

# 第六章 光在晶体中的传播

## 第二节 偏振光的获得与检验

## 6.2 偏振光的获得与检验

### 6.2.1 偏振光回顾

### 6.2.2 椭圆偏振光的获得

### 6.2.3 椭圆偏振光的检验

## 6.2.1 偏振光回顾

### 正交振动平面偏振光(线偏振光)的合成

假设：两同向传播的线偏振光波，频率为 $\omega$ ，相位差为 $\delta$ ，振动方向分别沿 $x$ 和 $y$ 方向，振幅分别为 $A_x$ 和 $A_y$ ，瞬时光矢量分别为

$$E_x = A_x \cos \omega t, \quad E_y = A_y \cos(\omega t + \delta)$$

其归一化形式为

$$\begin{cases} \frac{E_x}{A_x} = \cos \omega t \\ \frac{E_y}{A_y} = \cos(\omega t + \delta) = \cos \omega t \cos \delta - \sin \omega t \sin \delta \end{cases}$$

两式相减得到

$$\frac{E_y}{A_y} - \frac{E_x}{A_x} \cos \delta = -\sin \omega t \sin \delta$$

消除 $\omega t$ ，得到合成光矢量末端的轨迹方程

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

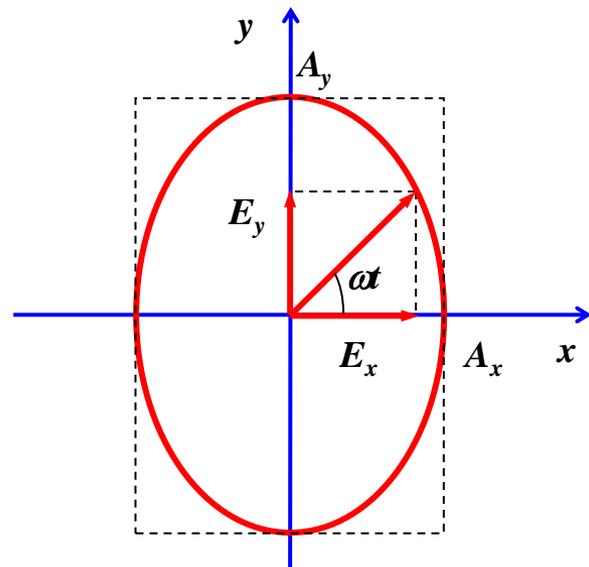
## 6.2.1 偏振光回顾

### 正交振动平面偏振光的合成

**意义：**合光矢量末端的轨迹为一个椭圆，该椭圆与以 $E_x = \pm A_x$ 和 $E_y = \pm A_y$ 为界的矩形框内切，其旋转方向及长短轴的方位与两叠加光波的相位差 $\delta$ 有关。

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

椭圆偏振光产生于两同频率、相位差恒定且振动方向正交的线偏振光的叠加，线偏振光和圆偏振光都可看做椭圆偏振光的特例。



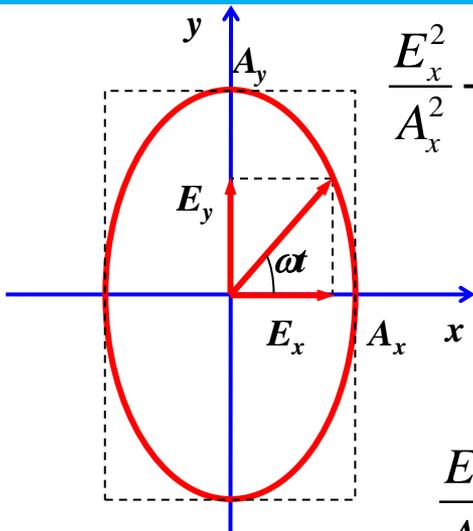
正交振动的合成

# 6.2.1 偏振光回顾

## 椭圆方程的演化

### 特殊情况

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



蜕变为直线  
合振动为线偏振

$$\delta = j\pi$$

$$\delta = \pm(2j+1)\pi/2$$

合振动变为  
正椭圆偏振光

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

$$\delta = \pm 2j\pi$$

(j=0, 1, 2, ...)

$$\delta = \pm(2j+1)\pi$$

(j=0, 1, 2, ...)

两光波同相

两光波反相

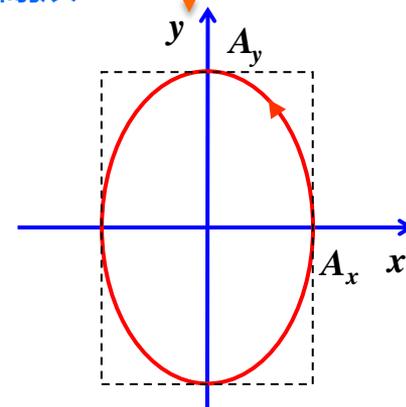
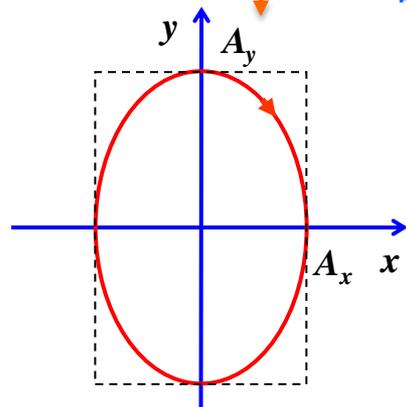
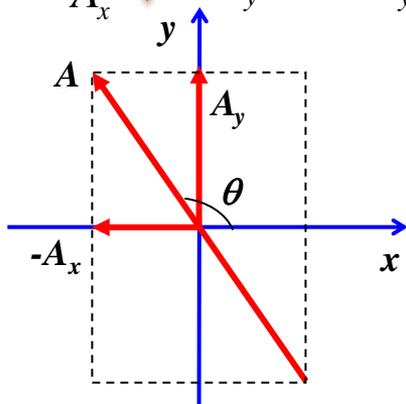
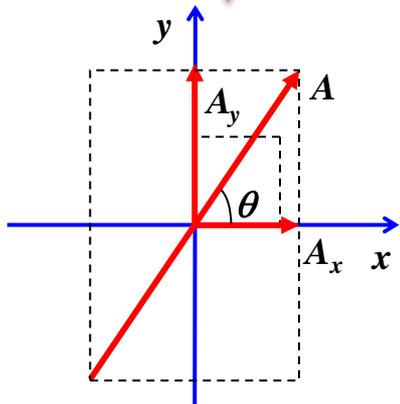
$$\frac{E_x}{E_y} = \frac{A_x}{A_y}$$

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

$$\tan \theta = \frac{E_y}{E_x} = \pm \frac{A_y}{A_x}$$

$$\frac{E_x}{E_y} = -\frac{A_x}{A_y}$$

$A_x = A_y$   
↓  
圆偏振



I、III象限线偏光

II、IV象限线偏光

$\pi/2$   
右旋正椭圆偏振

$3\pi/2, (-\pi/2)$   
左旋正椭圆偏振

## 6.2.1 偏振光回顾

### 椭圆方程的演化 (续)

$$E_x = A_x \cos \omega t, \quad E_y = A_y \cos(\omega t + \delta)$$

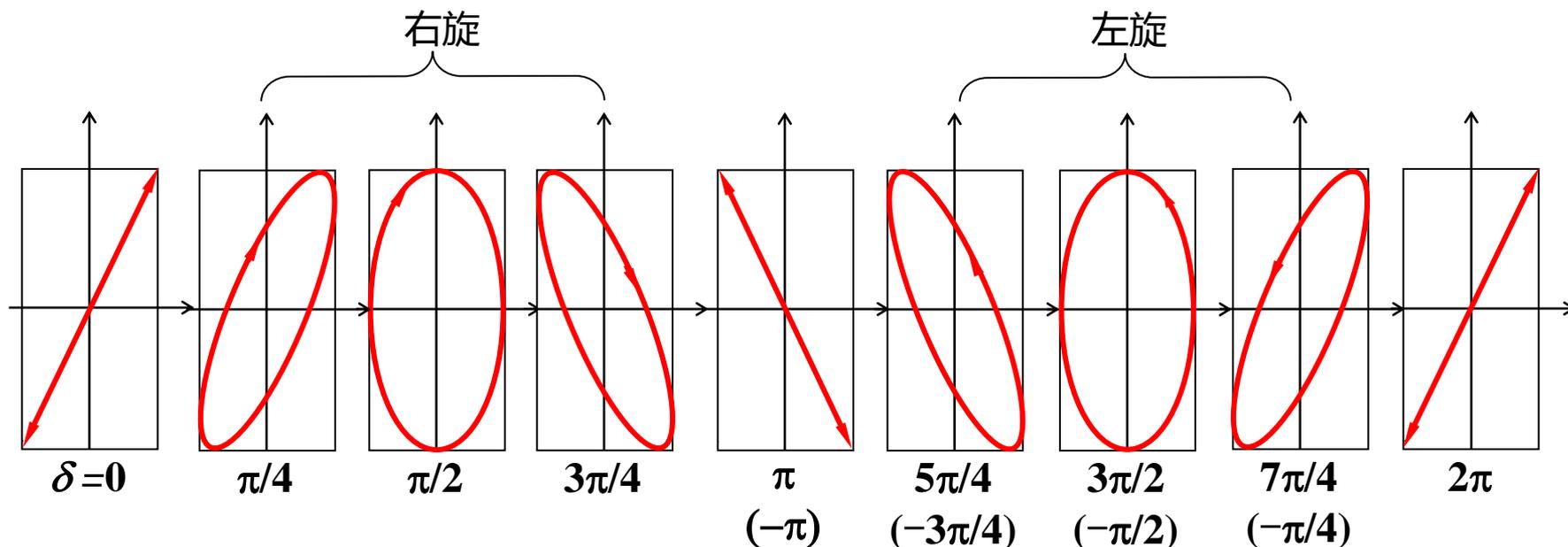
#### 一般情况 ( $\delta \neq \pm 2j\pi, \pm(2j+1)\pi, \pm(2j+1)\pi/2$ )

$0 < \delta < \pi/2$ , 右旋椭圆, 且向1~3象限倾斜;

$\pi/2 < \delta < \pi$ , 右旋椭圆, 且向2~4象限倾斜;

$\pi < \delta < 3\pi/2$  (或  $-\pi < \delta < -\pi/2$ ), 左旋椭圆, 且向2~4象限倾斜;

$3\pi/2 < \delta < 2\pi$  (或  $-\pi/2 < \delta < 0$ ), 左旋椭圆, 且向1~3象限倾斜。



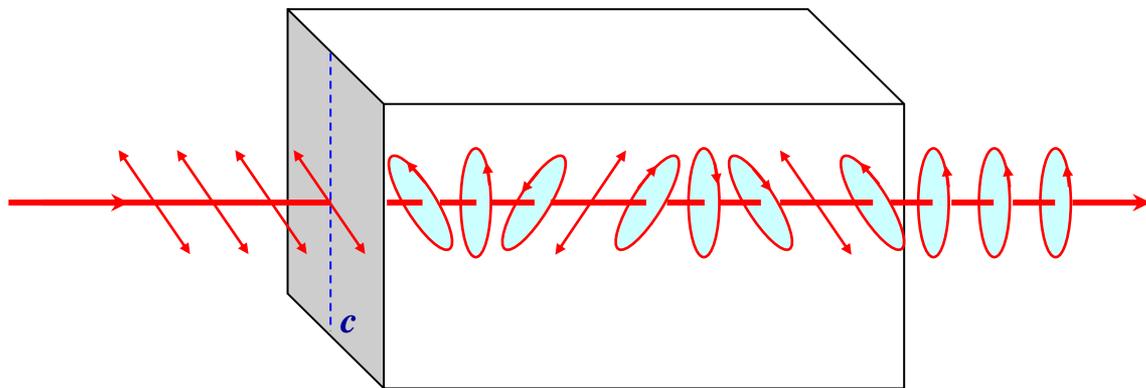
两正交平面偏振光的合成

## 6.2.2 椭圆偏振光的获得

### 椭圆偏振光的获得

**思路**：设法获得两列具有同频率、相位差恒定但振动方向正交的相干线偏振光波。

**途径**：垂直进入光轴平行于表面的单轴晶体中的线偏振光，被分解为振动方向正交的o光和e光两个分量。两分量因传播速度不同而产生相位差，进而合成为椭圆偏振光，并且椭圆的形状及旋向随着传播距离不断变化，最终透射光的偏振态与晶片的o光和e光的折射率，以及晶体的厚度 $d$ 有关。



单轴晶片两正交平面偏振光的合成

偏振光：

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

**调节 $\Delta\varphi$**

**1/4波片**

**1/2波片**



**调节偏振态**

**线偏振**

**圆偏振**

**椭圆偏振**

## 圆偏振光及椭圆偏振光的获得及检验

- 利用波片的相位延迟作用，使得从其中出射的两列振动相互垂直的光波之间有一定的相位差
- 这两列光合成，使得出射光具有不同的偏振态。
- 合成光的偏振态取决于它们之间的相位差

## 6.2.2 椭圆偏振光的获得

### (1) 自然光经过波片

- (a) 自然光可以正交分解。
- (b) 每一个分量都含有相位随机的多列平面波。
- (c) 每列平面波在晶体中分为相互正交的o光、e光。
- (d) 经过波片后，每一个分量仍然是相位随机的多列波。
- (e) 所以，正交分量合成后，仍是自然光。
- (f) 如果不考虑波片的吸收，可以认为光强不变。

## 6.2.2 椭圆偏振光的获得

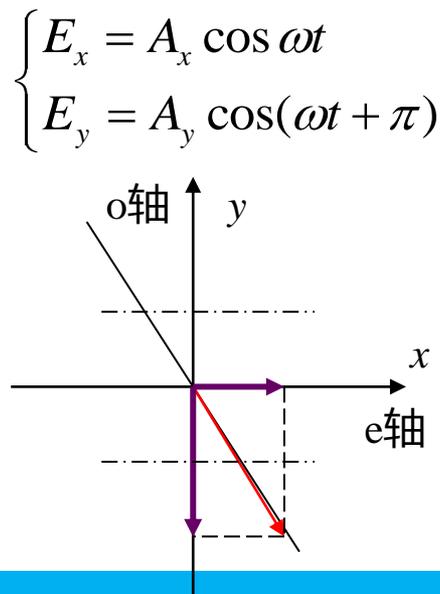
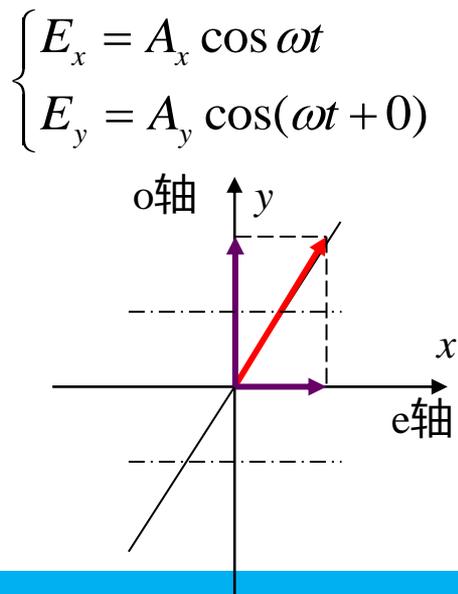
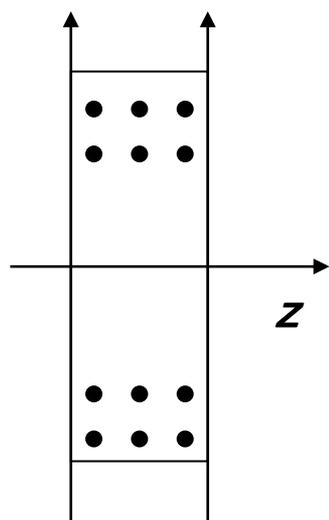
### (2) 线偏振光经过波片

(a) 在波片中分为正交的e光、o光。

(b) 根据入射平面波所处象限不同，分解后两分量之间的相位差

$\delta_0=0$  (I,III象限) 或  $\pi$  (II,IV象限)。

(c) 经过波片出射的正交分量产生额外的相位差 $\delta$ 。



设x轴与光轴平行

# 经过1/4波片

- 产生 $\pi/2$ 的额外相位差

$$\left\{ \begin{array}{l} E_x = A_x \cos \omega t \\ E_y = A_y \cos(\omega t + 0) \end{array} \right. \quad y \text{ 为快轴} \quad \left\{ \begin{array}{l} E_x = A_x \cos \omega t \\ E_y = A_y \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{右旋椭圆} \\ \text{偏振光} \end{array}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} E_x = A_x \cos \omega t \\ E_y = A_y \cos(\omega t + \pi) \end{array} \right. \quad y \text{ 为快轴} \quad \left\{ \begin{array}{l} E_x = A_x \cos \omega t \\ E_y = A_y \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{左旋椭圆} \\ \text{偏振光} \end{array}$$

# 波片的相位延迟

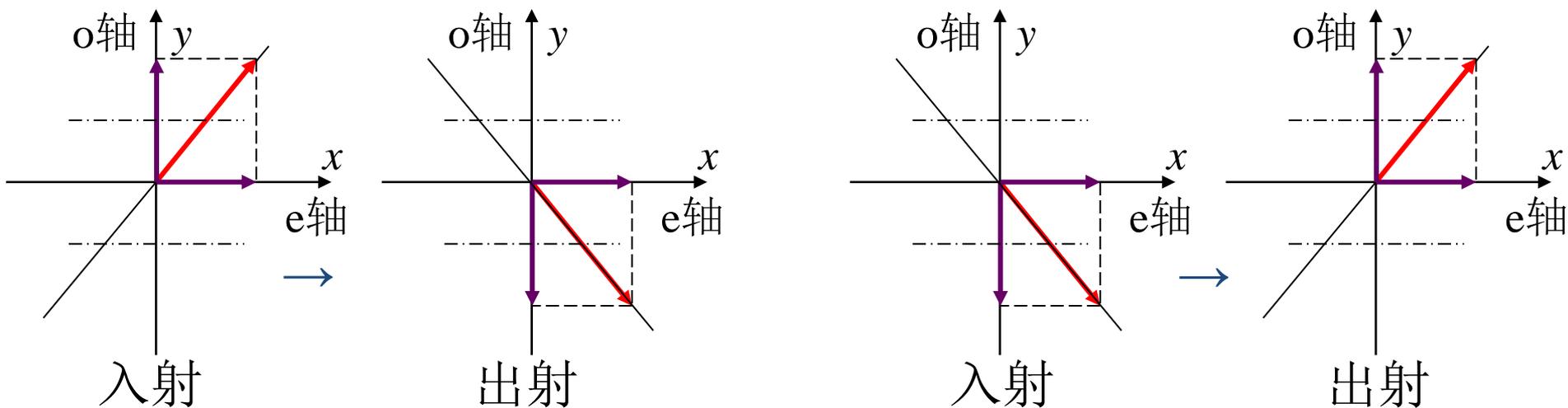
- 同一种晶体的波片，当厚度不同时，对偏振态的改变不同
- 例，方解石的1/4波片  $\Delta L = L_o - L_e = (n_o - n_e)d$

o光比e光滞后  $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d = \begin{cases} 2m\pi + \pi/2 & \text{+波片} \\ 2m\pi + 3\pi/2 & \text{-波片} \end{cases}$

1/4波片要标注所适用的波长。要指出哪个方向是快轴。

# 经过1/2波片

- 产生 $\pi$ 的额外相位差
- 出射光间的相位差是 $\pi$ ，或者0，还是线（平面）偏振光
- 由于反相，电矢量的振动方向翻转。



# 经过1/2波片

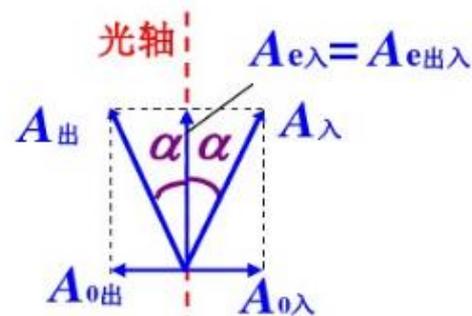
作用：可使线偏振光的振动面转过一个角度。

若入射点处线偏振光分解的  $o$ 、 $e$  光同相

则出射点处仍是线偏振光： $o$ 、 $e$  光反相

若入射线偏振光的振动方向与波片快轴（或慢轴）夹角为  $\alpha$ ，出射线偏振光的振动方向向着快轴（或慢轴）方向转过  $2\alpha$

当  $\alpha = \frac{\pi}{4}$  时，转过  $\frac{\pi}{2}$

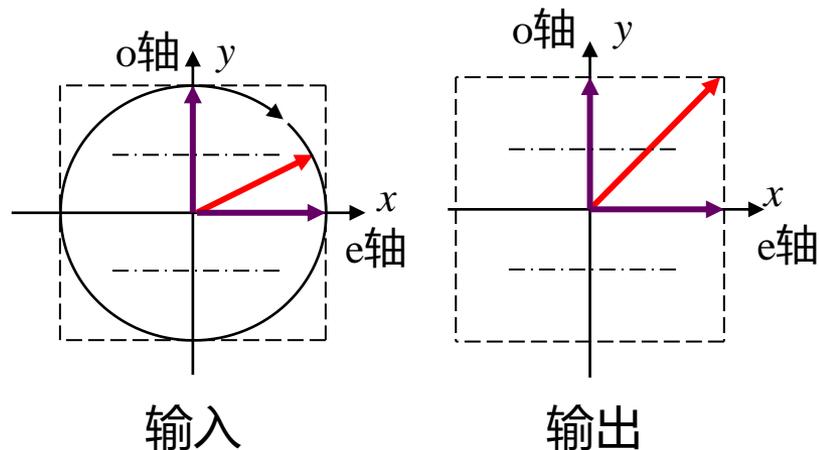


## 6.2.2 椭圆偏振光的获得

### (3) 圆偏振光经过波片

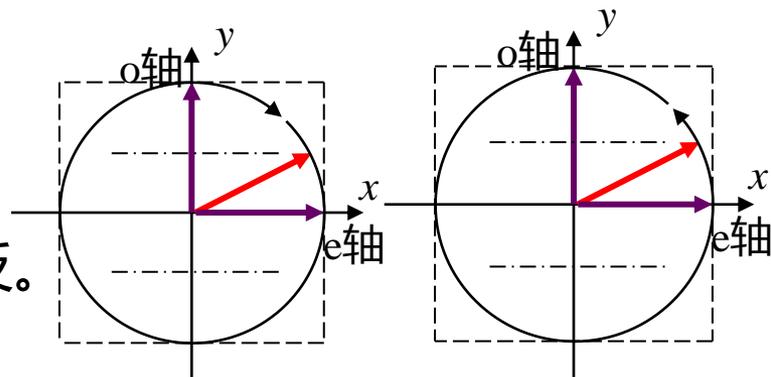
#### (a) 经过1/4波片

- 入射光的两正交分量间相位差是 $\pm\pi/2$ 。
- 经过1/4波片，产生 $\pm\pi/2$ 的额外相位差。
- 出射光，正交分量间相位差是 $0, \pi$ 。
- 变为线偏振光，电矢量与光轴成 $45^\circ$ 角。



#### (b) 经过1/2波片

- 经过1/2波片，产生 $\pm\pi$ 的额外相位差。
- 还是圆偏振光，但是由于反相，旋转方向相反。

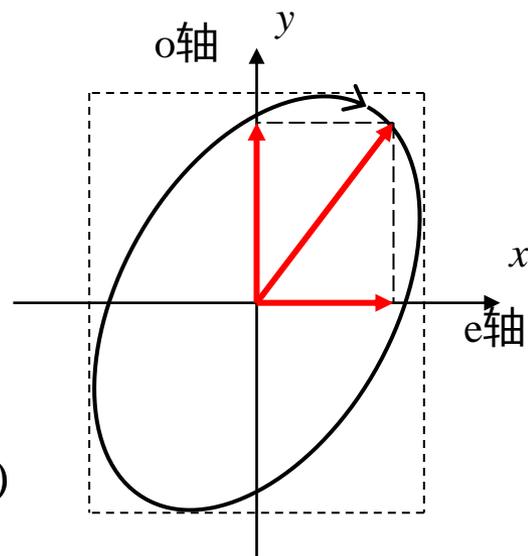


## 6.2.2 椭圆偏振光的获得

### (4) 椭圆偏振光经过波片

- 入射光，正交分量间有任意的固定相位差
- 经过波片，产生额外的相位差，出射光为
- 相位差仍是固定的任意值，仍是椭圆偏光

$$\begin{cases} E_x = A_x \cos \omega t \\ E_y = A_y \cos(\omega t + \delta_0) \end{cases} \quad \begin{cases} E_x = A_x \cos \omega t \\ E_y = A_y \cos(\omega t + \delta_0 + \delta) \end{cases}$$



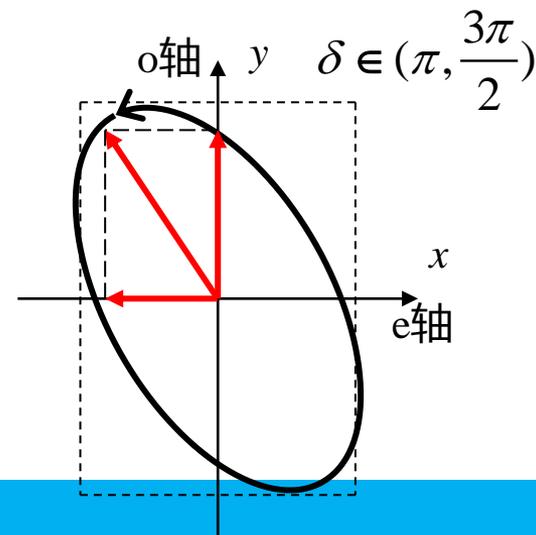
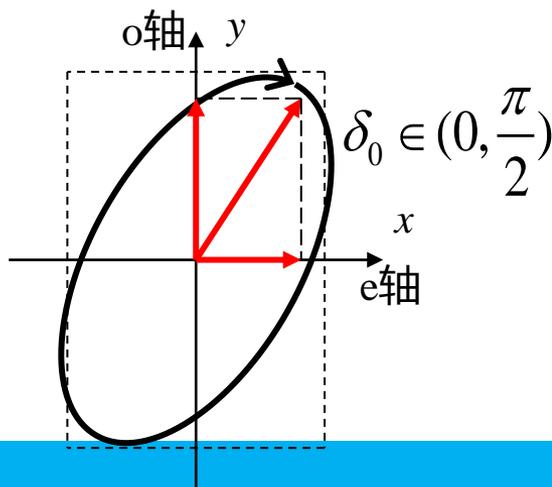
### (a) 经过1/2波片

产生 $\pm\pi$ 的额外相位差，导致旋转方向相反。

$$\begin{cases} E_x = A_x \cos \omega t \\ E_y = A_y \cos(\omega t + \delta_0) \end{cases}$$



$$\begin{cases} E_x = A_x \cos \omega t \\ E_y = A_y \cos(\omega t + \delta_0 \pm \pi) \end{cases}$$



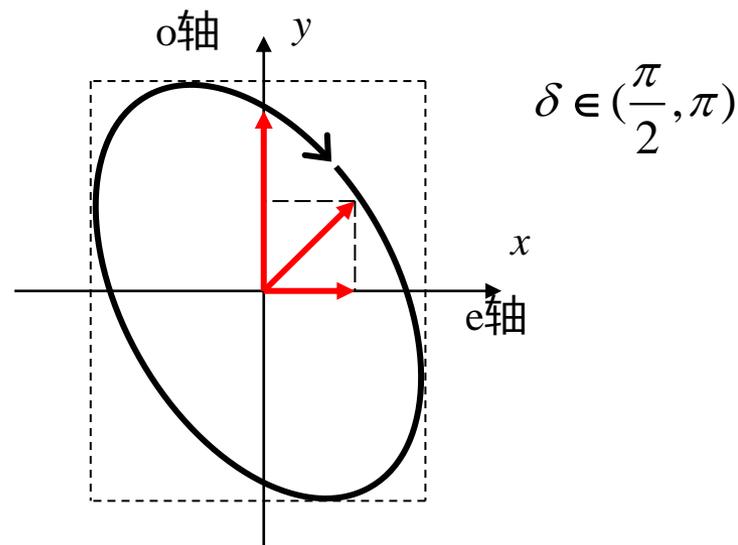
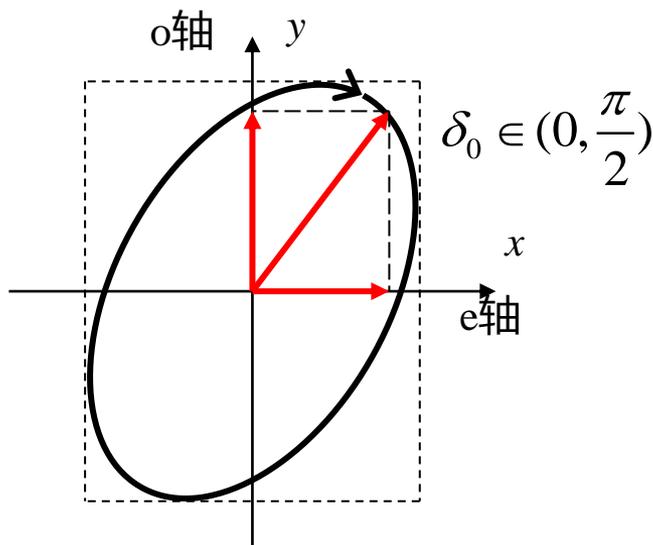
## 6.2.2 椭圆偏振光的获得

### (4) 椭圆偏振光经过波片

#### (b) 经过1/4波片

产生 $\pm\pi/2$ 的额外相位差，需要根据入射分量间的相位差作具体分析

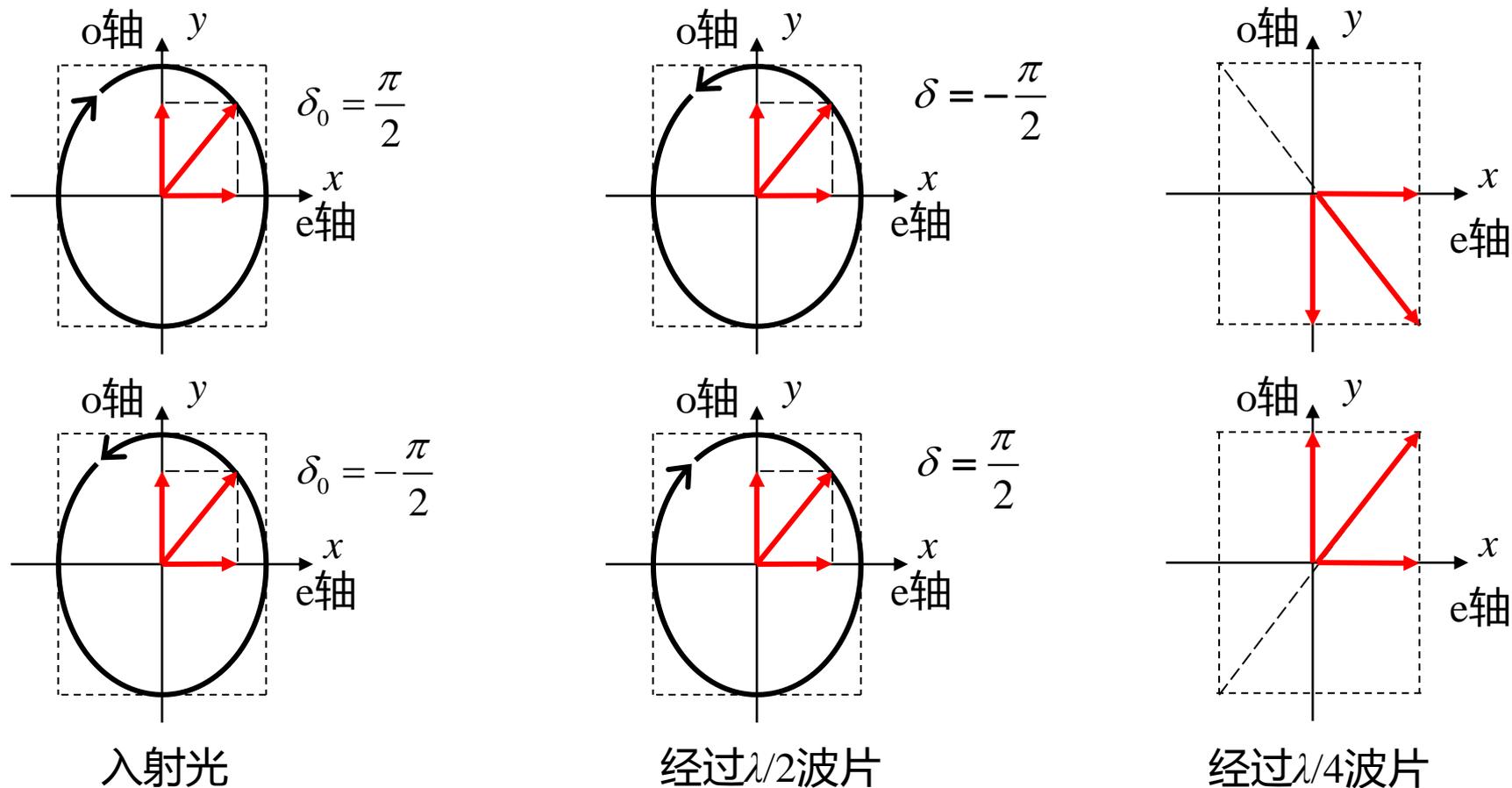
$$\begin{cases} E_x = A_x \cos \omega t \\ E_y = A_y \cos(\omega t + \delta_0) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} E_x = A_x \cos \omega t \\ E_y = A_y \cos(\omega t + \delta_0 \pm \pi / 2) \end{cases}$$



## 6.2.2 椭圆偏振光的获得

### (4) 椭圆偏振光经过波片

#### (c) 正椭圆偏振光经过 $1/2$ 和 $1/4$ 波片

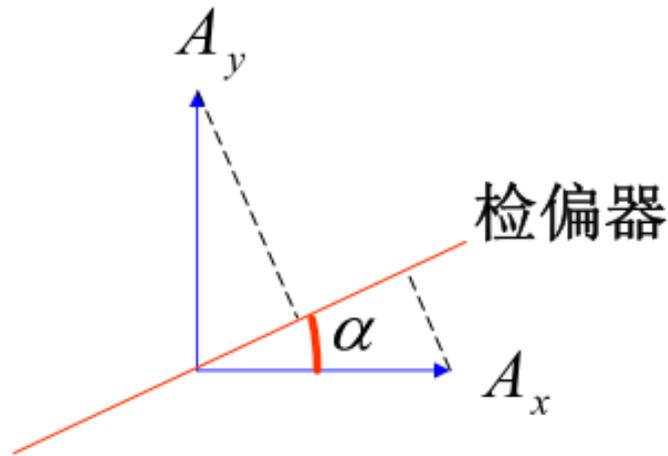


### 结论

圆偏振光和正椭圆偏振光与线偏振光之间，可以通过 $1/4$ 波片相互转化。

## 6.2.2 椭圆偏振光的获得

### (5) 圆偏振光和椭圆偏振光经过检偏器之后的强度变化



$$\begin{aligned}
 E &= A_x \cos \alpha e^{i\omega t} + A_y \sin \alpha e^{i(\omega t + \delta)} \\
 &= \left( A_x \cos \alpha + A_y \sin \alpha e^{i\delta} \right) e^{i\omega t}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I &= E \cdot E^* \\
 &= A_x^2 \cos^2 \alpha + A_y^2 \sin^2 \alpha + A_x A_y \sin 2\alpha \cos \delta
 \end{aligned}$$

# 光的偏振态的鉴定

## 1、使用线检偏器，可以鉴定线（平面）偏振光

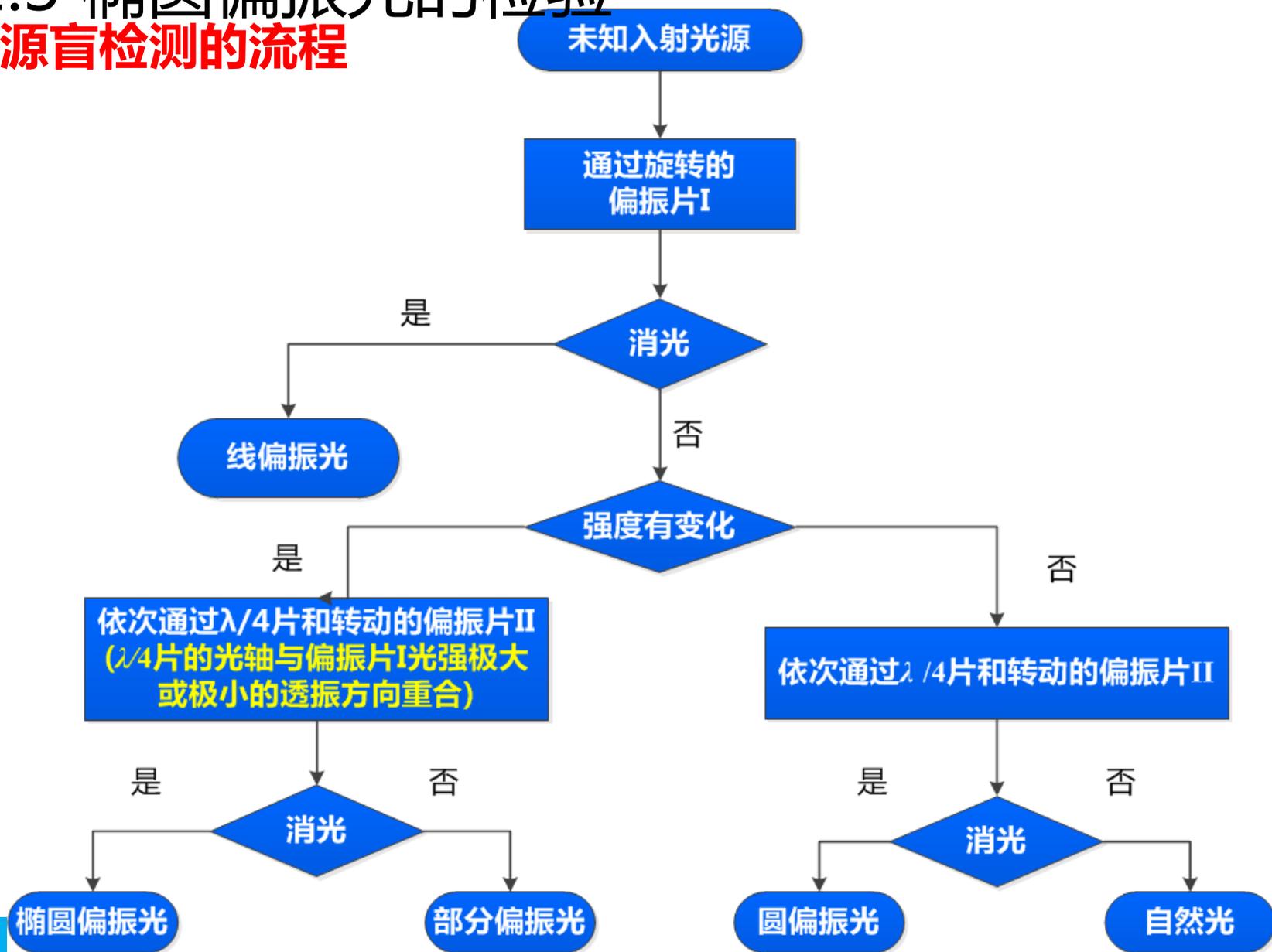
- 旋转检偏器，观察透射光强度的变化
- 自然光：光强不变
- 圆偏振光：光强不变
- 线偏振光：光强改变，在某一角度消光
- 部分偏振光：光强改变，但不消光
- 椭圆偏振光：光强改变，但不消光

## 2、进一步鉴定

- 先让光通过1/4波片
- 自然光：仍是自然光
- 圆偏振光：变为线偏振光
- 部分偏振光：仍是部分偏振光
- 椭圆偏振光：仍是椭圆偏振光，当光轴与椭圆长短轴重合，可以得到平面偏振光
- 再通过线检偏器，可以将自然光与圆偏振光鉴别；部分偏振光与椭圆偏振光鉴别

## 6.2.3 椭圆偏振光的检验

## 光源盲检测的流程



## 本节重点

1. 圆偏振光和椭圆偏振光的获得（理解）。
2. 五种偏振态的检测方法（理解）。

# 作业

P201-1, 2, 3

重排版

**P404: 1,2,3**

**附加作业题：**

如何区分（需要哪些光学元件来区分）左旋圆偏光和右旋圆偏光。

# 课堂练习

如果采用平行的自然单色光进行杨氏双缝干涉实验（满足傍轴条件和远场条件），在屏幕上得到一组干涉条纹，试求：

问：

- (1) 如果在双缝之后放置一个偏振片P，条纹将如何变化？
- (2) 在(1)的条件下，偏振片的透振方向与图所在的纸面成怎样的角度才能得到最暗（可见度最高）的条纹？
- (3) 如果在P后再放置一个 $\lambda/2$ 波片，仅仅遮挡住S1出射的光线，且其光轴与P的透振方向成 $45^\circ$ 角，则屏幕上的干涉条纹将出现怎样的变化？

