

物性理論研究室

笠松 健一 准教授
修士 1 名 学部生 7 名

研究の概要

本研究室では、ナノケルビン (10^{-9} K) の超低温まで冷却された中性原子気体における量子多体现象や、ボース・アインシュタイン凝縮した体系で起こる超流動現象に関する理論的研究を行っている。本年度の成果は以下のとおりである。

- **2 成分超流体における量子ケルビンヘルムホルツ不安定性が誘起するパターン形成のダイナミクス**

古典流体におけるケルビン-ヘルムホルツ不安定性の理論を拡張し、相分離した 2 成分ボース-アインシュタイン凝縮体のせん断流不安定性が引き起こす非線形ダイナミクスを理論的に研究した。Gross-Pitaevskii 方程式の系統的な数値シミュレーションにより、様々なパターン形成のダイナミクスを明らかにした。また、超流体に拡張して定義されたウェーバー数によってパターンの挙動が特徴づけられることを示し、量子流体系に特有の微視的な側面を明らかにすることができた。

- **2 成分ボース凝縮体の異なる成分に属した量子渦対のダイナミクス**

円形の箱型ポテンシャルに捕捉された混合 2 成分ボース-アインシュタイン凝縮体において、異なる成分に属する 2 つの量子渦のダイナミクスを、Gross-Pitaevskii 方程式の数値解析を用いて研究した。2 つの渦が初期に同位置にある場合、成分間の相互作用によって、動的不安定性が生じて渦の分割が起こり、その後はそれぞれの渦の循環に依存して非自明な挙動を示すことを明らかにした。

- **モット絶縁相近傍で実現する光格子中の 2 成分ボース気体における量子液滴**

外部トラップポテンシャルがある 2 成分 Bose-Hubbard 系における量子液滴の動的形成について理論的に研究した。具体的には、二重充填のモット絶縁体に囲まれた中心領域の超流動体は二相間の量子相転移の不連続性により自己束縛され、量子液滴を形成する。我々は、2 次元系における時間依存グッツヴィラー方程式のシミュレーションを用いて、トラップポテンシャルの制御により液滴の特徴的な振る舞いを誘発する方法を示した。また、この液滴の静的・動的特性は、6 次の非線形性まで考慮した有効ギンツブルグ・ランダウ理論によって定性的に記述できることを示した。

メディア掲載

- Physics Magazine (American Physical Society) 「Superfluid Interface Mixes Classical and Quantum Behavior」 2021年8月13日
- 近畿大学プレスリリース 「世界初！2種類の超流動体の界面模様の形成機構を解明 量子流体力学の発展につながる研究成果」
2021年8月19日
毎日新聞 Web、SankeiBiz、などで紹介される。
- 近畿大学プレスリリース 「超低温の原子の気体が液滴となる新たな形成機構を解明 気体と液体の両方の特徴をもつ、物質の新しい状態」
2022年3月3日
マイナビニュースで紹介される。

学術論文（査読付）

1. “Quantum droplet of a two-component Bose gas in an optical lattice near the Mott insulator transition”
Yoshihiro Machida, Ippei Danshita, Daisuke Yamamoto, and Kenichi Kasamatsu
Physical Review A **105**, L031301 [6 Pages] (2022) (3月号)
DOI : <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.105.L031301>
2. “Dynamics of Two Quantized Vortices Belonging to Different Components of Binary Bose-Einstein Condensates in a Circular Box Potential”
Junsik Han, Kenichi Kasamatsu, and Makoto Tsubota
Journal of Physical Society of Japan **91**, 024401 [10 Pages] (2022) (1月号)
DOI : <https://doi.org/10.7566/JPSJ.91.024401>
3. “Pattern formation of quantum Kelvin-Helmholtz instability in binary superfluids”
Haruya Kokubo, Kenichi Kasamatsu, and Hiromitsu Takeuchi
Physical Review A **104**, 023312 [16 Pages] (2021) (8月号)
DOI : <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.104.023312>

修士論文

- 「Bose-Einstein 凝縮体における流体力学的不安定性の検証」

学士論文

- 「機械学習を用いたイジング模型の相構造の研究」
- 「2成分 Bose-Einstein 凝縮体中の渦糸における Kelvin 波について」
- 「2成分ボースアインシュタイン凝縮体で生成される massive-vortex の運動」
- 「1次元フェルミ超流動体におけるダークソリトンのシミュレーション」
- 「回転するフェルミオンの超流動体における量子渦格子の研究」
- 「BCS-BEC クロスオーバー領域のフェルミ超流動体における渦の生成と臨界速度」
- 「2次元 XY 模型の相転移」

国際学会・研究会講演

1. Haruya Kokubo (presenter), Kenichi Kasamatsu, and Hiromitsu Takeuchi
“Phase diagram of pattern formation in binary Bose-Einstein condensates with shear flow”
International Symposium on Quantum Fluids and Solids 2021 (QFS2021) オンライン [11 Aug. 2021]

国内学会・研究会講演

1. 小久保治哉 (presenter), 笠松健一
「小規模 Bose-Einstein 凝縮体における渦生成の臨界速度」
日本物理学会 第 77 回年次大会 オンライン [17 Mar. 2022]
2. 笠松健一 (presenter), 松居哲生
「巻数-位相表示での Wigner 準分布関数と経路積分を用いた U(1) 量子振り子の時間発展の研究」
日本物理学会 第 77 回年次大会 オンライン [17 Mar. 2022]
3. 韓俊植 (presenter), 笠松健一, 坪田誠
「ボックスポテンシャルにトラップされた 2 成分 Bose-Einstein 凝縮体中で異なる成分に属する渦のダイナミクス」
日本物理学会 第 77 回年次大会 オンライン [15 Mar. 2022]

4. 笠松健一 (presenter), 松居哲生
「巻数-位相表示とコヒーレント表示での切断 Wigner 近似による $U(1)$ 及び $SU(2)$ 量子ダイナミクス」
日本物理学会 2021 年秋季大会 オンライン [22 Sep. 2021]
5. 小久保治哉 (presenter)
「2次元超流動体における量子ケルビンヘルムホルツ不安定性のパターン形成」
2021 年 量子物性若手交流研究会 オンライン [7 Sep. 2021]

競争的外部資金

- 2018-2021 年度 科学研究費 (基盤 C) 「光格子中の長距離相互作用を有する冷却原子系における非平衡量子ダイナミクスの解明」
研究代表者: 笠松 健一 直接経費 600,000 円 (2021 年度)

その他

- 小久保 治哉 (M2) 近畿大学大学院 総合理工学研究科 大学院部長賞 [17 March 2022]

学内委員

- 予算委員会委員 (前、後期)
- 学生活活性化委員会委員 (前、後期)

学外委員

- Scientific Reports (Nature publishing group) Editorial board member
- Condensed matter (MDPI) Editorial board member