

# 冷却原子気体の研究

Theoretical study on quantum phases of ultracold atomic gases

## Objectives

レーザー冷却により実現した超低温の原子気体では、相互作用の強さを含めて、系を特徴づけるほとんどすべてのパラメーターを実験的に制御できるために理想的なテストシステムとなっている。我々はこの系のもつ自由度・柔軟性を利用して、量子多体系や統計力学の基礎的課題の解明に取り組む。特に、原子の持つスピン内部自由度に着目し、内部自由度をもったボース・アインシュタイン凝縮体 (BEC) やフェルミ超流動の新奇な物性の解明を目指す。

Ultracold atomic gases, which have been realized using laser-cooling techniques, offer ideal playgrounds to test fundamental physics, since almost all parameters, including interatomic interactions, are tunable with high precision. The aim of this research is to explore fundamental problems in condensed matter and many-body systems using ultracold atomic gases. In particular, we investigate properties of Bose-Einstein condensates (BECs) and Fermionic superfluids with internal spin degrees of freedom.

Fig. 1

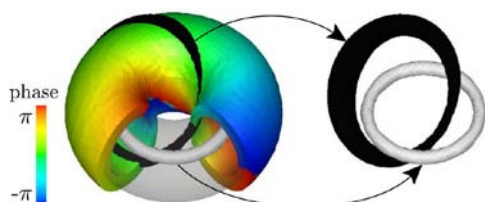
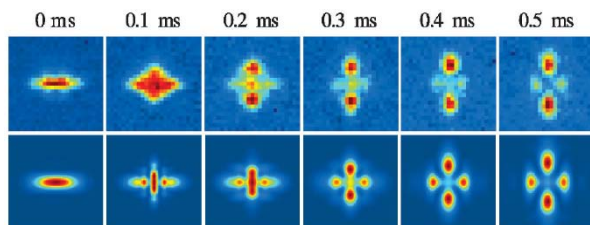


Fig. 2



## Achievements

- スピン内部自由度をもつ BEC において、ノット (knot) と呼ばれる新しいタイプのトポロジカル励起が存在することを示した (Fig. 1)。
- 原子スピン間に働く双極子相互作用により、原子気体が異方的に崩壊する様子を数値的に示し、Stuttgart 大学で観測された実験結果と定量的な一致を得た (Fig. 2)。
- スピン自由度を持った BEC では非可換量子渦が存在する。これらの渦が衝突すると、2 本の渦を連結させるようにラング (rung) という新たな量子渦が生じることを数値的に示した (Fig. 3)。

- We have shown that a polar phase of a spin-1 spinor BEC can host a knot soliton, which is a new type of topological excitation (Fig. 1).
- We have simulated anisotropic collapsing dynamics of a BEC due to the magnetic dipole-dipole interaction. Our results find quantitative agreement with the experiments performed by the Stuttgart group (Fig. 2).
- We have investigated the collision dynamics of non-Abelian vortices in a spin-2 spinor BEC and found that a rung vortex emerges between two colliding vortices (Fig. 3).

Fig. 3

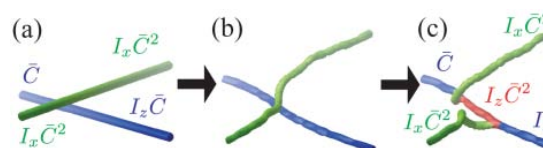


Fig. 1: Knot soliton in a spinor BEC.

Fig. 2: Snapshot images of an anisotropic collapsing condensate caused by magnetic dipole-dipole interaction: experiments (upper row) and theory (lower row).

Fig. 3: Collision dynamics of two non-Abelian vortices. In (c) a rung vortex (red) appears as a result of non-Abelian character of the two colliding vortices.

## References

- 1) Y. Kawaguchi, M. Nitta, and M. Ueda, Phys. Rev. Lett., **100**, 180403 (2008); Erratum: Phys. Rev. Lett., **101**, 029902(E) (2008).
- 2) T. Lahaye, J. Metz, B. Fröhlich, T. Koch, M. Meister, A. Griesmaier, T. Pfau, H. Saito, Y. Kawaguchi, and M. Ueda, Phys. Rev. Lett., **101**, 080401 (2008).
- 3) M. Kobayashi, Y. Kawaguchi, M. Nitta, and M. Ueda, Phys. Rev. Lett. **103**, 115301 (2009)