

スピン自由度を持つフェルミ縮退混合気体を用いた クロスオーバー領域の研究

高須 洋介 (京大理)

1995年のアルカリ金属原子を用いた希薄中性ボース原子気体を用いた Bose-Einstein 凝縮 (BEC) の実現 [1]、1999年の希薄中性フェルミ気体を用いたフェルミ縮退の実現 [2] 以降、これら量子縮退原子団およびそれらの混合気体を用いた研究が実験的・理論的に盛んに行われ、特にアルカリ金属原子を用いて大きな成果を生み出されている。例えば引力系のフェルミ縮退原子団では、金属固体中の電子の超伝導の発現と同じ Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) 転移が起きることが理論的に予想されていた。その予想は 2004年のフェルミ縮退原子団を用いた BEC・BCS クロスオーバーの実現 [3] に結実するが、その研究では原子間相互作用を引力から斥力へと連続的に変化させることで、冷却フェルミ縮退原子団の引力系における BCS 転移の実現だけでなく、BCS 状態から斥力系で予想される 2 原子分子の BEC 状態へ連続的につながる BEC・BCS クロスオーバーという、とても興味深い現象を実現したことが特記できる。

これまでアルカリ金属原子で行われてきた、磁気フェシュバツハ共鳴法という原子間相互作用の制御法では、ある特定のスピン成分間の相互作用のみが変化する。そのため、希薄原子気体を用いた研究では 2 成分のスピン成分を持った、フェルミ原子系の BCS 転移が主に研究されてきた。一方、近年理論の面から、3 成分以上のスピン成分を持った原子集団からなる、多成分フェルミ縮退系が大きな注目を集めている。その実現のためには、磁気フェシュバツハ共鳴法ではない、新しい原子間相互作用の制御方法を開発する必要がある、大きな課題となっている。

本研究の最終目標は、深くフェルミ縮退したスピン自由度を持つフェルミ同位体 Yb 原子とフェルミ ${}^6\text{Li}$ 原子において、原子間相互作用を連続的に変化させることで、BEC-BCS クロスオーバー領域での物性を実験的に研究することである。そのために、相互作用をスピン成分ごとに独立に制御することのできる手法である、光フェシュバツハ共鳴と呼ばれる新しい原子間相互作用の制御手法を開発することも目的としている。

現在までに、Yb-Li の同時レーザー冷却に成功している [4]。今後は、これを光トラップに再捕獲し、その後共同冷却を通じて Yb と Li の同時量子縮退を成功させる予定である。

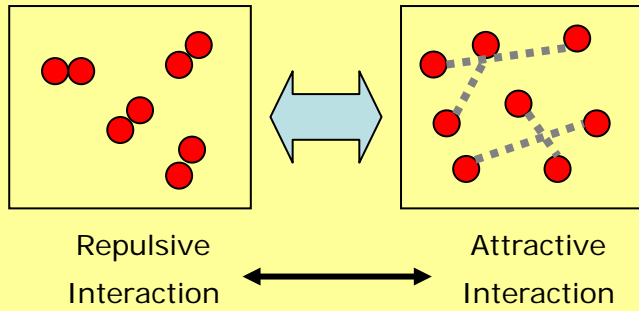
参考文献

- [1] M. H. Anderson *et al.*, *Science* **269**, 198 (1995).
- [2] B. DeMarco and D. S. Jin, *Science* **285**, 1703 (1999).
- [3] C. A. Regal *et al.*, *Physical Review Letters* **92**, 040403 (2004).
- [4] M. Okano *et al.*, *Applied Physics B*, accepted.

2-component

BEC-BCS crossover

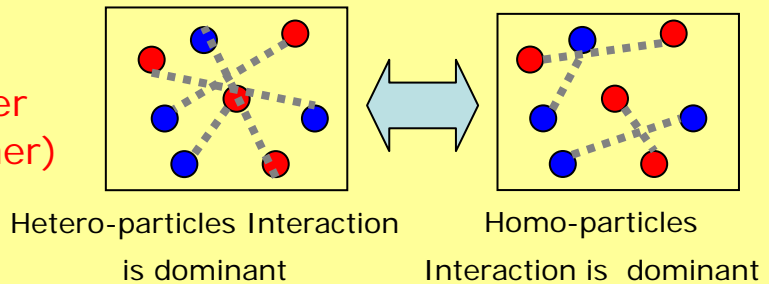
e.g. [C. A. Regal *et al.*,
PRL **92**, 040403 (2004)]



Mixture of 2-component Fermions

Attractive case

Possibility of
New type of crossover
(change of pair partner)



Li+Yb

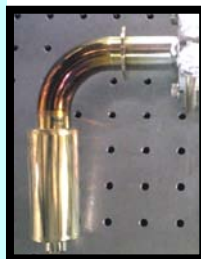
Zeeman Slower

Zeeman slower coils with
increasing magnetic field

Zeeman slowing beams

for **Li** ($\lambda=671$ nm, $P\sim 60$ mW)
and **Yb** ($\lambda=399$ nm,
 $P\sim 40$ mW)

Li Yb



Dual Atomic Oven

⁶**Li** enriched ($\geq 95\%$)
atoms (~ 6 g) and
Yb atoms (~ 50 g)
in the same oven,
heated to 400°C

MOT coils

anti-helmholtz coils
with axial (radial)
magnetic field gradients
 ~ 15 G/cm (7.5 G/cm)

MOT beams

for **Li** ($\lambda=671$ nm,
 $P\sim 3.7$ mW per beam)
Yb ($^1S_0\text{-}^3P_1$: $\lambda=556$
nm, $P\sim 25$ mW per
beam)