

# 波动光学——光的偏振

**15.10 偏振光 马吕斯定律**

**15.11 反射和折射的偏振光**

**15.12 双折射现象**



偏振光



闪烁的绿叶

粼粼的波光

青蛙湿润的皮肤



屎壳郎



蜜蜂根据偏振光决定交际舞的舞姿；

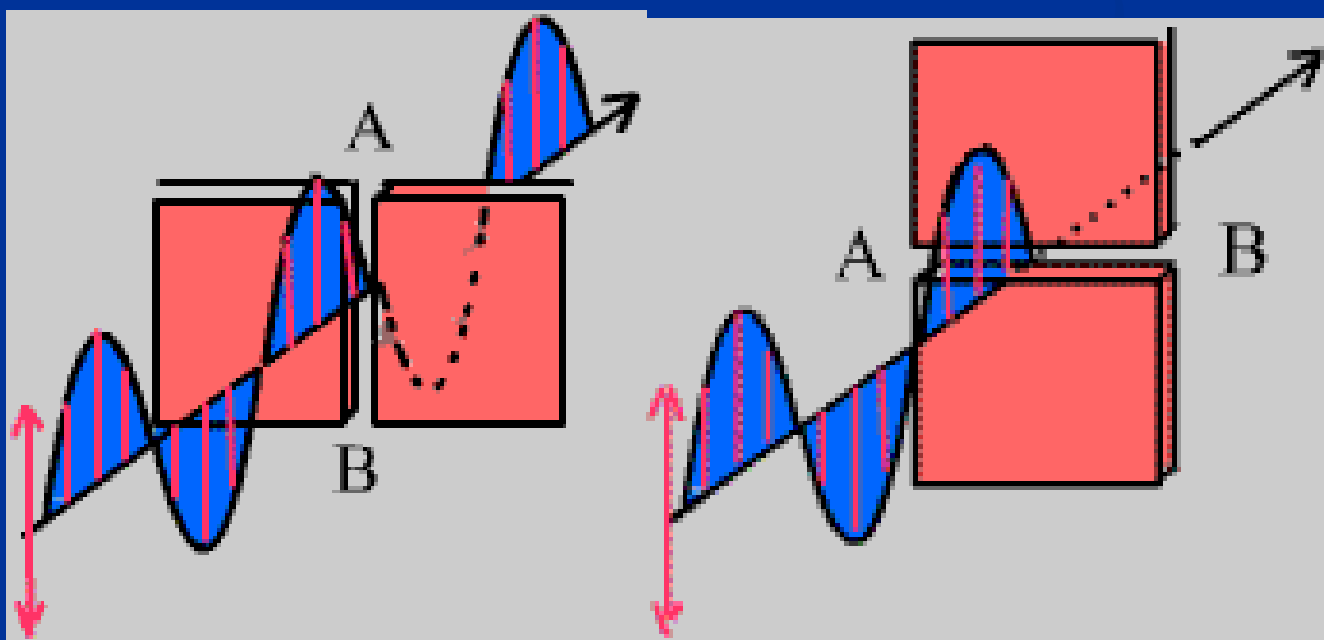
## 15.10 偏振光 马吕斯定律

### 一、光的偏振性

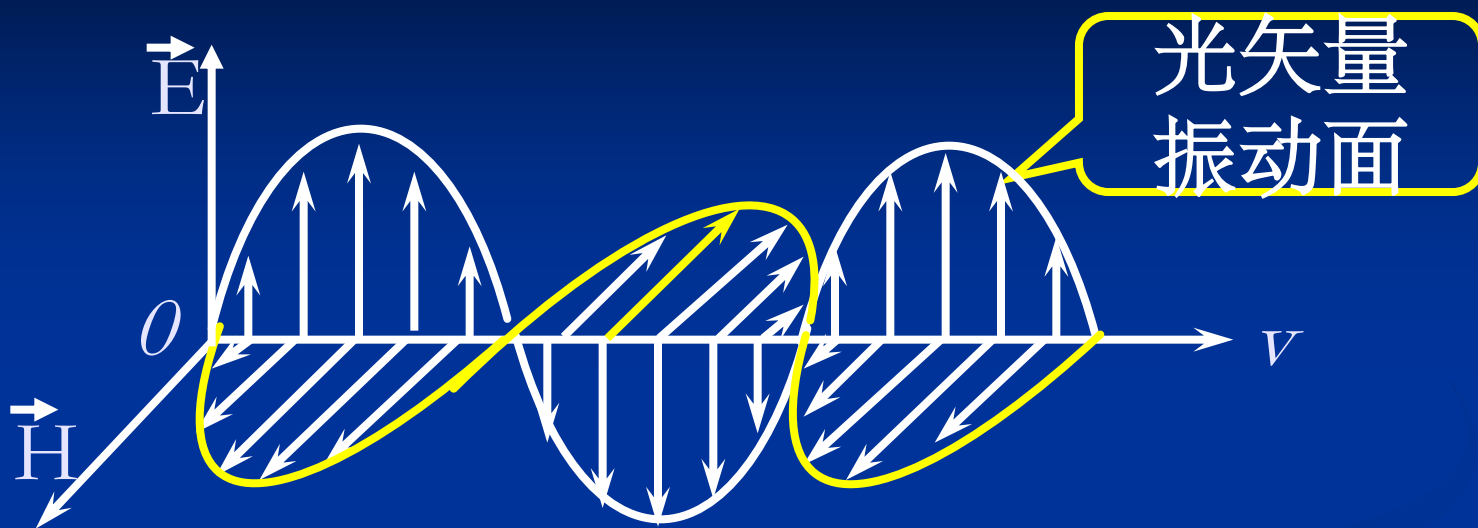
#### 1、横波和纵波的区别——偏振性

- 纵波：振动方向与传播方向一致，不偏振；
- 横波：振动方向与传播方向垂直，具偏振性。

**定义：** 振动方向对于传播方向的不对称性称为偏振性。







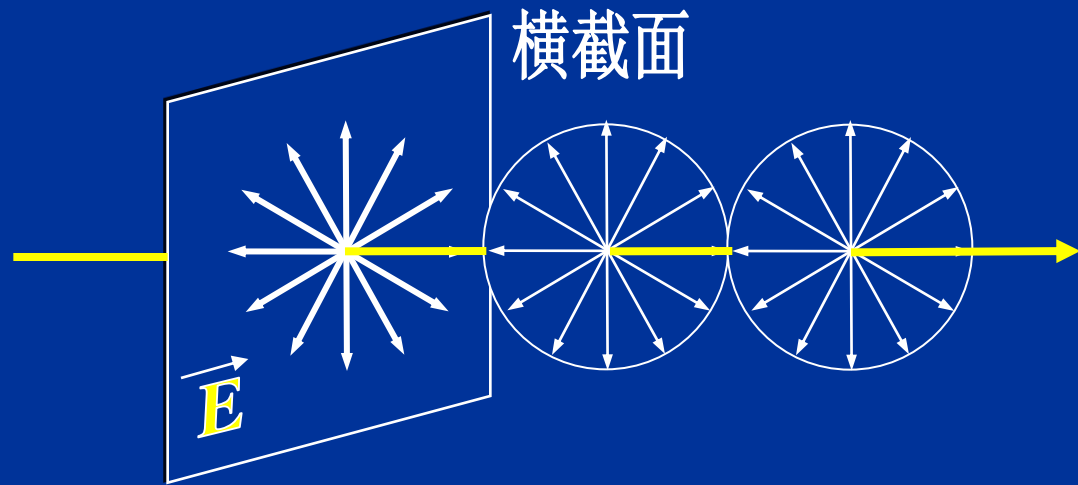
**光矢量：**光波中起光作用的是电场矢量。  
电场矢量又称光矢量。

**光的偏振：**光振动在某一方向的振幅显著较大，或只在某一方向上有光振动。

## 二、偏振态的分类

### 1、自然光—各个方向上光振动的振幅相同

自然光可分解为振动方向相互垂直但取向任意的两个线偏振光，它们振幅相等，没有确定的相位关系，各占总光强的一半。



• 自然光的表示方法

## 2、线偏振光

- 定义：在垂直于传播方向的平面内，光矢量只沿某一个固定方向振动，则称为**线偏振光**，又称为**平面偏振光**。

### 线偏振光的表示



光矢量E垂直于纸面



光矢量E平行于纸面

**振动面：**光振动方向与传播方向构成的平面。  
线偏振光又称平面偏振光

### 3、部分偏振光

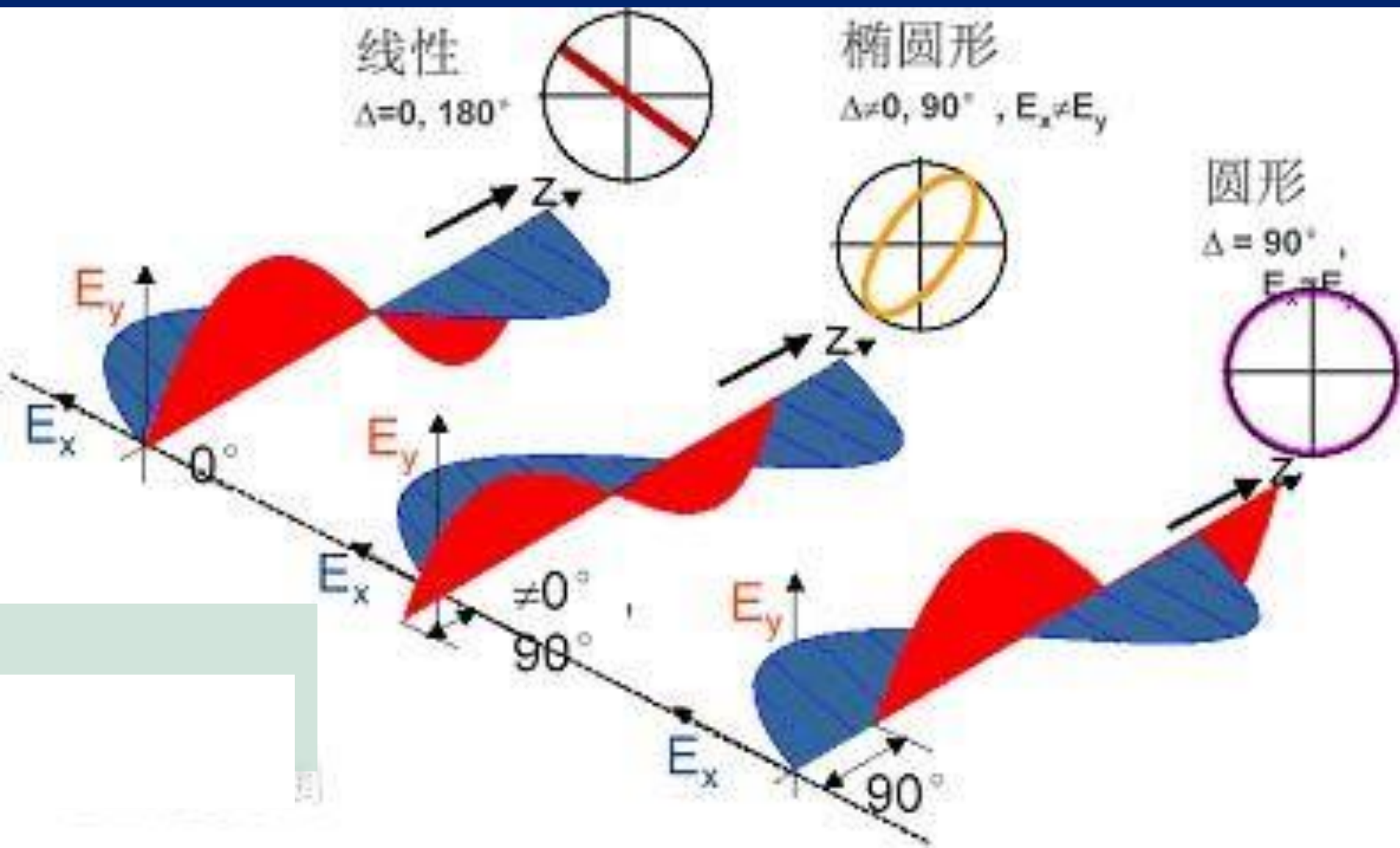
- **定义：**光波中不同方向上的光振动振幅不等，在某一方向上振幅最大，而与之垂直的方向上的振幅最小，则称为**部分偏振光**。
- **特点：**部分偏振光两垂直方向光振动之间无固定的相位差。





## 4、圆偏振光

## 5、椭圆偏振光



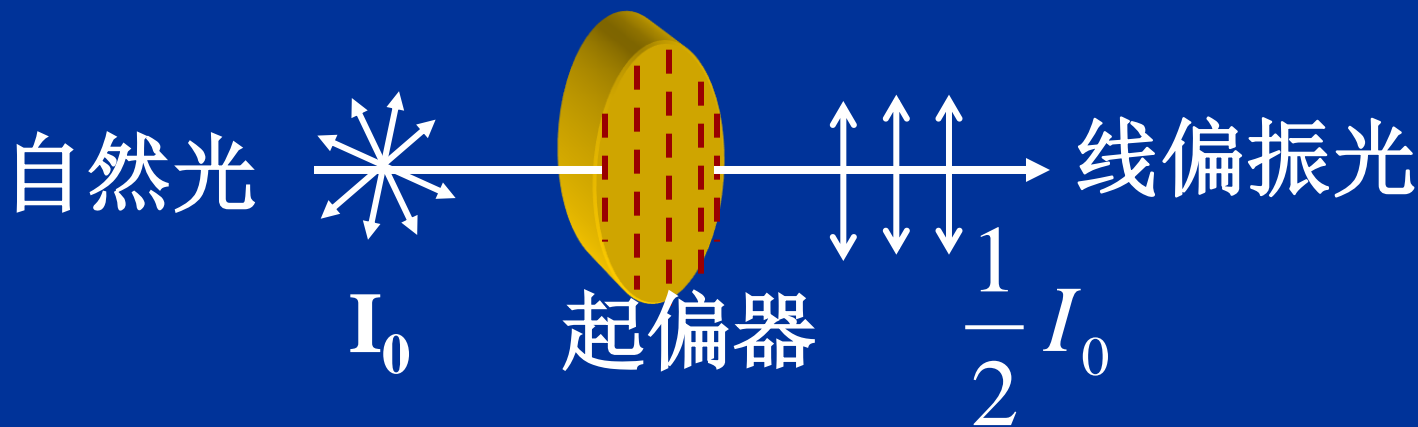
### 三、偏振片 起偏和检偏

#### 1、偏振片

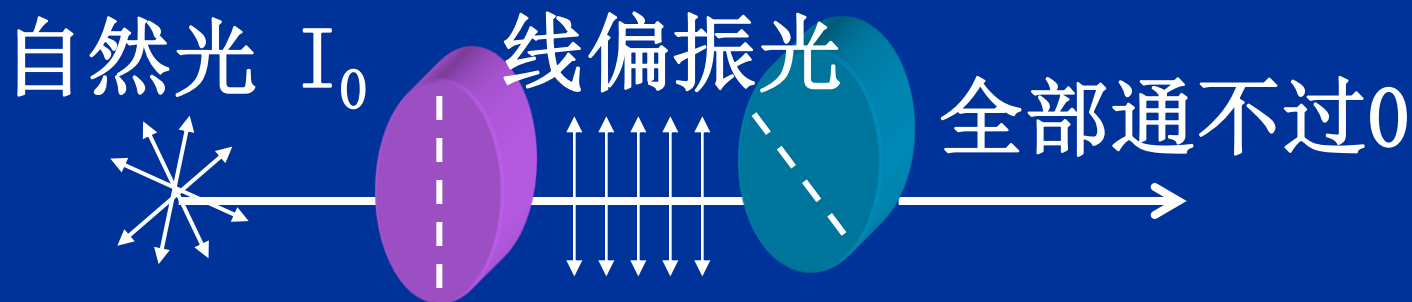
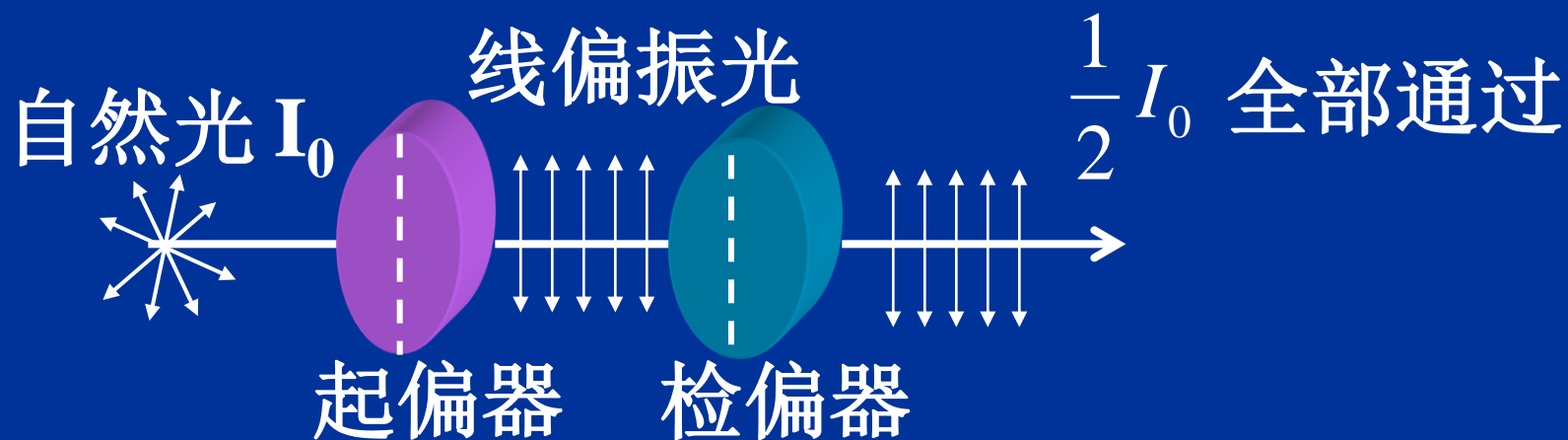
只允许沿某一特定方向的光通过的光学器件——偏振片。

这个特定的方向叫做偏振化方向，用“ $\updownarrow$ ”表示。

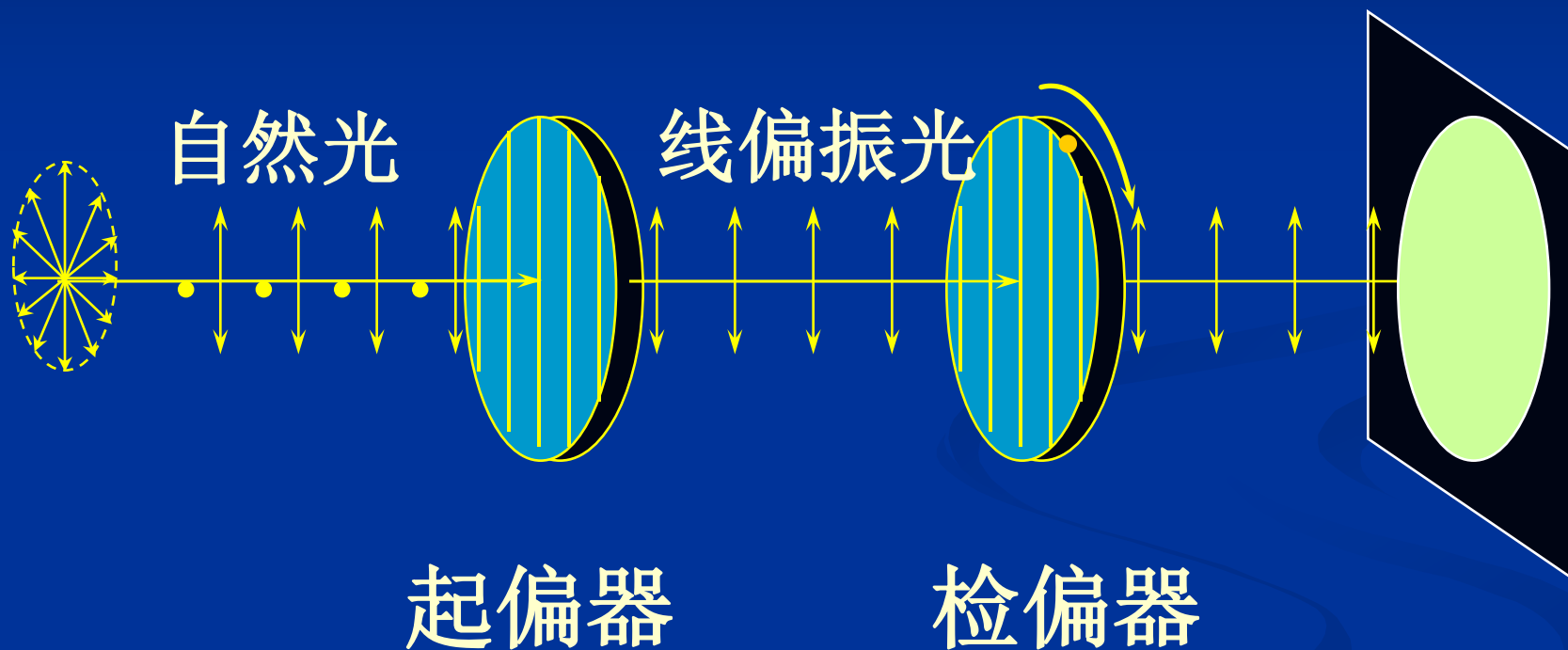
2、起偏：从自然光获得偏振光称起偏。



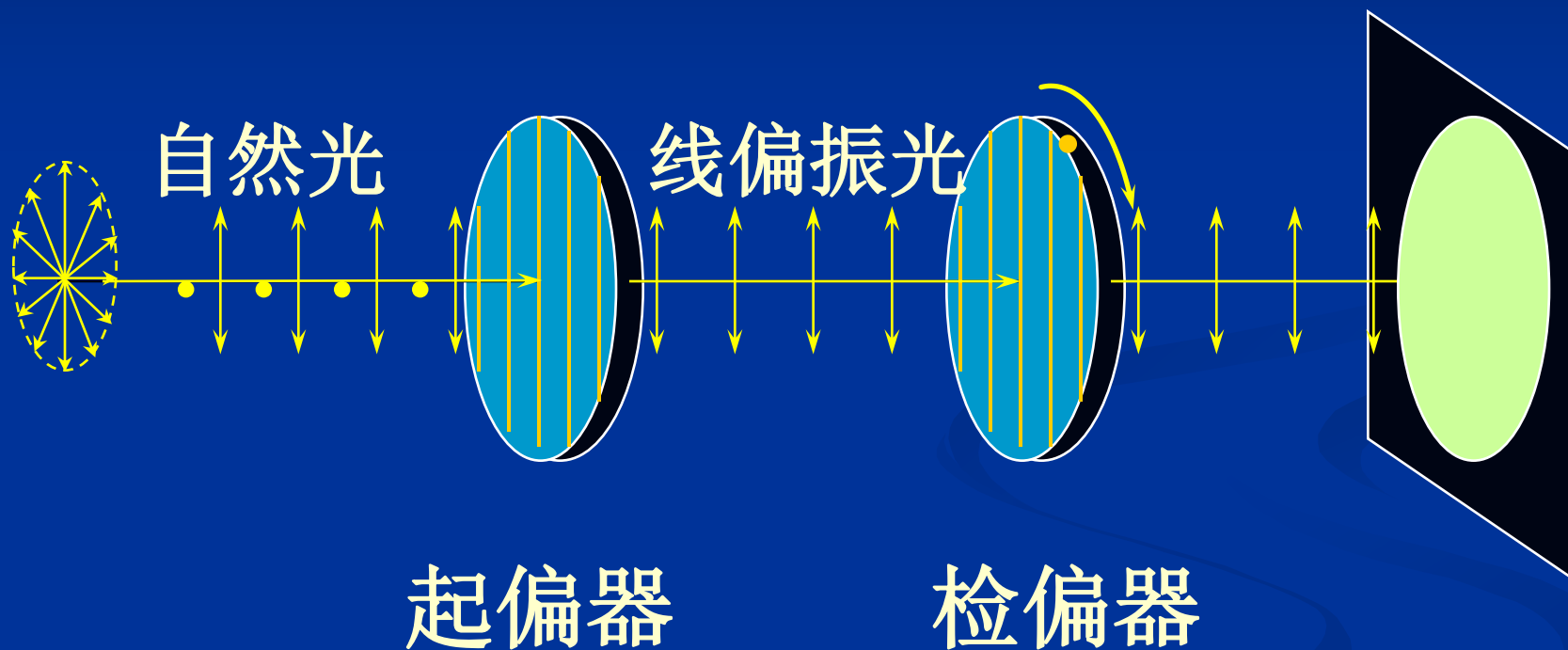
3、**检偏**：迎着光的传播方向观察透过偏振片以后的光强变化可识别不同的偏振光。



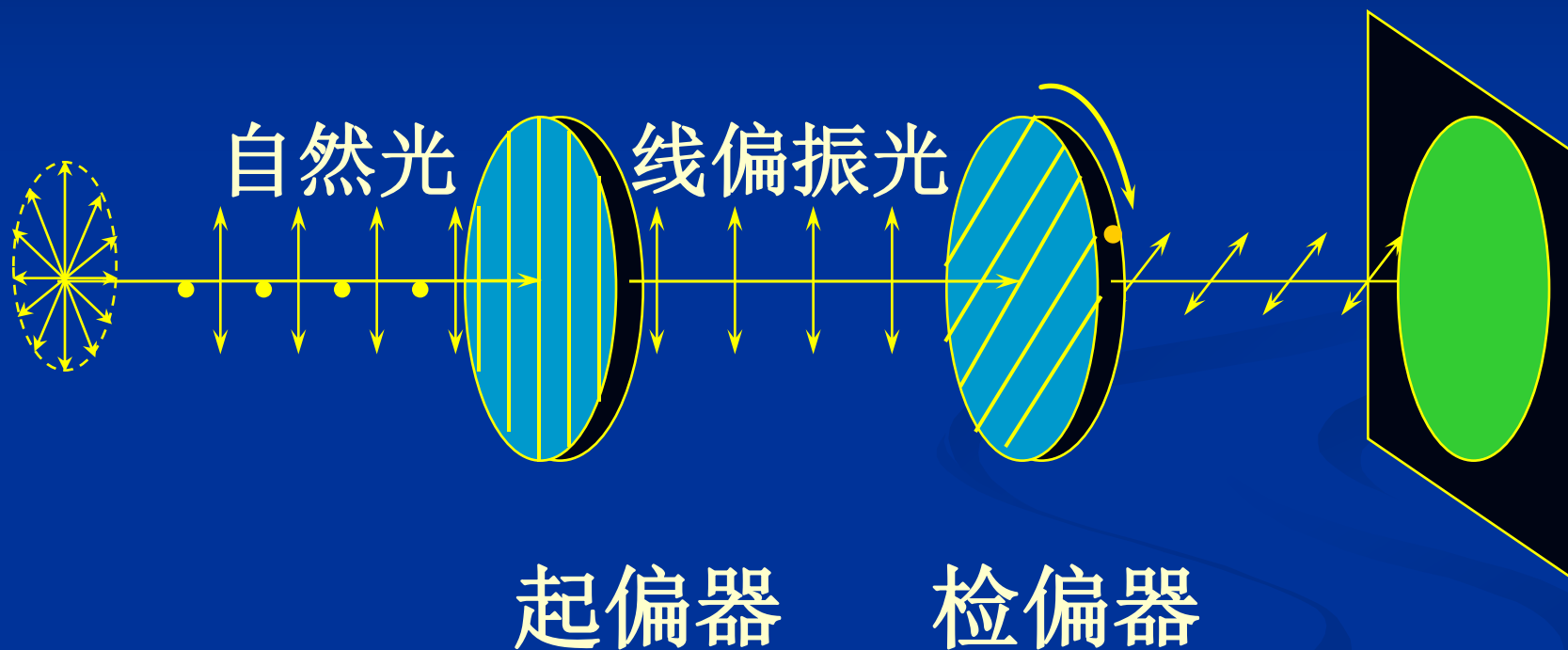
# 偏振光通过旋转的检偏器， 光强发生变化



# 偏振光通过旋转的检偏器， 光强发生变化

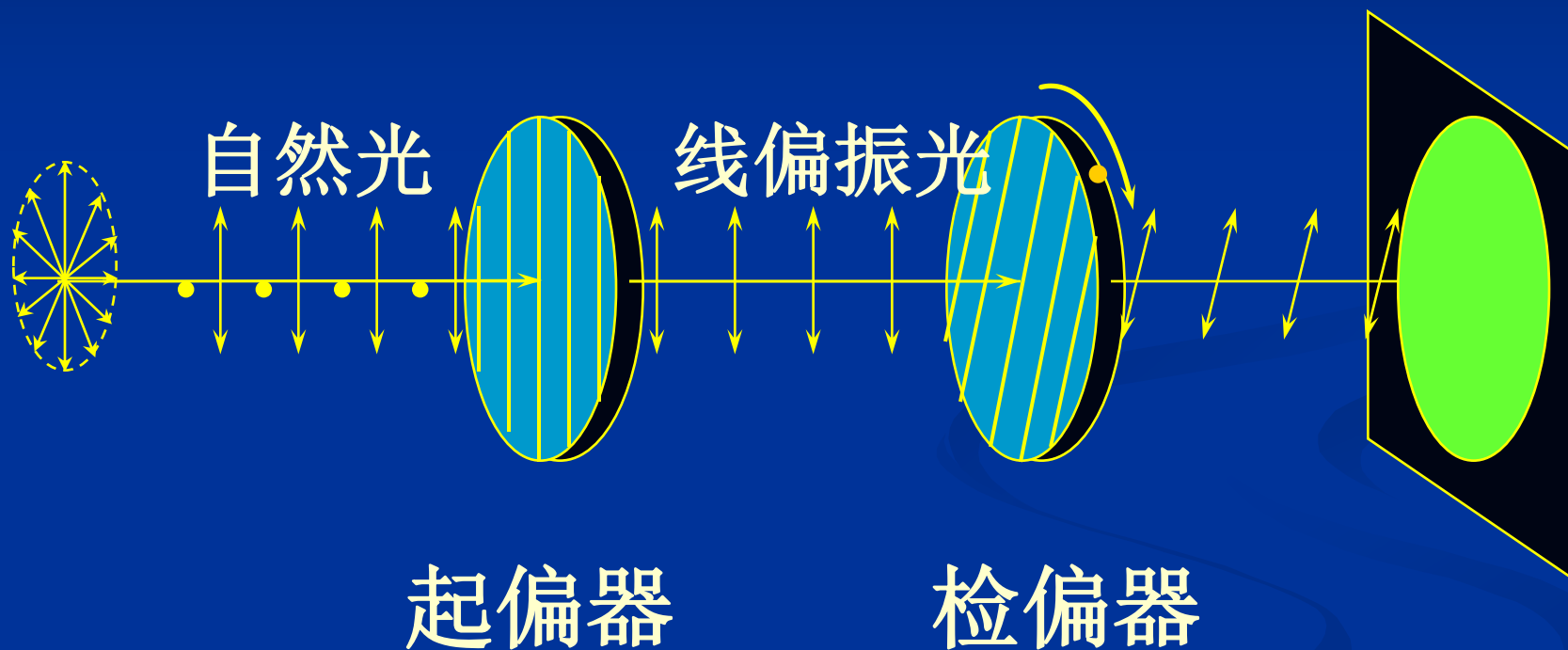


# 偏振光通过旋转的检偏器， 光强发生变化

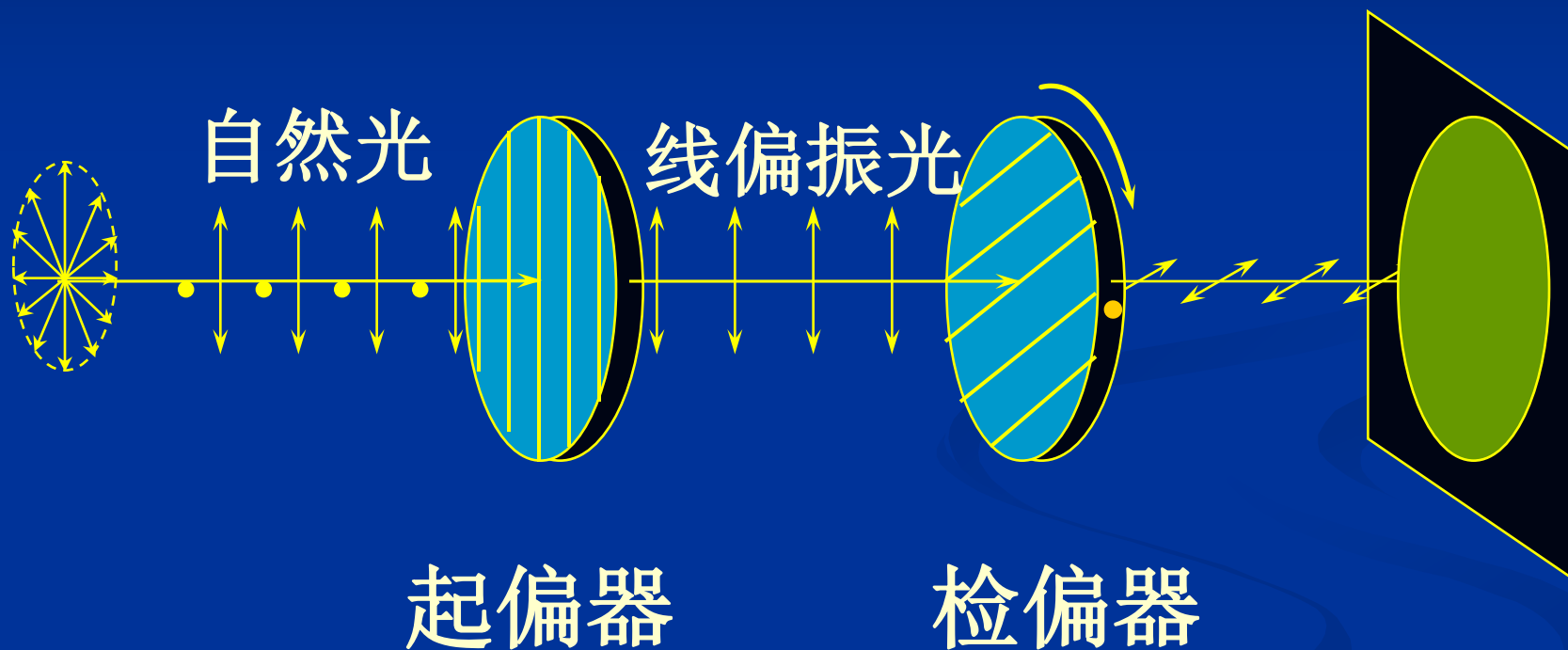




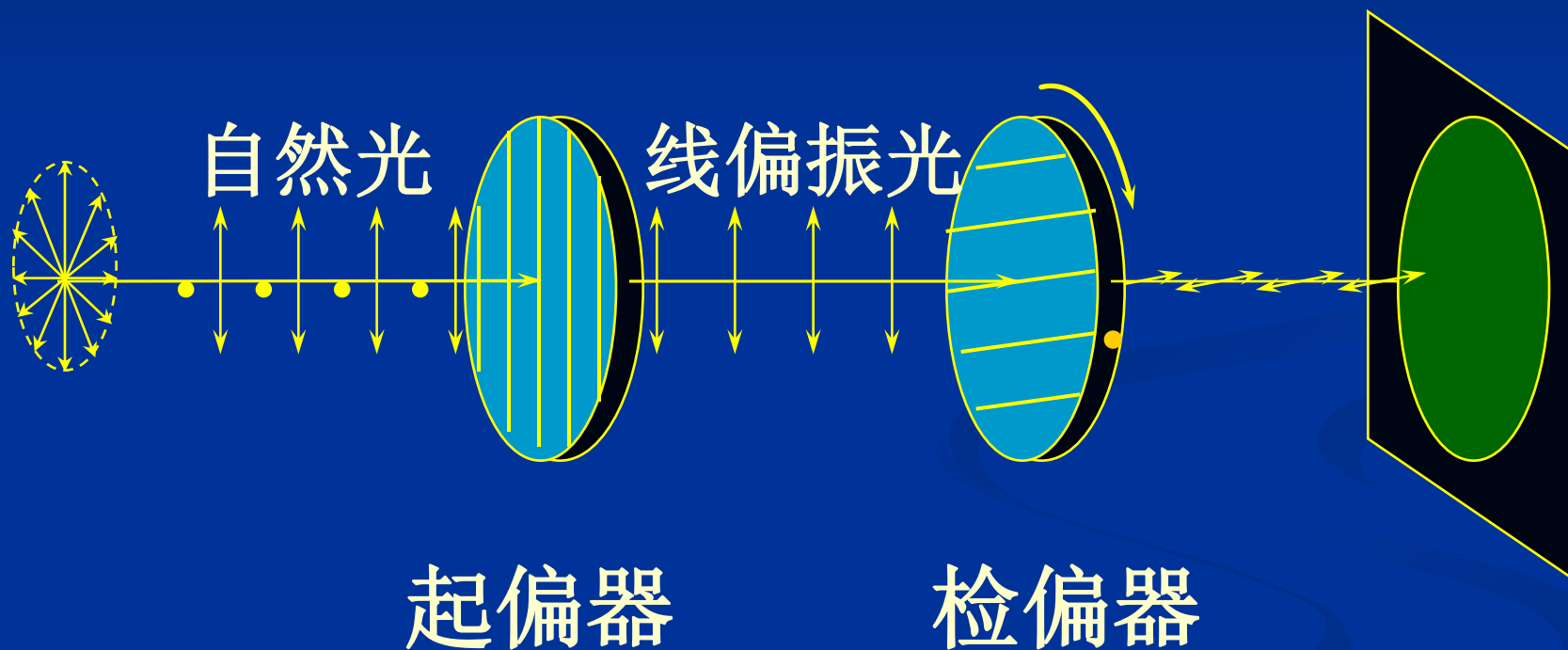
# 偏振光通过旋转的检偏器， 光强发生变化



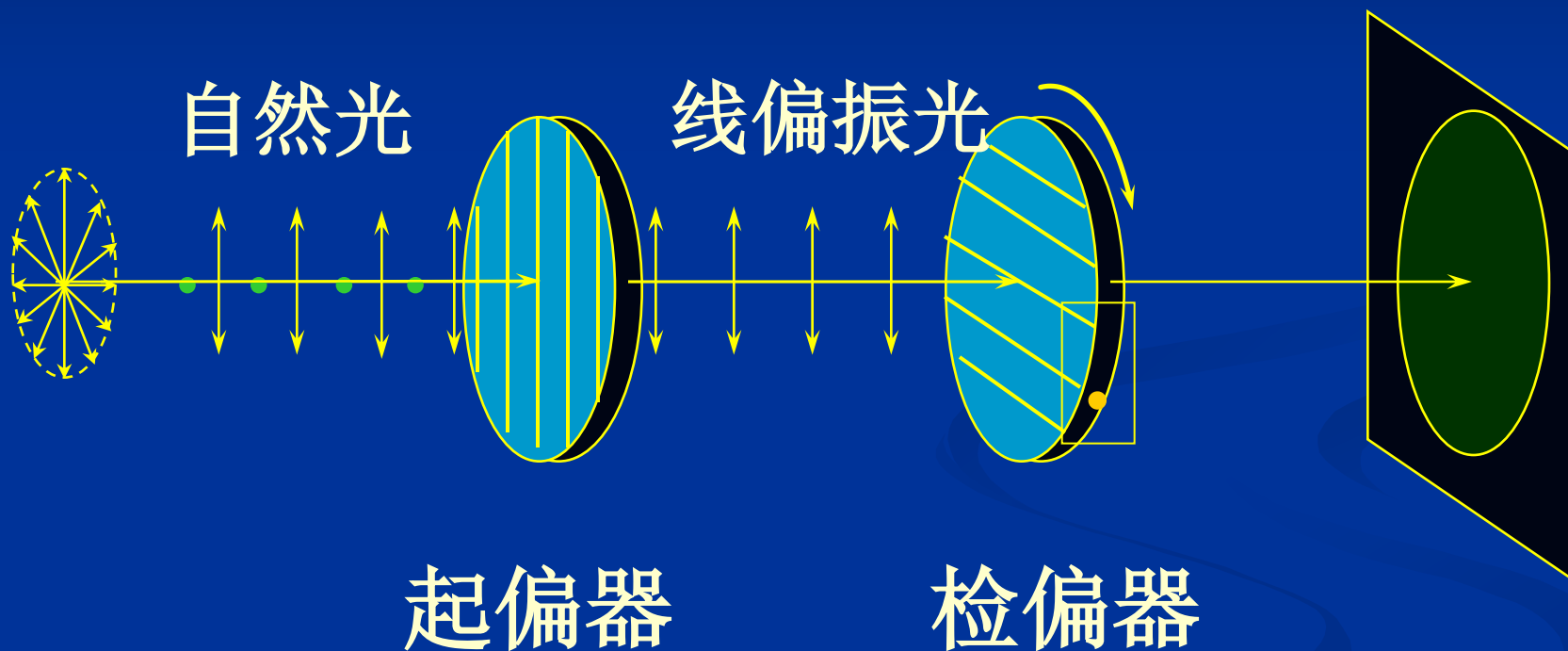
# 偏振光通过旋转的检偏器， 光强发生变化



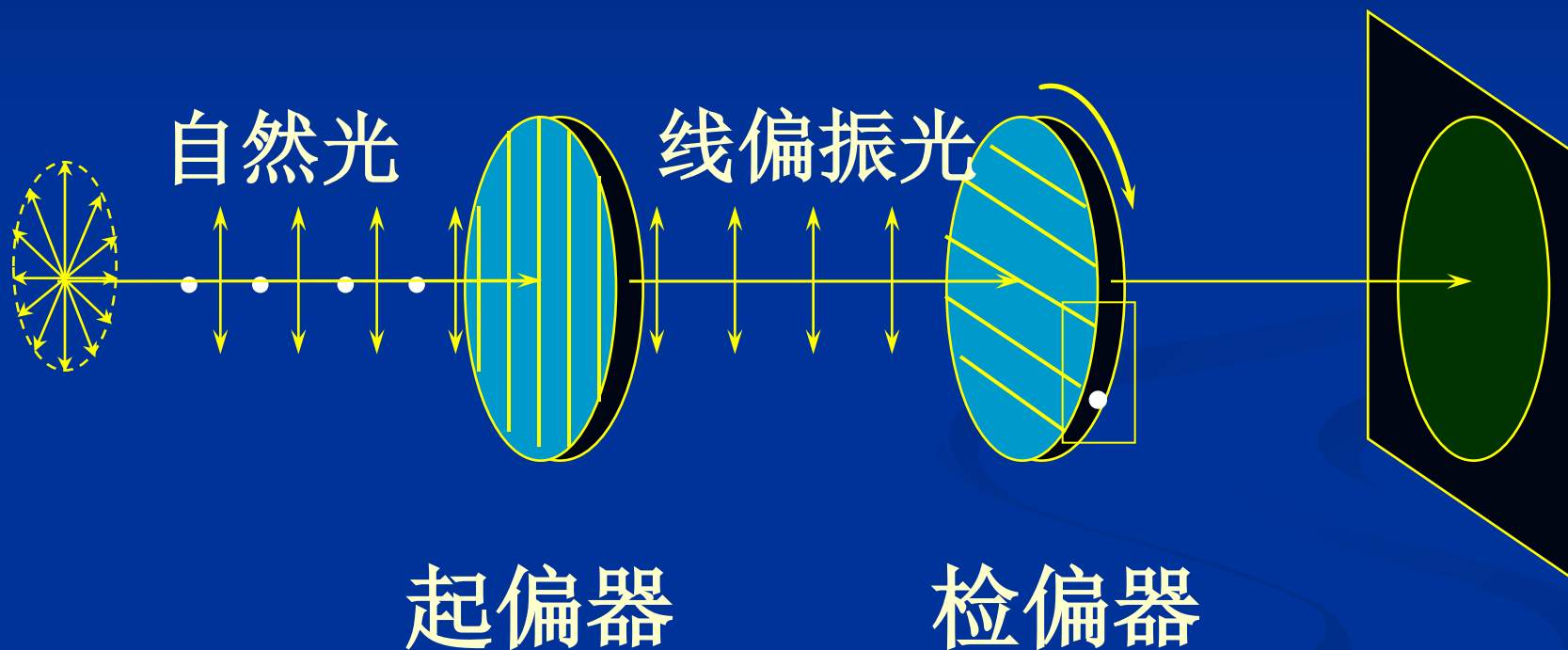
# 偏振光通过旋转的检偏器， 光强发生变化



# 偏振光通过旋转的检偏器， 光强发生变化

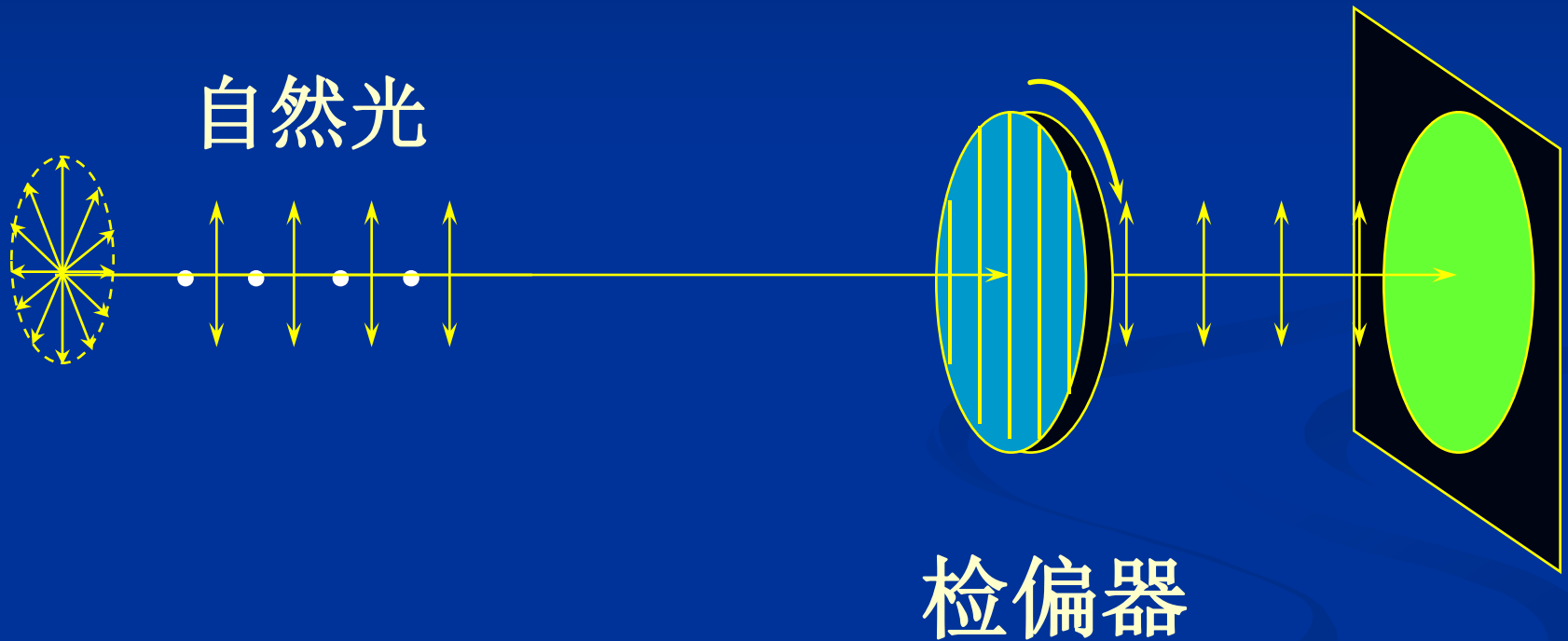


# 偏振光通过旋转的检偏器， 光强发生变化



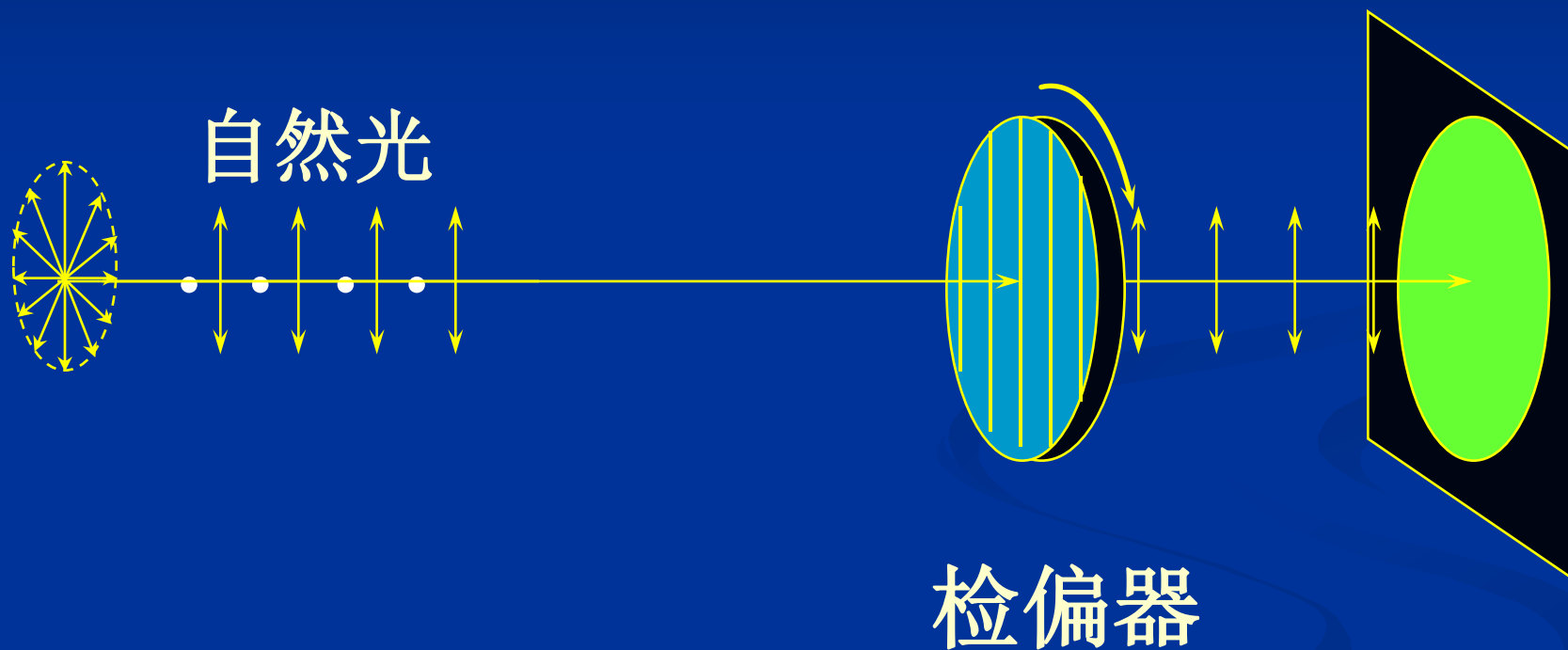
两偏振片的偏振化方向相互垂直      光强为零

# 自然光通过旋转的检偏器，光强不变

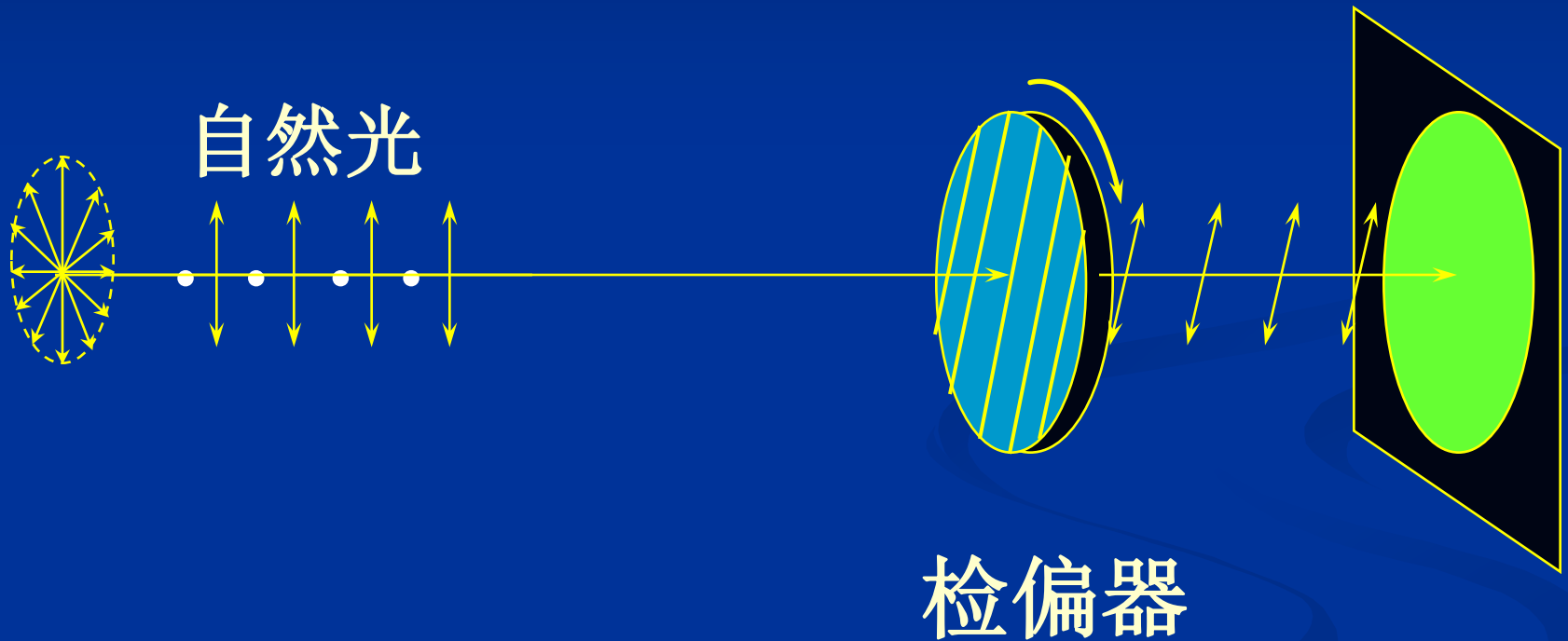




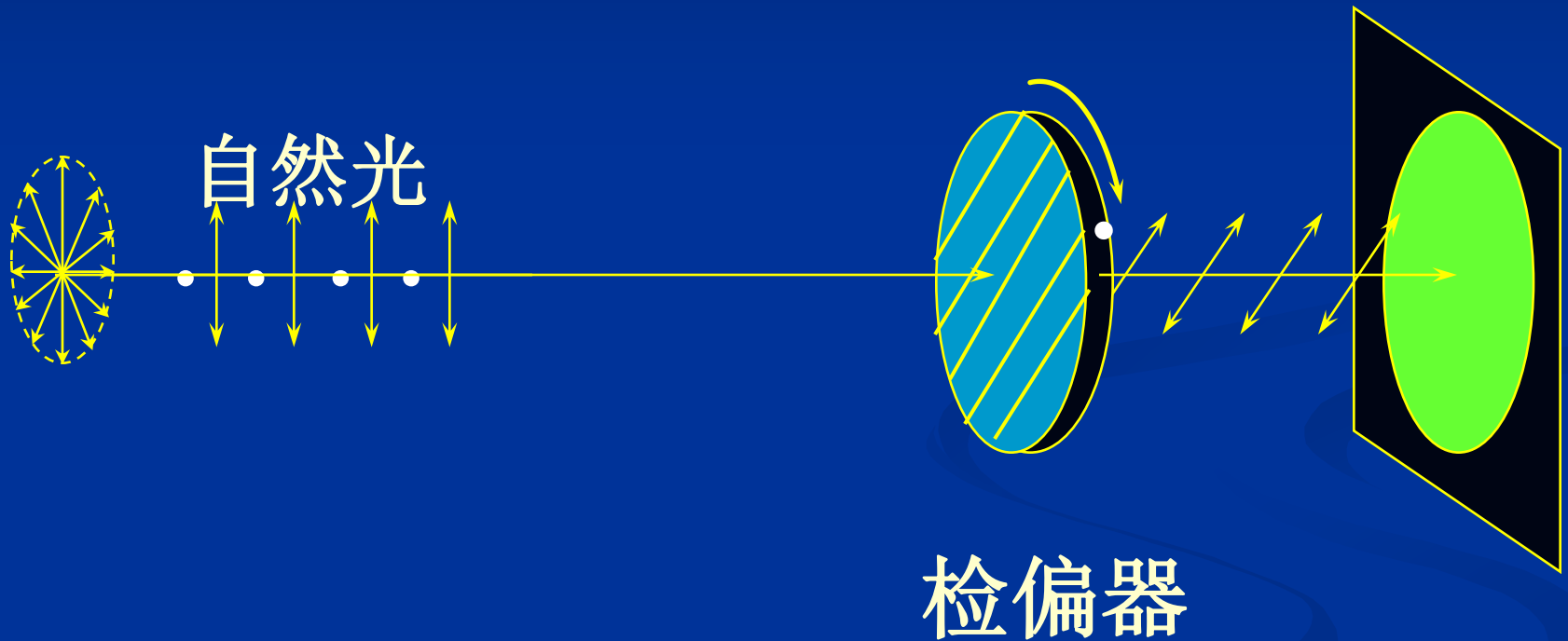
# 自然光通过旋转的检偏器，光强不变



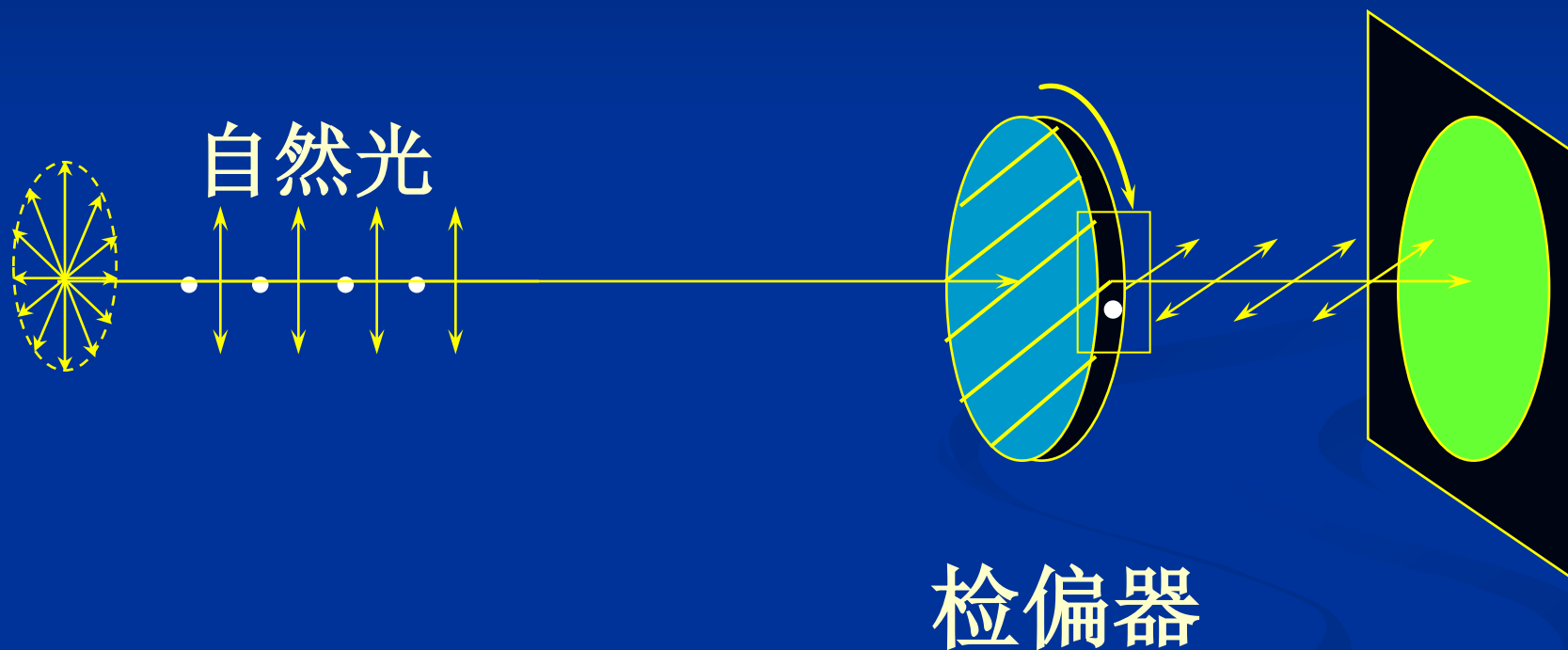
# 自然光通过旋转的检偏器，光强不变



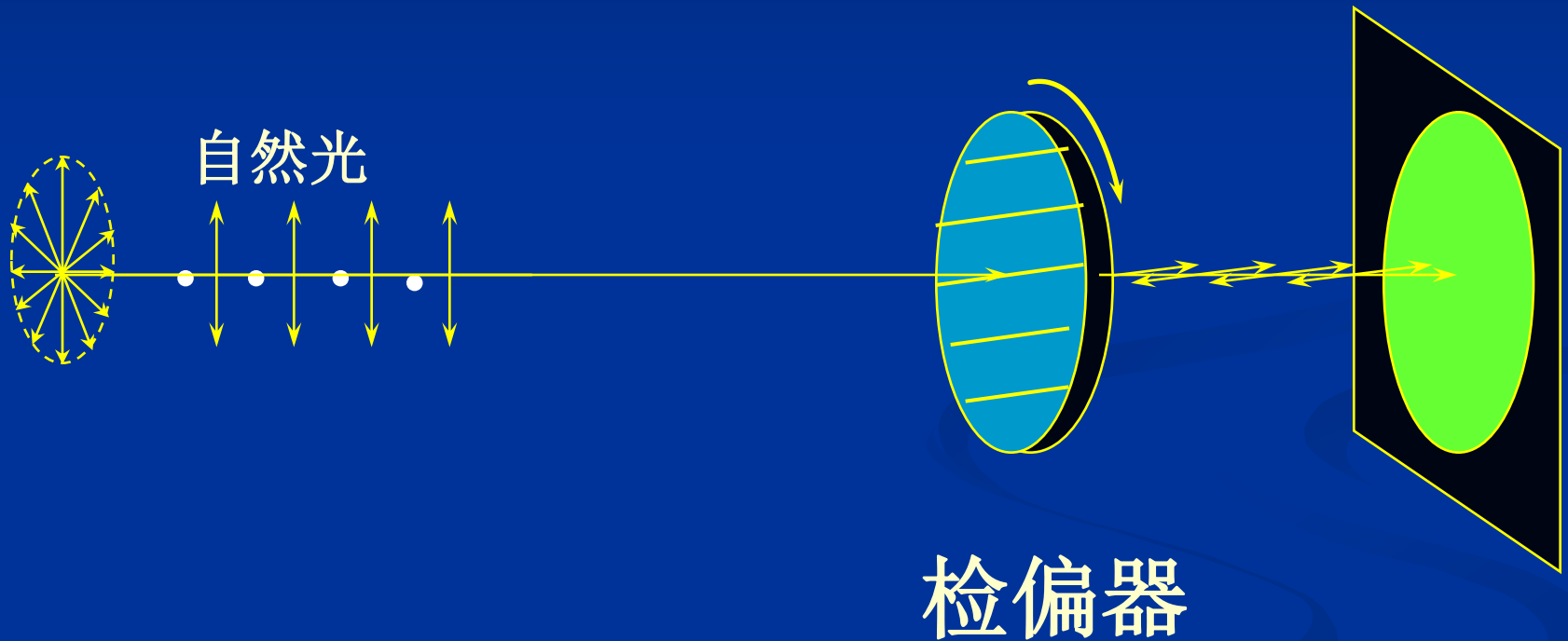
# 自然光通过旋转的检偏器，光强不变



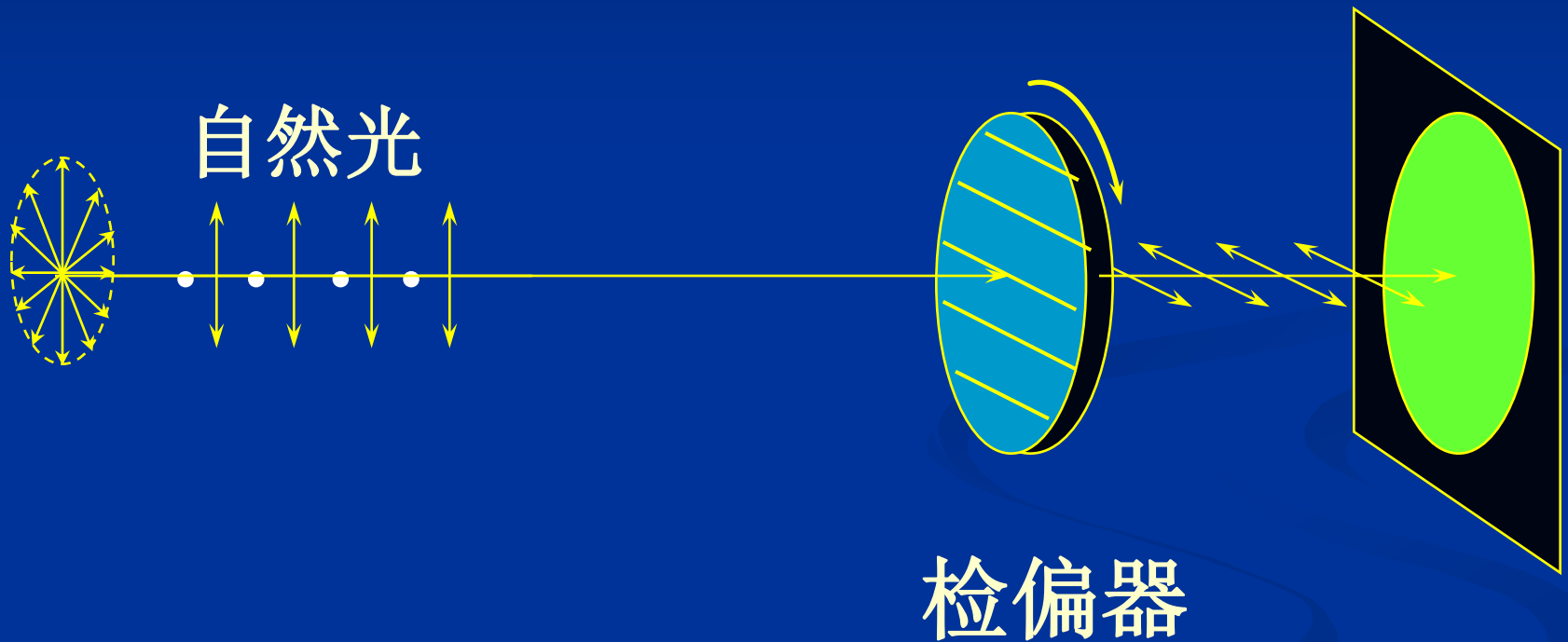
# 自然光通过旋转的检偏器，光强不变



# 自然光通过旋转的检偏器，光强不变

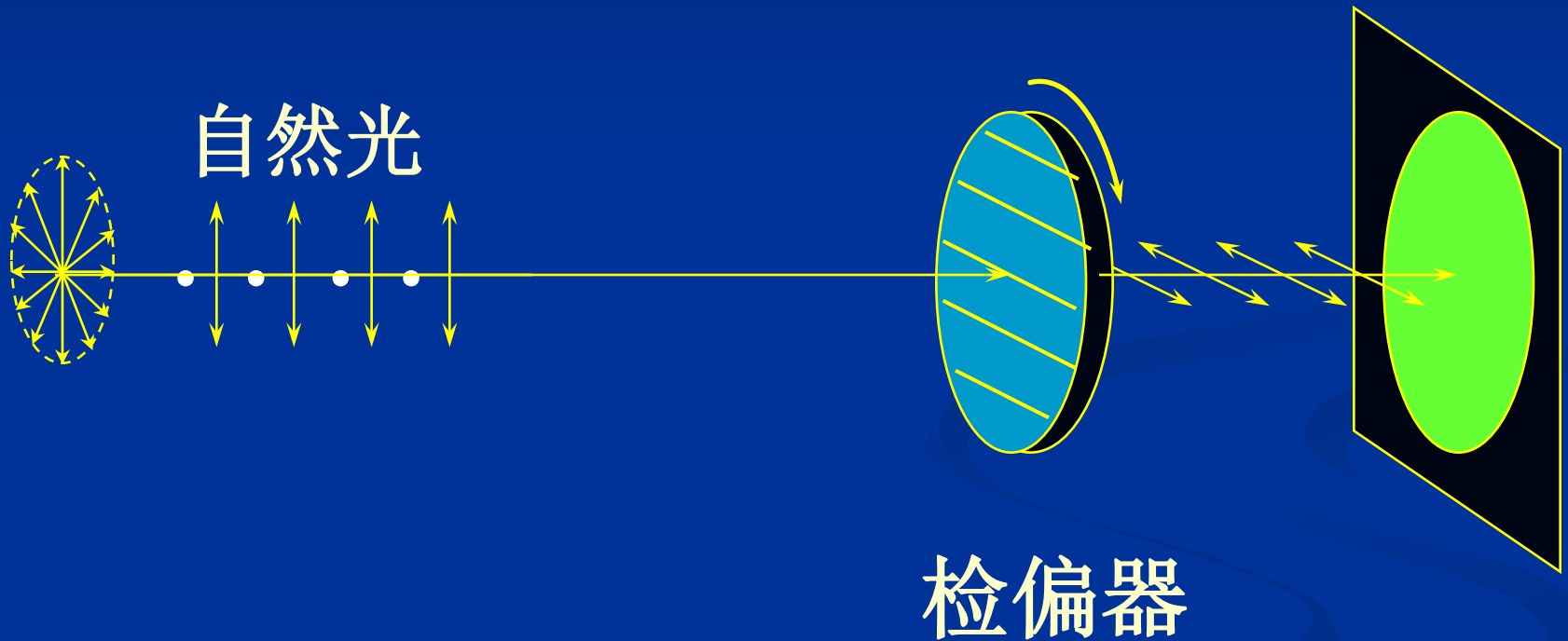


# 自然光通过旋转的检偏器，光强不变





# 自然光通过旋转的检偏器，光强不变

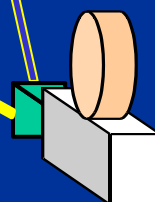
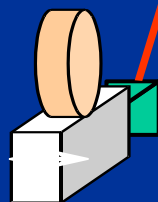


# 偏振片的应用

## 立体电影

1、**拍摄**：两个镜头从两个不同方向同时拍摄,制成电影胶片.

2、**放映**：左右两台放映机同步放映



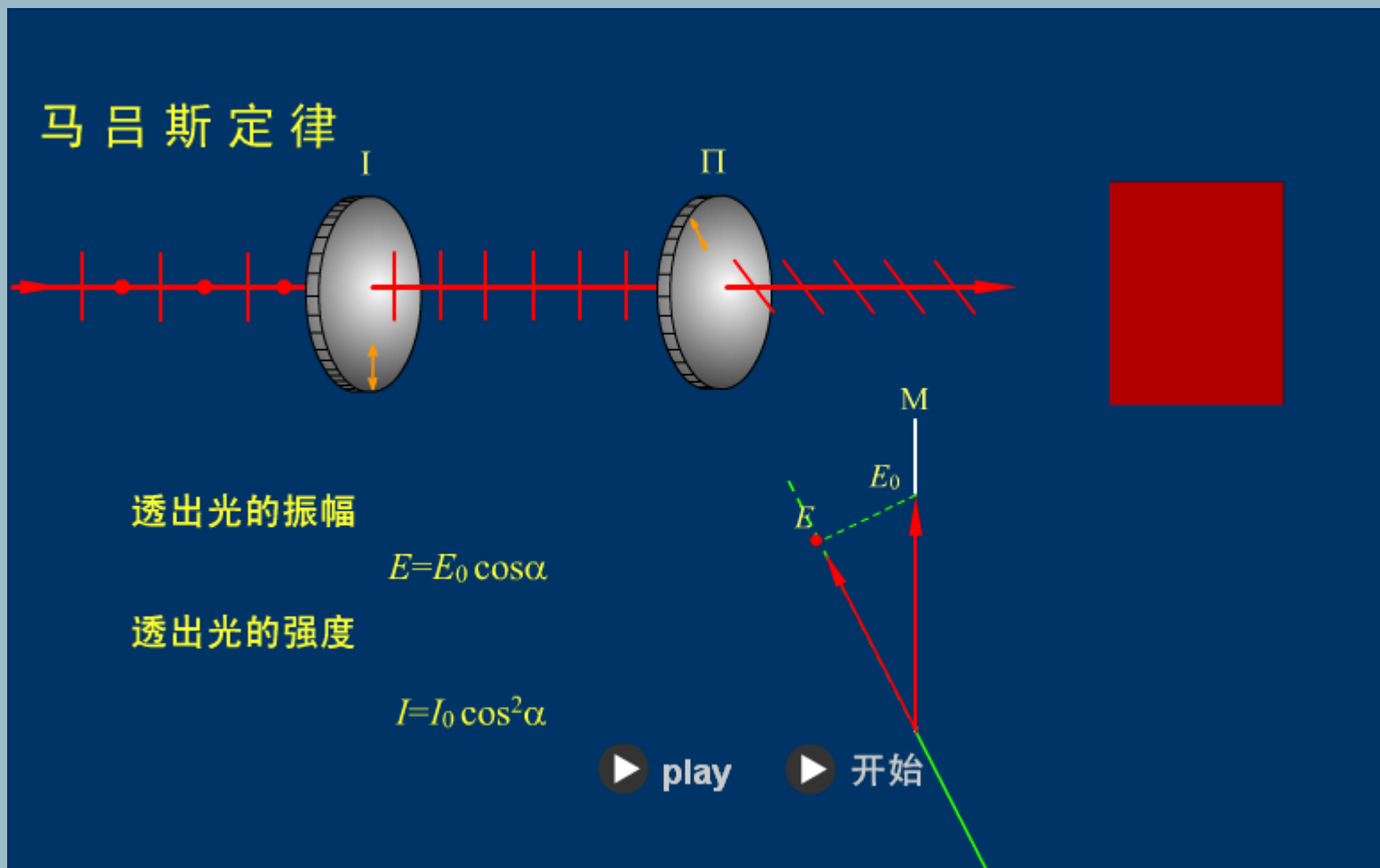
电影机前装**偏振片**  
两偏振片的偏振化方向**互相垂直**  
两幅图像**重叠**在银幕上.

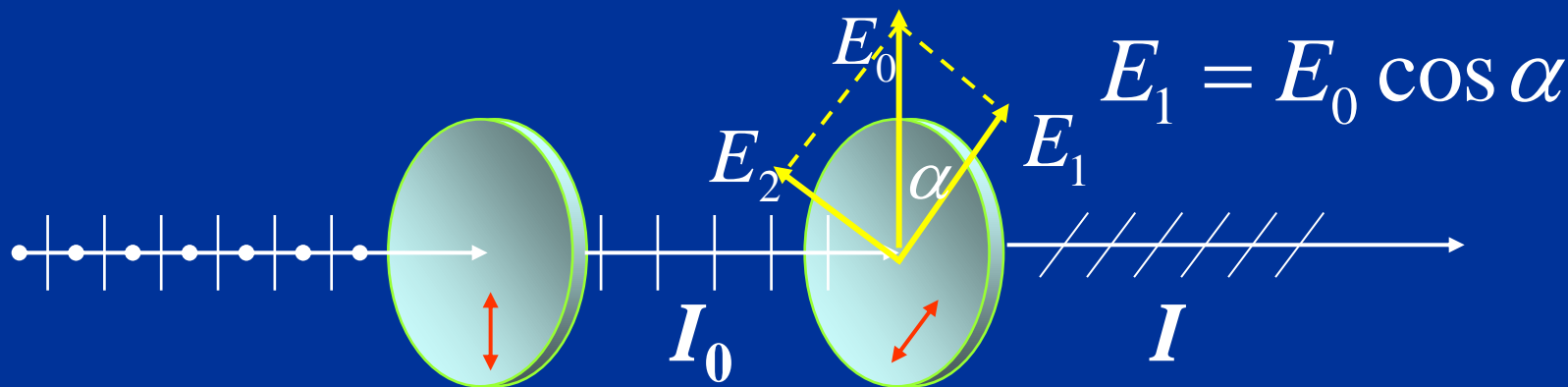
3、**观看：**观众用偏振眼镜观看，左眼只能看到左机映出的画面，右眼只能看到右机映出的画面，这样就会像直接观看那样产生立体感觉。



## 四. 马吕斯定律(Malus law)

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





**证明：**  $\because I_0 \propto E_0^2$  ,  $I \propto E_1^2$

$$\therefore \frac{I}{I_0} = \frac{E_1^2}{E_0^2} = \cos^2 \alpha \quad I = I_0 \cos^2 \alpha$$

当：  $\alpha = 0, \pi \rightarrow I = I_0$

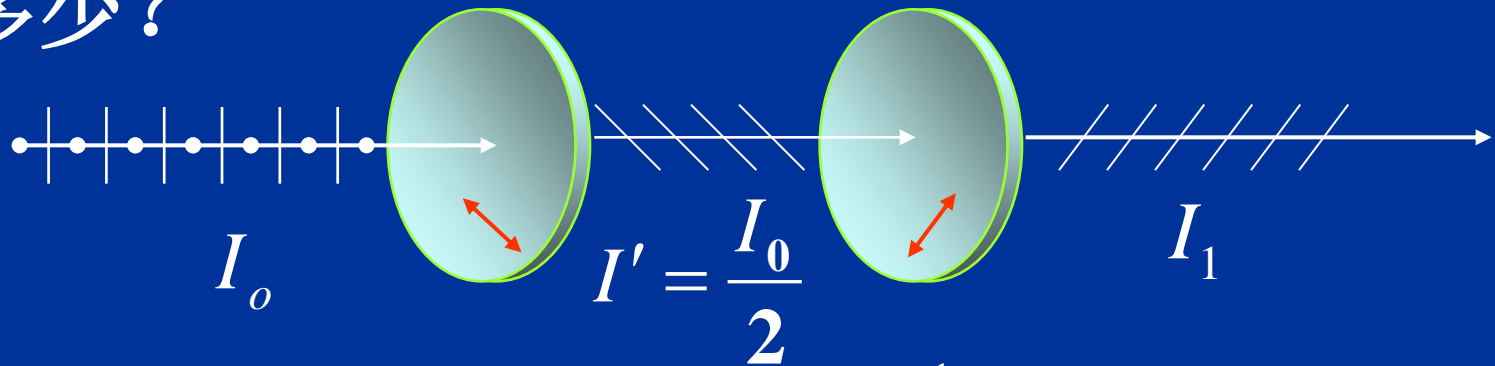
当：  $\alpha = \pi/2, 3\pi/2 \rightarrow I = 0$

马吕斯定律是对**偏振光**的无吸收而言的。

若是自然光 $I_0$ ，通过偏振片后， $I = I_0/2$ 。

例题：已知自然光通过两个偏振化方向相交 $60^\circ$ 的偏振片，透射光强为 $I_1$ ，今在这两偏振片之间再插入另一偏振片，它的偏振化方向与前两个偏振片的偏振化方向均夹 $30^\circ$ 角，则透射光强为多少？

解：



$$I_1 = I' \cos^2 \alpha = I' \cos^2 60^\circ = \frac{1}{4} I' \rightarrow I' = 4I_1$$

$$I'' = I' \cos^2 30^\circ = 4I_1 \cos^2 30^\circ = 3I_1$$

$$I = I'' \cos^2 30^\circ = 3I_1 \left( \frac{3}{4} \right) = \frac{9}{4} I_1$$



**例题** 一束光由自然光和线偏振光混合组成，当它通过一偏振片时，发现透射光的强度随偏振片的转动可以变化到5倍。求入射光中自然光和线偏振光的强度各占入射光强度的几分之几？

**解：** 设入射光强度： $I_0$ ； 通过偏振片后： $I$ ，  
自然光强度： $I_{10}$ ；  $I_1$ ，  
偏振光强度： $I_{20}$ ；  $I_2$

$$I_1 = \frac{1}{2} I_{10}$$

$$I_0 = I_{10} + I_{20} \quad I_2 = I_{20} \cos^2 \alpha$$

$$I = I_1 + I_2 = \frac{1}{2} I_{10} + I_{20} \cos^2 \alpha$$

$$I = I_1 + I_2 = \frac{1}{2} I_{10} + I_{20} \cos^2 \alpha$$

$$\alpha = 0 \text{ 时 } \rightarrow I = I_{\max} = \frac{1}{2} I_{10} + I_{20}$$

$$\alpha = 90^\circ \text{ 时 } \rightarrow I = I_{\min} = \frac{1}{2} I_{10}$$

$$I_{\max} = 5I_{\min} \rightarrow \frac{1}{2} I_{10} + I_{20} = 5 \times \frac{1}{2} I_{10}$$

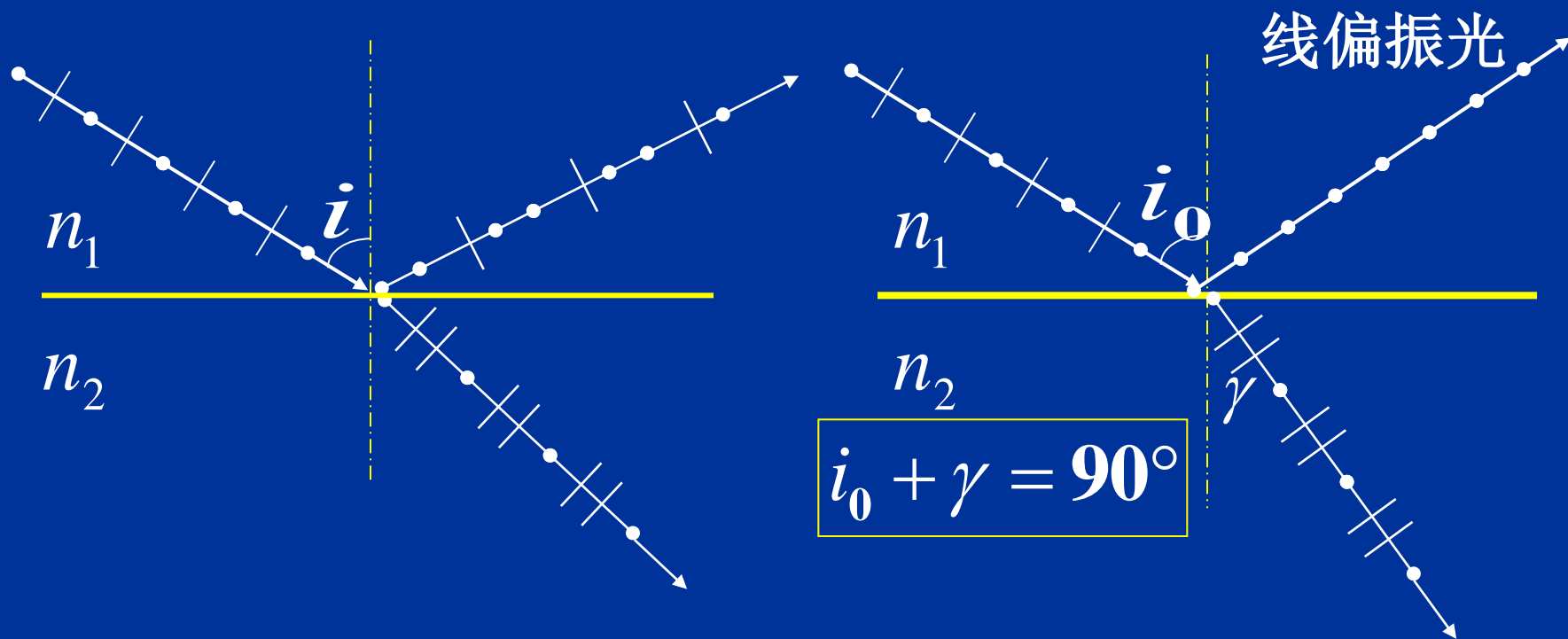
$$I_{20} = 2I_{10}$$

$$\frac{I_{10}}{I_0} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{I_{20}}{I_0} = \frac{2}{3}$$

# 15.11 反射和折射的偏振光

## 一. 反射和折射的起偏



- 1、反射光为光振动垂直入射面较强的部分偏振光
- 2、折射光为光振动平行入射面较强的部分偏振光

## 二、布儒斯特定律

布儒斯特角

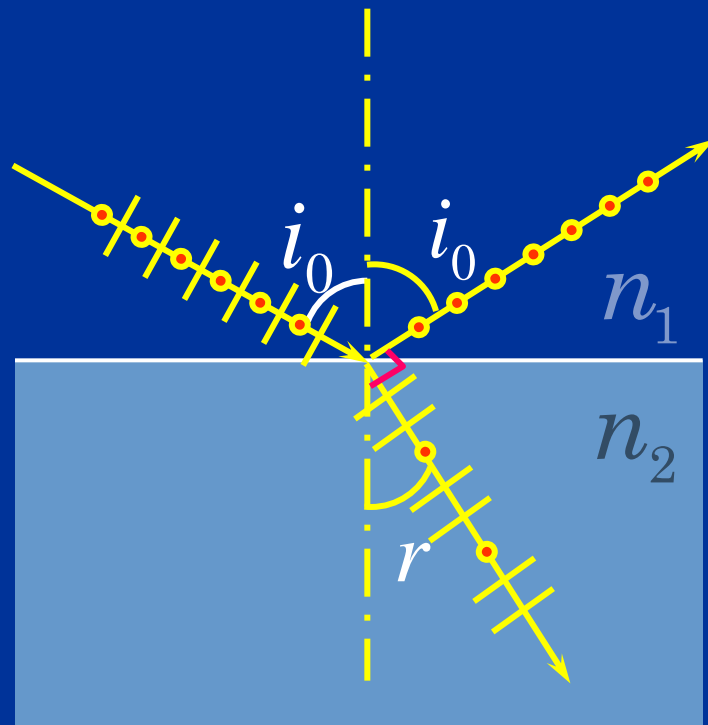
$$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$$

由折射定律  $\frac{\sin i_0}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$

布儒斯特定律

$$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin i_0}{\cos i_0} \Rightarrow \sin r = \cos i_0$$

$$i_0 + r = \frac{\pi}{2}$$

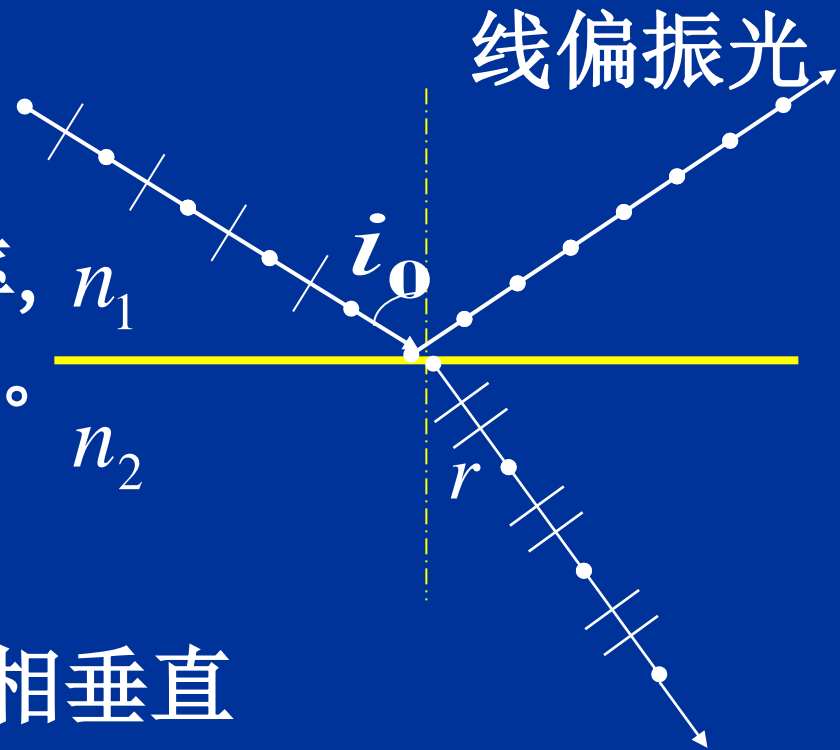


当入射角等于 $i_0$ 时，反射光和折射光相互垂直。

# 以布儒斯特角入射的特点

$$(1) \tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$$

$n_1$  为反射光的介质折射率,  $n_2$  为折射光的介质折射率。



$$(2) \quad i_0 + r = 90^\circ$$

-反射光线与折射光线互相垂直

(3) 反射光是垂直入射面振动的线偏振光

折射光是平行入射面振动占优的部分偏振光

(4) 利用布儒斯特定律可测定不透明介质的折射率



有反射光干扰的橱窗



在照相机镜头前加偏振片消除了反射光的干扰





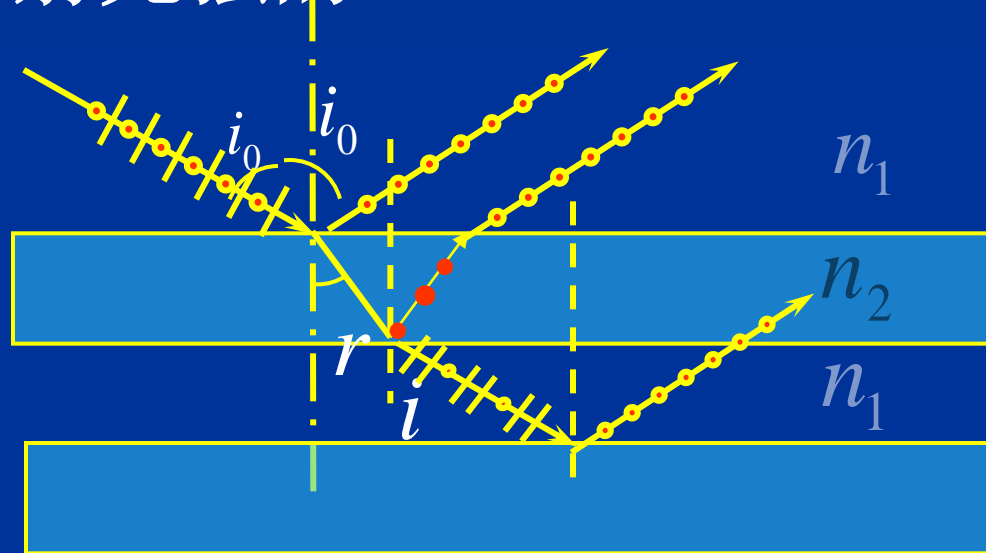
图例三



图例四

### 3、玻璃片堆的起偏

通常，反射的线偏光的光强仅占入射光强的15%，而折射的部分偏光的光强约占入射光强的85%。



• 玻璃  $n_2=1.5$  ,

• 水  $n_2=1.33$  ,

$$n_1 \sin i_0 = n_2 \sin r$$

$$n_2 \sin r = n_1 \sin i$$

$$\Rightarrow i = i_0$$

$$\because \sin i_0 = \cos r$$

$$\therefore \tan r = \frac{n_1}{n_2}$$

$r$ 也是布儒斯特角。

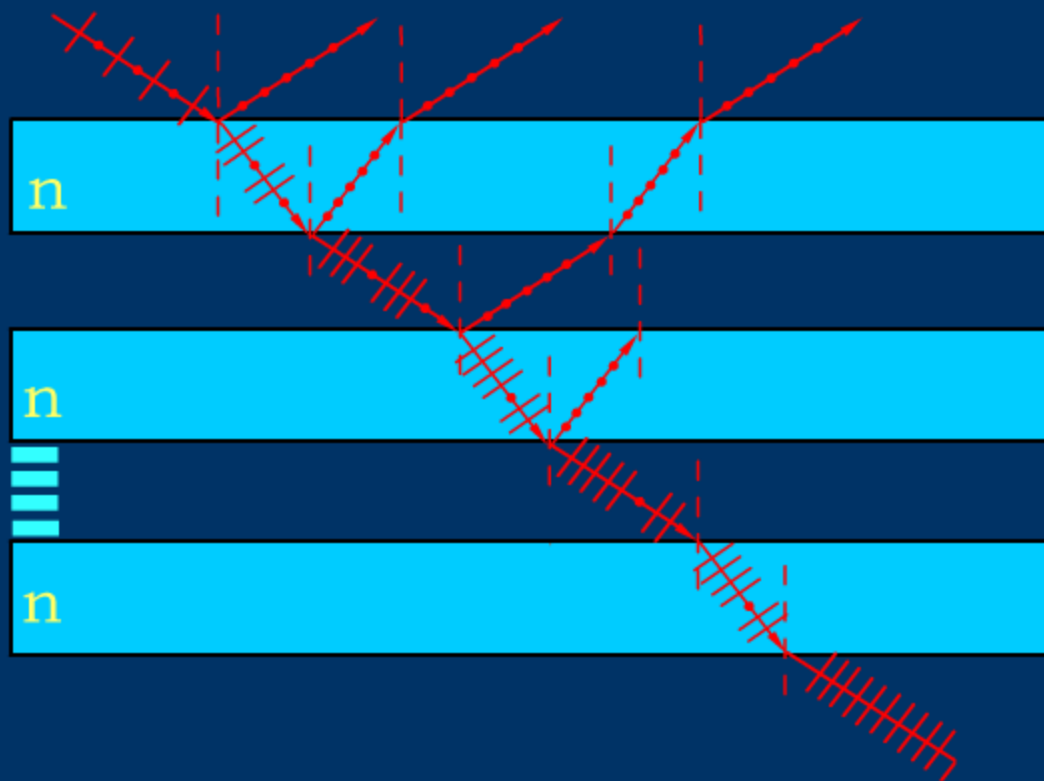
$$i_0 = 56.3^\circ$$

$$i_0 = 53.1^\circ$$

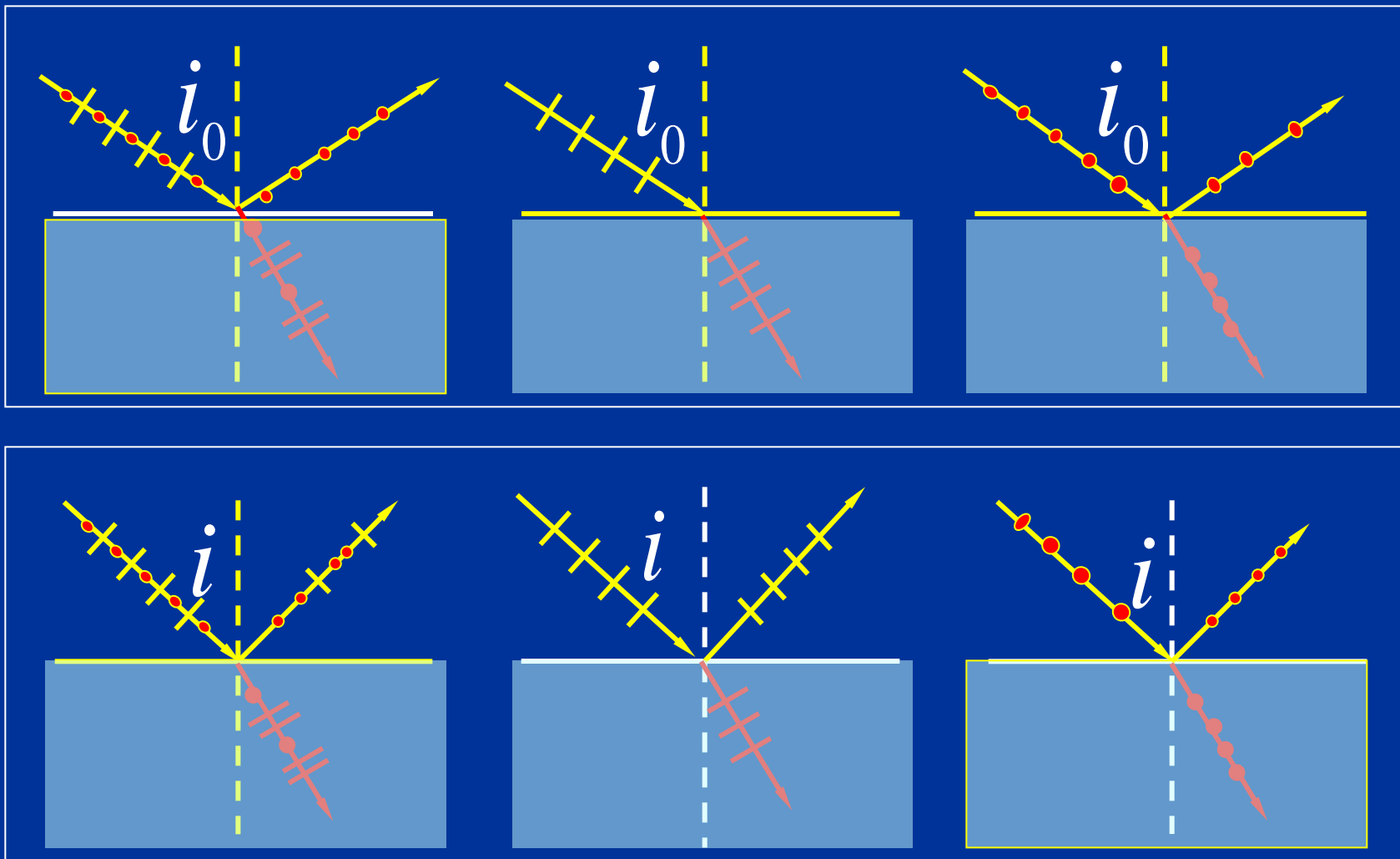


入射光为单色自然光  
(入射角为布儒斯特角)

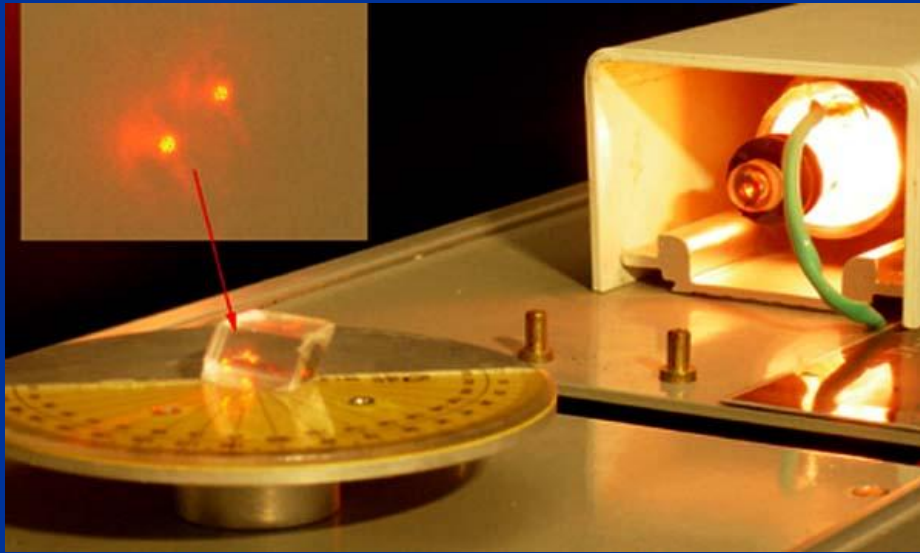
反射光为线性偏振光



例题：画出反射光和折射光的偏振化状态。

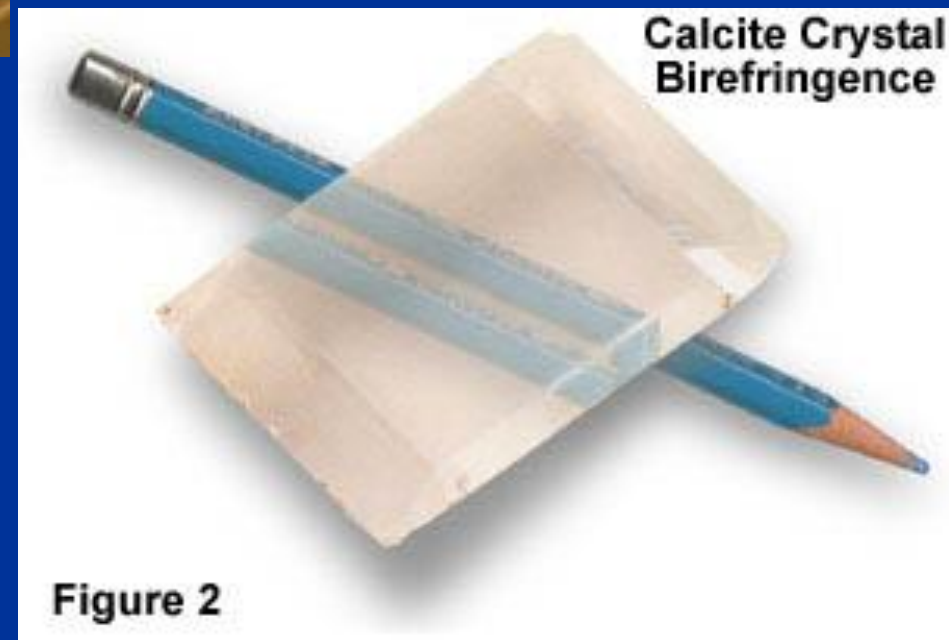


## 15.12 双折射现象

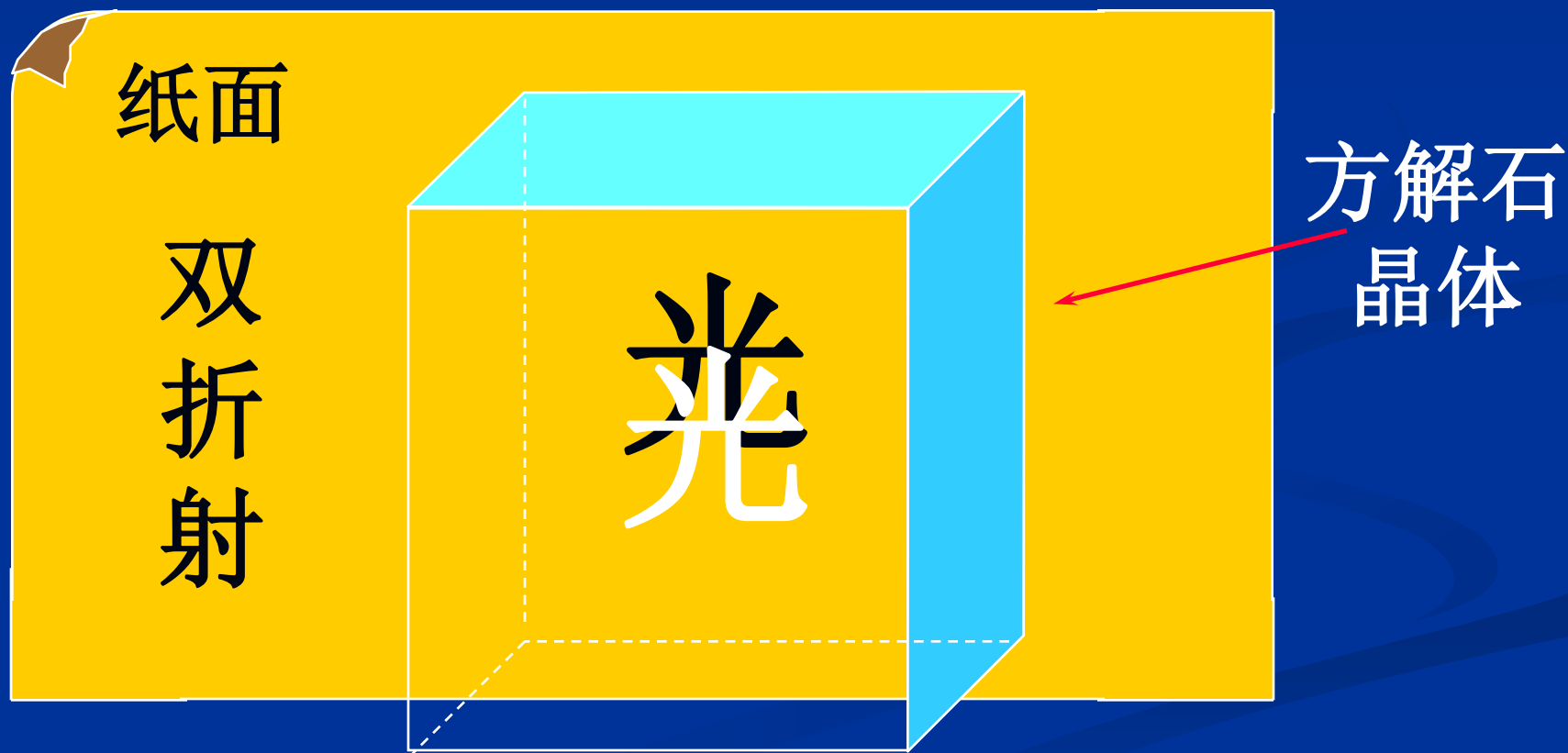


方解石晶体  
双折射现象  
( $\text{CaCO}_3$ )

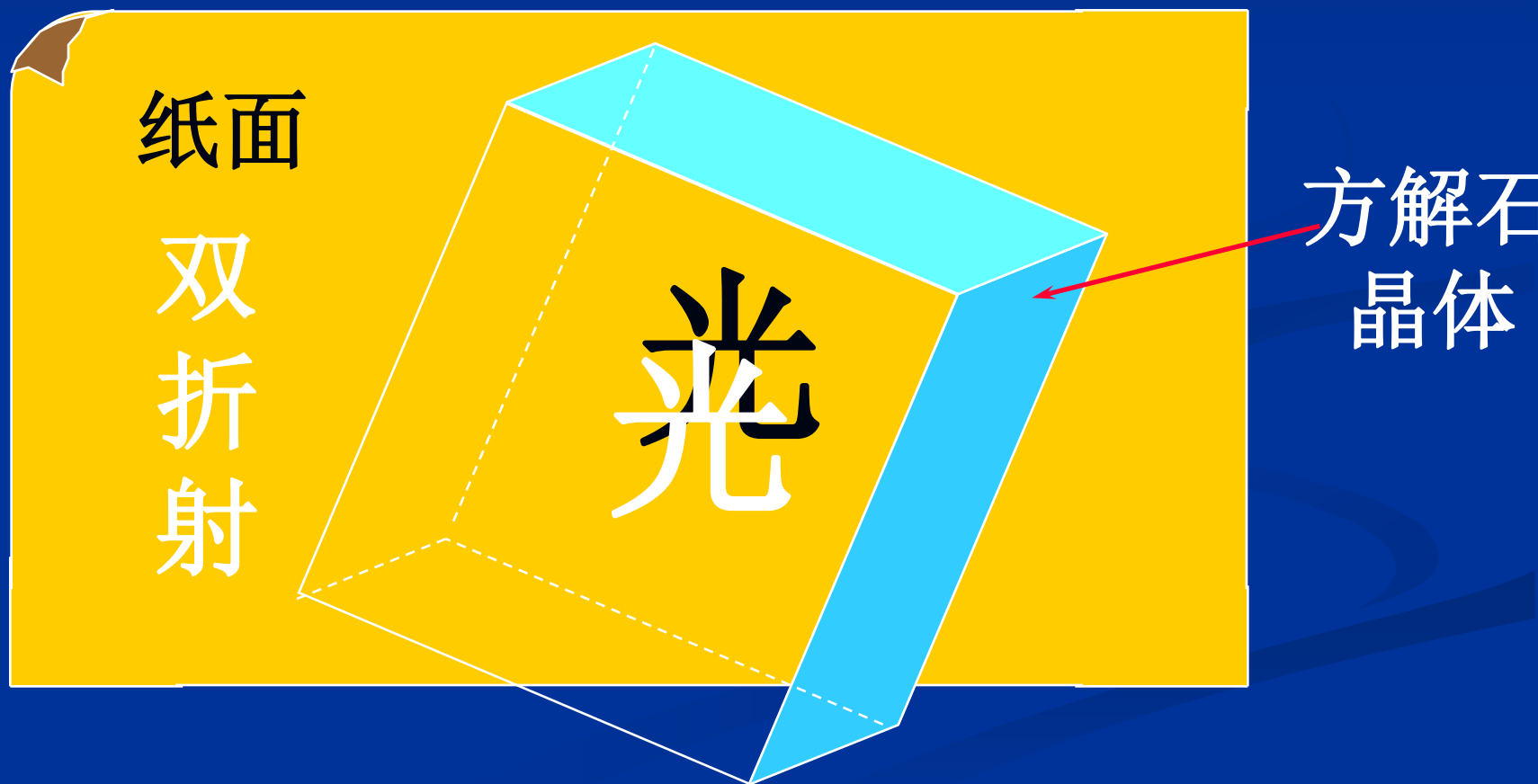
**一、双折射现象：**  
一束光进入某种晶体后会出现两束折射光的现象。



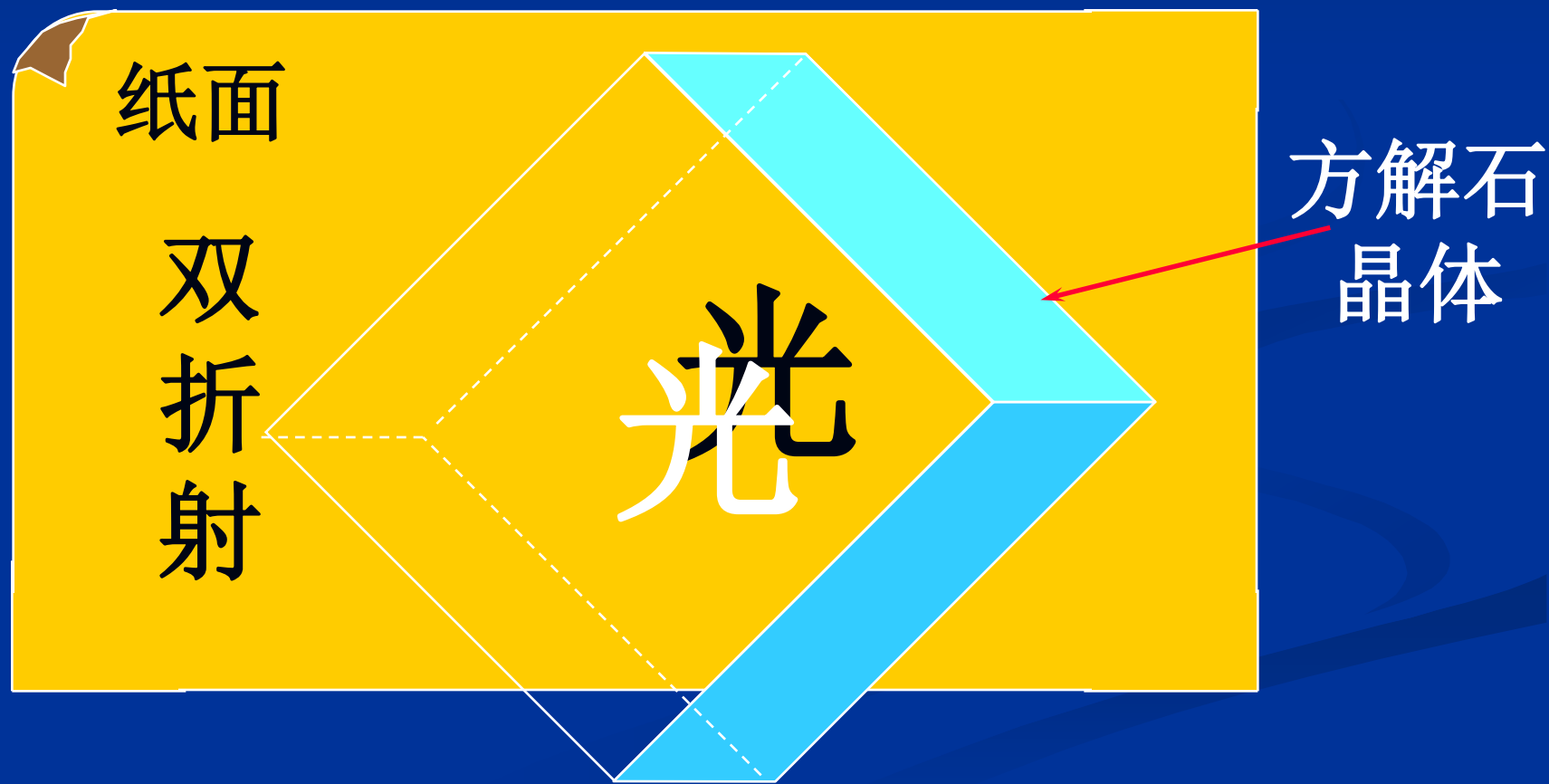
当方解石晶体旋转时  
 $o$ 光不动， $e$ 光围绕 $o$ 光旋转



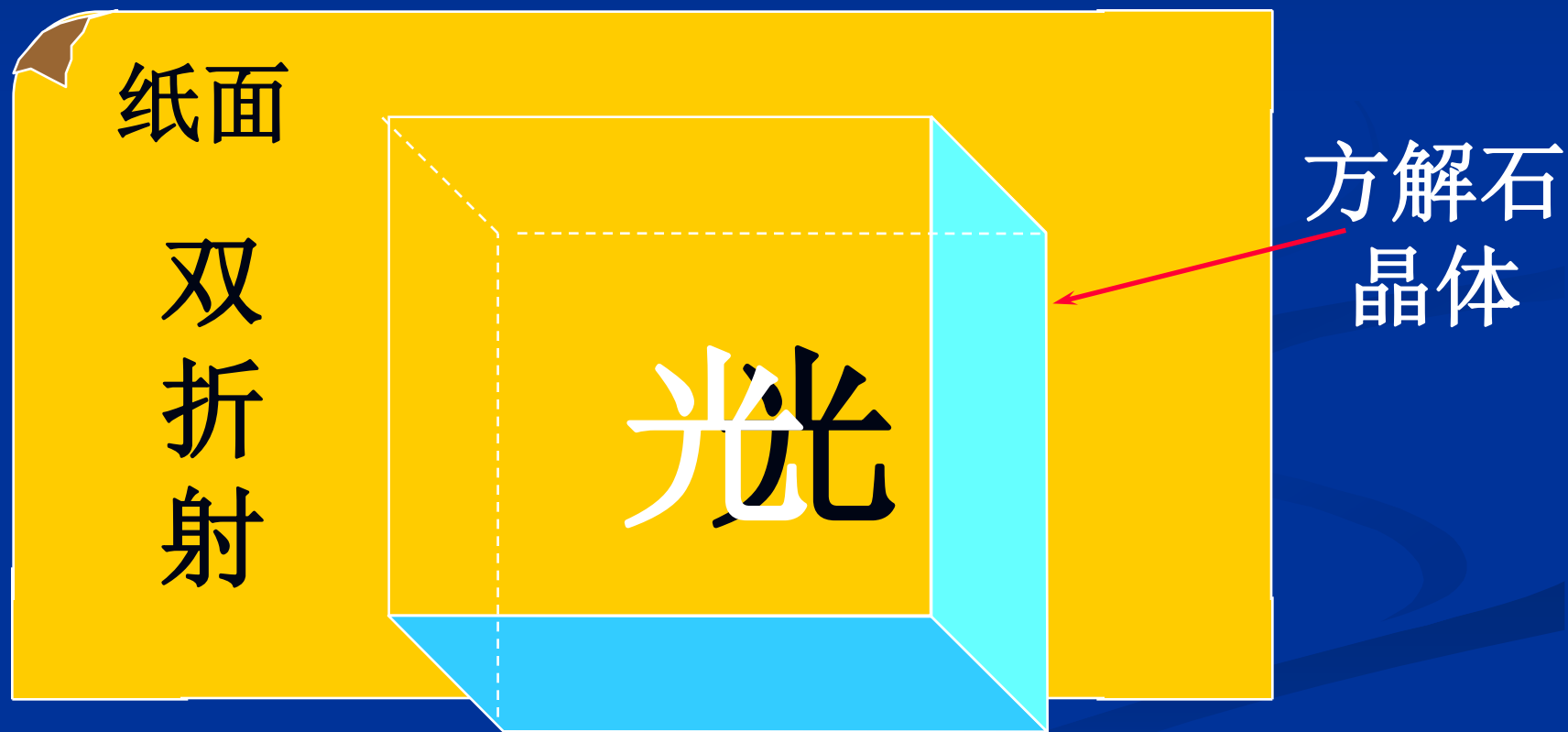
当方解石晶体旋转时  
 $o$ 光不动， $e$ 光围绕 $o$ 光旋转



当方解石晶体旋转时  
 $o$ 光不动， $e$ 光围绕 $o$ 光旋转



当方解石晶体旋转时  
 $o$ 光不动， $e$ 光围绕 $o$ 光旋转



## 二. 寻常光和非常光

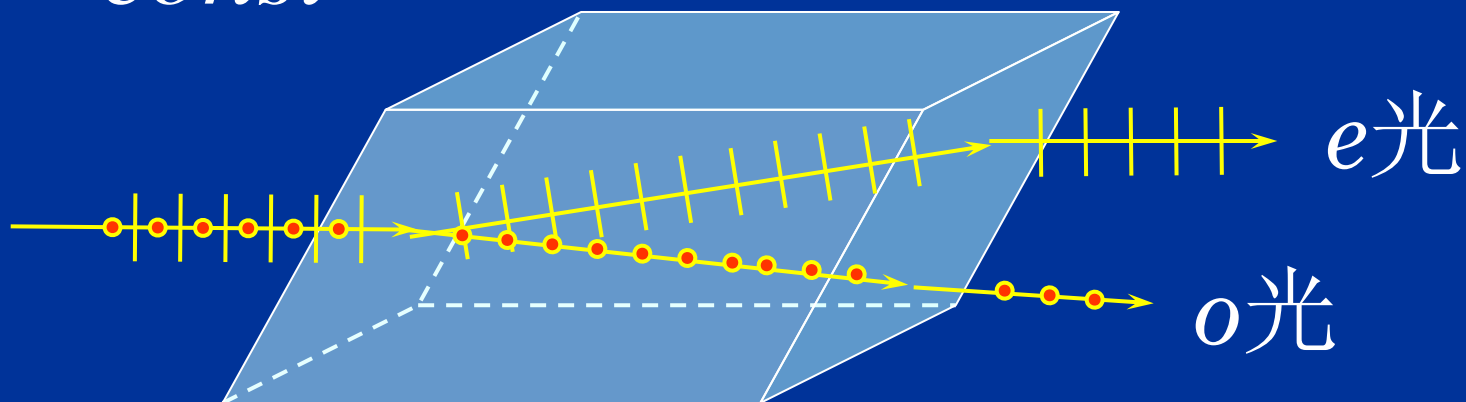
寻常光，简称 *o* 光。

其折射光服从折射定律；

沿各方向光的传播速度相同；

各向折射率  $n_o$  相同；且在入射面内传播；

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{const}$$





非常光，简称e光

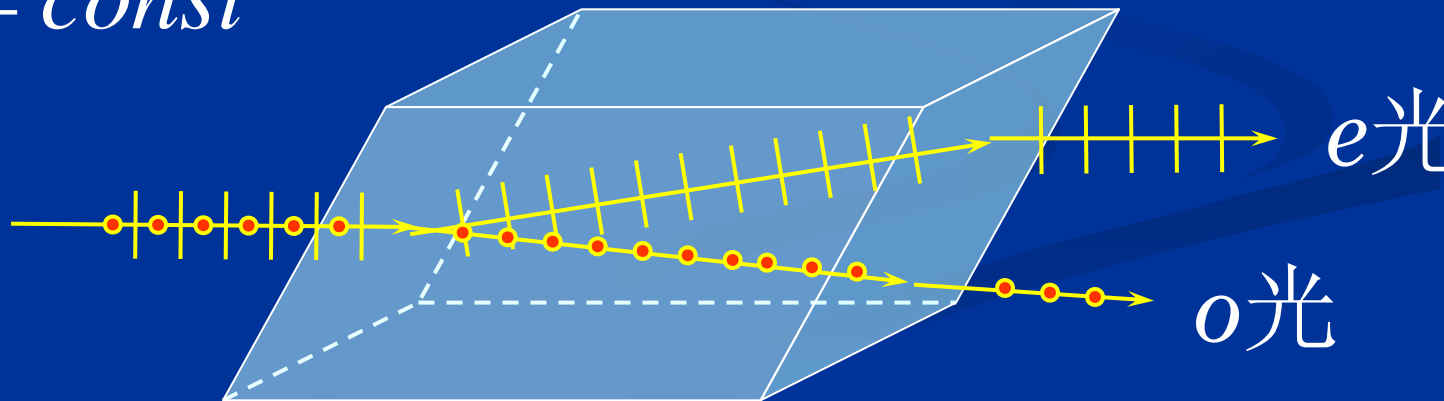
另一束折射光不服从折射定律；

沿不同方向的光的传播速度不相同，

各向折射率  $n_e$  不相同，

并且不一定在入射面内传播，

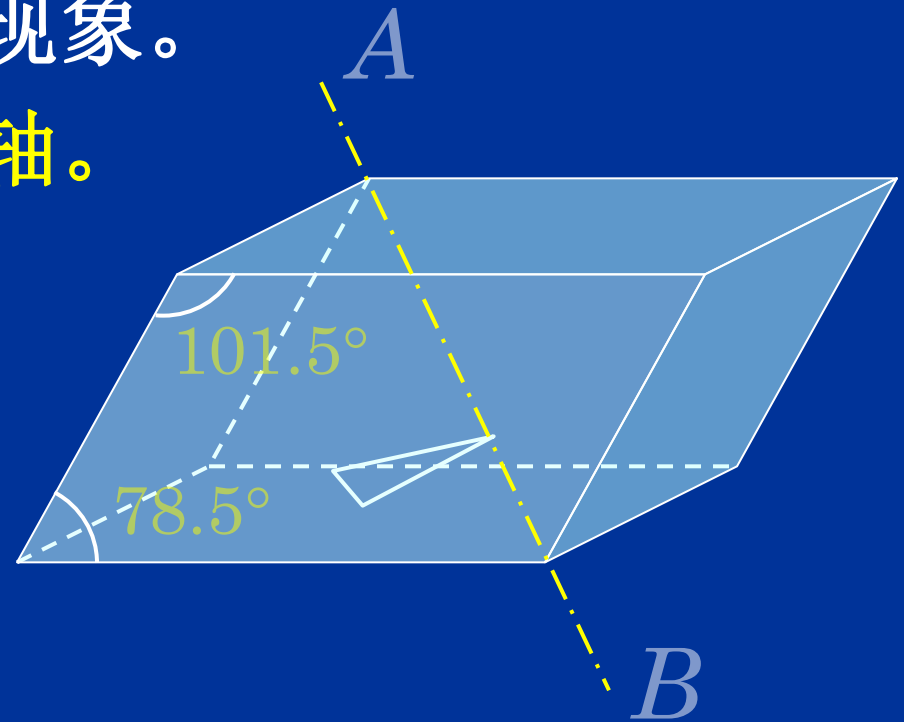
$$\frac{\sin i}{\sin r} \neq \text{const}$$



### 三、晶体的光轴

在双折射晶体内存在一个固定的方向，沿该方向 $o$ 光、 $e$ 光的传播方向相同、速度相同，折射率相同，不发生双折射现象。

这个方向称为晶体的光轴。



- 平行于光轴方向

$$n_o = n_e ,$$

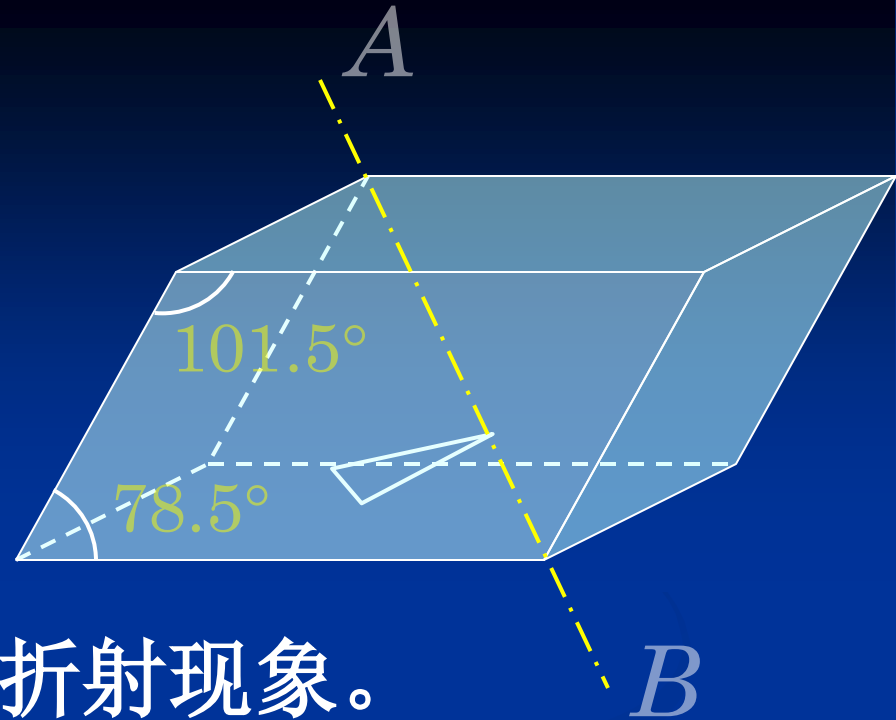
$o$ 、 $e$ 光重合，不产生双折射现象。

- 垂直于光轴方向

$n_o$ 、 $n_e$ 相差最大， $o$ 、 $e$ 光偏离最大。

**主截面(principal section)**

——包含光轴和晶面法线的平面。

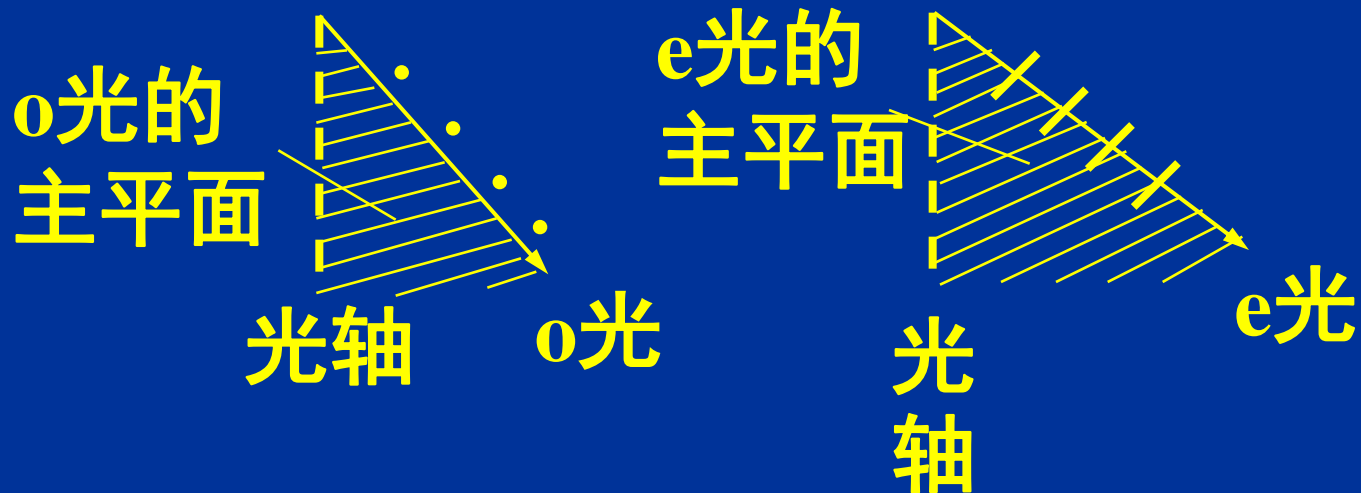


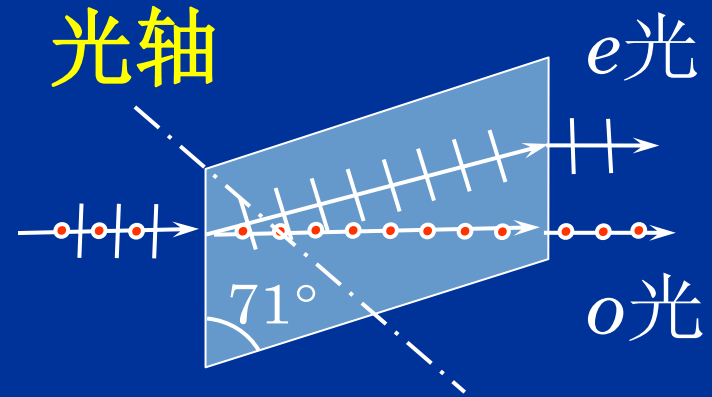
具有一个光轴的晶体，称为**单轴晶体**。例如：方解石、石英等。

具有两个光轴的晶体，称为**双轴晶体**。例如：云母、硫黄等。

#### 四、主平面

晶体内任一光线和光轴所决定的平面称为此光线的主平面。





- $o$  光、 $e$  光都有各自的主平面。

- $o$  光的振动方向与它的主平面垂直 **方解石**

- $e$  光的振动方向与它的主平面平行。

- 在一般情况下， $o$  光的主平面与  $e$  光的主平面之间有一不大的夹角，此时两光矢量的振动方向不完全互相垂直。

**注：**  $o$  光、 $e$  光在双折射晶体内部才有意义。

## 五.正晶体、负晶体

$$n = \frac{c}{v}$$

$$n_o < n_e \quad v_o > v_e \quad \text{——正晶体。}$$

如石英晶体  $n_o = 1.543$ ,  $n_e = 1.552$

$n_e$ 为垂直光轴方向的折射率，称为主折射率。

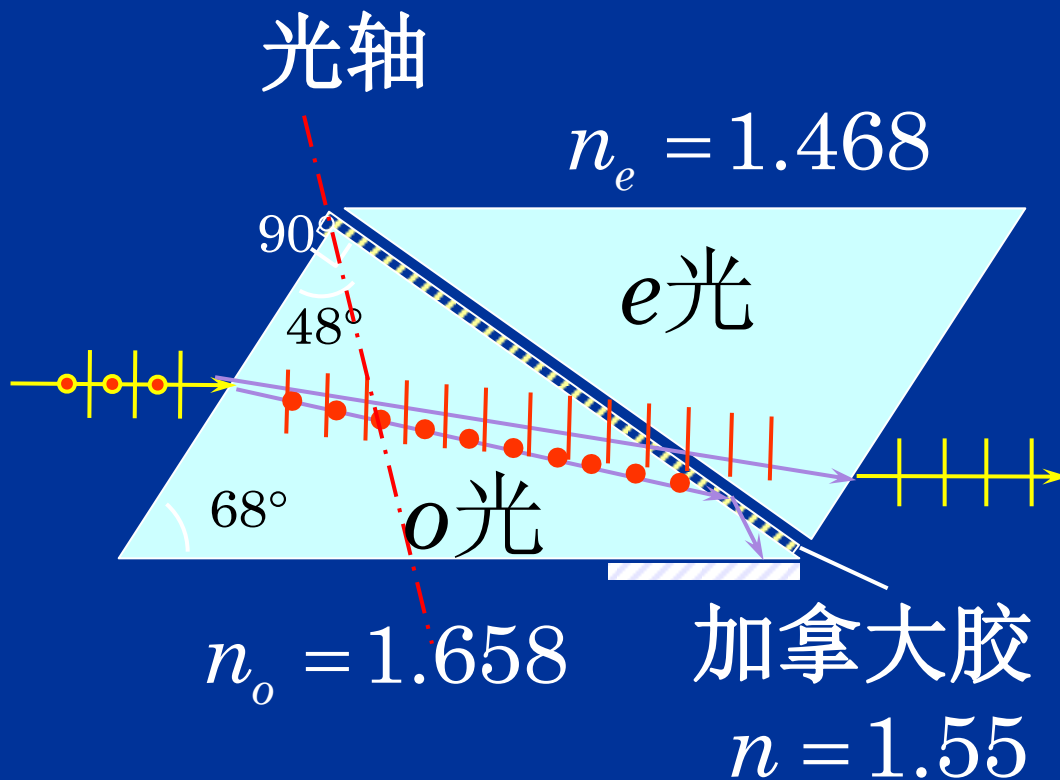
$$n_o > n_e \quad v_o < v_e \quad \text{——负晶体。}$$

如方解石晶体  $n_o = 1.658$ ,  $n_e = 1.468$

其他方向不能用主折射率。

# 尼克尔棱镜

利用双折射获得线偏振光。



对于 $o$ 光  $n_o > n$  产生全反射

对于 $e$ 光  $n_e < n$  可以透过，则获得偏振光。

尼克尔棱镜比较贵。多用于高级光学实验。

光轴

光轴垂直于晶体表面

光轴平行于晶体表面

光轴与晶体表面成角度

