

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・非平衡開放系の研究、および、量子論・統計力学と情報論・人工知能の融合である。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、環境への散逸や量子測定の反作用の影響下にある冷却原子系の非ユニタリダイナミクス、非平衡開放系における相の分類、人工ゲージ場中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。さらに、私たちは機械学習や深層学習における情報処理のプロセスに注目し、物理学の視点から AI や機械学習の理解に取り組んでいる。

1.1.1 冷却原子気体・非平衡開放系

Lieb-Robinson 限界に基づく開放量子多体系の基礎方程式の導出

Markov な開放量子系の密度行列の時間発展を記述する方程式として、Gorini-Kossakowski-Sudarshan-Lindblad (GKSL) 型の量子マスター方程式 (GKSL 方程式) が知られている。この方程式は時間発展写像の完全正値性・トレース保存性・Markov 性のみからその形が GKSL 型に限定されるという意味で開放量子系の研究において非常に基本的であるが、系と環境全体のユニタリダイナミクスから出発してこの方程式をミクロに導出することは非自明な問題である。とくに、教科書等でよく用いられる回転波近似 (永年

近似) を用いた導出は、着目系が量子多体系の場合にはその適用条件が破綻し、仮に近似を適用したとしても得られた方程式が系全体に散逸が作用する非局所的なものになるという問題点があった。本研究では、局所相互作用する量子多体系における情報伝播に対する一般的な制限である Lieb-Robinson 限界を用いて、局所的な散逸項をもつ GKSL 型量子マスター方程式のミクロからの導出法を見出した [2]。具体的には、GKSL 方程式のミクロからの導出中において、Born-Markov 近似の下で得られる Redfield 方程式の散逸項に現れる相互作用表示の演算子に対し Lieb-Robinson 限界を用いて散逸項を局所化することで、局所的な散逸項をもつ GKSL 方程式が系統的に導出できることを示した。具体例として、熱浴と接した自由フェルミオン鎖を数値的に解析し、Lieb-Robinson 限界を用いて導出した局所 GKSL 方程式がその導出の適用範囲内において系のダイナミクスを精度良く記述することを示した。

散逸のあるボース-アインシュタイン凝縮体の超流動性

双極子モーメントをもつ原子・分子の冷却気体は、ダイポール BEC に代表される長距離相互作用をもつ多体系の量子シミュレーションを実現するための、クリーンかつ制御可能なプラットフォームとして期待されている。なかでも有力な候補の一つが、強い電気双極子間相互作用をもつ異核二原子分子気体である。しかし、冷却分子は化学反応に起因する二体ロス不可避免的に受け、これはとりわけボース粒子系で深刻である。したがって、そのような散逸下で実現された BEC が超流動性を示すか否かを理解することは、基礎的に重要な問題である。本研究 [4] では、双極子相互作用と二体ロスの両方が存在する分子 BEC に対する超流動応答理論を構築した。その結果、粒子間相互作用が存在しない場合であっても、散逸が BEC の位相の剛性、ひいては超流動性を誘起しうることが示した。その背後にある物理は、二体ロスが粒子間に相関を誘起し、有効的に斥力相互作用と類似の役割を果たす点にある。加えて、分子 BEC の双極子相互作用に対する安定性が散逸によって実効的に向上することを見いだした。さらに、相互作用のない BEC において二体ロスのみによって量子化渦が生成されることを数値的に示し、これらの予言を検証した (図 1.1.1)。

ローパスフィルターを用いたナノ粒子の量子フィードバック冷却

浮揚ナノ粒子系は、光ポテンシャルを用いて真空中に捕捉された、直径約 100 nm のシリカ粒子からなる系である。浮揚ナノ粒子は物理的接触をもたないため、環境ノイズの影響をほとんど受けない。この低ノイズ性を活かし、電磁場・加速度・重力波などを計測する高感度センサーとしての応用や、巨視的量子重ね合わせ状態に代表される基礎物理の探究

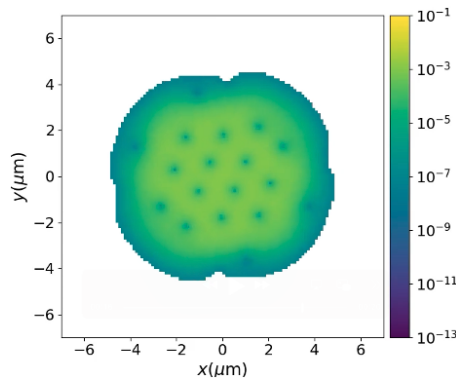


図 1.1.1: 二体ロスの下での Gross-Pitaevskii 方程式の数値シミュレーション結果 [4]。粒子間相互作用がないにもかかわらず散逸がもたらす相関によって BEC が超流動性を獲得し、量子化された渦が生成される。

のためのプラットフォームとしての利用が期待されている。こうした応用を実現する前提として、浮揚ナノ粒子の重心自由度を冷却することが不可欠である。本研究 [8] ではまず、連続位置測定下にある量子調和振動子に対し、測定結果に応じてポテンシャルをシフトさせるフィードバックを導入したモデルを構築し、浮揚ナノ粒子の運動を記述する確率微分方程式を導出した。さらに、ローパスフィルタを用いたフィードバック冷却法を提案し、導出した確率微分方程式を解析することで、到達可能な最低フォノン占有数を評価した。その結果、本手法は従来の LQG 制御およびコールドダンピングを上回る冷却性能を有し、より低いフォノン占有数を達成できることを明らかにした。さらに、将来的に実験において測定効率が 1 に近い領域まで向上した場合には、本手法と既存手法の到達占有数の比が数十に達することも示した。これは、本手法が真の基底状態への到達を目指す上で、大きな優位性を有することを意味する。

1.1.2 量子論・統計力学と情報理論・人工知能の融合

$S = 1$ 量子スピン鎖の非可積分性の証明

量子多体系の平衡状態を理解するうえで、示量的な数の局所保存量を持つ可積分系は強力なツールとなる。一方で、熱平衡化に代表されるような孤立量子多体系のダイナミクスを考えるうえでは、可積分系は特異な振る舞いをすることが知られている。従って、巨視的な現象を微視的な動力学から理解するという統計力学の根本的な問題に取り組むためには、系が

局所保存量を持たないこと、すなわち非可積分性を示すことが必要である。2019 年に初めて具体的な系の非可積分性が厳密に証明されて以降、多くの系の非可積分性が証明されてきた一方で、これらの研究はスピン $1/2$ の系に限られていた。本研究では、スピン 1 の典型的な量子多体系として、異方性磁場をもつ bilinear-biquadratic (BLBQ) 鎖を扱った。これはスピン 1 の Heisenberg 鎖や、Affleck-Kennedy-Lieb-Tasaki (AKLT) 模型を含む。我々はこの模型が、既に知られている可積分系を除いて非可積分であることを厳密に証明した [5]。これは、高次スピン系で非可積分性が厳密に証明された最初の例を与える。AKLT 模型は多数の非熱的なエネルギー固有状態をもつ模型の典型例である。非可積分系におけるこのような固有状態の存在は量子多体傷跡と呼ばれ、熱平衡化を妨げる構造の一つである。我々の結果は、数値的に広く検証されてきた AKLT 模型の非可積分性に厳密な基礎を与え、この系において量子多体傷跡が可積分性とは独立の構造であることを示している。さらに、我々は並進対称性・ $U(1)$ 対称性・時間反転対称性・スピン反転対称性をもつ generic な $S = 1$ 鎖に結果を拡張し、その可積分性/非可積分性を完全に分類した。

量子ゆらぎを整流するマクスウェルのデーモン

マクスウェルの思考実験に端を発した概念であるマクスウェルのデーモンは、熱ゆらぎを測定とフィードバック制御によって整流しエントロピーを下げることで系から仕事を取り出す。この機構は、現在では情報処理の熱力学を理解する上での重要な基盤をなしている。一方で、量子系においては熱ゆらぎの他にも量子論に特有な測定結果のランダム性に起因した量子ゆらぎが存在する。量子ゆらぎを整流するマクスウェルのデーモンは、フィードバック制御や情報熱機関における量子性の役割を理解する上で興味深い。本研究では、古典系で行われたマクスウェルのデーモンの実証実験の設定を量子系に拡張し、量子ゆらぎのみを整流して粒子をポテンシャル勾配に逆らって輸送する量子マクスウェルデーモンの模型を考案した [7]。この模型に対しパワー・輸送速度・効率の振る舞いを調べ、パワーと輸送速度のトレードオフ関係や最適効率を達成するパラメータを見出した。また、この模型においては熱ゆらぎが存在しないことから、従来の情報熱機関の研究において議論されてきたトレードオフ関係を破ることができることを明らかにした。この量子マクスウェルデーモンは光格子中の冷却原子系を用いて実現できることが期待されるが、実験において重要となる測定誤差の影響の解析も行い、現実的な測定誤差の範囲内で我々の結果が妥当であることを確かめた。

<報文>

(原著論文)

- [1] Masaya Nakagawa and Masahito Ueda: Topology of Discrete Quantum Feedback Control, Phys. Rev. X **15**, 021016 (2025).

- [2] Koki Shiraishi, Masaya Nakagawa, Takashi Mori, and Masahito Ueda: Quantum master equation for many-body systems based on the Lieb-Robinson bound, *Phys. Rev. B* **111**, 184311 (2025) [selected as Editors' Suggestion].
- [3] Liu Ziyin, Hongchao Li, and Masahito Ueda: Noise balance and stationary distribution of stochastic gradient descent. *Phys. Rev. E* **111**, 065303 (2025).
- [4] Hongchao Li, Xie-Hang Yu, Masaya Nakagawa, and Masahito Ueda: Dissipative Superfluidity in a Molecular Bose-Einstein Condensate, *Phys. Rev. Lett.* **135**, 166001 (2025).
- [5] Akihiro Hokkyo, Mizuki Yamaguchi, and Yuuya Chiba: Absence of nontrivial local conserved quantities in the spin-1 bilinear-biquadratic chain and its anisotropic extensions, *Phys. Rev. Research* **7**, 043297 (2025).
- [6] Hiroki Matsui, Yuki Miyazawa, Ryoto Goto, Chihiro Nakano, Yuki Kawaguchi, Masahito Ueda, and Mikio Kozuma: Observation of the Einstein-de Haas effect in a Bose-Einstein condensate, *Science* **391**, 384 (2026).
- [7] Kangqiao Liu, Masaya Nakagawa, and Masahito Ueda: Maxwell's demon for quantum transport, *Phys. Rev. A* **113**, 022436 (2026).
- [8] Shuma Sugiura and Masahito Ueda: Quantum feedback cooling of a trapped nanoparticle by using a low-pass filter, *Phys. Rev. A* **113**, 023119 (2026).
- (国内雑誌)
- [9] 中川大也: 冷却原子と開放量子多体系の物理 第1回 はじめに、数理科学 2025 年 12 月号、サイエンス社 (2025).
- [10] 中川大也: 冷却原子と開放量子多体系の物理 第2回 原子と光の物理、数理科学 2026 年 1 月号、サイエンス社 (2025).
- [11] 中川大也: 冷却原子と開放量子多体系の物理 第3回 冷却原子の基本技術、数理科学 2026 年 3 月号、サイエンス社 (2026).
- [12] 中川大也: 冷却原子と開放量子多体系の物理 第4回 原子間の相互作用、数理科学 2026 年 4 月号、サイエンス社 (2026).
- (学位論文)
- [13] Koki Shiraishi: Microscopic Approach to Open Quadratic Systems: Locality, Thermodynamics, and Transport Phenomena (博士論文) .
- [14] Atsushi Oyaizu: Physical Implementation of Non-Hermitian Spin Chains Utilizing Non-Unitary Discrete-Time Quantum Dynamics (修士論文) .
- <学術講演>
- (国際会議)
- 招待講演
- [15] Masahito Ueda: Topology of Discrete Feedback Control, Methods for Many-Body Open Quantum Systems, University of Trento, Trento, Italy, 2025.4.1.
- [16] Masahito Ueda: Topology of discrete feedback control, International Visiting Scholar Program (BAQIA 主催), Tsinghua University, Beijing, China, 2025.5.8.
- [17] Masahito Ueda: Going beyond Hermitian Physics, Division of Atomic, Molecular and Optical Physics (DAMOP), Oregon Convention Center, Portland, Oregon, USA, 2025.6.17.
- [18] Masahito Ueda: Topology of Discrete Feedback Control, International Conference on Emerging Quantum Technology (ICEQT) 2025, HUIFENG-WANYUN Hotel Hefei, Hefei, China, 2025.9.19.
- [19] Masahito Ueda: Non-Hermitian Quantum Physics, RIKEN-Harvard joint workshop, Ory forum in the Goel building, Cambridge, USA, 2025.10.3.
- [20] Masahito Ueda: Beyond Hermitian Quantum Physics, The 16th Asia Pacific Physics Conference, Hilton Haikou Meilan, Haikou, China, 2025.10.20.
- [21] Masaya Nakagawa: Topology of discrete quantum feedback control, The 16th Asia Pacific Physics Conference, Hilton Haikou Meilan, Haikou, China, 2025.10.20.
- [22] Masahito Ueda: Topology of discrete feedback control, Ruthenates and Emerging Quantum Materials (REQM2025), Kyoto University, Kyoto, Japan, 2025.12.3.
- [23] Masahito Ueda: Open quantum systems, Beyond Hermitian Quantum Physics, Quantum Thermalization, Information Thermodynamics, Winter School on Open Quantum Systems and Mesoscopic Physics 2025, Vierumäki, Finland, 2025.12.8-12.
- [24] Masaya Nakagawa: Topology of feedback control in quantum and classical stochastic processes, New Frontiers of Geometry and Topology in Condensed Matter Physics, Institute for Solid State Physics, Kashiwa, Japan, 2026.2.2.
- [25] Masahito Ueda: Beyond Hermitian Quantum Physics, Post-selection for quantum control, Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems, Dresden, Germany, 2026.2.25.
- [26] Hongchao Li: Dissipative Superfluidity in a Molecular Bose-Einstein Condensate, Koushare-Europe Science Forum, online, 2026.3.03.
- 一般講演
- [27] K. Shiraishi, M. Nakagawa, T. Mori and M. Ueda: Quantum master equation for many-body systems based on the Lieb-Robinson bound, MEOQS2025 - Methods for many-body open quantum systems, University of Trento, Trento, Italy, 2025.04.01.

- [28] H. Li, C. Shang, T. Kuwahara, T. V. Vu: Macroscopic Particle Transport in Dissipative Long-Range Bosonic Systems, Hydrodynamics of low-dimensional interacting systems: Advances, challenges, and future directions, Kyoto University, Kyoto, Japan, 2025.06.04.
- [29] K. Shiraishi, M. Nakagawa, and T. Mori: Davies quantum master equation for quadratic many-body systems, StatPhys29, Palazzo dei Congressi & Palaffari, Florence, Italy, 2025.07.14.
- [30] T. Ishii and M. Ueda: Quantum i.i.d. steady states in open quantum many-body systems, StatPhys29, Palazzo dei Congressi & Palaffari, Florence, Italy, 2025.07.15.
- [31] A. Hokkyo and M. Ueda: Universal Upper Bound on Ergotropy and No-Go Theorem by the Eigenstate Thermalization Hypothesis, StatPhys29, Palazzo dei Congressi & Palaffari, Florence, Italy, 2025.7.17.
- [32] A. Hokkyo: Rigorous Test for Quantum Integrability and Nonintegrability, NESP-2025, Villa Ruspoli, Florence, Italy, 2025.7.21.
- [33] T. Ishii and M. Ueda: Quantum i.i.d. steady states in open quantum many-body systems, Joint ICTP-WE Heraeus Conference on Non-equilibrium Quantum Statistical Physics, Adriatico Guest House, Trieste, Italy, 2025.07.22.
- [34] M. Nakagawa and M. Ueda: Topology of discrete quantum feedback control, ISSP-IIS Joint Symposium on Physics of Open Systems: Resonance, Symmetry, and Topology, The University of Tokyo, Kashiwa, Japan, 2025.8.6.
- [35] M. Nakagawa and M. Ueda: Topology of discrete quantum feedback control, Tokyo-Beijing-Sendai Joint Workshop on Quantum Matter, Tohoku University, Sendai, Japan, 2025.10.4.
- [36] H. Li, X. Yu, M. Nakagawa and M. Ueda: Dissipative Superfluidity in a Molecular Bose-Einstein Condensate, Daikin-IPi symposium, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, 2025.11.26.
- [37] S. Yamada, A. Hokkyo, and M. Ueda: Many-body burst in isolated quantum systems, Kyoto Workshop on Quantum Thermodynamics and Stochastic Thermodynamics 2025, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto, Japan, 2025.12.8.
- [38] A. Oyaizu, H. Li, M. Nakagawa, and M. Ueda: Chaotic RG flows in non-unitary quantum dynamics, New Frontiers of Geometry and Topology in Condensed Matter Physics, Institute for Solid State Physics, Kashiwa, Japan, 2026.1.28.
- (国内会議)
- 招待講演
- [39] 上田正仁: Beyond-Hermitian Quantum Physics, 量子力学 100 周年研究会: 量子基礎・量子情報のこれまでとこれから、京都大学基礎物理学研究所湯川記念館、2025.9.10.
- [40] 上田正仁: 冷却原子の来し方と行く末、日本物理学会領域1 国際量子科学技術年記念シンポジウム、広島大学、2025.9.16.
- [41] 中川大也: 開放量子多体系における超伝導と対凝縮、第4回「対相関と対凝縮」研究会、大阪大学核物理研究センター、2026.1.21.
- 一般講演
- [42] 中川大也: 量子フィードバック制御下における非平衡量子相の物理に向けて、第7回冷却原子研究会「アトムの会」、ロワジュールホテル豊橋、2025.8.22.
- [43] 杉浦周磨、白石航暉、上田正仁: コスト関数の再考による浮揚ナノ粒子のフィードバック冷却の性能向上、日本物理学会第80回年次大会、広島大学、2025.9.16.
- [44] 小柳津敦、李宏超、中川大也、上田正仁: PT 転移に伴うカオス的くりこみ群フローの出現、日本物理学会第80回年次大会、広島大学、2025.9.17.
- [45] 中川大也、上田正仁: フィードバック制御のトポロジー: Maxwell デモン実験のトポロジカルな解釈、日本物理学会第80回年次大会、広島大学、2025.9.17.
- [46] 石井敬直、上田正仁: 開放量子多体系の定常状態が量子 i.i.d. 状態となる必要十分条件、日本物理学会第80回年次大会、広島大学、2025.09.17.
- [47] 白石航暉、石田駿平、中川大也: 外場によって駆動される電子系のダイナミクス: 量子マスター方程式によるアプローチ、日本物理学会第80回年次大会、広島大学、2025.09.18.
- [48] 法橋頭広: 量子可積分性と非可積分性の厳密な判定手法、日本物理学会第80回年次大会、広島大学、2025.9.19.
- [49] 石井敬直、甲田昌也: NISQ Simulation of Open Quantum Many-Body Systems、第16回量子ソフトウェア研究発表会、産業技術総合研究所、2025.10.23.
- [50] 法橋頭広: Rigorous Test for Quantum Integrability and Nonintegrability、ダイキン-ipi シンポジウム、東京大学、2025.11.26.
- [51] 中川大也、上田正仁: 量子フィードバック制御のトポロジー、ダイキン-ipi シンポジウム、東京大学、2025.11.26.
- [52] 小柳津敦、李宏超、中川大也、上田正仁: Chaotic RG flows in non-unitary quantum dynamics、ダイキン-ipi シンポジウム、東京大学、2025.11.26.
- [53] 杉浦周磨、白石航暉、上田正仁: 浮揚ナノ粒子のフィードバック冷却法、ダイキン-ipi シンポジウム、東京大学、2025.11.26.
- [54] 石井敬直、甲田昌也: 中間測定を活用した開放量子多体系の NISQ シミュレーション、ダイキン-ipi シンポジウム、東京大学、2025.11.26.
- [55] 法橋頭広: 量子論を超えたエンタングルメント生成: ポベスク=ローリッヒ箱相関の達成、Quantum Foundations 2026、大阪大学、2026.3.6.
- [56] 山田彰造、法橋頭広、上田正仁: 孤立量子系における多体バースト現象、日本物理学会 2026 年度春季大会、オンライン、2026.3.25.

- [57] 法橋顕広: 量子スピン鎖における単一の保存則からの可積分性、日本物理学会 2026 年度春季大会、オンライン、2026.3.25.

(セミナー)

- [58] 法橋顕広: Rigorous Test for Quantum Integrability and Nonintegrability、Budapest integrability seminars、オンライン、2025.4.23.
- [59] 法橋顕広: Rigorous Test for Quantum Integrability and Nonintegrability、羽田野研セミナー、東京大学、2025.5.18.
- [60] 石井敬直、上田正仁: Quantum i.i.d. steady states in open quantum many-body systems、羽田野研セミナー、東京大学、2025.5.29.
- [61] 法橋顕広: Integrability from a Single Conservation Law in Quantum Spin Chains、Budapest integrability seminars、オンライン、2025.10.22.
- [62] 法橋顕広: Integrability from a Single Conservation Law in Quantum Spin Chains、BIMSA Integrable System Seminar、オンライン、2025.11.25.
- [63] 中川大也: 開放量子多体系における超伝導・超流動、セミナー、東京都立大学、2025.12.15.

(その他)

- [64] 小柳津敦、李宏超、中川大也、上田正仁: 散逸下の量子系におけるカオス的くりこみ群、第 70 回物性若手夏の学校、白浜荘、2025.7.30.
- [65] 山田彰造: 孤立量子多体系における回帰の非典型性、第 70 回物性若手夏の学校、白浜荘、2025.7.31.
- [66] 中川大也: 講義「開放量子系の非平衡物性物理」、第 70 回物性若手夏の学校、白浜荘、2025.7.30–8.1.
- [67] 中川大也: 集中講義「開放量子多体系の物理」、東京都立大学、2025.12.10, 12.12, 12.15.
- [68] 石井敬直、甲田昌也: NISQ デバイスによる開放量子多体系のシミュレーション、計算物理春の学校 2026、沖縄市町村自治会館、2026.3.11.

2 Ueda Group

Research Subjects: Bose–Einstein condensation, fermionic superfluidity, topological phenomena, open quantum systems, information thermodynamics, quantum information, measurement theory, machine learning

Member: Masahito Ueda and Masaya Nakagawa

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 nonunitary dynamics of atomic gases subject to dissipation and/or measurement backaction, classification of phases of matter in nonequilibrium open systems, 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 in light of information flow under measurements and feedback controls. Furthermore, we have recently tackled an understanding of AI and machine learning from a viewpoint of physics. We list our main research subjects in FY2025 below.

- Quantum many-body phenomena in ultracold atoms, nonequilibrium open systems
 - Quantum master equation for many-body systems based on the Lieb–Robinson bound [1]
 - Superfluidity of dissipative Bose–Einstein condensates [2]
 - Quantum feedback cooling of a trapped nanoparticle by using a low-pass filter [3]
- Unification of quantum physics, statistical mechanics, information theory, and machine learning
 - Proof of nonintegrability of $S = 1$ quantum spin chains [4]
 - Maxwell’s demon that rectifies quantum fluctuations [5]

- [1] Koki Shiraishi, Masaya Nakagawa, Takashi Mori, and Masahito Ueda, Phys. Rev. B **111**, 184311 (2025) [selected as Editors’ Suggestion].
- [2] Hongchao Li, Xie-Hang Yu, Masaya Nakagawa, and Masahito Ueda, Phys. Rev. Lett. **135**, 166001 (2025).
- [3] Shuma Sugiura and Masahito Ueda, Phys. Rev. A **113**, 023119 (2026).
- [4] Akihiro Hokkyo, Mizuki Yamaguchi, and Yuuya Chiba, Phys. Rev. Research **7**, 043297 (2025).
- [5] Kangqiao Liu, Masaya Nakagawa, and Masahito Ueda, Phys. Rev. A **113**, 022436 (2026).