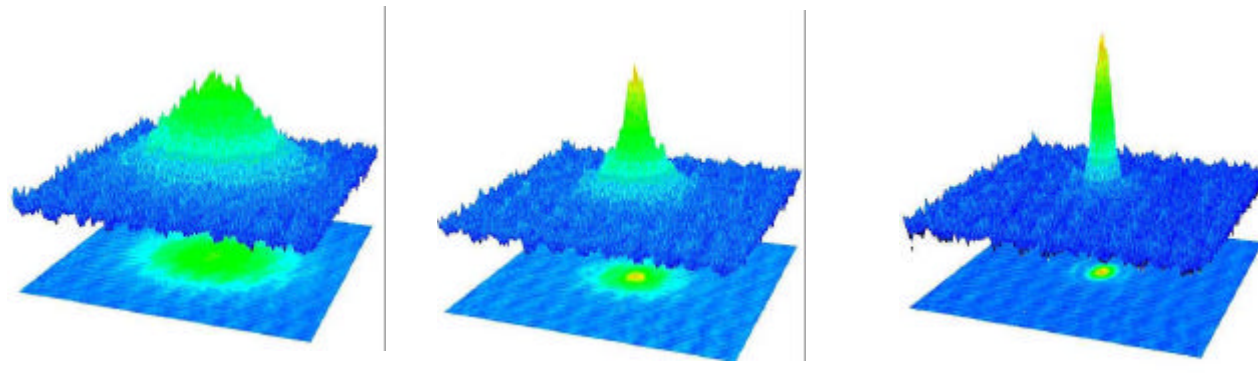


ボース凝縮体の交差型光双極子力トラップ

Crossed-FORT of Bose-Einstein Condensates



平野研究室 荒木幸治

概要

<研究背景>

原子気体 ^{87}Rb のスピン自由度を持つボース凝縮体 (BEC) のスピンダイナミクスを観測し、磁性などを探る

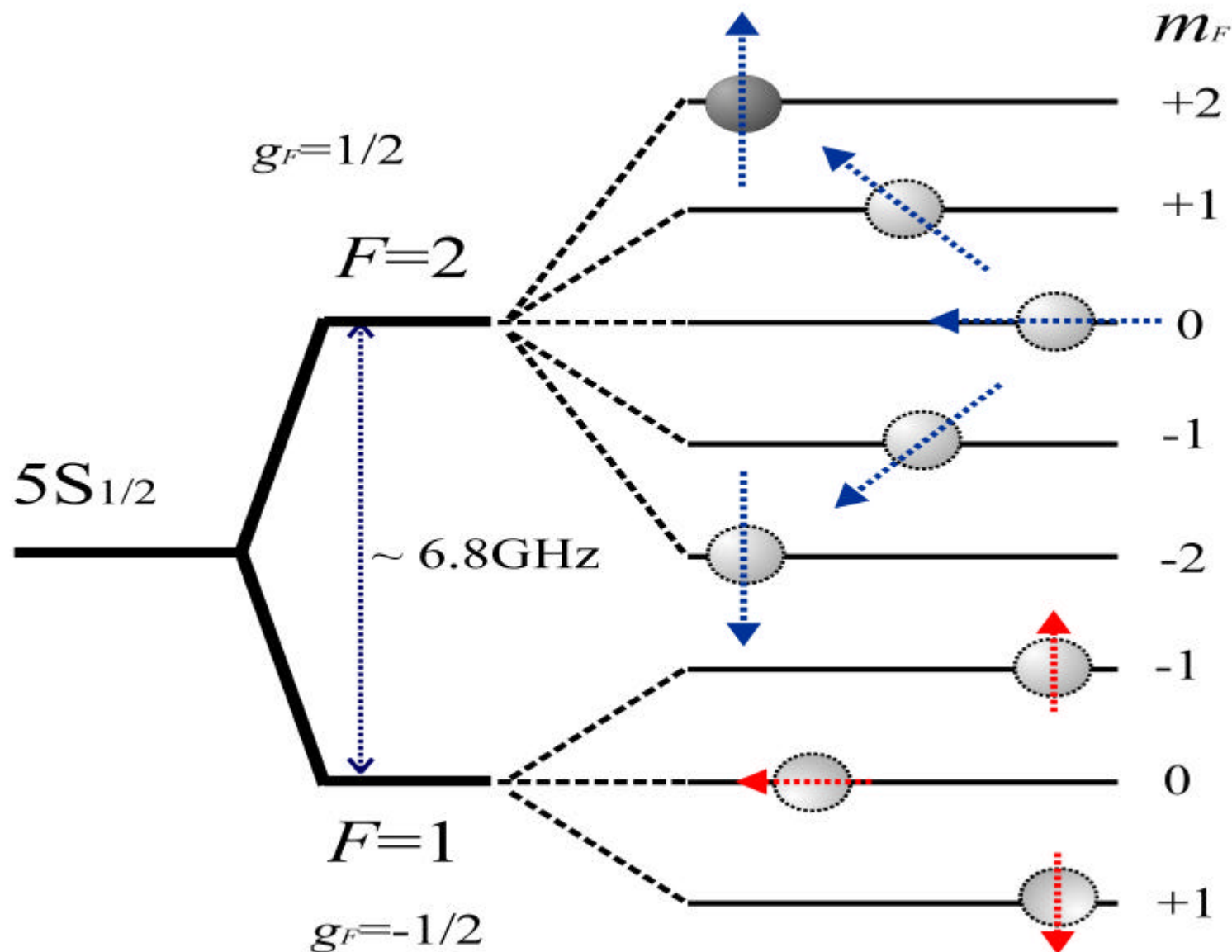
<スピン自由度を持つBECを研究するためには...>

磁気トラップ中で ^{87}Rb ($F=2, m_F=2$) のBECを生成した後、光双極子力トラップ FORTに移行する必要がある

<本研究>

交差型光双極子力トラップ (crossed-FORT) でトラップ

^{87}Rb の基底状態



磁気トラップ (MT)

磁場 $\Leftrightarrow$ 磁気モーメント

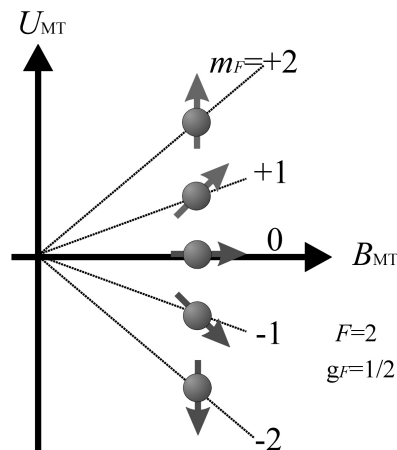
ポテンシャル：

$$U_{\text{MT}} = -\boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{B}_{\text{MT}}$$

$$\sim g_F m_B m_F B_{\text{MT}}(r)$$

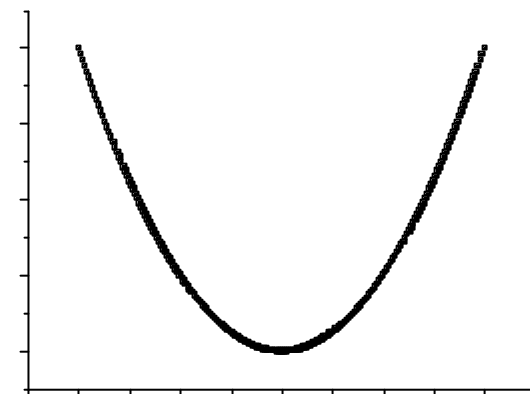
g_F ：Landeの g 因子

m_F ：磁気量子数

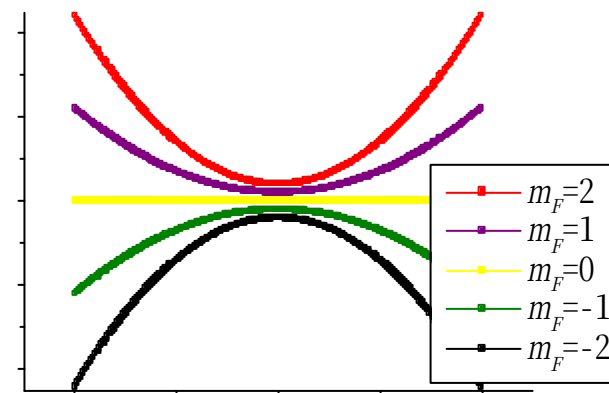


$|F=2, m_F=2\rangle$ の原子は、
磁場の極小点にトラップされる。

Magnetic field B_{MT}



Potential U_{MT}



Position

ポテンシャルはスピン成分に依存する

限られたスピン成分しかトラップできない

$\Rightarrow$ スピン自由度を持つことができない

光双極子力トラップ (FORT)

光 (電場) $\Leftrightarrow$ 電気双極子モーメント

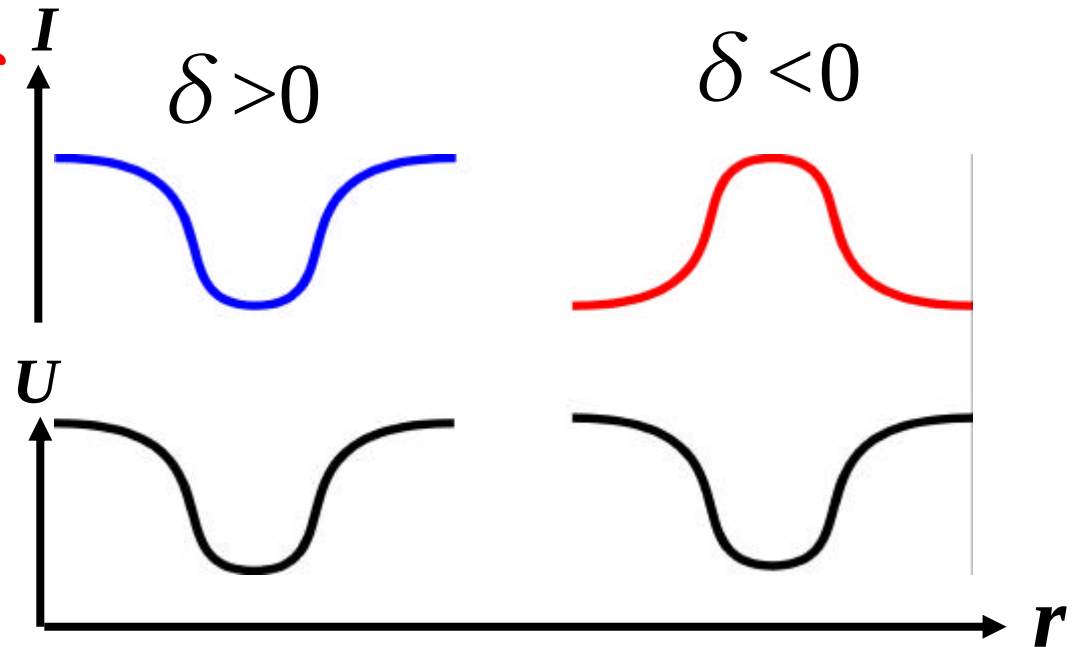
ポテンシャル：

$$U_{\text{dip}} = -\frac{1}{2} \langle \mathbf{p}_{\text{dip}} \cdot \mathbf{E} \rangle$$

$$\sim \frac{\hbar \Gamma^2}{8d} \frac{I(\mathbf{r})}{I_s}$$

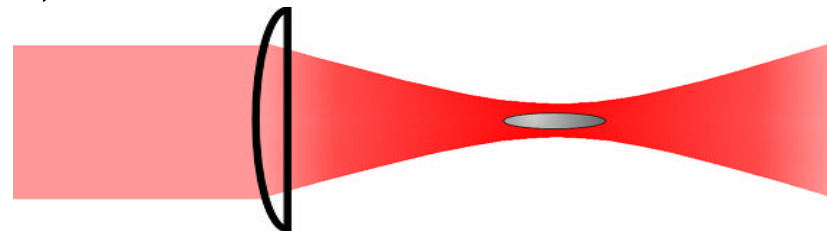
Γ ：自然幅, d ：離調

I_s ：飽和パラメータ



ガウスビーム (Laser) をレンズで絞り、
強度の極大点を作る

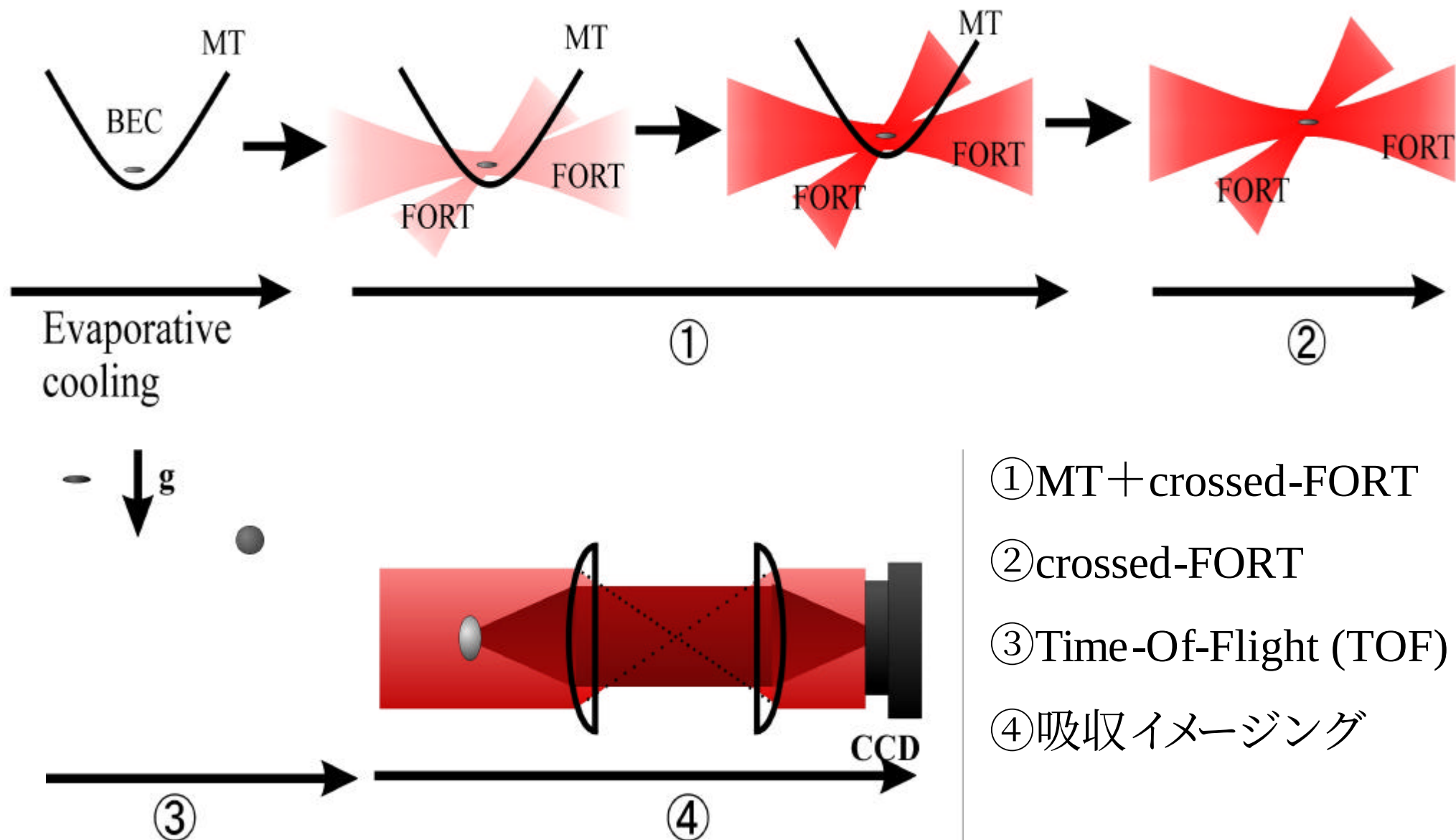
極大点 (離調 : 負) に原子が集まる



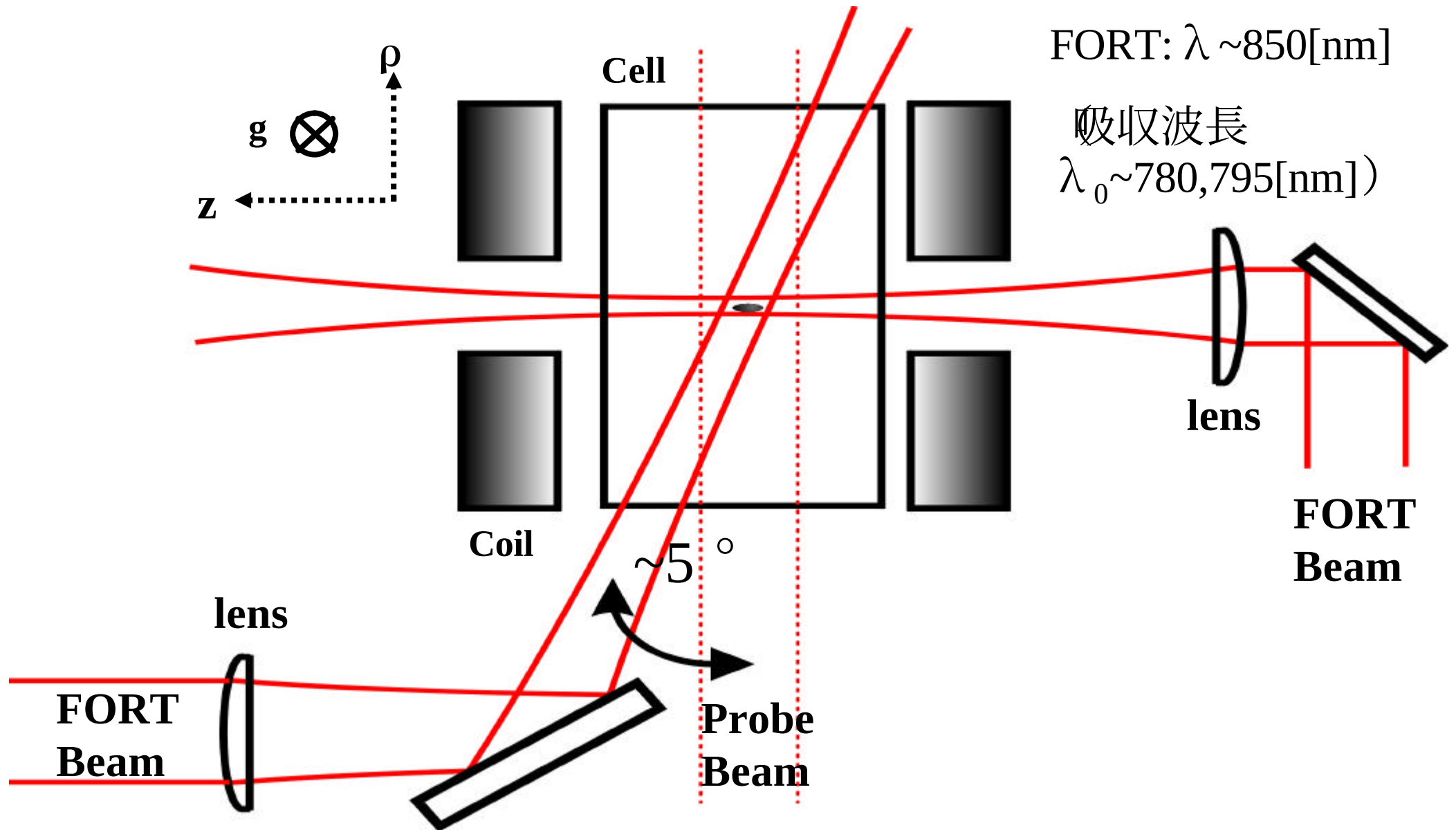
ポテンシャルはスピン成分に依存しない
(磁気副準位や超微細構造準位によら
ずトラップ可)

$\Rightarrow$ スピン自由度を持つことができる

実験手順



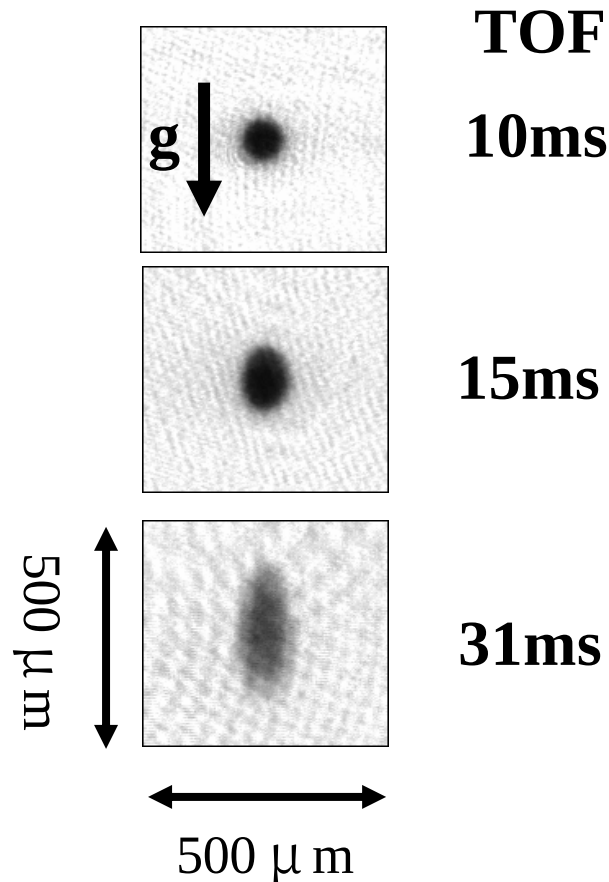
Crossed-FORT光学系



Crossed-FORT TOF イメージング

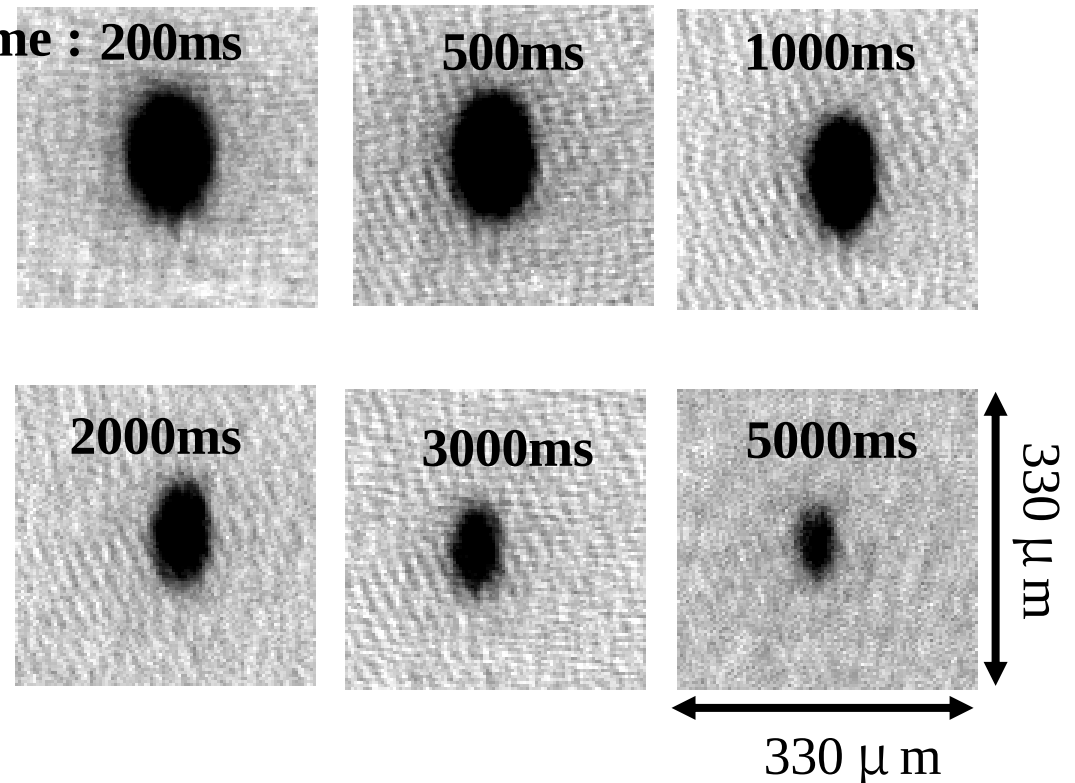
Crossed-FORT

Trap Time : 500ms

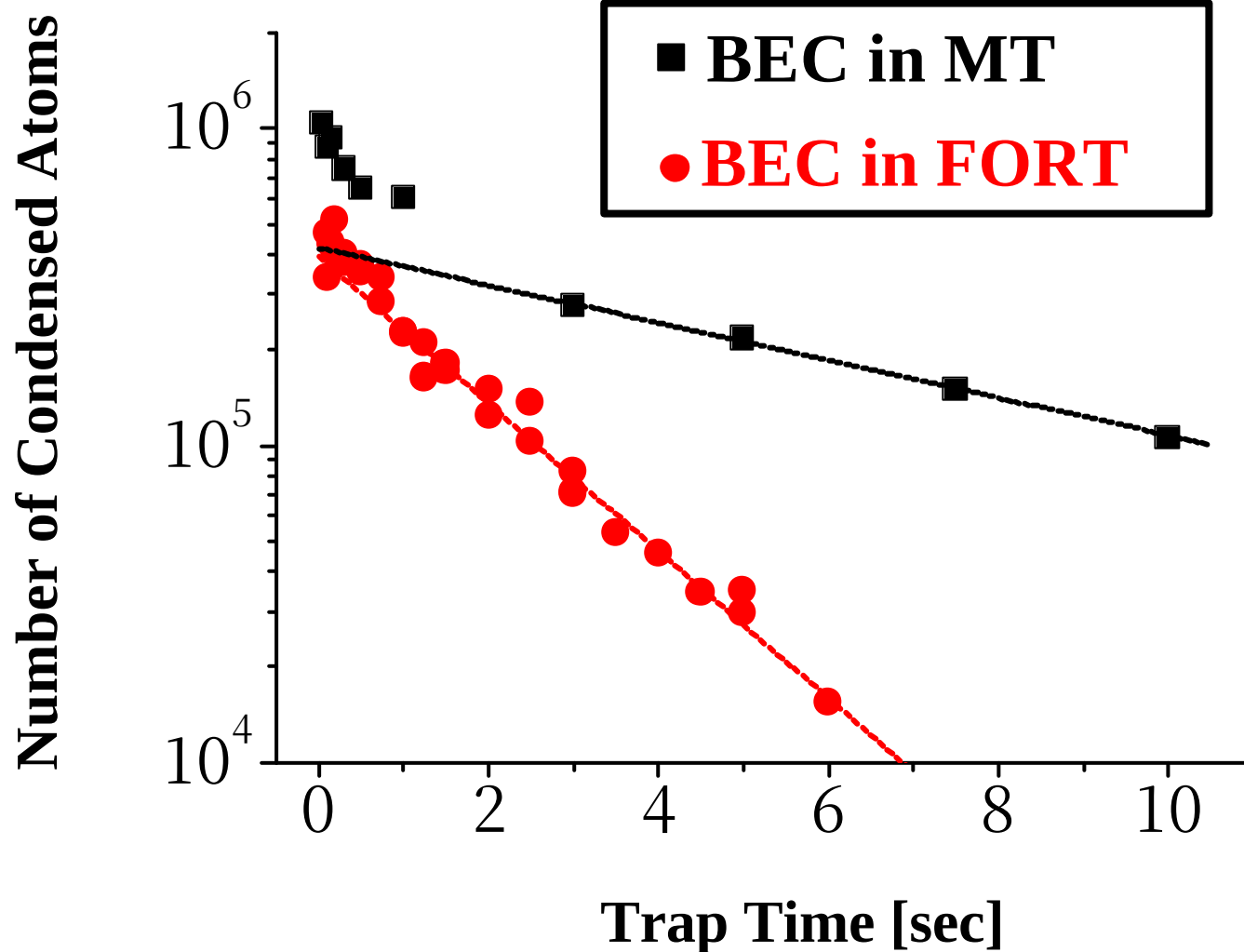


Crossed-FORT (TOF : 17ms)

Trap time : 200ms



BECのトラップ寿命 (FORT vs MT)



$$N < 3 \times 10^5 [\text{atoms}]$$

指数関数的なロス

$$t_{\text{MT}} \sim 7.3 [\text{sec}]$$

$$t_{\text{FORT}} \sim 1.9 [\text{sec}]$$

$$\Rightarrow \frac{t_{\text{MT}}}{t_{\text{FORT}}} \sim 3.8$$

ロスの原因

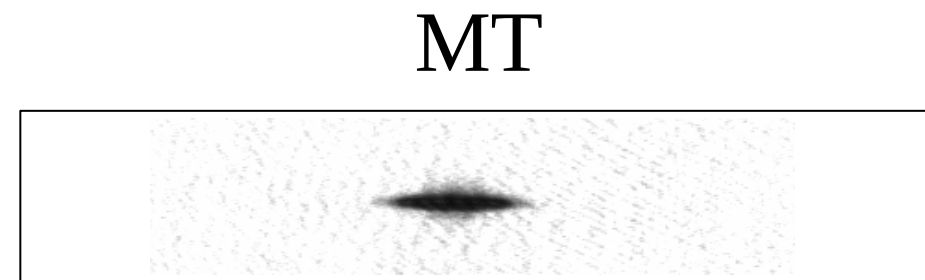
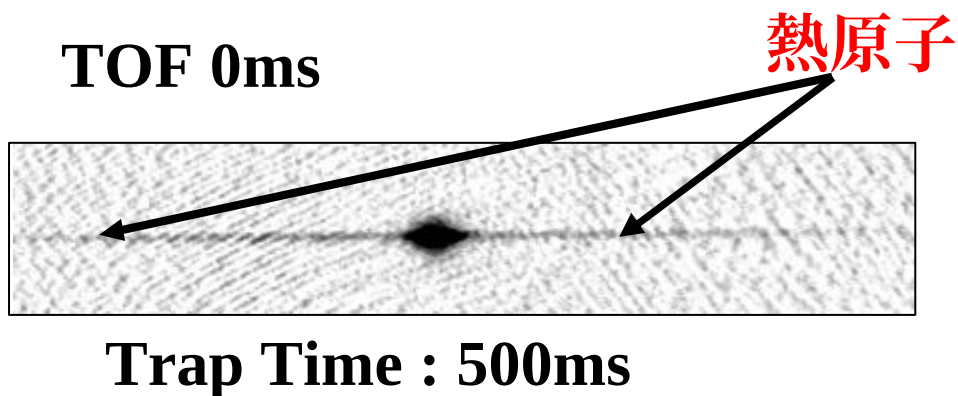
加熱

① 光の吸収

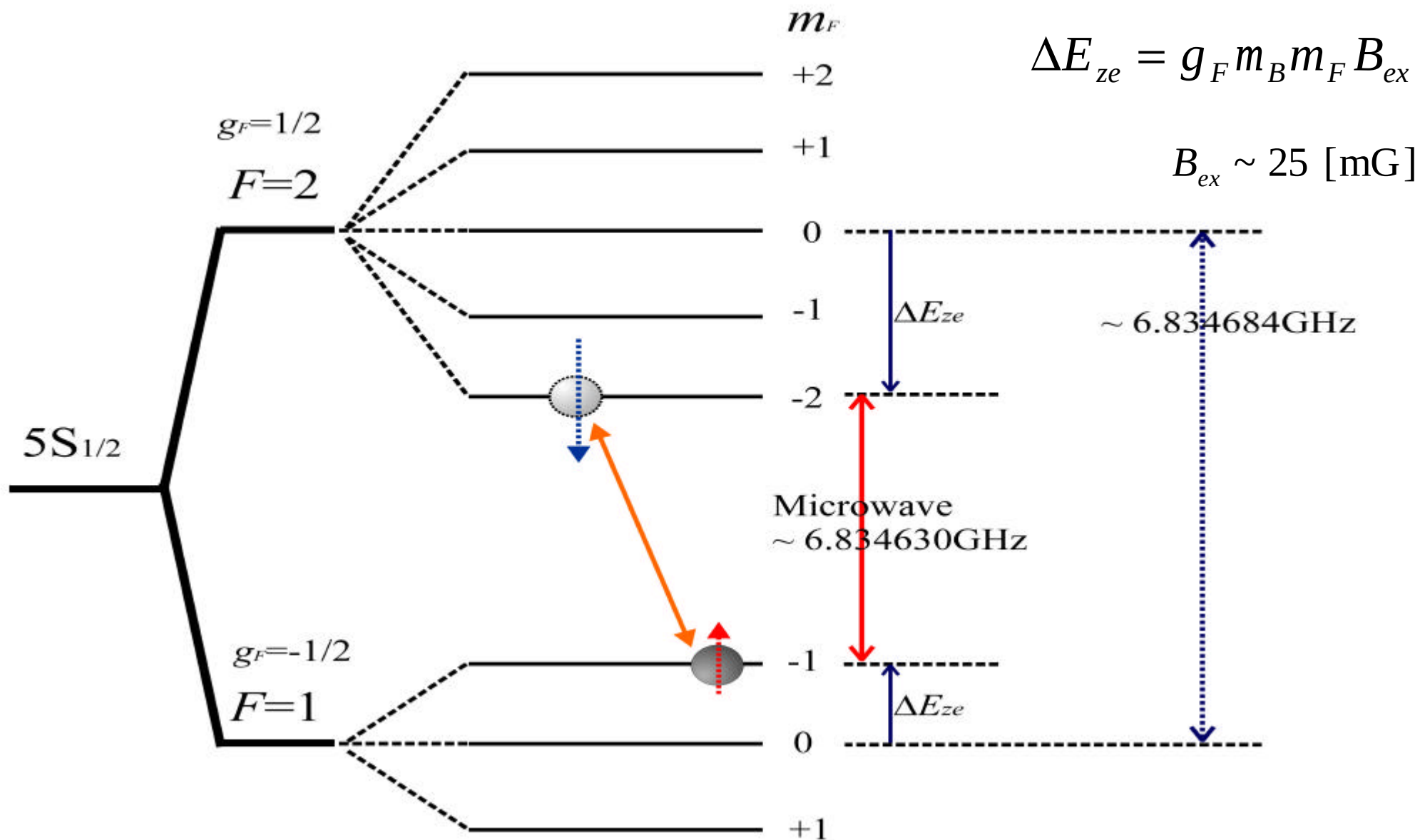
光散乱レート ~ 560 [sec] $\Rightarrow$ ほとんど無視

② 位置揺らぎ、パワー揺らぎ？

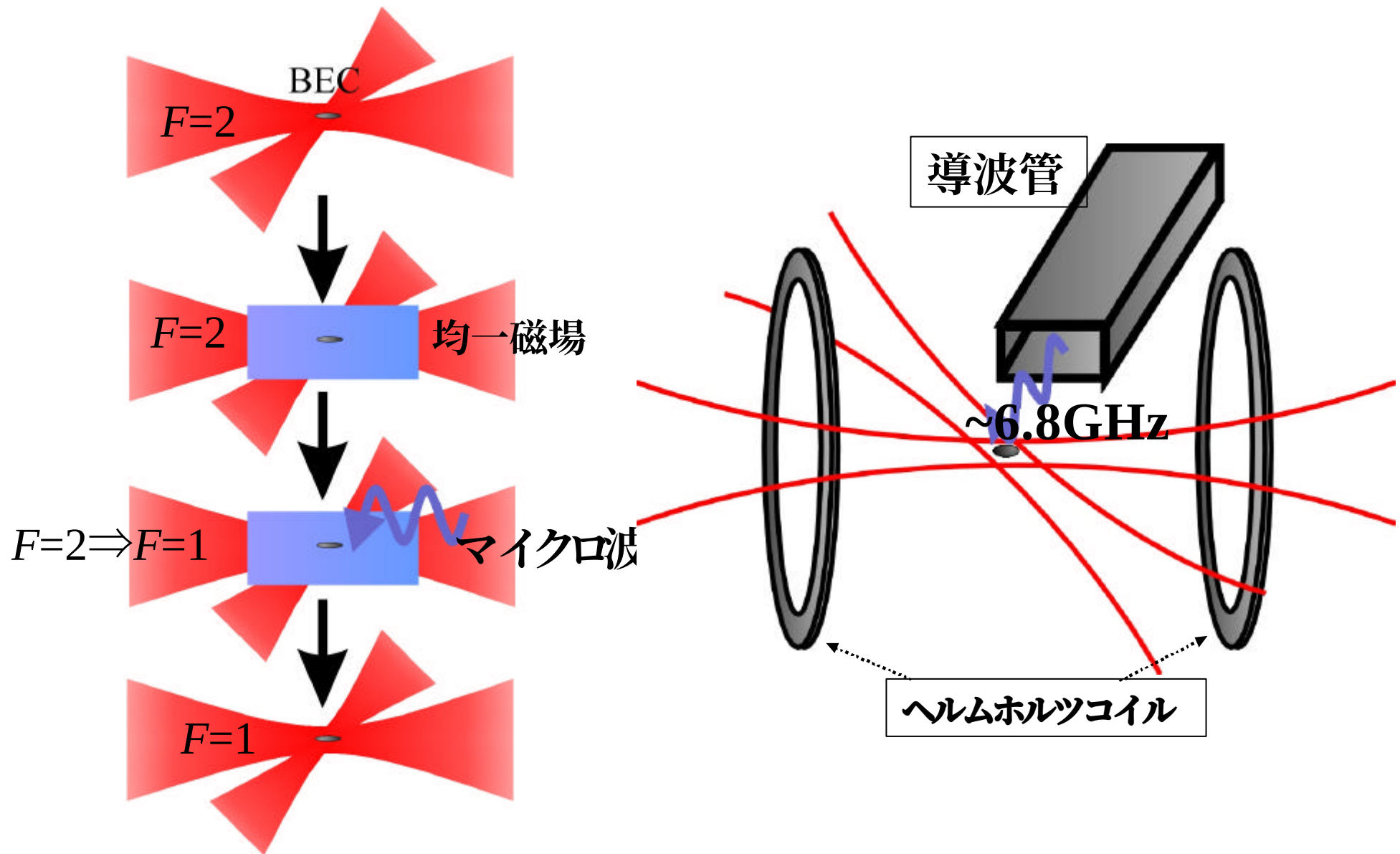
③ 残留ガス？



$F=2 \Rightarrow F=1$ の BEC 生成

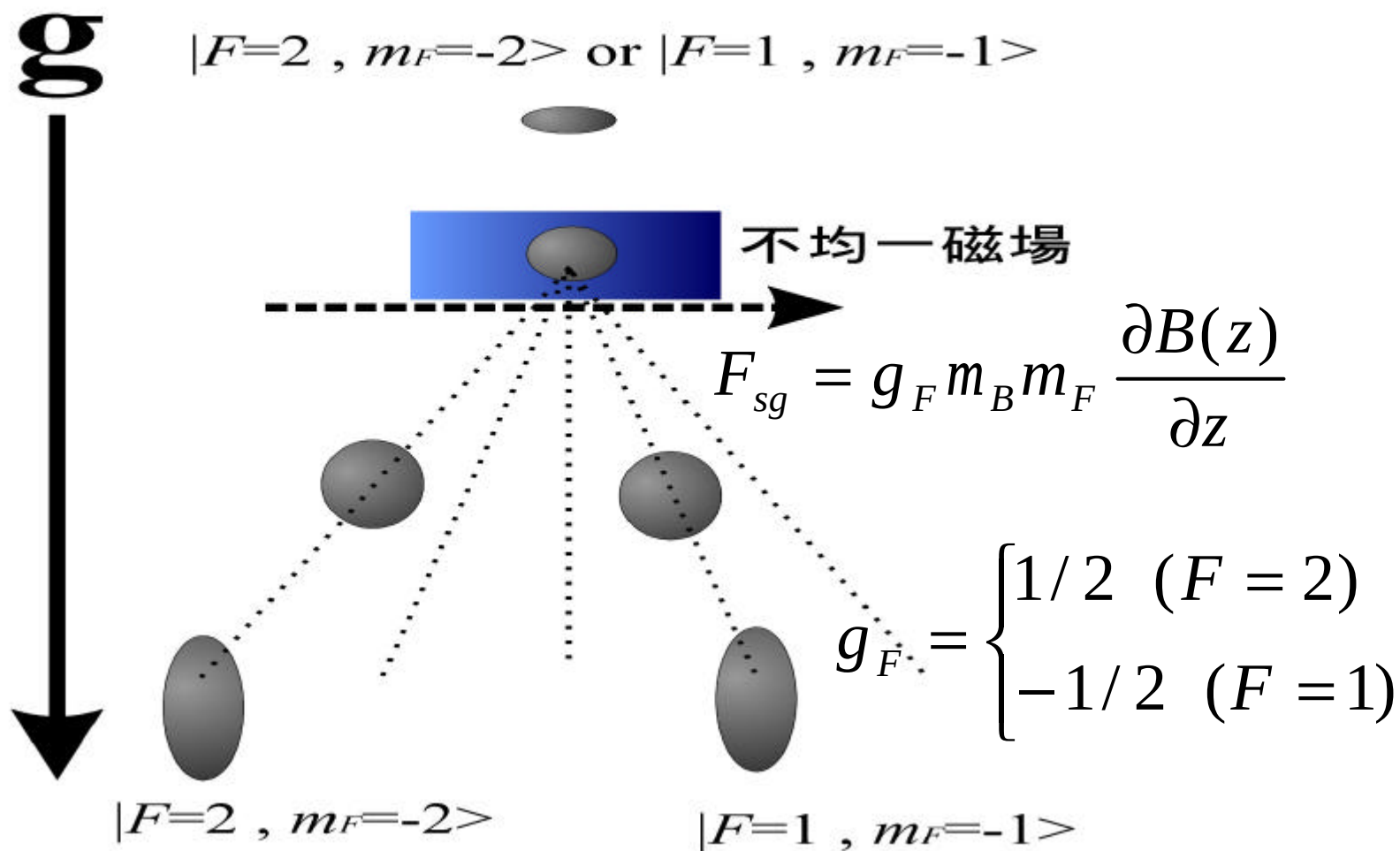


$F=2 \Rightarrow F=1$ の BEC 生成手順



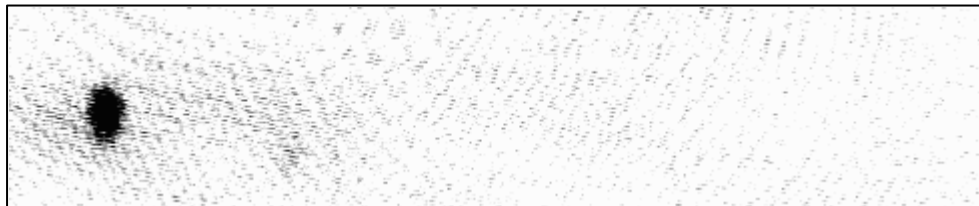
$F=2, F=1$ BECの測定法

Stern-Gerlach法 TOF



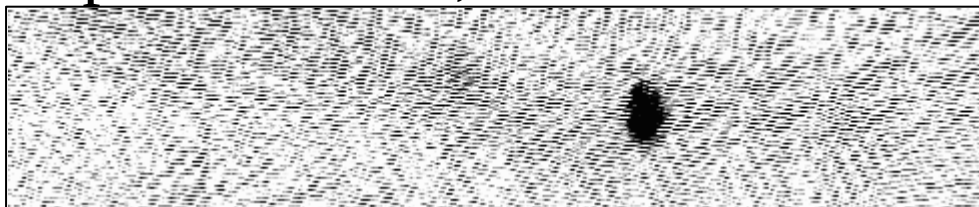
$F=1, F=2$ BEC TOF イメージング

Trap time:10ms, TOF:21ms



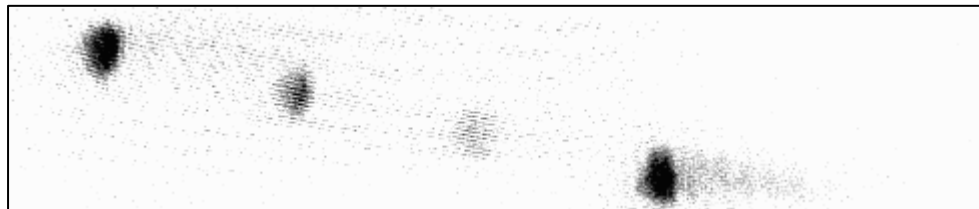
$|2, -2\rangle$

Trap time:10ms, TOF:21ms



$|1, -1\rangle$

Trap time:30ms, TOF:20ms



$|2, -2\rangle + |1, -1\rangle$

まとめ

① **Crossed-FORT**

FORT : $\sim 5 \times 10^5$ [atoms] **MT** : $\sim 1.0 \times 10^6$ [atoms])

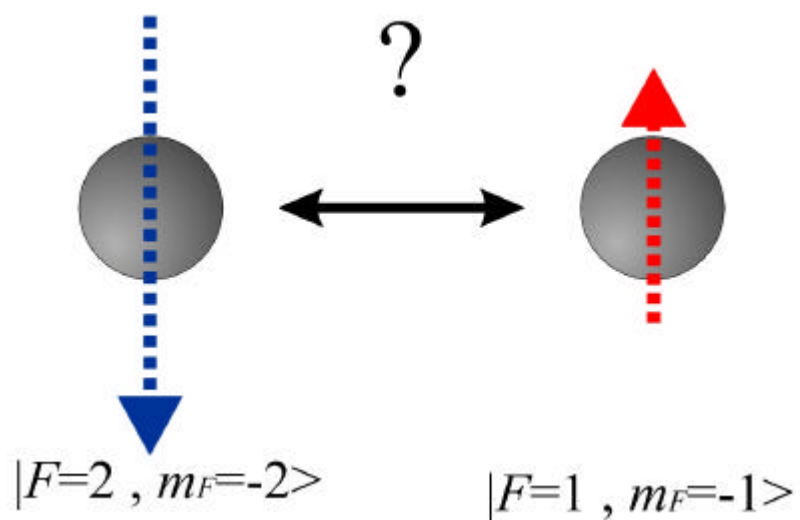
② **Crossed-FORT**中の**BEC**の寿命測定

$$t_{\text{FORT}} \sim 1.9 \text{ [sec]}$$

③ $|2, -2\rangle$ 、 $|1, -1\rangle$ 、 $|2, -2\rangle + |1, -1\rangle$ の **crossed-FORT**

展望

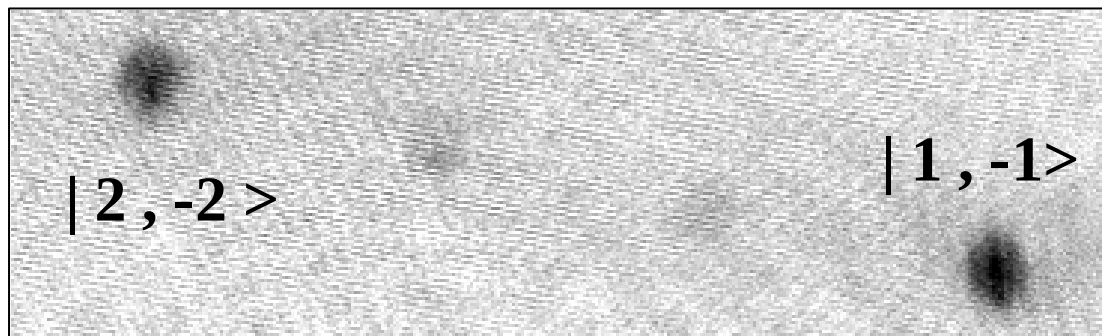
$|2, -2\rangle + |1, -1\rangle$ の相互作用



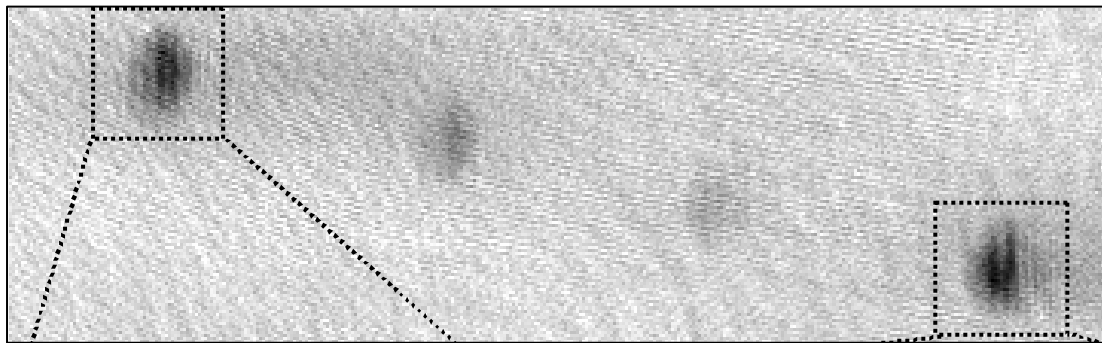
原子間相互作用
⇒ 相分離？

磁気モーメント
⇒ 磁場依存性？

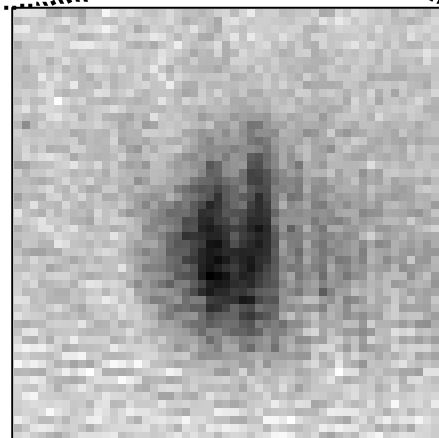
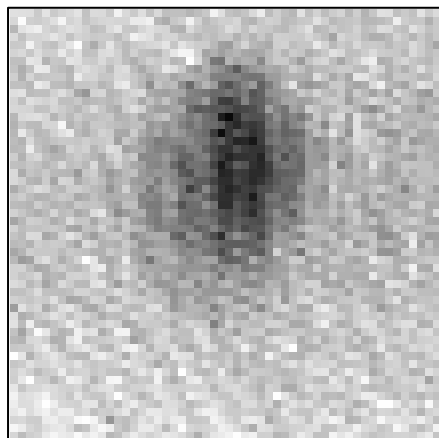
$|2, -2\rangle + |1, -1\rangle$ BECの時間発展



Trap time:0ms

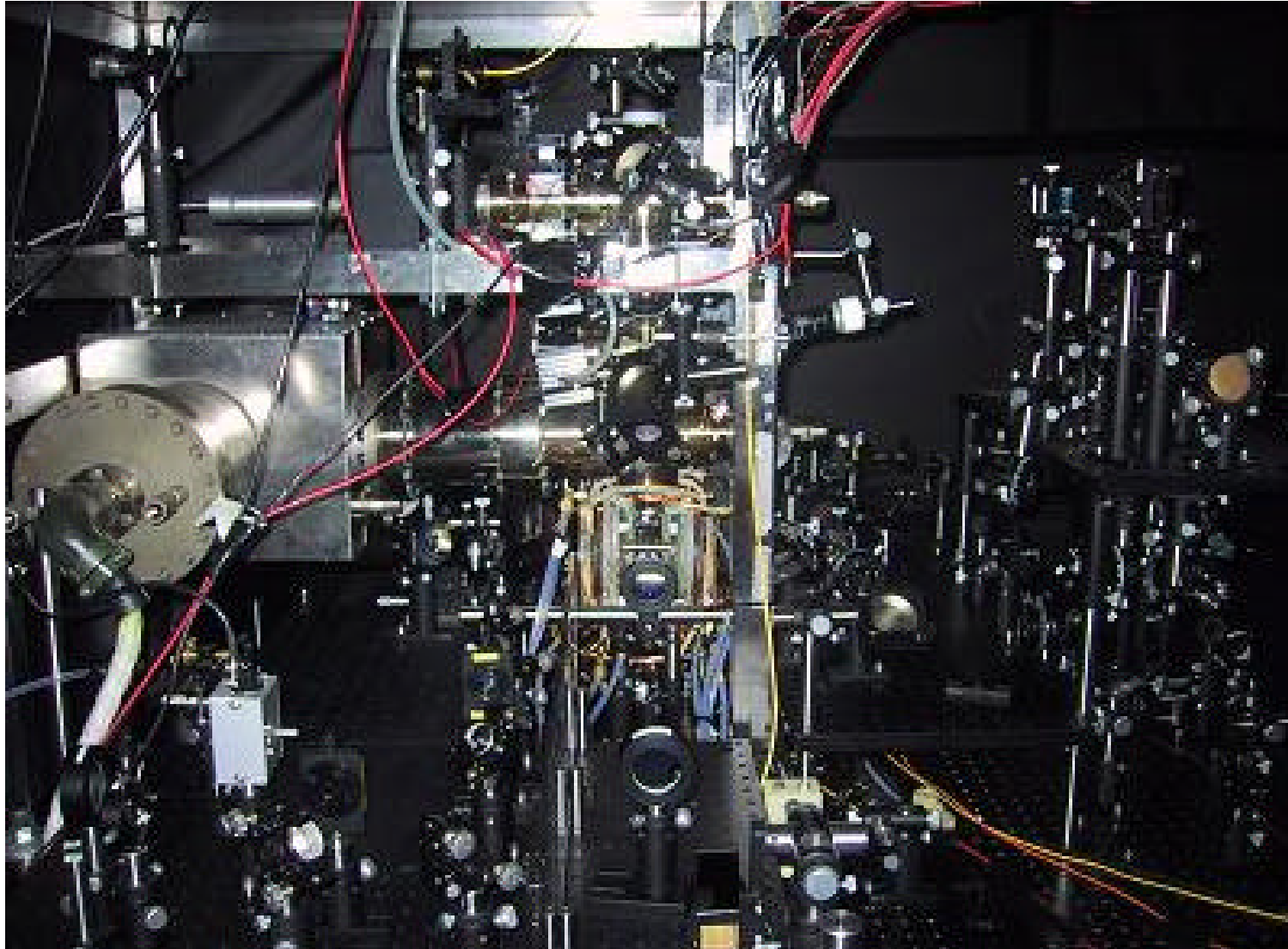


Trap time:50ms



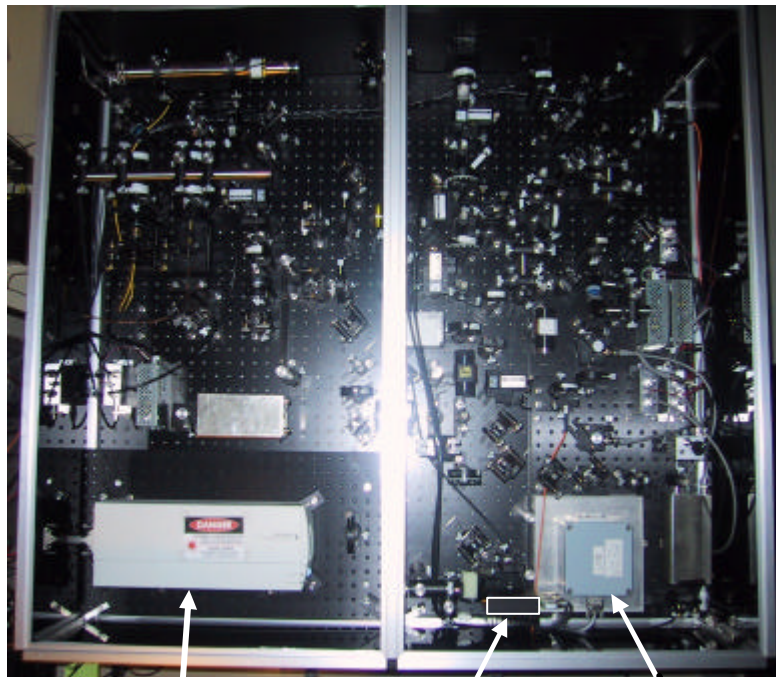
260 μm

実験装置 (1)



実験装置 (2)

Optics of laser system

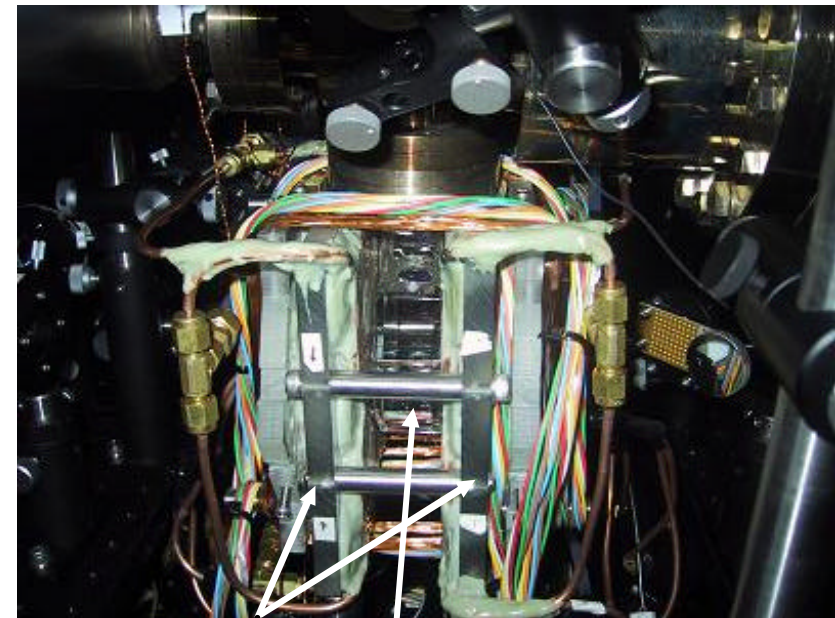


TC-40
(Lower MOT,
probe,pump, push)

slave laser
(Upper MOT)

ECLD
(repump)

Magnetic trap coil



coil

cell