

# 均一幅と不均一幅

## 均一幅

(homogeneous width)

- ・自然幅
- ・衝突(圧力)広がり
- ・相互作用時間  
(フーリエ限界幅)

どの原子も同じ

## 不均一幅

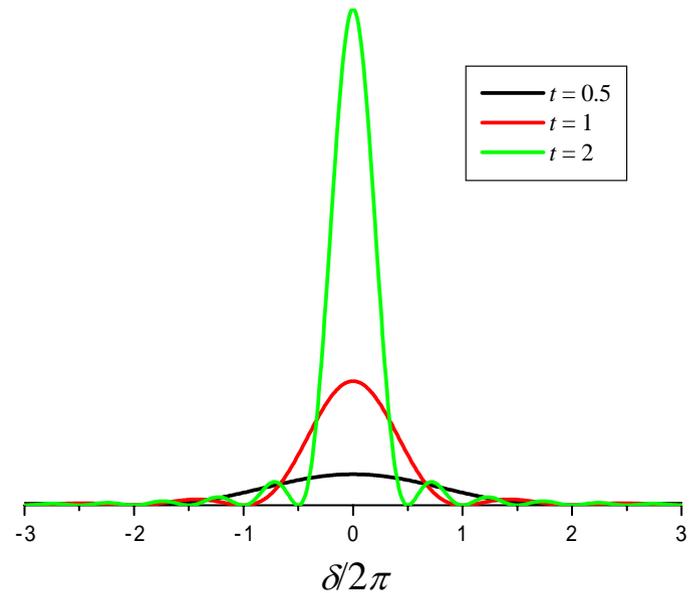
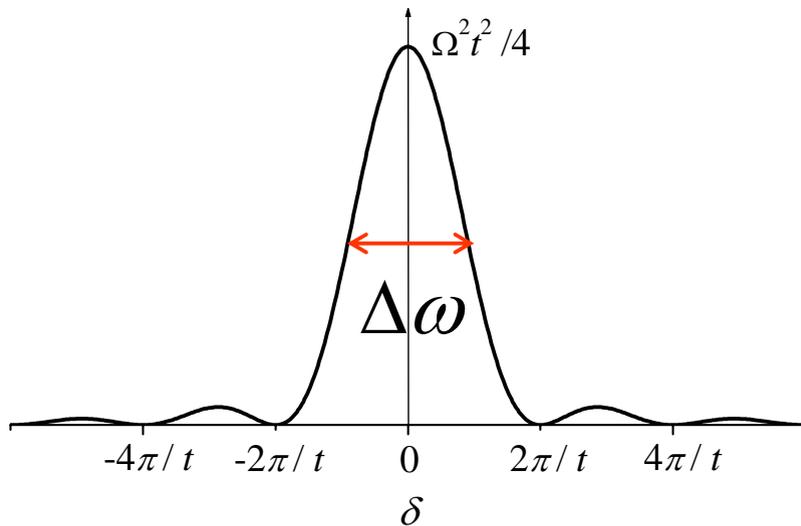
(inhomogeneous width)

- ・ドップラー広がり
- ・環境(磁場、電場)  
の不均一

原子ごとに 異なる

# 有限な相互作用時間による幅 (フーリエ限界幅)

$$|C_2(t)|^2 = \Omega^2 \frac{\sin^2(\delta t/2)}{\delta^2}$$



$$\Delta\omega \approx \frac{2\pi}{t} \Leftrightarrow \Delta\omega \cdot t \approx 2\pi$$

時間と周波数(エネルギー)の不確定性

# ドップラー広がり

## ドップラーシフト

$$\omega_A = \omega_0 + \mathbf{k} \cdot \mathbf{v} = \omega_0 + kv \quad \begin{array}{l} v \text{ はレーザー光の進行} \\ \text{方向の速度成分とする} \end{array}$$

## Maxwell-Boltzmann分布

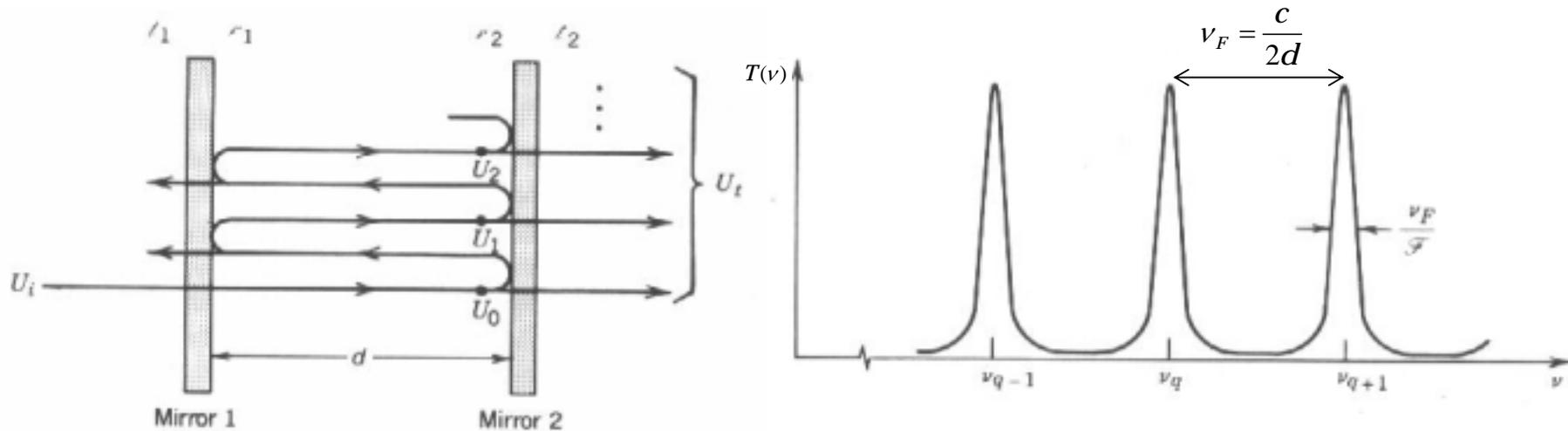
$$f(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}v_{\text{RMS}}} \exp\left(-\frac{v^2}{2v_{\text{RMS}}^2}\right) \quad v_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{k_B T}{m}}$$

$$\sigma_D(\delta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(v) \sigma(\delta - kv) dv \quad (\text{合成積})$$

$$\xrightarrow{\gamma \ll \Delta\omega_D} \frac{\sigma_0}{\sqrt{2\pi}\Delta\omega_D} \cdot \frac{\gamma}{\pi} \exp\left(-\frac{\delta^2}{2(\Delta\omega_D)^2}\right) \quad \Delta\omega_D \equiv kv_{\text{RMS}}$$

# 光共振器の基礎知識

# Fabry-Perot(ファブリペロー)共振器



$$T(\nu) \equiv I_t / I_i = \frac{T_{\max}}{1 + (2F / \pi)^2 \sin^2(\pi\nu / \nu_F)}$$

$$T_{\max} = \frac{|t^2|}{(1-r)^2}, \quad t \equiv t_1 t_2, \quad r = r_1 r_2$$

$$F = \frac{\pi r^{1/2}}{1-r} \quad \text{ファイネス (finesse)} \quad \nu_F \equiv \frac{c}{2d} \quad \text{FSR (Free Spectral Range)}$$

# 共振器のロスとフィネスの関係

## 1 往復後の強度減衰定数

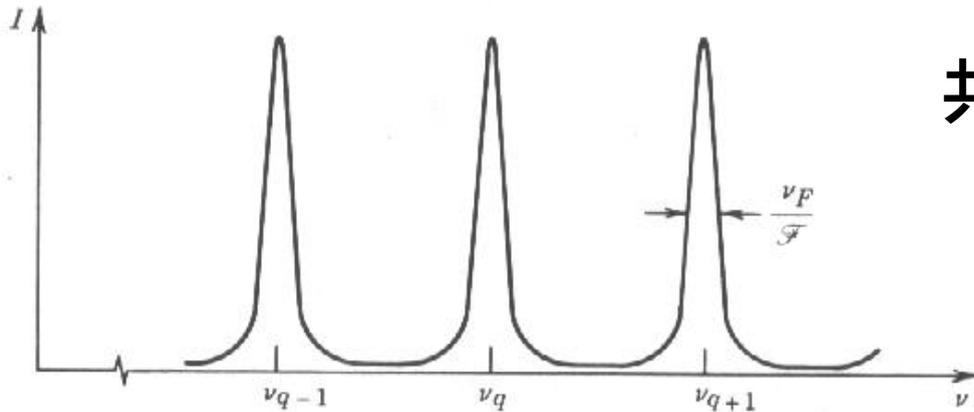
$$r^2 = R_1 R_2 \exp(-2\alpha_s d) = \exp(-2\alpha_r d)$$

$$\alpha_r = \alpha_s + \frac{1}{2d} \ln \frac{1}{R_1 R_2} \cong \alpha_s + \frac{1-R}{d}$$

$(R = R_1 = R_2 \cong 1)$

$$F \equiv \frac{\pi r^{1/2}}{1-r} = \frac{\pi \exp(-\alpha_r d / 2)}{1 - \exp(-\alpha_r d)} \cong \frac{\pi}{\alpha_r d}$$

# 共振器の共鳴幅と寿命の関係



共振幅

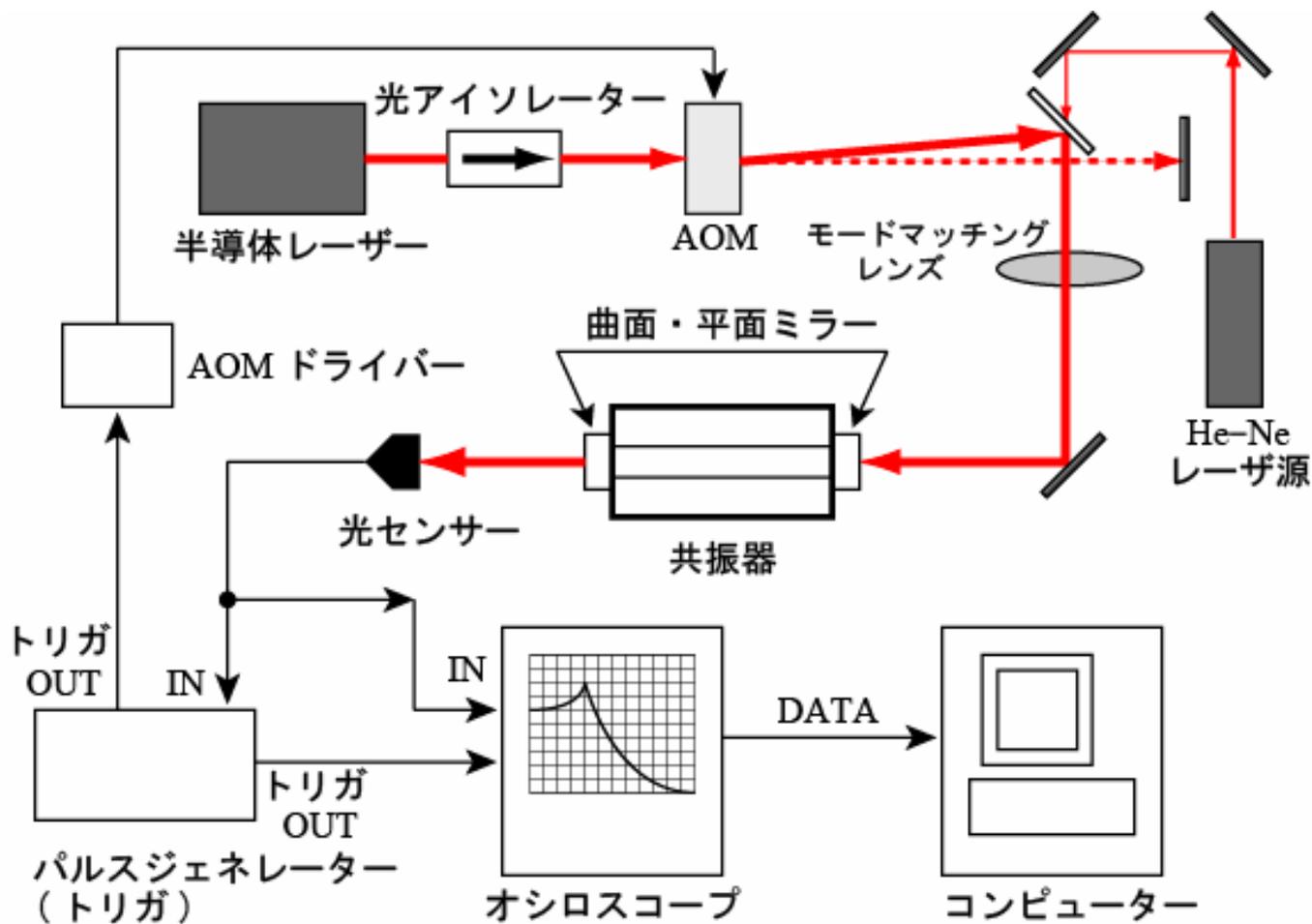
$$\Delta \nu = \frac{\nu_F}{F} = \frac{c\alpha_r}{2\pi}$$

共振器内の光子(電磁場のエネルギー)の寿命

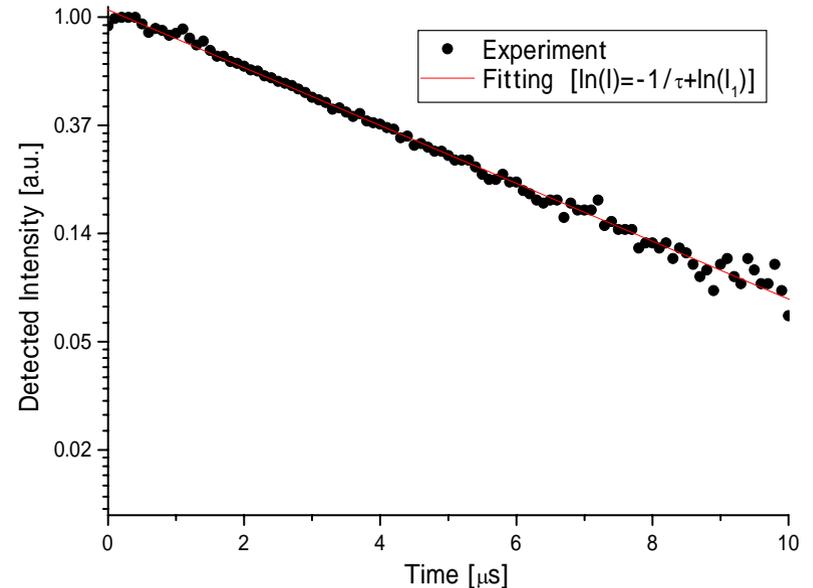
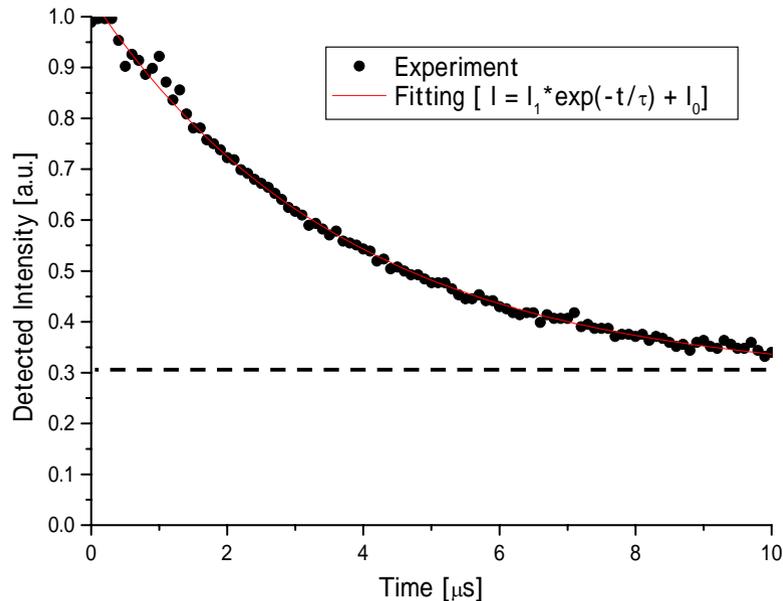
$$\tau_p = \frac{1}{c\alpha_r} \rightarrow 2\pi\Delta\nu = \Delta\omega = \frac{1}{\tau_p}$$

時間(寿命)とエネルギーの不確定性関係

# Ring-down法による 共振器の寿命測定



# Ring-down法による測定結果



減衰時定数 =  $3.6 \mu\text{s}$

反射率  $R = 0.999982$        $F = 1.7 \times 10^5$  ,  $Q = 4.4 \times 10^7$

透過率 14 ppm

損失 4 ppm (ミラー表面上における散乱、吸収)

# 共振器のQ値 (Quality Factor)

$$Q \equiv \frac{2\pi(\text{共振器に蓄えられたエネルギー})}{(\text{1サイクルあたりのエネルギー散逸})}$$

単位時間に散逸されるエネルギーの割合:  $c\alpha_r$

1サイクルあたりに散逸されるエネルギーの割合:  $\frac{c\alpha_r}{\nu_0}$

$$\Delta\nu = \frac{\nu_F}{F} = \frac{c\alpha_r}{2\pi} \quad \text{より、} \quad Q = \frac{\nu_0}{\delta\nu} = \frac{\nu_0}{\nu_F} F$$