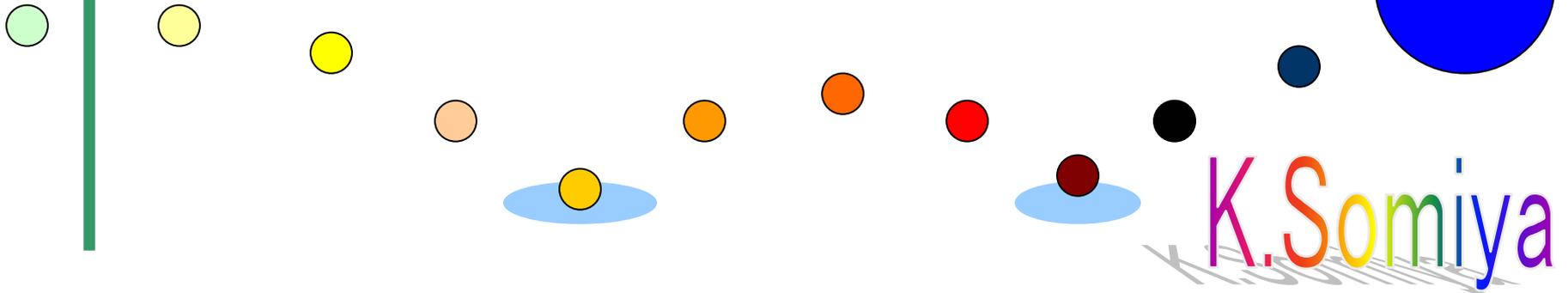


# 参考資料 for AIC講義110719

Jul. 2011

**Kentaro Somiya**  
*Tokyo Inst of Technology*



# 前回の宿題の答え

- ① ... (ウ)
- ② ... (エ)
- ③ ... (ウ)
- ④ ... (ア)

$$\text{Loss} = 50 \times 10^{-6};$$

$$r1 = \sqrt{0.97};$$

$$t1 = \sqrt{1 - r1^2 - \text{Loss}};$$

$$r2 = \sqrt{1 - \text{Loss}};$$

$$\text{rarm} = -r1 + \frac{t1^2 r2}{1 - r1 r2};$$

$$\text{rarm}^2$$

$$0.986882$$

$$f1 = \frac{t1^2 c}{2 \pi 4 L} /. L \rightarrow 3000$$

$$119.085$$

$$\text{LossPRC} = 0.00;$$

$$rp = \sqrt{0.97};$$

$$tp = \sqrt{1 - rp^2 - \text{LossPRC}};$$

$$\text{PRG} = \left( \frac{tp}{1 - rp \text{rarm}} \right)^2$$

$$\left( -rp + \frac{tp^2 \text{rarm}}{1 - rp \text{rarm}} \right)^2$$

$$64.3285$$

$$0.156155$$

$$\text{PRG} * \left( \frac{t1}{1 - r1 r2} \right)^2$$

$$8406.49$$

$$r3 = \sqrt{0.995};$$

$$t3 = \sqrt{1 - r3^2 - \text{Loss}};$$

$$r4 = \sqrt{1 - \text{Loss}};$$

$$\text{rarm2} = -r3 + \frac{t3^2 r4}{1 - r3 r4};$$

$$\text{rarm2}^2$$

$$0.922501$$

$$f2 = \frac{t3^2 c}{2 \pi 4 L} /. L \rightarrow 3000$$

$$19.6818$$

$$rp2 = \sqrt{0.828879};$$

$$tp2 = \sqrt{1 - rp2^2 - \text{LossPRC}};$$

$$\text{PRG2} = \left( \frac{tp2}{1 - rp2 \text{rarm2}} \right)^2$$

$$\left( -rp2 + \frac{tp2^2 \text{rarm2}}{1 - rp2 \text{rarm2}} \right)^2$$

$$\text{PRG2} * \left( \frac{t3}{1 - r3 r4} \right)^2$$

$$10.8539$$

$$0.158832$$

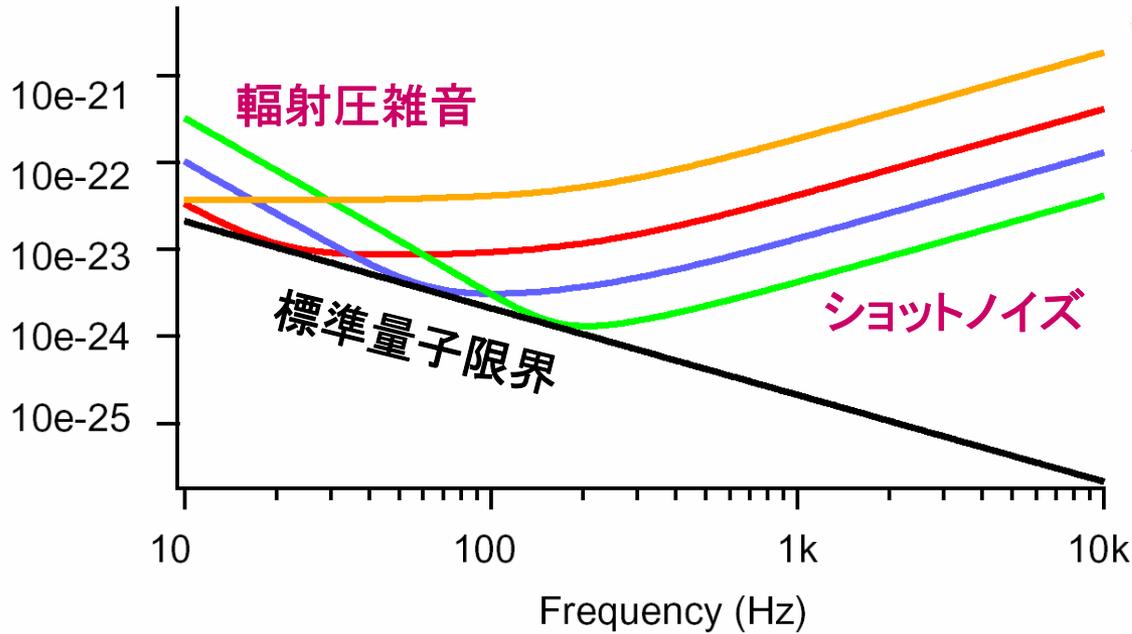
$$8406.46$$

$$\text{rs}^2 /. \text{Solve} \left[ \frac{1 + \text{rs}}{1 - \text{rs}} == f1 / f2, \text{rs} \right]$$

$$0.513132$$

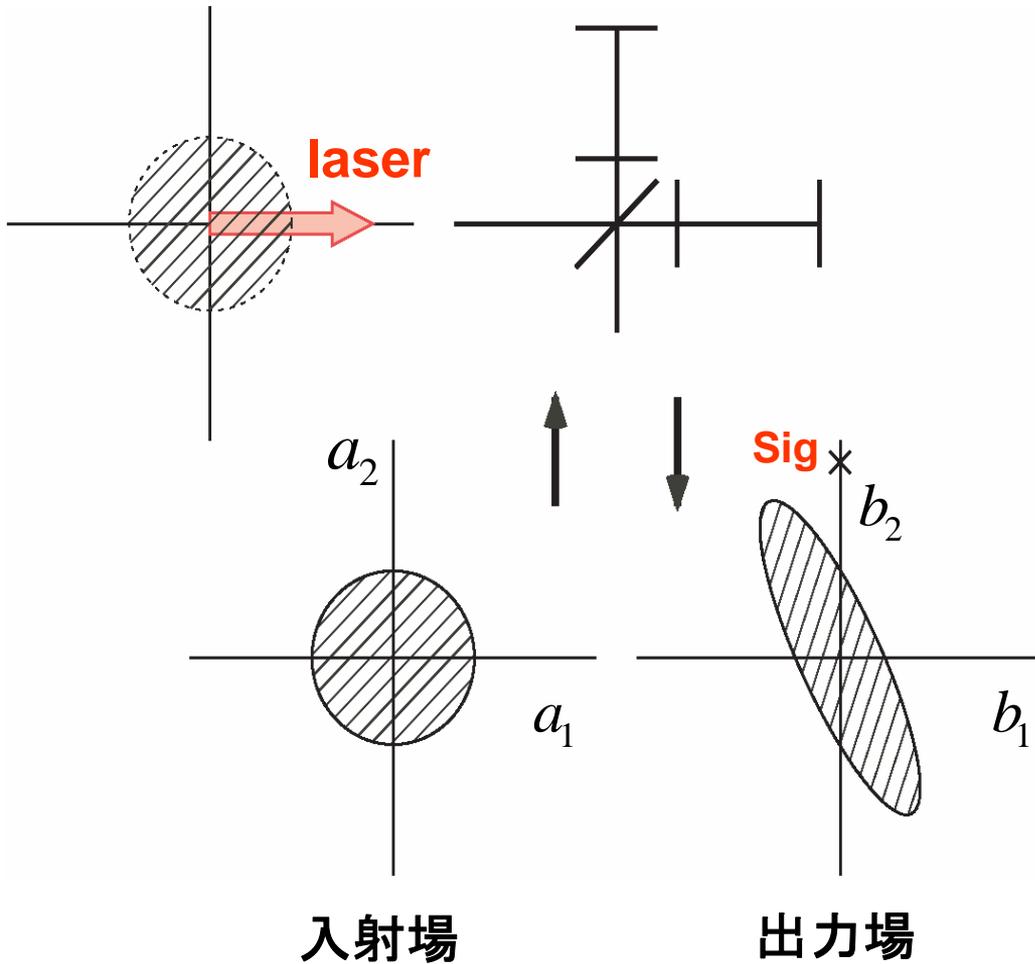
# 不確定性原理

Noise Spectrum (1/rHz)



位置測定の高感度は標準量子限界を超えられない

# 干渉計と真空場



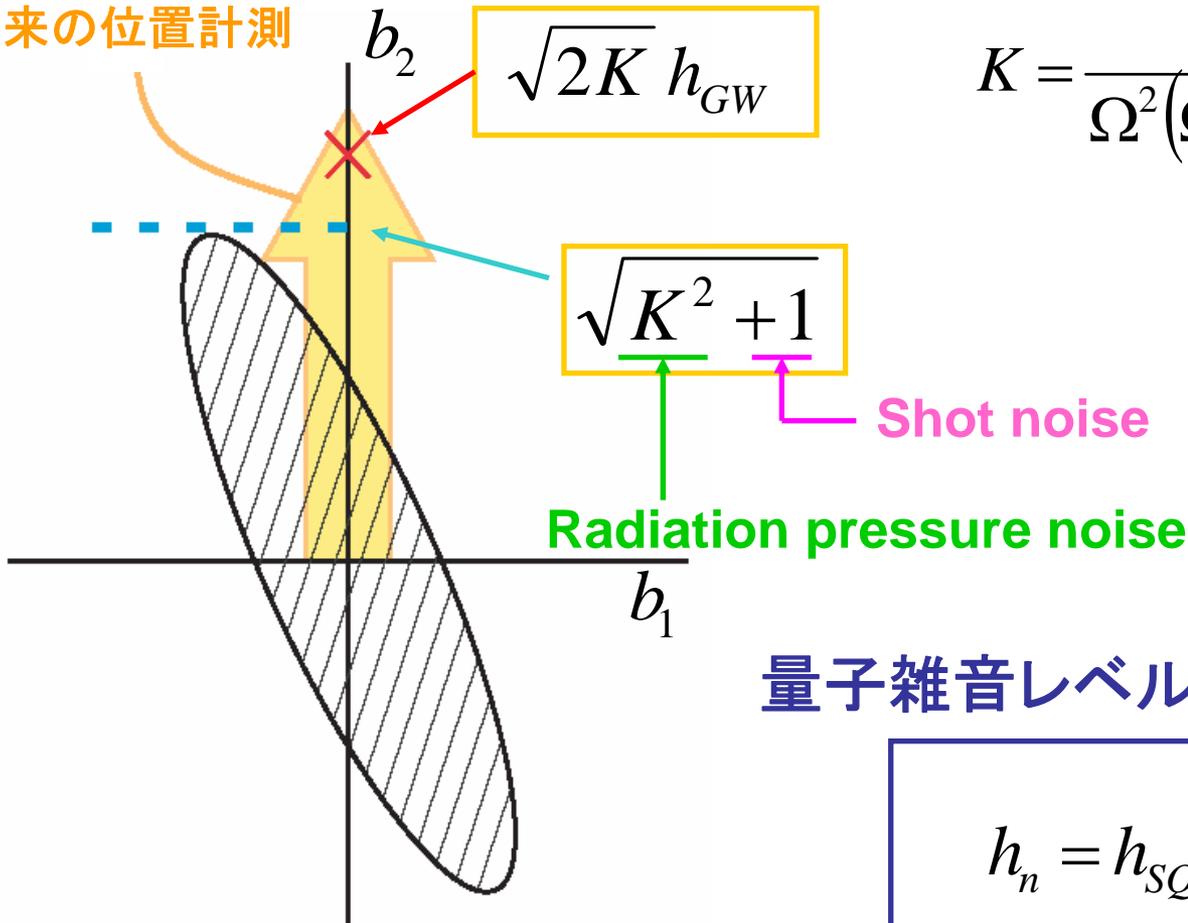
ダークポートから入る真空場が  
量子雑音の源となる

干渉計から出てくる場**b**は、入射  
真空場**a**を用いて、以下のように  
表される

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -K & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} e^{2i\beta} + \frac{\sqrt{2K}}{h_{SQL}} \begin{pmatrix} 0 \\ h_{GW} \end{pmatrix} e^{i\beta}$$

# Standard Quantum Limit (SQL)

従来の位置計測



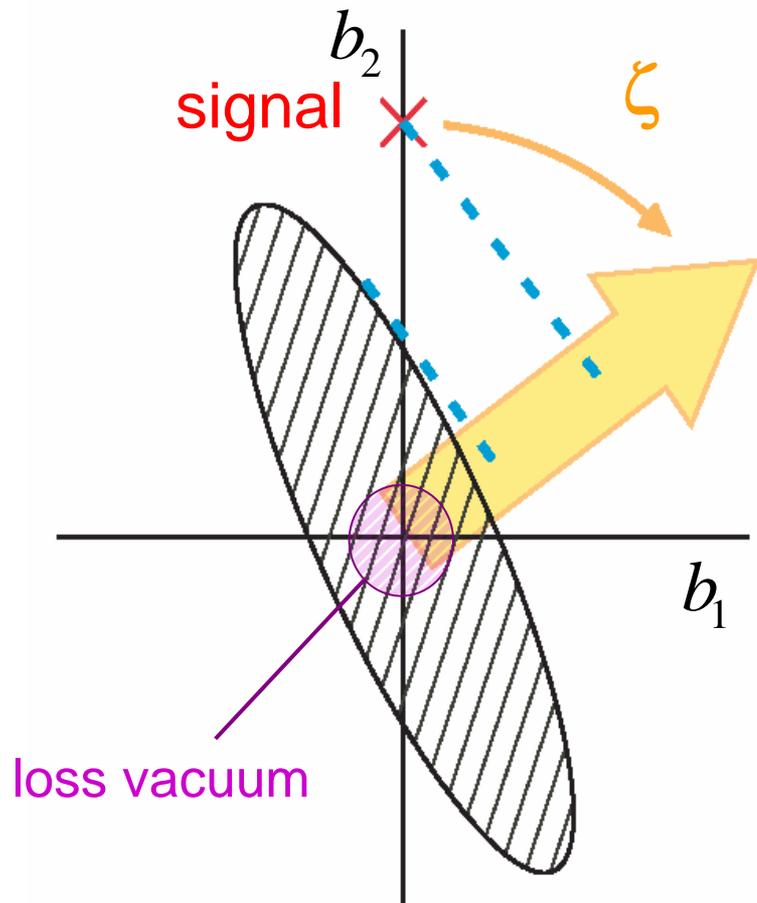
$$K = \frac{8\omega_0}{\Omega^2(\Omega^2 + \gamma^2)} \frac{I_0}{mL^2}$$

量子雑音レベル

$$h_n = h_{SQL} \sqrt{\frac{K^2 + 1}{2K}} \geq h_{SQL}$$

b2軸上で計測するとSQLを超えない

# Back-action evasion (BAE)



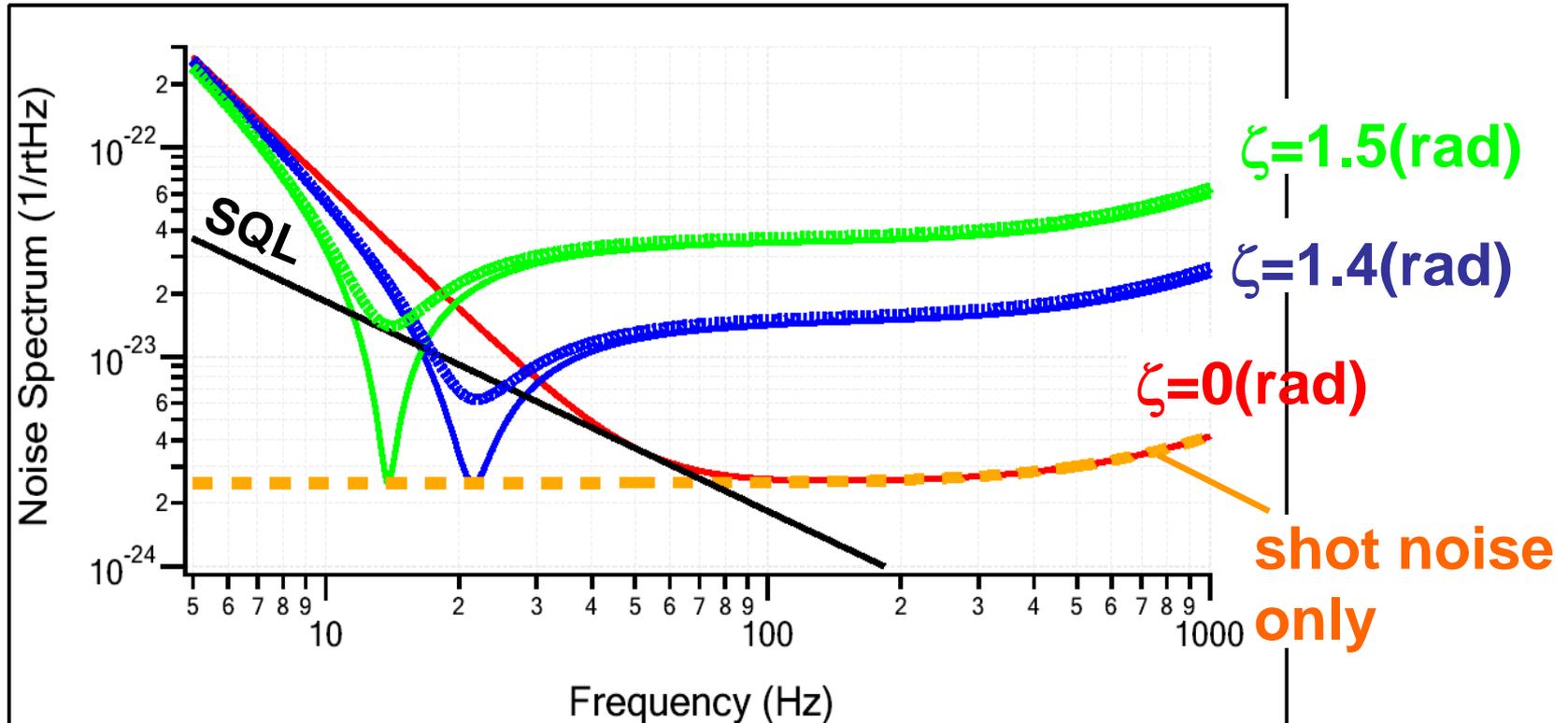
$$h_n = h_{SQL} \sqrt{\frac{(K - \tan \zeta)^2 + 1}{2K}}$$

$\zeta$  は固定  
 $K$  は周波数によって変わる

➡ SQLを超えるのは特定の周波数付近のみ

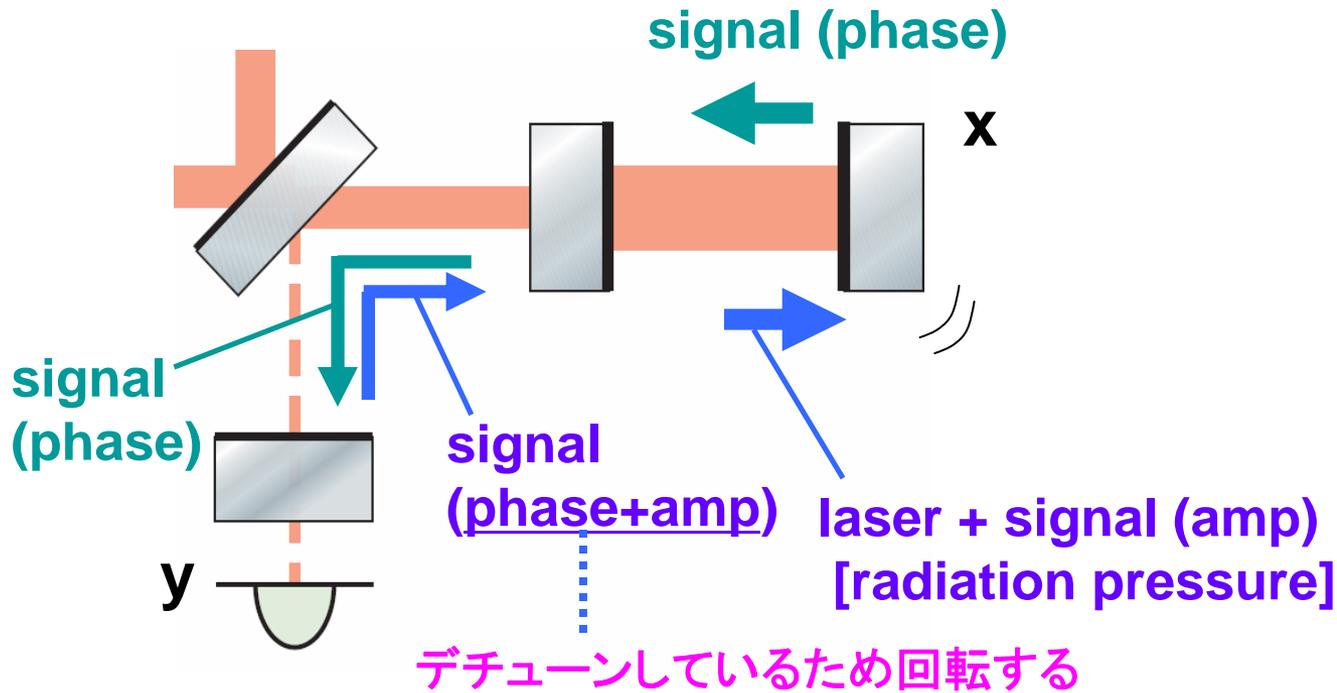
# BAEを用いた場合の感度

solid : lossless, dashed : w/loss



SQLを超えるのは特定の周波数付近のみ

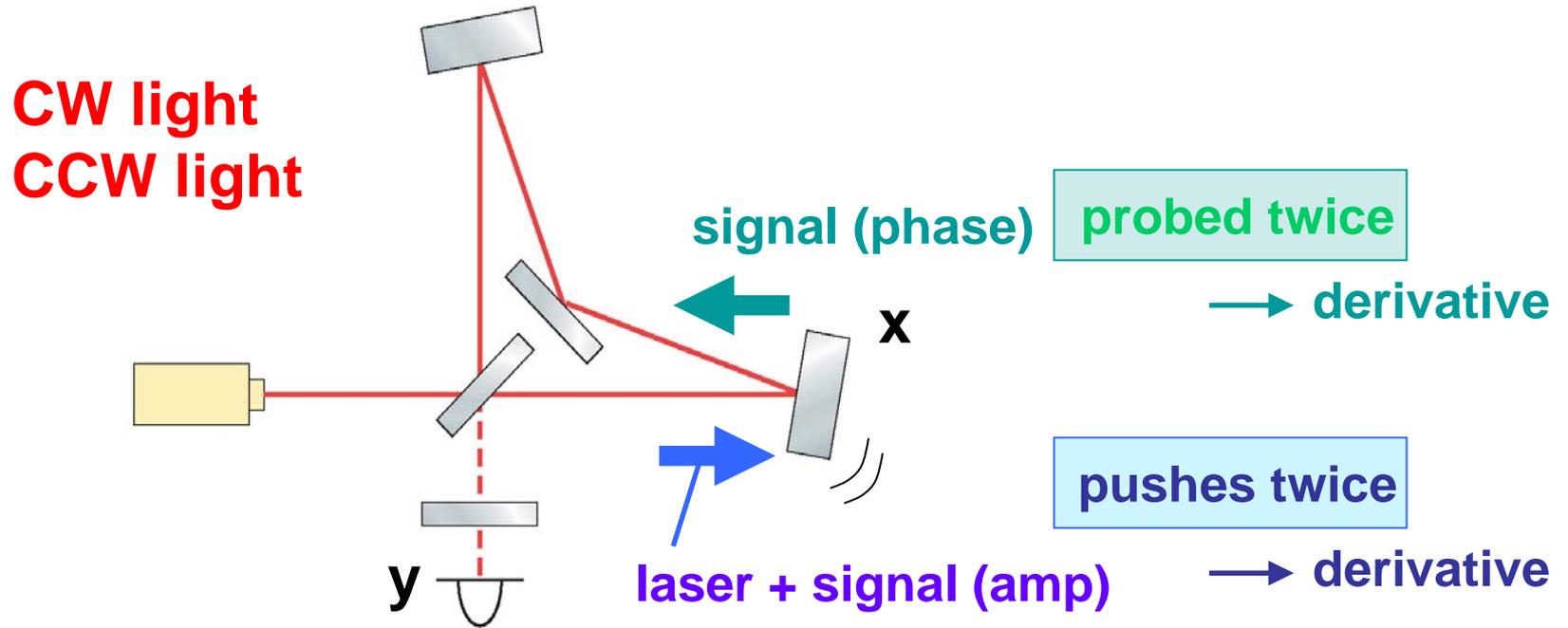
# 光バネ



$$\begin{cases} y \sim Ax \\ x'' \sim x''_{GW} - By \end{cases} \rightarrow \tilde{y}(\Omega) \sim \frac{A\Omega^2}{\Omega^2 - AB} \tilde{x}_{GW}(\Omega)$$

- 光バネが構成され、共振周波数付近で感度が上がる
- 狭帯域でしか感度が改善されないのと、応答が $f^2$ に比例しているのが難点

# スピードメーター (Sagnac型)



$$\begin{cases} y \sim Ax' \\ x'' \sim x''_{GW} + By' \end{cases} \rightarrow \tilde{y}(\Omega) \sim \frac{Ai\Omega}{1-AB} \tilde{x}_{GW}(\Omega)$$

- 信号増幅が広帯域で実現されている
- 信号が $f^2$ でなく $f^1$ に比例している