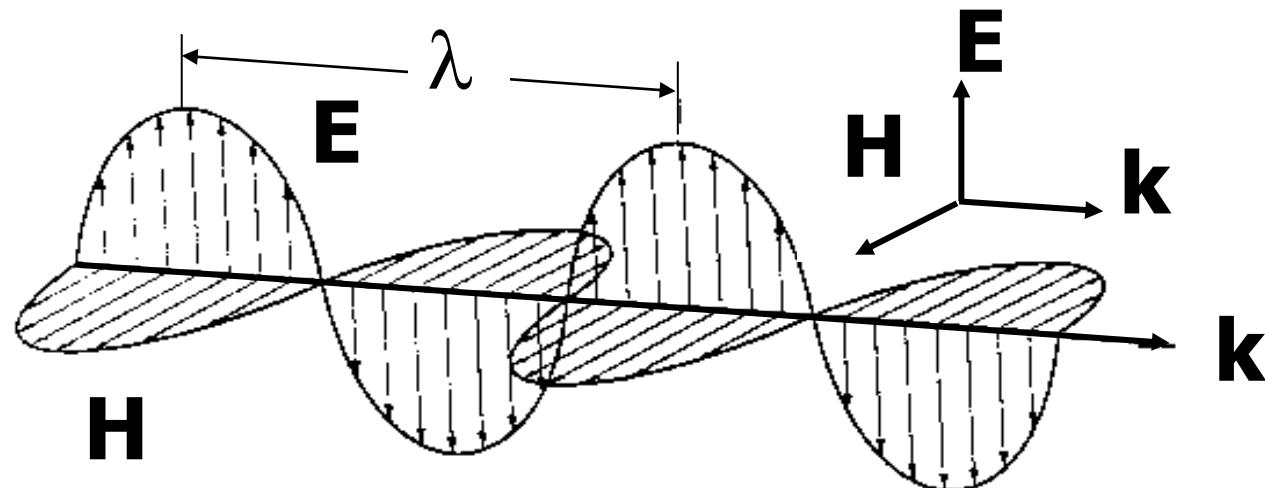
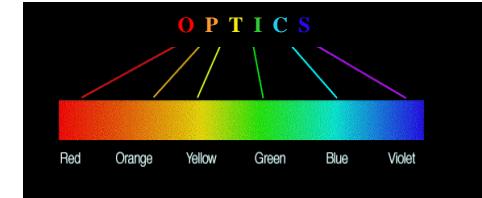


# 第五章 偏振

## 一，光的偏振态

### 1. 1 光的偏振态—光矢量的振动状态



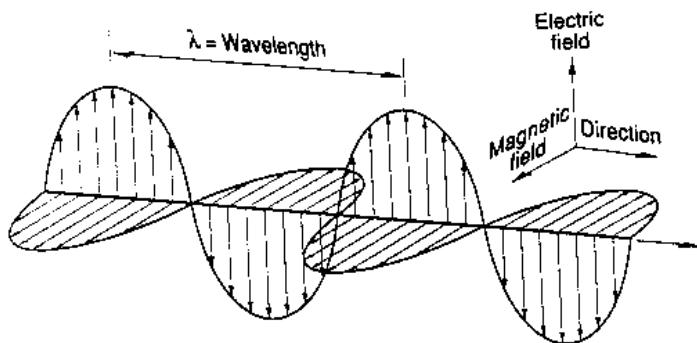


# 第五章 偏振

## (1) 偏振态及其表征

五种偏振态：

- 线偏振光；
- 圆偏振光；
- 自然光；
- 部分偏振光；
- 椭圆偏振光。













FRANCE 1862 TITIUS - LUDWIG FRANZ

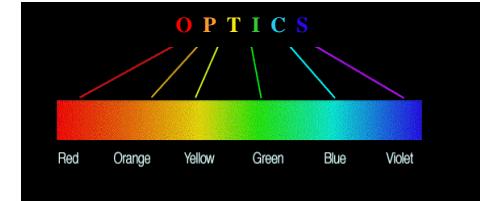
1862  
Anthonie van den Bosch  
Drawing 1862







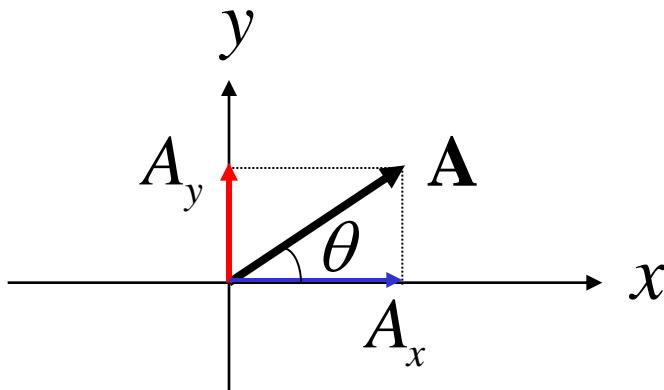
# 第五章 偏振



a. 线偏振光:

光矢量方向恒定。

$$\mathbf{E} = \mathbf{A} \cos \omega t$$

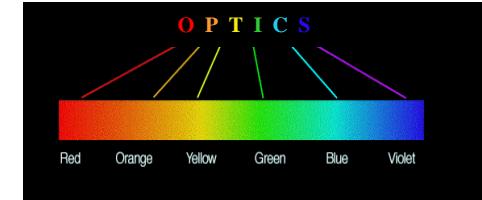


$$E_x = A_x \cos \omega t \\ = A \cos \theta \cdot \cos \omega t$$

$$E_y = A_y \cos(\omega t + \delta) \\ = A \sin \theta \cdot \cos(\omega t + \delta)$$

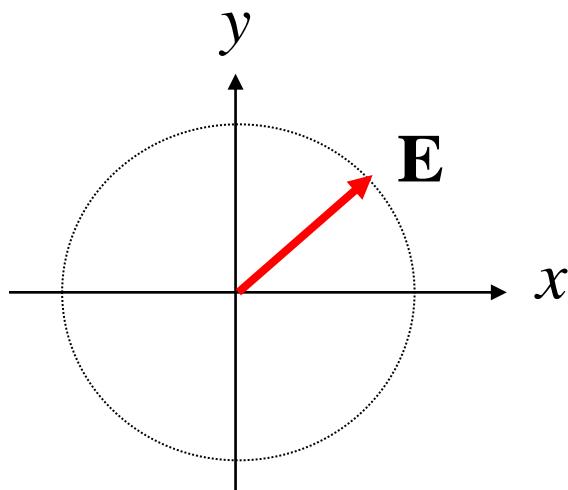


# 第五章 偏振



## b. 圆偏振光

光矢量大小不变，振动方向随时间变化，端点轨迹为圆。



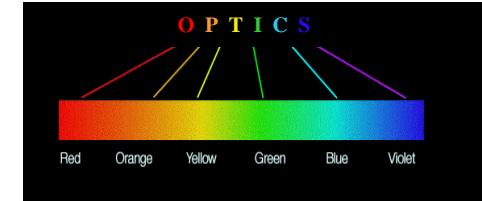
$$E_x = A \cos \omega t$$

$$E_y = A \cos(\omega t + \delta)$$

$$\delta = \frac{\pi}{2} \text{ 右旋}, \quad \delta = -\frac{\pi}{2} \text{ 左旋}$$

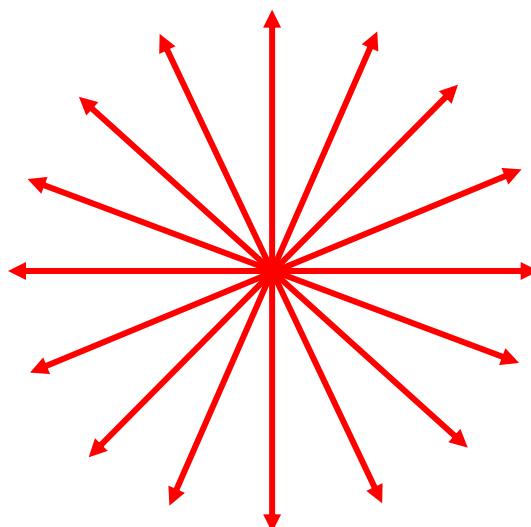


# 第五章 偏振

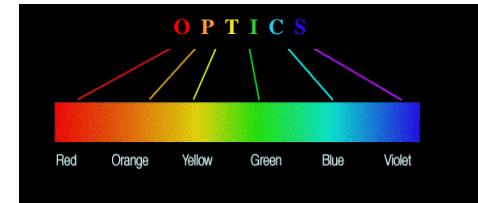


## c. 自然光

随机线偏振光的集合。

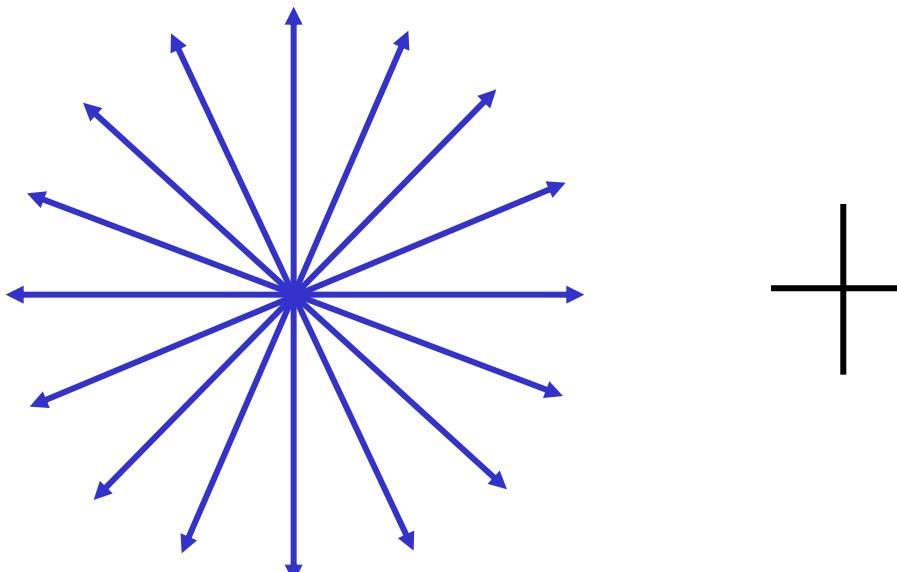


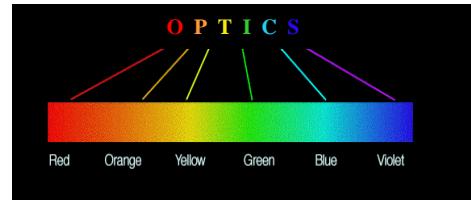
# 第五章 偏振



## d. 部分偏振光

线偏振光 + 自然光





# 第五章 偏振

## f. 椭圆偏振光

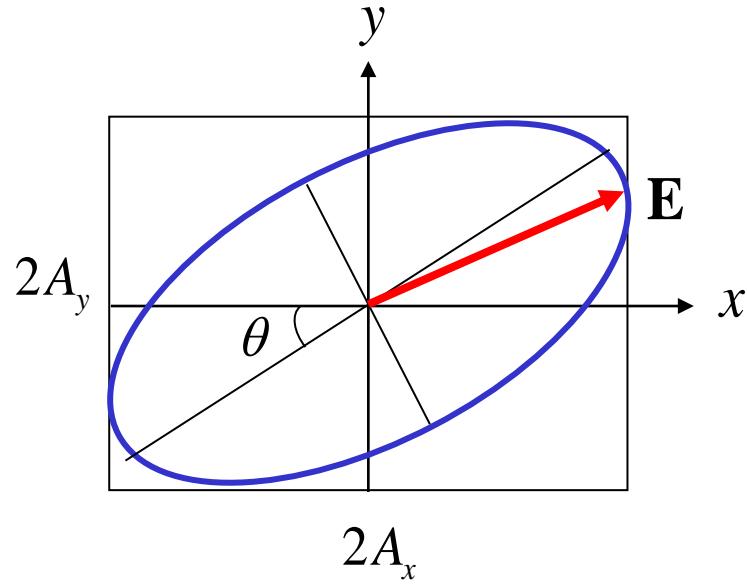
$$E_x = A_x \cos \omega t$$

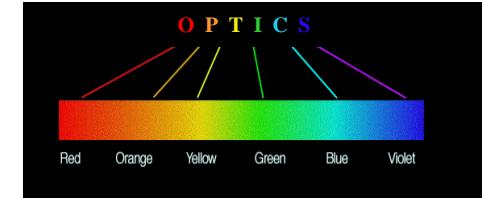
$$E_y = A_y \cos(\omega t + \delta)$$

椭圆偏振光方程：

$$\frac{E_x^2}{A_x^2} + \frac{E_y^2}{A_y^2} - 2 \frac{E_x E_y}{A_x A_y} \cos \delta = \sin^2 \delta$$

$$\tan 2\theta = \frac{2A_x A_y}{A_x^2 - A_y^2} \cos \delta$$





# 第五章 偏振

讨论：

$\delta = m\pi$  ( $m = \text{整数}$ ) 一线偏振

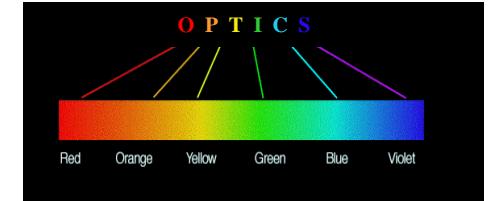
$$E_y = \frac{A_y}{A_x} E_x \quad \text{或} \quad E_y = -\frac{A_y}{A_x} E_x$$

$\delta = \pm \pi/2$  奇数倍 - 正椭圆偏振光

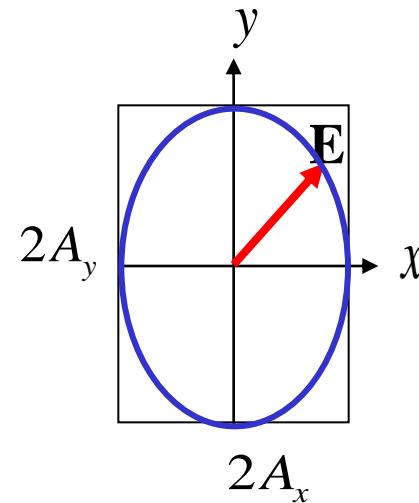
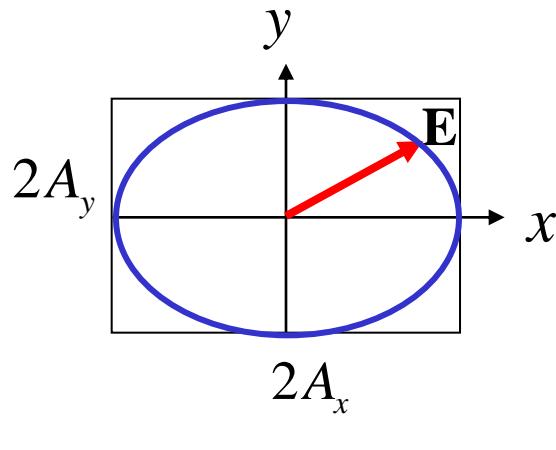
$$\frac{E_x^2}{A_x^2} + \frac{E_y^2}{A_y^2} = 1$$



# 第五章 偏振



## 正椭圆偏振光：



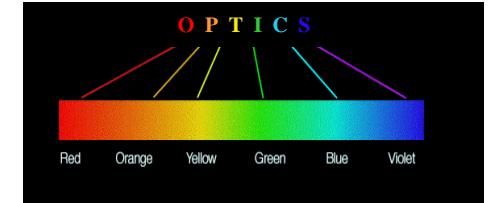
$A_x = A_y$  圆偏振光

$\sin \delta > 0$  右旋偏振,

$\sin \delta < 0$  左旋偏振



# 第五章 偏振

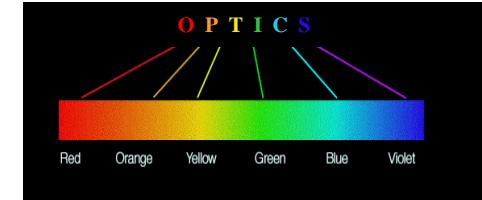


左右旋偏振规定：

当对着光传播方向看去，合成电矢量顺时针方向旋转时，偏振是右旋的，反之是左旋的。

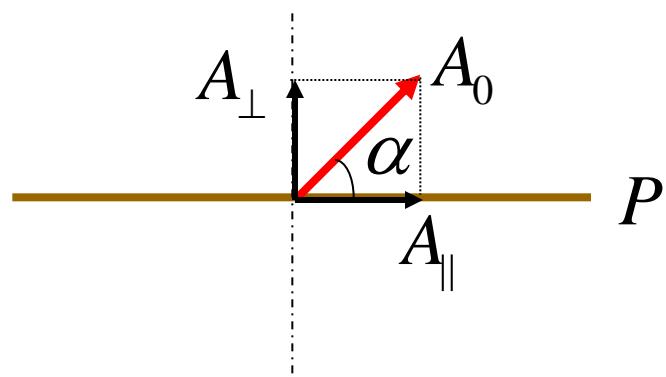


# 第五章 偏振



## (2) 偏振片和马吕斯定律

- a. 人造偏振片（线偏振）：  
一个方向强吸收；另一方向（正交）透明。
- b. 马吕斯定律：

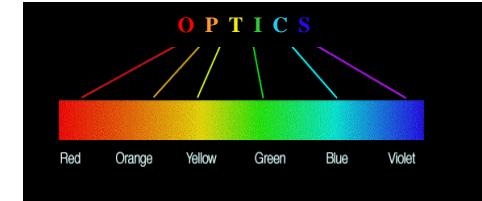


透射光强：

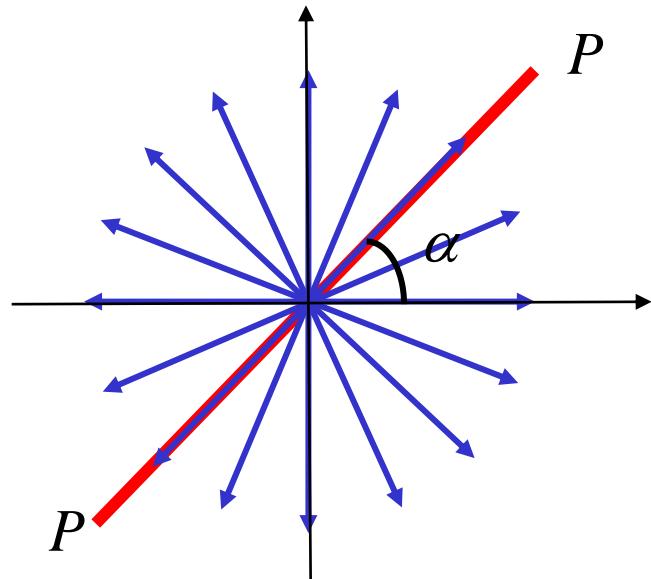
$$I_P(\alpha) = I_0 \cos^2 \alpha$$



# 第五章 偏振



► 自然光通过偏振片的光强：



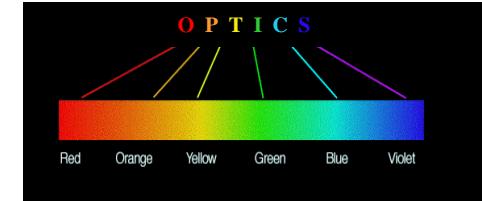
$$I_P(\alpha) = I_0 \langle \cos^2 \theta \rangle = \frac{1}{2} I_0$$

结论：

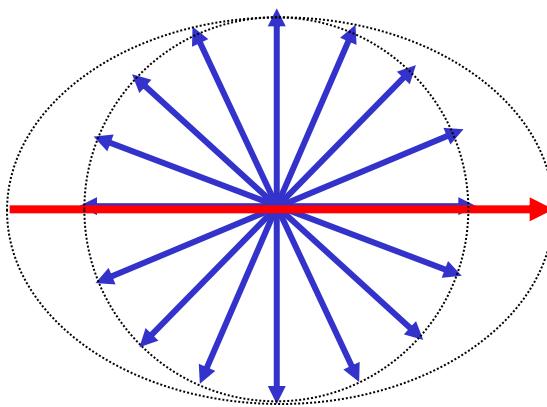
当一线偏振片对着一束自然光旋转时，透射光强始终不变，其数值等于入射光强的一半。



# 第五章 偏振

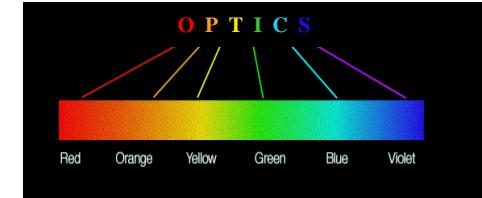


➤部分偏振光通过偏振片的光强：



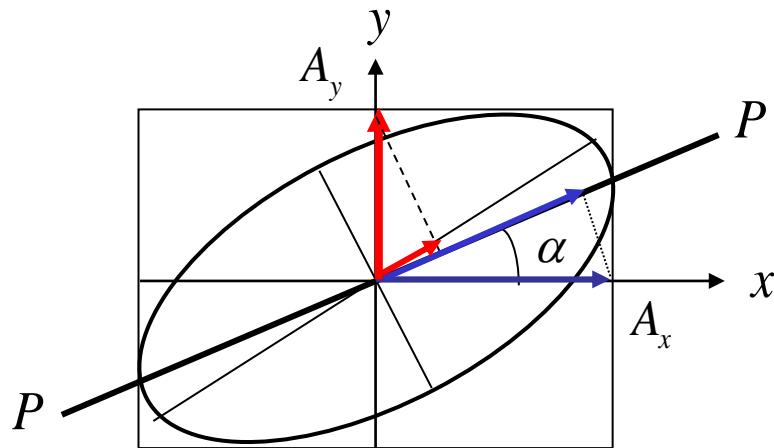
$$I_P(\alpha) = I_m + (I_M - I_m) \cos^2 \alpha$$





# 第五章 偏振

► 椭圆偏振光通过偏振片的光强：



圆偏振光：

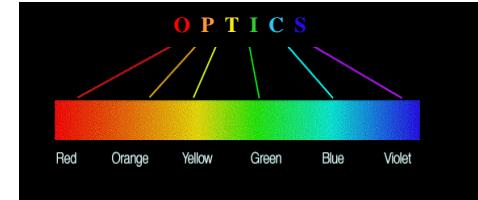
$$I_P(\alpha) = \frac{1}{2} I_0$$

$$I_P(\alpha) = (A_x \cos \alpha)^2 + (A_y \sin \alpha)^2 + 2A_x A_y \sin 2\alpha \cdot \cos \delta$$

P与椭圆长轴方向一致，透射极大；  
P与椭圆短轴方向一致，透射极小。



# 第五章 偏振



## (3) 偏振度

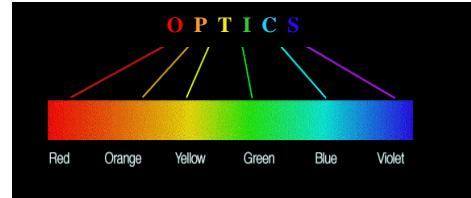
定义:  $p = \frac{I_M - I_m}{I_M + I_m}$

$p=1$ , 线偏振光

$0 < p < 1$ , 椭圆或部分偏振光

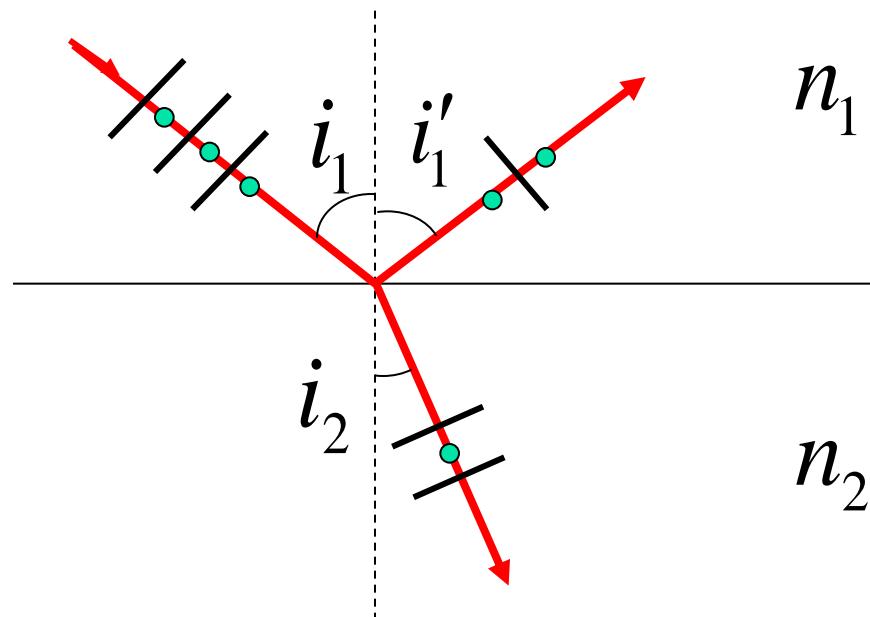
$p=0$ , 圆或自然光



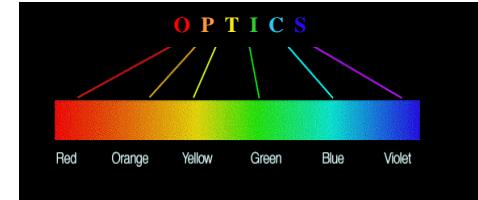


# 第五章 偏振

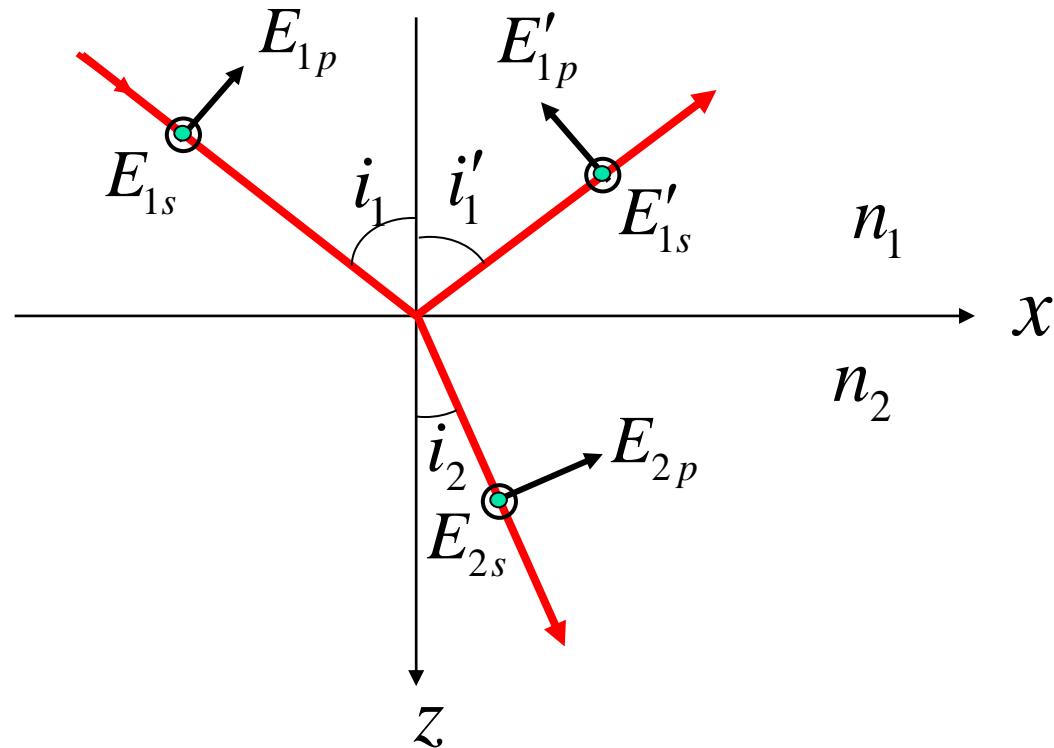
## 二，光在电介质表面的反射和折射



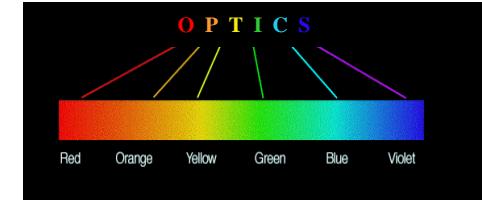
# 第五章 偏振



## 2.1 菲涅耳公式

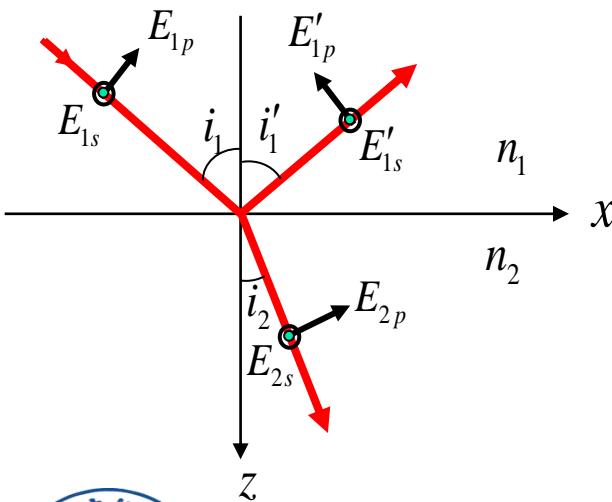


# 第五章 偏振



(1) 光矢量垂直于入射面

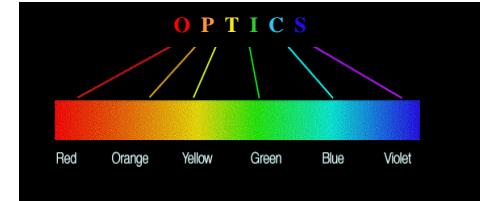
反射波与入射波振幅比



$$\tilde{r}_s = \frac{\tilde{E}'_{1s}}{\tilde{E}_{1s}} = -\frac{\sin(i_1 - i_2)}{\sin(i_1 + i_2)}$$

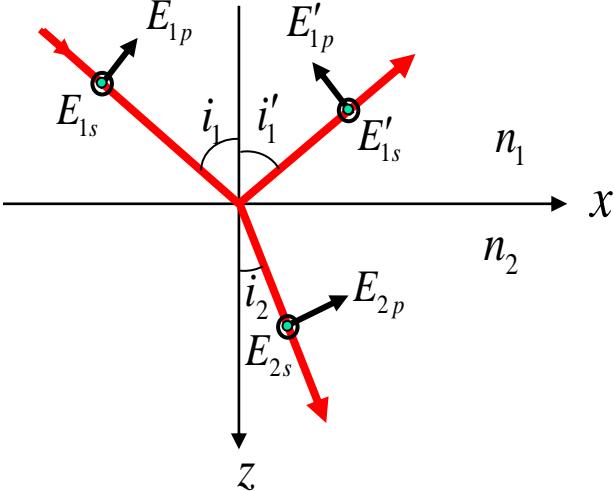
$$\tilde{r}_s = \frac{\tilde{E}'_{1s}}{\tilde{E}_{1s}} = \frac{n_1 \cos i_1 - n_2 \cos i_2}{n_1 \cos i_1 + n_2 \cos i_2}$$





# 第五章 偏振

## 折射波与入射波振幅比

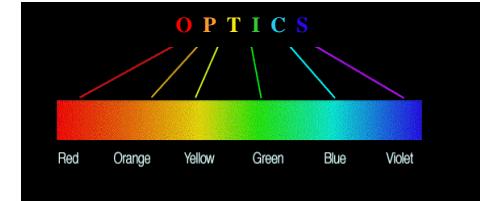


$$\tilde{t}_s = \frac{\tilde{E}_{2s}}{\tilde{E}_{1s}} = \frac{2 \sin i_2 \cos i_1}{\sin(i_1 + i_2)}$$

$$\tilde{t}_s = \frac{\tilde{E}_{2s}}{\tilde{E}_{1s}} = \frac{2n_1 \cos i_1}{n_1 \cos i_1 + n_2 \cos i_2}$$

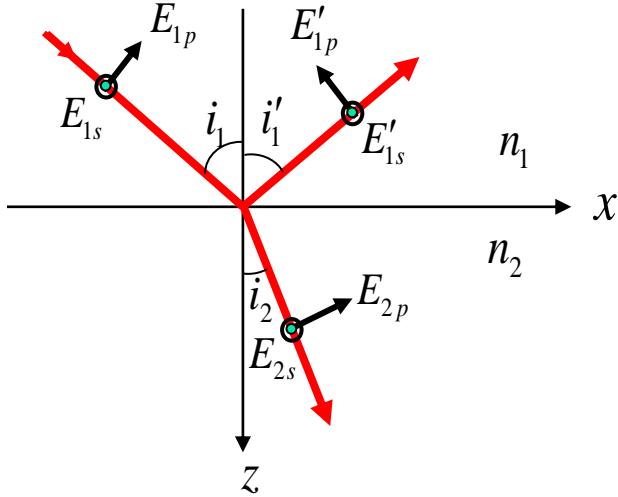


# 第五章 偏振



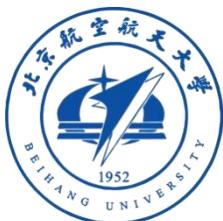
## (2) 光矢量平行于入射面

反射波与入射波振幅比

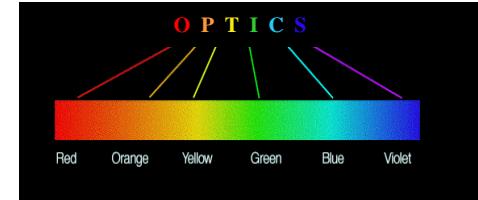


$$\tilde{r}_p = \frac{\tilde{E}'_{1p}}{\tilde{E}_{1p}} = \frac{\tan(i_1 - i_2)}{\tan(i_1 + i_2)}$$

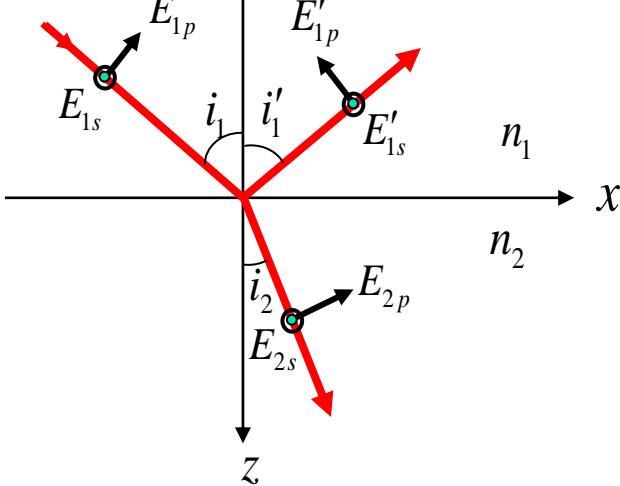
$$\tilde{r}_p = \frac{\tilde{E}'_{1p}}{\tilde{E}_{1p}} = \frac{n_2 \cos i_1 - n_1 \cos i_2}{n_2 \cos i_1 + n_1 \cos i_2}$$



# 第五章 偏振



## 折射波与入射波振幅比

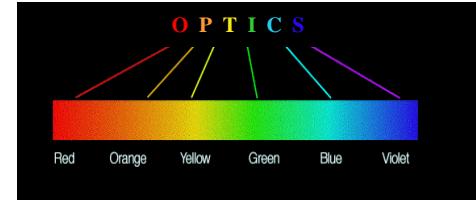


$$\tilde{t}_p = \frac{\tilde{E}_{2p}}{\tilde{E}_{1p}} = \frac{2 \sin i_2 \cos i_1}{\sin(i_1 + i_2) \cos(i_1 - i_2)}$$

$$\tilde{t}_p = \frac{\tilde{E}_{2p}}{\tilde{E}_{1p}} = \frac{2n_1 \cos i_1}{n_2 \cos i_1 + n_1 \cos i_2}$$



# 第五章 偏振



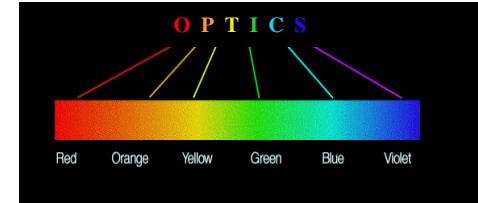
## (3) 正入射菲涅耳公式

$$\tilde{r}_s = \frac{\tilde{E}'_{1s}}{\tilde{E}_{1s}} = -\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \quad \tilde{r}_p = \frac{\tilde{E}'_{1p}}{\tilde{E}_{1p}} = \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}$$

$$\tilde{t}_s = \frac{\tilde{E}_{2s}}{\tilde{E}_{1s}} = \frac{2n_1}{n_2 + n_1} \quad \tilde{t}_p = \frac{\tilde{E}_{2p}}{\tilde{E}_{1p}} = \frac{2n_1}{n_2 + n_1}$$



# 第五章 偏振

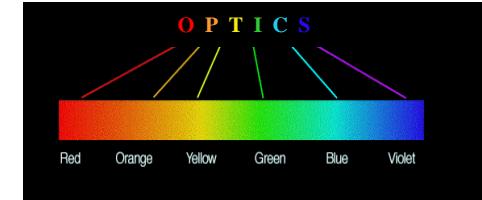


菲涅耳公式成立条件：

- a. 适用于绝缘介质；
- b. 适用于各向同性介质；
- c. 适用于弱场和线性介质；
- d. 适用于光频段。



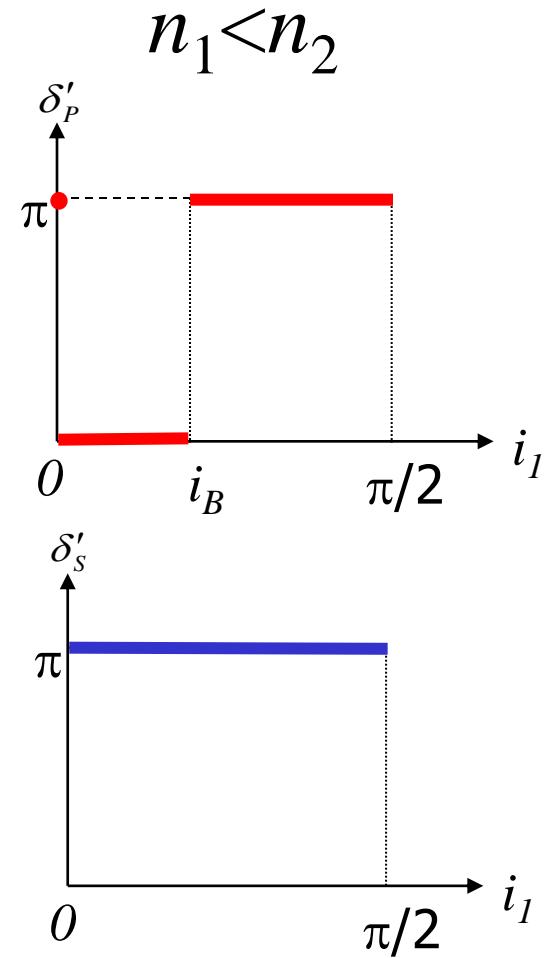
# 第五章 偏振



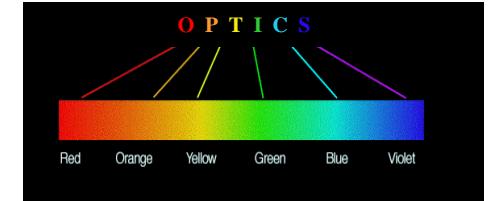
## 2.2 半波损失问题

(1) 反射光波：

当光波以接近正入射或掠入射角度在光疏与光密介质的分界面反射时，反射光矢量相对于入射光发生 $\pi$ 的相位突变——半波损失。

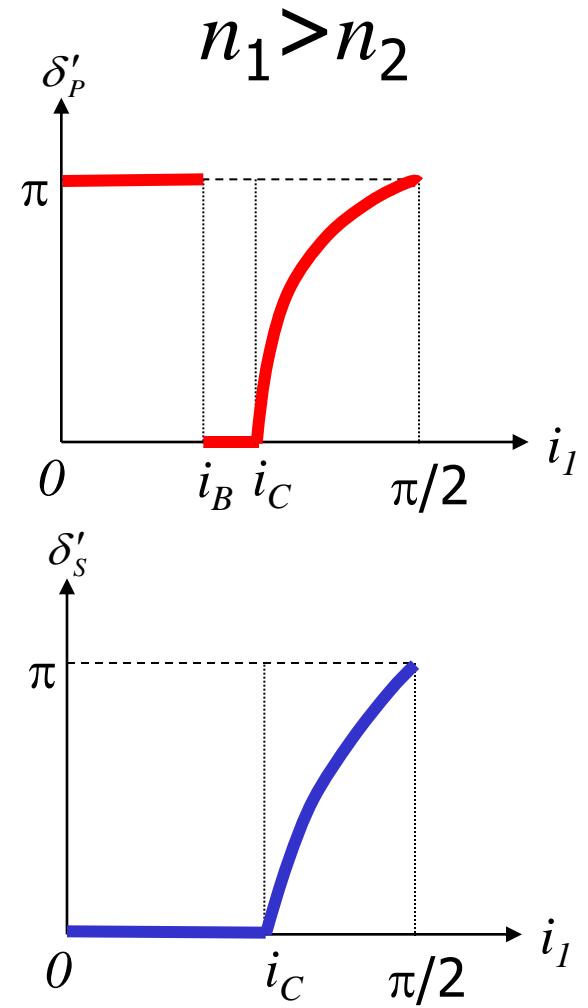


# 第五章 偏振

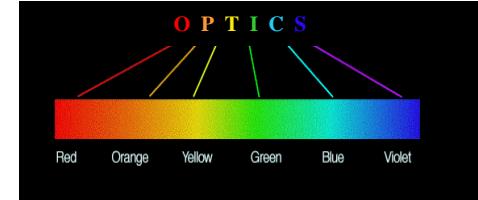


正入射不发生相位 $\pi$ 突变；  
掠入射发生相位 $\pi$ 突变。

折射光波在任何情况下，光矢量都不发生相位 $\pi$ 突变。



# 第五章 偏振



## 2.3 反射率和透射率

(1) 振幅反射率和透射率

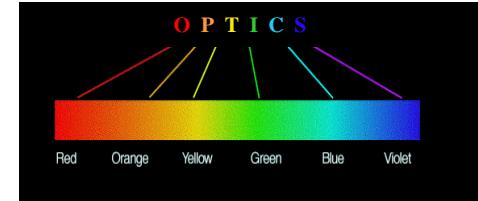
—菲涅耳公式

(2) 光强反射率和透射率

$$\text{反射率} \quad \frac{I'_{1p}}{I_{1p}} = r_p^2 \quad \frac{I'_{1s}}{I_{1s}} = r_s^2$$



# 第五章 偏振



透射率  $\frac{I_{2p}}{I_{1p}} = \frac{n_2}{n_1} t_p^2$        $\frac{I_{2s}}{I_{1s}} = \frac{n_2}{n_1} t_s^2$

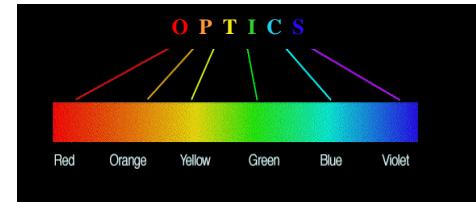
## (3) 能流反射率和透射率

光功率=光强×截面积

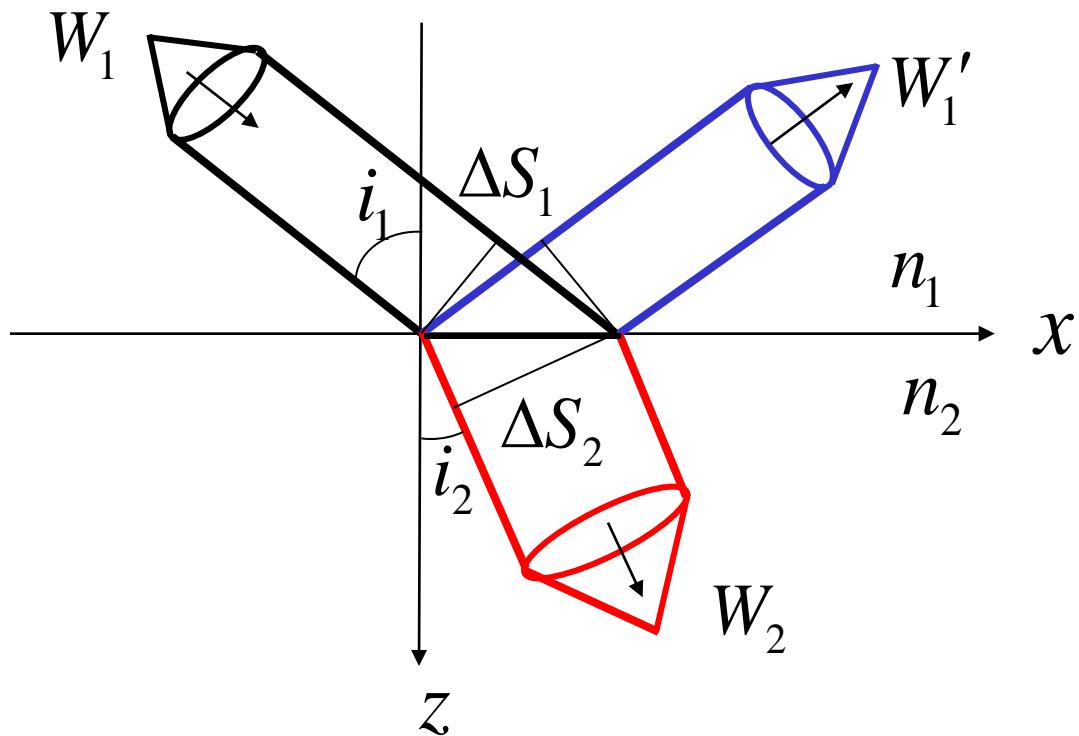
能量守恒:  $W_1 = W'_1 + W_2$   
 $W_{1s} = W'_{1s} + W_{2s}$   
 $W_{1p} = W'_{1p} + W_{2p}$



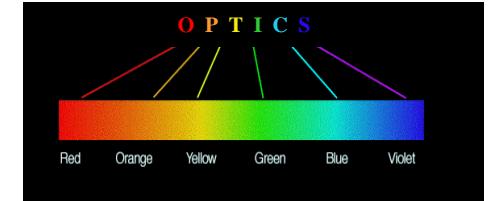
# 第五章 偏振



功率反射率和透射率：



# 第五章 偏振



$$R_s = \frac{W'_{1s}}{W_{1s}} = \frac{\sin^2(i_1 - i_2)}{\sin^2(i_1 + i_2)}$$

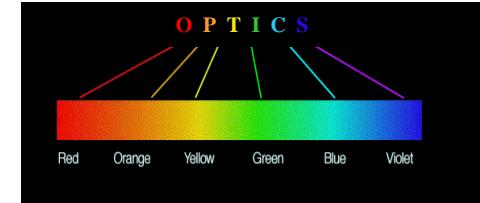
$$T_s = \frac{W_{2s}}{W_{1s}} = \frac{n_2 \cos i_2}{n_1 \cos i_1} \cdot \frac{2 \sin^2 i_2 \cos^2 i_1}{\sin^2(i_1 + i_2)}$$

$$R_p = \frac{W'_{1p}}{W_{1p}} = \frac{\tan^2(i_1 - i_2)}{\tan^2(i_1 + i_2)}$$

$$T_p = \frac{W_{2p}}{W_{1p}} = \frac{n_2 \cos i_2}{n_1 \cos i_1} \cdot \frac{4 \sin^2 i_2 \cos^2 i_1}{\sin^2(i_1 + i_2) \cos^2(i_1 - i_2)}$$



# 第五章 偏振



## 能量守恒

$$R_p + T_p = 1$$

$$R_s + T_s = 1$$

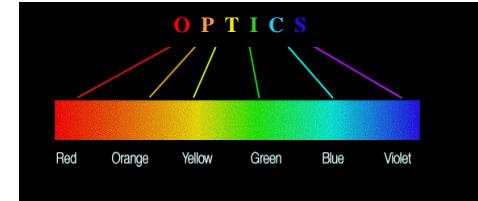
用光强表示：

$$\frac{I'_{1p}}{I_{1p}} + \frac{\cos i_2}{\cos i_1} \frac{I_{2p}}{I_{1p}} = 1$$

$$\frac{I'_{1s}}{I_{1s}} + \frac{\cos i_2}{\cos i_1} \frac{I_{2s}}{I_{1s}} = 1$$



# 第五章 偏振



入射光是自然光:

$$W_{1s} = W_{1p} = \frac{1}{2} W_1$$

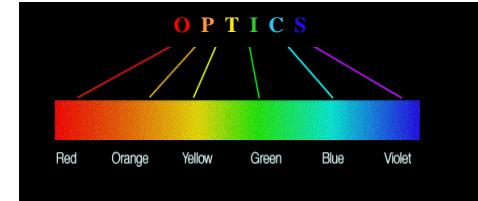
$$R_n = \frac{W'_1}{W_1} = \frac{W'_{1s} + W'_{1p}}{W_1} = \frac{1}{2} (R_s + R_p)$$

$$R_n = \frac{1}{2} \left[ \frac{\sin^2(i_1 - i_2)}{\sin^2(i_1 + i_2)} + \frac{\tan^2(i_1 - i_2)}{\tan^2(i_1 + i_2)} \right]$$

正入射:  $R_n = \left( \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2$



# 第五章 偏振



空气—玻璃分界面 ( $n=1.52$ )

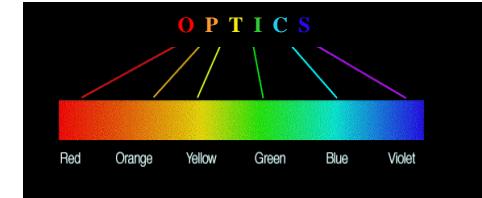
自然光反射率:  $R_n = 0.043$

结论: 约4%的光能量在空气—玻璃分界面被反射。

N块玻璃片系统的反射光能损失:

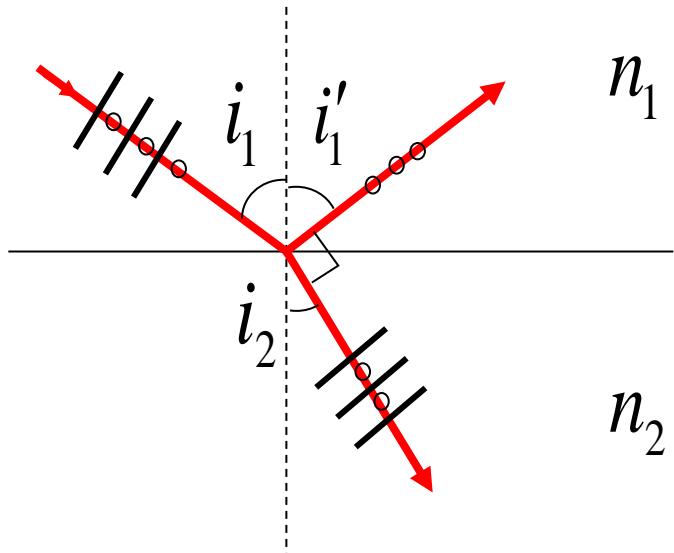
$$R_N = 1 - T_N = 1 - (1 - R_n)^{2N}$$





# 第五章 偏振

## 2.4 布儒斯特（Brewster）定律



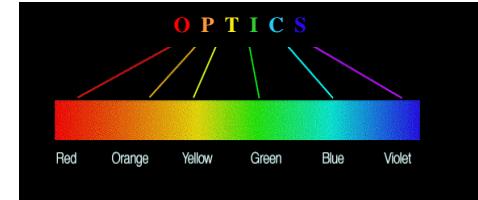
任何偏振光投射到两种不同介质分界面时，当入射角满足关系

$$i_1 + i_2 = \pi/2$$

反射光中没有振动平行于入射面的分量，反射光是完全线偏振光，其光矢量的振动垂直于入射面。

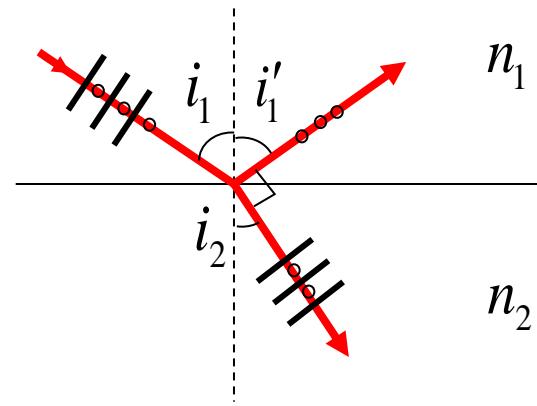


# 第五章 偏振



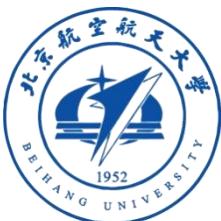
入射角：起偏振角或布儒斯特角

$$\tan i_B = n_2 / n_1$$

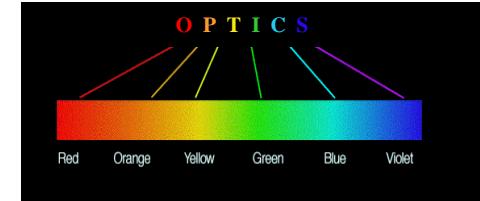


波片组的偏振度计算：

$$P_N = \frac{1 - (t_s t'_s)^N}{1 + (t_s t'_s)^N} = \frac{1 - \left(4n_1^2 n_2^2 (n_1^2 + n_2^2)^{-2}\right)^N}{1 - \left(4n_1^2 n_2^2 (n_1^2 + n_2^2)^{-2}\right)^N}$$

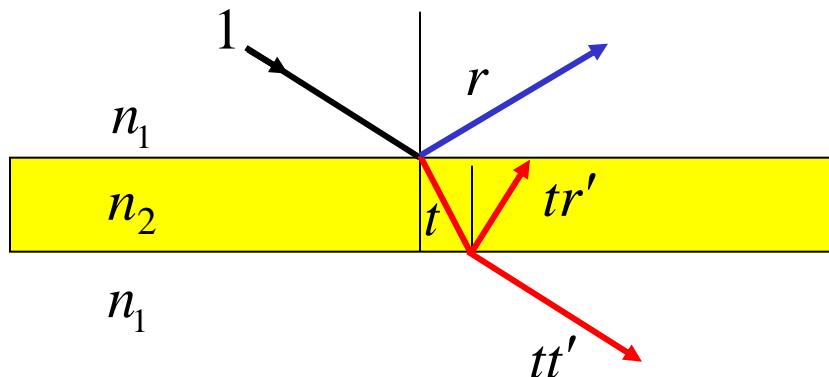


# 第五章 偏振



## 2.5 斯托克斯倒逆关系

问题提出



第一界面:

$$n_1 / n_2, (r, t)$$

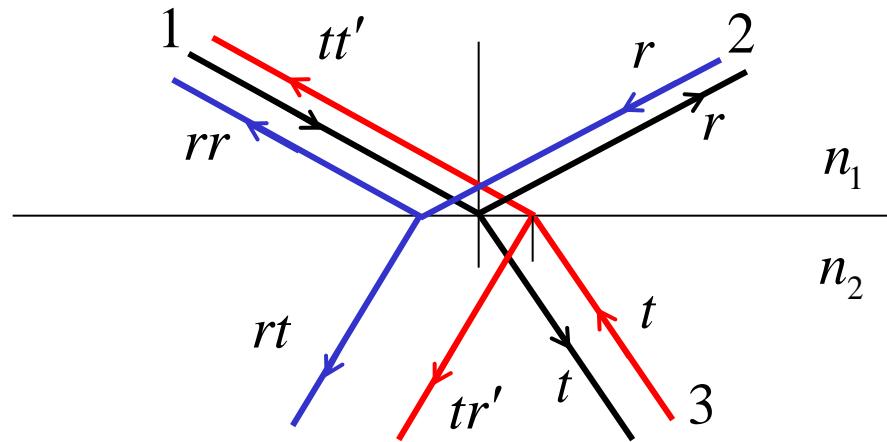
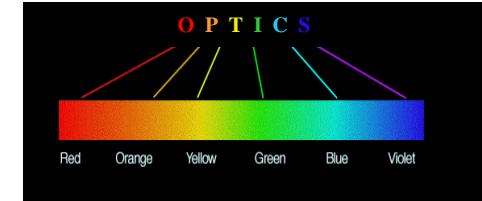
第二界面:

$$n_2 / n_1, (r', t')$$

求  $r, t, r', t'$  关系?



# 第五章 偏振



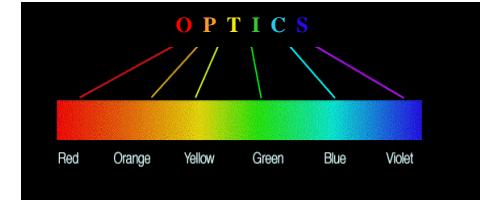
斯托克斯关系（对p, s光均成立）：

$$r' = -r$$

$$tt' + r^2 = 1$$



# 第五章 偏振



## 2. 6 全反射光波的偏振态

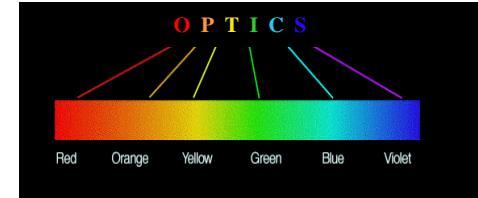
相位变化:

$$\tilde{r}_s = r_s e^{i\delta_s}, \quad \tilde{r}_p = r_p e^{i\delta_p}$$

$$\tan \frac{\delta_s}{2} = - \frac{\sqrt{\sin^2 i_1 - (n_2/n_1)^2}}{\cos i_1}$$

$$\tan \frac{\delta_p}{2} = - \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \cdot \tan \frac{\delta_s}{2}$$





# 第五章 偏振

s, p分量的相位差:

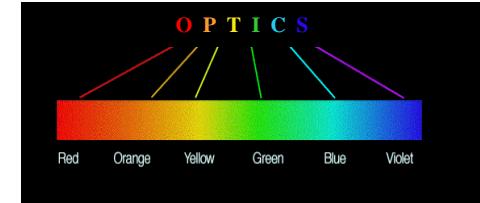
$$\tan \frac{\delta}{2} = -\frac{\cos i_1 \sqrt{\sin^2 i_1 - (n_2/n_1)^2}}{\sin^2 i_1}$$

结论:

- 当入射角=临界角,  $\delta=0$ , 反射光偏振态与入射光相同;
- 当入射角>临界角且入射光矢量与入射面夹角不为0或 $\pi/2$ ,  $\delta\neq0$ , 反射光为椭圆偏振光。

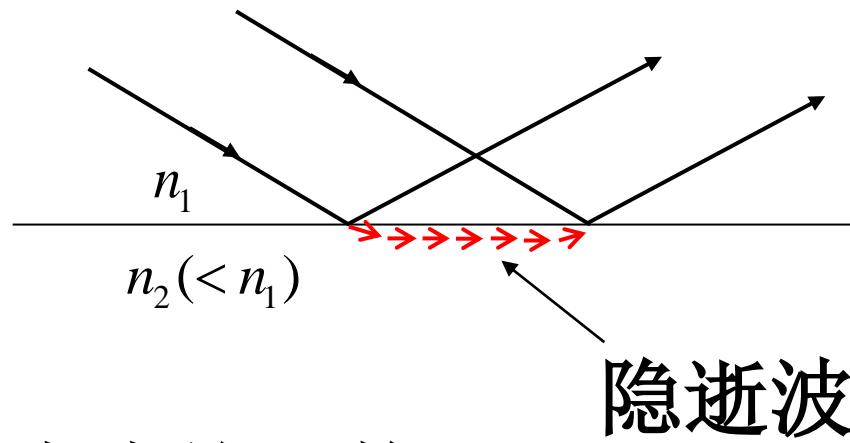


# 第五章 偏振



## 2.7 隐逝波

问题：全反射时有无光波进入第二介质？

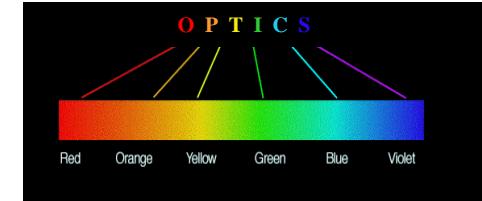


隐逝波前函数：

$$\mathbf{E}_2 = \mathbf{E}_{20} e^{-k_0 z \sqrt{n_1^2 \sin^2 i_1 - n_2^2}} \cdot e^{i(n_1 k_0 x \sin i_1 - \omega t)}$$



# 第五章 偏振

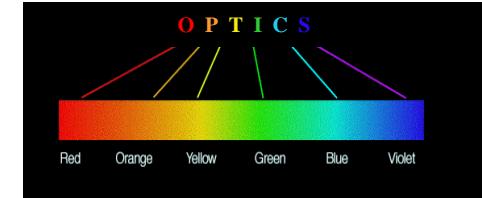


隐逝波：沿 $x$ 方向传播，振幅在 $z$ 方向按指数衰减的波。

$z$ 方向：有效进入深度~一个波长；

$x$ 方向：在第二介质中平行于分界面流动~半个波长后返回第一介质。

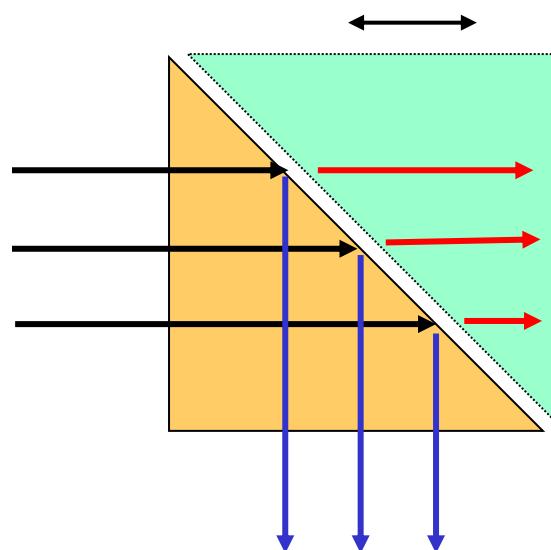




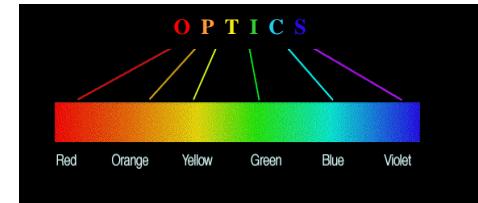
# 第五章 偏振

## 隐失波现象和应用

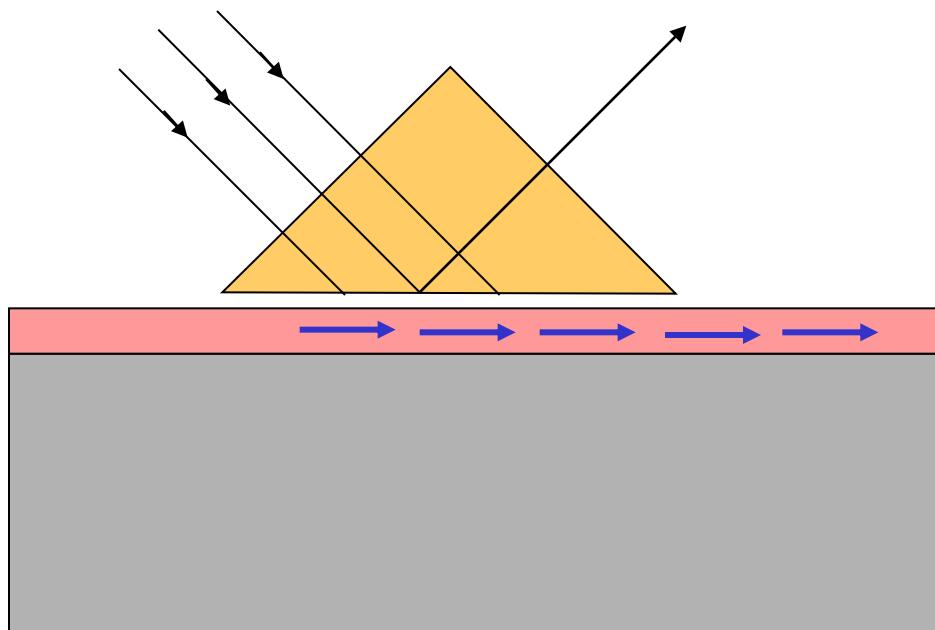
### a. 受抑全反射和光学隧道效应



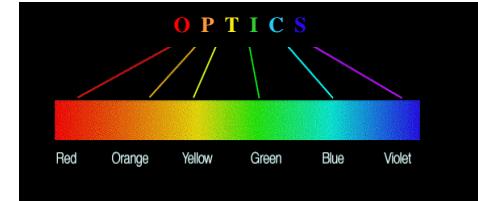
# 第五章 偏振



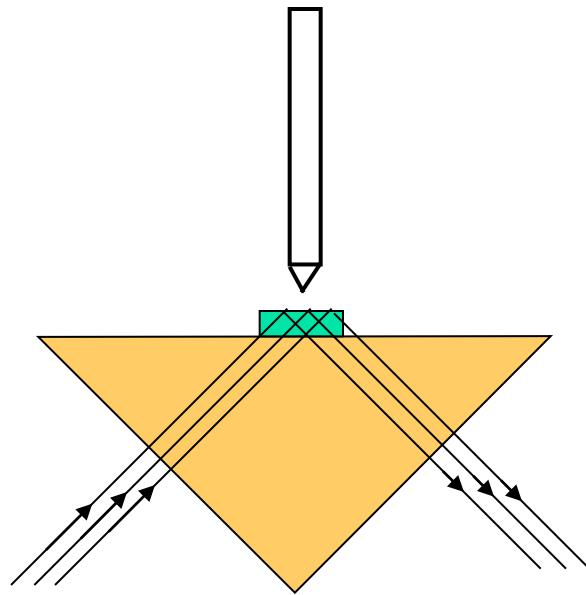
## b. 平面光波导

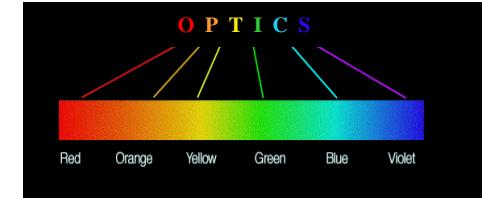


# 第五章 偏振



## (3) 扫描近场光学显微镜 SNOM





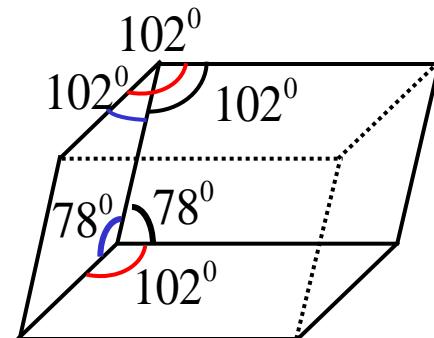
# 第五章 偏振

## 三，双折射

### 3.1 晶体

- 外形具有一定规则性；
- 内部原子排列有序且具有周期性。

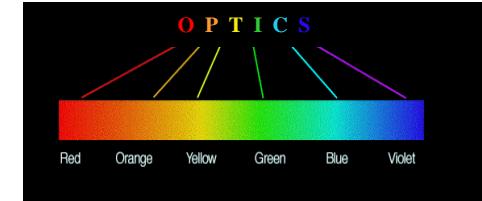
7种晶系，14种晶格，  
32种点群。



方解石晶格



# 第五章 偏振



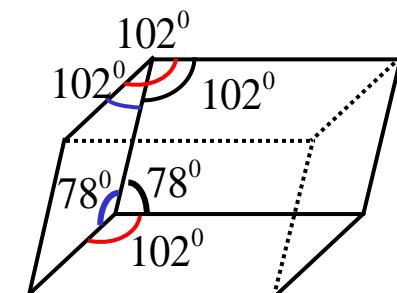
单轴晶体：各向异性

三角晶系、四角晶系、六角晶系

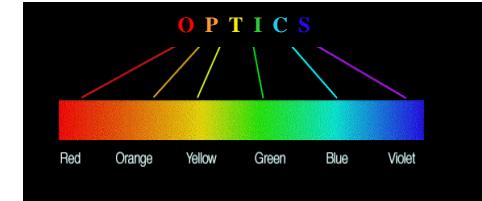
双轴晶体：各向异性

单斜晶系、三斜晶系、正交晶系

立方晶系：各向同性



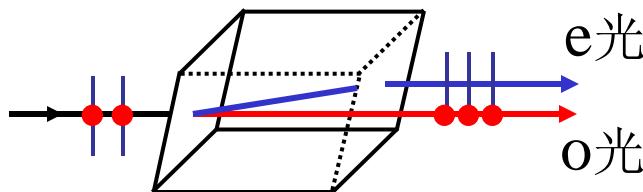
# 第五章 偏振



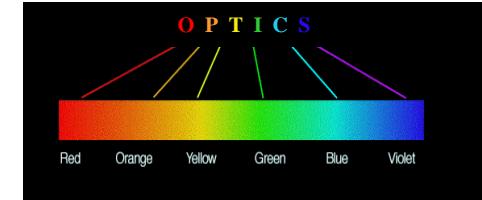
## 3. 2 双折射现象和基本规律

当一束光入射于晶体表面时，产生两束透射光的现象—晶体双折射。

- a. 寻常光线  
遵从折射定律—o光
- b. 非常光线  
不遵从折射定律—e光



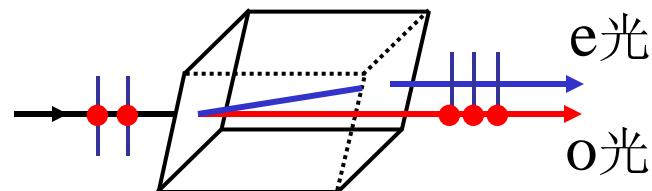
# 第五章 偏振



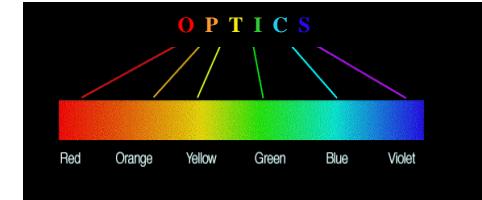
## c. 晶体的光轴

光在晶体内部传播时不发生双折射的方向—**晶体的光轴**

单轴晶体：只有一个光轴方向。  
双轴晶体：有两个光轴方向。

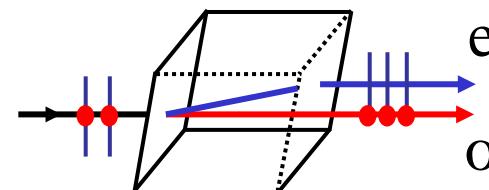


# 第五章 偏振

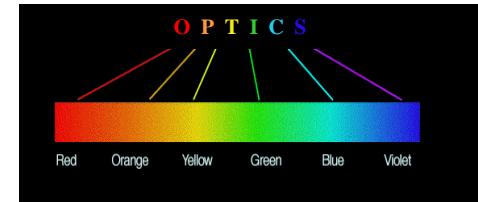


## d. 晶体的主平面和主截面

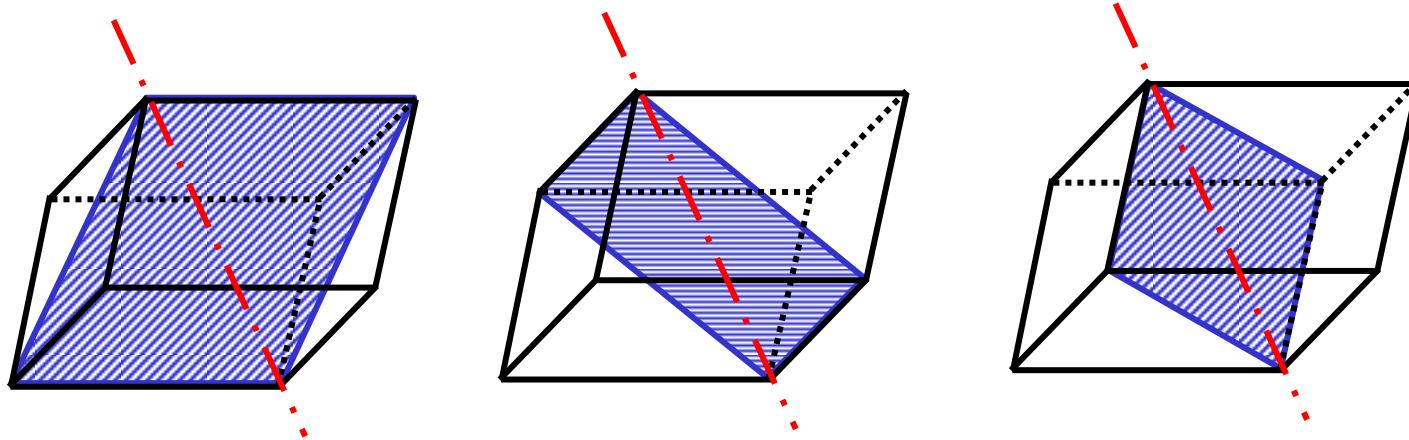
- 由 $\circ$ 光和光轴组成的平面— $\circ$ 主平面
- 由 $e$ 光和光轴组成的平面— $e$ 主平面
- 由光轴和晶体表面法线组成的面—**晶体的主截面**，也是 $\circ$ 光和 $e$ 光共同的主平面。



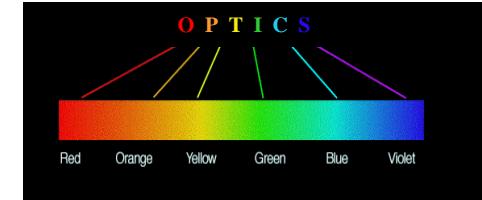
# 第五章 偏振



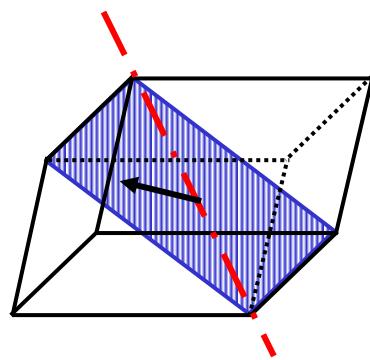
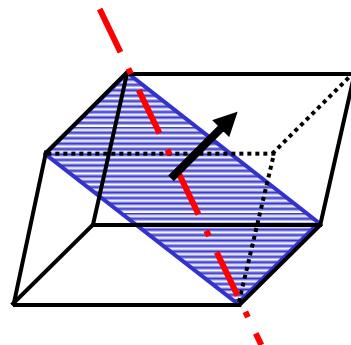
例：方解石晶体的主截面



# 第五章 偏振



## e. 偏振性



o光:

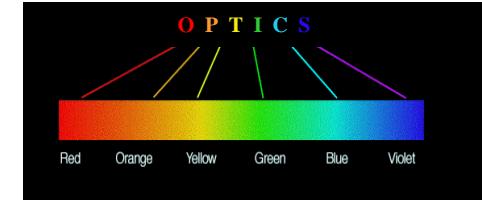
线偏振光。光矢量与主平面垂直；总是与光轴垂直。

e光:

线偏振光。光矢量在e主平面内，与光轴的夹角随传播方向而变。



# 第五章 偏振



## 3.3 双折射的电磁理论

### (1) 晶体介电张量

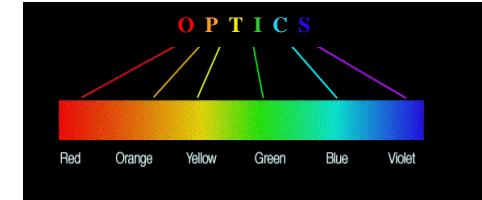
物质方程的张量形式：

$$\begin{bmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \end{bmatrix} = \epsilon_0 \begin{bmatrix} \epsilon_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix}$$

x, y, z —— 晶体的主轴方向



# 第五章 偏振



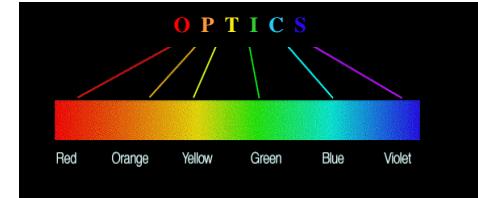
## 介电张量

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \varepsilon_0 \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{33} \end{bmatrix}$$

由  $\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{33}$  决定的三个折射率  $n_x, n_y, n_z$   
为主轴的光学折射率——主折射率

$$n_x = \sqrt{\varepsilon_{11}}, \quad n_y = \sqrt{\varepsilon_{22}}, \quad n_z = \sqrt{\varepsilon_{33}}$$





# 第五章 偏振

分析：

$$\epsilon_{11} = \epsilon_{22}, \quad n_x = n_y$$

晶体表现为单轴晶体的光学性质

$$\epsilon_{11} = \epsilon_{22} = \epsilon_{33}, \quad n_x = n_y = n_z = n$$

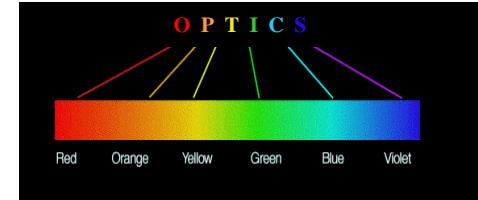
晶体表现为各向同性的光学性质

$$\epsilon_{11} \neq \epsilon_{22} \neq \epsilon_{33}, \quad n_x \neq n_y \neq n_z$$

晶体表现为双轴晶体的光学性质



# 第五章 偏振



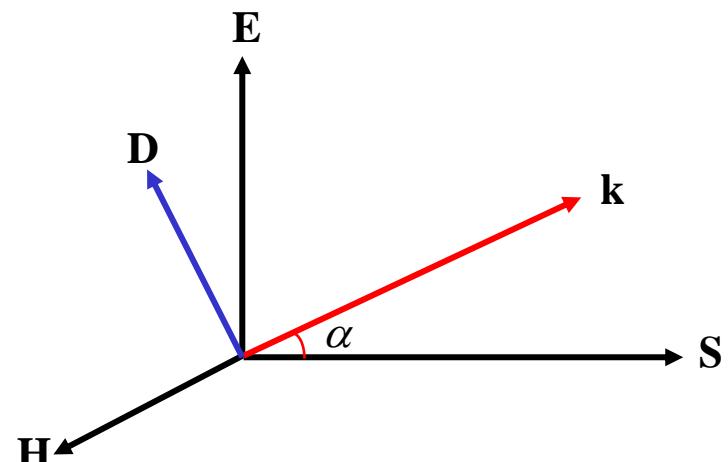
## (2) D, E, H 与 k, S 的关系

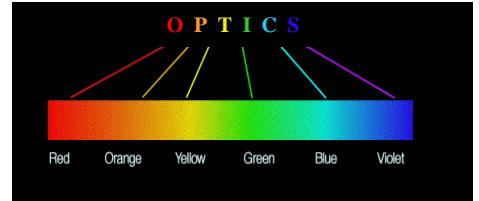
在单轴晶体中，光线（能流）方向与波面法线方向一般不重合。其关系由下式决定：

$$\mathbf{k} \times \mathbf{E} = \mu_0 \omega \mathbf{H}$$

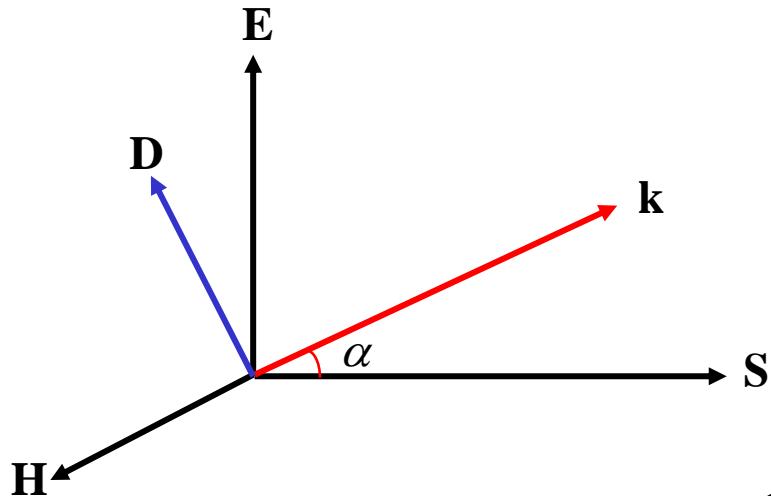
$$\mathbf{k} \times \mathbf{H} = -\omega \mathbf{D}$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$$



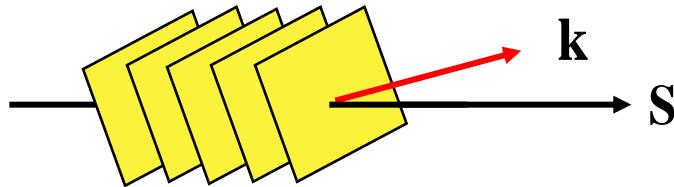


# 第五章 偏振



波面速度与光线速度关系：

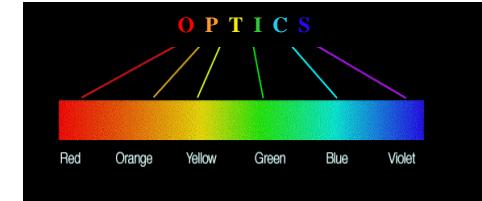
$$v_s = v_k / \cos \alpha$$



D, E, k, S 共面并垂直于H,  $k \perp D$ ,  
 $S \perp E$



# 第五章 偏振



## (3) 光线速度椭球

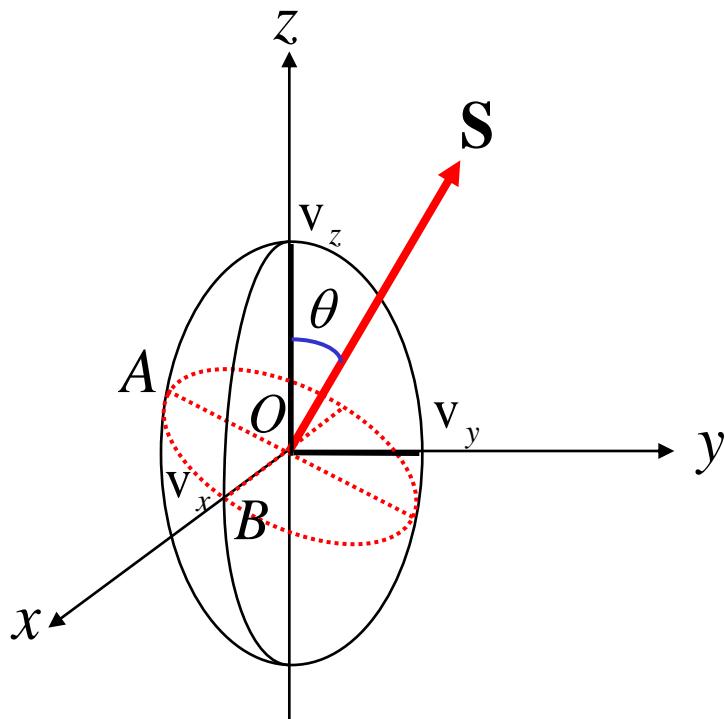
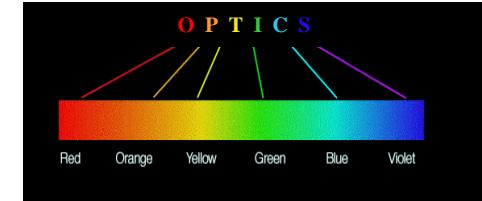
$$\varepsilon_{11}x^2 + \varepsilon_{22}y^2 + \varepsilon_{33}z^2 = c^2$$

或  $\frac{x^2}{v_x^2} + \frac{y^2}{v_y^2} + \frac{z^2}{v_z^2} = 1$

在单轴晶体中， $\varepsilon_{11} = \varepsilon_{22}$  光线椭球具有旋转对称性。



# 第五章 偏振

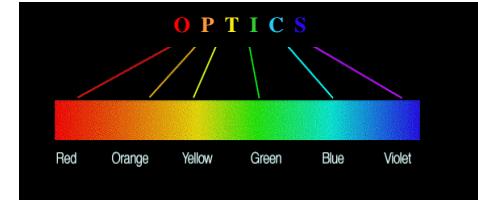


OB独立于能流方向，始终垂直于z轴，其长度恒为 $v_x$ 。说明光线速度不随传播方向改变，即为o光，其波面应是一个球。

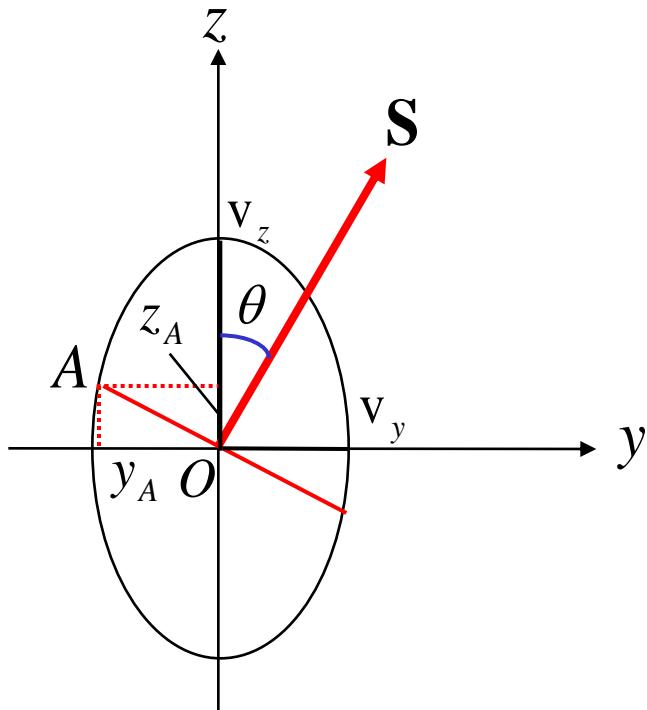
OA始终与z轴和OS共面，其长度随能流方向改变，说明光线速度随传播方向改变，即为e光。



# 第五章 偏振



e光的光速：



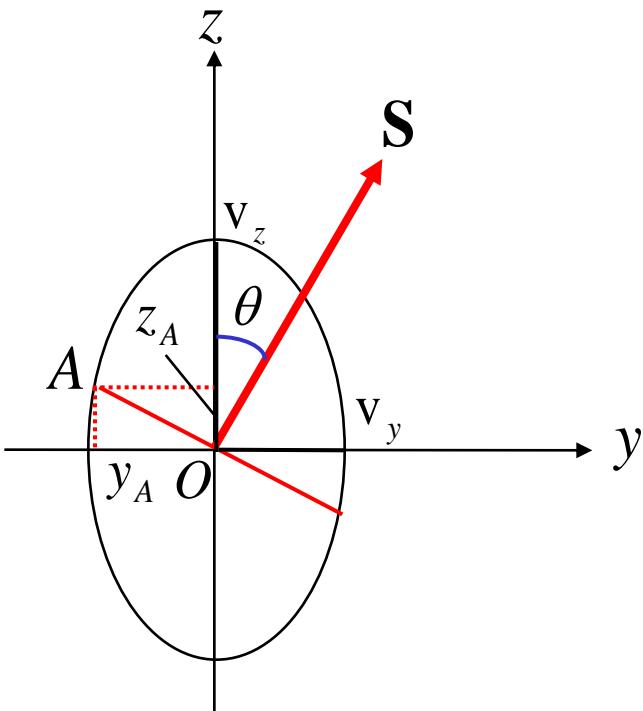
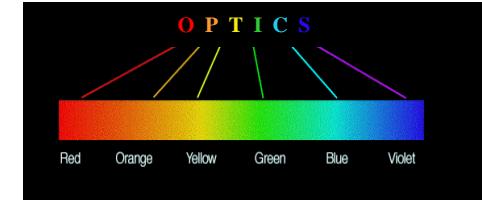
讨论：

- ◆ e光沿z轴方向传播，不管E或D的方向如何，光的传播速度不变。

$$v_e = c / \sqrt{\epsilon_{11}} = v_o$$



# 第五章 偏振



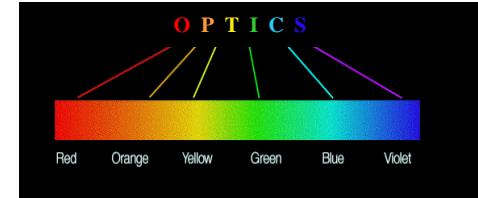
z轴就是晶体的光轴，其折射率等于晶体的o光折射率。

$$n_e = n_0 = n_x = \sqrt{\epsilon_{11}}$$

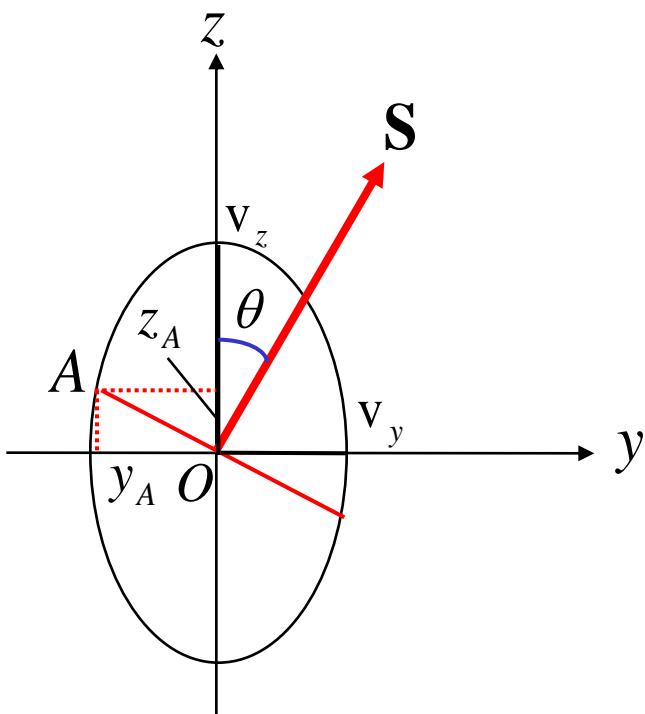
- ◆ e光沿垂直于光轴 z 的方向传播，光线速度与法线速度一致。

$$v_e(90^\circ) = c / \sqrt{\epsilon_{33}} = c / n_e$$





# 第五章 偏振



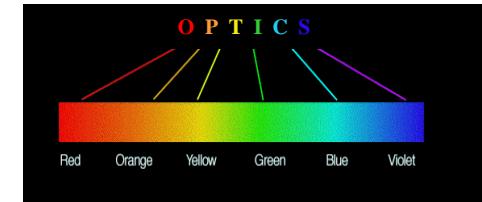
e光沿这个方向传播时的折射率为晶体的e光折射率。

$$v_e = \frac{c}{\sqrt{n_o^2 \cos^2 \theta + n_e^2 \sin^2 \theta}}$$

$v_e \sim \theta$  椭球代表从晶体内一点发出的e光向各个方向传播时在同一时刻到达的位置，即e光的波面。

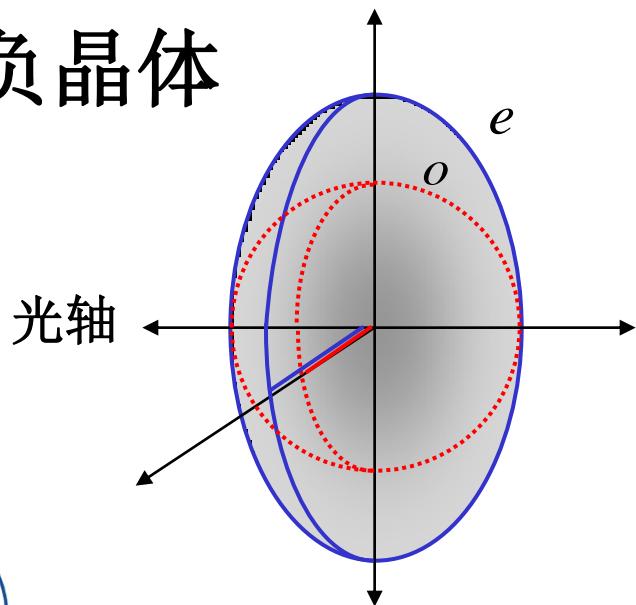


# 第五章 偏振

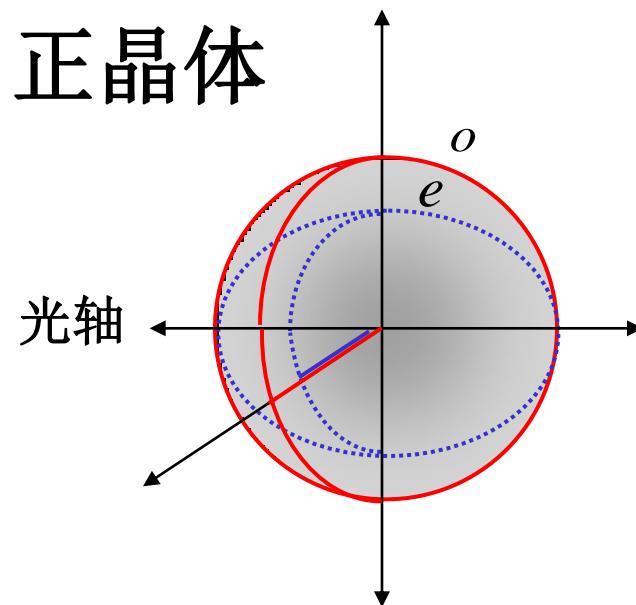


结论：e光的波面是以光轴z为对称轴的旋转椭球；o光的波面为球面。

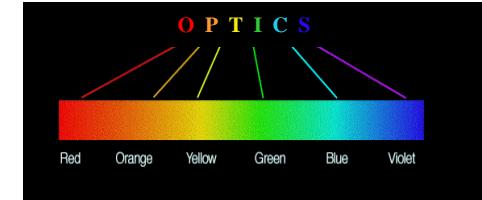
负晶体



正晶体



# 第五章 偏振



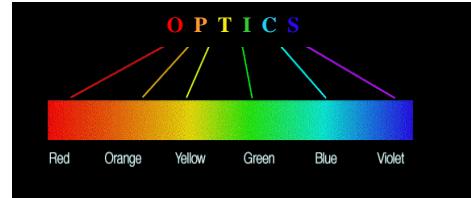
单轴晶体分为两类：

a.  $n_e > n_o$ ,  $v_e < v_o$  e光波面在o光波面之内—正晶体

b.  $n_e < n_o$ ,  $v_e > v_o$  e光波面在o光波面之外—负晶体

不论是正晶体还是负晶体，在光轴方向  $v_e$ 与 $v_o$ 都是相等的。所以椭球与球面在光轴方向相切。

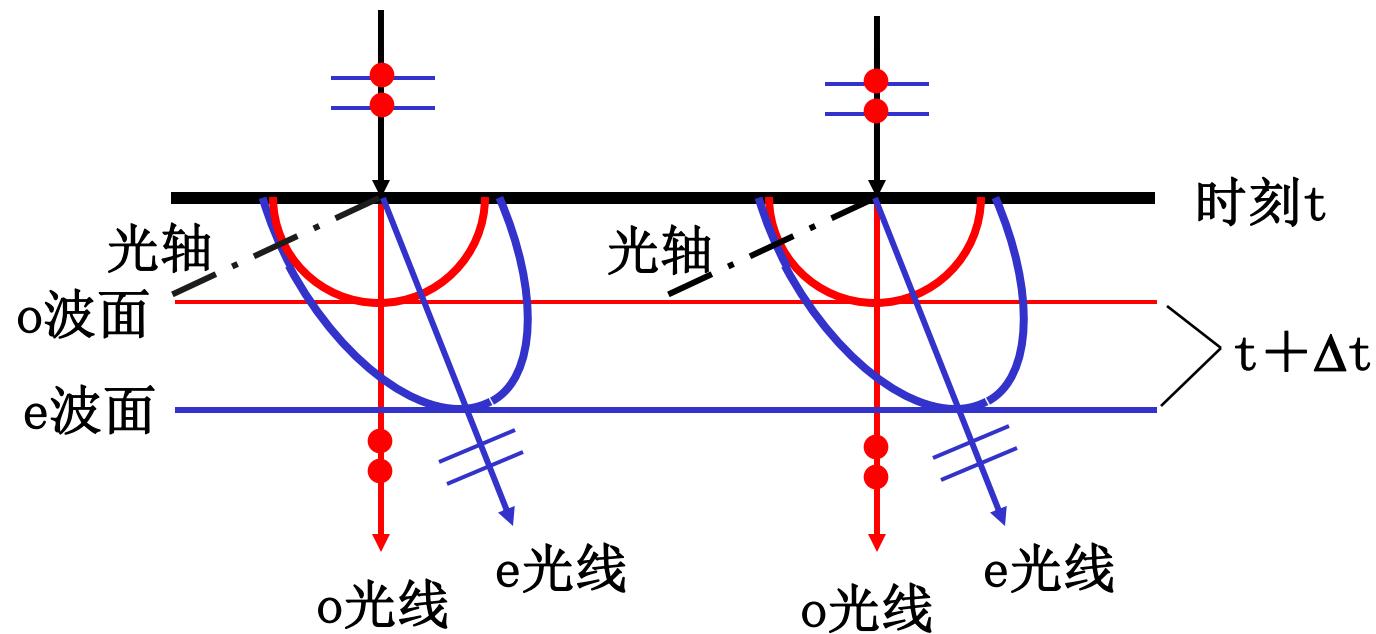


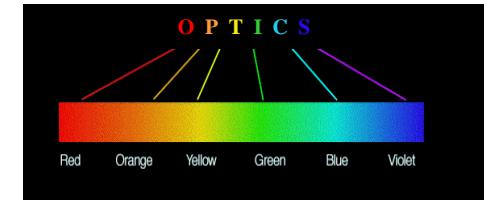


# 第五章 偏振

## 3.4 晶体中的波面与惠更斯作图法

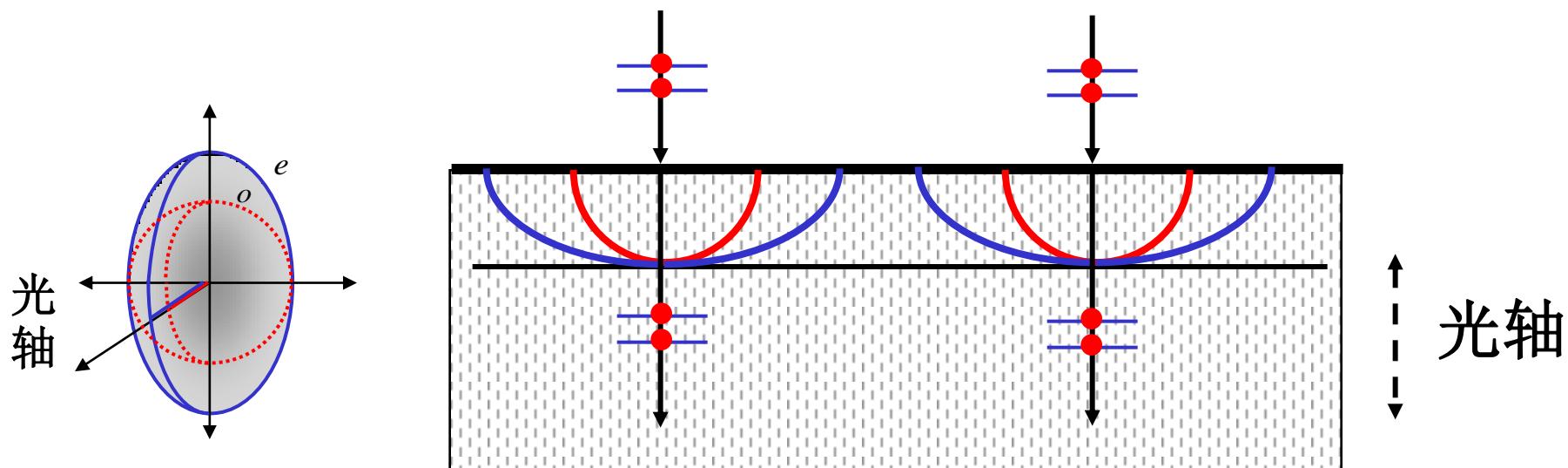
(1) 光线正入射，光轴任意方向





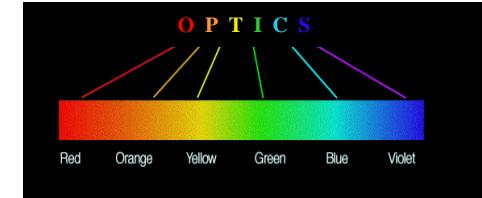
# 第五章 偏振

(2) 光线正入射，光轴与晶体表面垂直



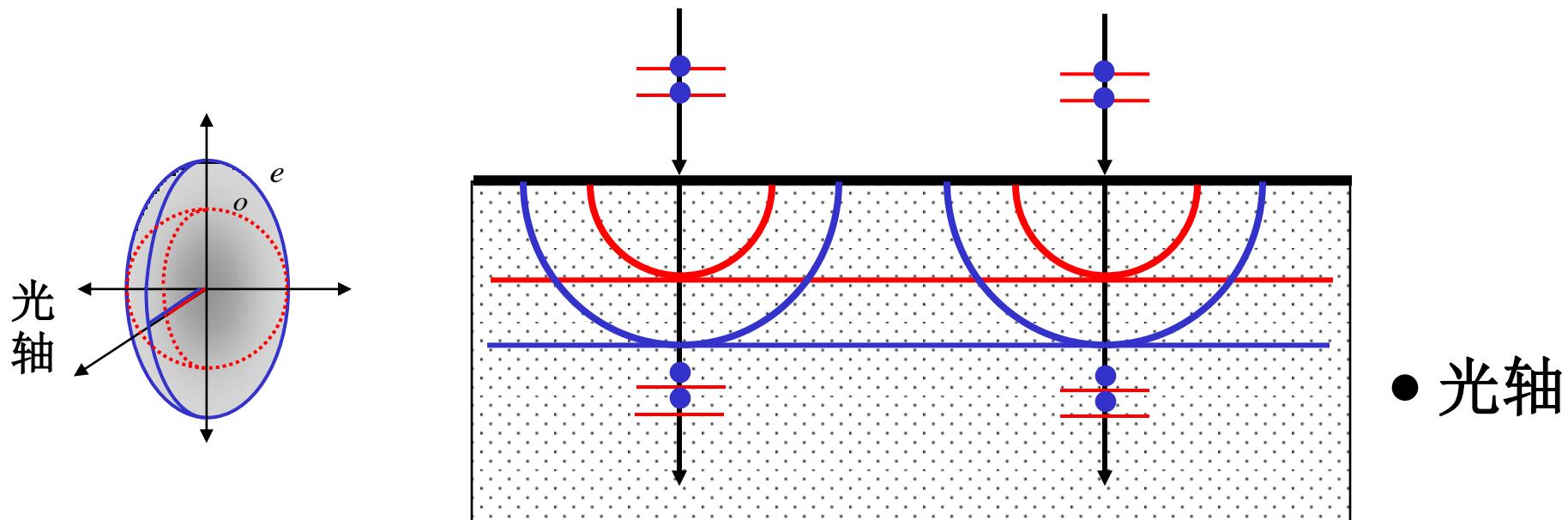
光线沿光轴方向传播不发生双折射。





# 第五章 偏振

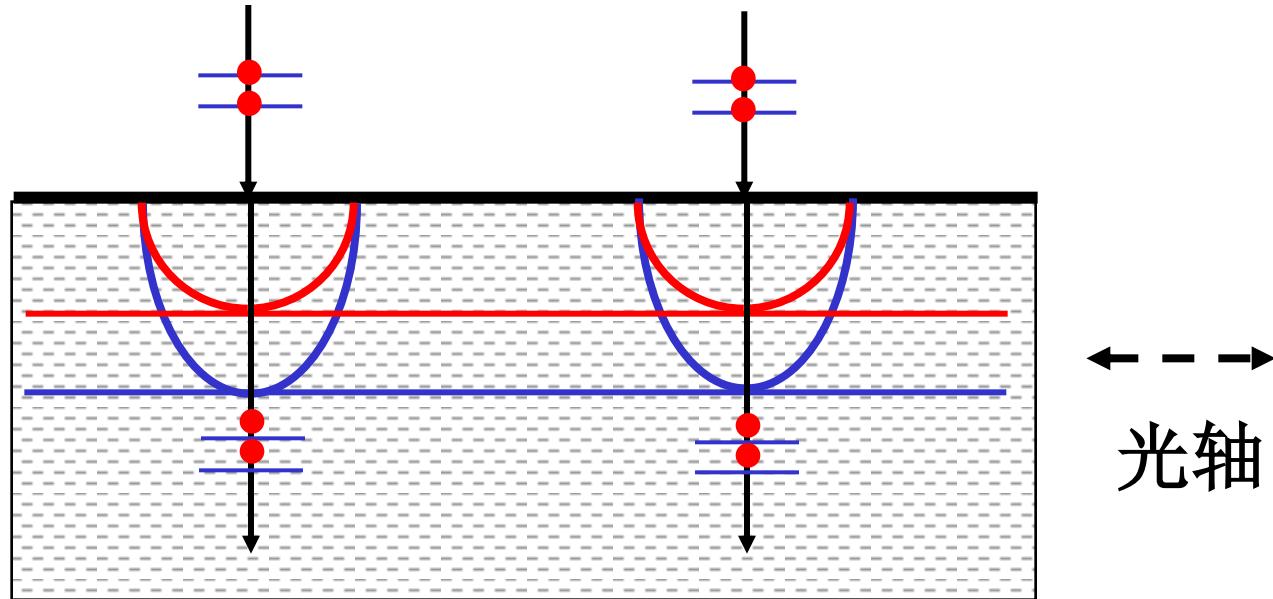
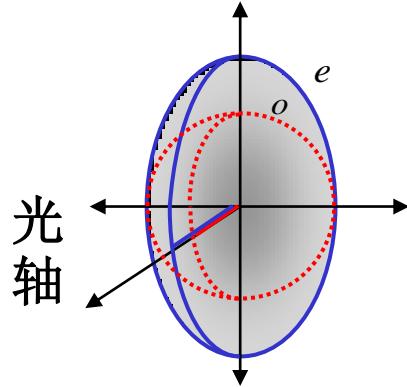
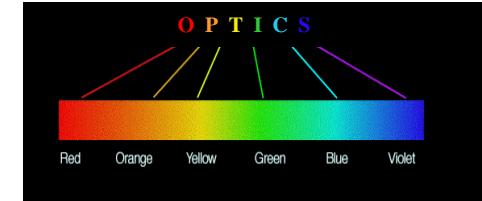
(3) 光线正入射，光轴与晶体表面平行



此条件下，折射定律对e光和o光均成立。

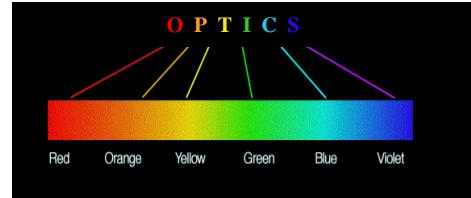


# 第五章 偏振



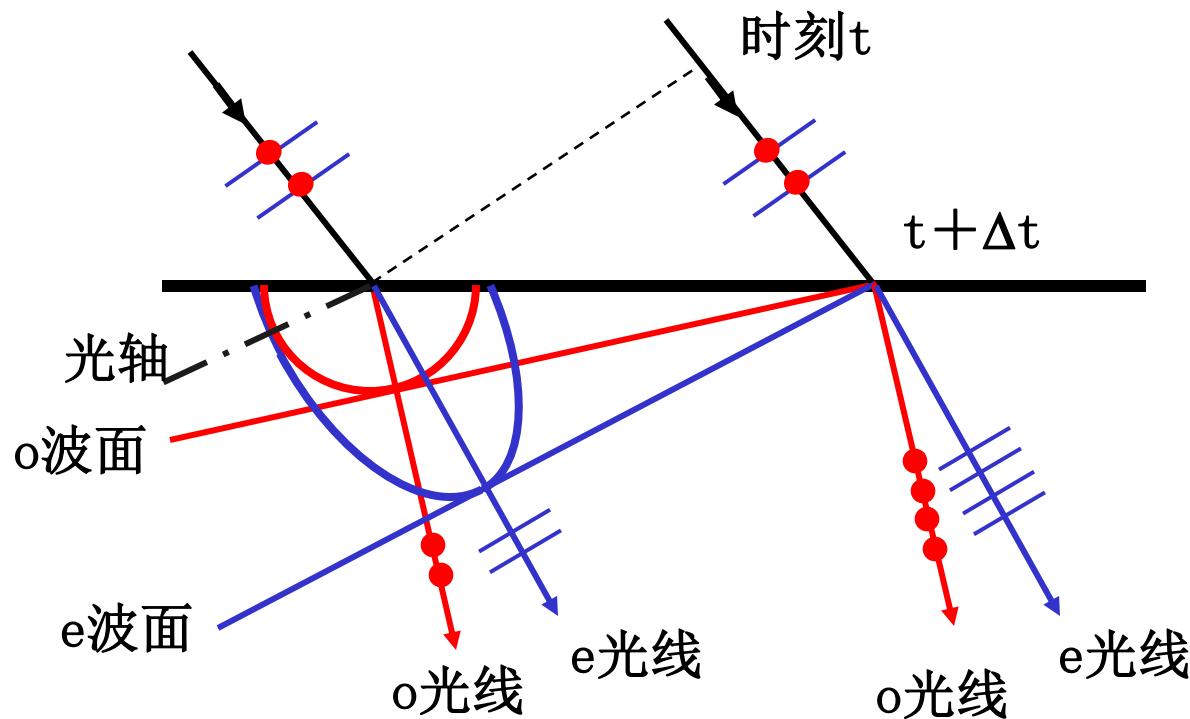
光线垂直于光轴方向传播， $e$ 光和 $o$ 光同向传播，但速度不同，产生一个附加相位差。



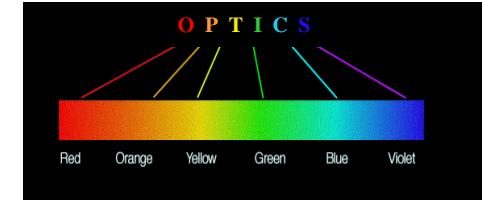


# 第五章 偏振

## (4) 光线在晶体主截面内斜入射



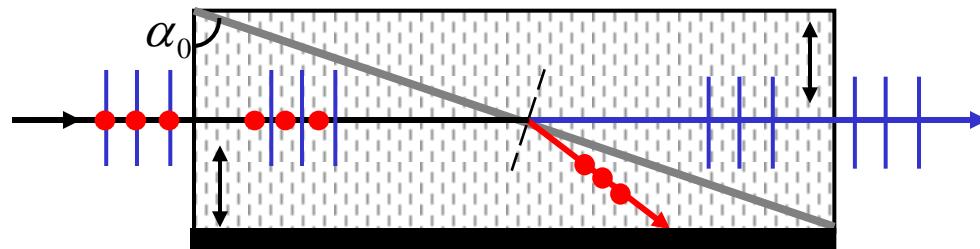
# 第五章 偏振



## 3.5 晶体光学器件

### (1) 晶体棱镜

尼科耳 (Nicol) 棱镜：

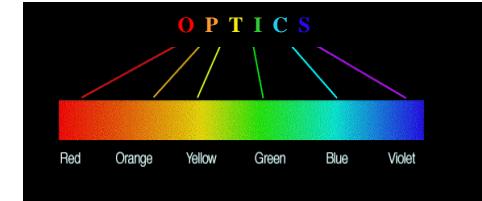


两块方解石直  
角棱镜组合。

光轴平行于两个端面， $\circ$ 光全反射， $e$ 光  
透过，不适用于高度会聚和发散光束。



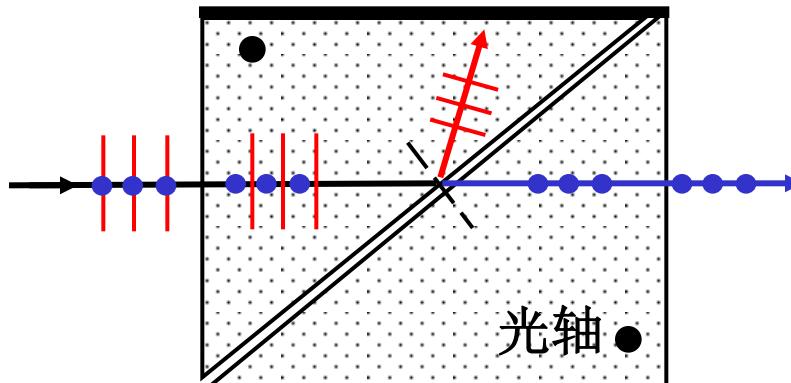
# 第五章 偏振

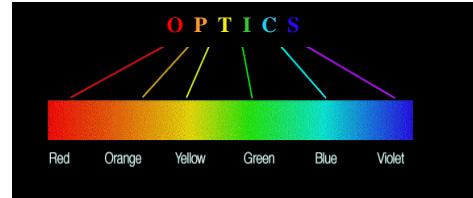


格兰 (Glan) 棱镜：

两块直角棱镜组成，方解石或石英。

光轴平行于端面和斜面， $\circ$ 光全反射，  
 $e$ 光透过。





# 第五章 偏振

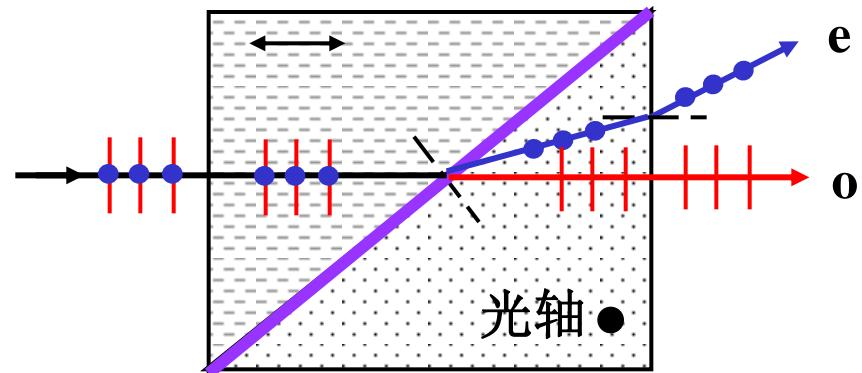
罗雄 (Rochon) 棱镜：

第一块光轴垂直于入射界面，无双折射；第二块光轴平行入射界面，折射定律适用，材料方解石或石英。

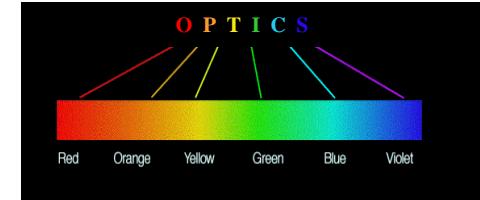
分界面：

e光， $n_o \rightarrow n_e$   
产生偏折；

o光， $n_o \rightarrow n_o$   
无偏折。



# 第五章 偏振



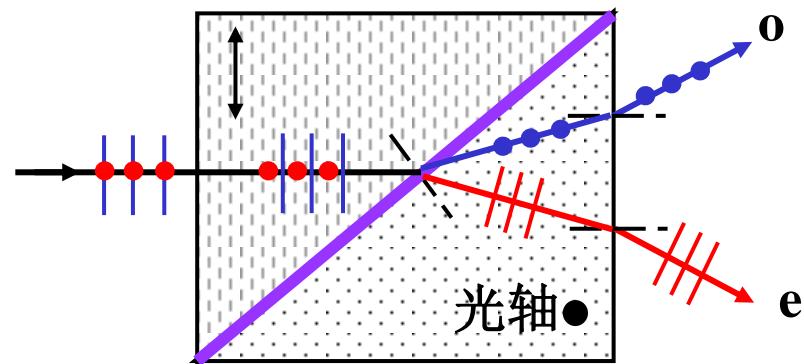
沃拉斯顿（Wollaston）棱镜：

第一块：光轴平行于入射界面且在入射面内； o光、 e光同向；

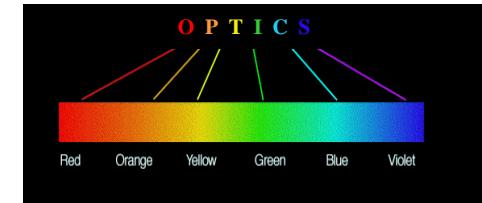
第二块：光轴平行入射界面并垂直于入射面， 折射定律适用。

e光：  $e \rightarrow o$ ,  $n_e \rightarrow n_o$   
向直角方向偏折。

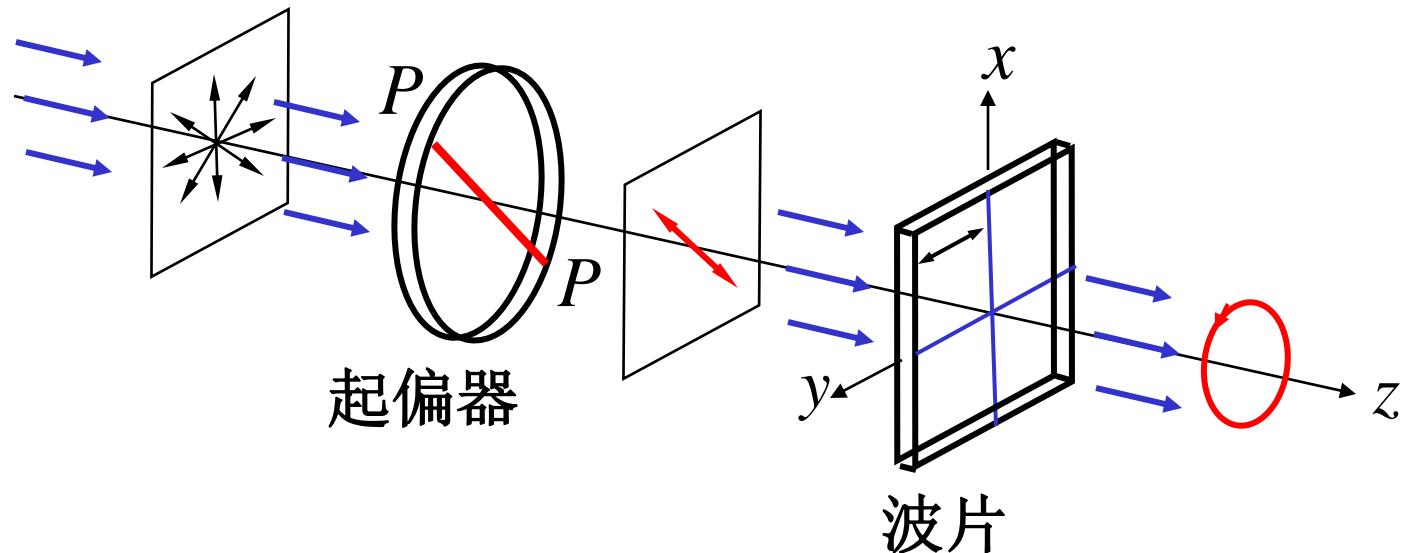
o光：  $o \rightarrow e$ ,  $n_o \rightarrow n_e$   
向顶角方向偏折。

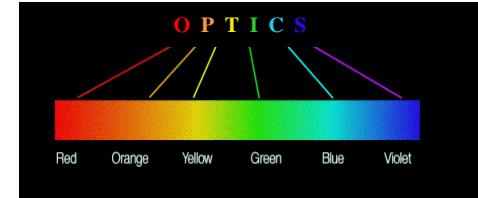


# 第五章 偏振



## (2) 波片





# 第五章 偏振

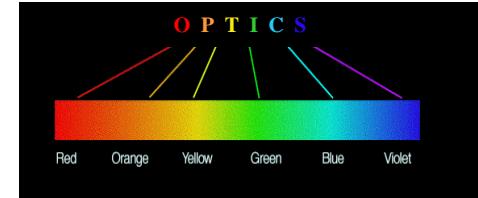
波片的特点：

- a. 平面平行薄片，晶体光轴与表面平行；
- b. 入射线偏振光在波片内分解为o光和e光；
- c. o光和e光传播速度不同，经波片后产生相位差。

$$\text{相位差: } \delta = k\Delta L = \frac{2\pi}{\lambda} |n_o - n_e| d$$

出射光一般为椭圆偏振光。





# 第五章 偏振

几种特殊的波片：

a.  $\lambda/4$  波片

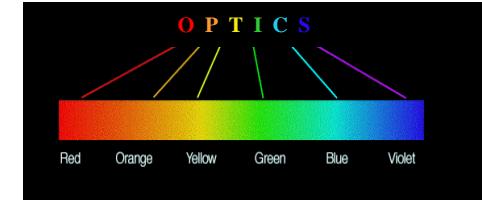
产生光程差  $\Delta L = |n_o - n_e|d = \left(k + \frac{1}{4}\right)\lambda$

入射线偏振光矢量与波片光轴成 $45^0$ 时，  
通过 $\lambda/4$ 波片后得到圆偏振光。

$\lambda/4$ 波片厚度： $d = \left(k + \frac{1}{4}\right) \frac{\lambda}{|n_o - n_e|}$



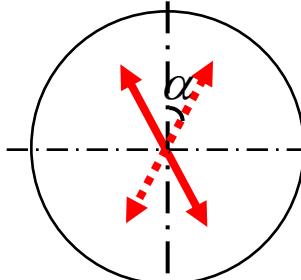
# 第五章 偏振



## b. 半波片 ( $\lambda/2$ 波片)

产生光程差  $\Delta L = |n_o - n_e|d = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$

光轴

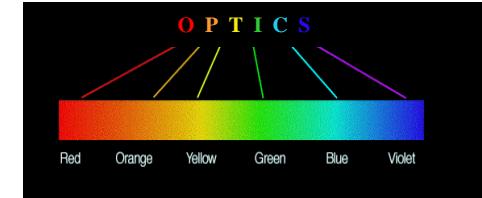


圆偏振光通过半波片后仍为圆偏振光，但旋向改变；

线偏振光通过半波片后偏振态不变，但光矢量方向改变。

$$\lambda/2\text{波片厚度: } d = \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{|n_o - n_e|}$$





# 第五章 偏振

## c. 全波片 ( $\lambda$ 波片)

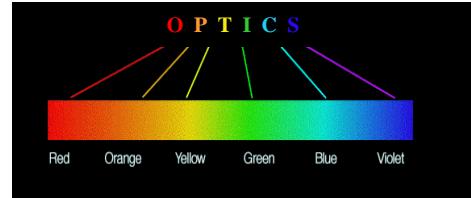
产生光程差  $\Delta L = |n_o - n_e|d = k\lambda$

通过全波片的光，其偏振状态和方向不变。

全波片厚度:  $d = k\lambda / |n_o - n_e|$

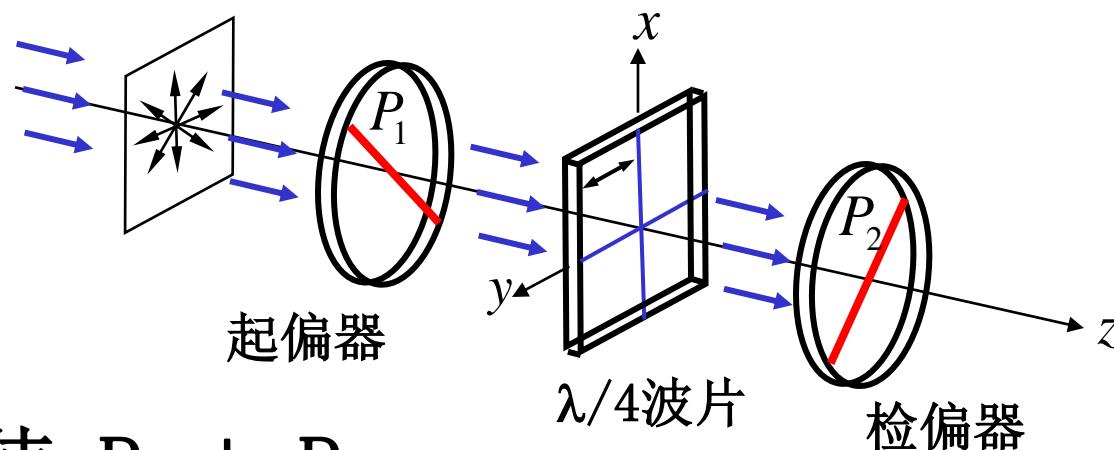
所有波片都只针对某一个特定波长而言，波长改变，这些波片不再是原来的 $1/4$ 波片， $1/2$ 波片或全波片。





# 第五章 偏振

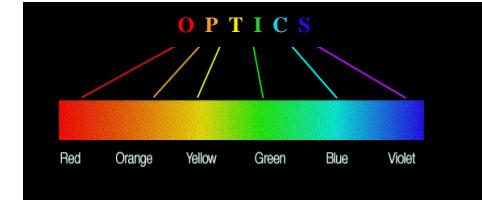
## 3.6 圆偏振光、椭圆偏振光的获得和检验 (1) 圆偏振光的产生



- a. 使  $P_1 \perp P_2$ ;
- b. 线偏振光入射, 转动  $\lambda/4$  波片消光;
- c. 转动  $P_1 45^\circ$ 。



# 第五章 偏振



(2) 区分圆偏振光与自然光

➤ 圆偏振光检验

圆偏振光 +  $\lambda/4$  波片 → 线偏振光

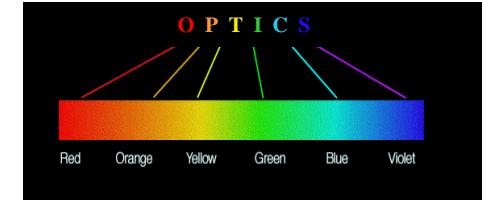
+ 转动偏振片 → 消光

➤ 自然光检测

经上述步骤不能消光。



# 第五章 偏振



## (3) 区分椭圆偏振光与部分偏振光

### ➤ 椭圆偏振光检验

使长短轴与 $\lambda/4$ 波片光轴一致  
→正椭圆偏振光

+  $\lambda/4$ 波片

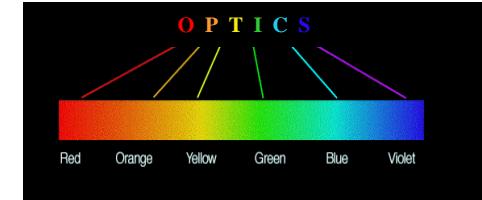
→ 线偏振光 + 转动偏振片 → 消光

### ➤ 部分偏振光检验

经上述步骤不能消光。

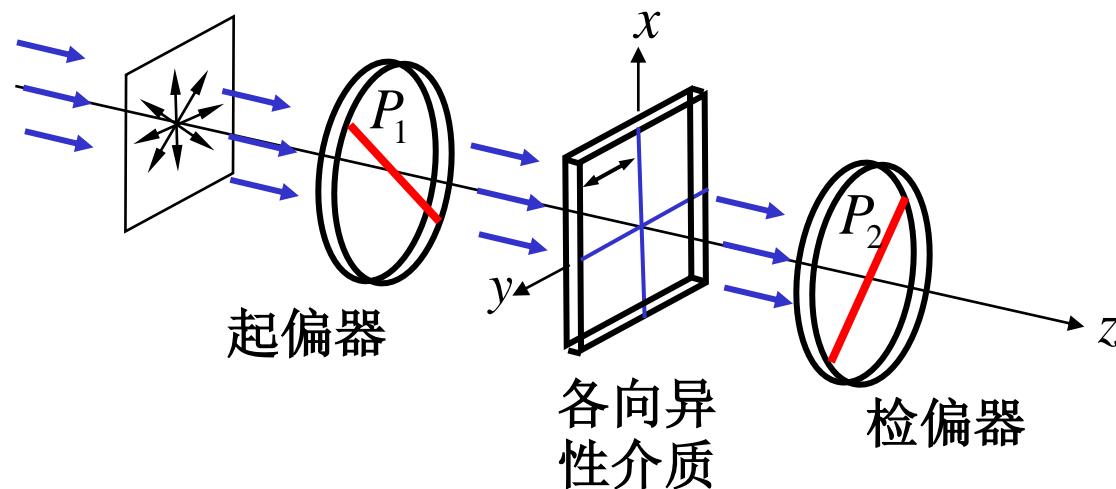


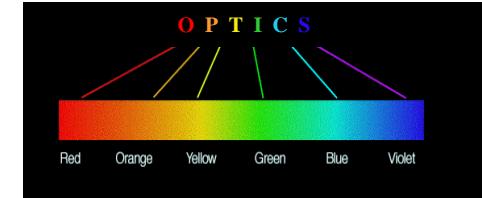
# 第五章 偏振



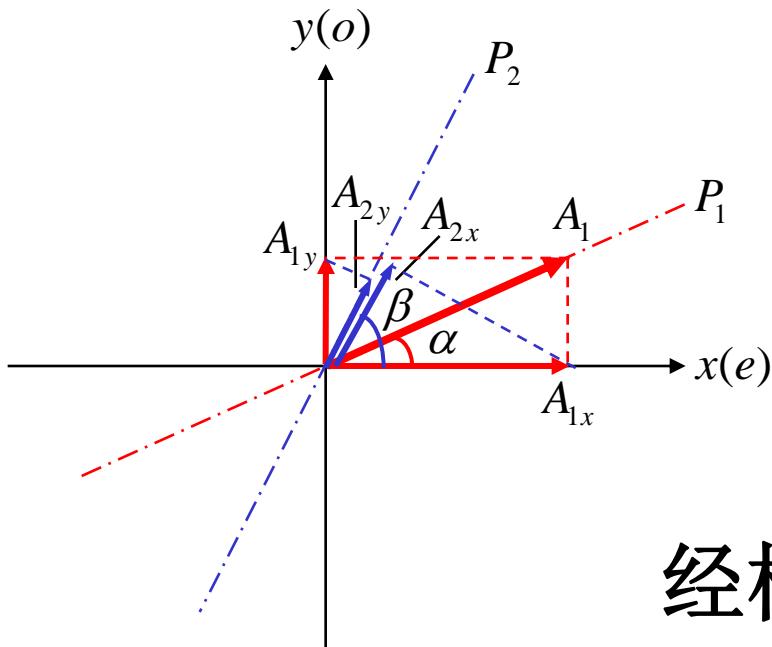
## 3.7 偏振光的干涉

### (1) 平行偏振光干涉





# 第五章 偏振



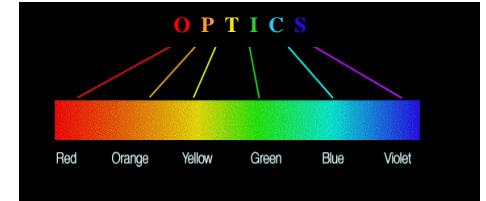
振动分量  $A_{2x}$  和  $A_{2y}$  满足相干叠加的三个必要条件。

经检偏器  $P_2$  的输出光强：

$$\frac{I_2}{I_1} = \cos^2(\alpha - \beta) - \sin 2\alpha \cdot \sin 2\beta \cdot \sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda_0} |n_o - n_e| d\right)$$



# 第五章 偏振



- 第一项：与晶体参数无关，它是在无晶体条件下由马吕斯定律决定的背景光。

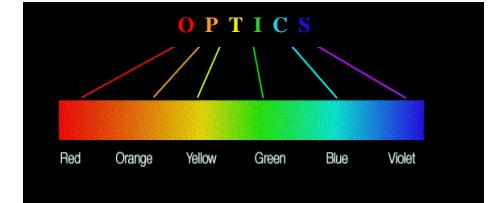
- 第二项：与相位差有关的干涉项

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} |n_o - n_e| d$$

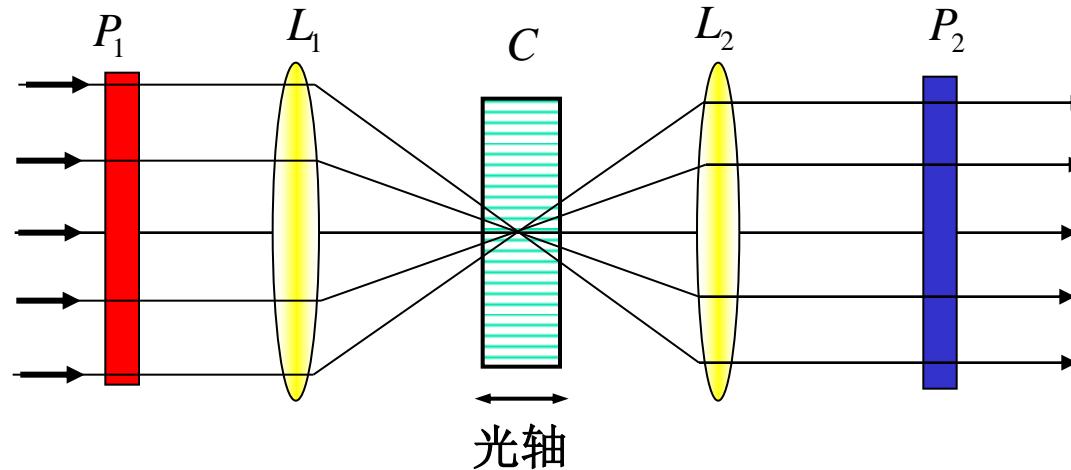
- $P_1$ 和 $P_2$ 正交并与晶体光轴夹角 $45^0$ ，背景光消失，条纹对比度最好；
- $P_1$ 和 $P_2$ 平行并与光轴夹角 $45^0$ ，条纹清晰，干涉色互补。



# 第五章 偏振



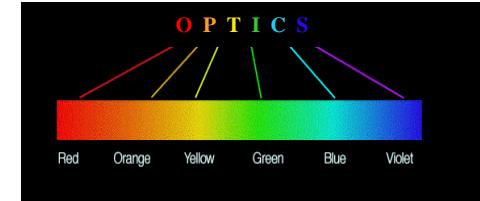
## (2) 会聚偏振光干涉



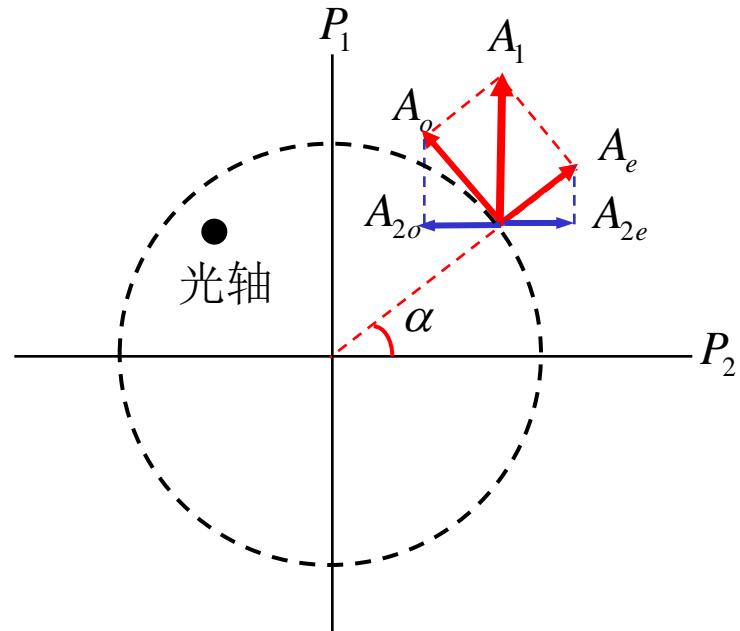
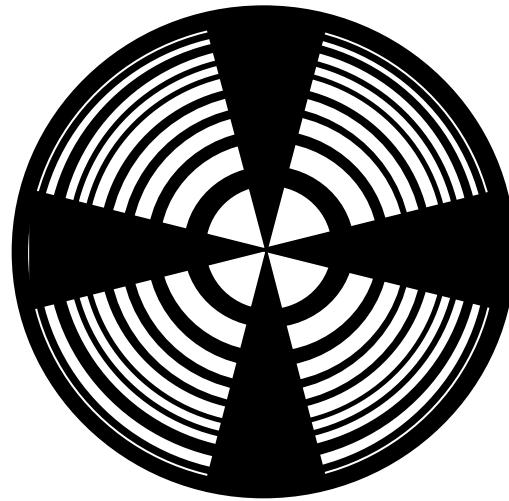
晶体厚度均匀，其光轴与表面正交。



# 第五章 偏振



$$P_1 \perp P_2$$



$$\text{透射光强: } I_2 = I_1 \sin^2 2\alpha \cdot \sin^2 \frac{\delta(\theta)}{2}$$

$P_1 // P_2$  干涉图样互补，暗十字 → 亮十字

