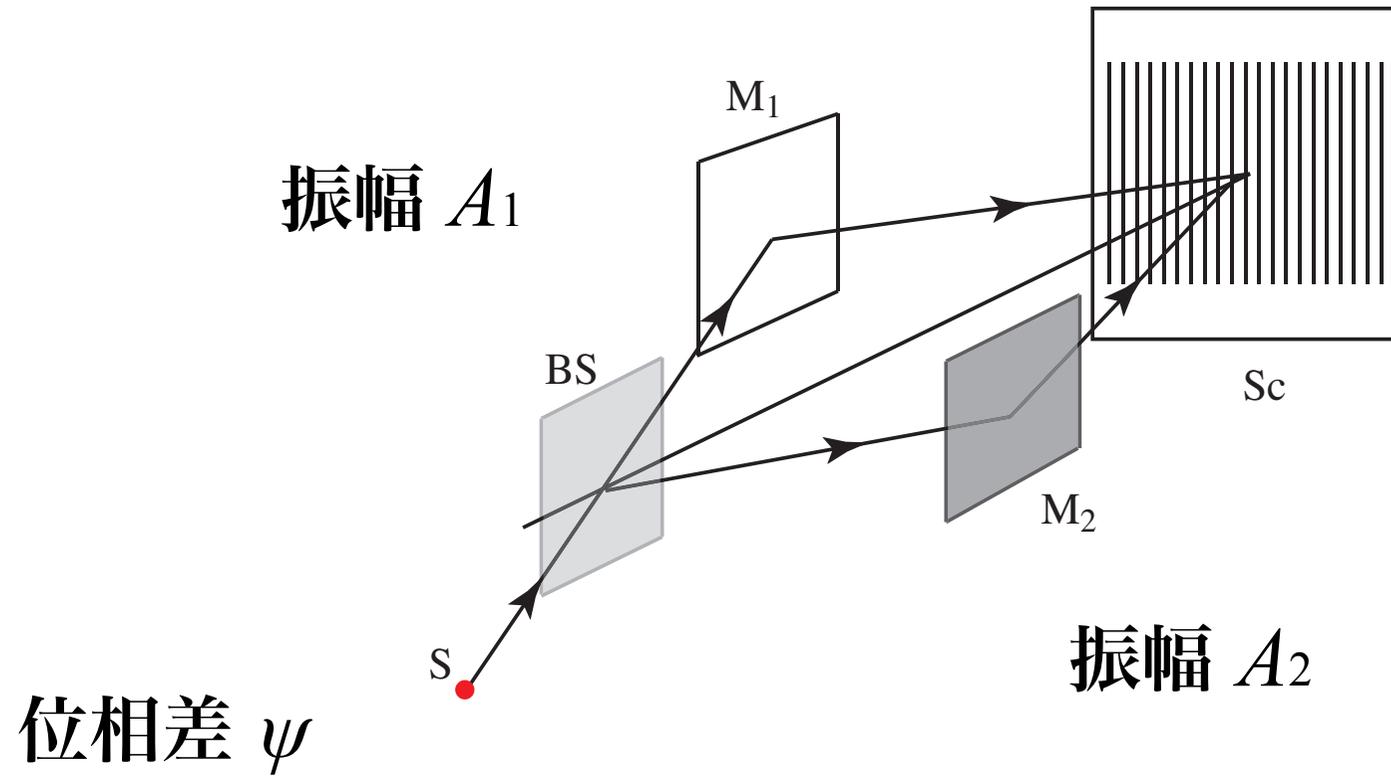


光学 第7章

干涉

干渉計



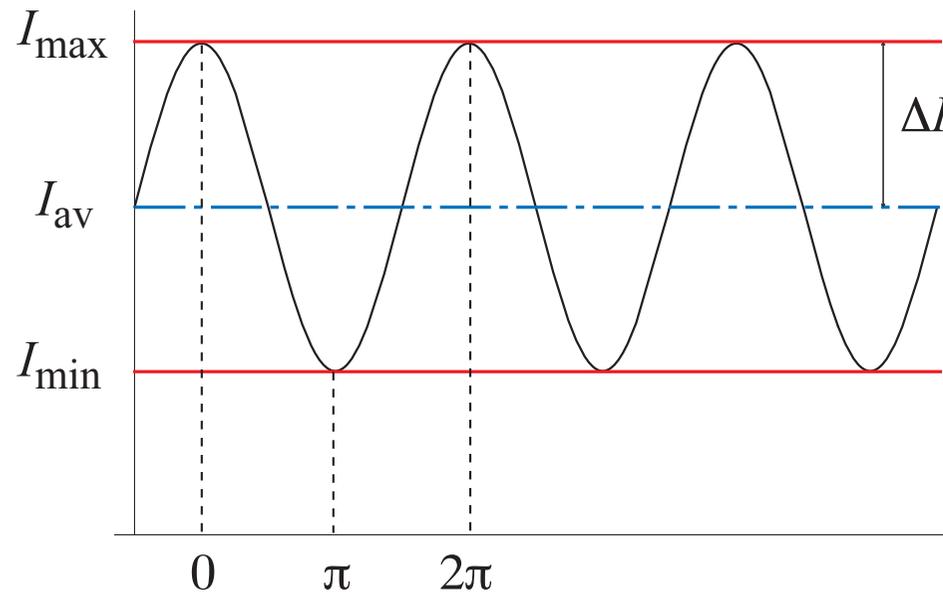
$$I = |A_1 e^{i\psi} + A_2|^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \psi$$
$$= (A_1^2 + A_2^2) \left(1 + \frac{2A_1A_2}{A_1^2 + A_2^2} \cos \psi \right)$$

干渉縞の可視度

$$I = |A_1 e^{i\psi} + A_2|^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \psi$$

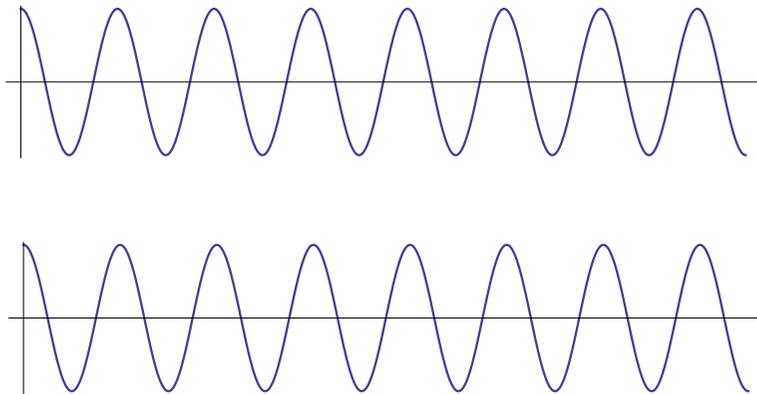
$$= (A_1^2 + A_2^2) \left(1 + \frac{2A_1A_2}{A_1^2 + A_2^2} \cos \psi \right)$$

可視度 $\frac{\Delta I}{I_{av}}$



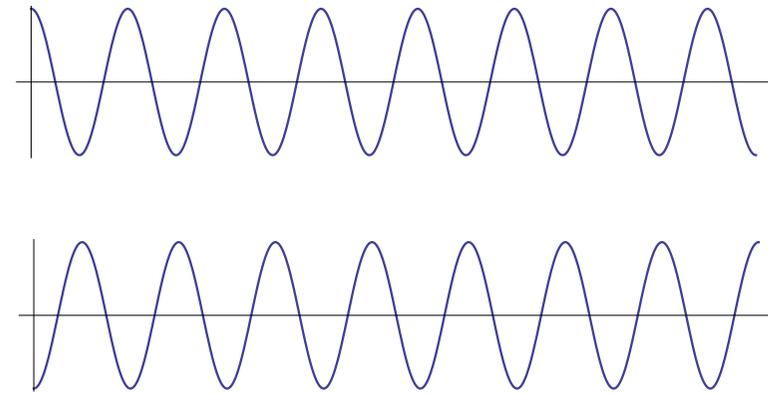
干渉

同位相
強め合いの干渉
constructive



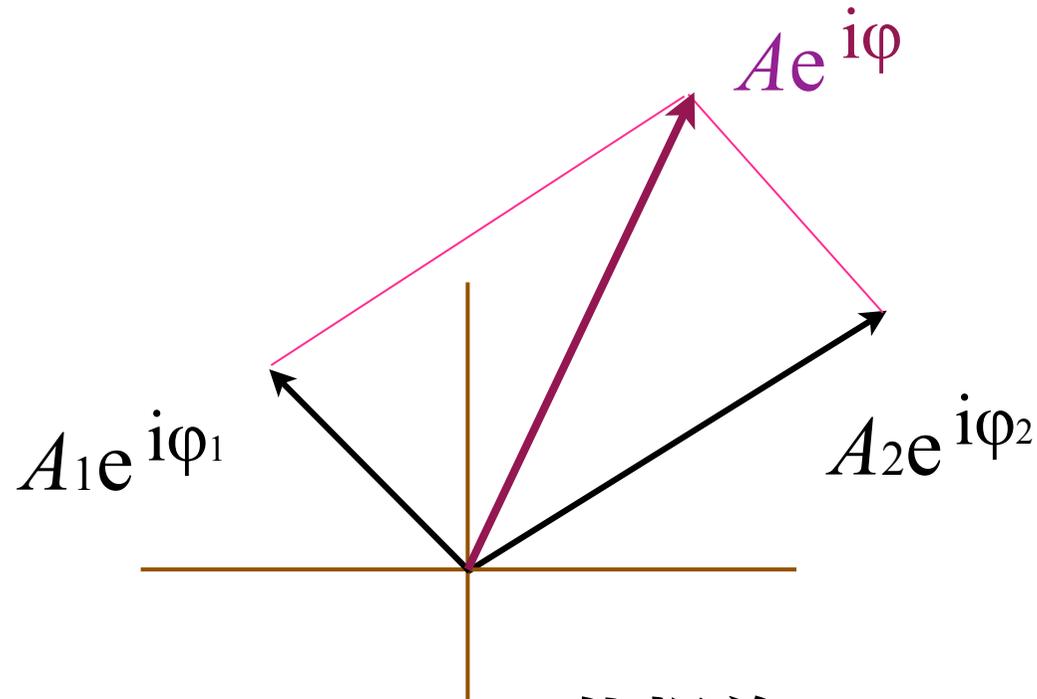
振幅が2倍
強度が4倍

逆位相
弱め合いの干渉
destructive

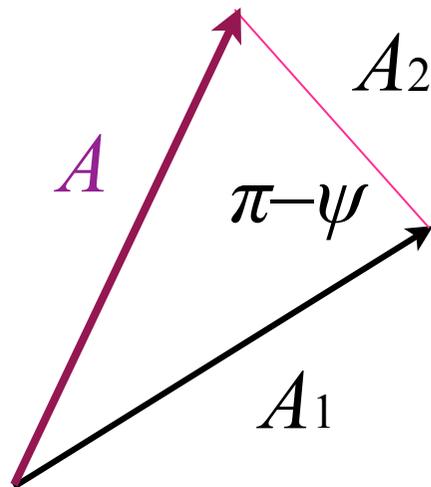


振幅0
強度0

干渉 フェーザー表示 (複素振幅表示)



位相差 $\psi = \phi_1 - \phi_2$



余弦定理

$$\begin{aligned} A^2 &= A_1^2 + A_2^2 - 2A_1A_2 \cos(\pi - \psi) \\ &= A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \psi \end{aligned}$$

コヒーレンス度

干渉縞

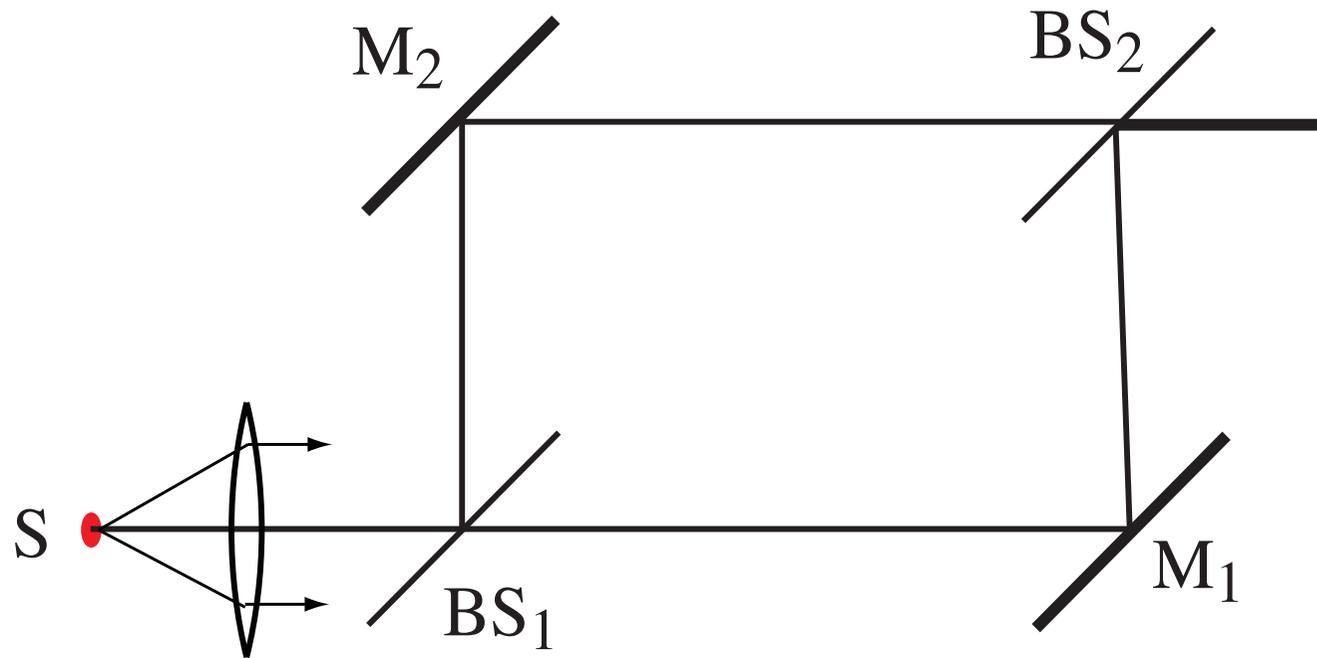
$$I = I_{av} \left(1 + \gamma \frac{2A_1A_2}{A_1^2 + A_2^2} \cos \psi \right)$$



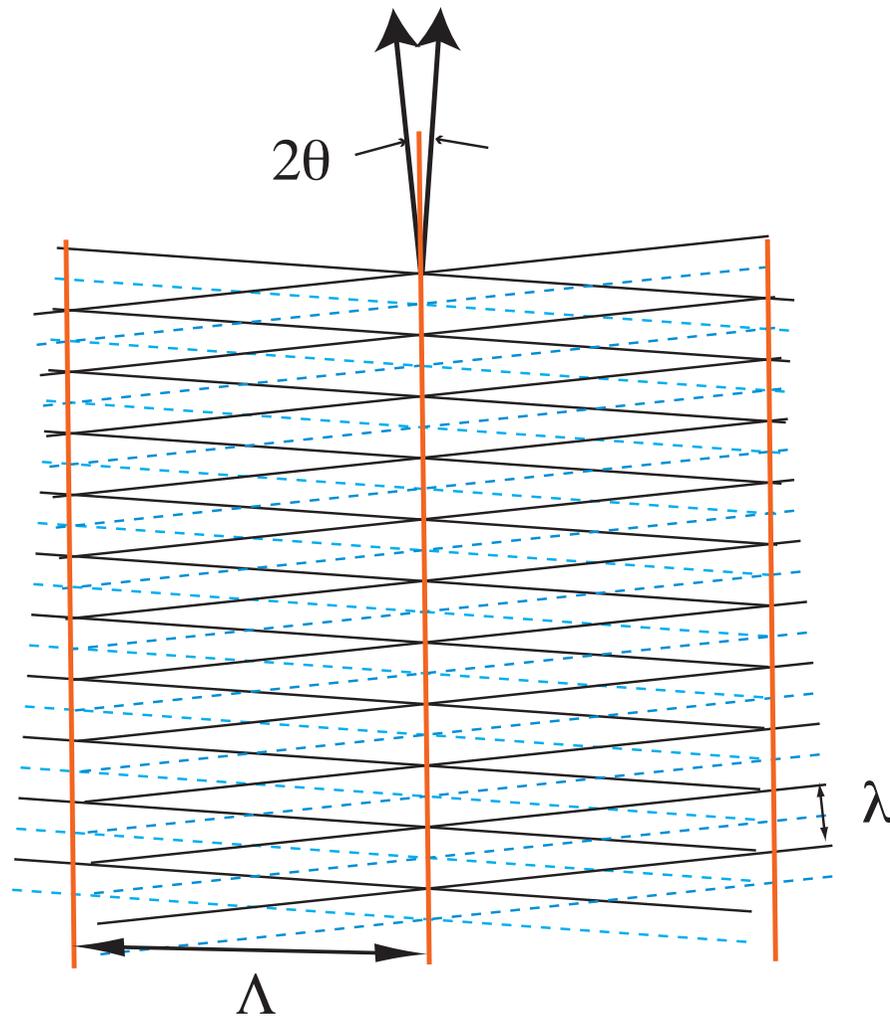
コヒーレンス度

$$0 \leq \gamma \leq 1$$

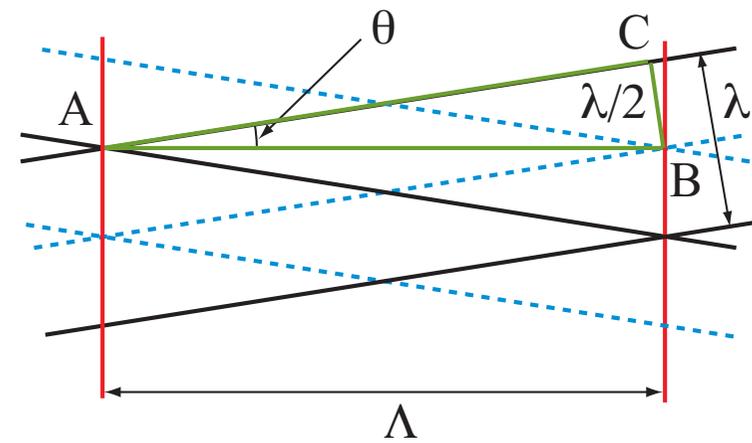
マッハ・ツェンダー干渉計



2 平面波の干渉

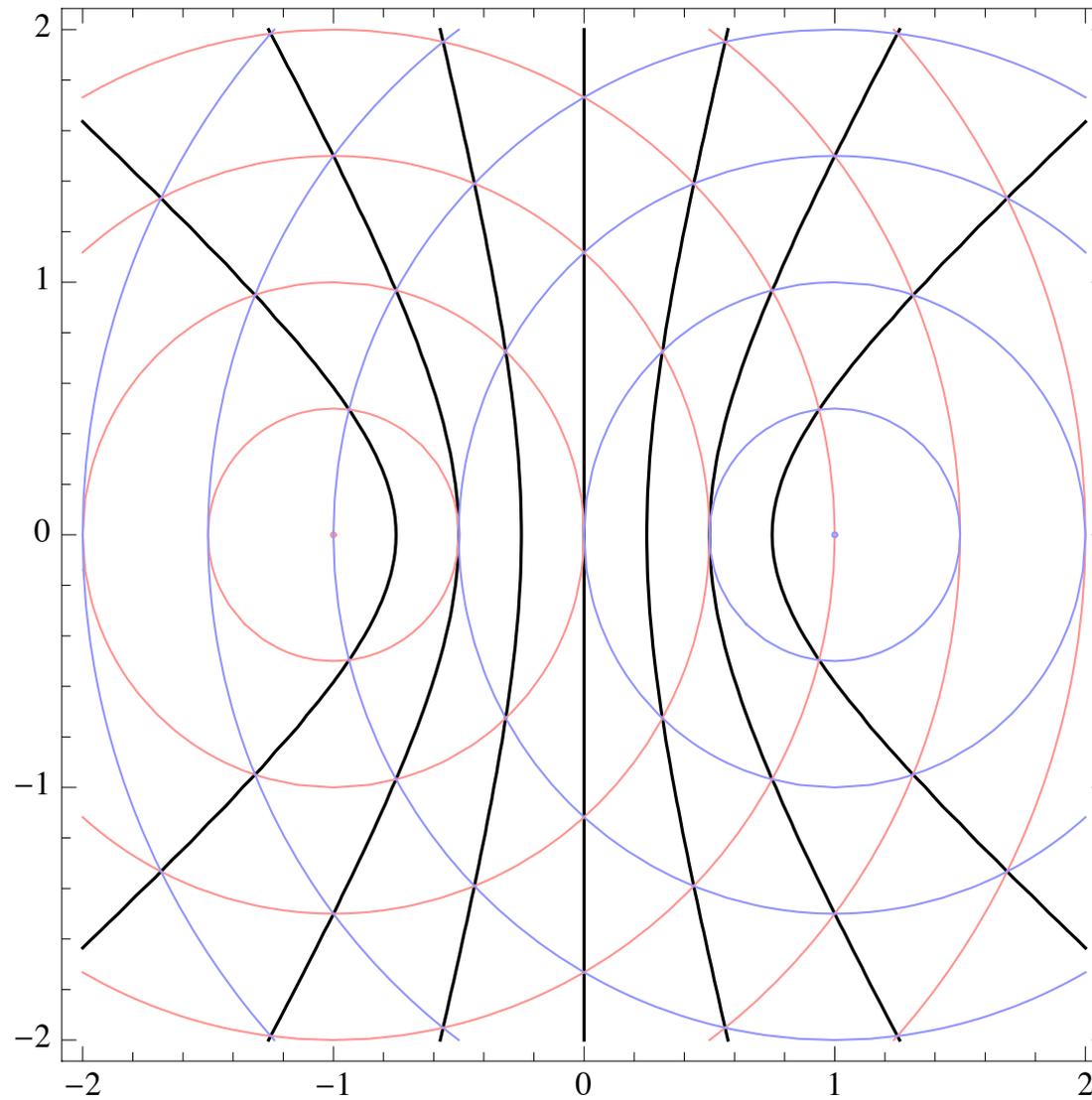


拡大図



$$\Lambda = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$$

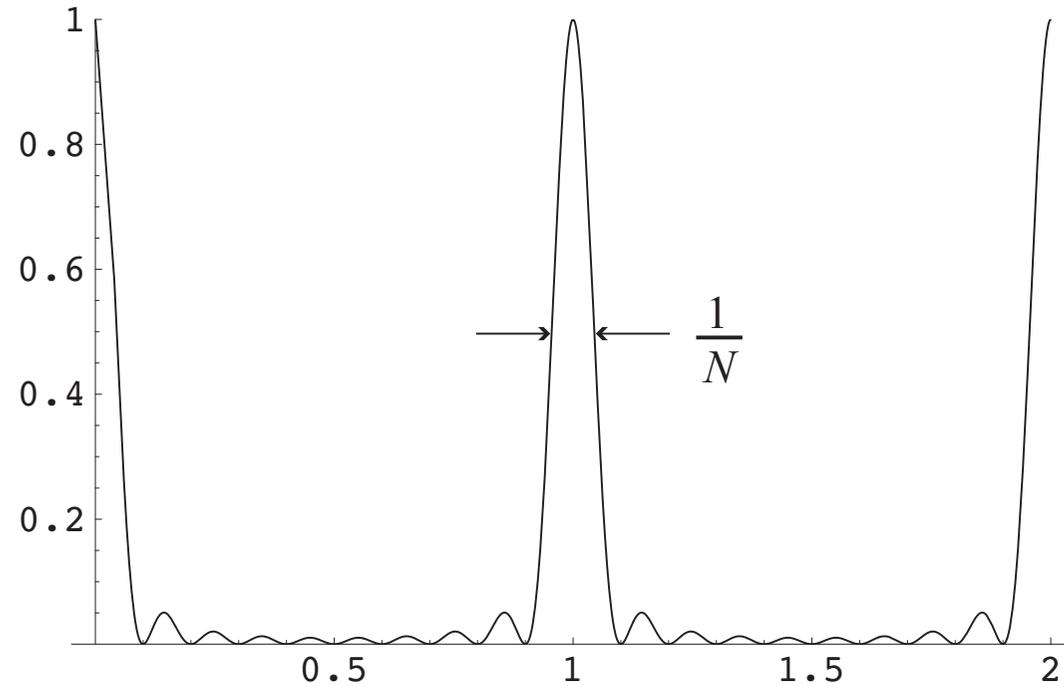
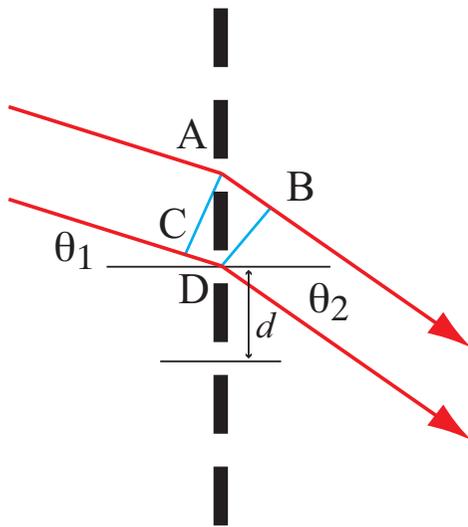
球面波の干渉



双曲線

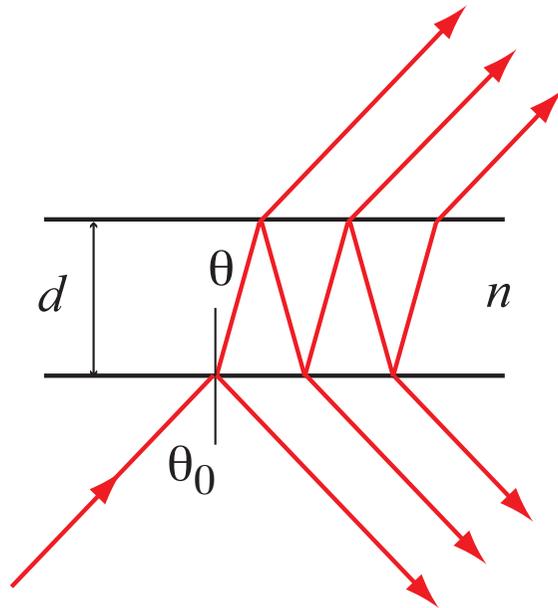
多光束干涉

回折格子



$$\begin{aligned}
 I &= I_0 \left| 1 + e^{i\psi} + e^{2i\psi} + \dots + e^{(N-1)i\psi} \right|^2 \\
 &= I_0 \frac{1 - \cos N\psi}{1 - \cos \psi} = I_0 \frac{\sin^2(N\psi / 2)}{\sin^2(\psi / 2)}
 \end{aligned}$$

等傾角干渉



位相差 $\psi = \frac{4\pi n d \cos \theta}{\lambda}$

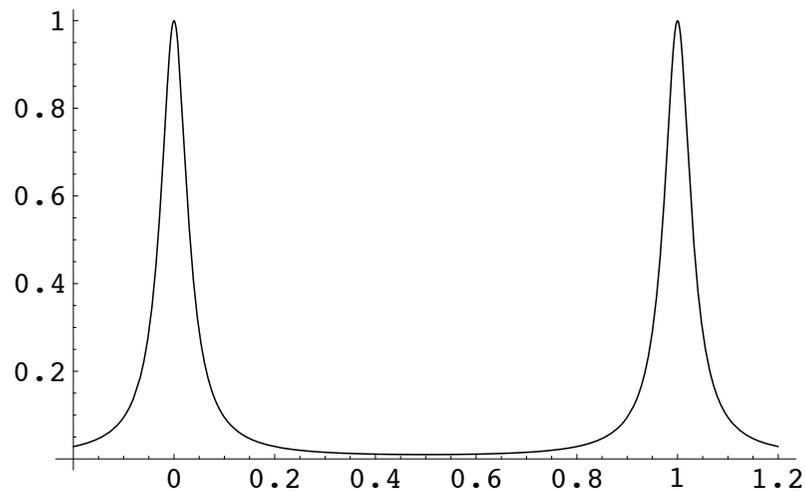
エアリーの式

$$I_T = \frac{(1-R)^2}{1-2R\cos\psi + R^2} = \frac{1}{1+F\sin^2(\psi/2)}$$

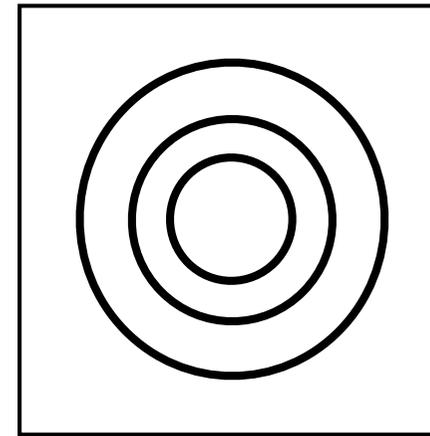
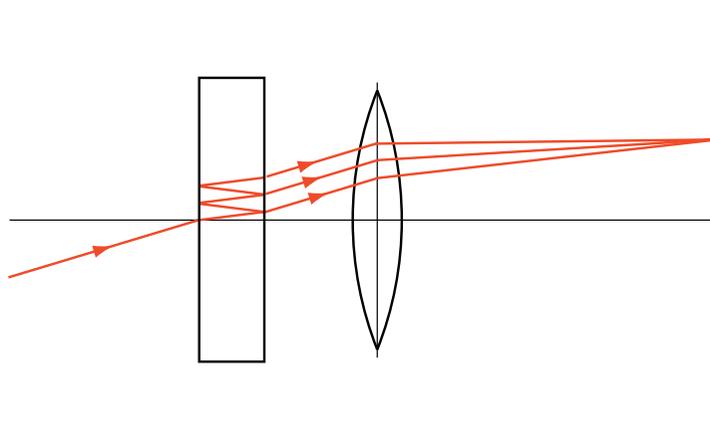
$$F = \frac{4R}{(1-R)^2}$$

$$f = \frac{\pi}{\Delta\psi} = \frac{\pi}{2} \sqrt{F} = \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R}$$

フィネス



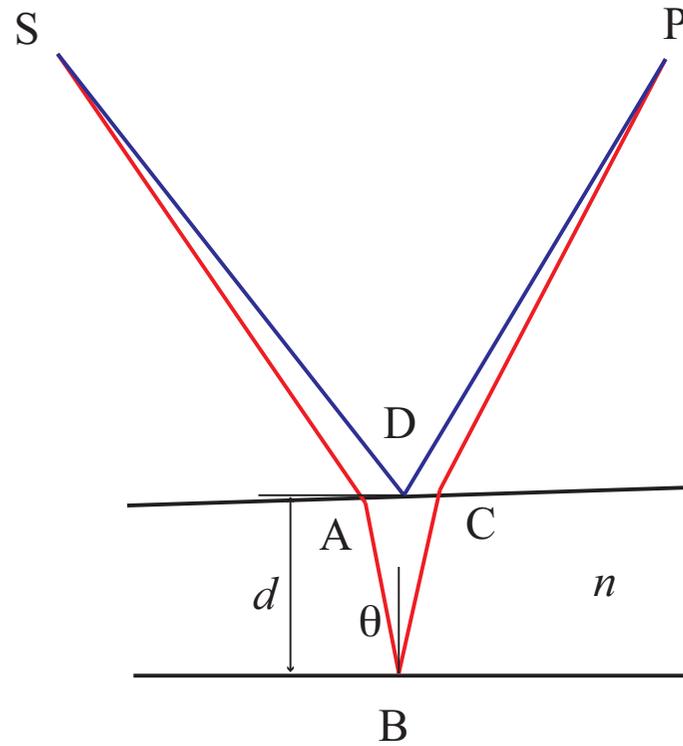
エタロン



$$\psi = \frac{4\pi nd \cos \theta}{\lambda}$$

レンズの焦点面上に
リング状の干渉縞が
生じる

等厚干涉

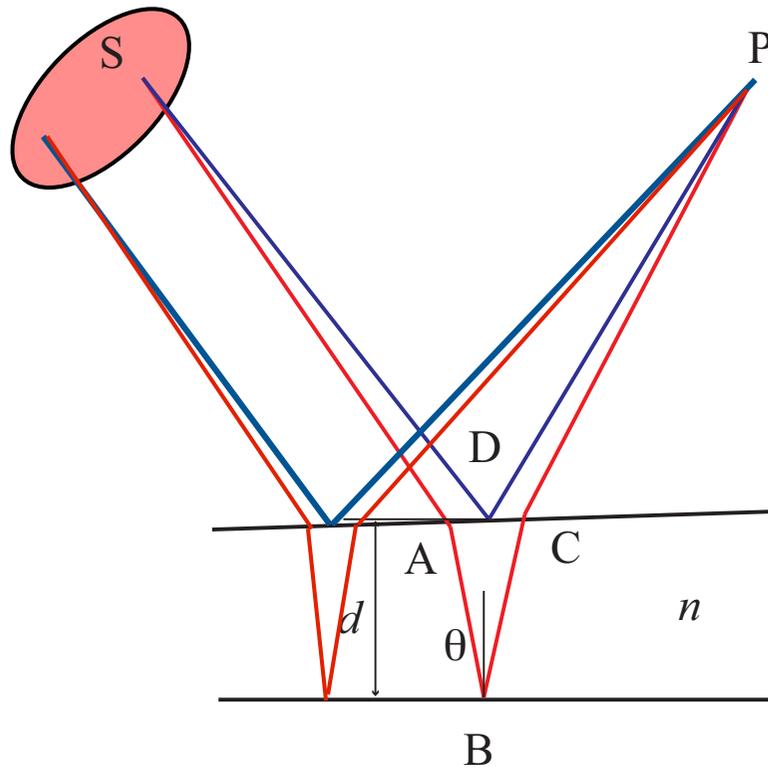


位相差

$$\psi = \frac{4\pi n d \cos \theta}{\lambda}$$

等厚干渉

面光源



位相差

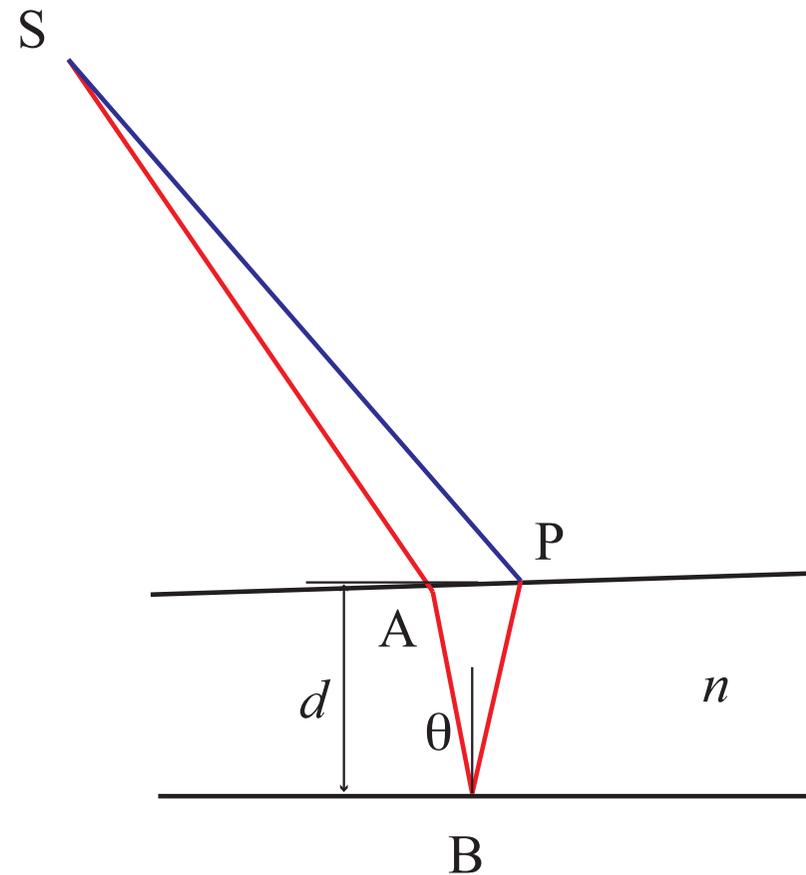
$$\psi = \frac{4\pi n d \cos \theta}{\lambda}$$

位相差が変化する

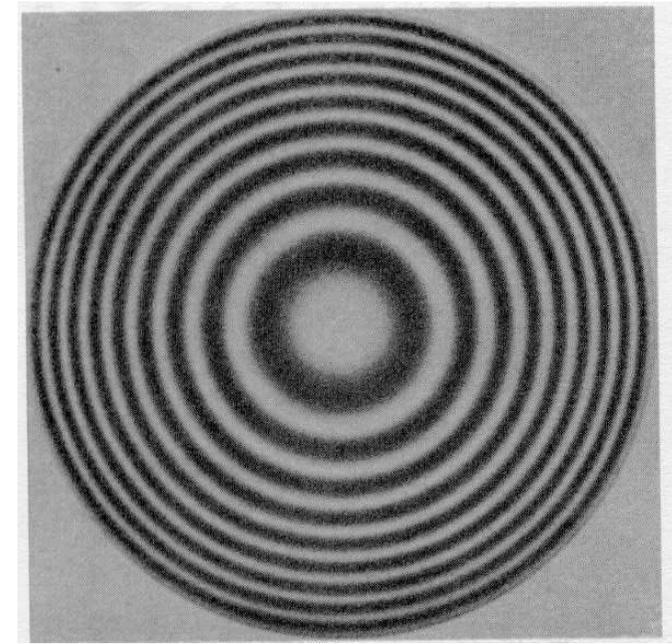
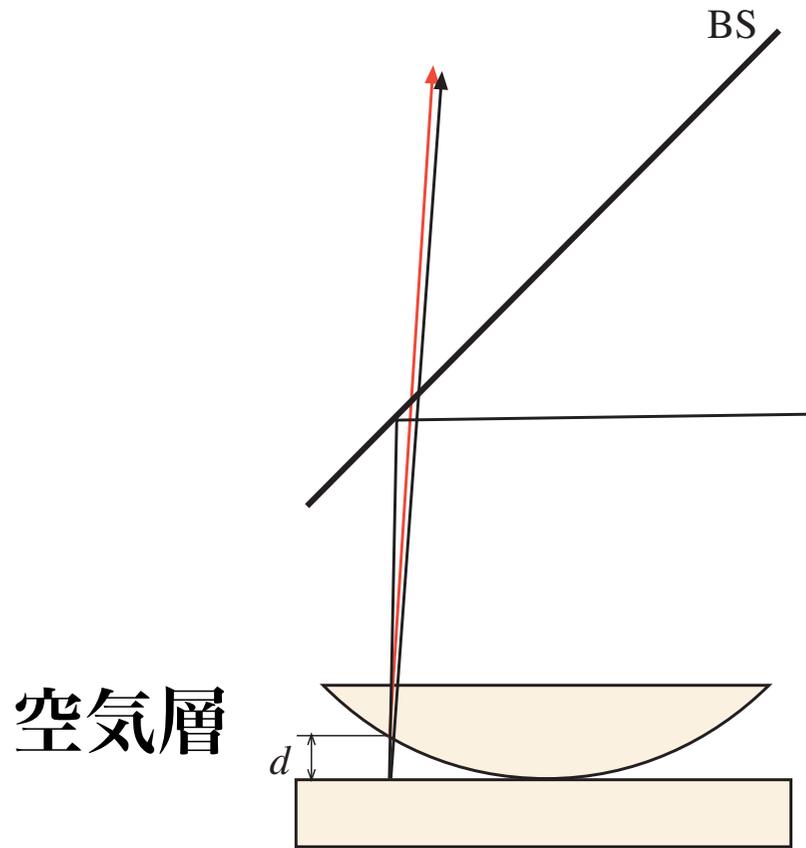
等厚干渉

解決策：観測点を被検物体の上に持ってくる

干渉縞は被検物体
の表面に生じる：
干渉縞は物体表面
に局在する



ニュートンリング



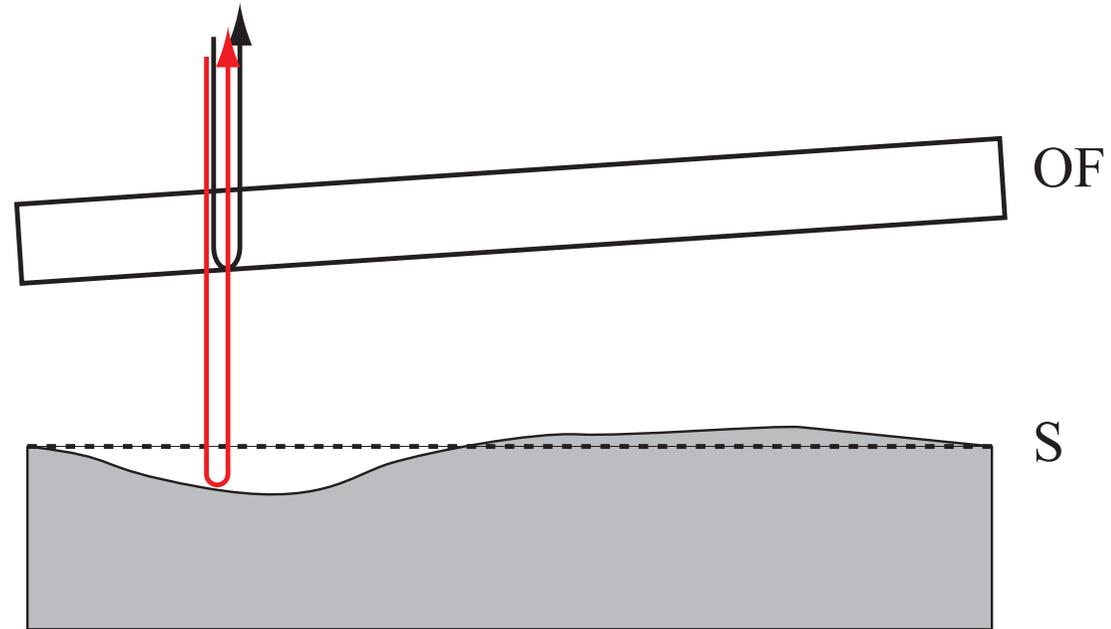
基準面

オプティカルフラット (光学的平面)

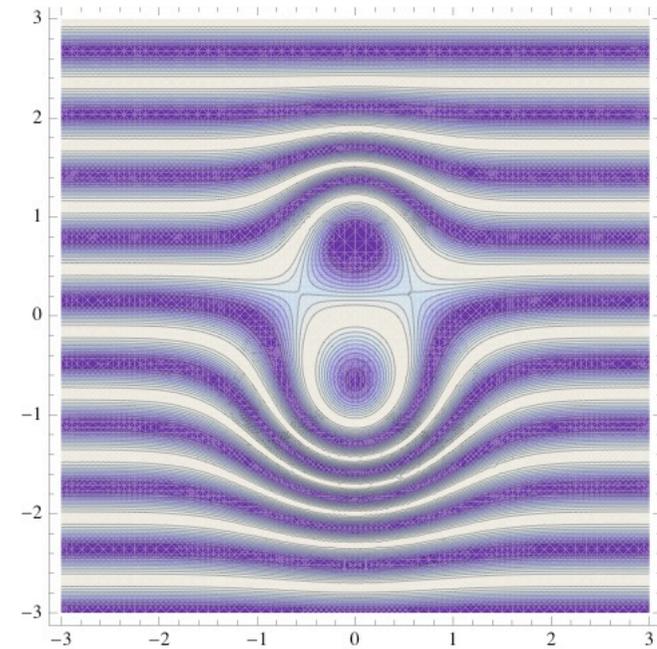
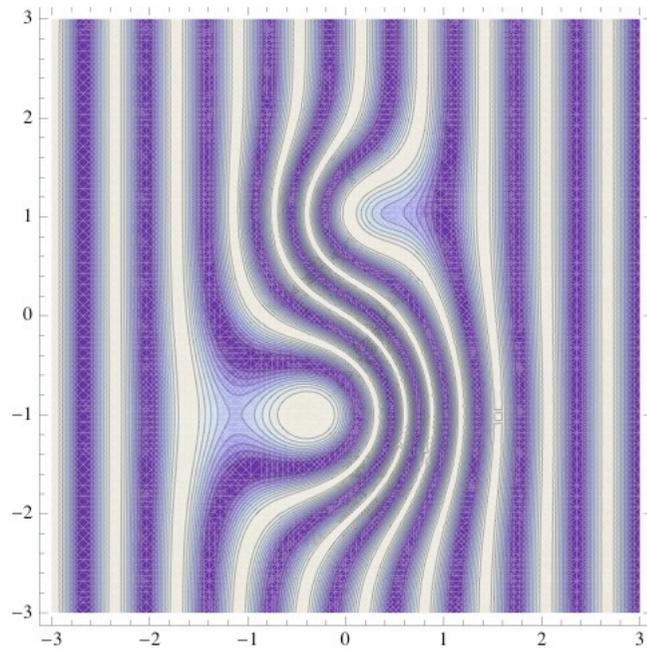
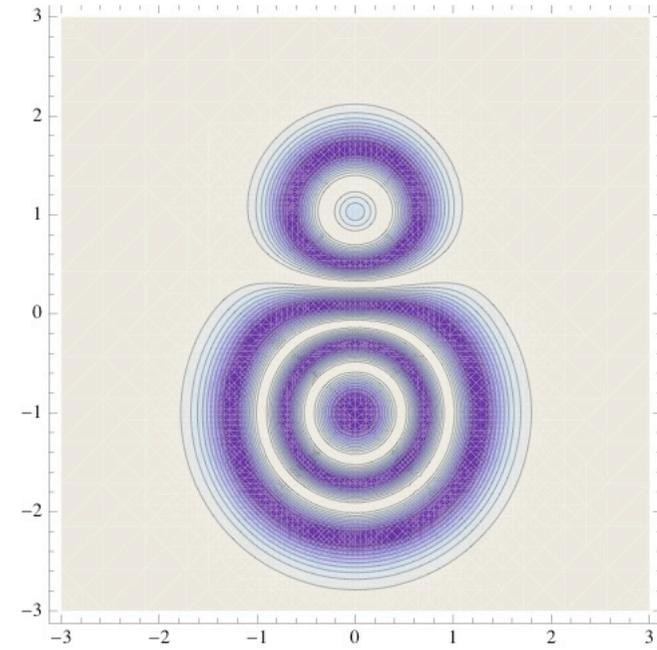
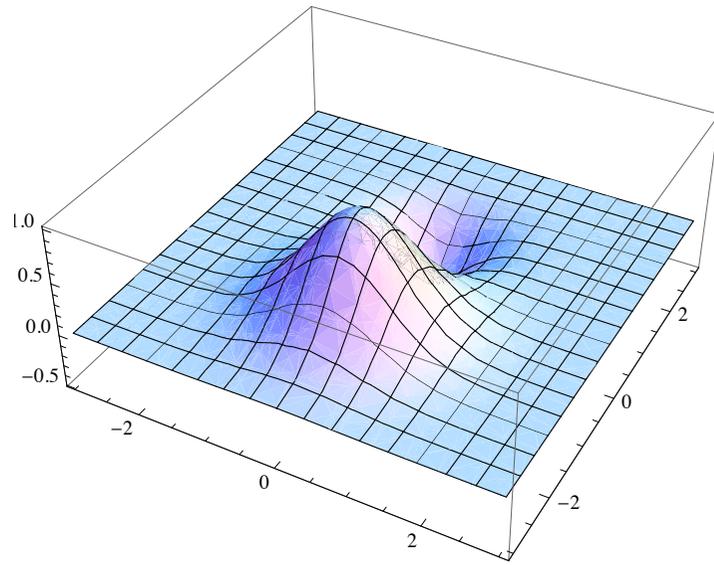
形状の光計測

- 光触針法：光ディスクピックアップ技術の応用。高感度，小型，点測定。
- 三角測量法：距離測定。大型物体。感度が距離に依存する。点測定。
- 光切断法：光シートで切断面を計測。原理，装置は簡単。大型物体。
- 干渉法：高感度。ナノメートル程度の計測も可能。装置は高価。鏡面。
- モアレトポグラフィ：縞模様を投影。装置は簡単。大型物体，人体。
- ホログラフィック干渉：高感度。粗面でも可。装置は高価。

干渉計測



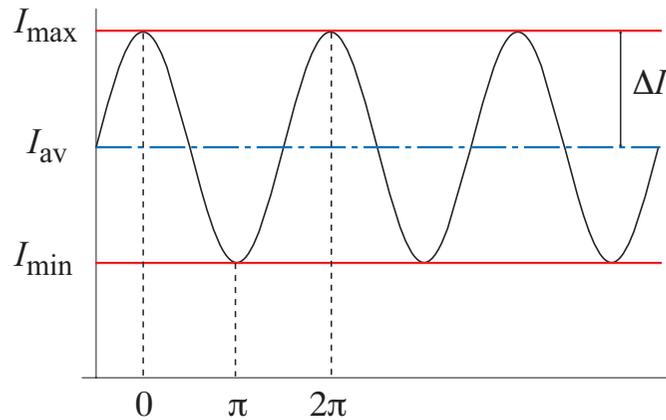
例



サブフリンジ計測

干渉縞

$$I(x) = I_0(x) + I_1(x) \cos[Kx + \psi(x)]$$

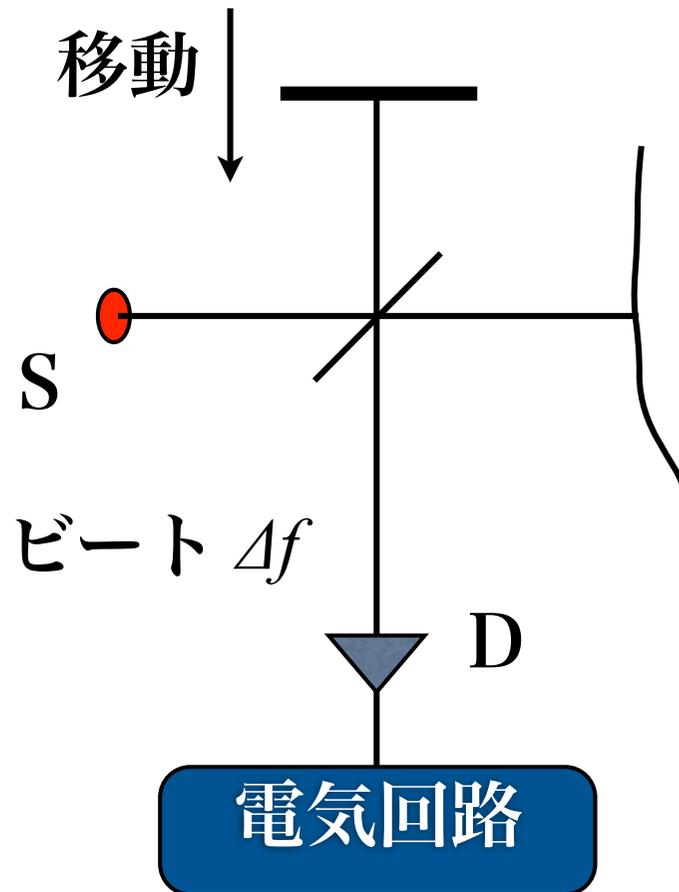


位相を高精度で知りたい

ヘテロダイン干渉法
縞シフト法
フーリエ変換法

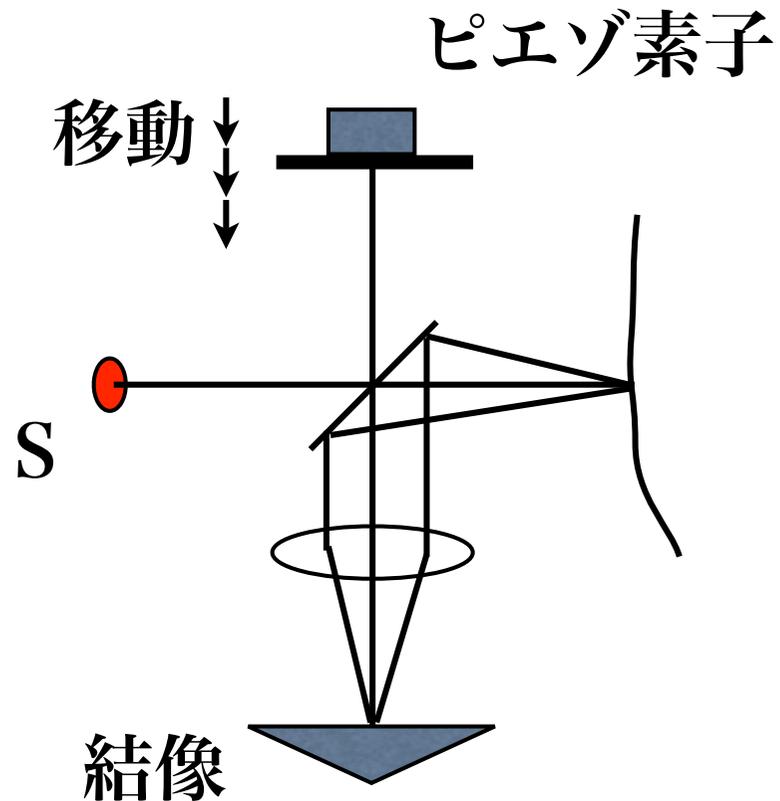
ヘテロダイン干渉法

$$I(x) = I_0(x) + I_1(x) \cos[\Delta f t + \psi(x)]$$



位相を電氣的に測定するので、
高感度の測定が可能になる。
ただし、一度に一点しか測れない。
物体をスキャンする。

縞シフト法



位相を離散的に変化し，干渉縞を動かす。
複数枚の干渉パターンから，位相を計算で求める。

縞シフト法の例

位相： $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$

$$I(x, 0) = I_0 + I_1 \cos \psi$$

$$I(x, \frac{1}{2}\pi) = I_0 + \cos(\psi + \frac{1}{2}\pi) = I_0 - I_1 \sin \psi$$

$$I(x, \pi) = I_0 + \cos(\psi + \pi) = I_0 - I_1 \cos \psi$$

$$I(x, \frac{3}{2}\pi) = I_0 + \cos(\psi + \frac{3}{2}\pi) = I_0 + I_1 \sin \psi$$

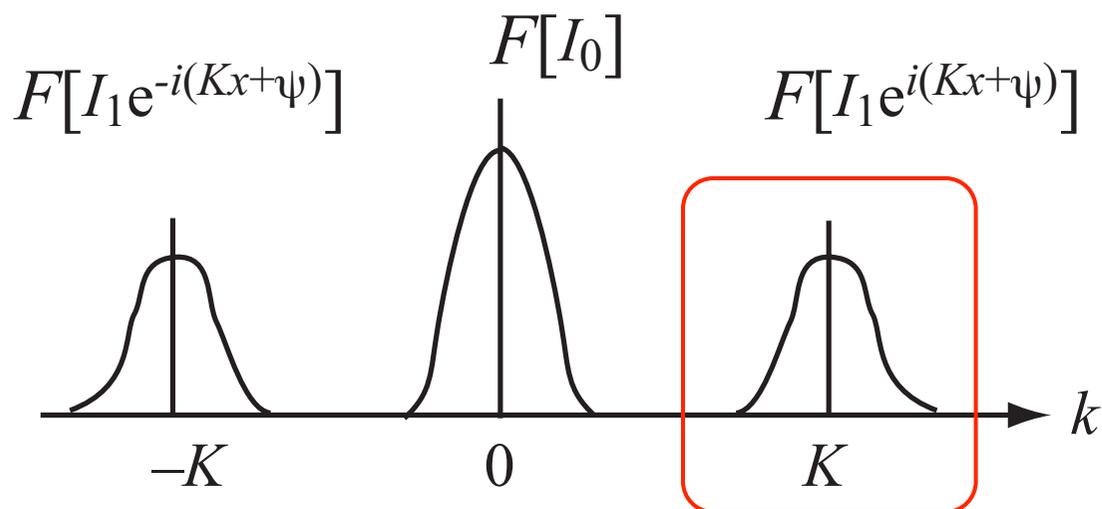
$$\frac{I(x, \frac{3}{2}\pi) - I(x, \frac{1}{2}\pi)}{I(x, 0) - I(x, \pi)} = \frac{2I_1 \sin \psi}{2I_1 \cos \psi} = \tan \psi$$

フーリエ変換法

$$I(x) = I_0(x) + I_1 \cos[Kx + \psi(x)]$$

$$= I_0 + \frac{1}{2} I_1 e^{i\psi} e^{iKx} + \frac{1}{2} I_1 e^{-i\psi} e^{-iKx}$$

↓ フーリエ変換



Kを大きくとる
スペクトルを分離

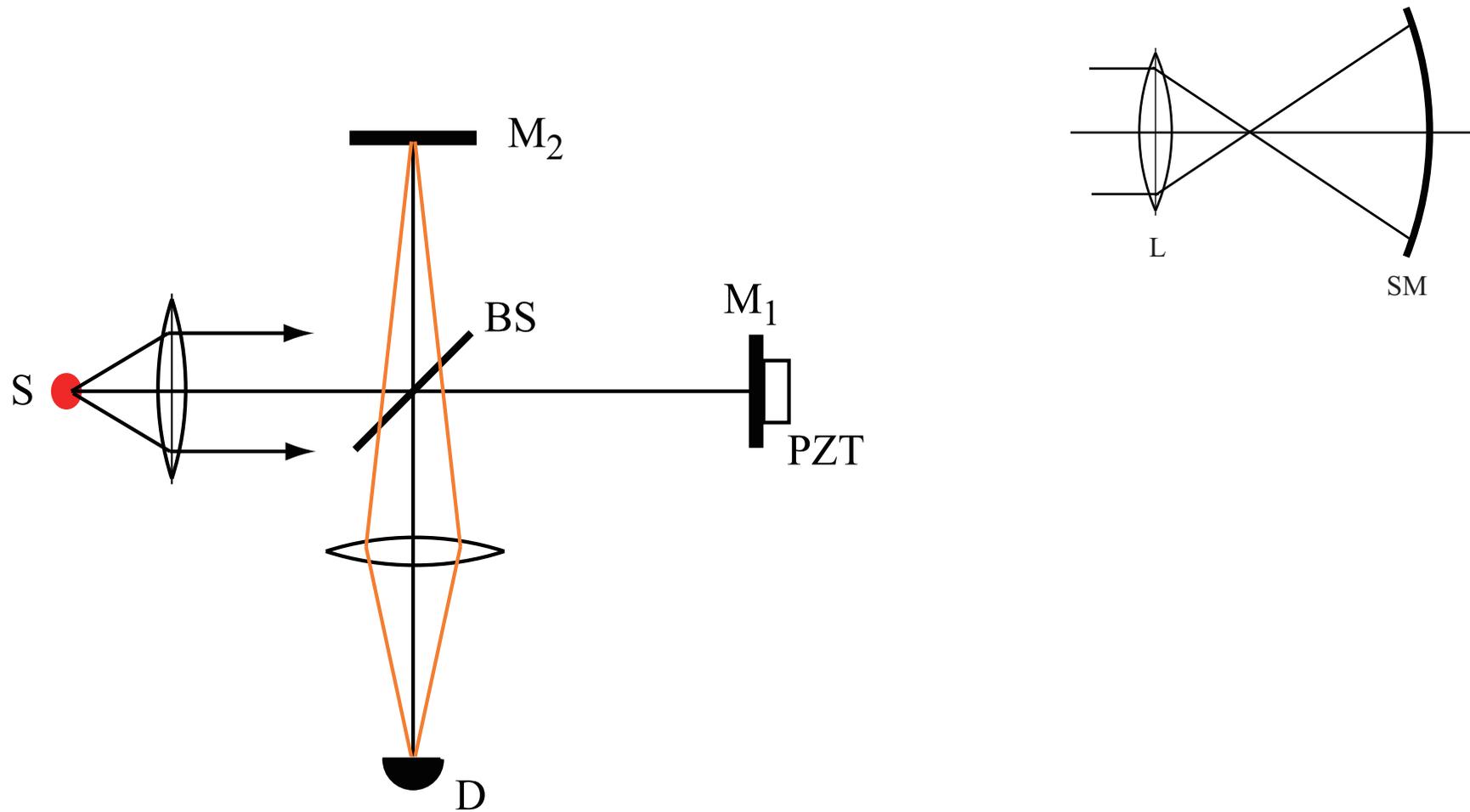
↓ 逆フーリエ変換

対数

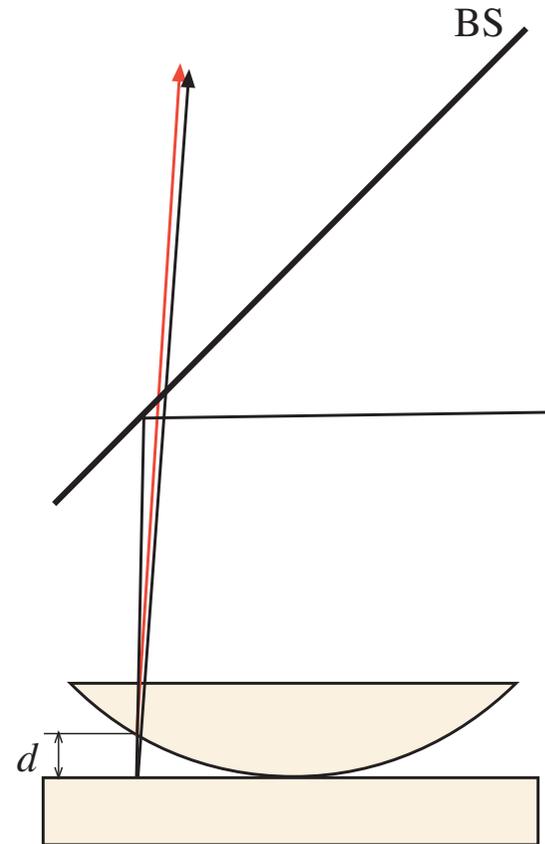
←

$$\log[I_1(x)] + i\psi(x) \quad \leftarrow \quad I_1(x) \exp[i\psi(x)]$$

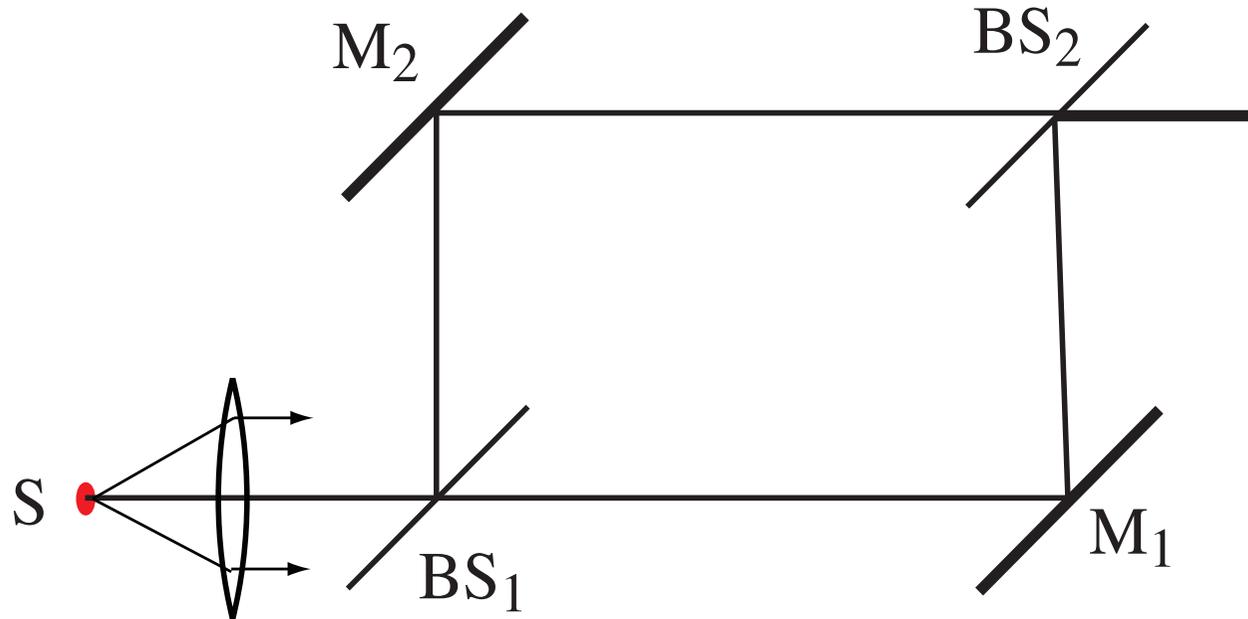
マイケルソン干渉計 トワイマン・グリーン干渉計



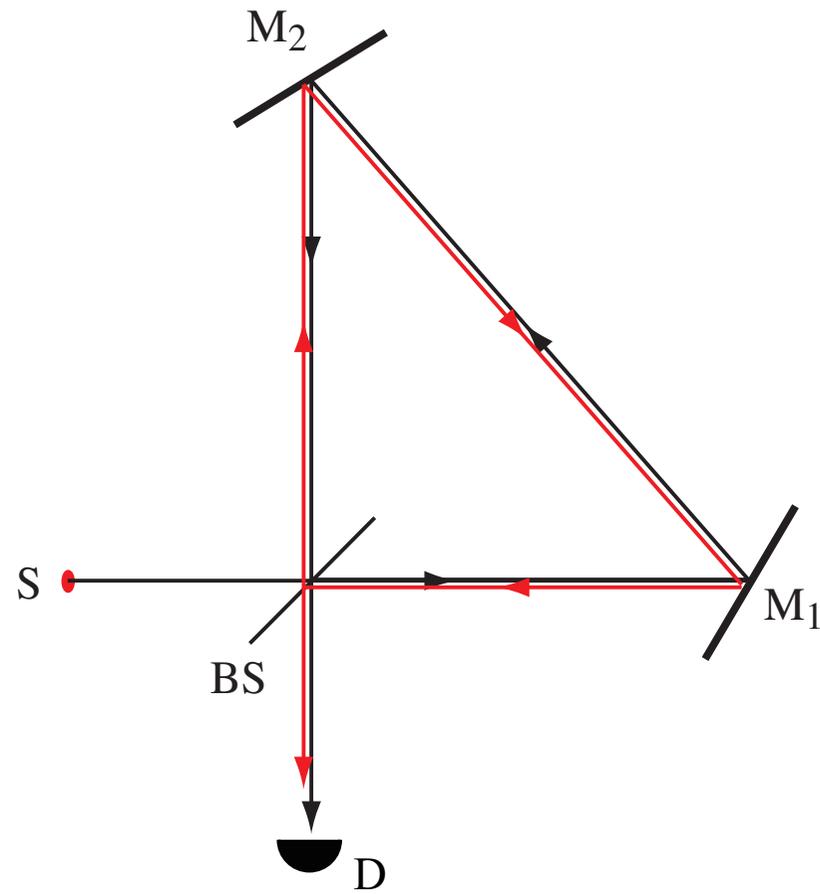
フィゾー干渉計



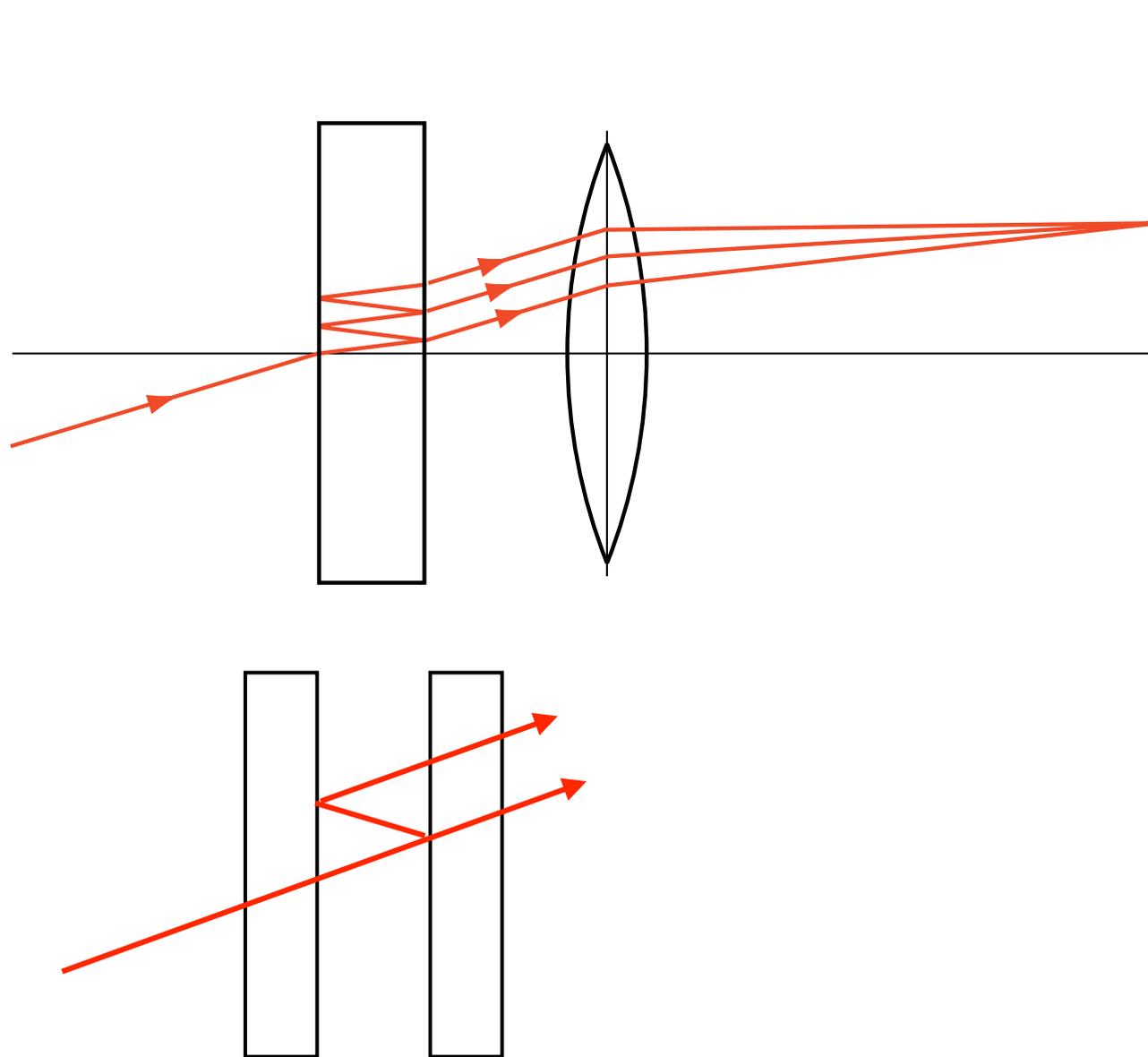
マッハ・ツェンダー干渉計



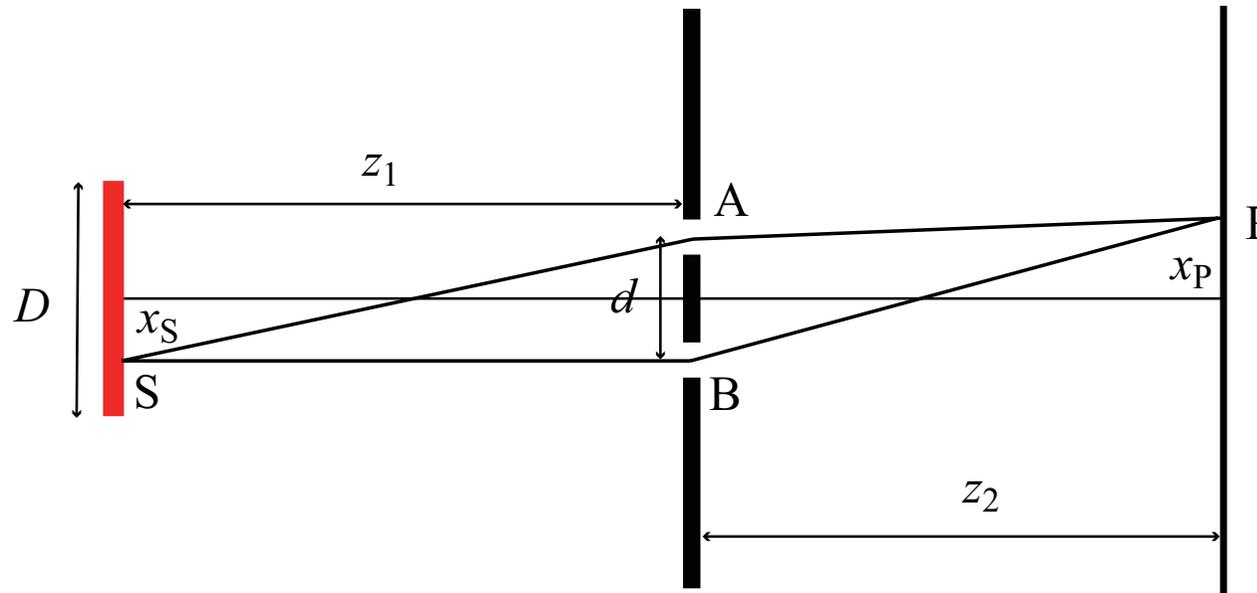
サニャック干渉計



ファブリー・ペロ干涉計



ヤングの干渉計 空間的コヒーレンス



マイケルソン干渉計 時間的コヒーレンス

