

第五章 光的偏振 晶体光学基础

§1 光的偏振态

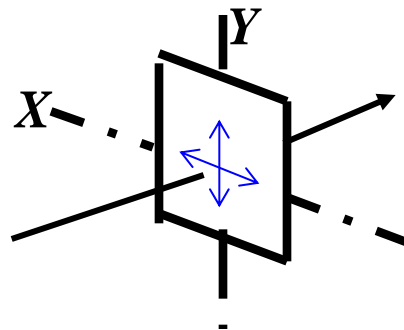
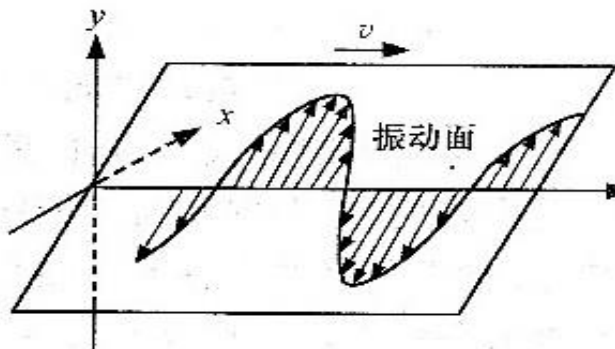
光波 \longrightarrow 电磁波、横波

光矢量 \longrightarrow 电场矢量 \vec{E}

一、光的偏振性

纵波：振动方向 \parallel 传播方向 \longleftrightarrow

横波：振动方向 \perp 传播方向 —— 光的横波偏振性



在垂直传播方向的平面内， \vec{E} 有各种不同的振动状态。

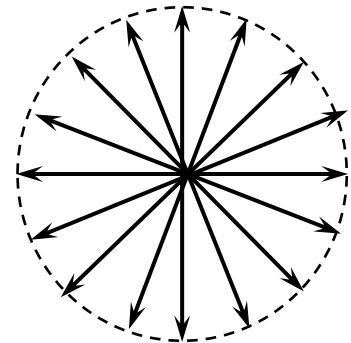
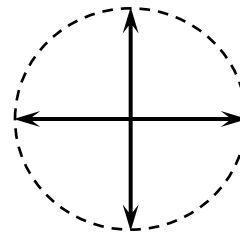
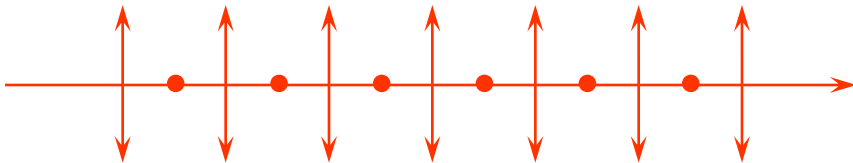
~光的偏振态(polarization state)₁

{ 横波、纵波均有干涉、衍射现象
横波有偏振性，纵波没有

二、自然光

光沿某一方向传播时，在垂直于传播方向的平面内，沿各个方向振动的光矢量都有，且各方向光振动的振幅都相等。沿任一方向的分量对应的光强度都相同，等于总强度的一半。

可分解为任意两个方向互相垂直、振幅相等，没有任何相位关系的光矢量分量（偏振光）， $I = \frac{I_0}{2}$

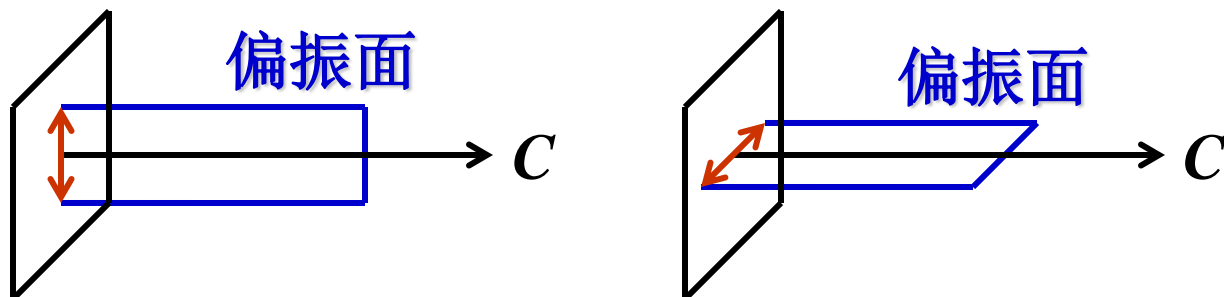


三、完全偏振光

1. 线偏振光（面偏振光）(*linear ly polarized light*)。

光矢量在垂直传播方向的平面内，只沿一个固定方向振动

偏振面：传播方向与振动方向(E 矢量)组成的平面。



偏振光表示：



2. 圆偏振光 (*circular polarized light*) 和 椭圆偏振光 (*elliptic polarized light*)

两个振动方向相互垂直、振幅相等的线偏振光合成
在垂直于传播方向的平面内，光矢量按一定的频率旋转，
光矢量振幅不变，矢端扫出轨迹是圆——圆偏振光

两个振动方向相互垂直、振幅不等的线偏振光合成
在垂直于传播方向的平面内，光矢量按一定的频率旋转，
光矢量振幅不断改变，矢端扫出轨迹是椭圆——椭圆偏振光

顺时针转动——右旋光

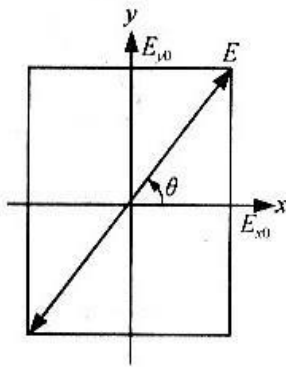
逆时针转动——左旋光

3. 垂直振动的合成

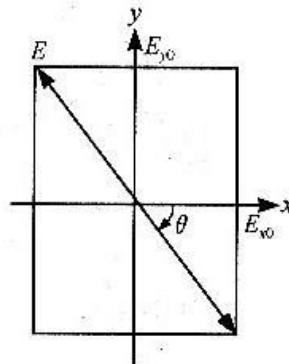
$$\begin{cases} E_x = A_x \cos \omega t \\ E_y = A_y \cos(\omega t + \delta_{xy}) \end{cases}$$

① $\delta_{xy} = 0, \pi$:
$$\begin{cases} E_x = A_x \cos \omega t \\ E_y = \pm A_y \cos \omega t \end{cases}$$

$E_y = \pm \frac{A_x}{A_y} E_x \rightarrow$ 合振动矢量端点轨迹直线



(a) $\delta = 0$

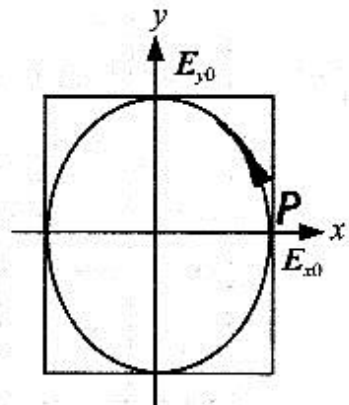
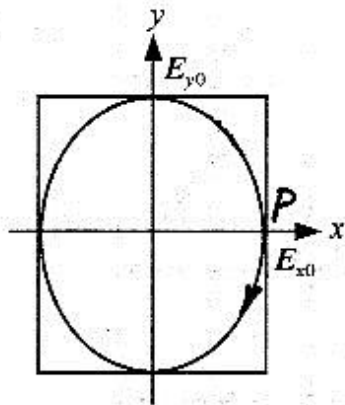


(b) $\delta = \pi$

$$\textcircled{2} \quad \delta_{xy} = \pm \frac{\pi}{2} : \begin{cases} E_x = A_x \cos \omega t \\ E_y = \mp A_y \sin \omega t \end{cases} \rightarrow \frac{E_x^2}{A_x^2} + \frac{E_y^2}{A_y^2} = 1$$

$$\frac{E_x^2}{A_x^2} + \frac{E_y^2}{A_y^2} = 1 \rightarrow \begin{cases} A_x = A_y = A: \text{轨迹为正圆} \\ A_x \neq A_y: \text{轨迹为正椭圆} \end{cases} \begin{cases} \delta_{xy} = +\frac{\pi}{2}: \text{右旋} \\ \delta_{xy} = -\frac{\pi}{2}: \text{左旋} \end{cases}$$

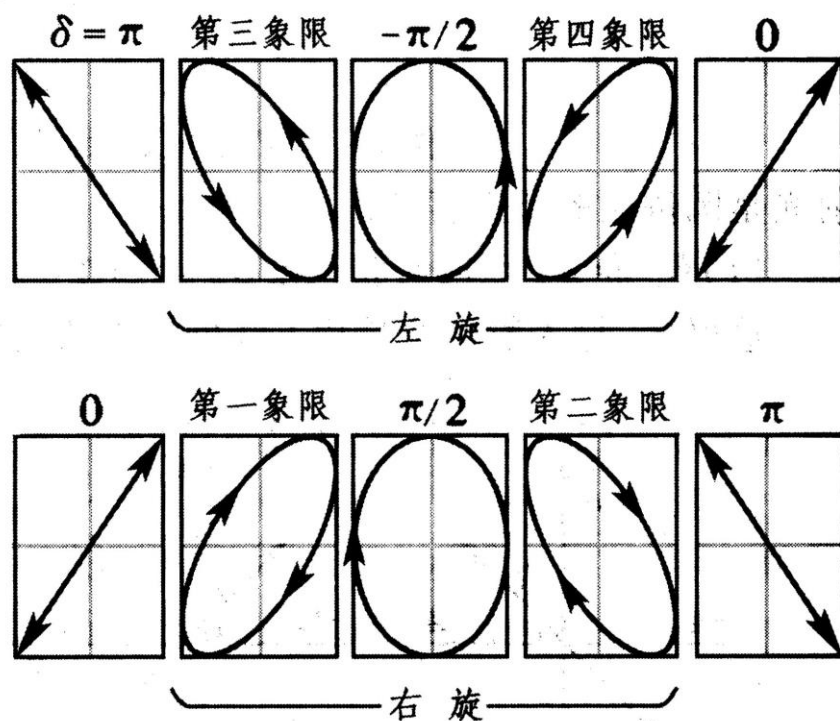
右旋 $\delta = \frac{\pi}{2}$



左旋 $\delta = -\frac{\pi}{2}$

③ 一般情况:
$$\begin{cases} E_x = A_x \cos \omega t \\ E_y = A_y \cos(\omega t + \delta_{xy}) \end{cases}$$

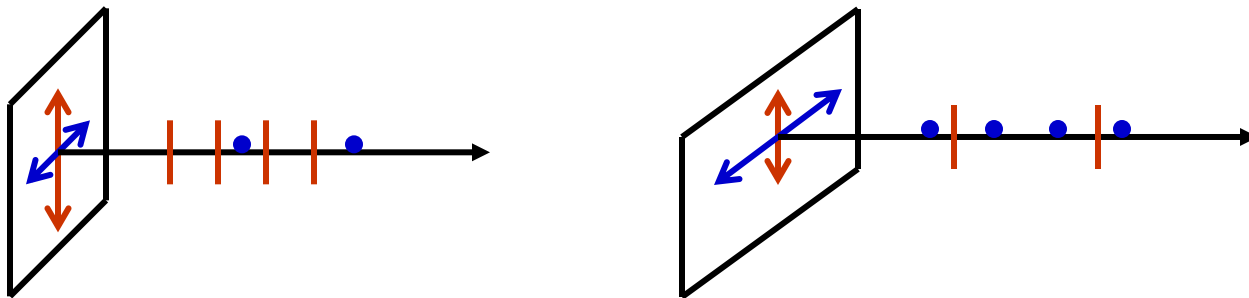
$$\frac{E_x^2}{A_x^2} + \frac{E_y^2}{A_y^2} - \frac{2E_x E_y}{A_x A_y} \cos \delta = \sin^2 \delta \rightarrow \text{轨迹为倾斜椭圆}$$



各种相位差时的椭圆偏振光

四、部分偏振光 (*partial polarized light*)

在垂直传播方向的平面内，光矢量 E 在某一方向振动较强，而垂直该方向的振动较弱——**线偏振光+自然光**



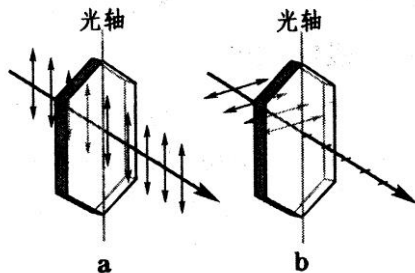
偏振度:
$$P = \frac{I_L}{I_L + I_N} = \frac{I_y - I_x}{I_y + I_x}$$

线偏振光为
y方向振动时

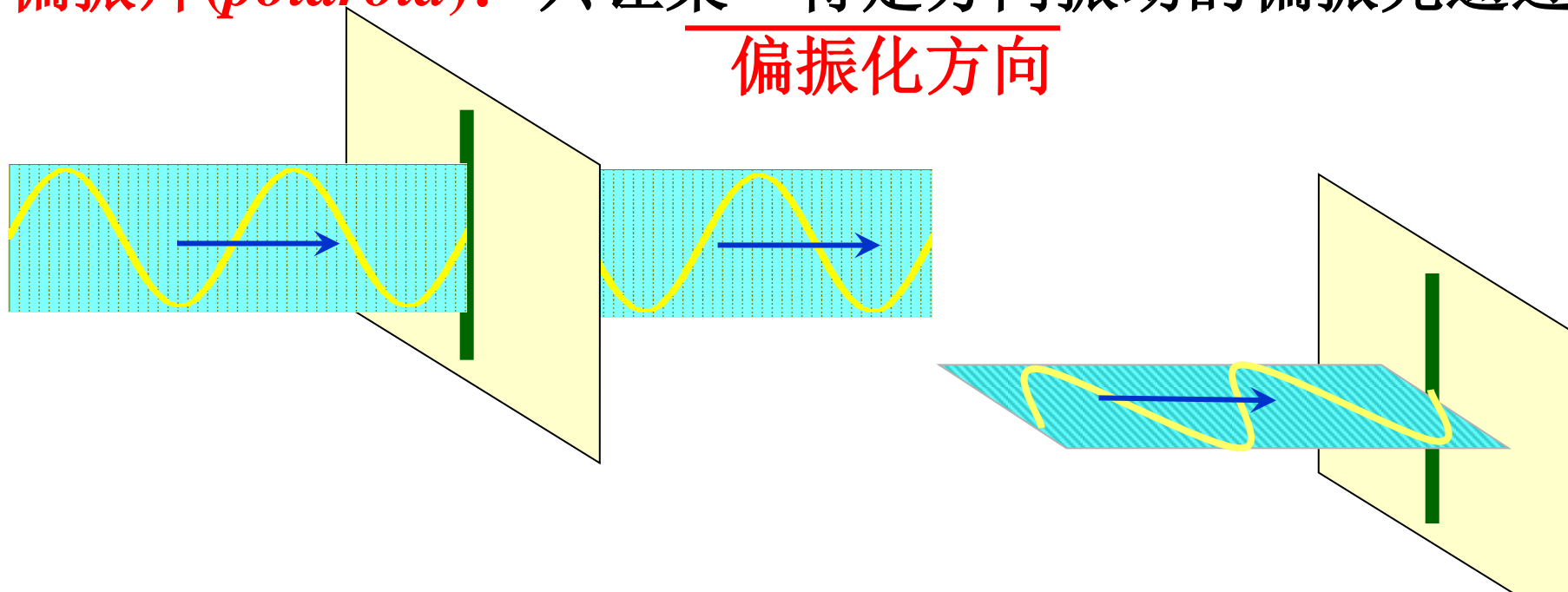
§ 2 偏振片的起偏与检偏、马吕斯定律

一、偏振片作用机制

晶体二向色性：对不同方向的电磁振动具有选择性吸收
(*dichroism*)



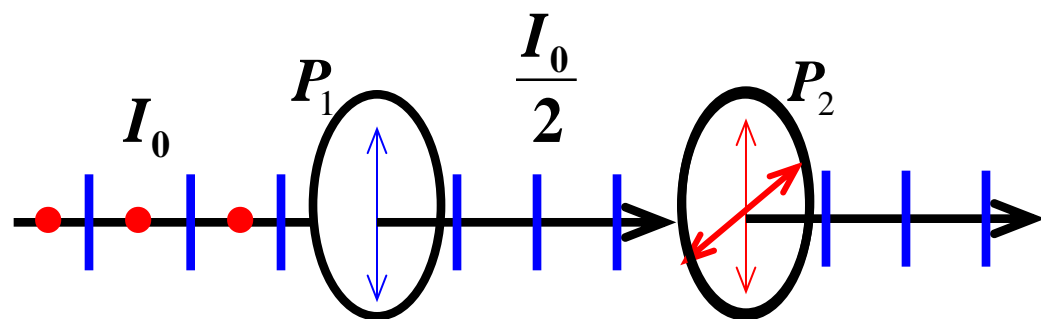
偏振片(*polaroid*): 只让某一特定方向振动的偏振光通过
偏振化方向



二、偏振片对不同偏振态的光强响应

1. 自然光

自然光入射，出射光强： $I = \frac{I_0}{2}$



起偏：自然光 \longrightarrow 偏振光

检偏：检验光的偏振状态

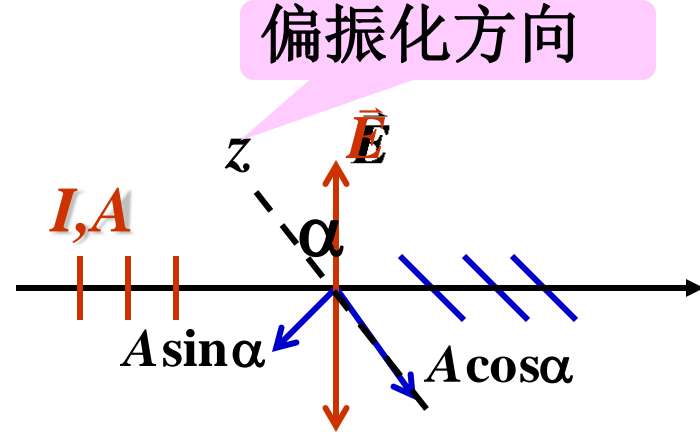
检偏器(*analyzer*) —— 偏振片

2. 线偏振光——马吕斯定律

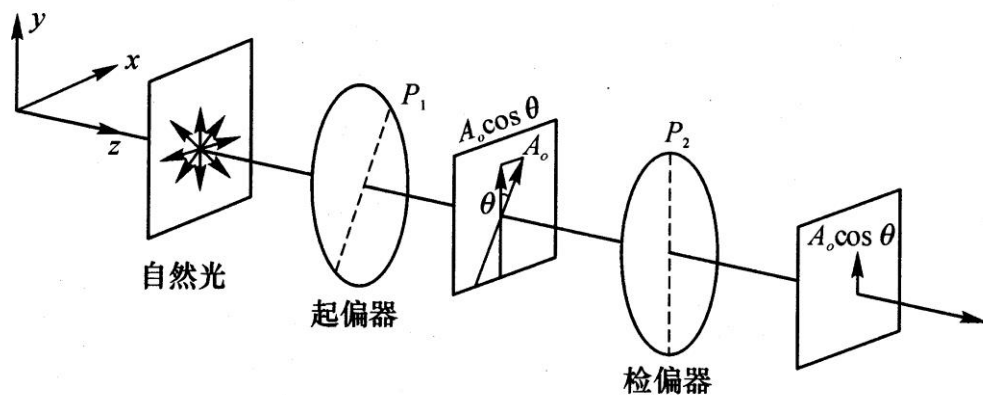
入射光 A $\begin{cases} A \sin \alpha \perp z \rightarrow \text{不通过} \\ A \cos \alpha // z \rightarrow \text{通过} \end{cases}$

$$I' = A^2 \cos^2 \alpha = I \cos^2 \alpha$$

马吕斯定律: $I' = I \cos^2 \alpha$



$$\begin{cases} \alpha = 0 \rightarrow I'_{\max} = I \\ \alpha = \frac{\pi}{2} \rightarrow I'_{\min} = 0 \\ 0 < \alpha < \frac{\pi}{2} \rightarrow 0 < I' < I \end{cases}$$



验证马吕斯定律的实验装置

3. 椭圆偏振光和圆偏振光

入射光椭圆偏振光：透射光强随偏振片的旋转而改变。

偏振片透振方向旋至与椭圆长轴方向一致时，透射光强最大；
旋至与椭圆短轴方向一致时，透射光强最小。

入射圆偏振光：透射光强不变，与自然光的情况相同。

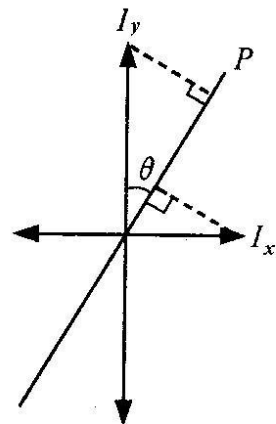
4. 部分偏振光

表示为强度分别是 I_x 、 I_y 的两个正交振动分量

I_x 与 I_y 互不相干

——透射总光强是两个分量光强的直接叠加：

$$I = I_x \sin^2 \theta + I_y \cos^2 \theta$$



旋转偏振片改变 θ 角：透射光强在极大和极小之间周期性变化，
与椭圆偏振光通过旋转偏振片的现象相同

(透射光强表达式相同)

它们各自形成这一现象的物理机制有何不同？

§3 光在界面上反射折射时偏振态的改变

一、菲涅耳公式

入射光、反射光和折射光中电矢量各分量的比例关系

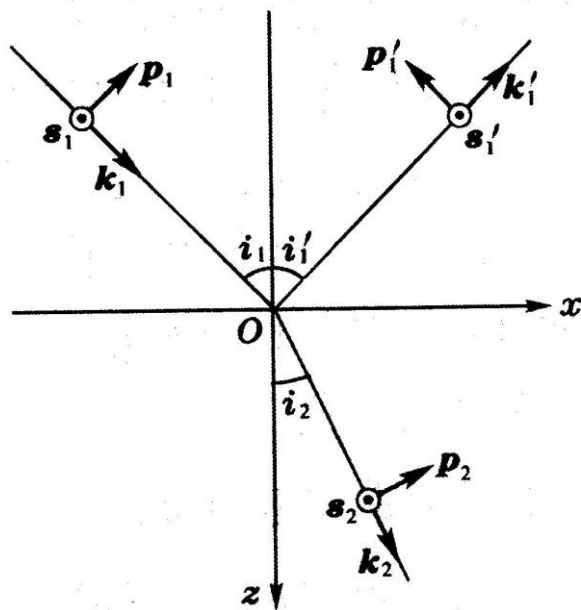
k_1 、 k'_1 、 k_2 ——入射、反射、折射传播方向的单位矢量

s_1 、 s'_1 、 s_2 ——入射、反射、折射光入射面垂直振动方向单位矢量

p_1 、 p'_1 、 p_2 ——入射、反射、折射光入射面平行振动方向单位矢量

$$i'_1 = i_2$$

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$



$$\vec{p} \times \vec{s} = \vec{k}$$

反射公式：

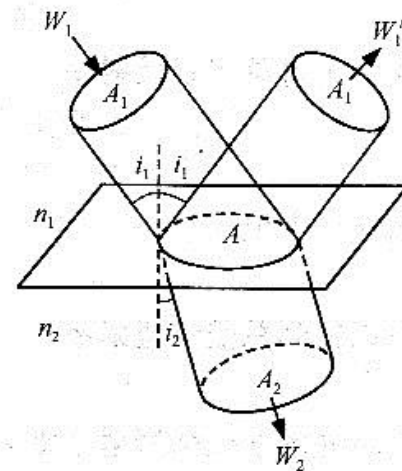
$$E'_{1p} = \frac{n_2 \cos i_1 - n_1 \cos i_2}{n_2 \cos i_1 + n_1 \cos i_2} E_{1p} = \frac{\tan(i_1 - i_2)}{\tan(i_1 + i_2)} E_{1p}$$

$$E'_{1s} = \frac{n_1 \cos i_1 - n_2 \cos i_2}{n_1 \cos i_1 + n_2 \cos i_2} E_{1s} = \frac{\sin(i_1 - i_2)}{\sin(i_1 + i_2)} E_{1s}$$

折射公式：

$$E_{2p} = \frac{2n_1 \cos i_1}{n_2 \cos i_1 + n_1 \cos i_2} E_{1p}$$

$$E_{2s} = \frac{2n_1 \cos i_1}{n_1 \cos i_1 + n_2 \cos i_2} E_{1s} = \frac{2 \cos i_1 \sin i_2}{\sin(i_1 + i_2)} E_{1s}$$



W_1, W'_1, W_2 : 面元A所对应的入射能流、反射能流和透射能流

$$W'_{1p} + W_{2p} = W_{1p}$$

$$W'_{1s} + W_{2s} = W_{1s}$$

二、反射光与折射光的振幅比

$$r_s = \frac{\cos i_1 - \sqrt{n_{21}^2 - \sin^2 i_1}}{\cos i_1 + \sqrt{n_{21}^2 - \sin^2 i_1}} \quad r_p = \frac{n_{21}^2 \cos i_1 - \sqrt{n_{21}^2 - \sin^2 i_1}}{n_{21}^2 \cos i_1 + \sqrt{n_{21}^2 - \sin^2 i_1}}$$
$$t_s = \frac{2 \cos i_1}{\cos i_1 + \sqrt{n_{21}^2 - \sin^2 i_1}} \quad t_p = \frac{2 n_{21} \cos i_1}{n_{21}^2 \cos i_1 + \sqrt{n_{21}^2 - \sin^2 i_1}}$$

$n_{21} = n_2 / n_1$ 介质2对介质1的相对折射率。

$n_{21} > 1$ 从光疏介质射向光密介质——外反射

$n_{21} < 1$ 从光密介质射向光疏介质——内反射

1) 正入射时: $i_1 = 0$

$$r_s = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \quad r_p = \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} = -r_s \quad t_s = t_p = \frac{2n_1}{n_1 + n_2}$$

2) 当 $i_1 + i_2 = \frac{\pi}{2} \rightarrow r_p = 0$: p 分量没有反射光, 入射角 $i_1 = i_B$

布儒斯特 (D. Brewster) 角

$$\tan i_B = \frac{n_2}{n_1} \text{ —— 布儒斯特定律}$$

当入射角为布儒斯特角时, 无论入射光的偏振态如何, 反射光都是线偏振光, 是与入射面垂直的 s 分量, 布儒斯特角又称起偏角

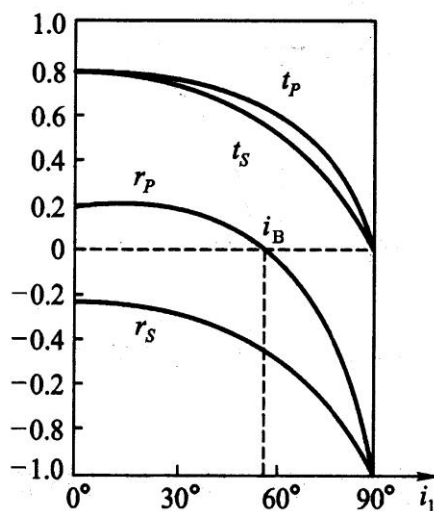
3) 内反射时, 存在一特殊角度

$$i_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1}$$

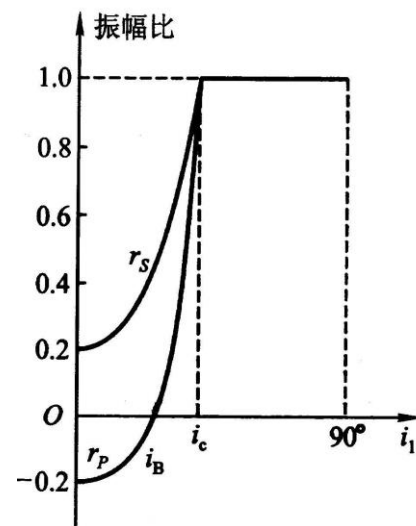
$i_1 > i_c$ 时, 发生全反射

$$\rightarrow r_p = r_s = 0$$

i_c 称为全反射临界角



外反射 $n_{21} = 1.5$



内反射 $n_{21} = 1/1.5$

三、反射光与折射光的相位变化

$$\mathbf{r}_s = |\mathbf{r}_s| e^{i\delta_s} \quad \mathbf{r}_p = |\mathbf{r}_p| e^{i\delta_p}$$

1. 折射光无相移

2. 反射光的相位变化

外反射时: $n_1 < n_2, i_1 > i_2$

对s分量 $r_s < 0 \rightarrow \delta_s = \pi$

对p分量 $i_1 < i_B \rightarrow r_p > 0 \rightarrow \delta_p = 0$

$i_1 = i_B \rightarrow r_p = 0$ p分量无反射光

$i_1 > i_B \rightarrow r_p < 0 \rightarrow \delta_p = \pi$

内反射时: $n_1 > n_2, i_1 < i_2$

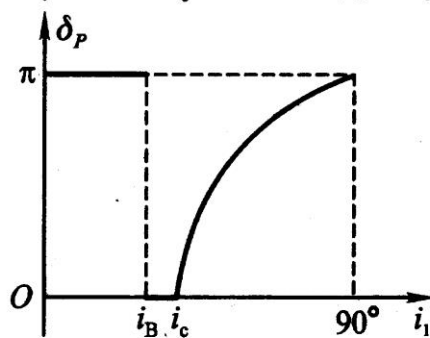
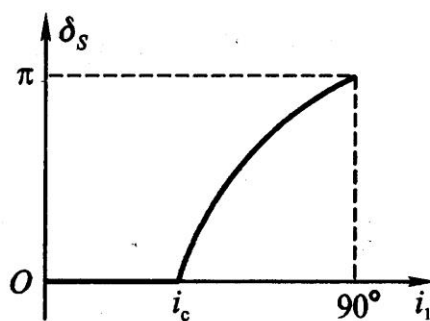
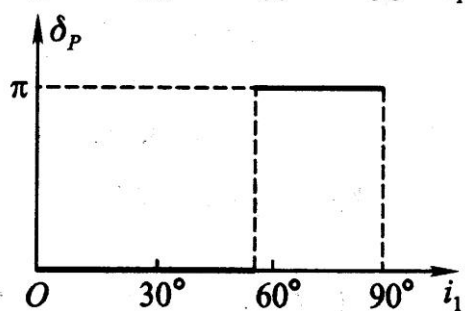
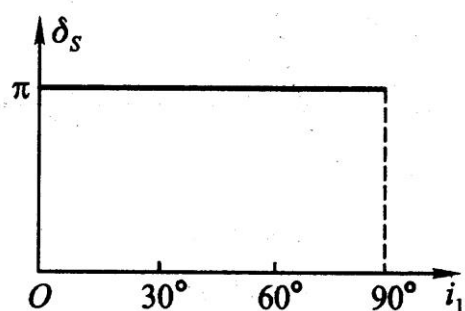
对s分量 $i_1 < i_c \rightarrow r_s > 0 \rightarrow \delta_s = 0$

对p分量 $i_1 < i_B \rightarrow r_p < 0 \rightarrow \delta_p = \pi$

$i_1 = i_B \rightarrow r_p = 0$ p分量无反射光

$i_B < i_1 < i_c \rightarrow r_p > 0 \rightarrow \delta_p = 0$

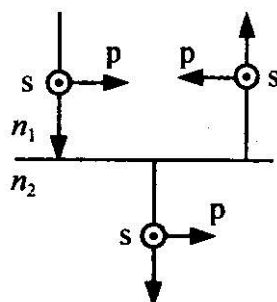
$$i_1 > i_c \rightarrow \begin{cases} \delta_s = 2 \tan^{-1} \frac{n_2 \sqrt{(n_1/n_2)^2 \sin^2 i_1 - 1}}{n_1 \cos i_1} \\ \delta_p = 2 \tan^{-1} \frac{n_1 \sqrt{(n_1/n_2)^2 \sin^2 i_1 - 1}}{n_2 \cos i_1} \end{cases}$$



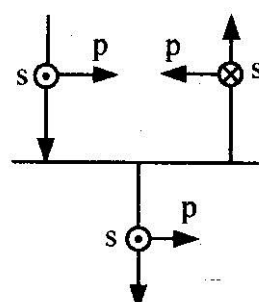
3. 半波损失问题

正入射时:

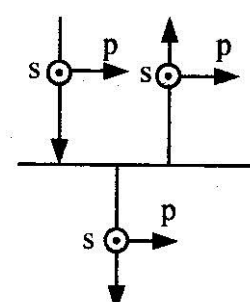
	外反射($n_1 < n_2$)	内反射($n_1 > n_2$)
r_s	-	+
r_p	+	-
t_s	+	+
t_p	+	+



(a) 正向规定

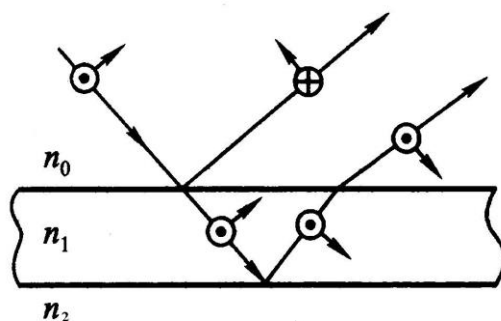


(b) 外反射



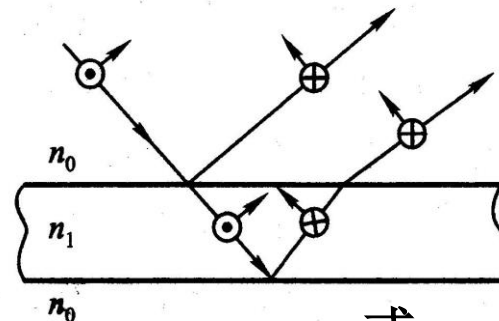
(c) 内反射

斜入射时:



$n_0 < n_1$ 或 $n_0 > n_1$

(a) 两反射光之间有附加相移 π



$n_0 > n_1 > n_2$ 或 $n_0 < n_1 < n_2$

(b) 两反射光之间无附加相移

四、反射光与折射光的偏振态

- 1) 入射线偏振光：反射光和折射光仍然是线偏振光，
光矢量 \vec{E} 的大小和方向发生改变
全反射时，反射光一般是椭圆偏振光。
- 2) 入射光圆偏振光：反射光和折射光一般是椭圆偏振光
- 3) 入射光是自然光：外反射及 $i_1 < i_c$ 的内反射 $\rightarrow R_s > R_p$

反射光一般为部分偏振光，s分量（垂直于入射面振动）光强度大于p分量（平行于入射面振动）光强度

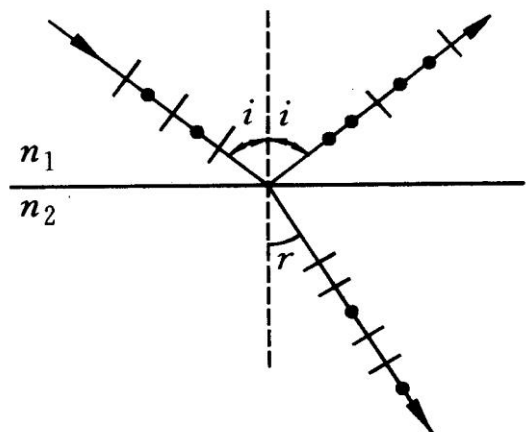
折射光一般亦为部分偏振光，且p光强度较大

1) 正入射时： $R_s = R_p \rightarrow$ 反射光、折射光仍为自然光

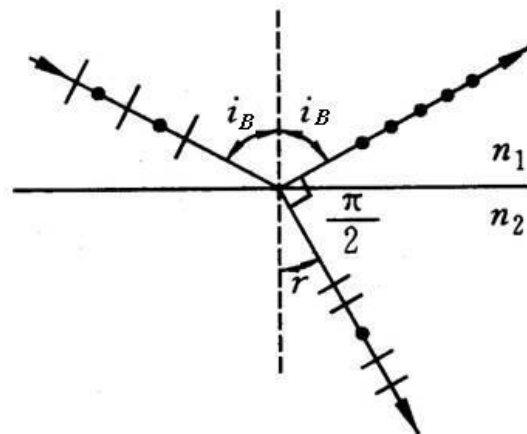
2) 以布儒斯特角 i_B 入射： $R_p = 0 \rightarrow$

反射光为s态线偏振光（垂直于入射面振动）

折射光中p分量占多数的部分偏振光



自然光以非布儒斯特角入射

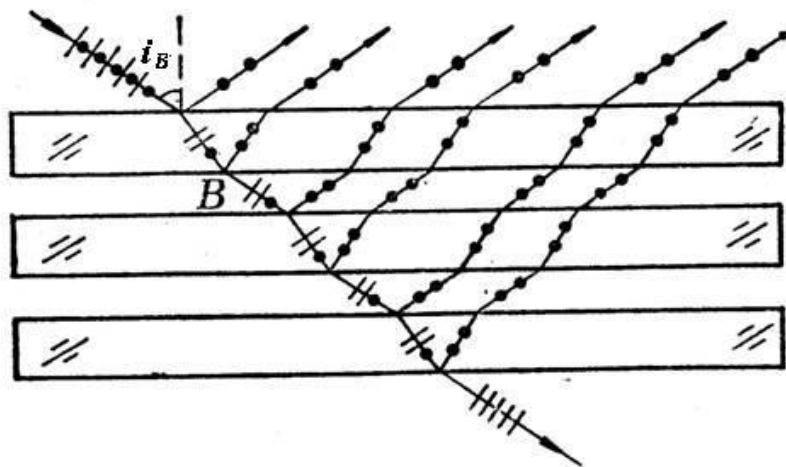


自然光以布儒斯特角入射

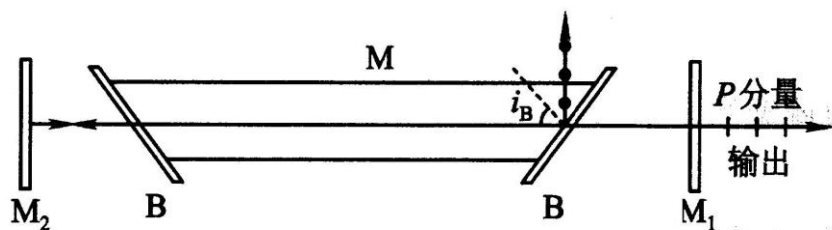
五、玻璃片堆和布儒斯特窗

自然光以布儒斯特角入射到平行玻璃片堆上，光在每一层玻璃上的反射和折射都满足布儒斯特定律。经过多次反射和折射，使反射光中垂直入射面的s分量光振动增加，而折射光中平行入射面的p分量光振动减小。

玻璃片堆 { 增加反射线偏振光光强
提高透射光偏振度，但光强减小



玻璃片堆起偏



激光器中的布儒斯特窗

§4 单轴晶体的双折射

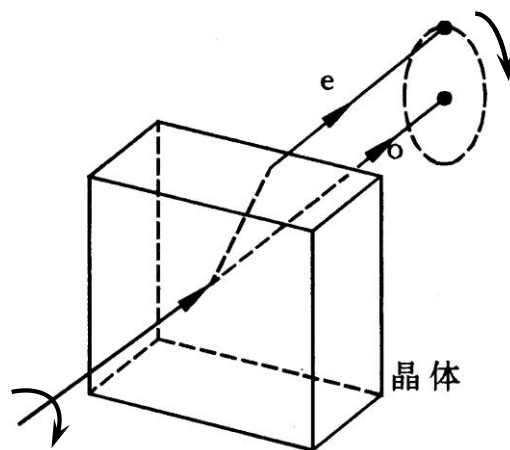
一、双折射 (*birefringence*) 现象及基本规律

1) 光线入射到各向异性晶体表面时 → 二束折射光

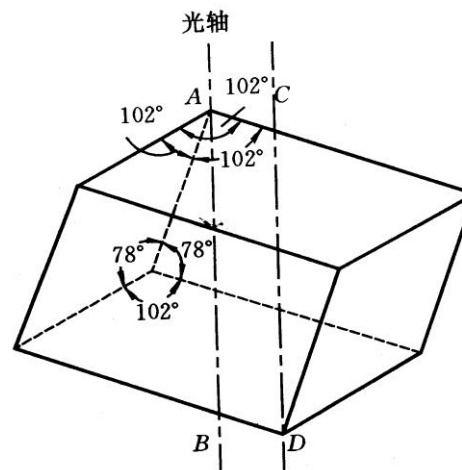
(*ordinary light*)

改变入射角 i { 一束光始终遵守折射定律 —— **o光** (寻常光)
一束光不遵守折射定律 —— **e光** (非常光)

(*extraordinary light*)



e光将随晶体旋转



冰洲石的光轴

2) 双折射晶体中存在一特定方向——**光轴(optical axis)**

光线沿光轴方向入射时，不发生双折射

晶体界面法线与晶体光轴组成的平面——晶体的**主截面**
(**principal plane**)

光轴与某光线组成的平面——该光线的**主平面**
(**principal section**)

3) o光、e光都是线偏振光（振动方向不同）

$\left\{ \begin{array}{l} \text{o光: 光矢量振动方向垂直于o光主平面} \\ \text{e光: 光矢量振动方向平行于e光主平面} \end{array} \right.$

自然光入射：由晶体产生的o光和e光的振幅相等

线偏振光（垂直）入射：晶体内o光和e光的主平面重合时

入射线偏振光振动方向与主平面夹角 θ
——线偏振光的方位角

$$\left\{ \begin{array}{l} E_o = E \sin \theta \\ E_e = E \cos \theta \end{array} \right.$$

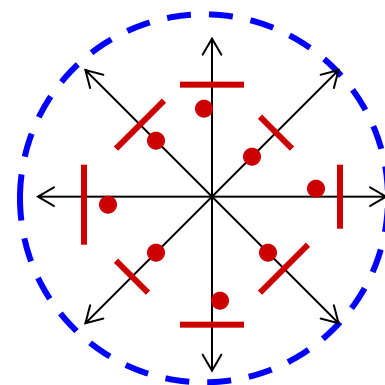
{单轴晶体 (*uniaxial crystal*): 方解石、石英、红宝石
{双轴晶体 (*biaxial crystal*): 云母、蓝宝石

二、单轴晶体中点光源的波面

产生双折射的原因——由于晶体特殊的光学性质

*取自然光点光源

在各向同性介质中：波阵面是球面，各方向传播速度相同



在各向异性晶体（双折射晶体）中：

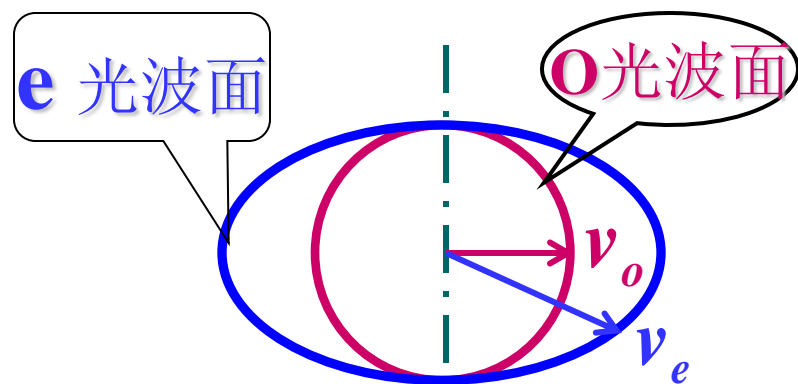
光矢量的振动沿各方向传播速度不同，波阵面非球面

1) o光 ($\vec{E} \perp$ 主平面): 各方向传播速度相等, 折射率相等,
波阵面是球面 $n_o = \frac{c}{v_o}$

2) e光 ($\vec{E} //$ 主平面): 各方向传播速度不同, 折射率不同,
波阵面是旋转椭球面

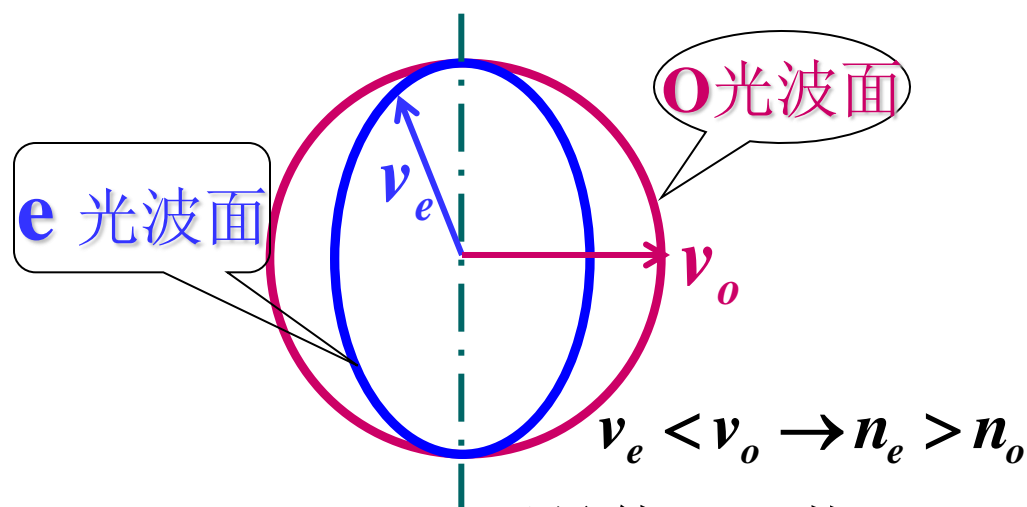
垂直于光轴方向的传播速度 $v_e \rightarrow n_e = \frac{c}{v_e} \rightarrow$ **e光的主折射率**
principal refractive index

3) 沿光轴方向无双折射: $\begin{cases} v_o = v_e \\ \text{o光、e光波面在光轴方向相切} \end{cases}$



$v_e > v_o \rightarrow n_e < n_o$

负晶体: 方解石 CaCO_3
negative crystal



$v_e < v_o \rightarrow n_e > n_o$

正晶体: 石英 SiO_2
positive crystal

三、平面波在单轴晶体中的传播——惠更斯作图法

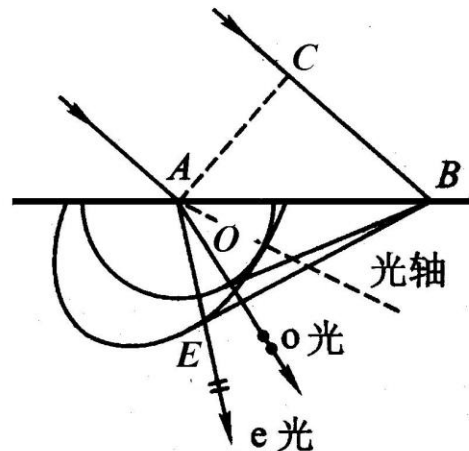
*光线入射到晶体表面时，每一点都可以看作为新的子波源

○ 光发射球面波
e 光发射旋转椭球面波 } 在光轴方向相切

*同一时刻，各子波包络面就是光线传播的波面

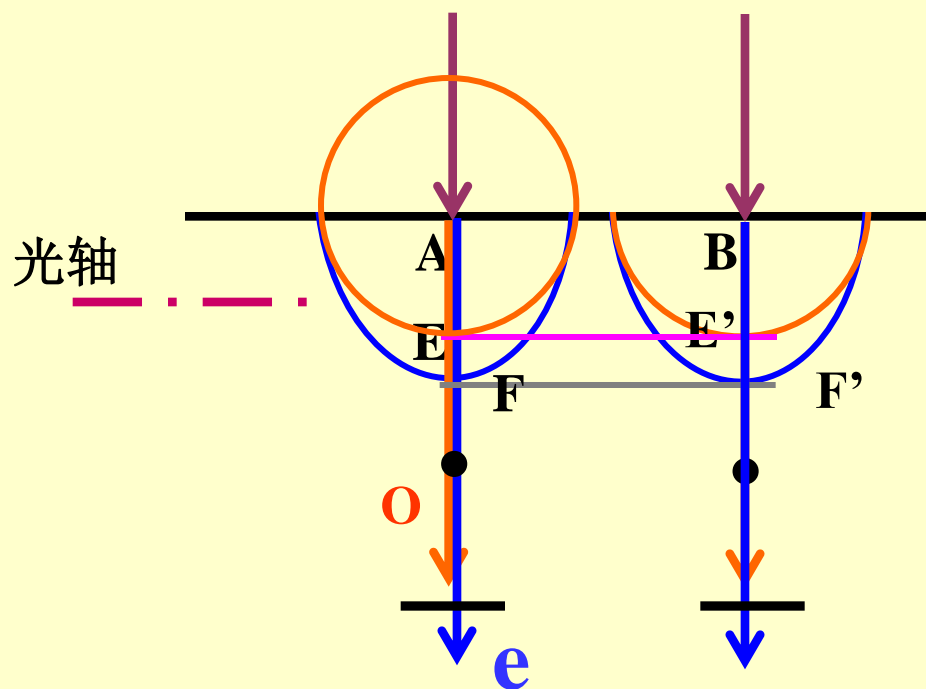
*子波源中心（入射点）
子波波面与光波面（包络面）切点 } 两者连线——光线传播方向

讨论：



方解石中o光与e光的传播

- 平行光垂直入射，光轴与晶体表面平行

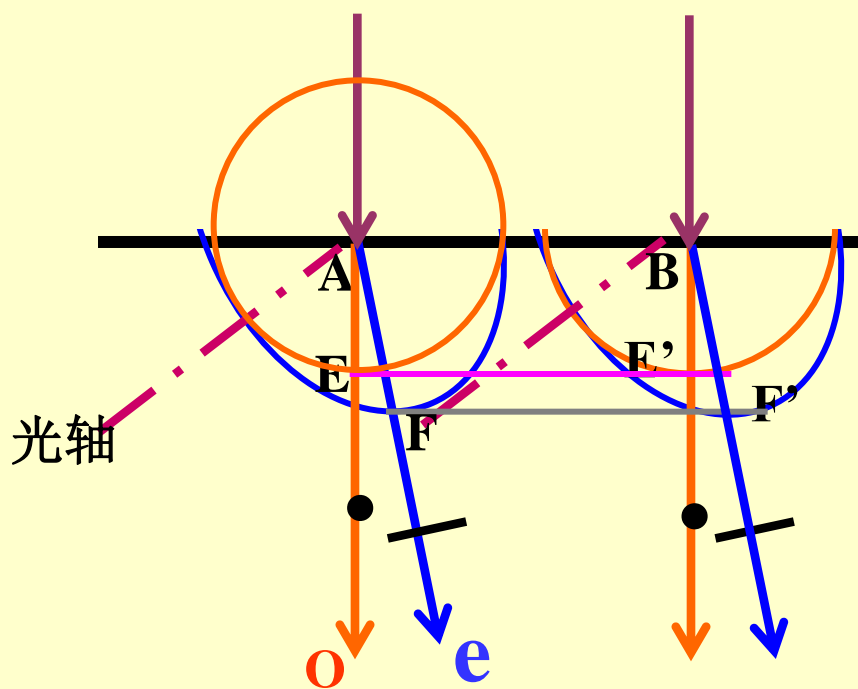


具有相互垂直
的偏振方向

出射光沿同方向传播

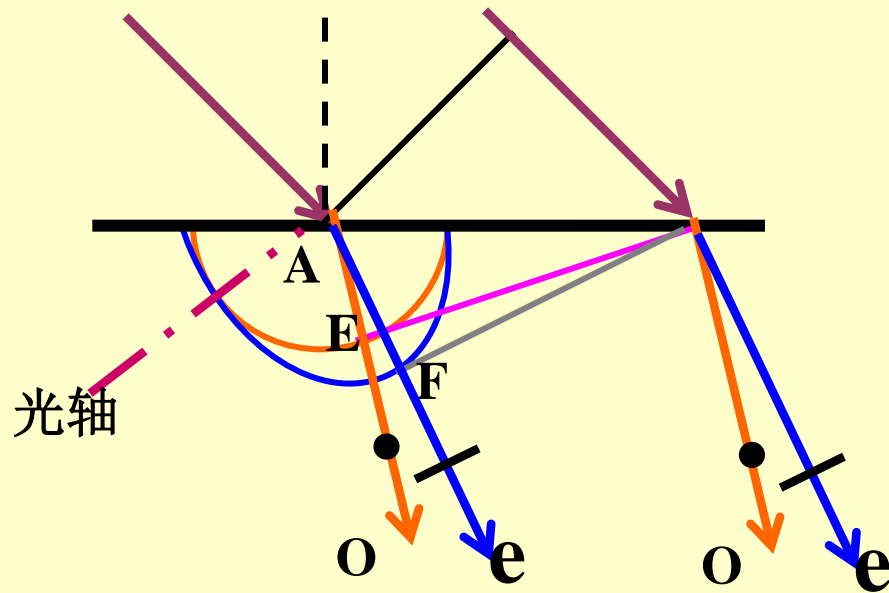
o光、e光具有位相差

- 平行光垂直入射，光轴与晶体表面斜交

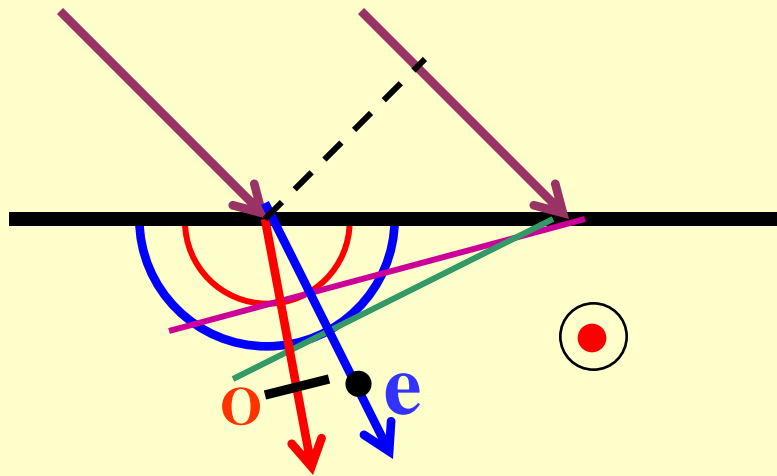


出射两束偏振方向相互垂直的线偏光

...平行光斜入射，光轴与晶体表面斜交



••••平行光斜入射，光轴垂直入射面（主平面垂直入射面）



o 光振动垂直主平面。

$$\frac{\sin i}{\sin \gamma_0} = n_0$$

e 光振动平行于主平面。

$$\frac{\sin i}{\sin \gamma_e} = n_e$$

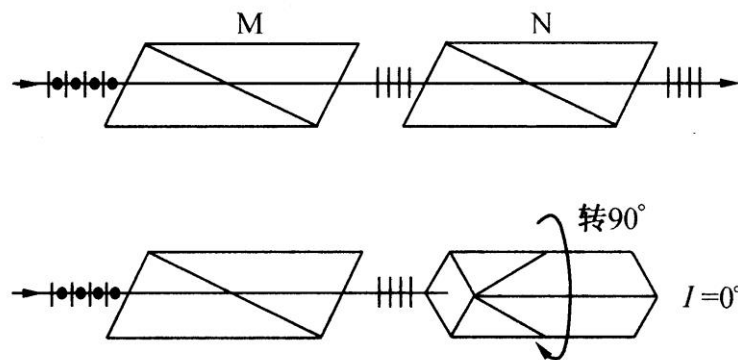
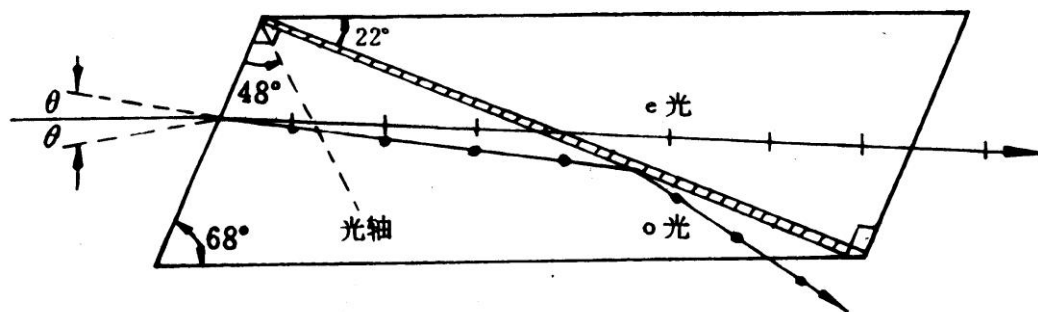
主折射率

在该入射面内，e光向各方向传播速度相等

§ 5 晶体光学器件

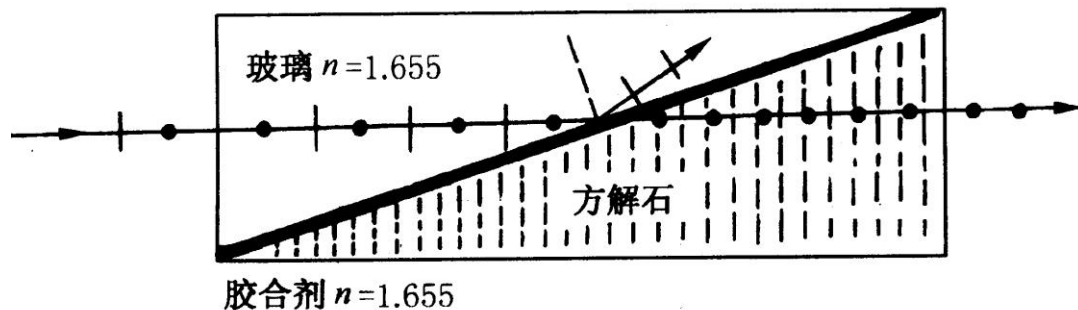
一、晶体偏振器

1. 尼科尔棱镜 (*Nicol prism*):



起偏和检偏

2. 格兰.汤姆逊偏振棱镜



3. 渥拉斯顿棱镜 (*Wollaston prism*):

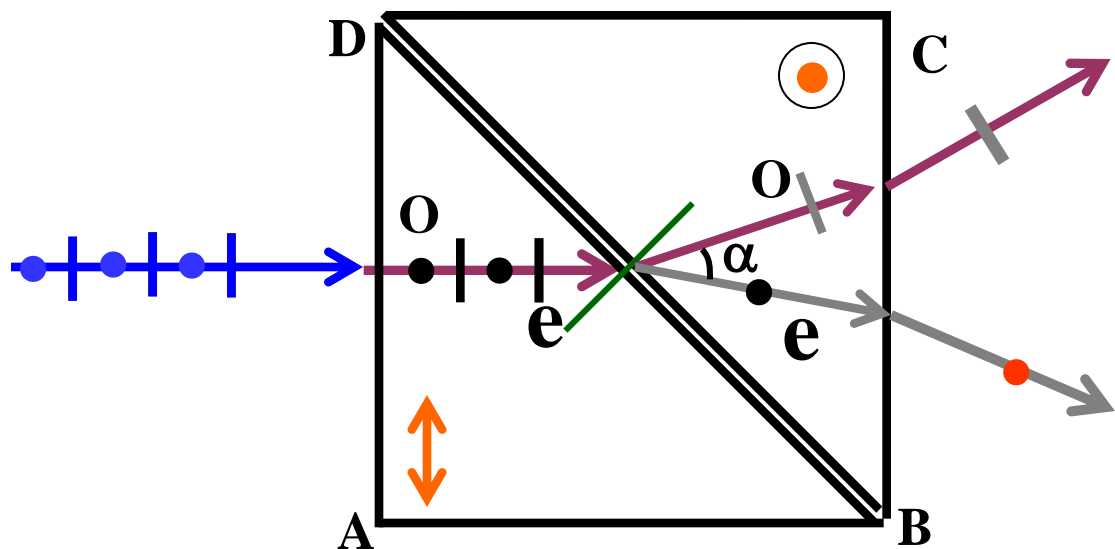
由两块光轴相互垂直的直角方解石棱镜组成——分开o光和e光

方解石:

$$n_e = 1.486$$

$$n_o = 1.658$$

$$v_e > v_o$$



进入BCD:

密 \Rightarrow 疏

● \rightarrow o光 \rightarrow e光 // 光轴, $n_o \rightarrow n_e$, $\gamma > i$

⊥ \rightarrow e光 \rightarrow o光 \perp 光轴, $n_e \rightarrow n_o$, $\gamma < i$

疏 \Rightarrow 密

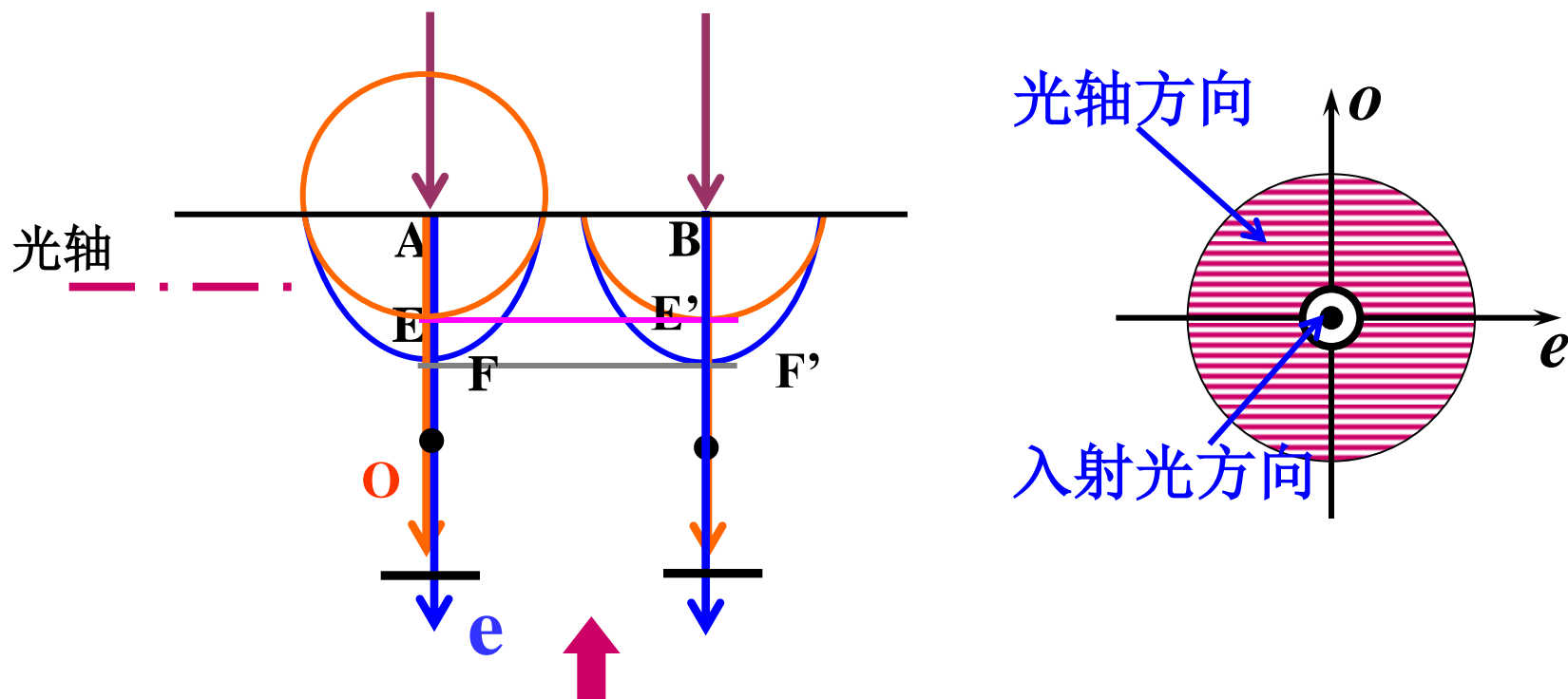
$$n_1 \sin i = n_2 \sin \gamma$$

已知 $\rightarrow \gamma_1$, $\gamma_2 \rightarrow \alpha$

二、相位延迟器——波晶片和补偿器

1. 波晶片：光轴与表面平行的单轴晶体平行薄片

平行光垂直入射：



- 1) 出射光沿同方向传播，具有相互垂直的振动方向
主平面为纸面： o 光 \perp 主平面， e 光 \parallel 主平面

2) 线偏振光垂直入射, o光、e光具有确定的位相差

$$\text{光程差: } \Delta_{oe} = (n_o - n_e)d \rightarrow \text{位相差: } \delta_{oe} = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e)d$$

选择 d , 可任意改变 $\delta_{oe} \rightarrow$ 相位延迟片

$$* \delta = \pm \frac{\pi}{2} \rightarrow d(n_o - n_e) = \pm \frac{\lambda}{4} : \text{四分之一波片}$$

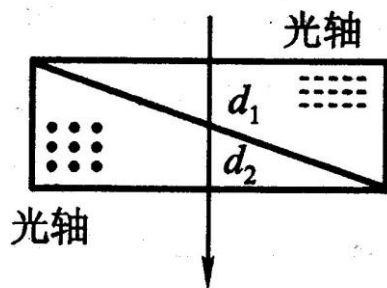
$$* \delta = \pm \pi \rightarrow d(n_o - n_e) = \pm \frac{\lambda}{2} : \text{二分之一波片 (半波片)}$$

$$* \delta = \pm 2\pi \rightarrow d(n_o - n_e) = \pm \lambda : \text{全波片}$$

某某波片只对某一特定波长而言

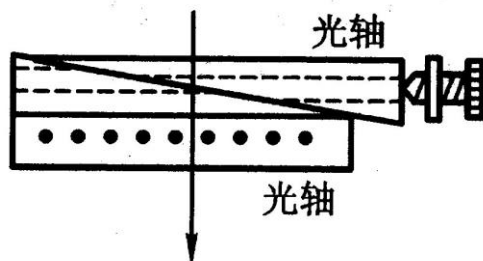
2. 补偿器：厚度线性可调的晶体薄棱镜， 获得连续改变的附加相位差

巴比涅补偿器



$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} [(n_o d_1 + n_e d_2) - (n_e d_1 + n_o d_2)] = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e)(d_1 - d_2)$$

索累补偿器



§ 6 圆偏振光和椭圆偏振光的获得和检验

一、光通过波晶片后偏振态的变化

1) 1/4波片的性质:

线偏振光与o轴或e轴成 0° 或 90° 入射: 出射仍为线偏振光;

线偏振光与o轴或e轴成 45° 入射: 出射光为圆偏振光;

线偏振光与o轴或e轴成其它一定的角度入射: 出射为椭圆偏振光;

椭圆或圆偏振光经过1/4波片后, 可获得线偏振光

2) 半波片 ($\lambda/2$ 片) 性质:

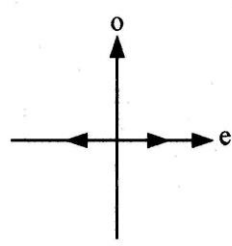
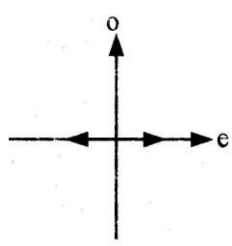
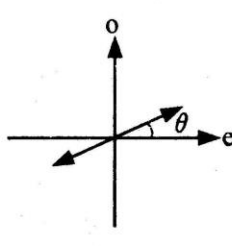
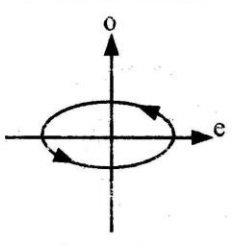
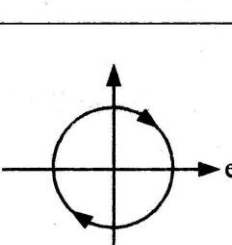
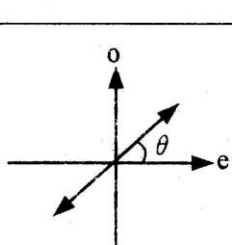
线偏振光与o轴或e轴成 θ 角入射: 出射光仍为线偏振光,
振动面转过 2θ 角

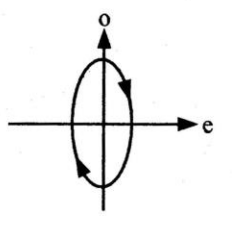
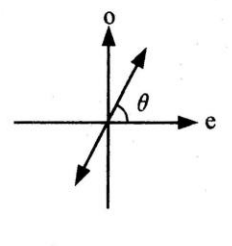
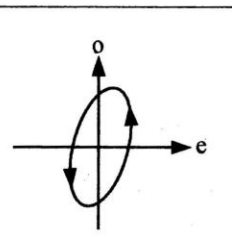
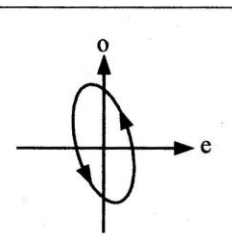
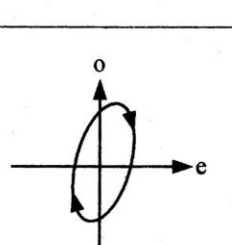
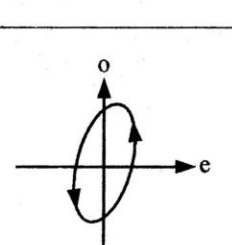
椭圆或圆偏振光入射1/2波片: 出射光仍为椭圆或圆偏振光,
旋向相反。

3) 全波片 (λ 片) 性质:

全波片使o光和e光的相位差为 2π 的整数倍, 不改变入射光的偏振态, 只增大光程差。

偏振光经 $\lambda/4$ 片后偏振态的变化

入射光偏振态	经 $\lambda/4$ 片后
	
	
	

入射光偏振态	经 $\lambda/4$ 片后
	
	
	

二. 圆偏振光和椭圆偏振光的获得

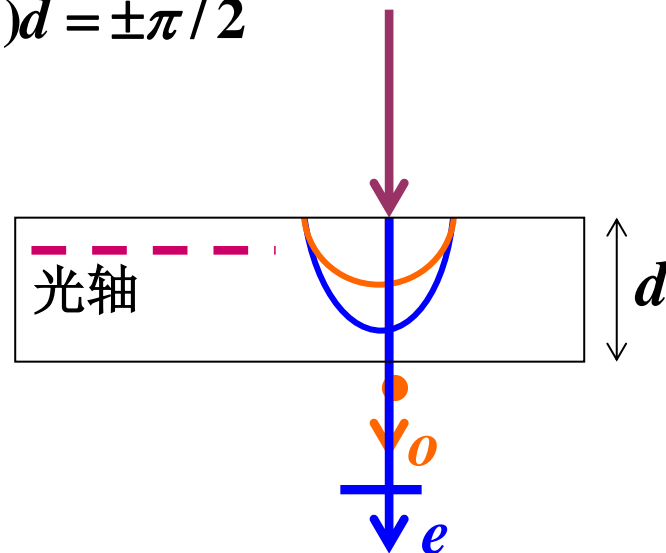
*自然光经偏振片起偏——线偏振光垂直入射1/4波晶片：

$$\begin{cases} E_e = E \cos \alpha \\ E_o = E \sin \alpha \end{cases} \text{——振动相互垂直，传播方向相同}$$

初始位相差=0

$$\text{出射时} \begin{cases} \text{光程差: } \Delta_{oe} = \Delta_0 + (n_o - n_e)d = \pm \lambda / 4 \\ \text{位相差: } \delta_{oe} = \delta_0 + \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e)d = \pm \pi / 2 \end{cases}$$

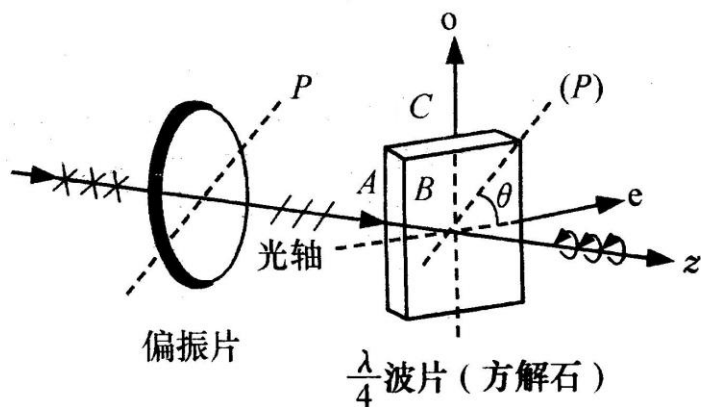
——叠加形成正椭圆或圆偏振光



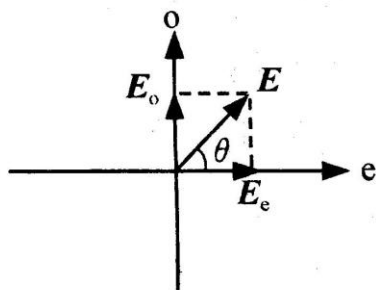
* 自然光垂直入射1/4波片:

初始位相差不确定 \rightarrow 出射 δ_{oe} 不恒定, 仍为自然光

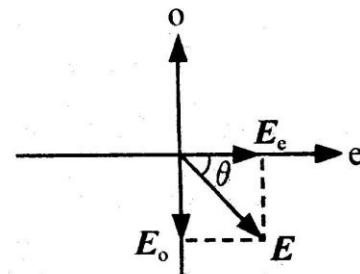
* 不同偏振态光束垂直入射1/4波片: $\delta_{oe} = \delta_{\lambda} \pm \frac{\pi}{2}$



(a)



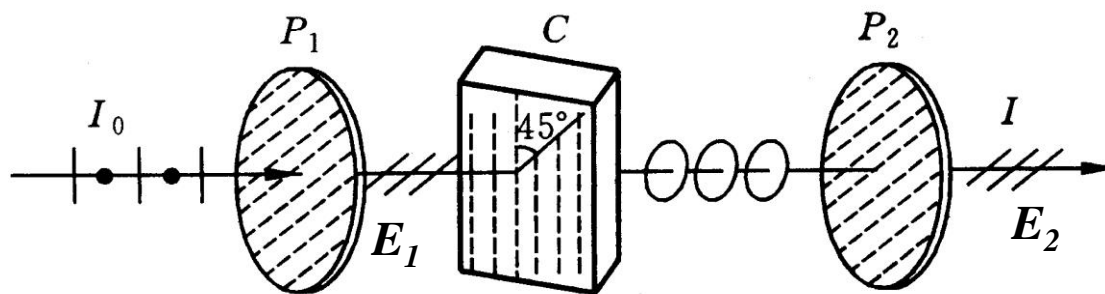
(b)



(c)

圆和椭圆偏振光的产生

讨论： P_1 、 P_2 偏振片， C 四分之一波片， P_1 与 C 成 45° ，转动 P_2 ，透射光强？



经过 $P_1 \rightarrow I_1 = \frac{I_0}{2}, E_1 = \sqrt{I_1}$

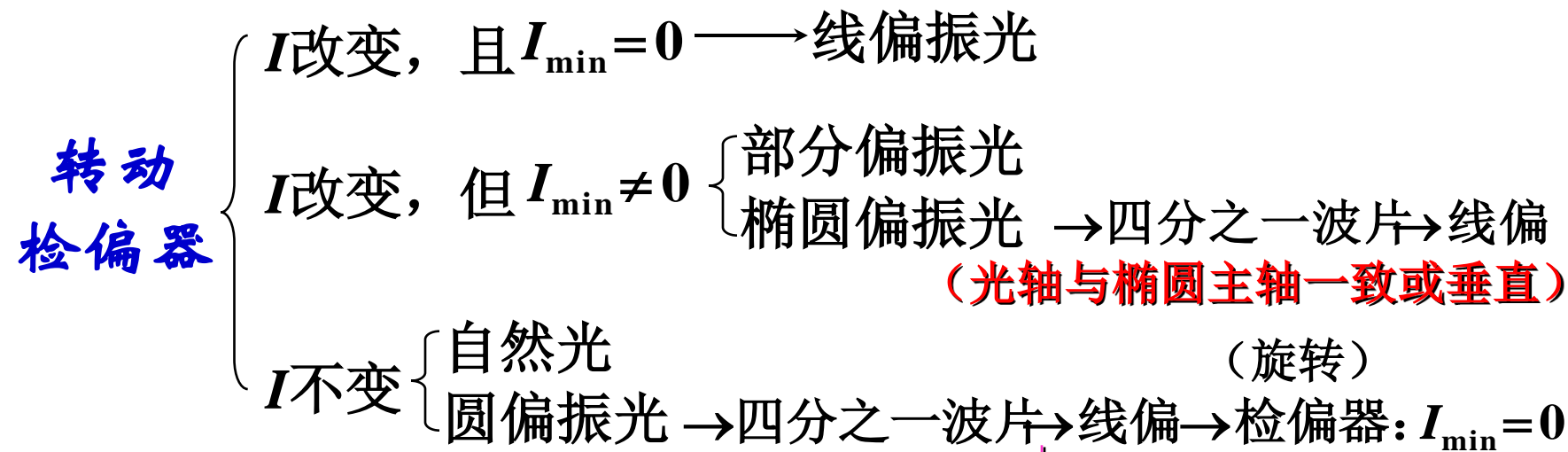
经过 C : $\begin{cases} E_{1o} = E_1 \sin 45^\circ \\ E_{1e} = E_1 \cos 45^\circ \\ \delta = \frac{\pi}{2} \end{cases} \longrightarrow \text{圆偏振光}$

P_2 与光轴 C 夹角 α

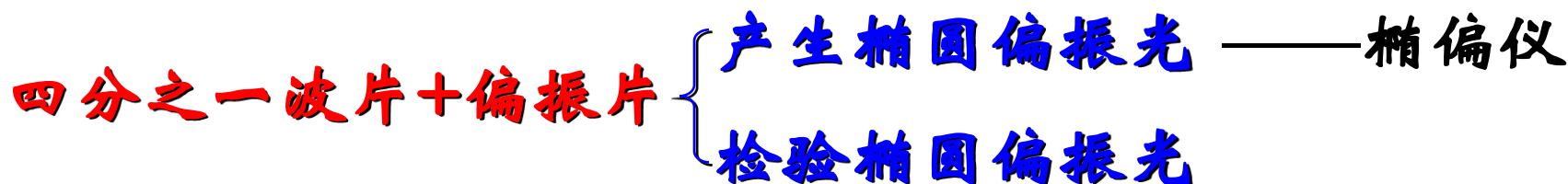
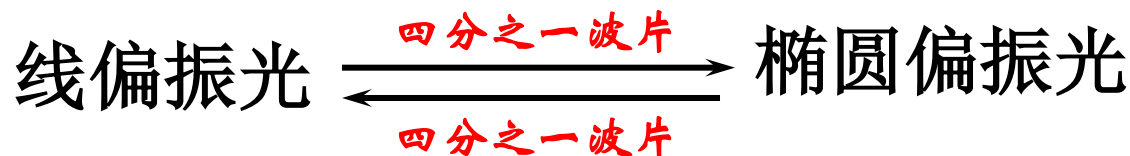
经过 P_2 : $\begin{cases} E_{2e} = E_{1e} \cos \alpha \\ E_{2o} = E_{1o} \sin \alpha \\ \delta = \frac{\pi}{2} \end{cases} \rightarrow \begin{aligned} E_2^2 &= E_{2o}^2 + E_{2e}^2 + 2E_{2o}E_{2e} \cos \delta \\ &= E_{2o}^2 + E_{2e}^2 = \frac{1}{2} E_1^2 = \frac{1}{4} I_0 \end{aligned} \quad \text{与 } \alpha \text{ 无关}$

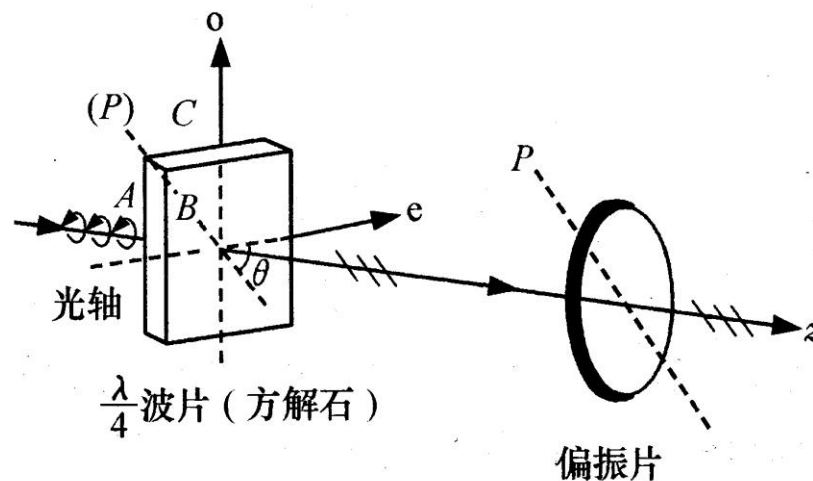
二. 圆偏振光和椭圆偏振光的检验

偏光分析：判断入射光的偏振状态



$$\delta'_{xy} = \delta_{xy} \pm \frac{\pi}{2} = 0, \pi$$



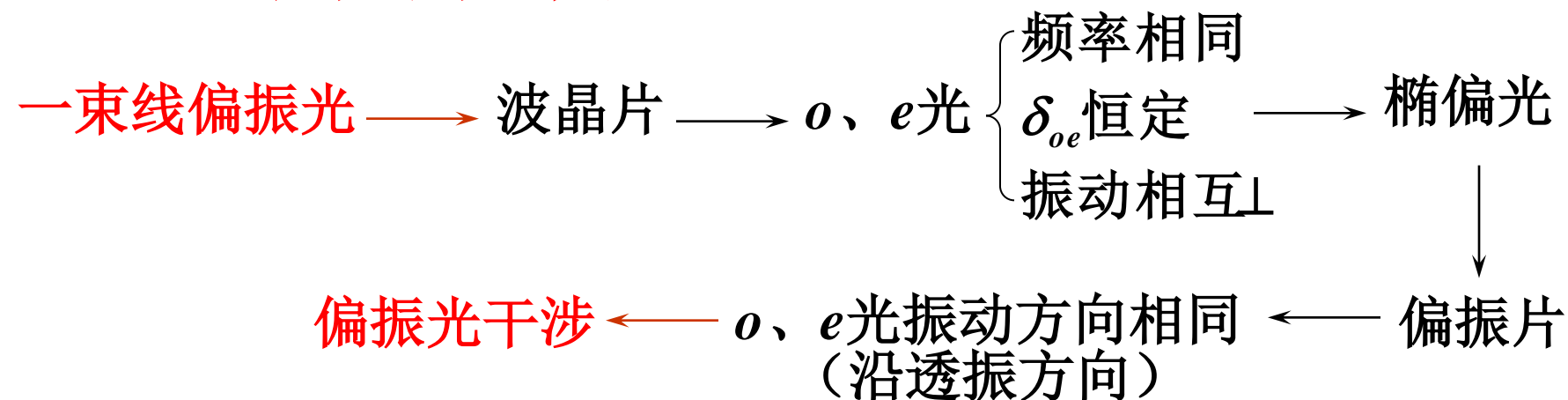


圆和椭圆偏振光的检验

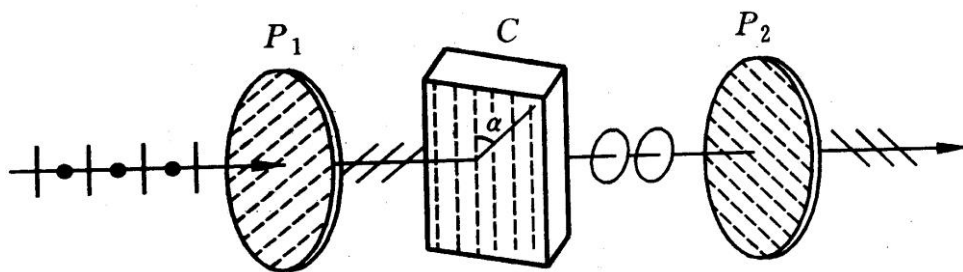
光的种类	仅使用偏振器, 并使其旋转	$\lambda/4$ 片 + 偏振器
自然光	光强不变, 不消光	光强不变, 不消光
圆偏振光	光强不变, 不消光	消光
线偏光	光强改变, 消光, 可以鉴定	
部分偏振光	光强改变, 但不消光	光强改变, 但不消光
椭圆偏振光	光强改变, 但不消光	消光

§ 7 偏振光干涉

一、平行偏振光干涉



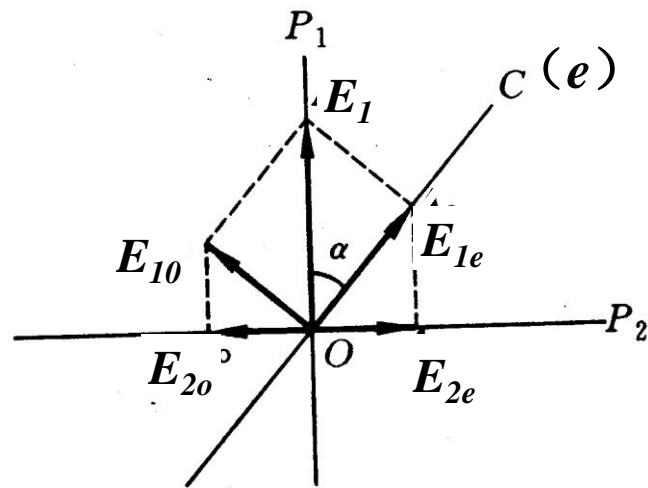
1. 偏振器间的波晶片



$$\mathbf{P}_1 \perp \mathbf{P}_2$$

入射自然光经过 P_1 变成线偏振光 \bar{E}_1

经过 C $\left\{ \begin{array}{l} E_{1e} = E_1 \cos \alpha \\ E_{1o} = E_1 \sin \alpha \\ \delta_{oe} = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) d + \delta_\lambda \end{array} \right. \longrightarrow \text{椭偏}$



经过 P_2 $\left\{ \begin{array}{l} E_{2e} = E_{1e} \sin \alpha = E_1 \cos \alpha \sin \alpha \\ E_{2o} = E_{1o} \cos \alpha = E_1 \sin \alpha \cos \alpha \\ \delta = \delta_{oe} + \pi \end{array} \right. \longrightarrow \text{干涉}$

$$E_2^2 = E_{2o}^2 + E_{2e}^2 + 2E_{2o}E_{2e} \cos \delta = 4E_1^2 \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha \cos^2 \frac{\delta}{2}$$

干涉结果由 δ 决定

$$\mathbf{P}_1 \parallel \mathbf{P}_2 \quad ?$$

旋转 P_2 ? 旋转 C ?

2. 显色偏振 (*chromatic polarization*)

入射单色光: d 不同 $\rightarrow \delta$ 不同

干涉条纹 = 波晶片等厚轨迹

入射白光, d 一定: λ 不同 $\rightarrow \delta$ 不同

当 $\delta(\lambda_0) = (2k+1)\pi$, λ_0 相消, 透射光呈互补色

入射白光, d 不同: $\delta = \delta(\lambda, d)$, 呈现彩色条纹

旋转波晶片, 条纹随之旋转

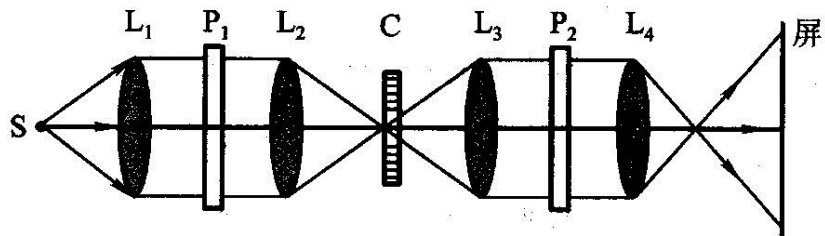
——色偏振

色偏振是检验材料有无双折射效应的有效方法

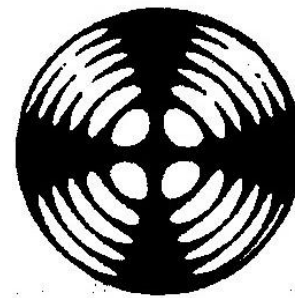
观察材料在白光下的色偏振, 可分析物质内部某些结构

——偏光显微术

二、会聚偏振光的干涉



干涉装置



单轴晶体的会聚偏振光
干涉图样

§ 8 人工双折射及其应用

一、应力双折射：光弹效应（光测弹性术 *photoelasticity*）

内应力 } 导致材料各向异性——产生双折射
外应力 }

$$n_o - n_e = KP$$

二、电致双折射：电光效应

外加电场，导致材料各向异性——产生双折射

$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{oe} \propto E_{\text{外}} : \text{线性电光效应 (Pockels effect)} \\ \delta_{oe} \propto E_{\text{外}}^2 : \text{非线性电光效应 (Kerr effect)} \end{array} \right. \quad n_o - n_e = K\lambda E^2$

调节电压 $V(E) \rightarrow$ 控制 δ_{oe} ，控制偏振态
(电光调制器)

§ 9 旋光现象 (*roto-optical phenomena*)

一、旋光现象

线偏振光沿光轴方向通过石英晶体、糖溶液等透明介质后时，其偏振面发生旋转

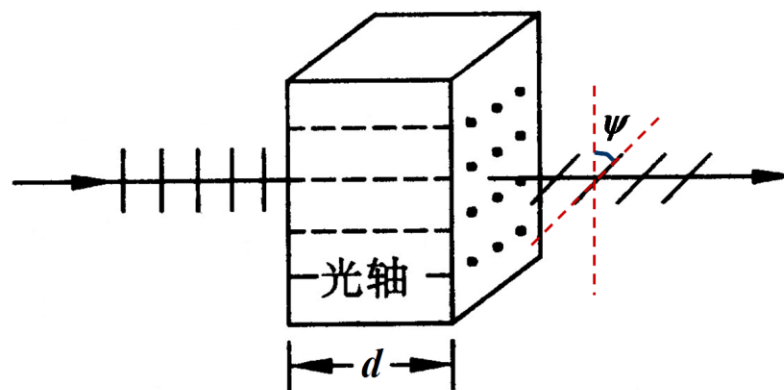
旋光度 ψ :

$$\psi = \alpha d \begin{cases} \alpha: \text{旋光率 (specific rotation)} \\ d: \text{光在晶体内通过的路径} \end{cases}$$

液体旋光性: $\psi = \alpha C d$
 C 为溶液浓度

旋光率 α : 与晶体或液体的性质、温度、入射光波长有关

迎着光线方向看 $\begin{cases} \text{偏振面沿顺时针方向旋转} \text{—— 右旋物质} \\ \text{偏振面沿逆时针方向旋转} \text{—— 左旋物质} \end{cases}$



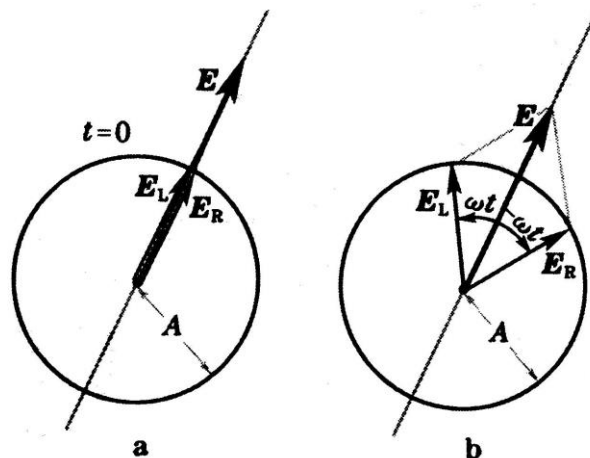
旋光色散

二、菲涅耳解释（利用力学原理）

圆偏振光 \longleftrightarrow 一对同频率同振幅相互垂直的线偏振光

线偏振光 \longleftrightarrow 一对同频率同振幅左 L 、右 R 旋圆偏振光

↓
沿晶体光轴
方向传播时



$$E = 2A \cos \omega t$$

旋光晶体中： L 光、 R 光传播速度（折射率）不同

——圆双折射

传播距离 d 时的相位滞后： $\varphi_L = \frac{2\pi}{\lambda} n_L d$

$$\varphi_R = \frac{2\pi}{\lambda} n_R d$$

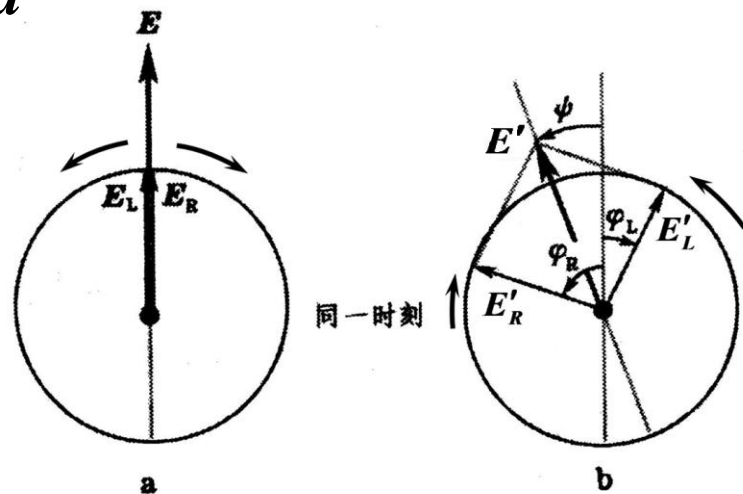
出射时: $\psi = \frac{1}{2}(\varphi_R - \varphi_L) = \frac{\pi}{\lambda}(n_R - n_L)d$

$n_R > n_L$ ($v_R < v_L$) $\rightarrow \varphi_R > \varphi_L$

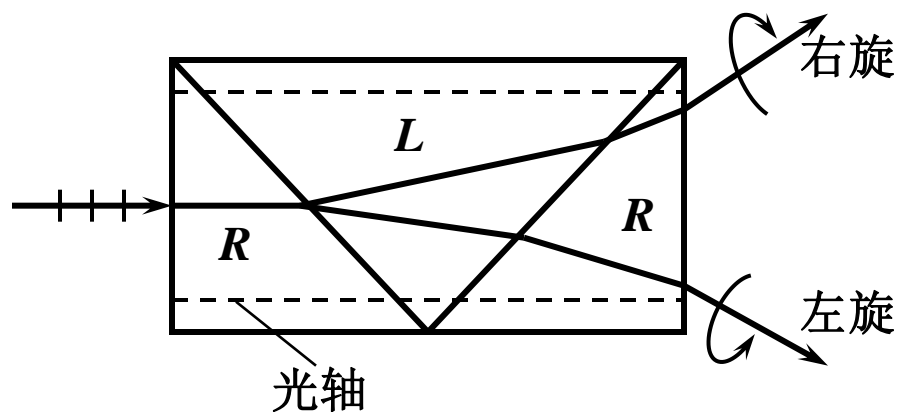
\vec{E}' 向左偏转, 晶体左旋

$n_R < n_L$ ($v_R > v_L$) $\rightarrow \varphi_R < \varphi_L$

\vec{E}' 向右偏转, 晶体右旋



3. 菲涅耳解释的实验验证



晶体旋光性的微观机制：
原子排列的螺旋结构