld University, Bielefeld, Germany, 2017.3.26-30.
- (国内会議)
- 一般講演
- [76] 久良尚任、上田正仁: ハミルトニアン推定における精度限界の幾何学的な解析、日本物理学会 2016 年秋季大会、金沢大学、2016.9.13-16.
- [77] Zongping Gong, Yueheng Lan, H. T. Quan: Stochastic thermodynamics of the piston system、日本物理学会 2016 年秋季大会、金沢大学、2016.9.13-16.

- [78] 濱崎立資、上田正仁: 小さな孤立量子系における行列要素の揺らぎの普遍的な比、日本物理学会 2016 年秋季大会、金沢大学、2016.9.13-16.
- [79] 東川翔、上田正仁: ホモトピー群 $\pi_m(G/H)$ の計算公式とそのトポロジカル励起への応用、日本物理学会 2016 年秋季大会、金沢大学、2016.9.13-16.
- [80] 村下湧音、Massimiliano Esposito: 複数熱浴と結合した一粒子系の overdamped 極限、日本物理学会 2016 年秋季大会、金沢大学、2016.9.13-16.
- [81] 久良尚任、上田正仁: ハミルトニアン of 複雑性に対する推定時間限界のスケーリング、京大 RIMS 研究集会「量子システム推定の数理」、京都大学、2016.10.26-28.
- [82] 設楽智洋、上田正仁: 線形応答理論を用いた量子 Fisher 情報量及び skew 情報量の決定法、第 35 回量子情報技術研究会、高エネルギー加速器機構、2016.11.24-25.
- [83] 東川翔、上田正仁: Non-conservation of topological charges in multiple topological excitations、第 2 回「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」領域研究会、東北大学、2016.12.16-18.
- [84] 古川俊輔、上田正仁: 二成分ボース気体の量子ホール相図、第 2 回「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」領域研究会、東北大学、2016.12.16-18.
- [85] 蘆田祐人、Richard Schmidt, Leticia Tarruell, Eugene Demler: 多体 Ramsey 干渉を用いた磁気ポーラロンの量子ダイナミクス、日本物理学会第 72 回年次大会、大阪大学、2017.3.17-20.
- [86] 久良尚任、上田正仁: ハミルトニアン推定における複素構造の影響、日本物理学会第 72 回年次大会、大阪大学、2017.3.17-20.
- [87] 東川翔、上田正仁: 渦とスカーミオンの共存系におけるスカーミオンチャージの非保存、日本物理学会第 72 回年次大会、大阪大学、2017.3.17-20.
- [88] 藤本和也、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緩和ダイナミクス、日本物理学会第 72 回年次大会、大阪大学、2017.3.17-20.
- [89] 古川俊輔、上田正仁: 二成分ボース気体の量子ホール相図、日本物理学会第 72 回年次大会、大阪大学、2017.3.17-20.
- [90] 村下湧音、Zongping Gong、蘆田祐人、上田正仁: フォードバック制御下の量子開放系のゆらぎの定理における絶対不可逆性と量子コヒーレンスの関連性、日本物理学会第 72 回年次大会、大阪大学、2017.3.17-20.
- 招待講演
- [91] 古川俊輔: 結合トライマー模型によるボルボサイトの理論 (シンポジウム講演)、日本物理学会 2016 年秋季大会、金沢大学、2016.9.13-16.
- [92] 東川翔: Non-conservation of topological charges in multiple topological excitations、第 8 回トポロジー連携研究会、慶應義塾大学、2016.11.17-18.
- [93] 藤本和也: 1 成分ボース・アインシュタイン凝縮体における Bogoliubov 波動乱流、「揺らぎと構造の協奏」第 2 回冷却原子研究会、大阪市立大学、2017.3.16. (セミナー)
- [94] 堀之内裕理: Renormalization-group limit cycle in Efimov physics、西田研セミナー、東京工業大学、2016.5.24.
- [95] 吉田周平: 共鳴的に p 波相互作用するフェルミ気体の普遍的な性質、西田研セミナー、東京工業大学、2016.6.14.
- [96] Y. Ashida: Many-body interferometry of magnetic polaron dynamics, Demler's group seminar, Harvard University, 2016.10.5.
- [97] 古川俊輔: トポロジカル秩序と量子エンタングルメント、第 21 回トポロジカル物質科学セミナー、東京工業大学、2016.11.1.
- [98] 蘆田祐人: Quantum critical behavior influenced by measurement backaction、統計力学セミナー、東京大学、2016.11.29.
- [99] 蘆田祐人: Quantum dynamics of multiple particles under measurement backaction、矢上統計物理セミナー、慶應義塾大学、2016.12.16.
- [100] 蘆田祐人: Super-resolved imaging of ultracold atoms and fluorescent molecules、駒場物性セミナー、東京大学、2016.1.27.
- [101] 藤本和也: 極低温冷却原子気体における非平衡ダイナミクス 乱流と秩序化過程について、松居-笠松研究室セミナー、近畿大学、2017.2.15-16.
- [102] Zongping Gong: Nonequilibrium quantum dynamics – from real to imaginary、第 34 回トポロジカル物質科学セミナー、京都大学、2017.2.24.
- [103] 東川翔: Topological catalysis: adiabatic generation of topological solitons assisted by topological defects、第 35 回トポロジカル物質科学セミナー、京都大学基礎物理学研究所、2017.2.27.
- [104] T. Shitara: Geometrical Expression of Excess Work in Nonequilibrium Process, Sivak's group seminar, Simon Fraser University, 2017.3.23.
- (その他)
- [105] 濱崎立資: 小さな孤立量子系における ETH 揺らぎの普遍的な比、第 61 回物性若手夏の学校、ホテルシャレードイン志賀、長野県、2016.7.29-8.2.
- [106] 濱崎立資: Generalized Gibbs Ensemble in Non-integrable Systems with an Extensive Number of Local Symmetries、第 61 回物性若手夏の学校、ホテルシャレードイン志賀、長野県、2016.7.29-8.2.
- [107] Zongping Gong: ピストン系のストキャスティック熱力学、第 61 回物性若手夏の学校、ホテルシャレードイン志賀、長野県、2016.7.29-8.2.
- [108] U. Ebling: Quantum Gases, the coldest matter in the universe, Yashiro High School, Chikuma, Nagano, 2017.2.6.

1 Ueda Group

Research Subjects: Bose-Einstein condensation, fermionic superfluidity, cold molecules, measurement theory, quantum information, information thermodynamics

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 correlation effects in spinor BECs, BCS-BEC crossover and Efimov physics under the control of an atomic interaction strength, quantum Hall states 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 formulation of the dynamics of state reduction in light of information flow under measurements and feedback controls. We list our main research subjects in FY2016 below.

- Quantum many-body phenomena in ultracold atoms
 - Algebraic approach to continuous symmetry breaking in quantum many-body systems [1]
 - Universal properties of axisymmetry-broken p -wave Fermi gases [2]
 - Quantum dynamics and critical behavior influenced by measurement backaction [3, 4]
 - Renormalization group limit cycle in 4-body Efimov physics [5]
- Quantum Information, quantum measurement, and foundation of statistical mechanics
 - Fluctuation theorems in open quantum systems with feedback control [6]
 - Quantum Fisher information and linear-response theory [7]
 - Gibbs paradox revisited from the fluctuation theorem with absolute irreversibility [8]

- [1] S. Higashikawa and M. Ueda, Phys. Rev. A **94**, 013613 (2016).
- [2] S. M. Yoshida and M. Ueda, Phys. Rev. A **94**, 033611 (2016).
- [3] Y. Ashida, S. Furukawa, and M. Ueda, Phys. Rev. A **94**, 053615 (2016).
- [4] Y. Ashida and M. Ueda, Phys. Rev. A **95**, 022124 (2017).
- [5] Y. Horinouchi and M. Ueda, Phys. Rev. A **94**, 050702(R) (2016).
- [6] Z. Gong, Y. Ashida, and M. Ueda, Phys. Rev. A **94**, 012107 (2016).
- [7] T. Shitara and M. Ueda, Phys. Rev. A **94**, 062316 (2016).
- [8] Y. Murashita and M. Ueda, Phys. Rev. Lett. **118**, 060601 (2017).