

8aWE 8

ボース凝縮体の光双極子力トラップ

Optical Dipole Force Trap of Bose-Einstein Condensates

学習院大学 平野研究室
荒木幸治、江野高広、菊地夏紀、
桑本剛、平野琢也

概要

< 目標 >

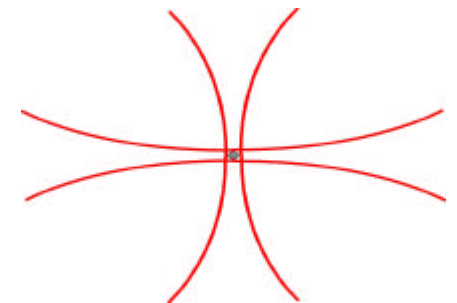
^{87}Rb , $F=2$ における **スピン自由度を持つボース凝縮体 (BEC)**

手段 : **光双極子カトラップ**

(**Far Off Resonance optical dipole force Trap : FORT**)

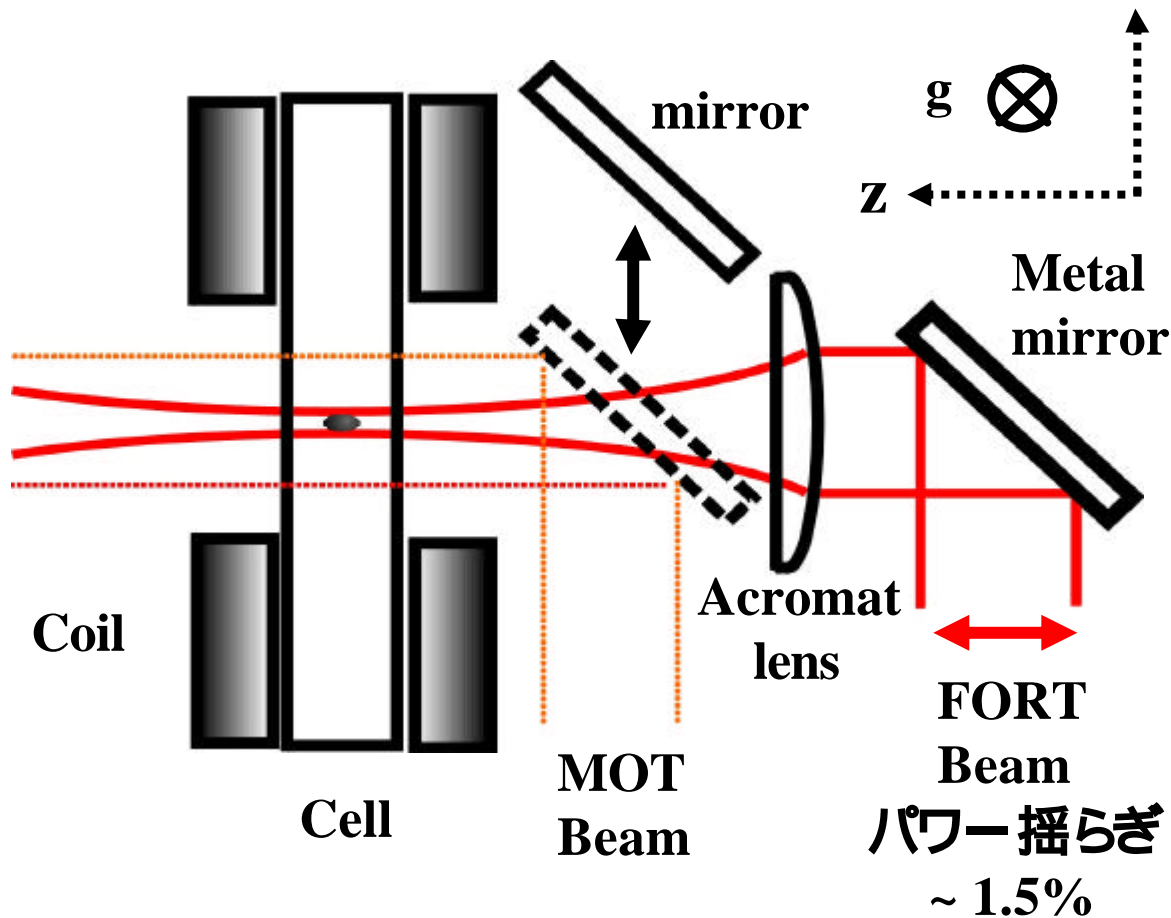
< 今回 > (^{87}Rb , $F=2$, $m_F=2$)

- **Single-FORT** : レーザー光1本型
 - **Crossed-FORT** : レーザー光2本交差型
- BECの寿命測定**



Single-FORT光学系

MOT PGC MT Evaporative Cooling BEC



~ 845 [nm], P ~ 8.8 [mW]
 $w(1/e^2 \text{ radius}) \sim 2.3$ [mm]
 $f=200$ [mm]

計算

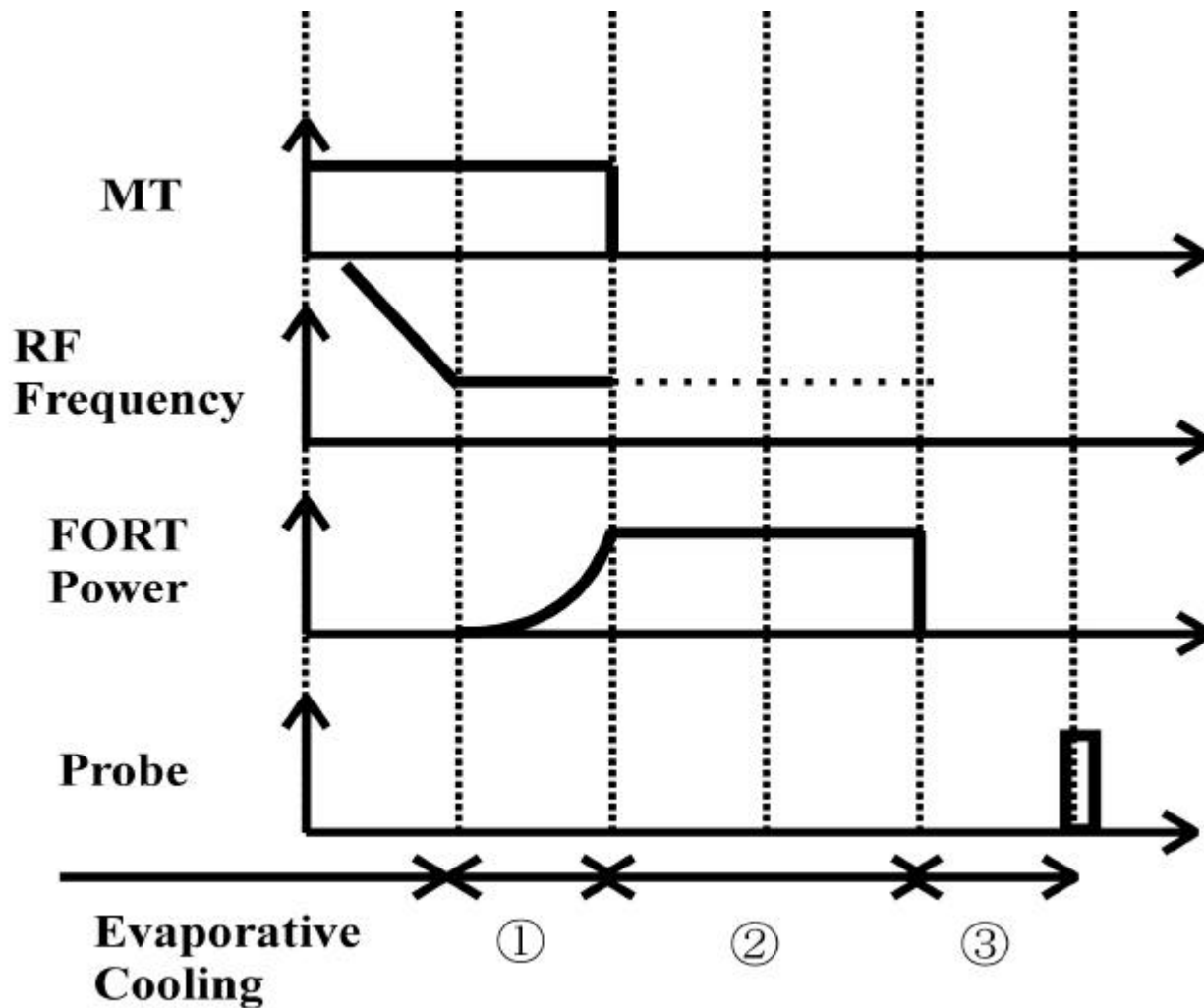
$w_0(1/e^2 \text{ radius}) \sim 24$ [μm]
 $U_0 \sim 1.9$ [μK]
 $\sim 2 \times 271$ [Hz]
 $z \sim 2 \times 2.2$ [Hz]
 $/ z \sim 120$

磁気トラップ: $\sim 2 \times 155$ [Hz], $z \sim 2 \times 15$ [Hz], $/ z \sim 10$

12倍

FORT Time Table

MOT PGC MT Evaporative Cooling FORT



Ramp up time

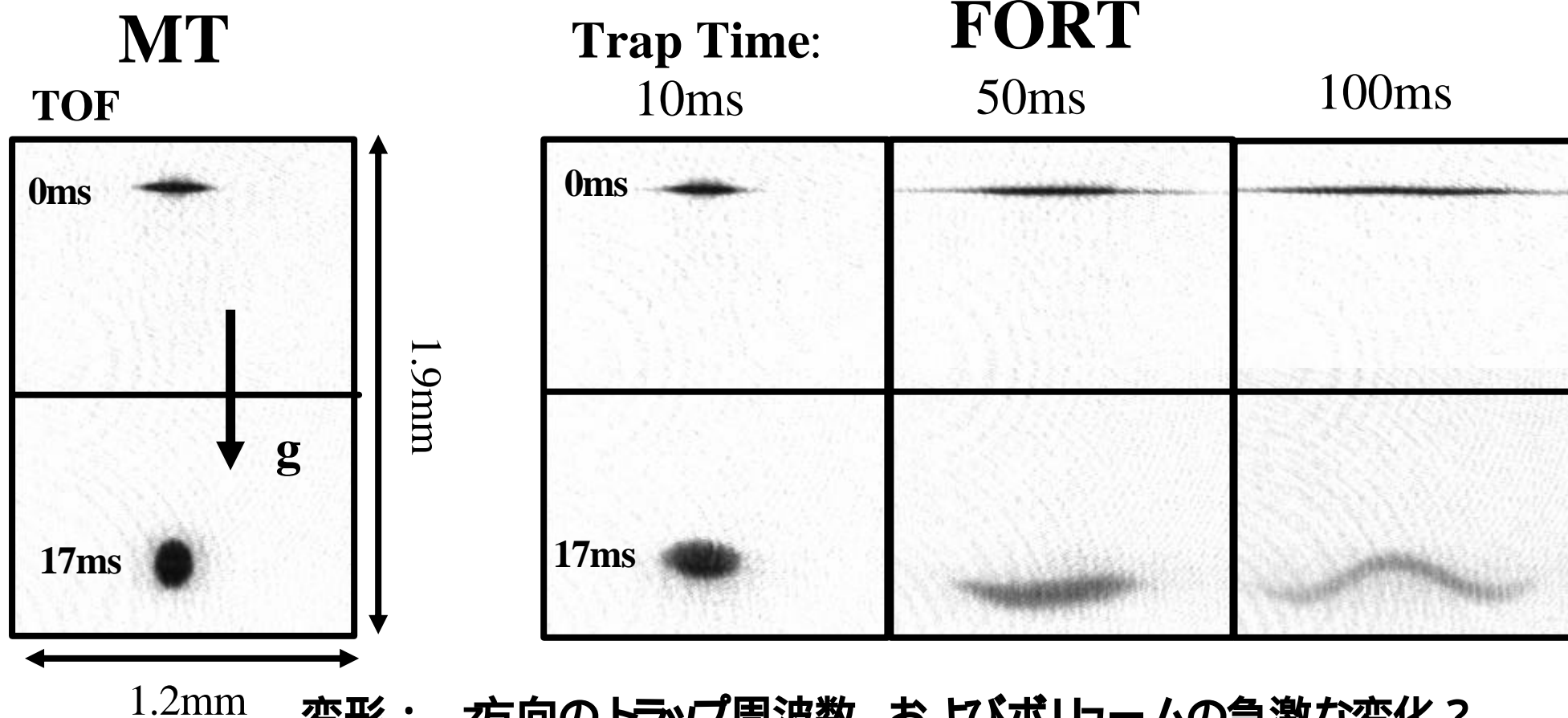
FORT trap time

Time-Of-Flight

(TOF)

= 50 ~ 200 ms

Single-FORT TOF Imaging

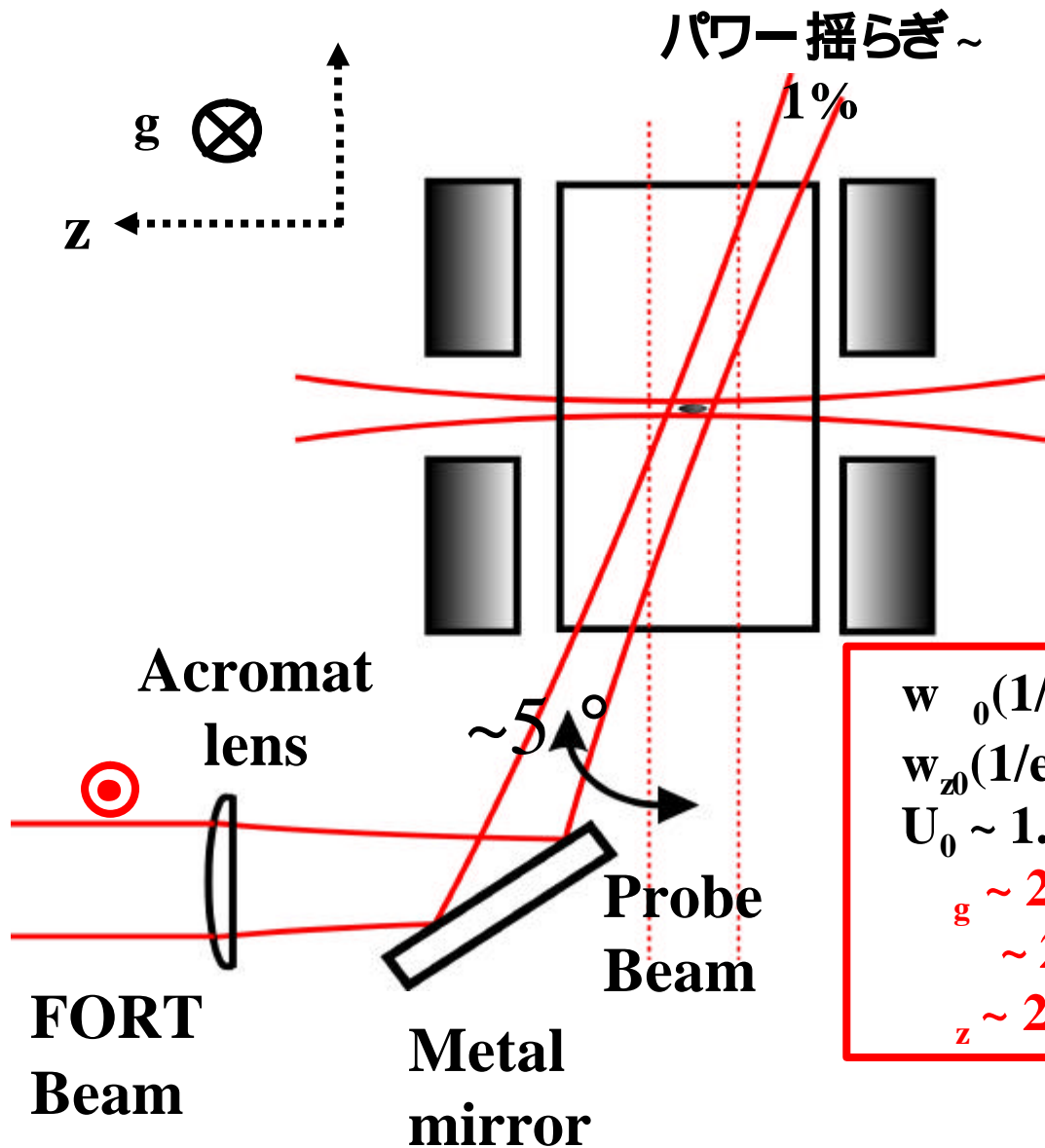


変形： 方向のトラップ周波数、およびボリュームの急激な変化？

MTとFORTの中心および軸のミスマイメント？

対策：方向の広がりを抑える **Crossed-FORT**

Crossed-FORT光学系



方向

$\lambda_1 \sim 845$ [nm], $P_1 \sim 6.8$ [mW]
 w_1 (1/e² radius) ~ 2.3 [mm]
 $f_1 \sim 200$ [mm]

方向

$\lambda_2 \sim 851$ [nm], $P_2 \sim 10.6$ [mW]
 w_2 (1/e² radius) ~ 1.5 [mm]
 $f_2 \sim 500$ [mm]

w_0 (1/e² radius) ~ 24 [μ m]
 w_{z0} (1/e² radius) ~ 90 [μ m]
 $U_0 \sim 1.0$ [μ K]

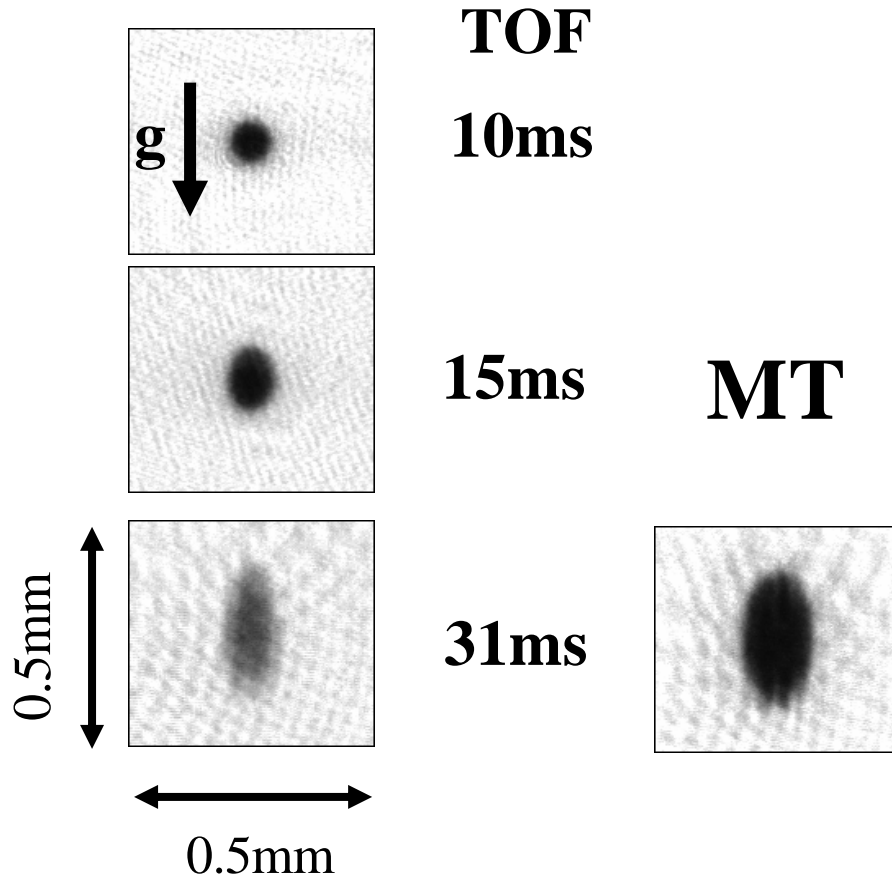
$g_x \sim 2 \times 230$ [Hz]
 $g_y \sim 2 \times 244$ [Hz] (g_z)^{1/2} / $z \sim 11$
 $g_z \sim 2 \times 21$ [Hz]

磁気トラップ: / $z \sim 10$

Crossed-FORT TOF Imaging

Crossed-FORT

Trap Time : 500ms



Crossed-FORT

幾何平均トラップ周波数

計算値

$$\bar{\omega}_{\text{FORT}} \sim 2p \times 10^6 \text{ [Hz]}$$

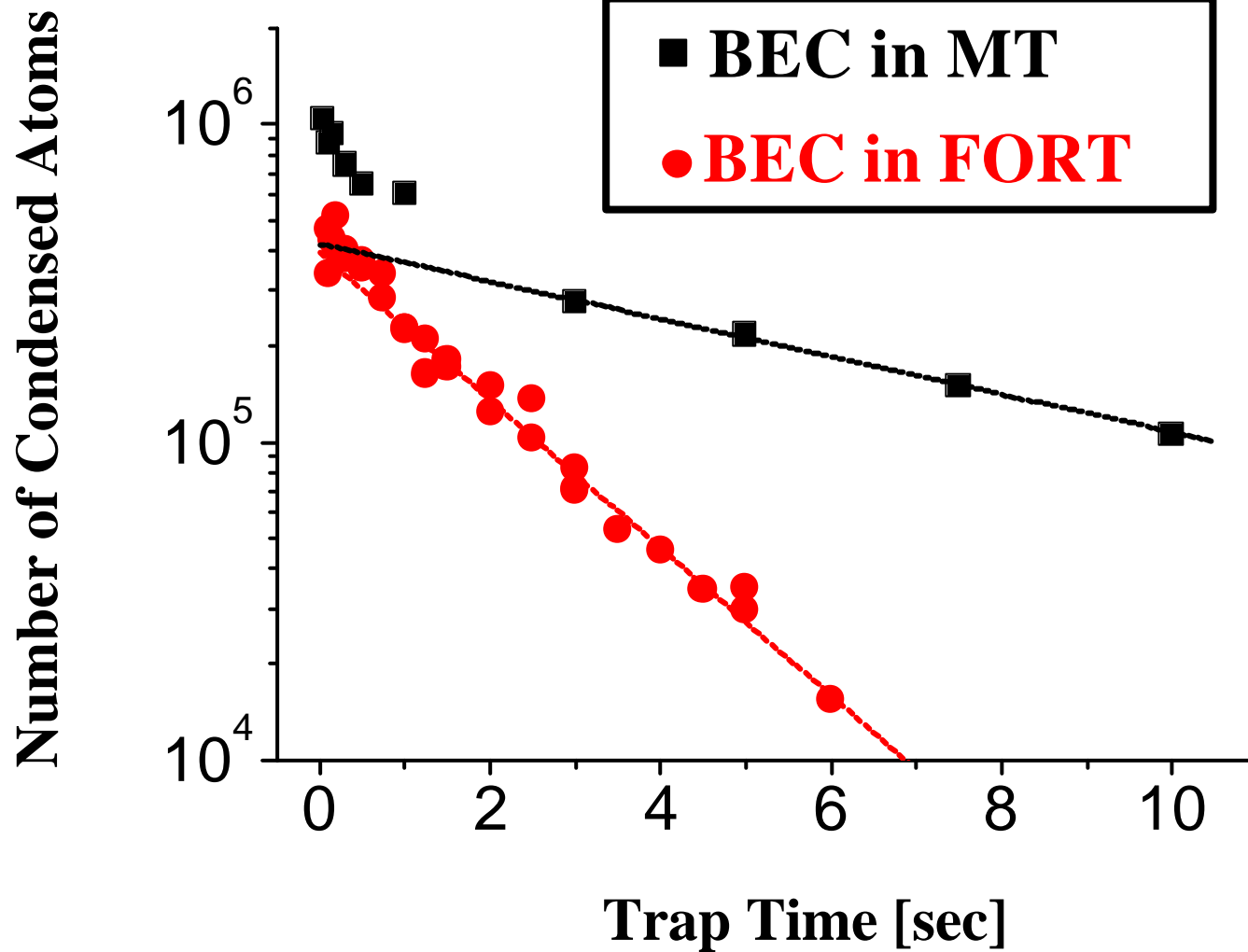


MT

実験値

$$\bar{\omega}_{\text{MT}} \sim 2p \times 71 \text{ [Hz]}$$

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

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

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

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

$$U_{\text{FORT}} \sim 1.0 [\text{mK}]$$

$$U_{\text{MT}} \sim 1.2 [\text{mK}]$$

Trap Loss (Crossed-FORT)

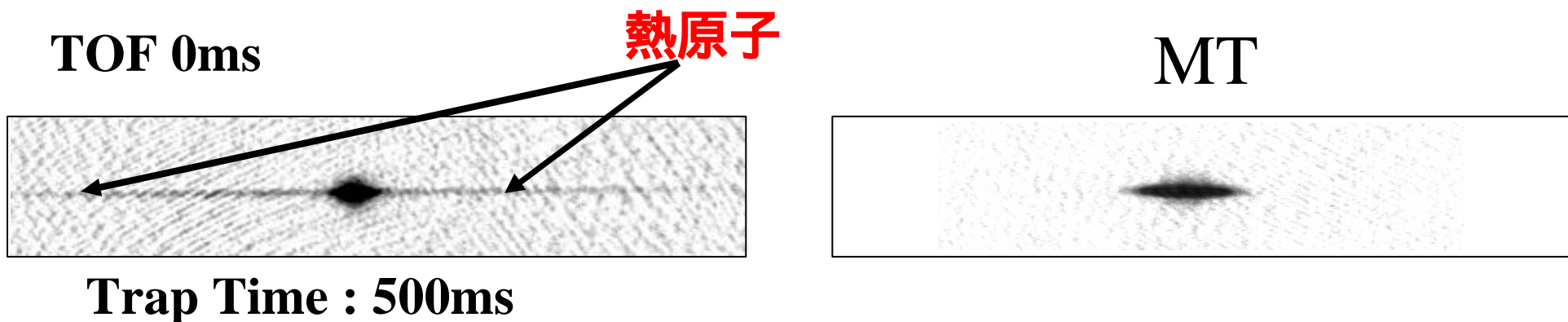
1 .加熱？

光の吸収

光散乱レート ~ 560 [sec] ほとんど無視

位置揺らぎ、パワー揺らぎ : 1~ 2% ?

2 .残留ガス？



まとめ

Single-FORT **BECの変形**

考察および実験中

Crossed-FORT **磁気トラップと類似**

FORT 6×10^5 [atoms] (MT : 1.2×10^6 [atoms])

Crossed-FORT中の**BECの寿命測定**

ロス **磁気トラップの3.8倍**

今後：

FORT中の $F=2, m_F=0, \pm 1$ の寿命

スピン自由度を持つBECの振る舞い

光双極子力 (Optical Dipole Force)

光 原子 相互作用

光散乱力 (吸収 加熱あり)

光双極子力 (分散 加熱なし)

$$U_{scat} \propto \frac{I}{d^2}$$

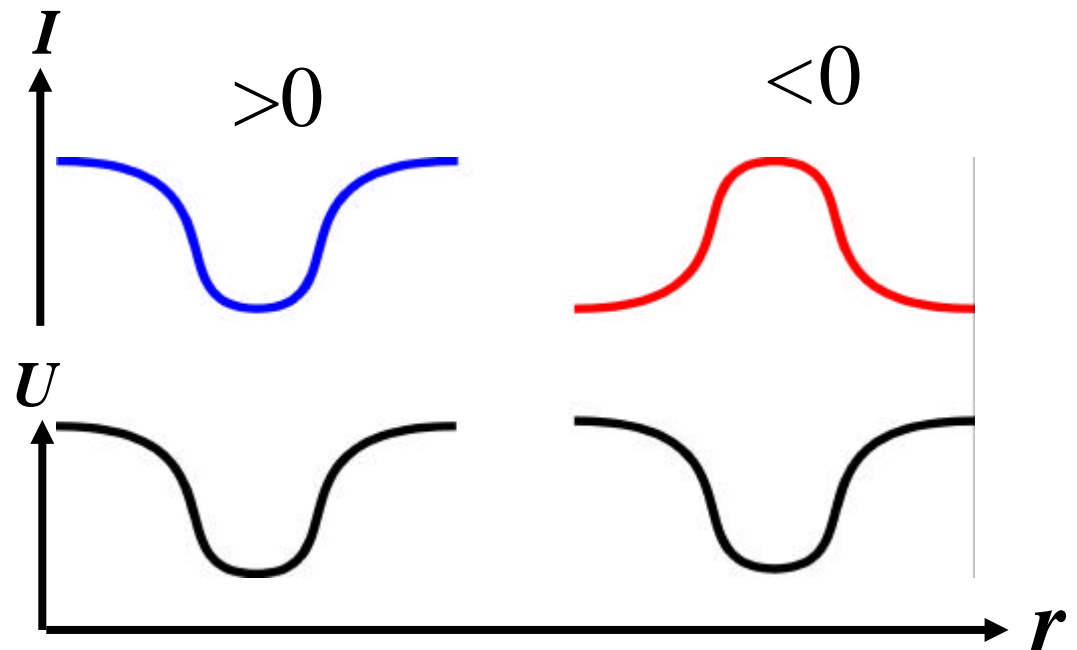
$$U_{dip} \propto \frac{I}{d}$$

$|d| \rightarrow \text{大} \rightarrow U_{dip} \gg U_{scat}$

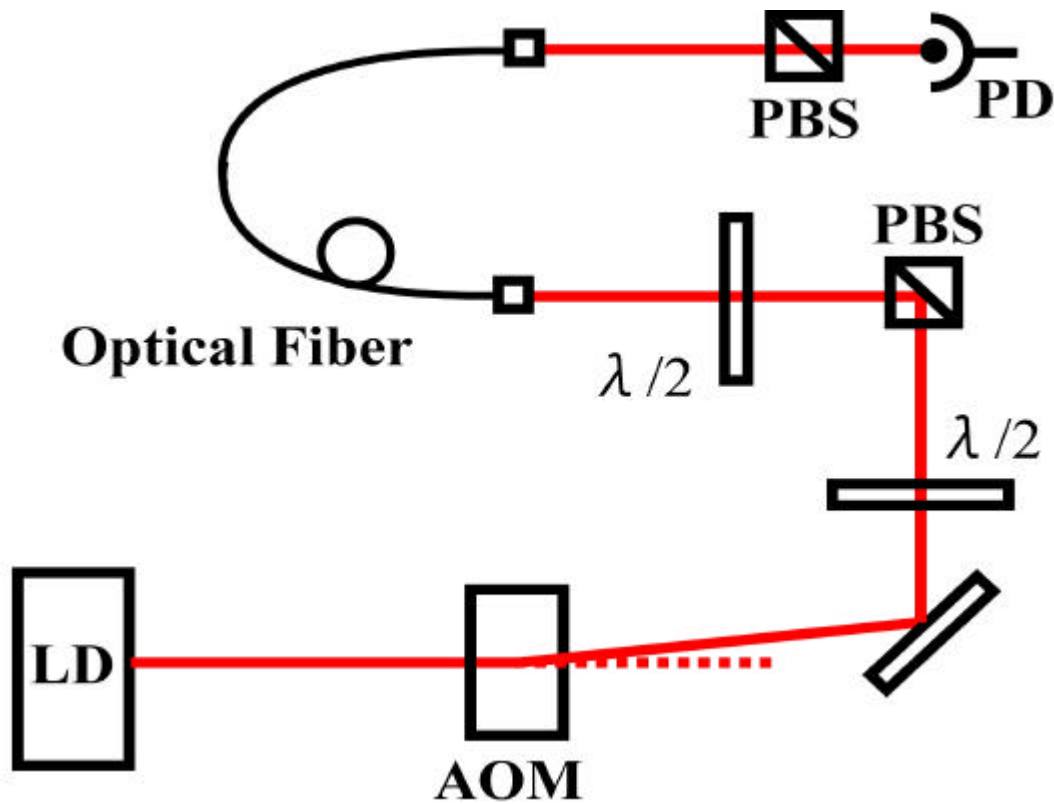
トラップするには？

$d > 0$ $I(r)$: 空間 r で極小値

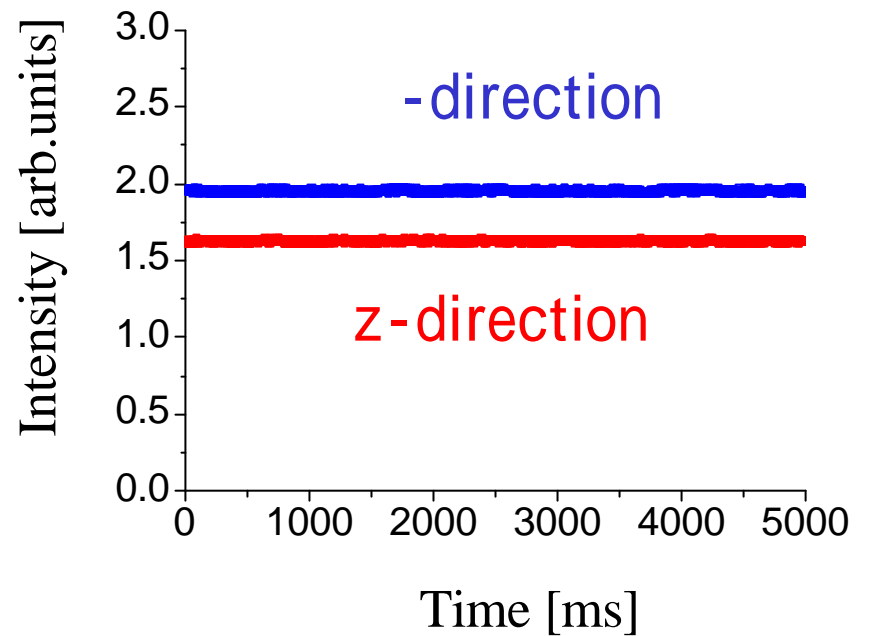
$d < 0$ $I(r)$: 空間 r で極大値



FORT光源



$P_{\max} \sim 100$ [mW]
 $\sim 845, 851$ [nm]
< 0 red tune

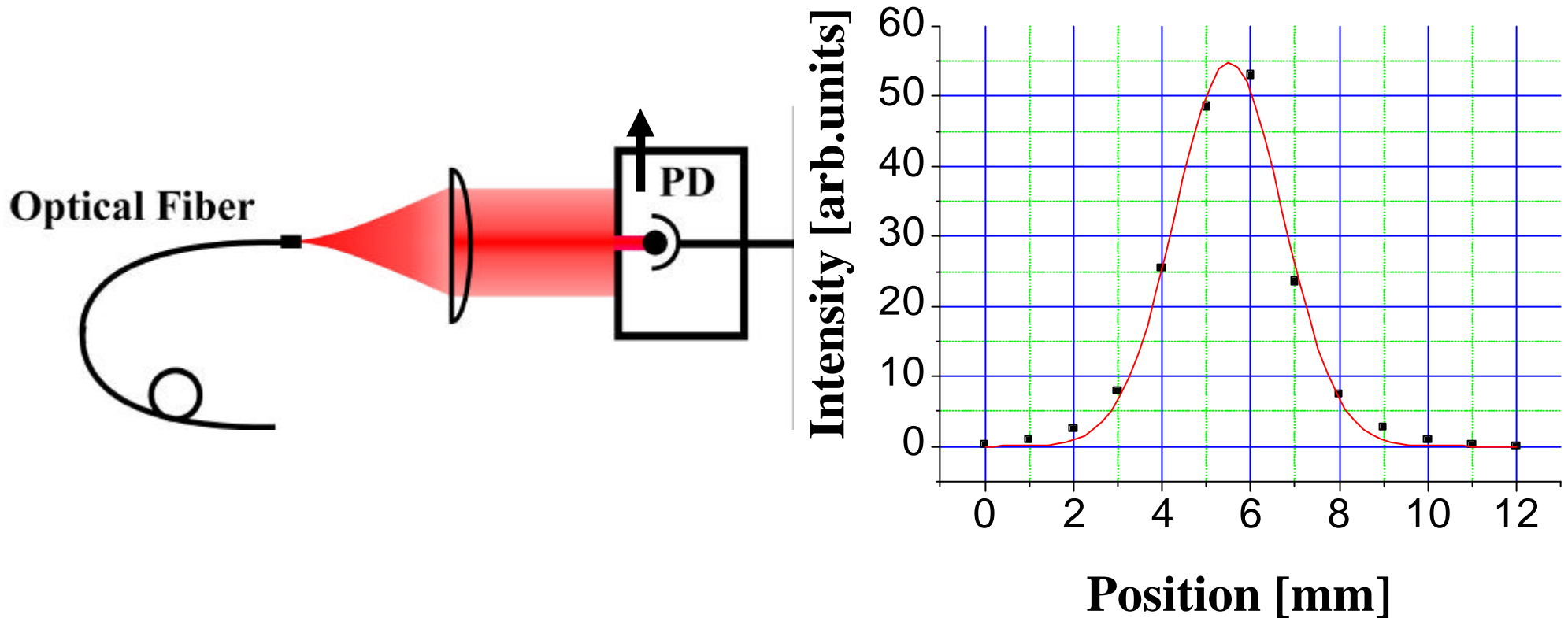


パワー揺らぎ

r < 1.2%

z < 1.5%

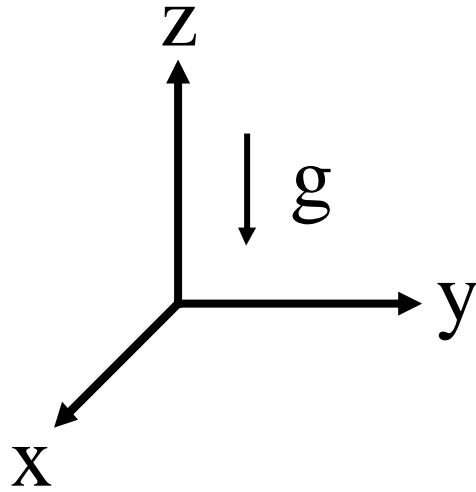
Beam profile



z 方向レーザー 1 : w_1 ($1/e^2$ radius) ~ 2.3 [mm]

方向レーザー 2 : w_2 ($1/e^2$ radius) ~ 1.5 [mm]

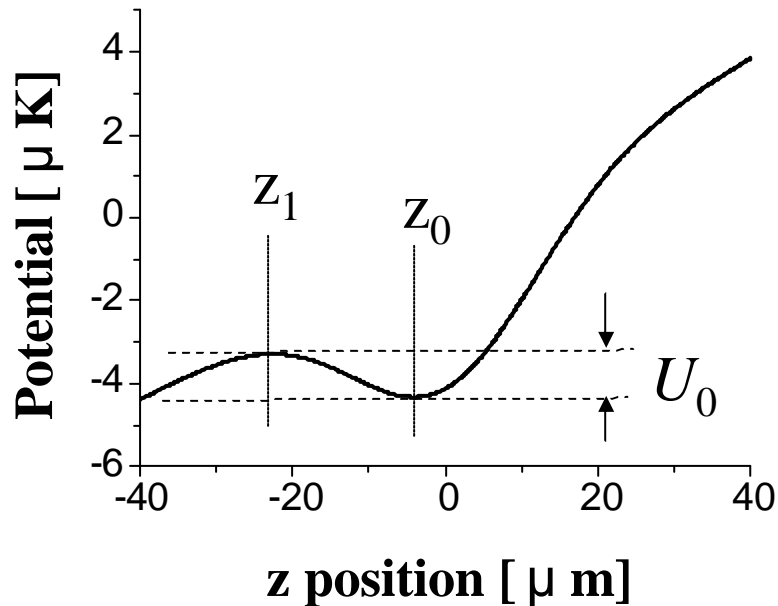
Trap Potential (dipole force & gravity)



$$U(x, y, z) = U_{dip}(x, y, z) + U_g(z)$$

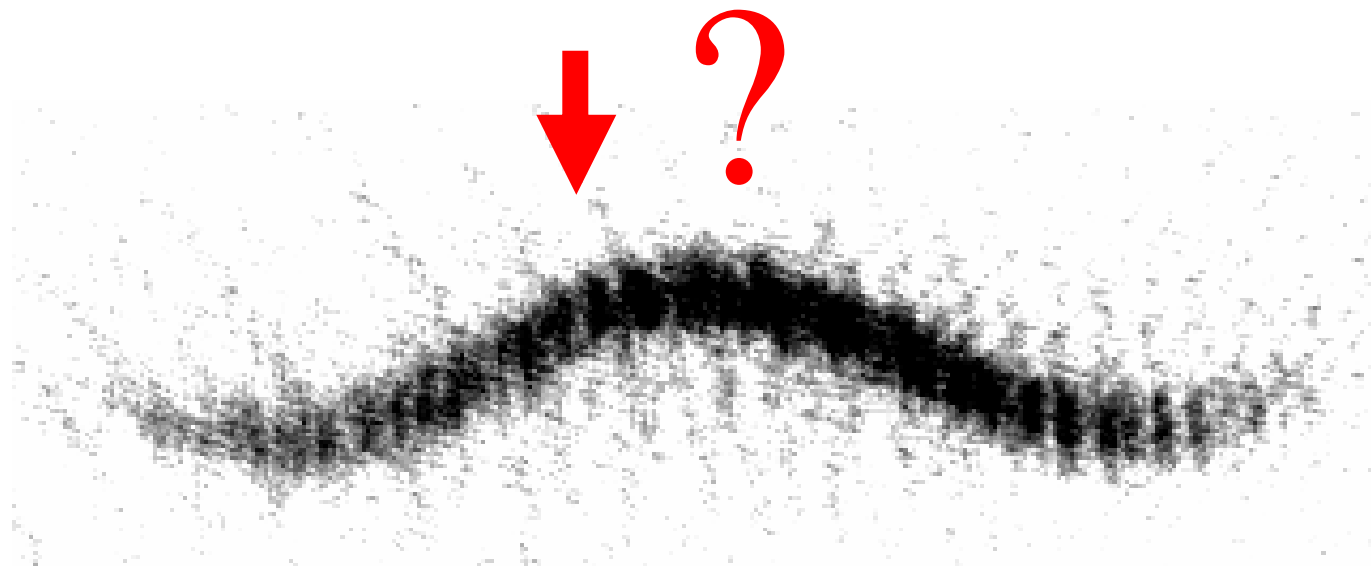
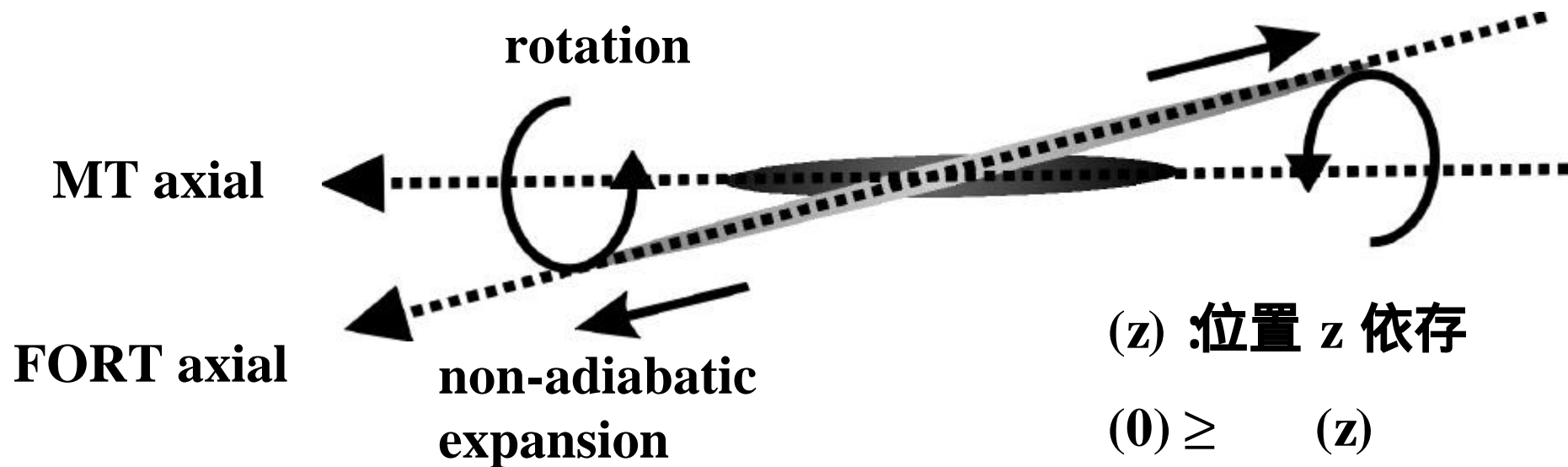
$$\frac{\partial U(0,0,z)}{\partial z} = 0 \Rightarrow z = z_0, z_1$$

$$U_0 = U(0,0,z_1) - U(0,0,z_0)$$



$$w_z = \sqrt{\frac{\partial^2 U(0,0,z_0)}{\partial z^2}} / m$$

Single-FORT 時間発展



Trap Loss (three-body decay)

J. Söding *et al.* :Appl. Phys. B69, 257 (1999)

ロス 非弾性散乱 + バックグラウンドガス

^{87}Rb , $F=2$ のとき非弾性散乱は、3体衝突が主に占める

< ロスレート方程式 >

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = \underbrace{-K_3 \langle n^2 \rangle}_{=0} - K_1 \quad \longrightarrow \quad \ln N = -K_1 t$$

K_3 : 三体衝突ロスレート

$K_1 = t^{-1}$: バックグラウンドガスとの衝突ロスレート

n : 原子密度