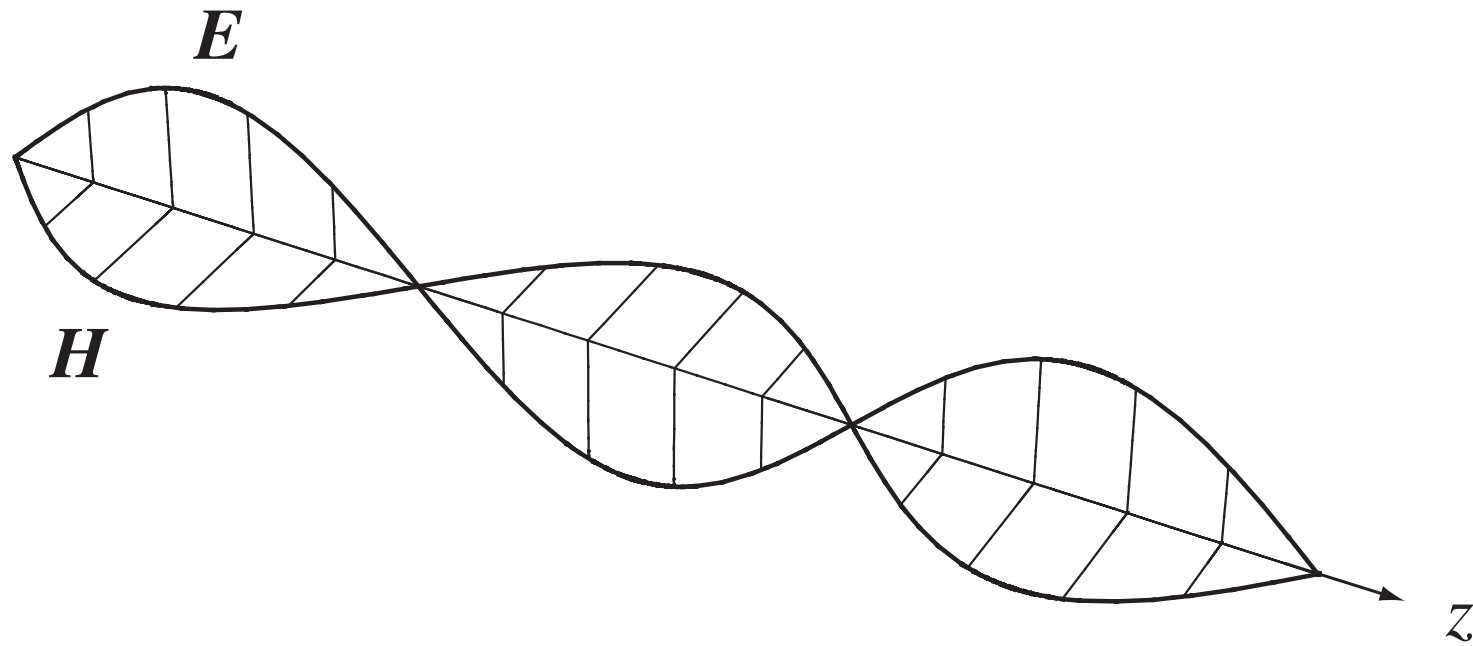


光学 第9章

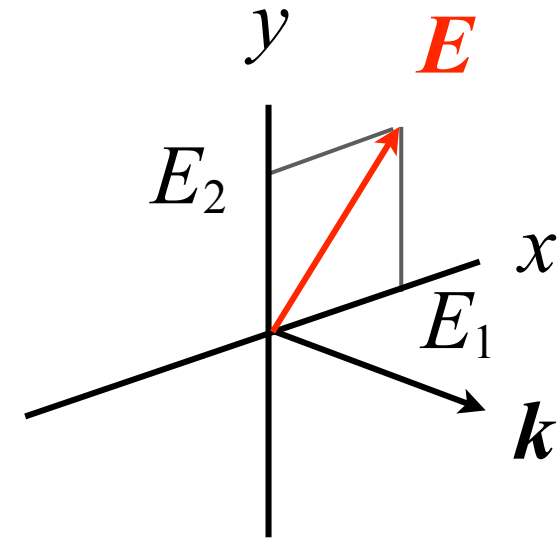
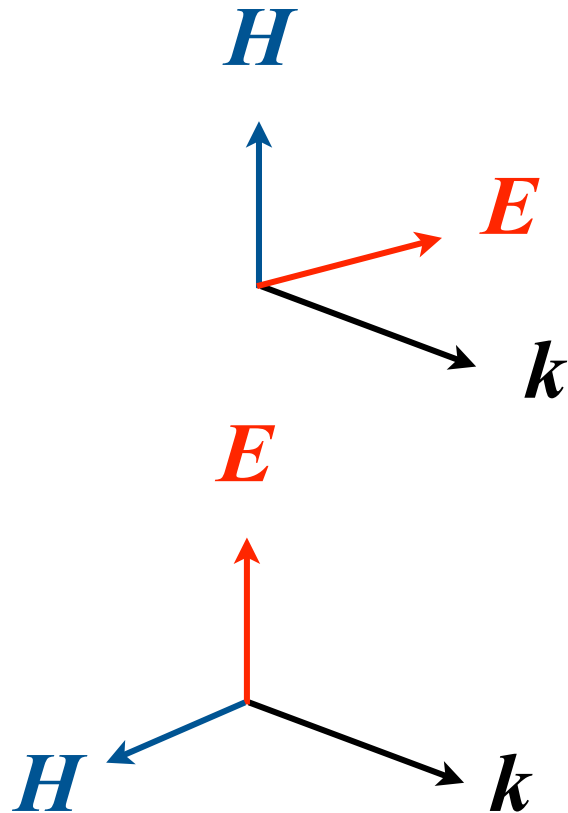
偏光と結晶光学

直線偏光



偏光

同じ方向に進む平面波



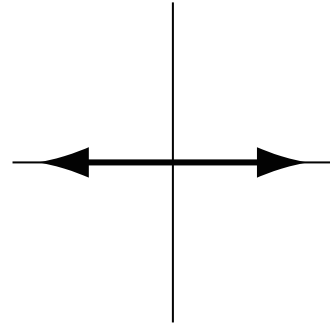
$$E_1 = A_1 \cos(\omega t - kz)$$

$$E_2 = A_2 \cos(\omega t - kz + \delta)$$

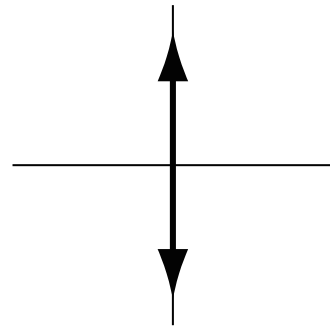
振幅

位相差

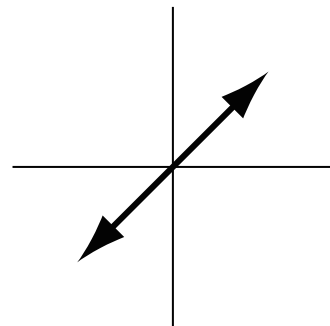
直線偏光



$$\begin{cases} E_x = A \cos(\omega t - kz) \\ E_y = 0 \end{cases}$$

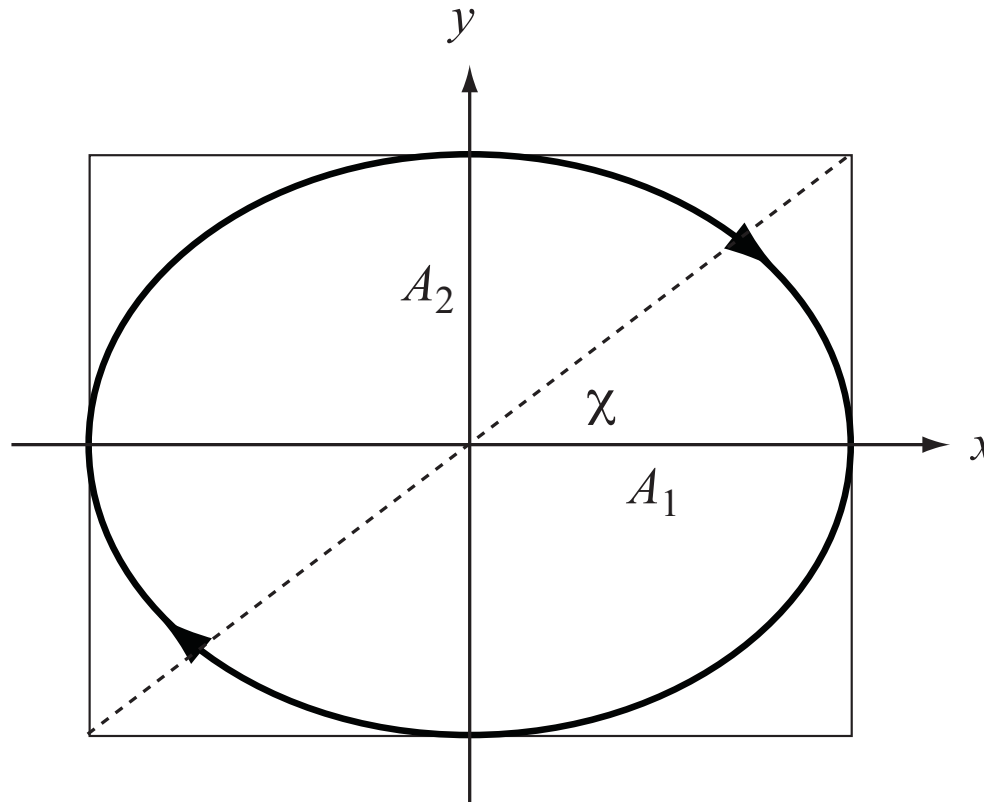


$$\begin{cases} E_x = 0 \\ E_y = A \cos(\omega t - kz) \end{cases}$$



$$\begin{cases} E_x = \frac{A}{\sqrt{2}} \cos(\omega t - kz) \\ E_y = \frac{A}{\sqrt{2}} \cos(\omega t - kz) \end{cases}$$

楕円偏光 (標準形)



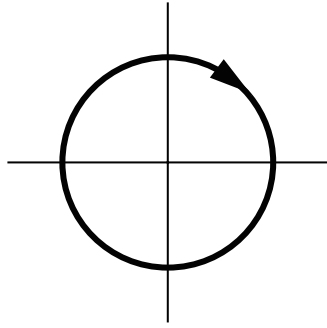
楕円率

$$\tan \chi = \frac{A_2}{A_1}$$

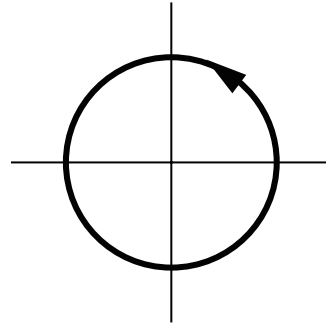
$$\delta = \pi/2$$

$$\begin{cases} E_x = A_1 \cos(\omega t - kz) \\ E_y = A_2 \cos(\omega t - kz + \pi/2) = -A_2 \sin(\omega t - kz) \end{cases}$$

円偏光



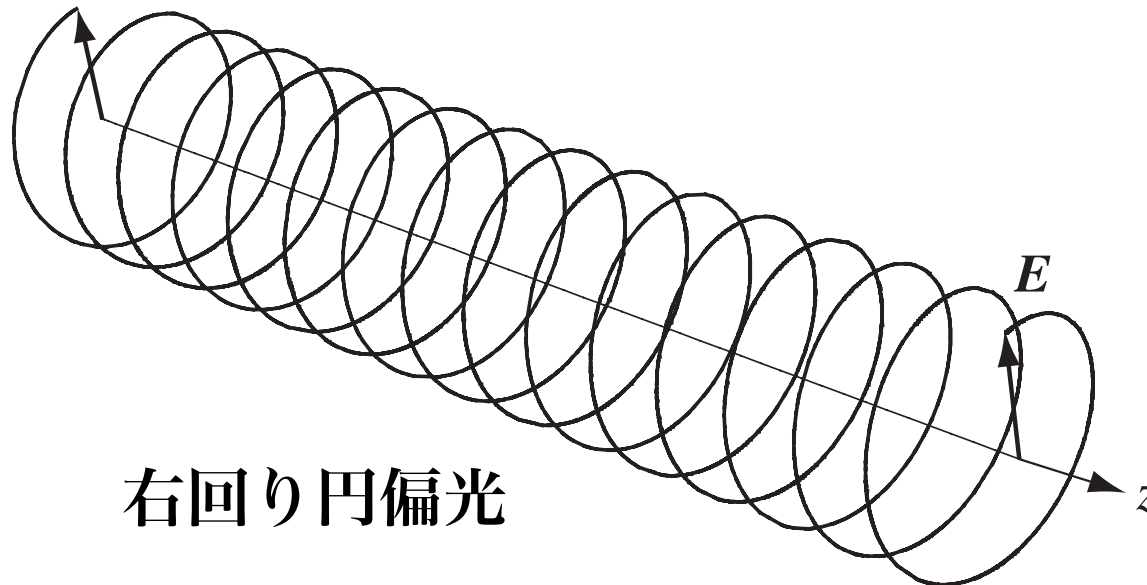
右回り



左回り

$$A_1 = A_2$$

$$\delta = \pi/2$$



右回り円偏光

偏光の表現

実数表現

$$E_1 = A_1 \cos(\omega t - kz)$$

$$E_2 = A_2 \cos(\omega t - kz + \delta)$$

振幅

位相差

複素数表現

$$\mathbf{E} = \begin{pmatrix} A_1 e^{-i(\omega t - kz)} \\ A_2 e^{-i(\omega t - kz + \delta)} \end{pmatrix} \\ = \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 e^{-i\delta} \end{pmatrix} e^{-i(\omega t - kz)}$$



ジョーンズベクトル

偏光の表現

ストークスパラメーターとポアンカレ球

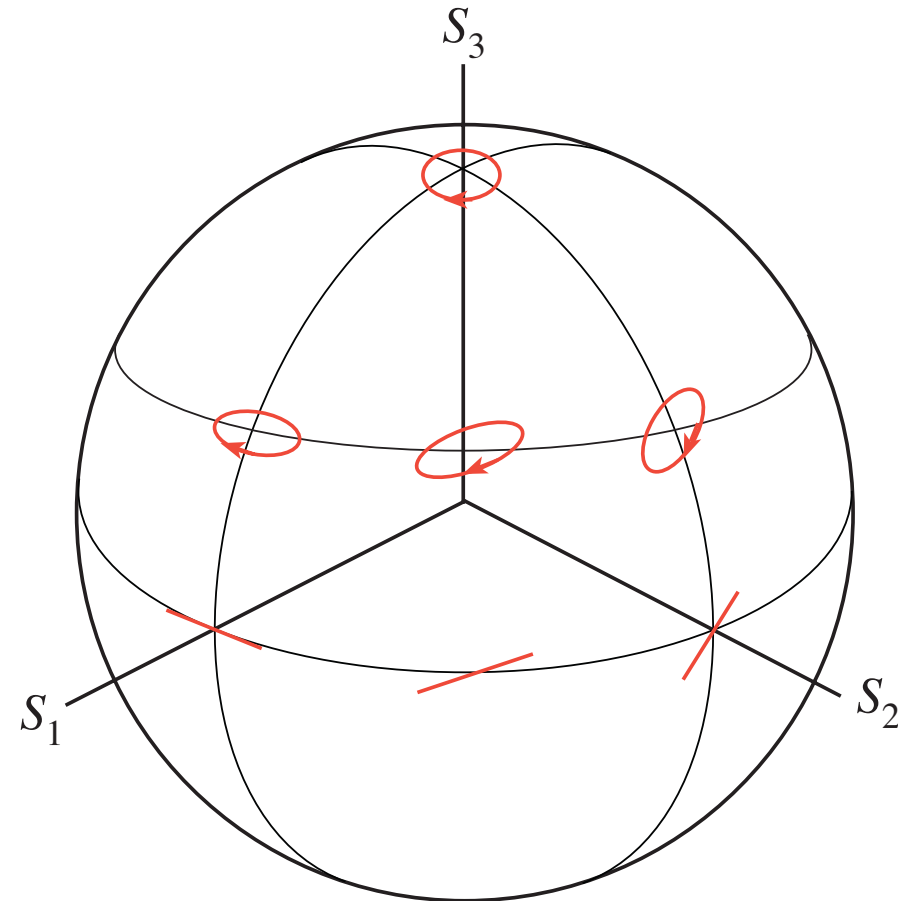
$$S_0 = A_1^2 + A_2^2 = 1$$

$$S_1 = A_1^2 - A_2^2$$

$$S_2 = 2A_1A_2 \cos \delta$$

$$S_3 = 2A_1A_2 \sin \delta$$

$$S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 = S_0^2 = 1$$



偏光がかかわる現象

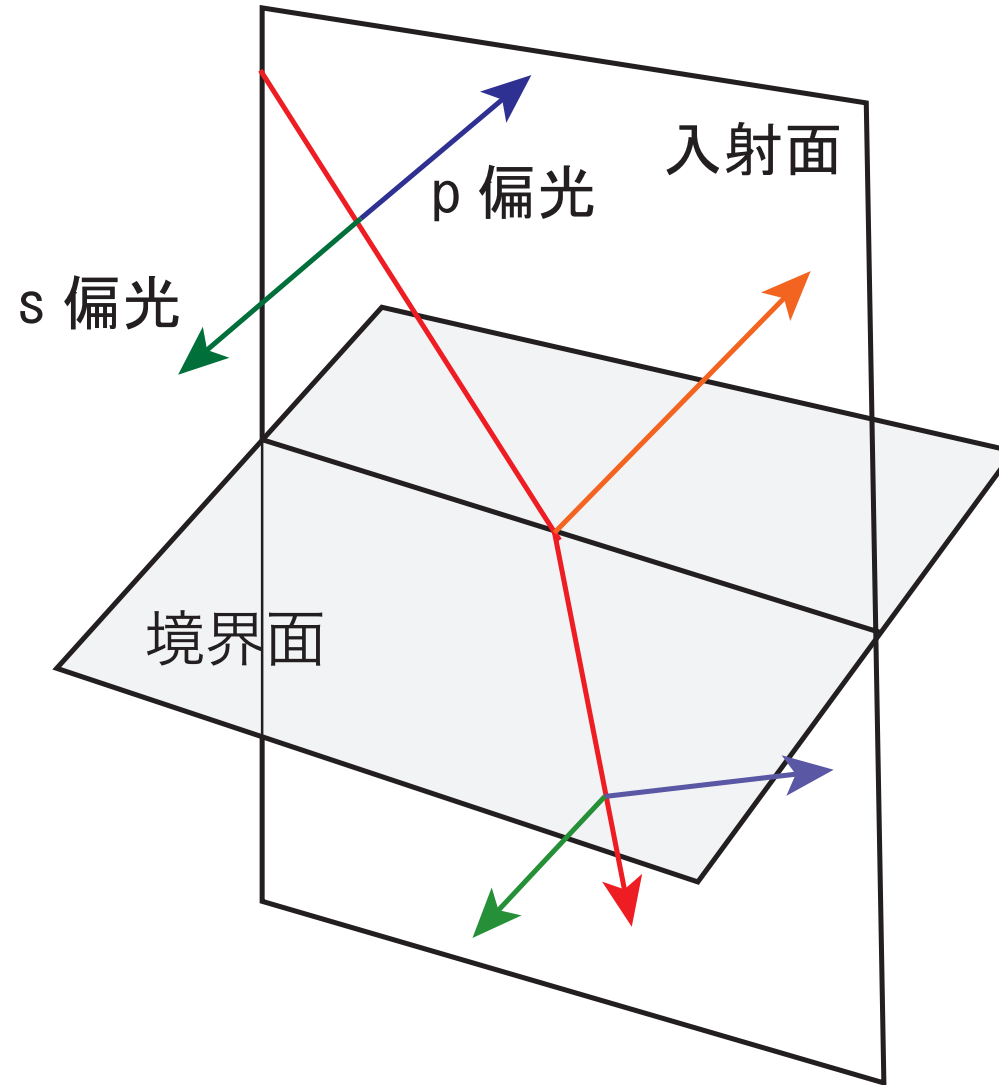
- 反射率, 透過率
 - 偏光サングラスの原理
- 結晶 (異方性媒質) 中の光波
 - 屈折率が伝搬方向と偏光のよって変わる
- 光導波路のモード
- 応用
 - 液晶表示など
 - エリプソメトリー
 - 表面や薄膜の計測

反射率と透過率

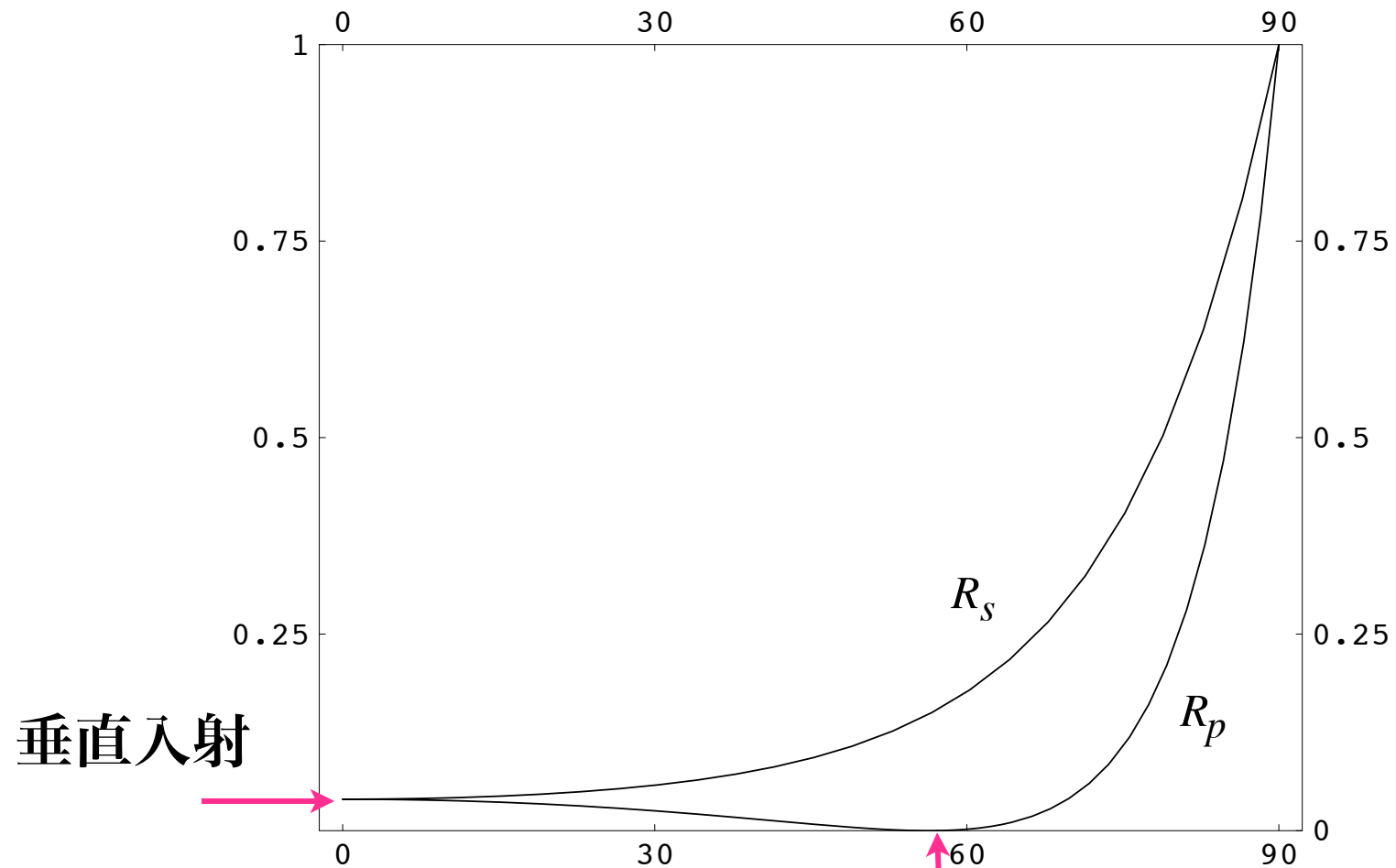
s偏光とp偏光

垂直

平行



反射率 $n = 1.5$



垂直入射

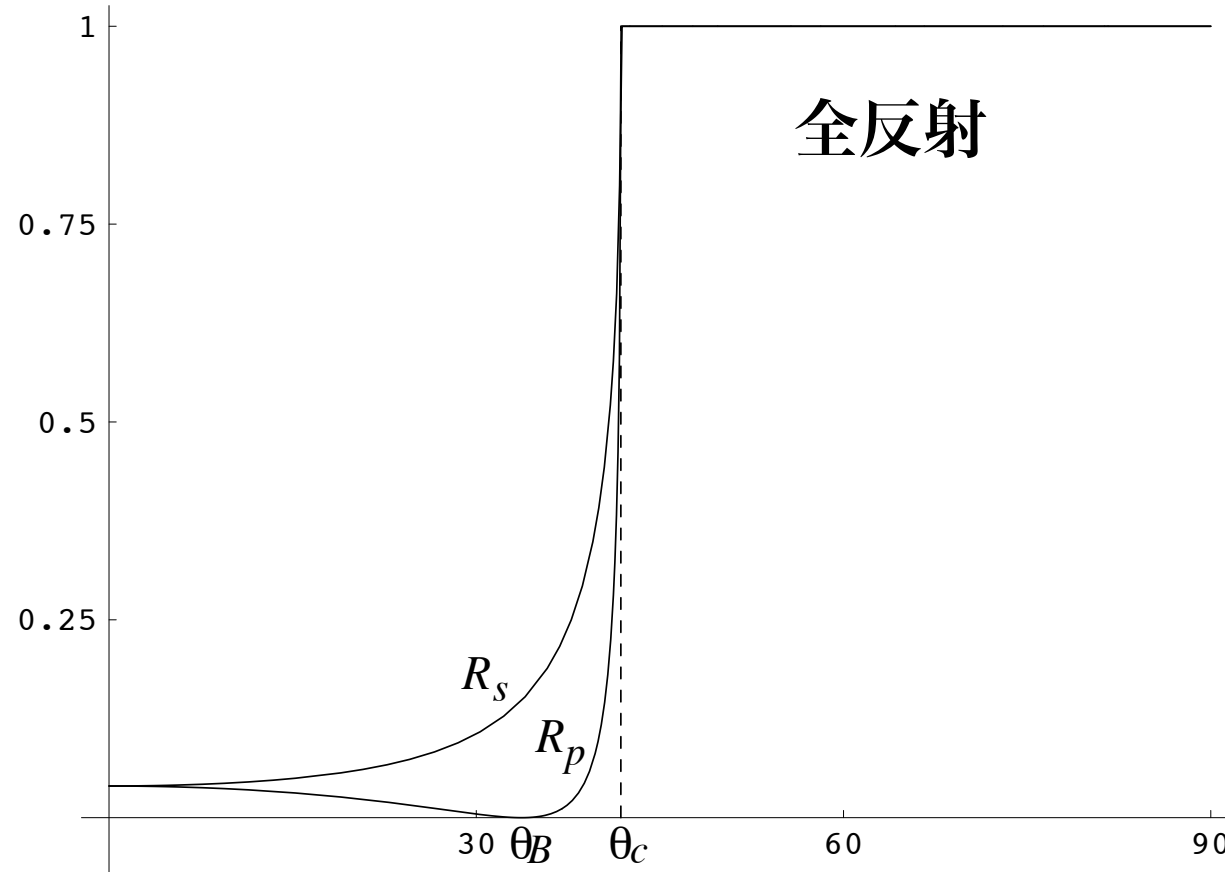
入射角

ブルースター角

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2$$

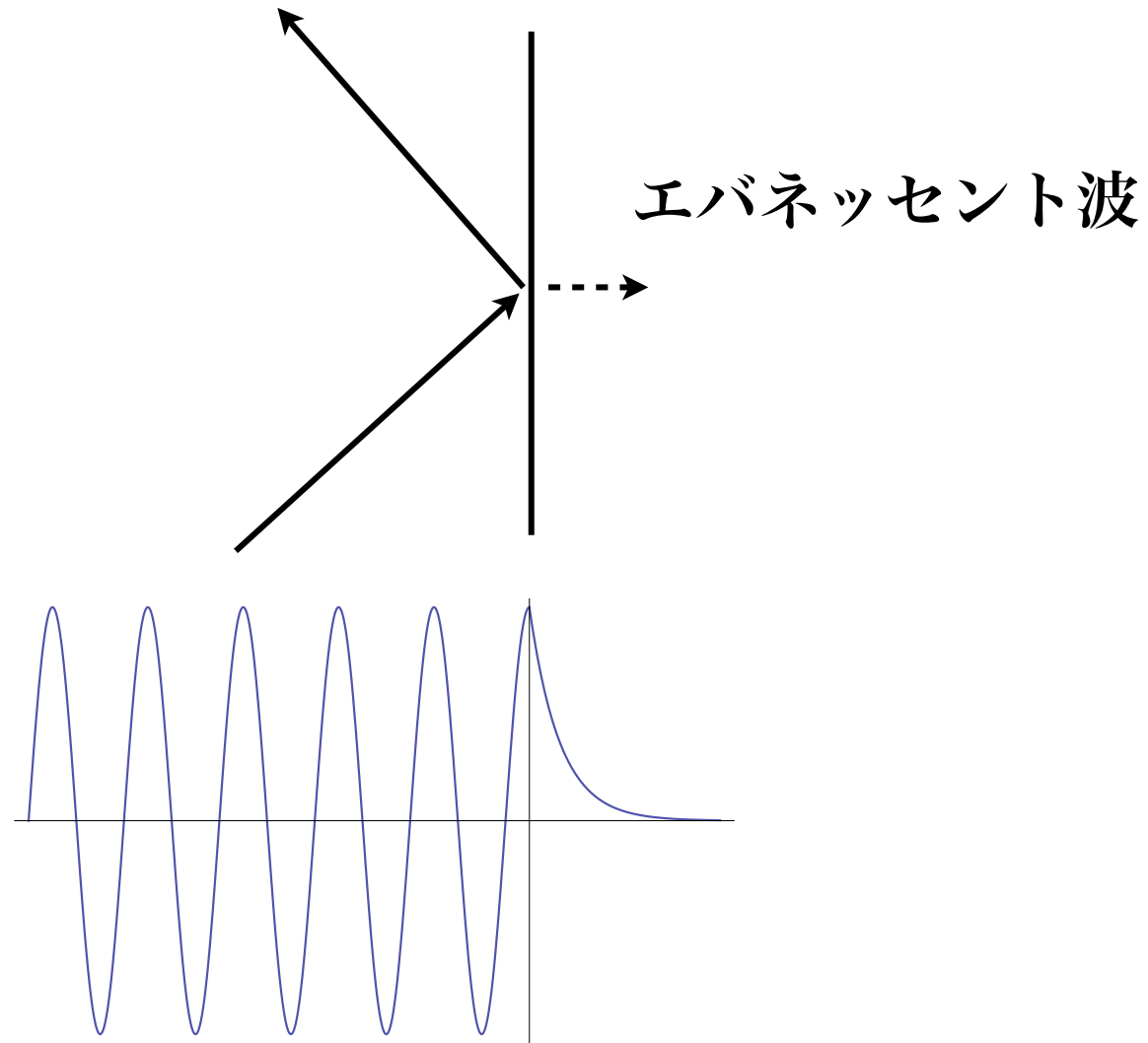
$$\tan \theta_1 = \frac{n_2}{n_1}$$

反射率 $n = 1/1.5$



臨界角

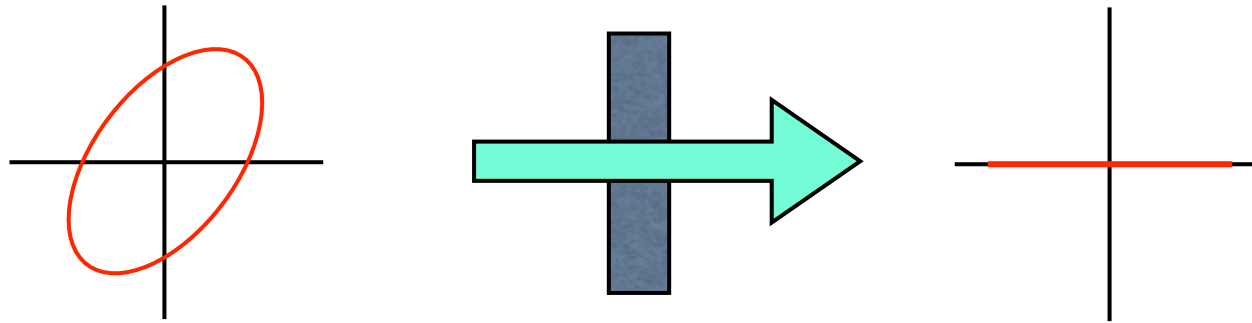
全反射



偏光素子

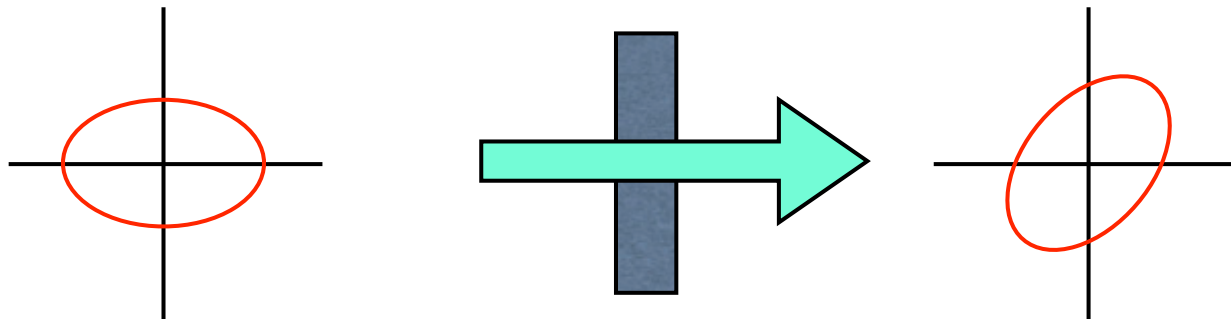
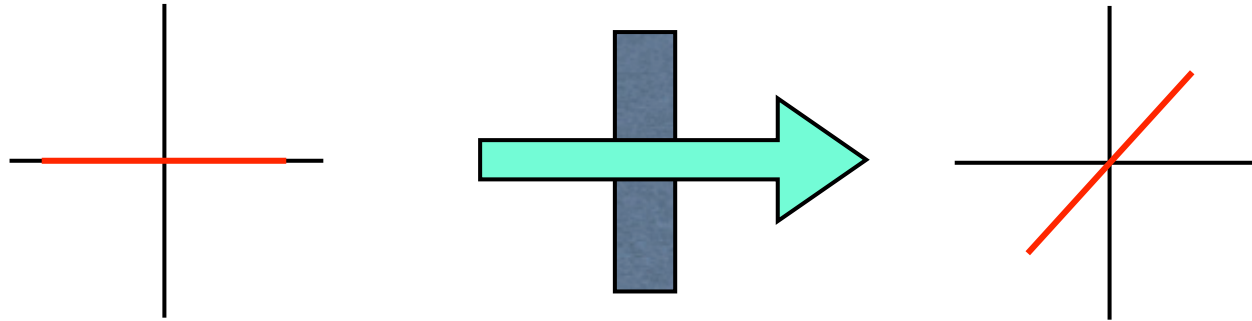
- 偏光子（偏光板）
 - 特定の偏光状態のみを通す素子
 - 特定の偏光状態に強制的に変換する
- 旋光子
 - 偏光の軸方向を回転する
- 移相子（位相板，波長板）
 - x成分とy成分の位相差を変える

偏光子, 偏光板



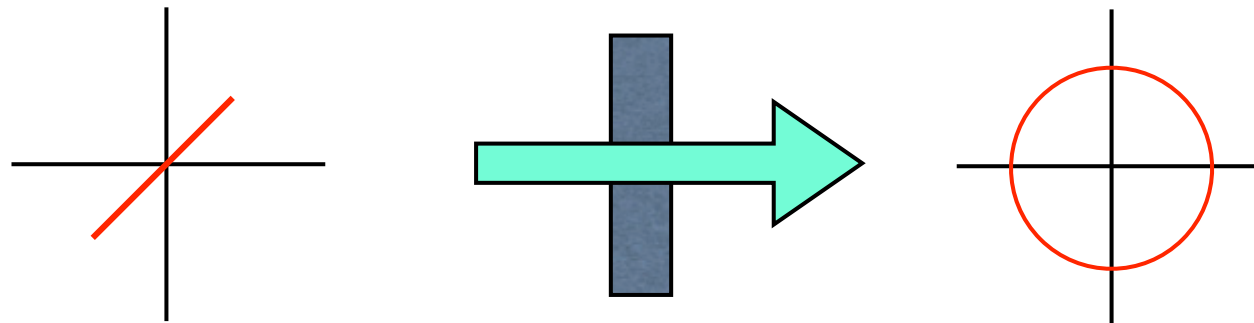
ポラロイド
偏光プリズム

旋光子



自然旋光性
ファラディ効果

移相子, 位相板, 波長板



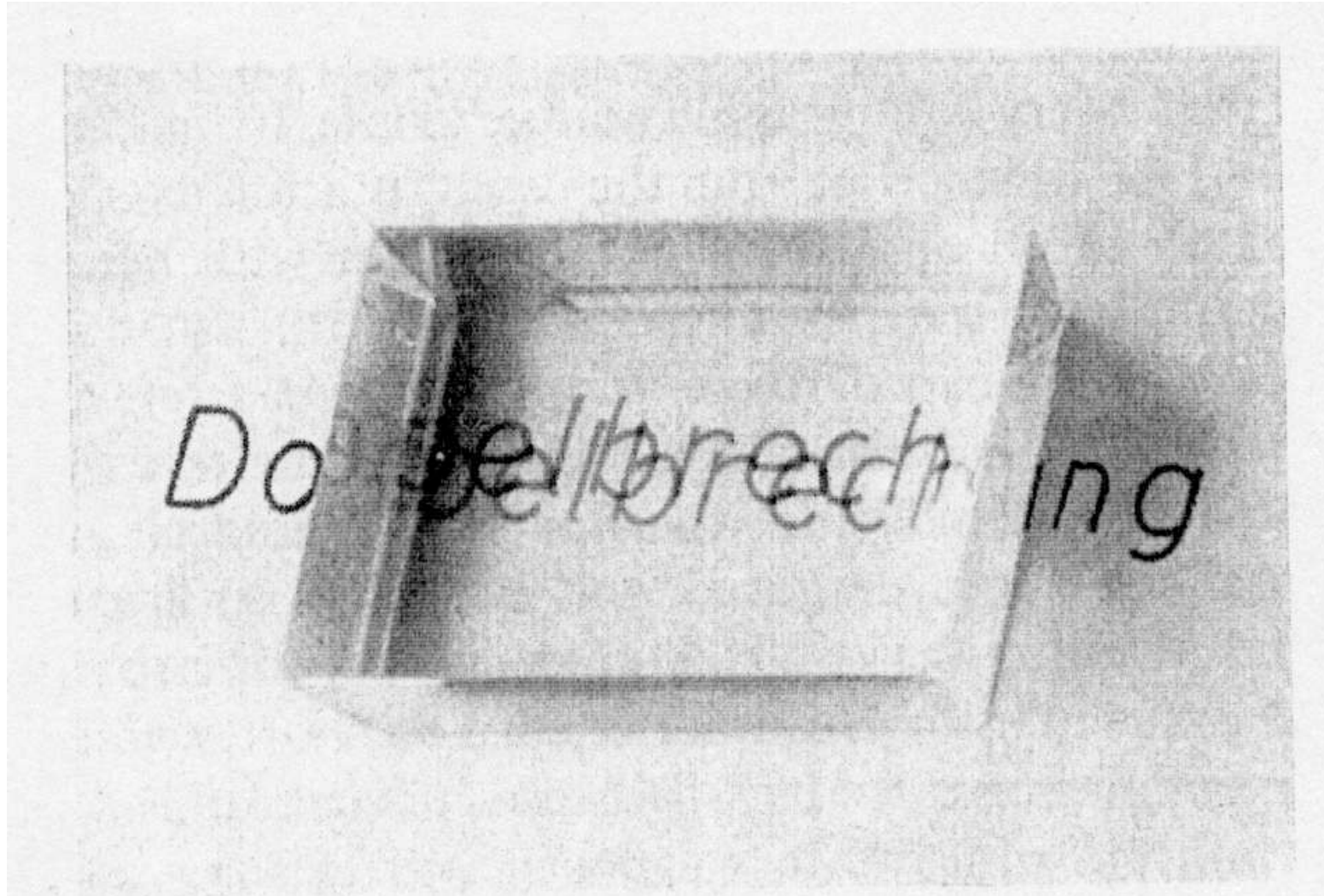
1/4波長板

x成分とy成分の間に
 $\pi/2$ の位相差をつける

結晶

複屈折

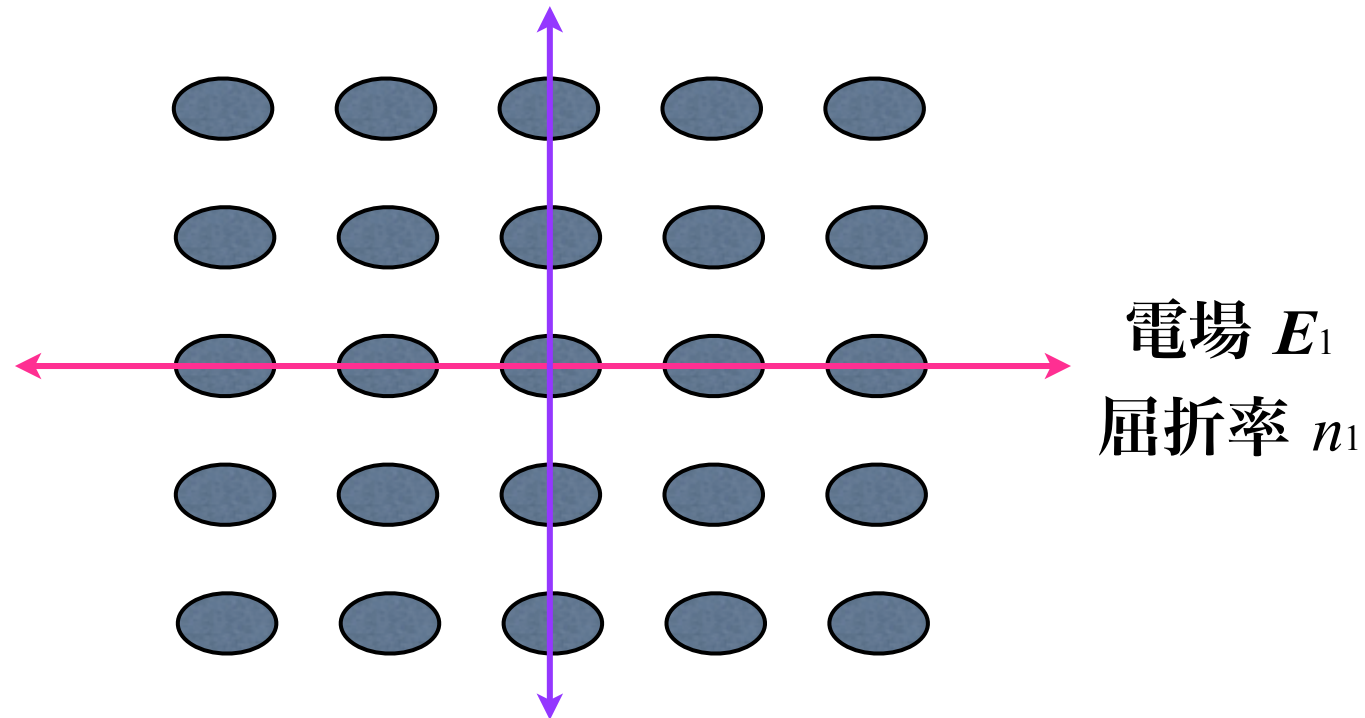
二重像



結晶光学

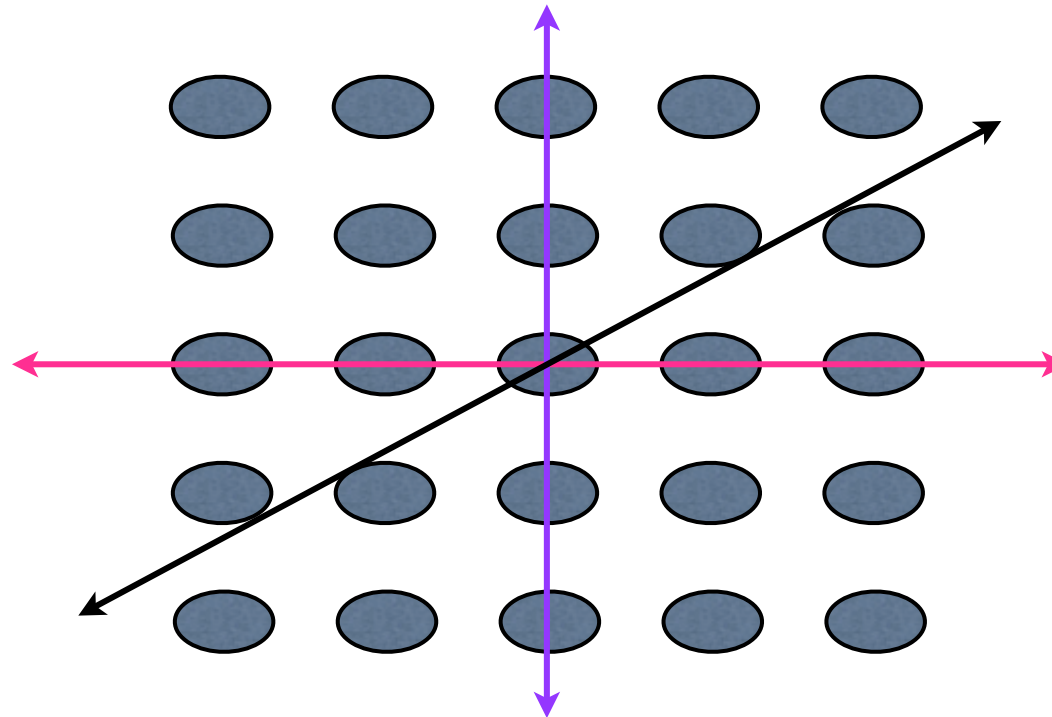
電場 E_2

屈折率 n_2



結晶のような異方性媒質中では，方向によって原子の配列が異なるから，偏光によって屈折率が異なる

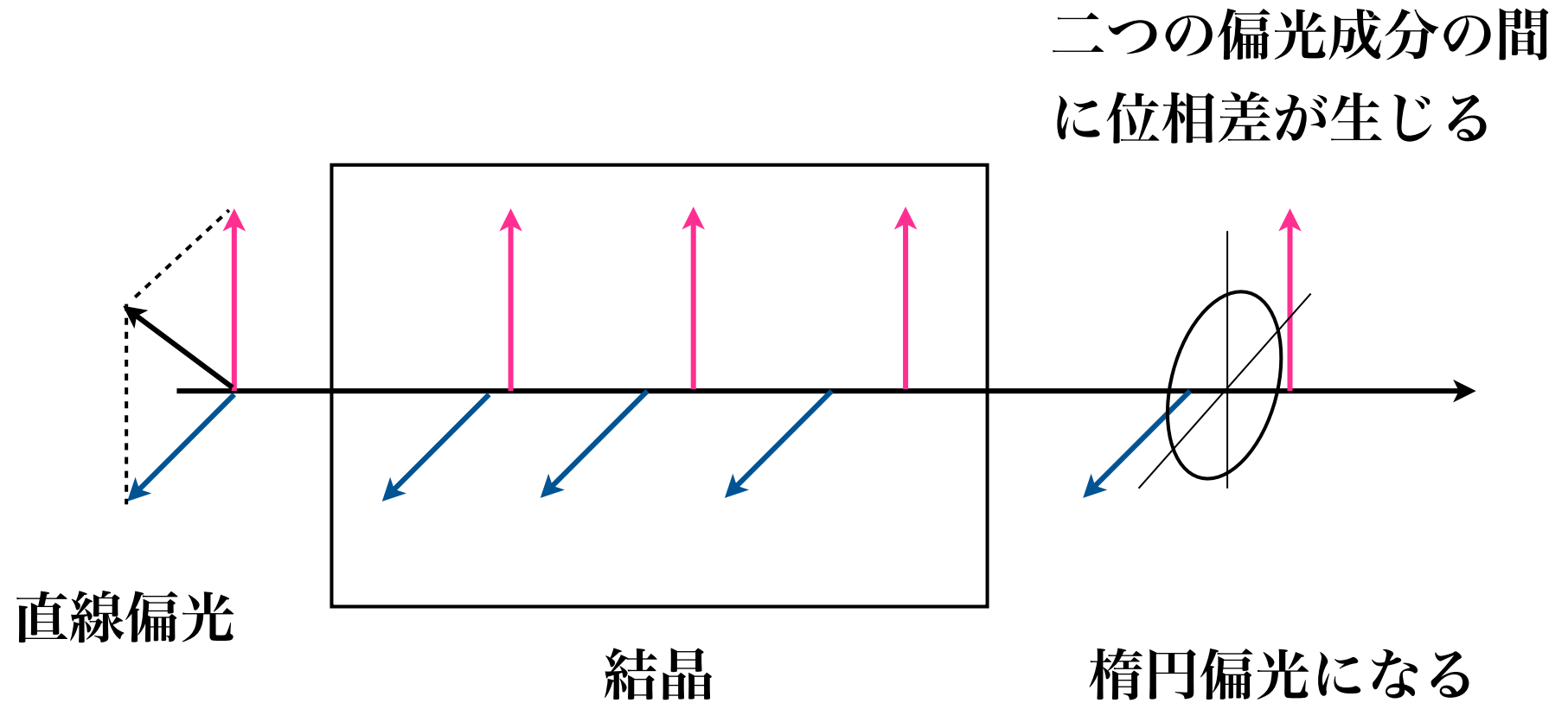
固有偏光



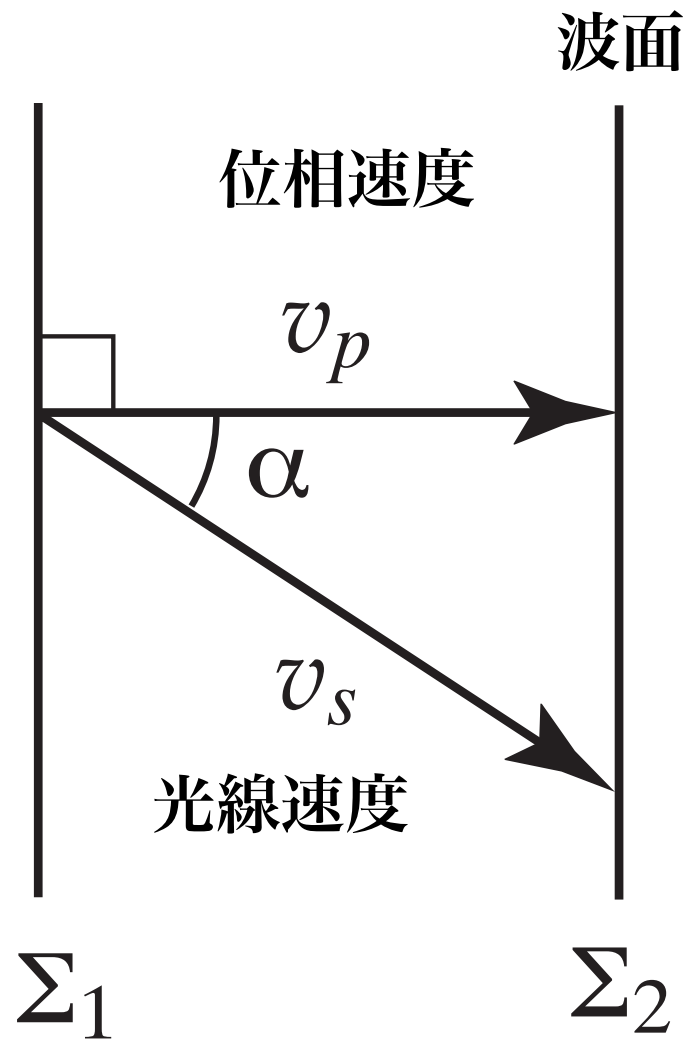
では、斜めに傾いた偏光はどのように進むか？

二つの偏光成分に分かれて、
それぞれ異なる屈折率で伝搬する

結晶中の光波の伝搬



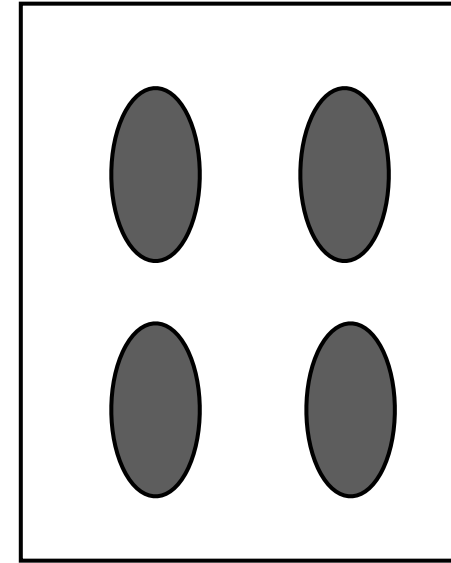
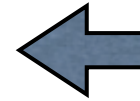
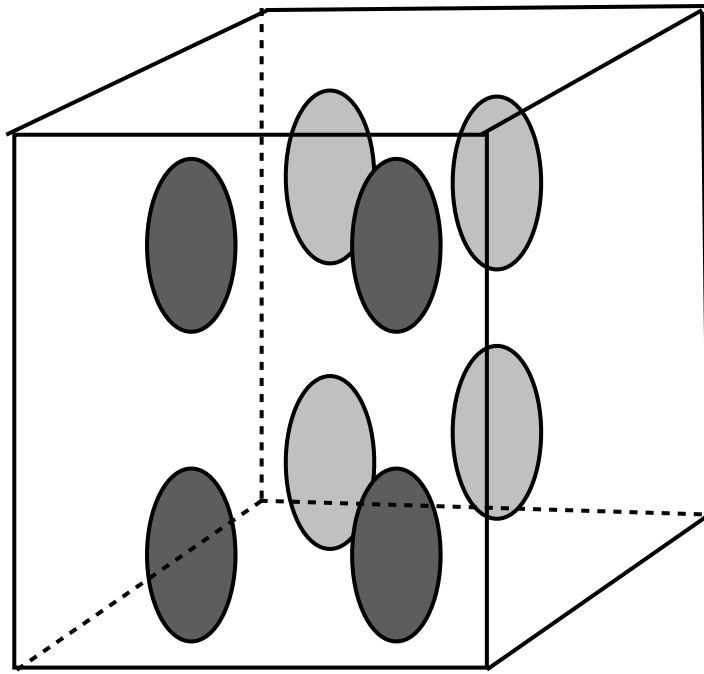
位相速度と光線速度



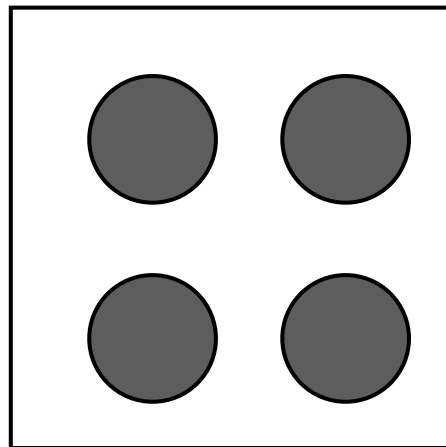
異方性媒質中を伝搬する光波では、波面が進む方向（**波面法線**）と、エネルギーが進む方向（**光線方向**）が異なる
したがって、位相速度と光線速度も異なる

さらに、偏光によって光線方向が異なる。このため、二重像が観測される

一軸結晶



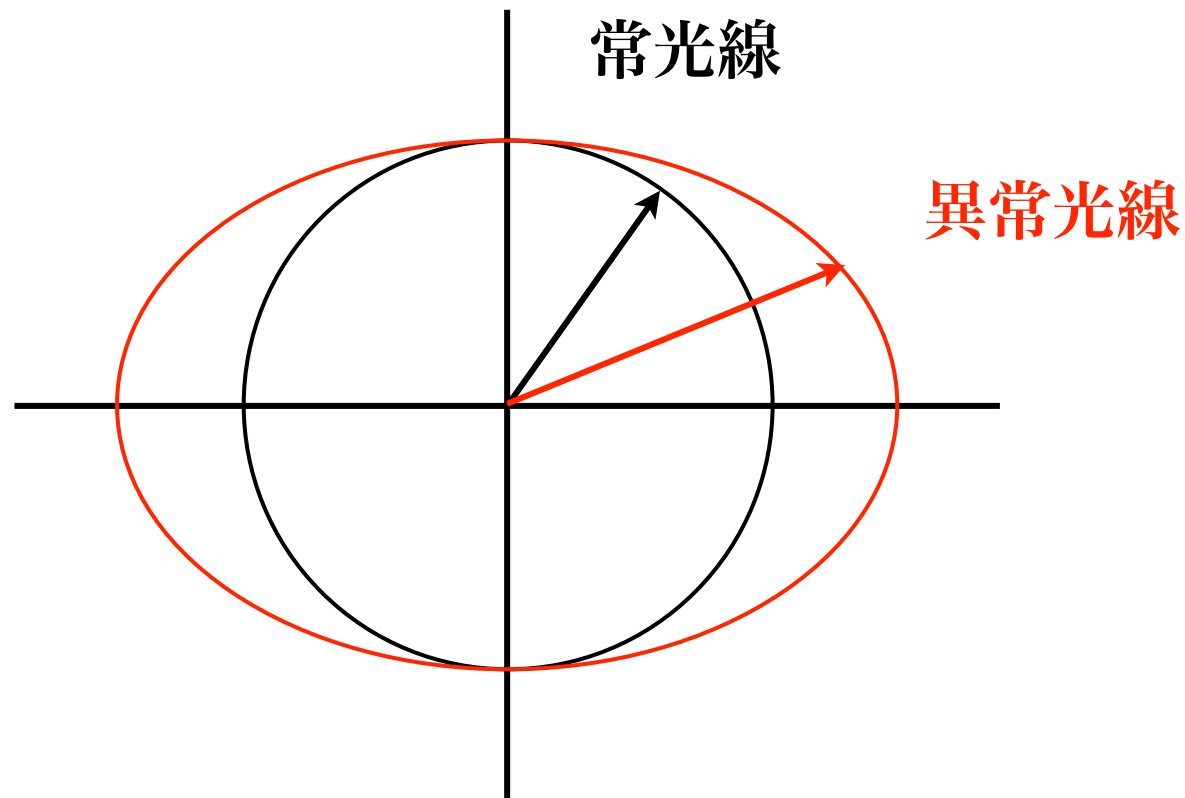
異方性有り



異方性無し

光線速度面（一軸結晶）

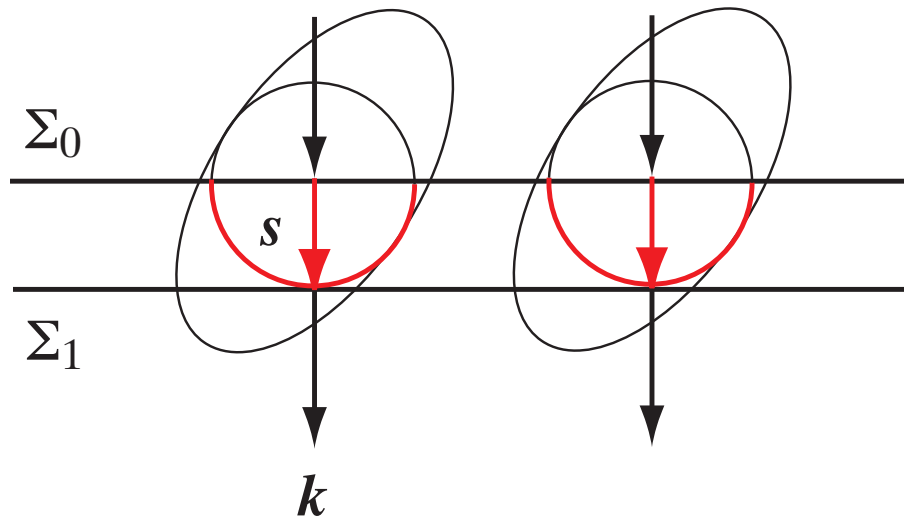
常光線と異常光線に分けられる



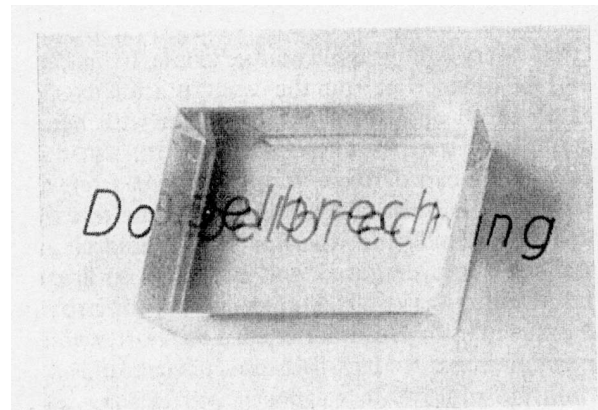
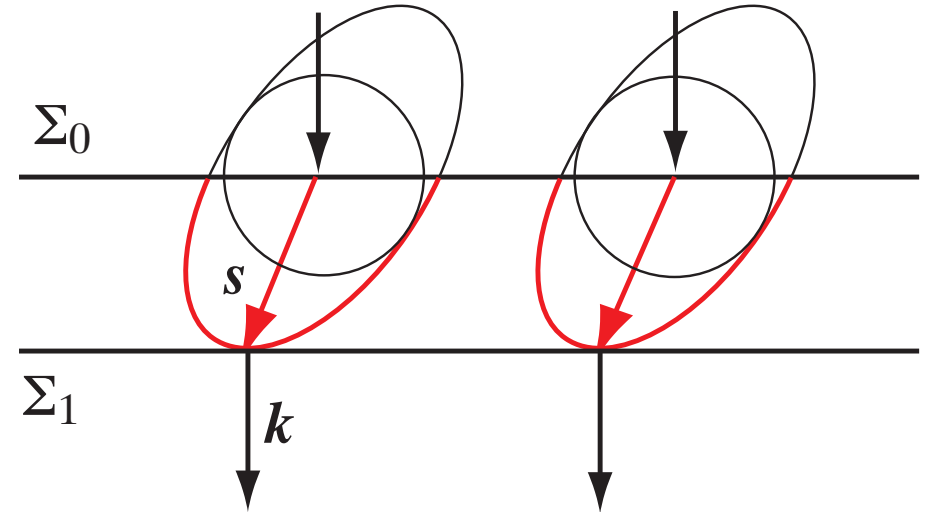
一軸結晶中の光波伝搬

ホイヘンスの原理

常光線

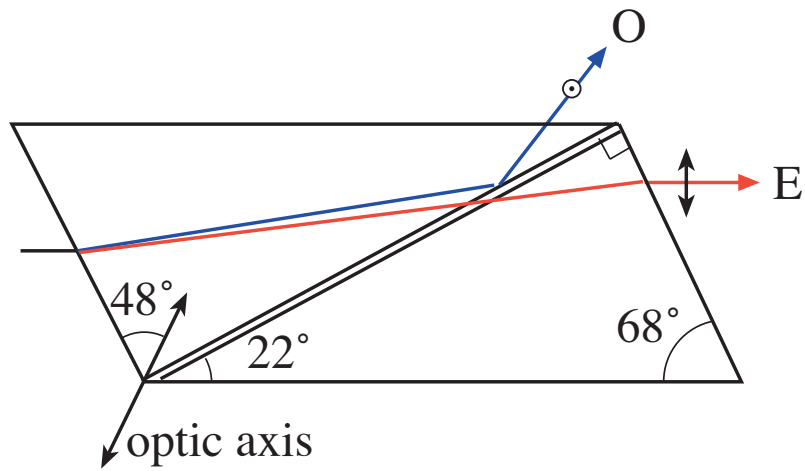


異常光線

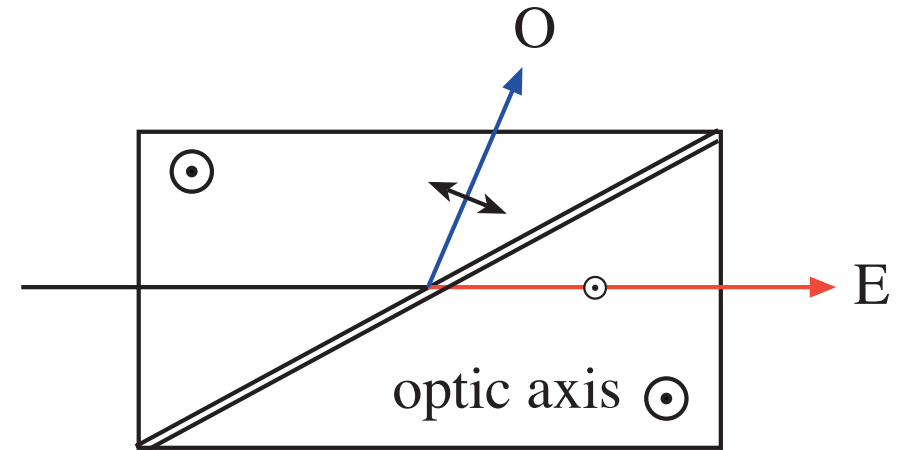


偏光プリズム

ニコルプリズム

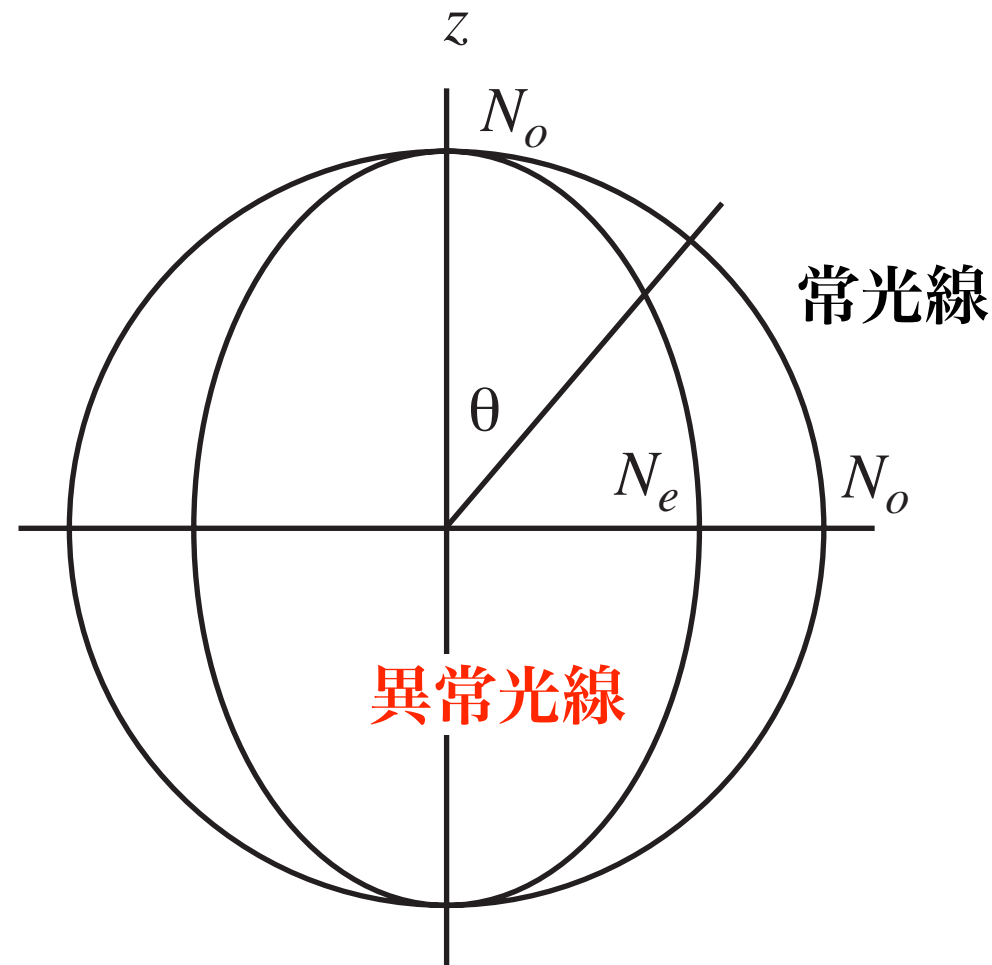


グラントムソン プリズム



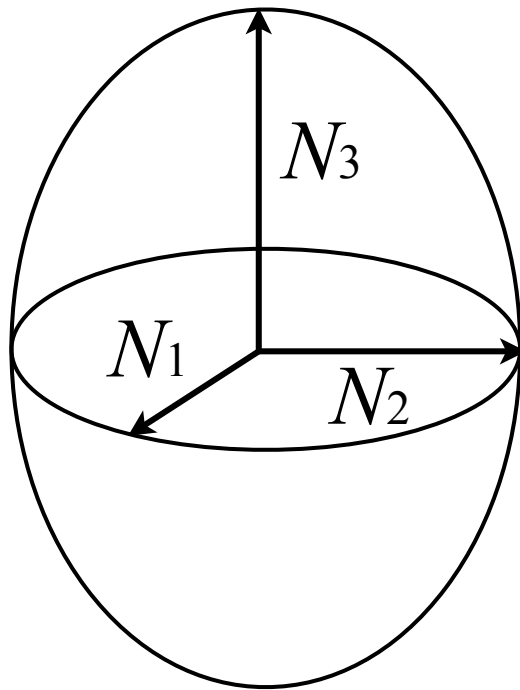
結晶：方解石

屈折率面 (一軸結晶)



波面の進む方向に屈折率の
大きさをとったグラフ

屈折率楕円体



主軸の半径が主屈折率に等しい楕円体

