

# 量子シミュレーションに向けた イッテルビウム原子のフェルミ縮退の実現

量子光学研究室 福原 武

**Toward quantum simulation for the Hubbard model using ultracold fermionic atoms in an optical lattice, we succeeded in cooling of fermionic Yb atoms to Fermi degeneracy and loading cold Yb atoms into 3-dimensional optical lattices.**

© 2006 Department of Physics, Kyoto University

冷却フェルミ原子気体を光格子に導入した系での超流動性に関する研究が近年非常に多くの興味を集めている。光格子とは対向して進行波を照射することで光の定在波を形成し、それが原子にACシュタルクシフトを誘起し空間に関して周期的なポテンシャルを生み出すものである。この系は固体(周期ポテンシャル中の電子)と非常に類似していて、その上パラメータの制御性に優れ、不純物や格子欠陥もない理想的な状態であるので固体の系では困難であった実験や測定を行えることが大きな特徴である。その中でもとりわけ興味深いものとして、高温超伝導に代表される強相関電子系のシミュレーションを行うことが挙げられる[1]。そのためには、フェルミ原子を光格子に導入し、超流動転移温度までの冷却を達成する必要がある。本研究では、多くのユニークな特徴を持つイッテルビウム(Yb)原子のフェルミ同位体 $^{171}\text{Yb}$ ( $S=0$ ,  $l=1/2$ )、 $^{173}\text{Yb}$ ( $S=0$ ,  $l=5/2$ )を原子として用い、これを十分に冷却し光格子に導入して高温超伝導のシミュレーションを行うことを目標としている。

まず、フェルミ原子の冷却に取り組んだ。一般に量子縮退までの冷却を行うには蒸発冷却が必要となり、その過程で熱平衡化のための弾性衝突が重要となる。ところがフェルミ原子の場合、極低温ではパウリの排他原理から同一粒子同一スピン間の衝突がなくなってしまう。この問題を解決するため、 $^{171}\text{Yb}$ にボース同位体の $^{174}\text{Yb}$ を混合し、その間の弾性衝突を介して熱平衡化を実現した(共同冷却)。また $^{171}\text{Yb}$ の異なるスピン成分間の衝突を用い光格子中という高密度状態を利用しその衝突を促進する実験も行った。 $^{173}\text{Yb}$ に対しては、そのスピン6成分での蒸発冷却を行った。これらにより $^{171}\text{Yb}$ 、 $^{173}\text{Yb}$ ともにフェルミ温度(数百nK)以下まで冷却することができ、特に $^{173}\text{Yb}$ に関してはフェルミ温度の0.6倍まで冷却することに成功した。そして、その付近で蒸発冷却の効率が落ちるといふフェルミ縮退の影響

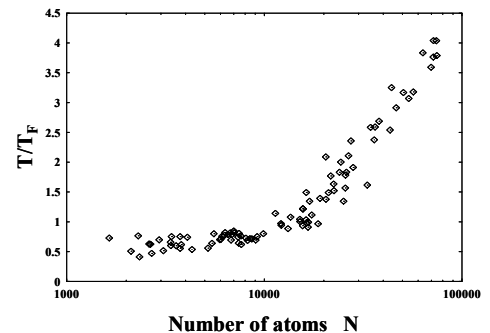


Fig. 1 Evaporation trajectory. Below the Fermi temperature, a plunge in the cooling efficiency is observed.

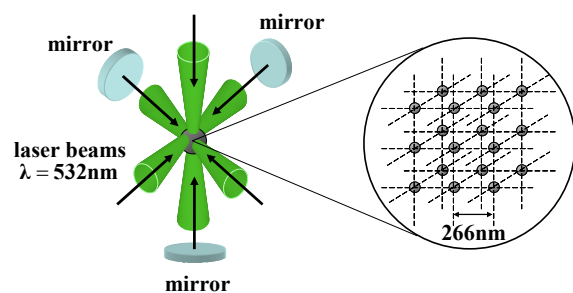


Fig. 2 Schematic setup of the optical lattices.

このフェルミ縮退に至る冷却と3次元光格子の生成により量子シミュレーションで中核を担う「光格子中での高温超流動状態」の実現へとつながる重要な土台が完成した。

## References

- [1] W. Hofstetter, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **89**, 220407 (2002)
- [2] B. DeMarco and D. S. Jin, Science **285**, 1703 (1999)

[2]を確認できた(Fig. 1)。フェルミ縮退の実現は $^6\text{Li}$ 、 $^{40}\text{K}$ に次ぐ成功でアルカリ原子以外では初である。

また、光格子の作成にも取り組んだ。波長532nmのレーザー光をミラーで対向して打ち返すことにより光格子を作成した。これを直交する3軸で行い3次元光格子を構成し、冷却原子の導入を行った(Fig. 2)。更に、将来量子縮退したフェルミ原子を導入し操作することを視野に入れて、ボース同位体 $^{174}\text{Yb}$ の量子縮退であるボース・アインシュタイン凝縮(BEC)の光格子への導入や光格子中でのBEC生成を実現することに成功している。