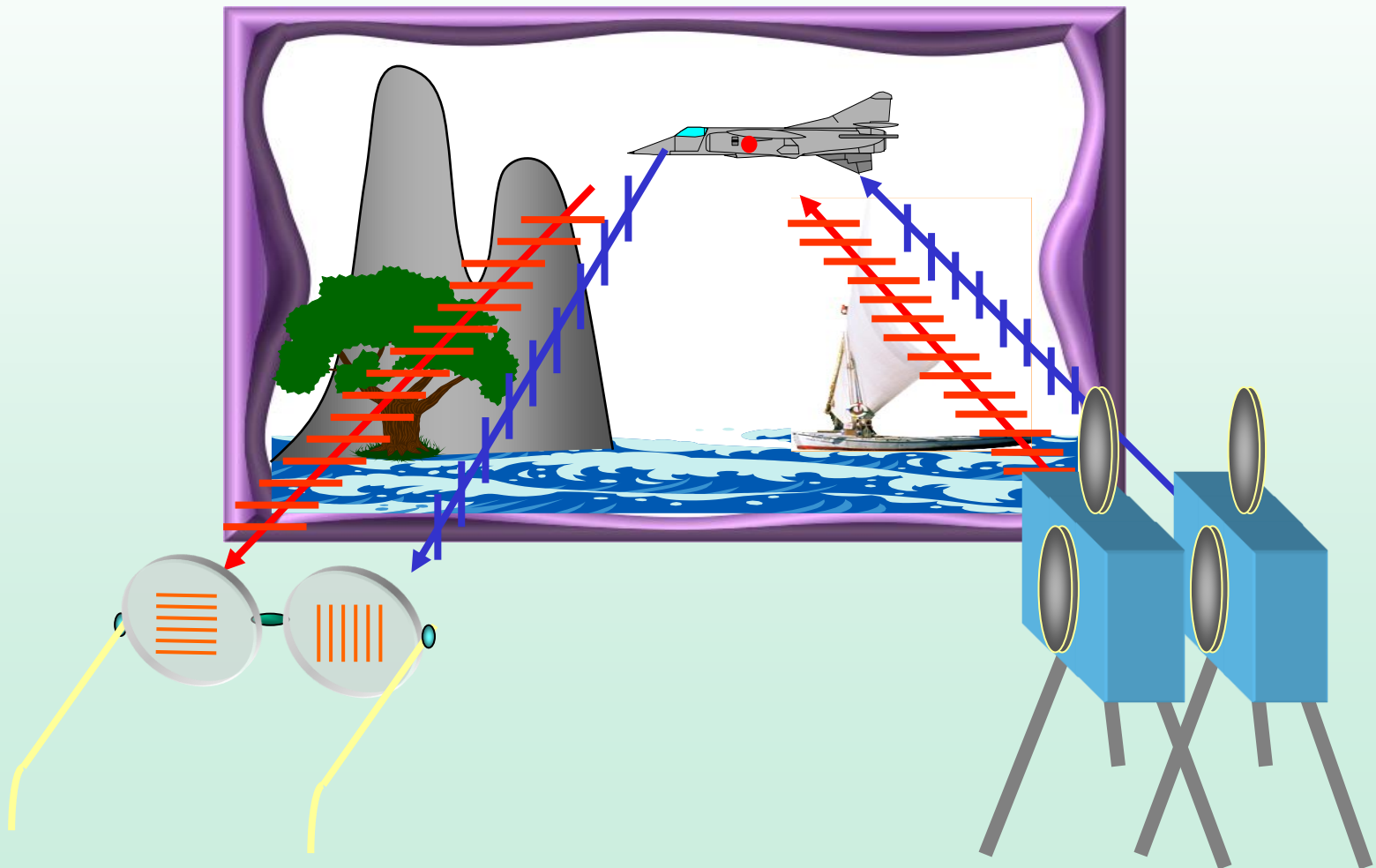
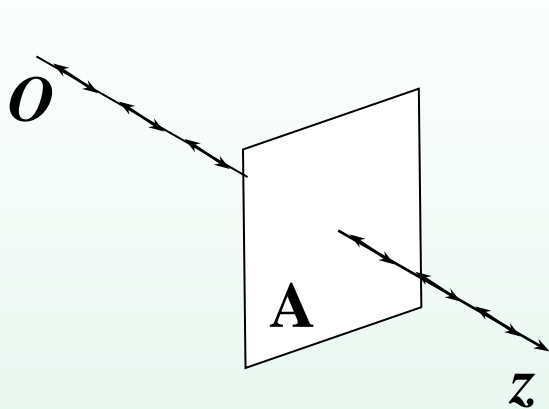


# 光的偏振 (polarization of light)

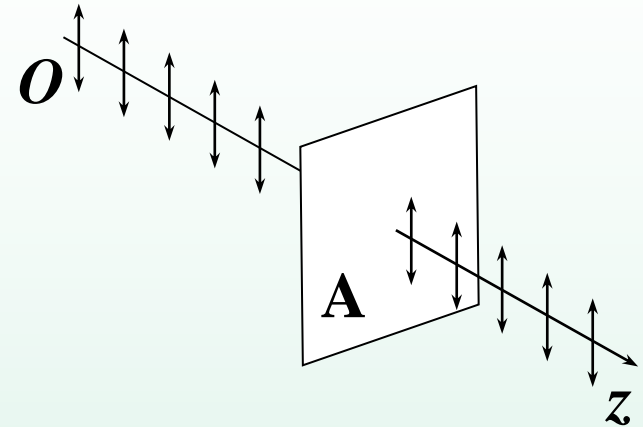


## 6.9 光的偏振性

### (The polarization of light)



纵波的光矢量 $E$ 在垂直于传播方向的平面A内的分布是均匀的。



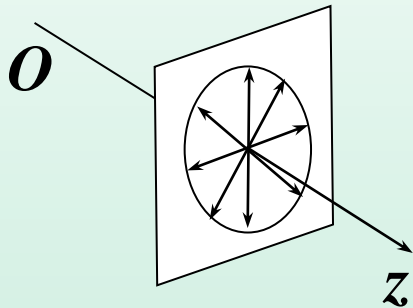
横波的光矢量 $E$ 在垂直于传播方向的平面A内的分布是不均匀的,称为光的偏振。

光的偏振性是判断光波是横波还是纵波的重要依据。

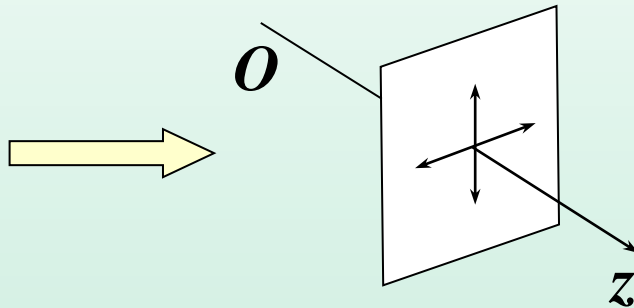
## 6.9.1 自然光 线偏振光 部分偏振光(natural light , linearly polarized light and partial polarized light)

### 1.自然光(natural light)

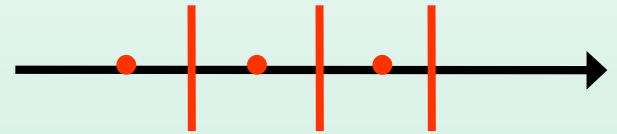
光矢量 $E$ 在垂直于传播方向的平面内可以取任何方向,且各个方向具有相同的平均值,即分布是均匀的,这样的光称为自然光。



自然光



自然光的分解

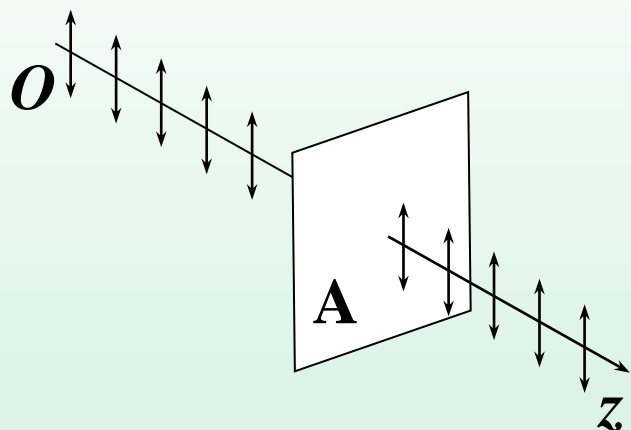


自然光的图示法

普通光源发出的光就是自然光。

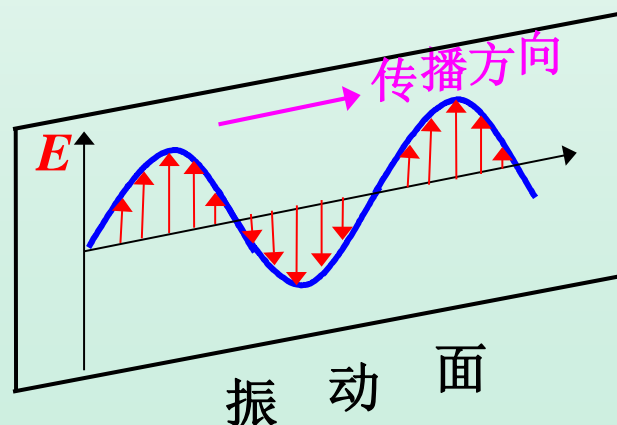
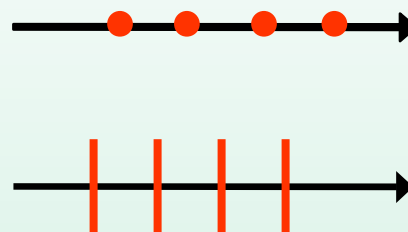
## 2. 线偏振光 (linearly polarized light) (又叫平面偏振光)

如果光矢量 $E$ 只沿一个确定的方向振动，这种光称为线偏振光，又称为平面偏振光。



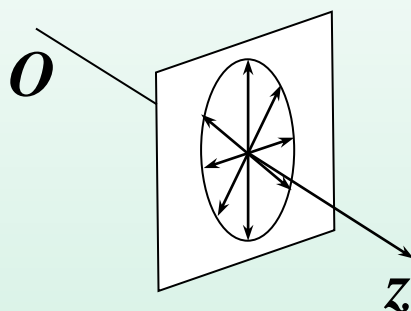
**振动平面:**

光矢量 $E$ 与光传播方向所决定的平面。

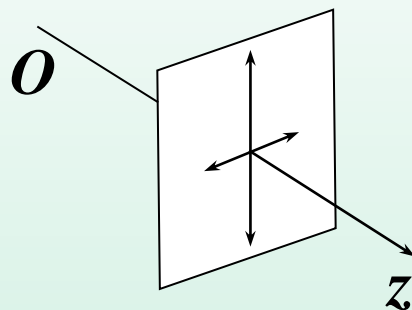


### 3.部分偏振光(partial polarized light)

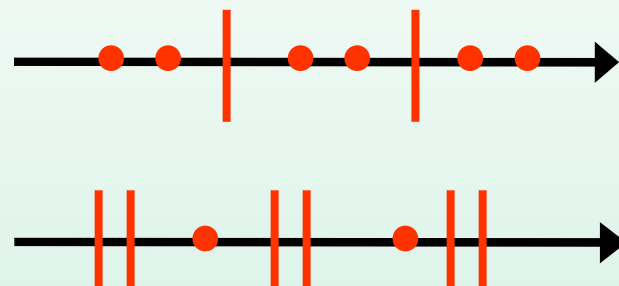
如果光矢量 $E$ 在垂直于传播方向的平面上可以取任何方向，但在不同方向上，其振幅不同，在某一方向上的光振动较强，而在与之垂直方向上的光振动较弱，这种光称为部分偏振光。



部分偏振光



部分偏振光的分解

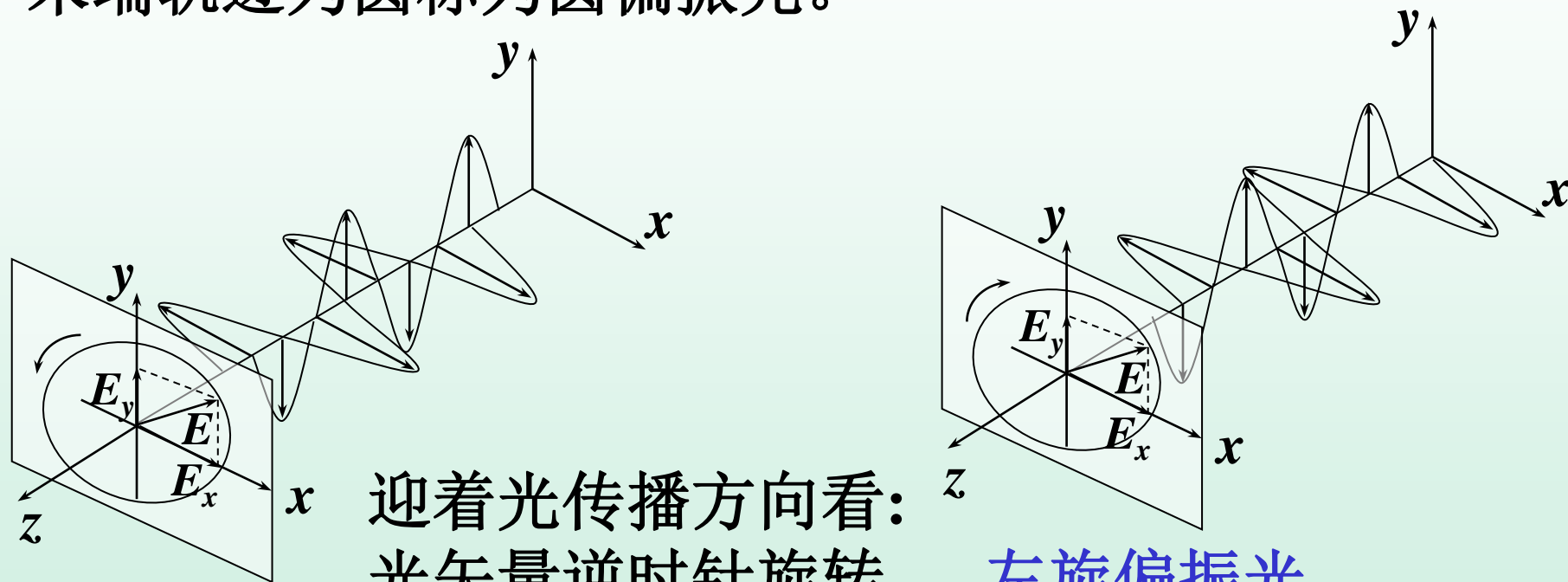


图示法

部分偏振光可以看成是自然光和线偏振光的混合。

## 4.椭圆和圆偏振光(elliptic and circular polarized light)

光矢量 $E$ 的大小和方向在垂直于传播方向的平面上有规律地变化, 光矢量末端轨迹为椭圆称为椭圆偏振光; 末端轨迹为圆称为圆偏振光。

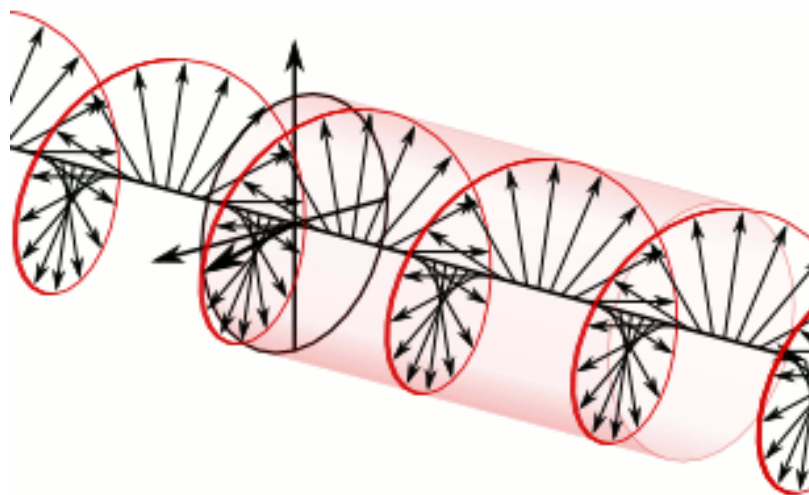


迎着光传播方向看:  
光矢量逆时针旋转 — 左旋偏振光

(left-handed polarized light)

光矢量顺时针旋转 — 右旋偏振光

(right-handed polarized light)

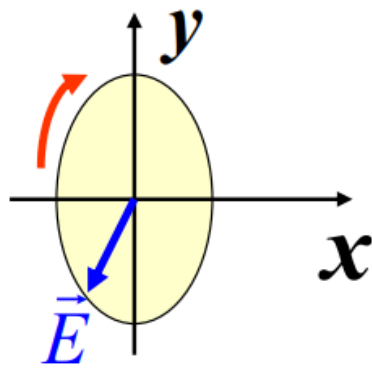


光矢量 $E$ 在沿光传播方向的前进的同时，还绕着传播方向均匀的旋转

如果光矢量的大小不断发生变化，这种光称为椭圆偏振光

如果光矢量的大小保持不变，这种光称为圆偏振光

光矢量顶点的轨迹在垂直传播方向平面内的投影椭圆



光矢量沿逆时针方向旋转的称为左旋偏振光

沿顺时针的轨迹方向旋转的称为右旋偏振光

可分解为两个互相垂直的、有固定相位差的两个光振动



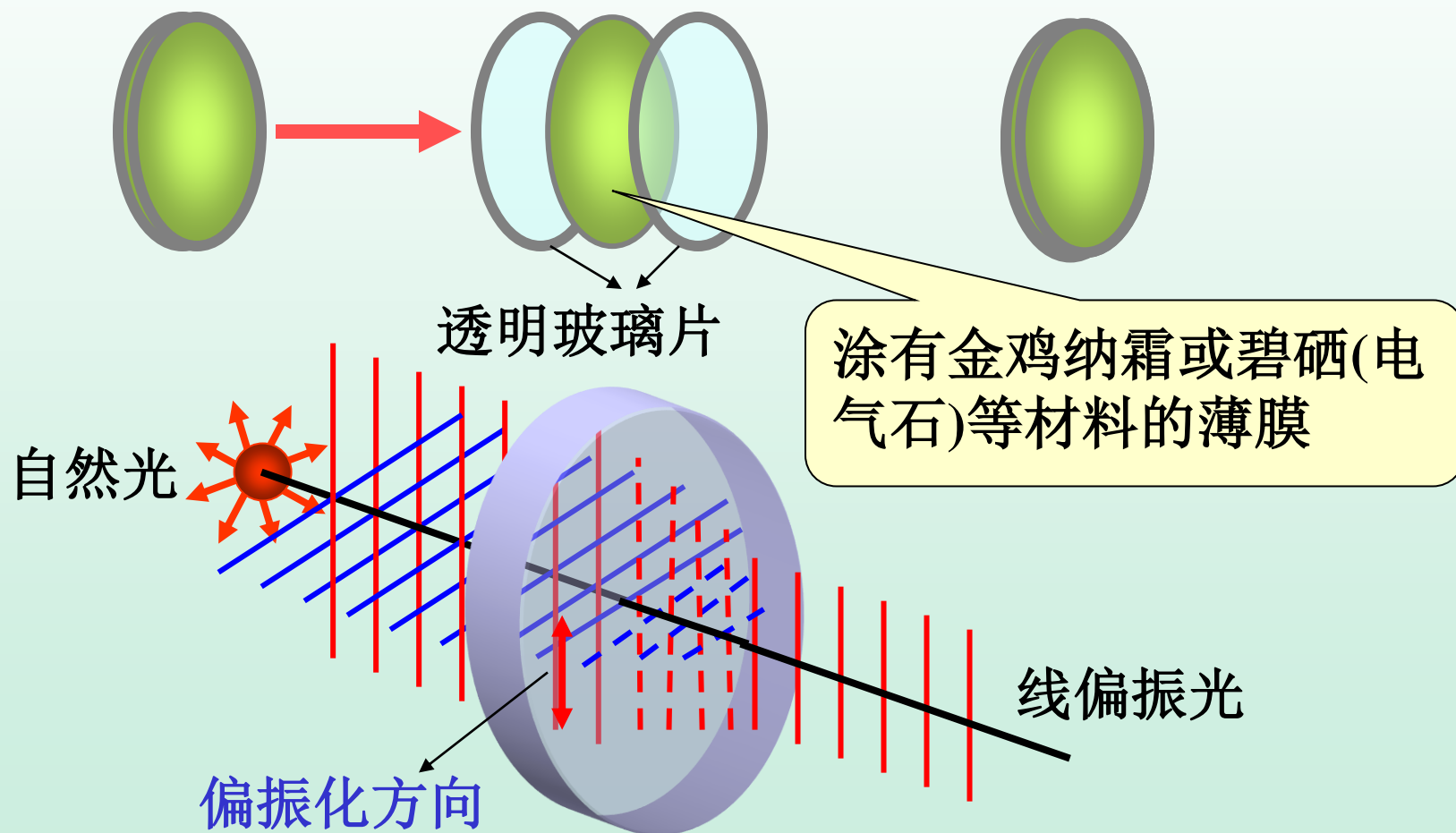
## 6.9.2 起偏 检偏 马吕斯定律 (polarizing, analyzing and Malus law)



光的起偏.swf

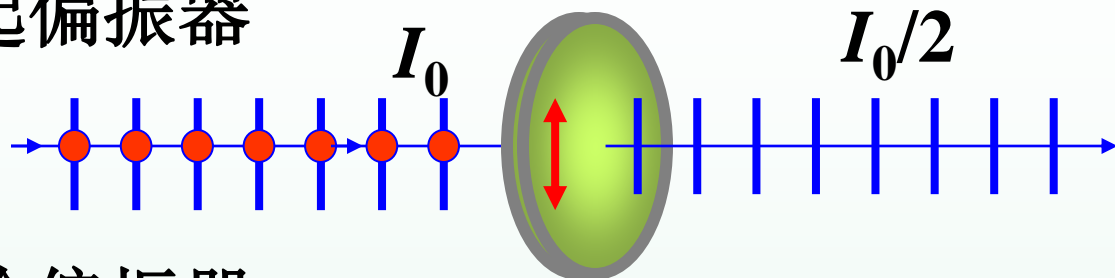
### 1. 偏振片(polarizing plate), 起偏, 检偏

1) 偏振片: 只允许某一个方向的振动透过的光学元件



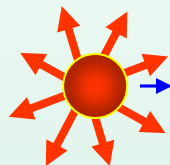
## 2) 偏振片的用途

### (a) 作起偏振器

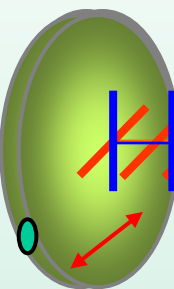
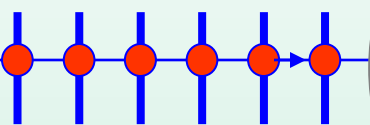


### (b) 作检偏振器

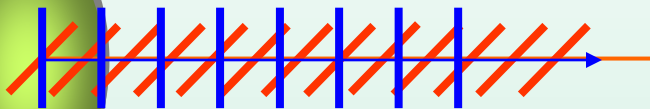
自然光



$I_0$



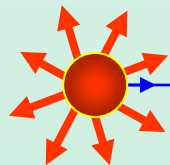
$I_0/2$



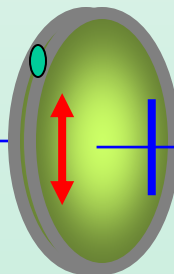
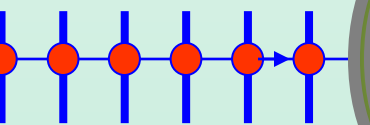
光强不变

偏振光

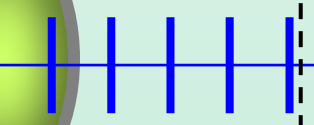
自然光



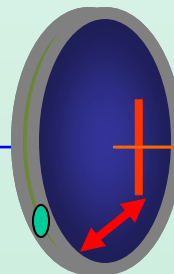
$I_0$



$I_0/2$

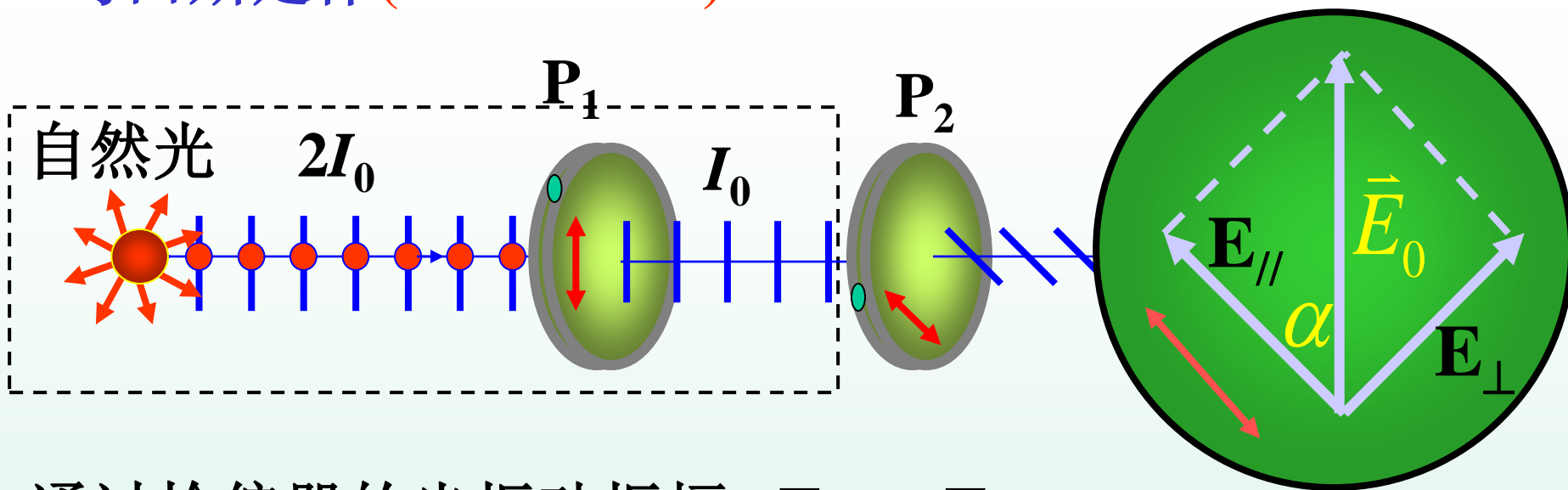


$I_0/2$



光强为零  
(消光)

## 2. 马吕斯定律(Malus Law)



通过检偏器的光振动振幅:  $E_{//} = E_0 \cos \alpha$

$$\frac{I}{I_0} = \frac{E_{//}^2}{E_0^2} = \cos^2 \alpha$$

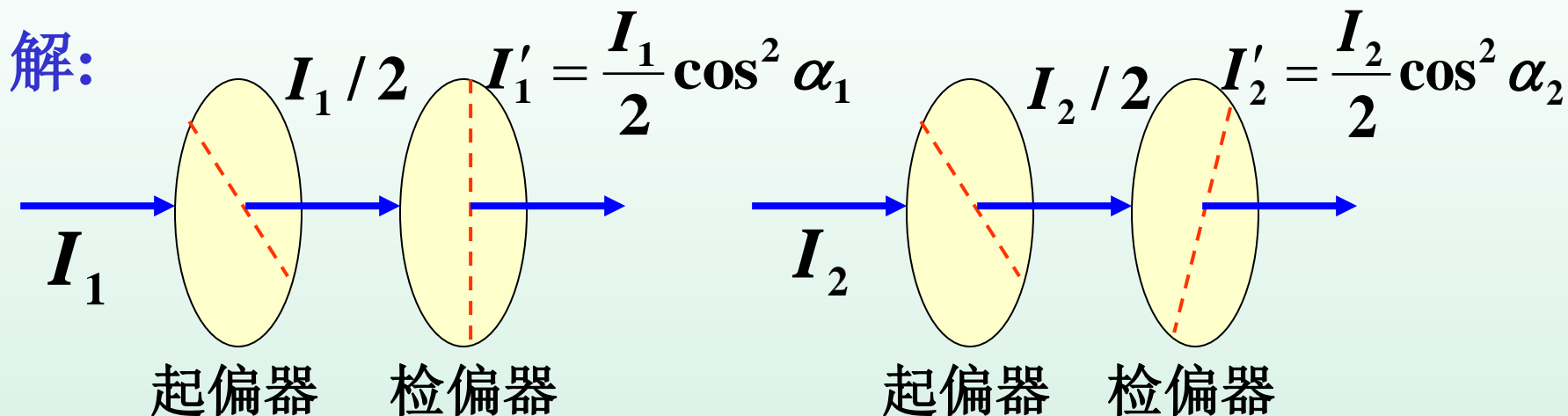
$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

马吕斯定律

讨论:  $\alpha = 0, P_1 // P_2, I = I_0$  透射光最强

$\alpha = 90^\circ, P_1 \perp P_2, I = 0$  无光透出(消光)

**例19:** 起偏器和检偏器,在它们的偏振化方向成 $\alpha_1=30^\circ$ 时,观测一束单色自然光。又在 $\alpha_2=60^\circ$ 时,观测另一束单色自然光,设两次所得的透射光强度相等,  
**求:** 两光束强度之比。



按题意  $I'_1 = I'_2$  于是  $\frac{I_1}{2} \cos^2 \alpha_1 = \frac{I_2}{2} \cos^2 \alpha_2$

$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{\cos^2 \alpha_2}{\cos^2 \alpha_1} = \frac{\cos^2 60^\circ}{\cos^2 30^\circ} = \frac{1}{3}$$

## 6.9.3 反射和折射起偏 布儒斯特定律

### (Polarizing of reflection and refraction, Brewster's law)

#### 1. 反射起偏(Polarizing of reflection)



反射光和折射光的偏振. swf

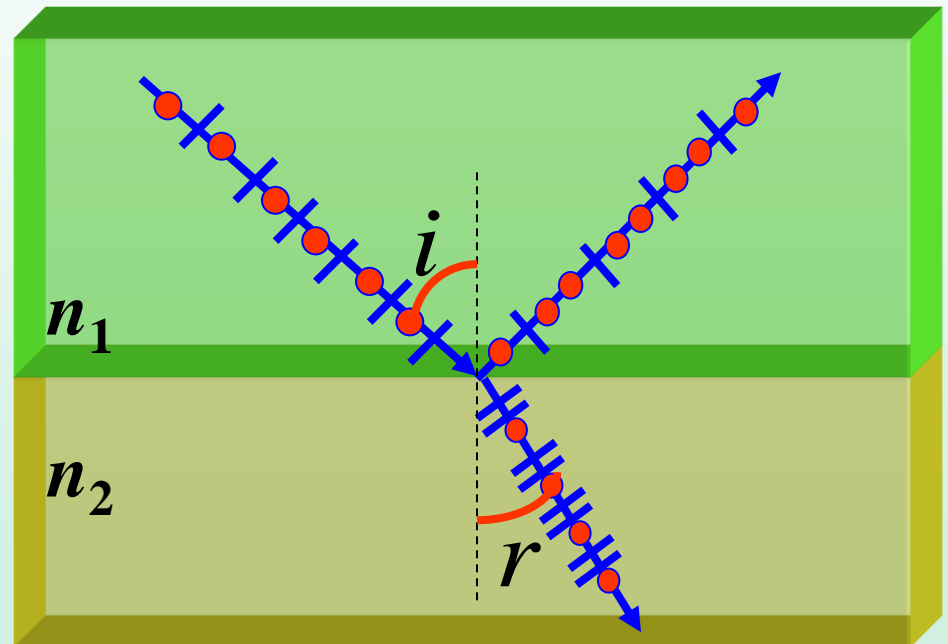
**入射平面**: 入射线与介质面法线组成的平面。

入射自然光:

{ 垂直振动  
  平行振动

反射光中: 垂直振动  
多于平行振动。

折射光中: 平行振动多于垂直振动。



## 2. 布儒斯特定律(Brewster's law)

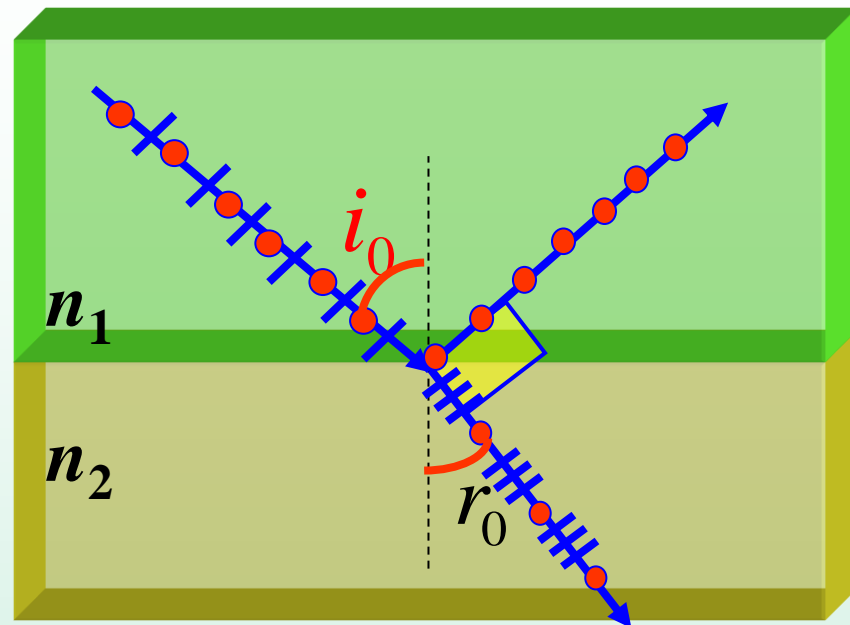
当入射角 $i = i_0$ 时

使之满足:  $\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$

1) 反射光为线偏振光,  
只有垂直振动;  
 $i_0$ 为起偏角(布儒斯特角)

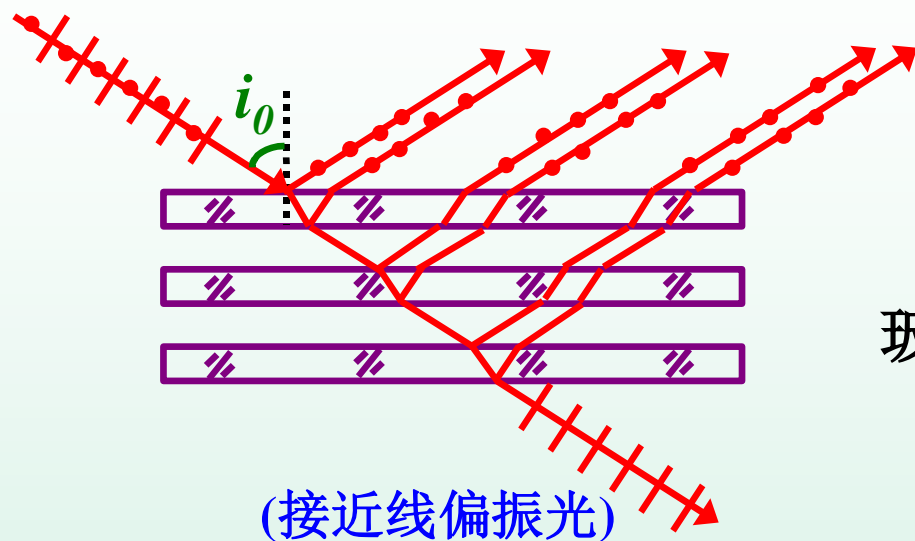
2) 折射光为部分偏振光,  
全部的平行振动和部分的垂直振动;

3) 反射光线与折射光线互相垂直。



$$i_0 + r_0 = 90^\circ$$

### 3. 折射起偏的方法(method of polarizing of refraction)



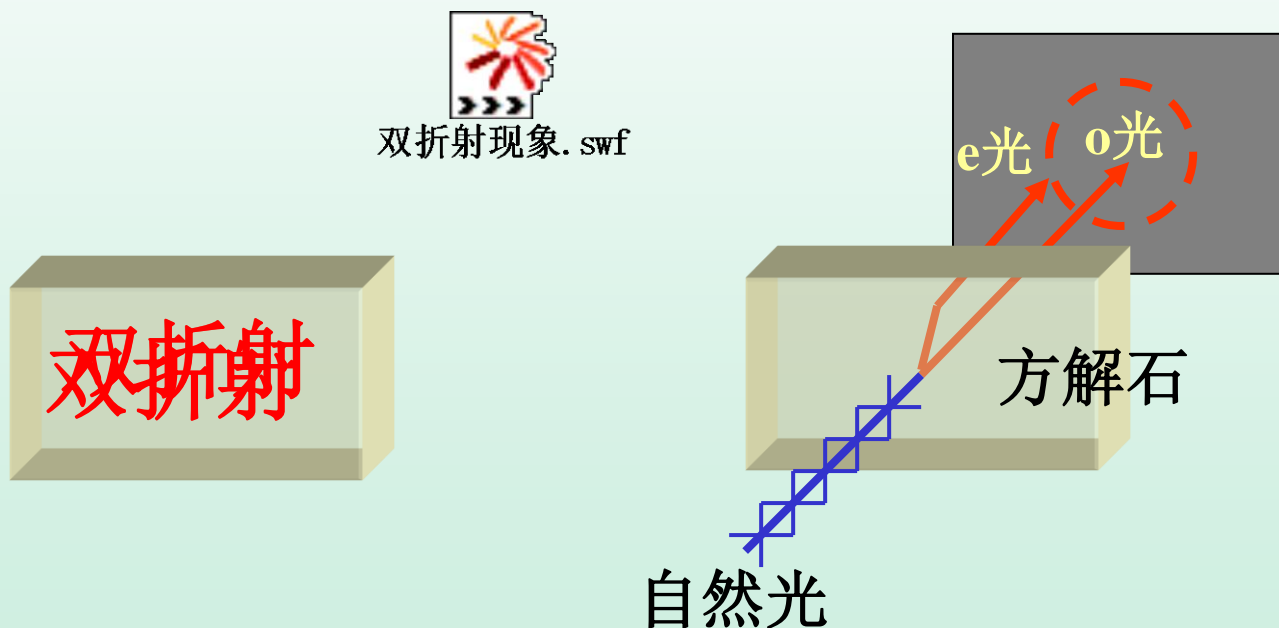
玻璃片堆.swf

玻璃片堆

## 6.9.4 双折射起偏(polarizing of double refraction of light)

### 1.双折射现象

双折射现象：一束光线通过折射后分为两束的现象





## 2. 寻常光和非常光(ordinary and extraordinary light)

**寻常光:** 折射光线遵守折射定律, 折射率为常数, 其折射光线总在入射面内, 简称 **o 光**。

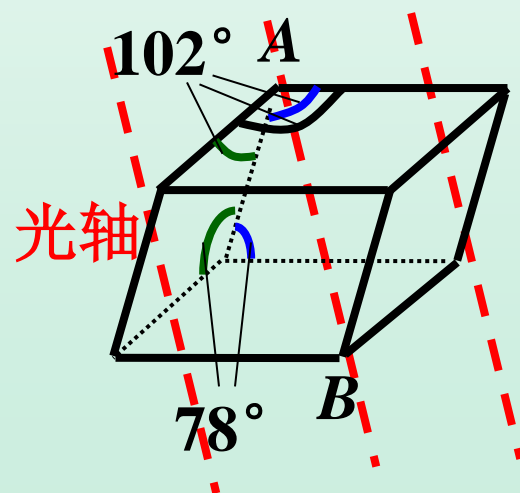
**非常光:** 折射光线不遵守折射定律, 折射率不为常数, 其折射线不一定在入射面内, 简称 **e 光**。

## 3. 光轴(optical axis) 主截面(principal section)

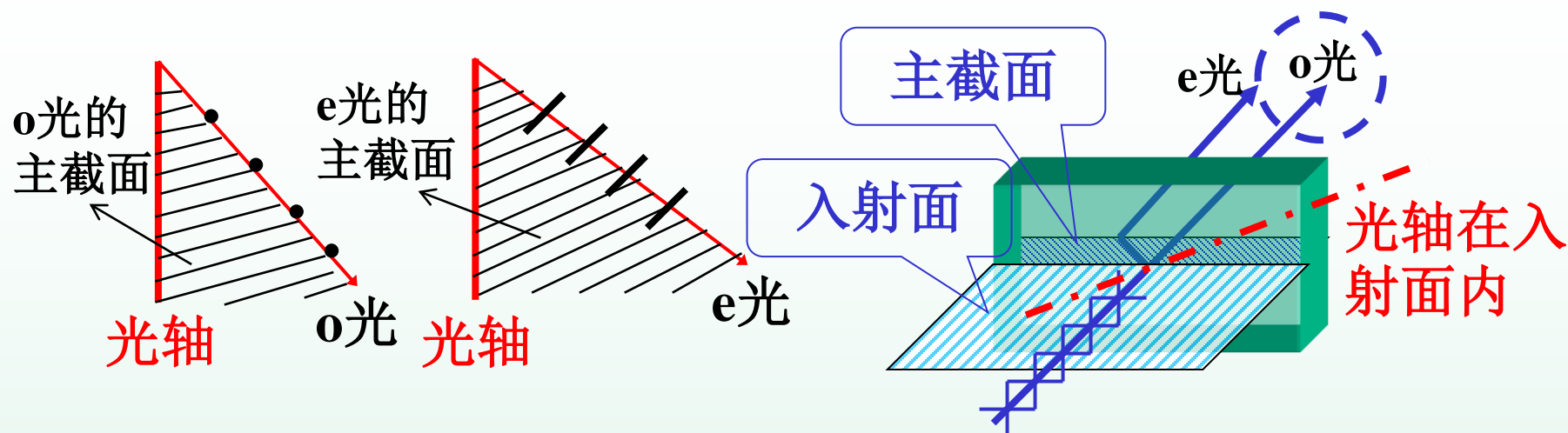
**光轴:** 当光在晶体内沿某个特殊方向传播时不发生双折射, 该方向称为晶体的光轴。例如方解石

**单轴晶体:** 只有一个光轴的晶体  
(如方解石、石英等)

**双轴晶体:** 有两个光轴的晶体  
(如云母、硫磺等)



**主截面:** 晶体中光的传播方向与晶体光轴构成的平面



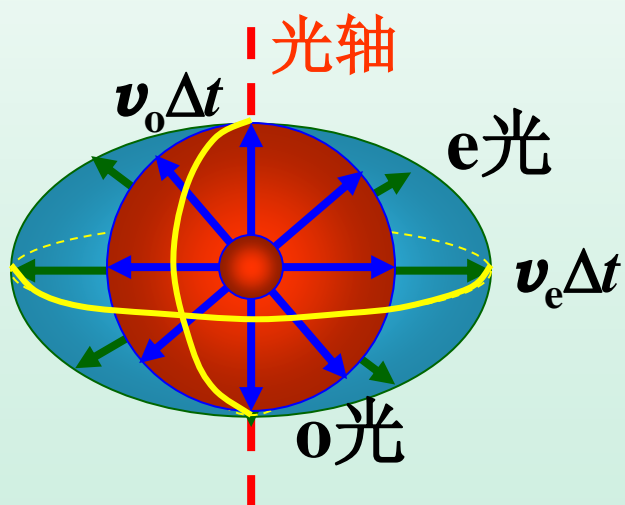
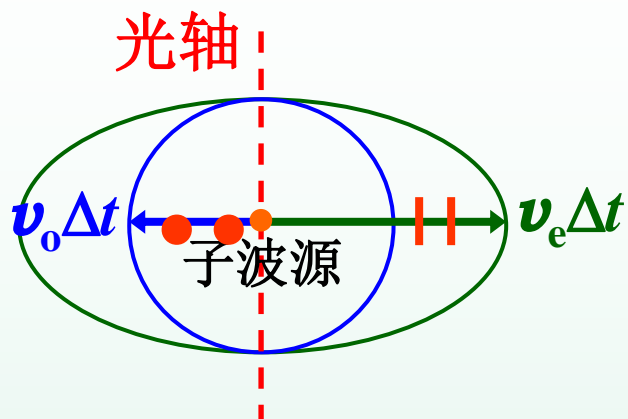
**实验表明:** 1) o光和e光都是线偏振光, 但光矢量的振动方向不同, o光的振动方向垂直于自己的主截面, 而e光的振动平行于自己的主截面。

2) 当光轴在入射面内时, o光与e光的主截面相重合, o光与e光的振动方向相互垂直。

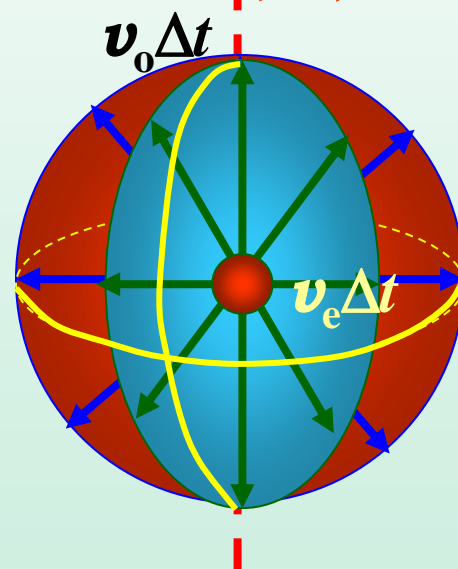
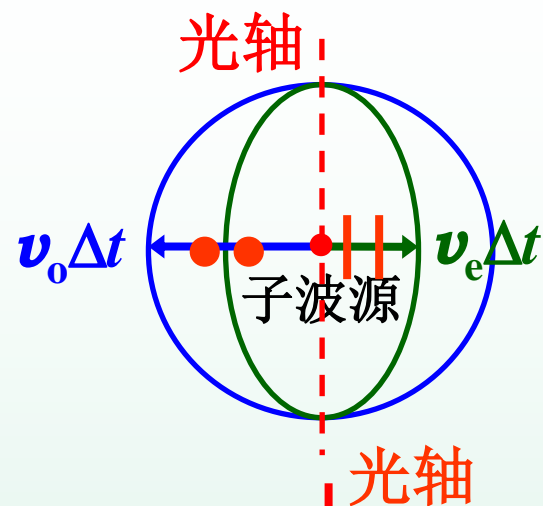
在一般情况下, o光与e光的振动方向并不完全垂直。

3) o光永远在入射面内, 而e光不一定, 只有光轴平行于入射面时, o光和e光都在入射面内。

## 4.光在单轴晶体中的波面



负晶体( $v_o < v_e$ )

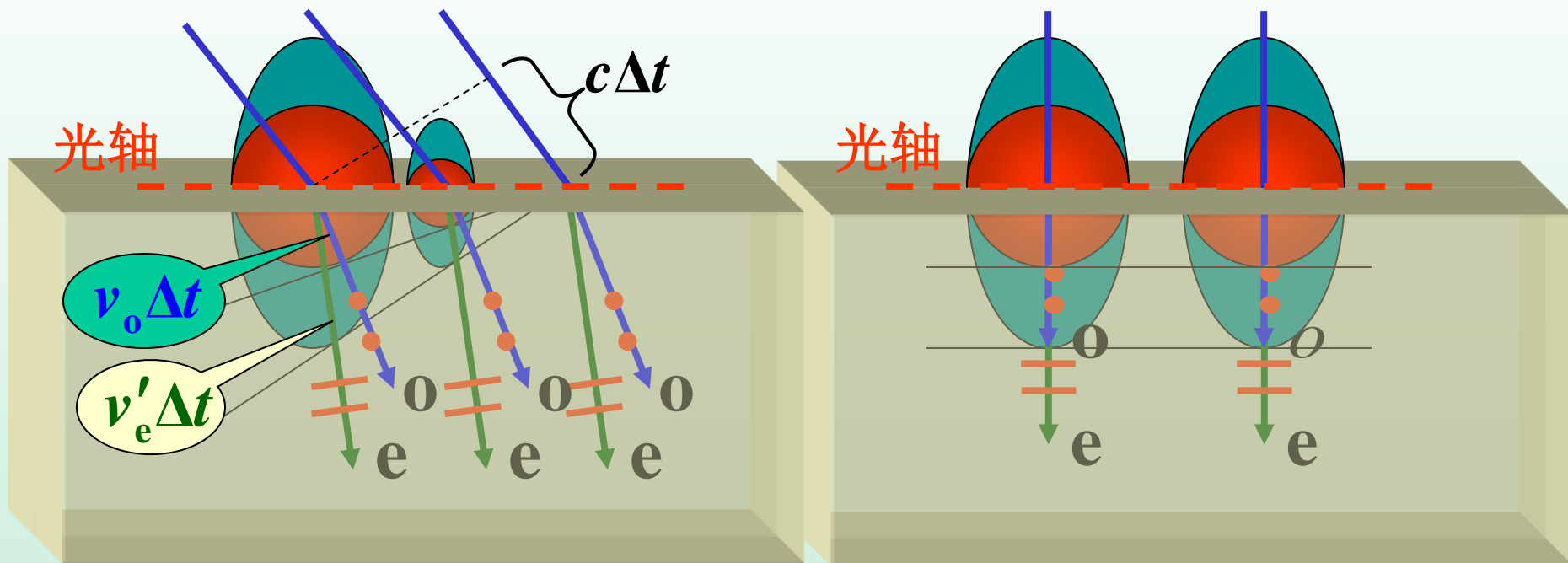


正晶体( $v_o > v_e$ )

## 5.光在单轴晶体中的传播方向

以方解石为例,用作图法(惠更斯原理)确定o光和e光在晶体内的传播方向

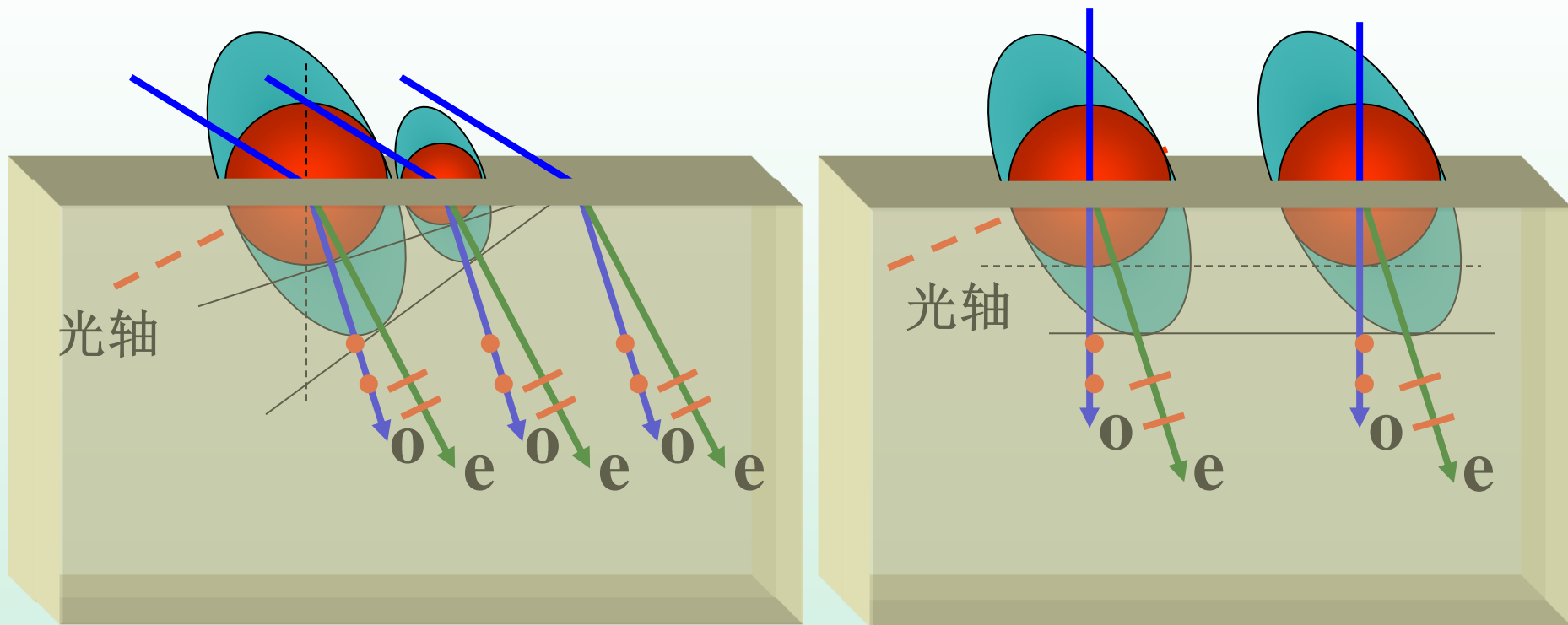
1)光轴平行晶体表面,且在入射面内,自然光入射



由光程相等,得:  $c\Delta t = n_o v_o \Delta t \therefore n_o = c/v_o$

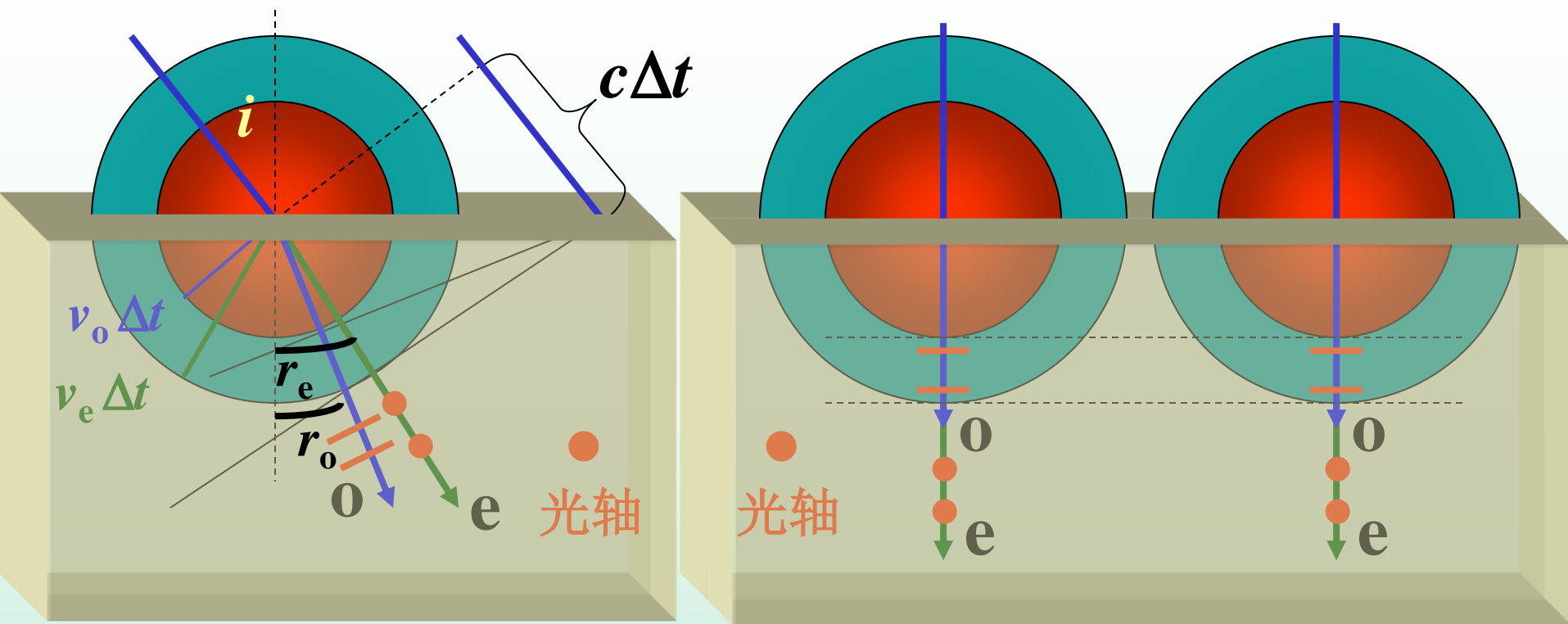
同理,得:  $c\Delta t = n'_e v'_e \Delta t \therefore n'_e = c/v'_e$

## 2) 光轴与晶体表面斜交, 且在入射面内, 自然光入射



惠更斯原理解释光的双折射现象. swf

### 3) 光轴平行晶体表面,且垂直于入射面,自然光入射



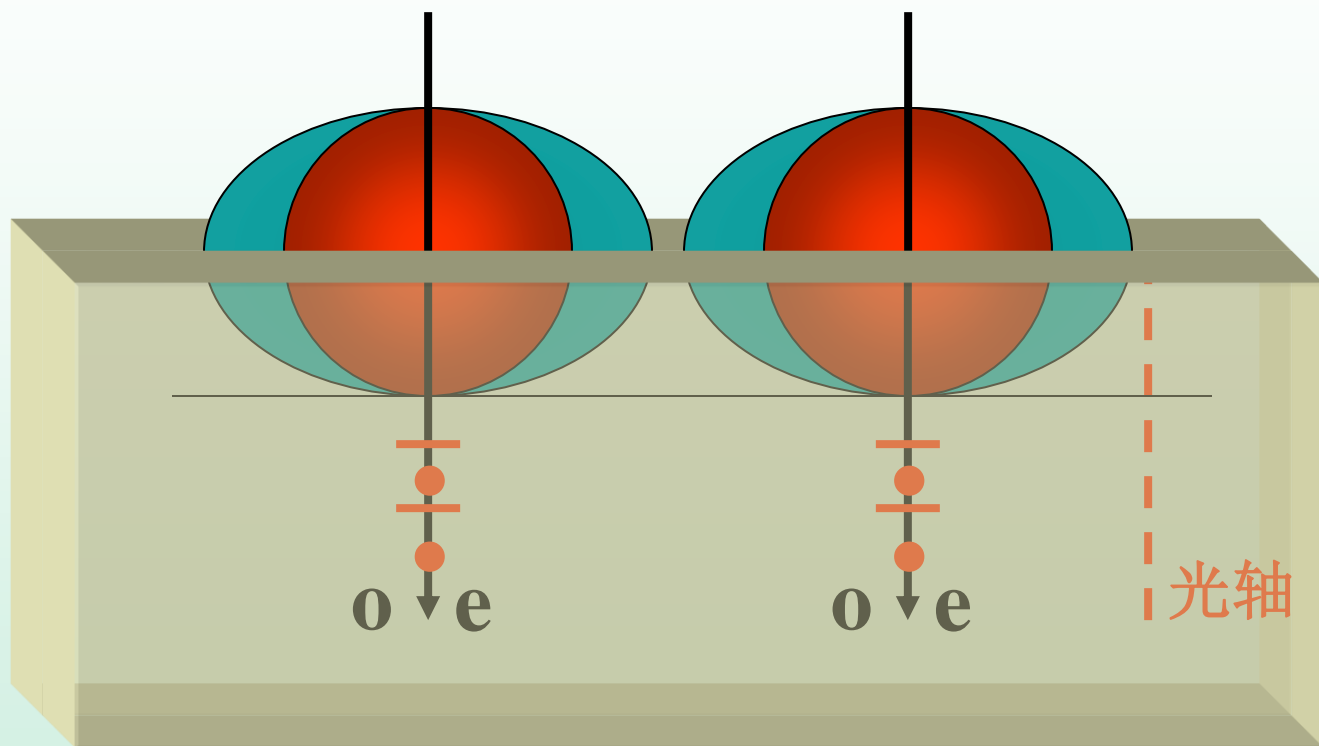
o光主折射率

$$\frac{\sin i}{\sin r_o} = \frac{c}{v_o} = n_o$$

e光主折射率

$$\frac{\sin i}{\sin r_e} = \frac{c}{v_e} = n_e$$

4) 光轴垂直于晶体表面, 且在入射面内, 自然光入射



无双折射现象

## 6.9.5 偏振棱镜 波片(polarized prism and wave plat)

双折射的应用:1)获得线偏光,  
2)改变入射光的偏振态

### 1.偏振棱镜起偏

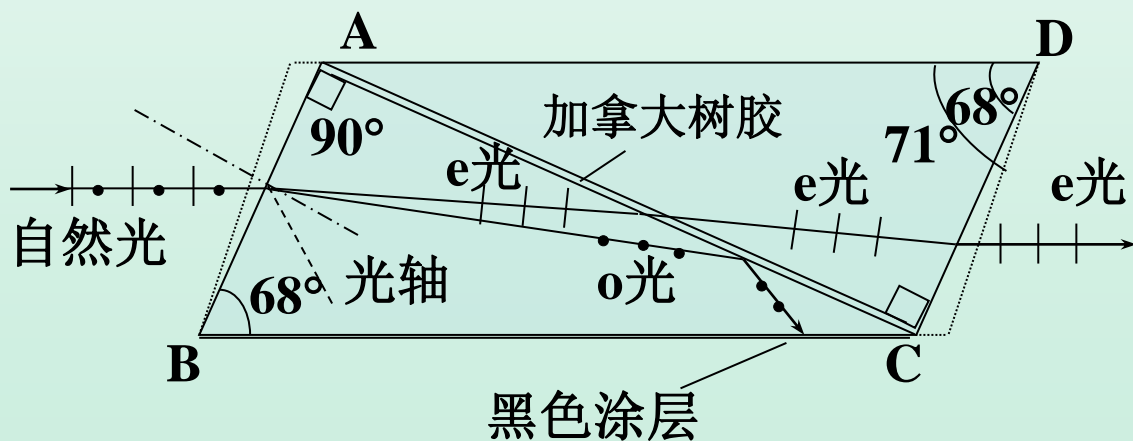
#### 1)尼科耳棱镜(Nicol prism)



尼科耳棱镜.swf

优点: 对可见光透明度高, 能得到较完善的线偏光

缺点: 入射光束与出射光束不在一条线上



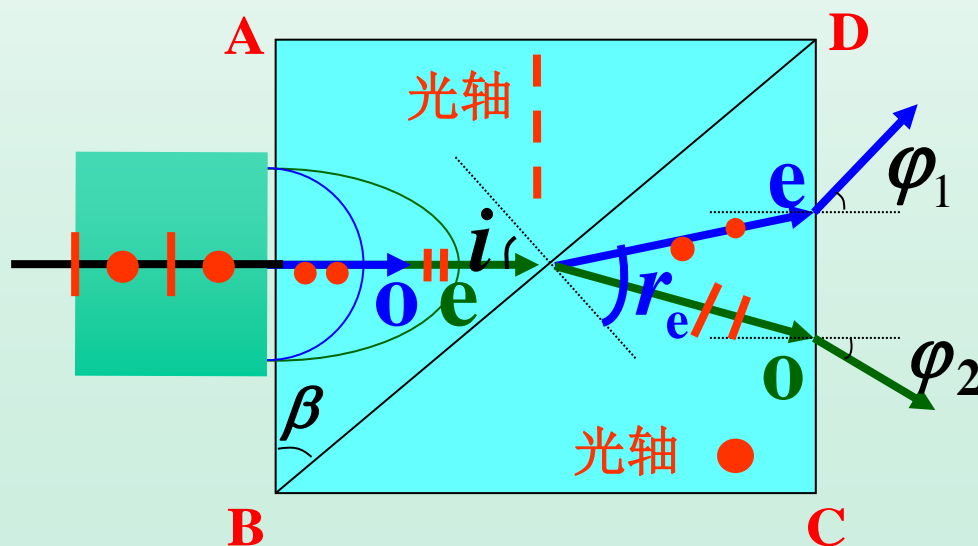


## 2)渥拉斯顿棱镜(Wollaston prism)

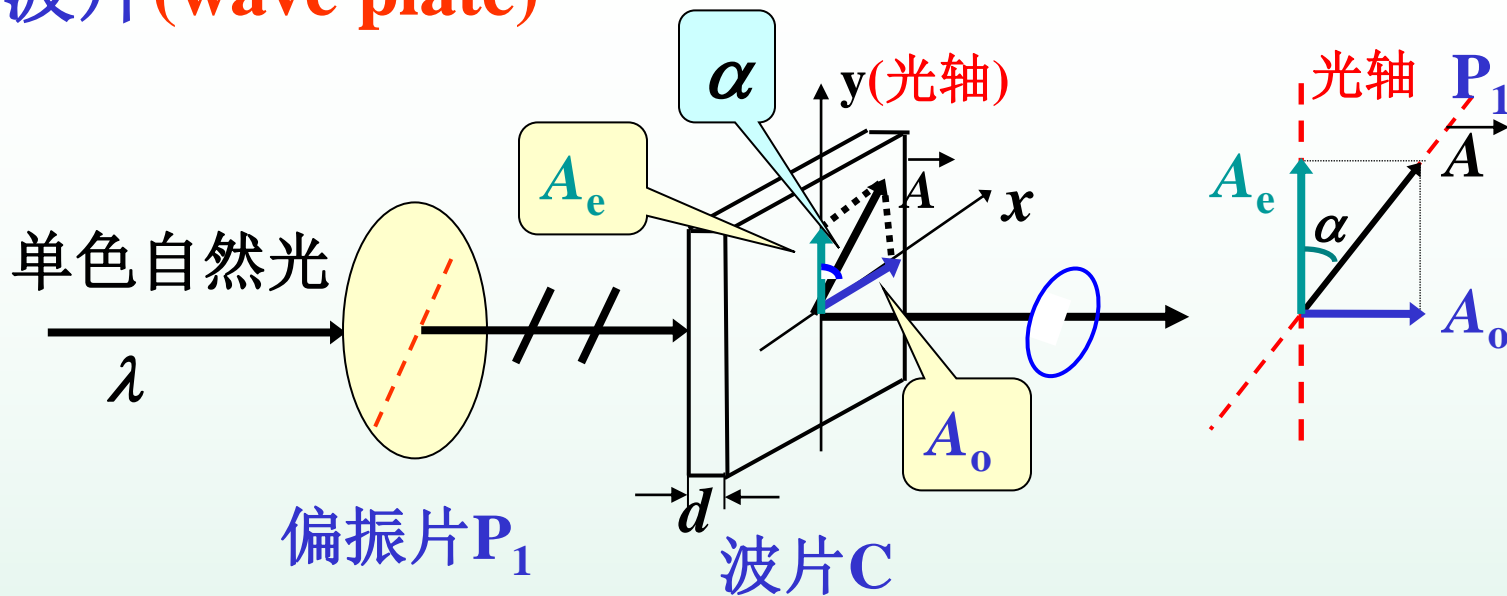
自然光垂直入射AB, 在ABD中, o光e光重合, 由于ABD中的光轴与BCD中的光轴相互垂直, o光从ABD进入BCD中将变为e光

$$\because \sin r_e / \sin i = n_o / n_e \quad (n_o > n_e)$$

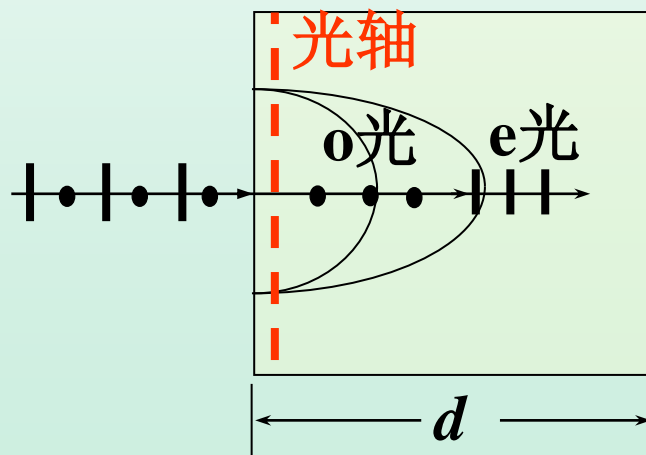
远离BD面的法线传播, 同理e光从ABD进入BCD中将变为o光, 靠近BD面的法线传播。



## 2.波片(wave plate)



出波片C时, o光和e光的振动:



$$E_o = A_o \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda_o} d\right)$$

$$E_e = A_e \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda_e} d\right)$$

所以 
$$\frac{E_o^2}{A_o^2} + \frac{E_e^2}{A_e^2} - 2 \frac{E_o E_e}{A_o A_e} \cos \Delta \varphi = \sin^2 \Delta \varphi$$

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) d$$

则 
$$\Delta \varphi = \begin{cases} 2k\pi, (2k+1)\pi & \text{合成为线偏振光} \\ (2k+1)\frac{\pi}{2} & \text{合成为正椭圆偏振光} \\ \text{其它值} & \text{合成为斜椭圆偏振光} \end{cases}$$

$$\Delta \varphi = (2k+1)\frac{\pi}{2}, \alpha = 45^\circ \quad \text{合成为圆偏振光}$$

$$k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

## 1) 1/4波片

能使从波片透射后的两束线偏振光(o光和e光)的相位差 $\Delta\varphi = (2k+1)\pi/2$ ，这样的波片称为1/4波片。

$$\because \Delta\varphi = 2\pi\delta / \lambda \quad \text{又} \because \delta = |n_o - n_e|d$$

$$d_{1/4} = (2k + 1) \frac{1}{|n_o - n_e|} \cdot \frac{\lambda}{4} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$$d_{\min} = \frac{1}{|n_o - n_e|} \cdot \frac{\lambda}{4}$$

**思考:** (1)线偏光通过1/4波片后, 出射光的偏振态和光强如何? (正椭圆或圆偏光, 光强不变)

(2)自然光通过1/4波片后, 出射光的偏振态和光强如何? (自然光, 光强不变)

(3)正椭圆或圆偏光通过1/4波片后, 又如何?

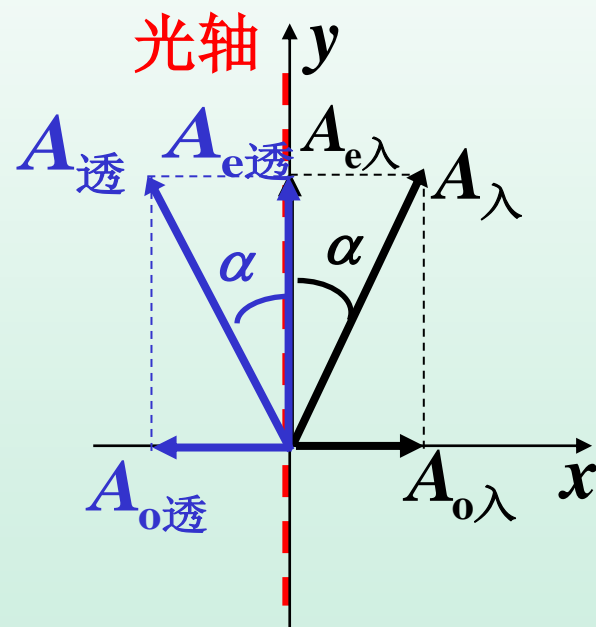
## 2) 1/2波片(半波片)

能使从波片透射后的两束线偏振光(o光和e光)的相位差 $\Delta\varphi = (2k+1)\pi$ ，这样的波片称为1/2波片。

$$d_{1/2} = (2k+1) \frac{1}{(n_o - n_e)} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$$d_{\min} = \frac{1}{|n_o - n_e|} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

线偏振光垂直入射到半波片上，透射光仍为线偏振光，但其光矢量向着光轴的方向旋转 $2\alpha$ 角，如右图



**思考：**右旋偏振光通过半波片后，旋向是否变化？

### 3) 全波片

$$\Delta\varphi = 2k\pi, \delta = k\lambda$$

$$d = \frac{k\lambda}{|n_o - n_e|} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

**注意:** 几分之几波片是对某一波长  $\lambda$  而言的

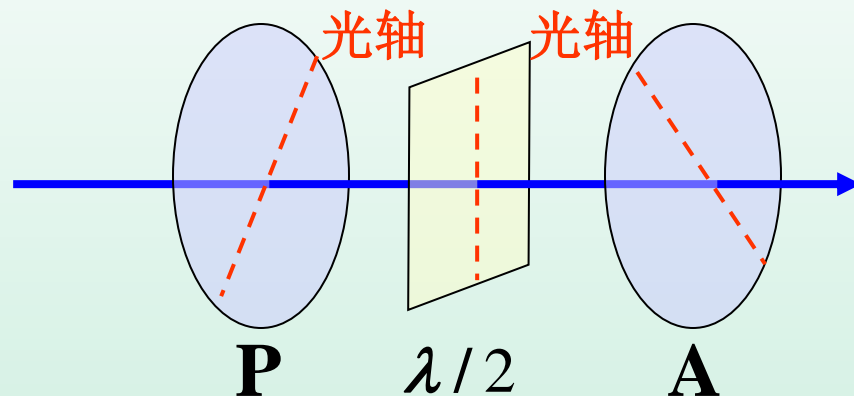
例: 某波片对  $\lambda$  为  $1/4$  波片, 对  $\lambda/2$  则为  $1/2$  波片

**例20:** 如图, 1) P与A处于消光, 插入 $\lambda/2$ 波片, 转动一周, 问有几次消光, 为什么?  
2) P与A处于消光, 插入 $\lambda/2$ 波片(任意取向), 转动A一周, 问有几次消光, 为什么?  
3) P与A处于消光, 插入 $\lambda/2$ 波片, 旋转波片至消光; 顺时针转动P( $\varphi$ 角), 欲重新达到消光, 需转动A(逆时)多少?

**解: 1) 四次消光**

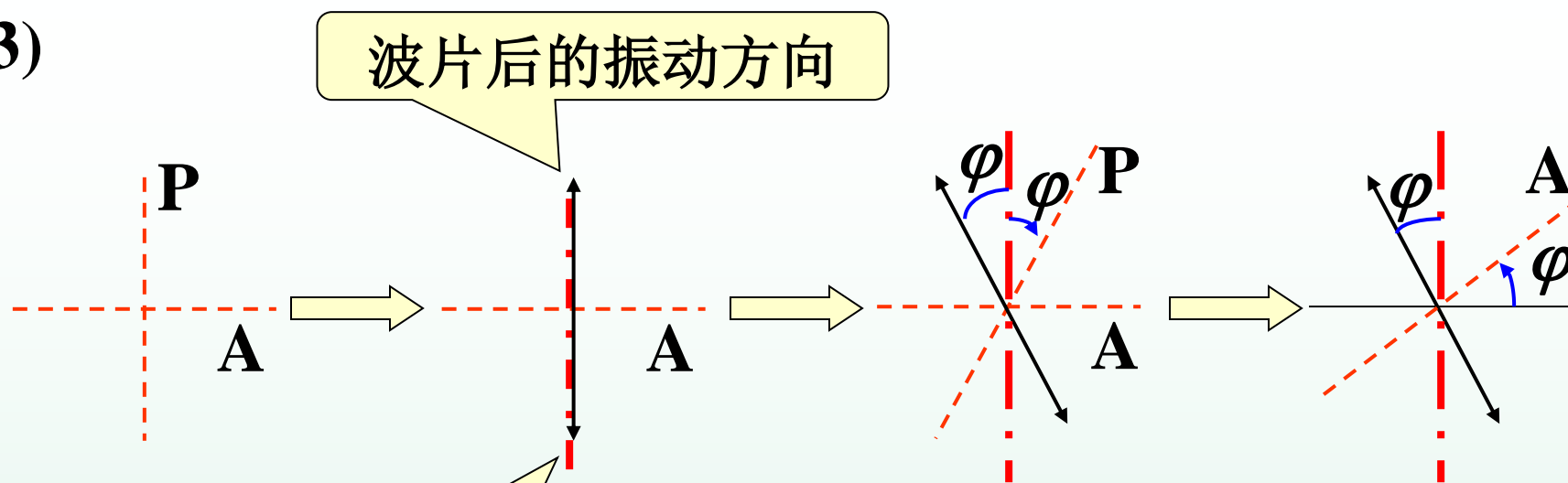
设 $\alpha$ 为P与波片光轴方向的夹角

当 $\alpha=0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ 时, 分别使P后的线偏光旋转 $2\alpha=0, \pi, 2\pi, 3\pi$

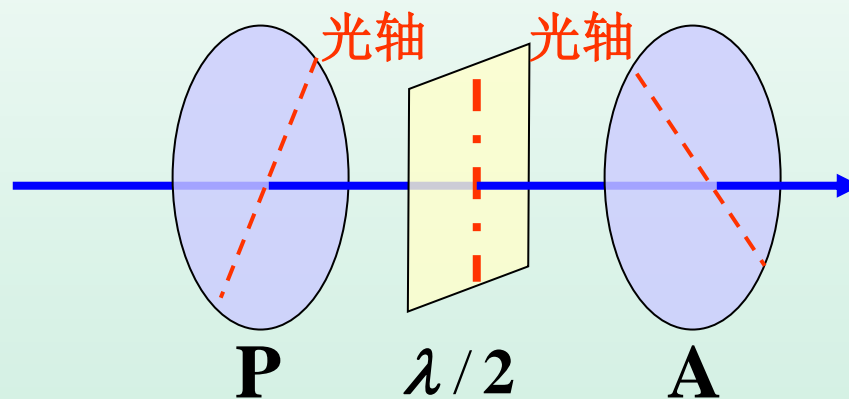


**2) 二次消光**

3)



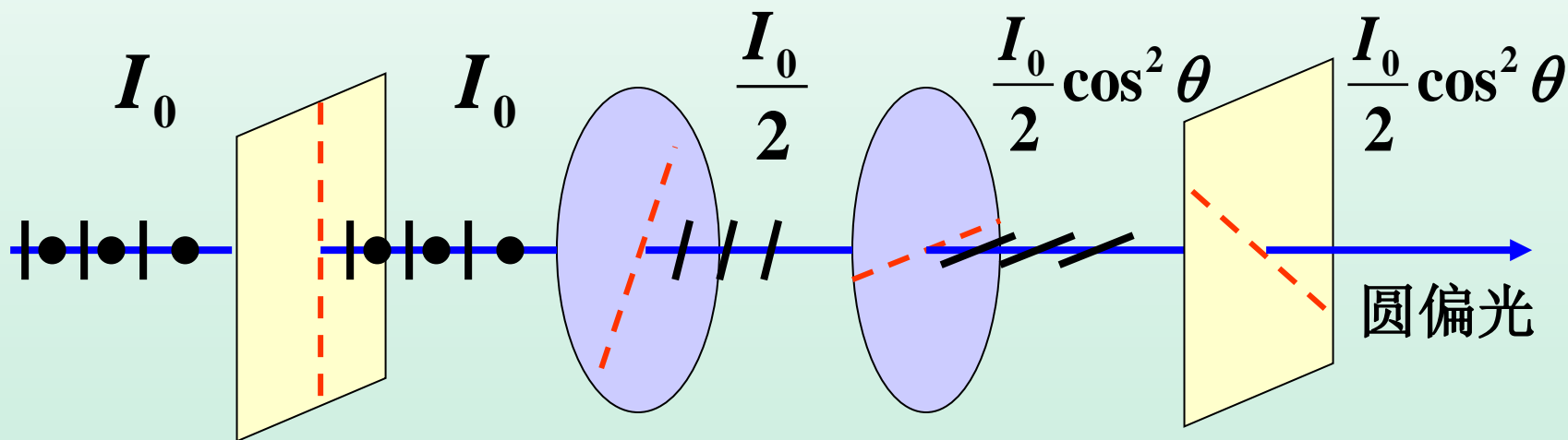
$\mathbf{A}$ 应逆时针旋转 $\varphi$





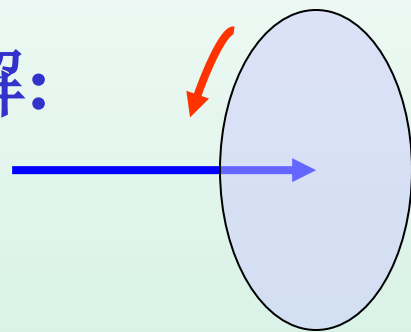
**例21:** 有两个圆偏振器, 偏振片用 $P_1$ 和 $P_2$  表示,  $\frac{1}{4}$  波片用 $N_1$ 和 $N_2$  表示, 按 $N_1 - P_1 - P_2 - N_2$  顺序排列,  $P_1$ 和 $P_2$  偏振化方向间的夹角 $\theta$ , 以光强为 $I_0$  的自然光垂直入射到上述偏振系统, 求透射光的偏振态和光强?

**解:** 由圆偏振器, 可知 $P_1$ 与 $N_1$ ,  $P_2$ 与 $N_2$ 之间夹角为 $45^\circ$

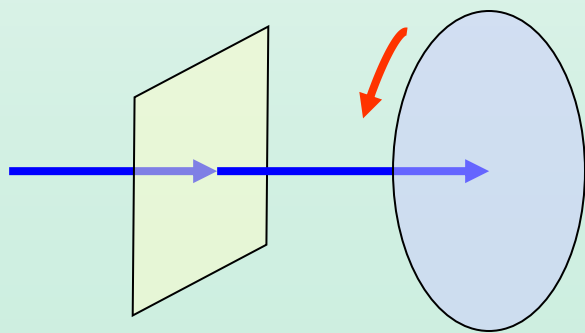


**例22:** 用旋转的检偏镜对某一单色光进行检偏, 在旋转一圈的过程中, 发现从检偏镜出射的光强并无变化. 先让这一束光通过一块 $1/4$ 波片, 再通过旋转的检偏镜检偏, 则测得最大出射光强是最小出射光强的2倍. **求**入射的是什么偏振态的光, 其中自然光光强占总光强的百分之几?

**解:**

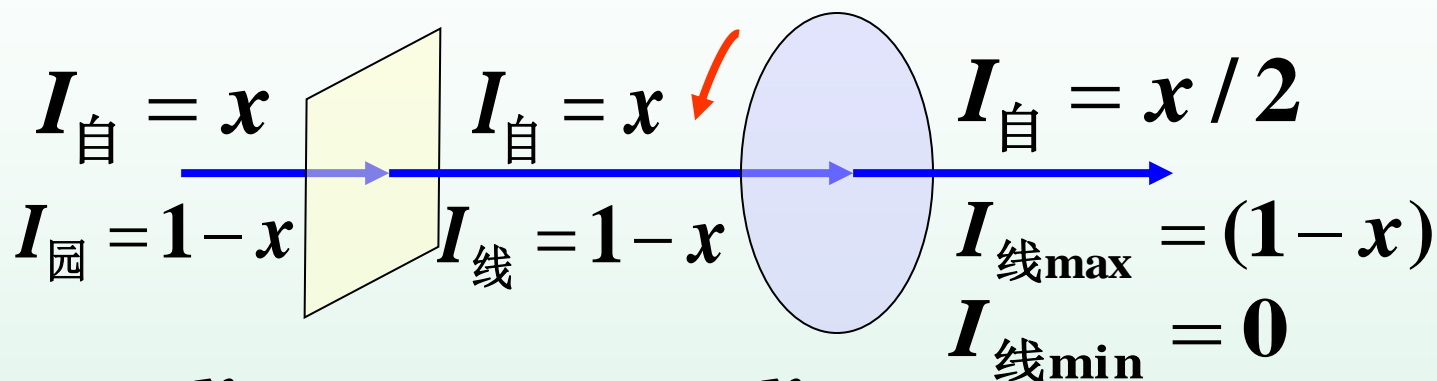


光强无变化, 自然光, 圆偏光, 两者混合



光强无消光, 非圆偏光;  
光强有变化, 非自然光;  
结论: 两者混合

设入射总光强为1,  
其中自然光强为 $x$ , 则圆偏光强为 $(1-x)$



$$\frac{x}{2} + (1 - x) = 2\left(\frac{x}{2} + 0\right)$$

$$\therefore x = 3/2 = 66.7\%$$

