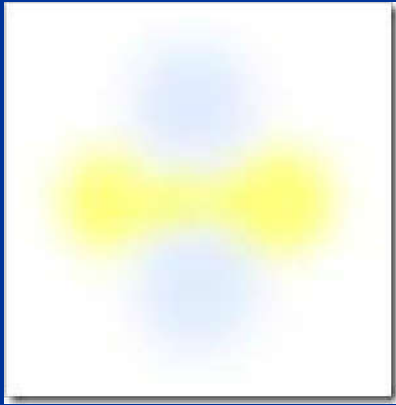


偏振光在自然界广泛存在，雨后闪烁的绿叶，粼粼的波光，甚至青蛙湿润的皮肤，乃至我们所用的液晶显示器，都散发着偏振光。



人类的眼睛，能弱弱地感受偏振光

而比我们更敏锐地看到偏振光的，是虾米，苍蝇，乌贼，屎壳郎。

自然界还有很多动物，也在分析着偏振光的信息。蜜蜂正根据天空的偏振光决定交际舞的舞姿；蜻蜓正在根据水面反射的偏振光选择最佳产卵场所；

光弹性



12.8 偏振光 马吕斯定律

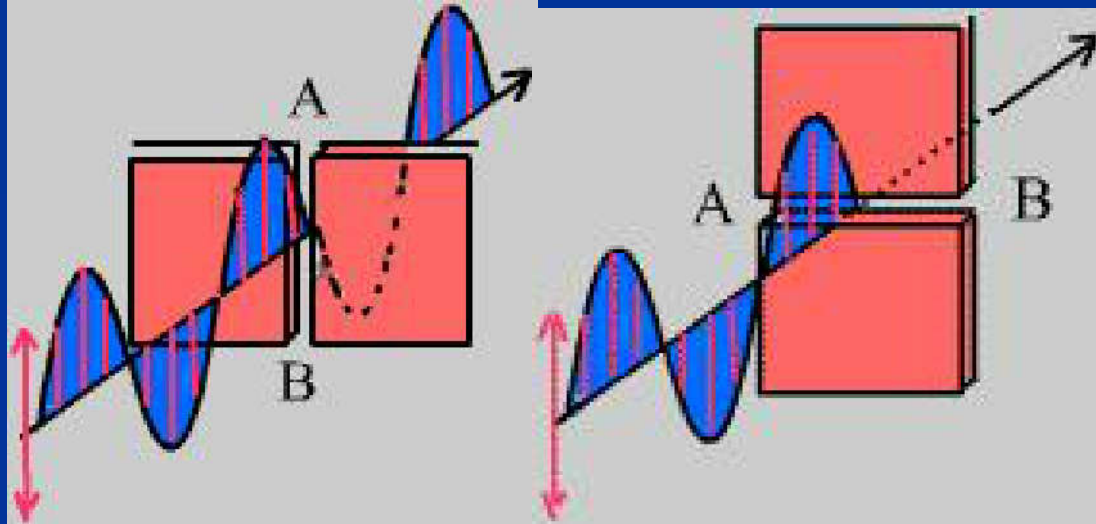
一、光的偏振性

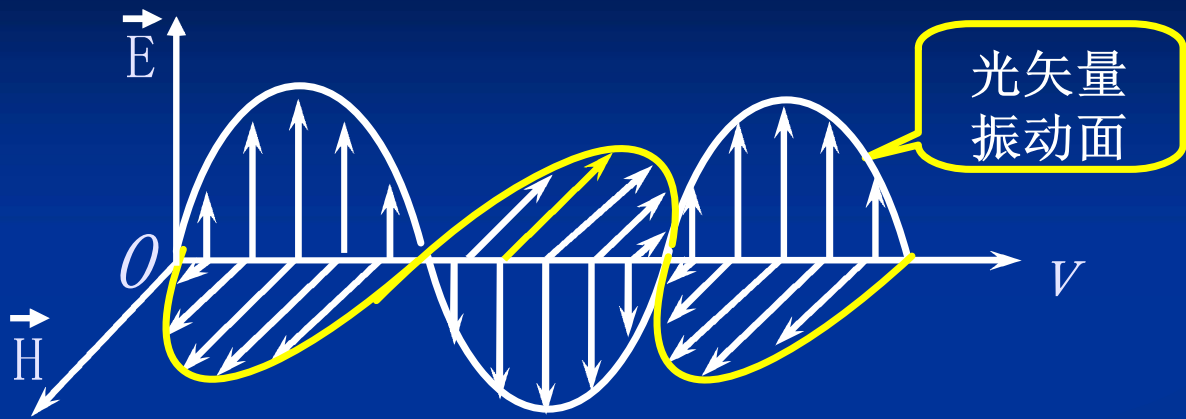
1、横波和纵波的区别——偏振性

- 纵波：振动方向与传播方向一致，不存在偏振问题；
- 横波：振动方向与传播方向垂直，存在偏振问题。

定义： 振动方向对于传播方向的不对称性称为偏振性。

说明： 只有横波才具有偏振现象，偏振现象是横波区别于纵波的最明显的特征。





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。

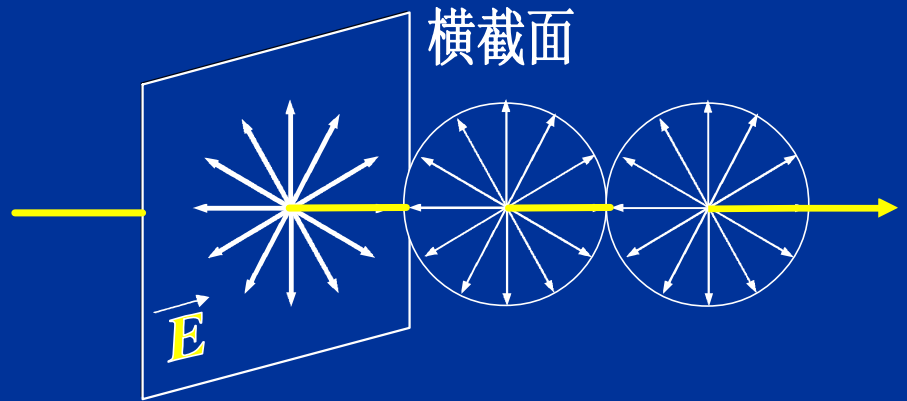
光的偏振：光振动在某一方向的振幅显著较大，或只在某一方向上有光振动。

二、偏振态的分类

1、**自然光**:各个方向上光振动振幅相同的光，称为自然光。

特点:

- 在所有可能的方向上，光矢量的振幅都相等；
- 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**或**线偏振光**。

线偏振光的表示



光矢量E垂直于纸面

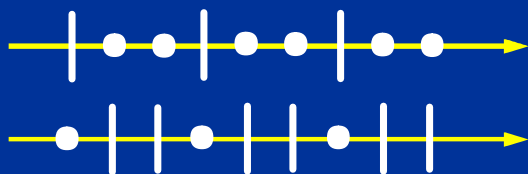


光矢量E平行于纸面

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

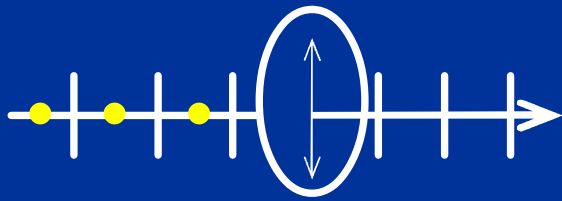
- 定义：光波中不同方向上的光振动振幅不等，在某一方向上振幅最大，而与之垂直的方向上的振幅最小，则称为**部分偏振光**。
- 特点：部分偏振光两垂直方向光振动之间无固定的相位差。



三、偏振片 起偏和检偏

1、基本概念

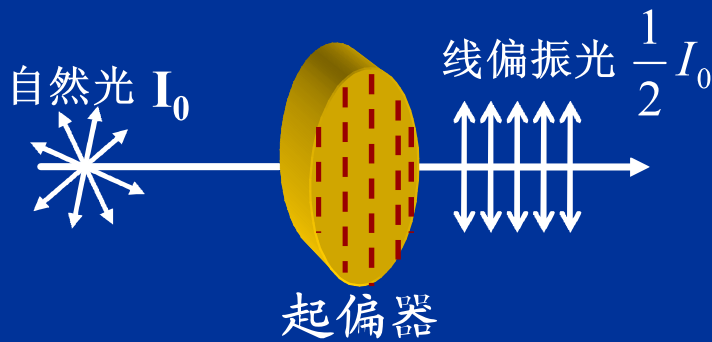
- 普通光源发出的是自然光，用于从自然光中获得偏振光的器件称为**起偏器**。
- 人的眼睛不能区分自然光与偏振光，用于鉴别光的偏振状态的器件称为**检偏器**



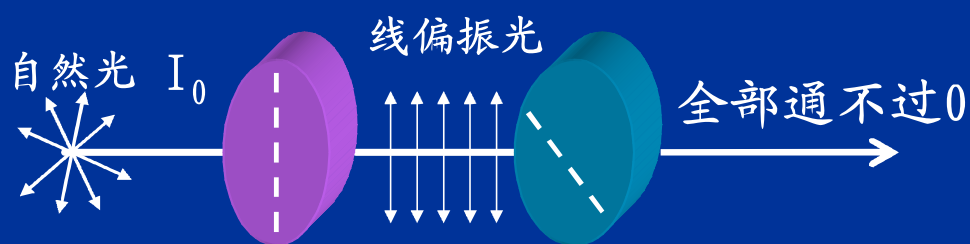
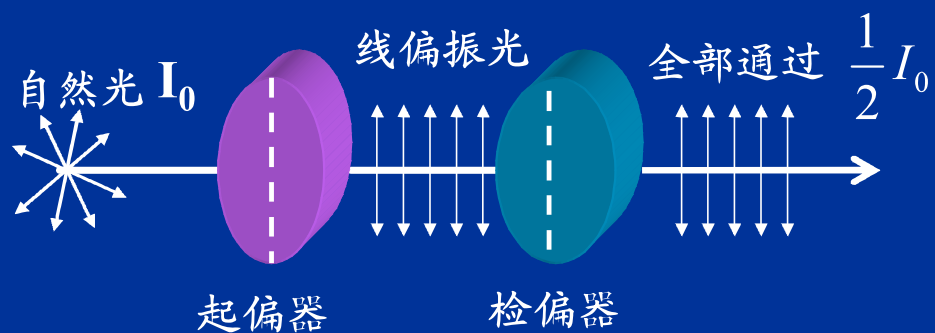
2、偏振片

只允许沿某一特定方向的光通过的光学器件，叫做**偏振片**。是一种人工膜片，对不同方向的光振动有选择吸收的性能，从而使膜片中有一个特殊的方向，当一束自然光射到膜片上时，与此方向垂直的光振动分量完全被吸收，只让平行于该方向的光振动分量通过，这个特定的方向叫做**偏振片的偏振化方向**，用“ \updownarrow ”表示。

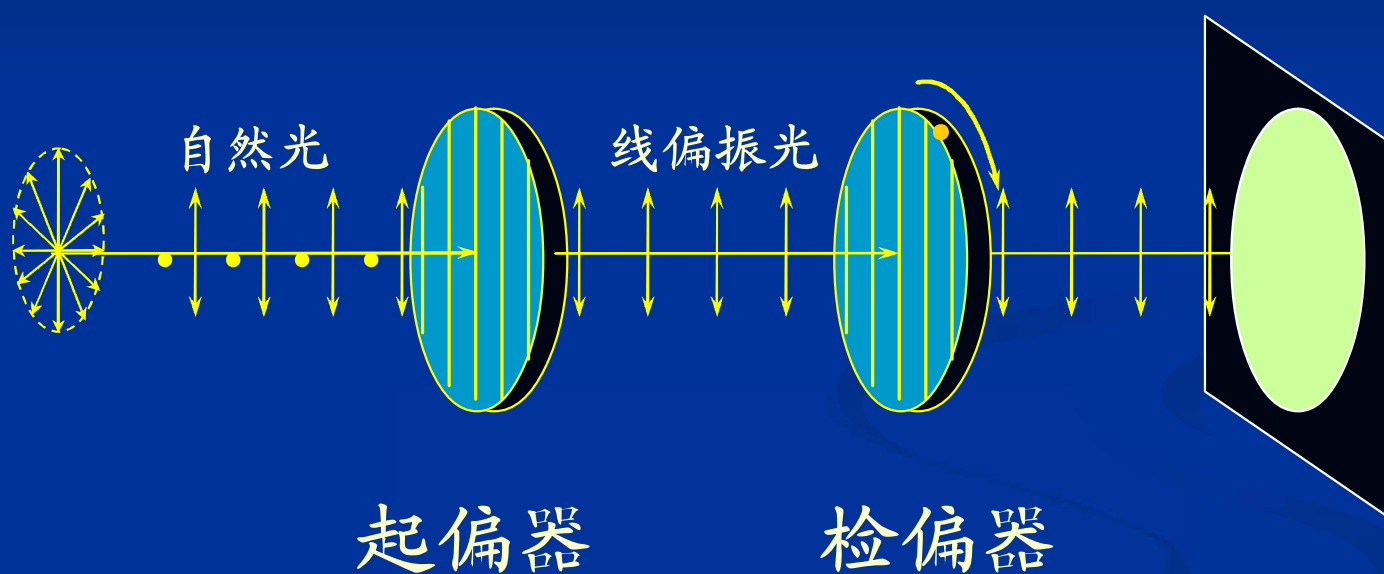
3、**起偏**：从自然光获得偏振光称起偏。每一偏振片允许通过的光振动矢量的方向称为该偏振片的**偏振化方向**；



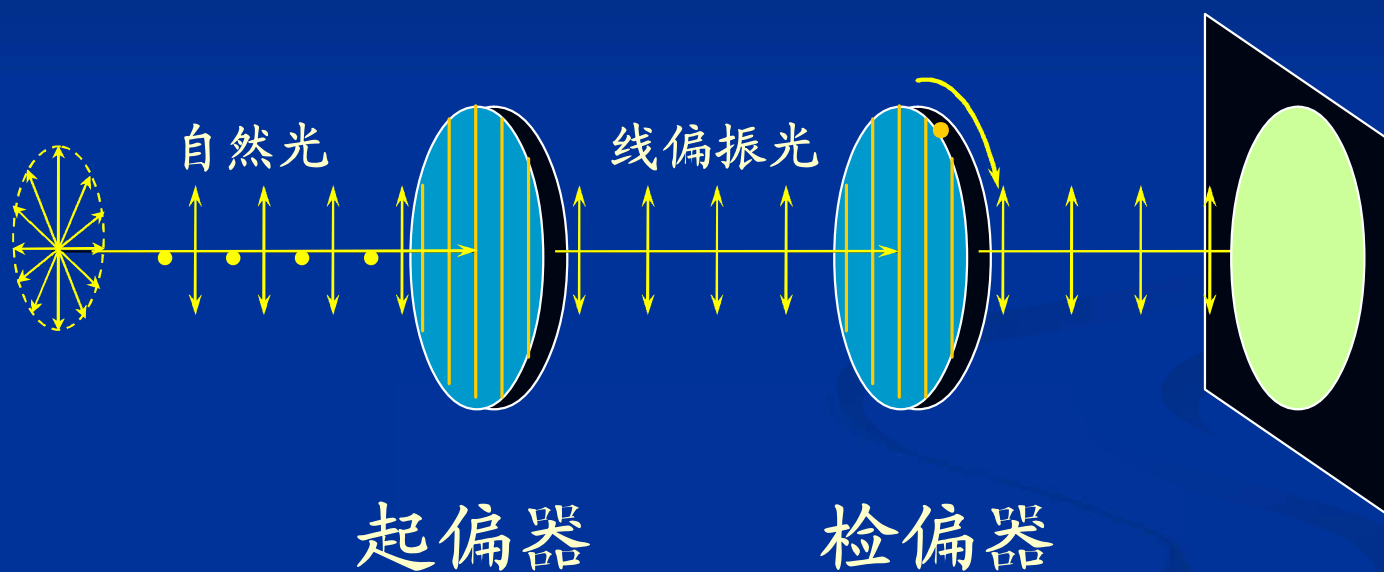
4、检偏：迎着光的传播方向观察透过偏振片以后的光强变化可识别不同的偏振光。



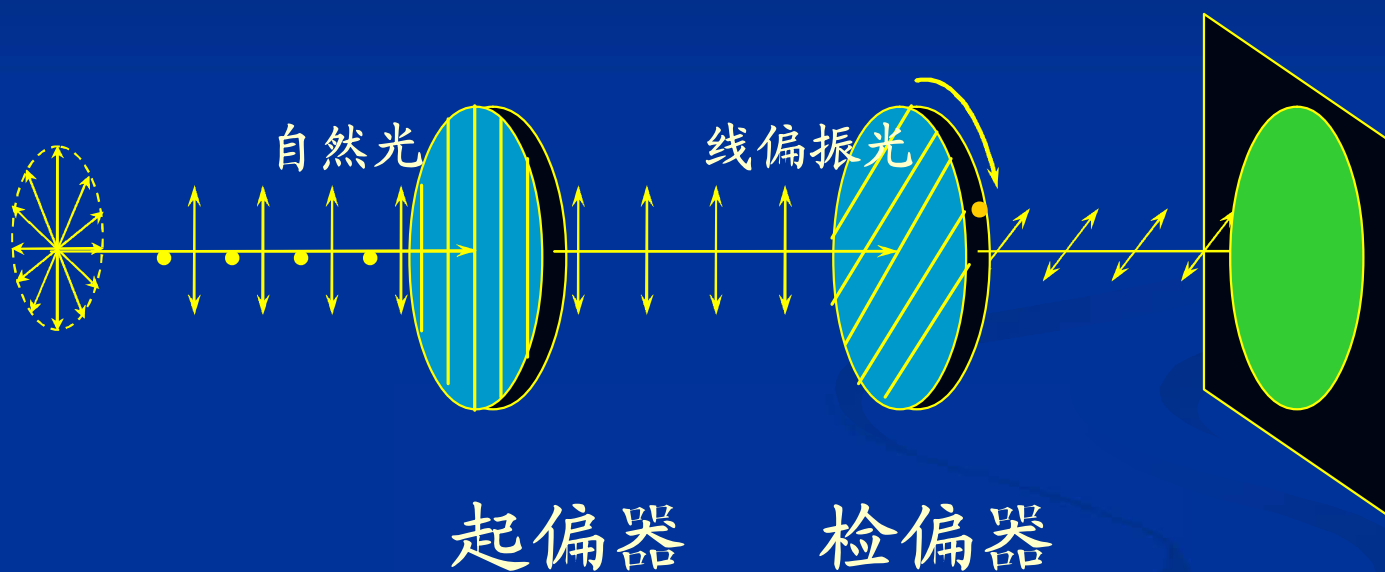
偏振光通过旋转的检偏器， 光强发生变化



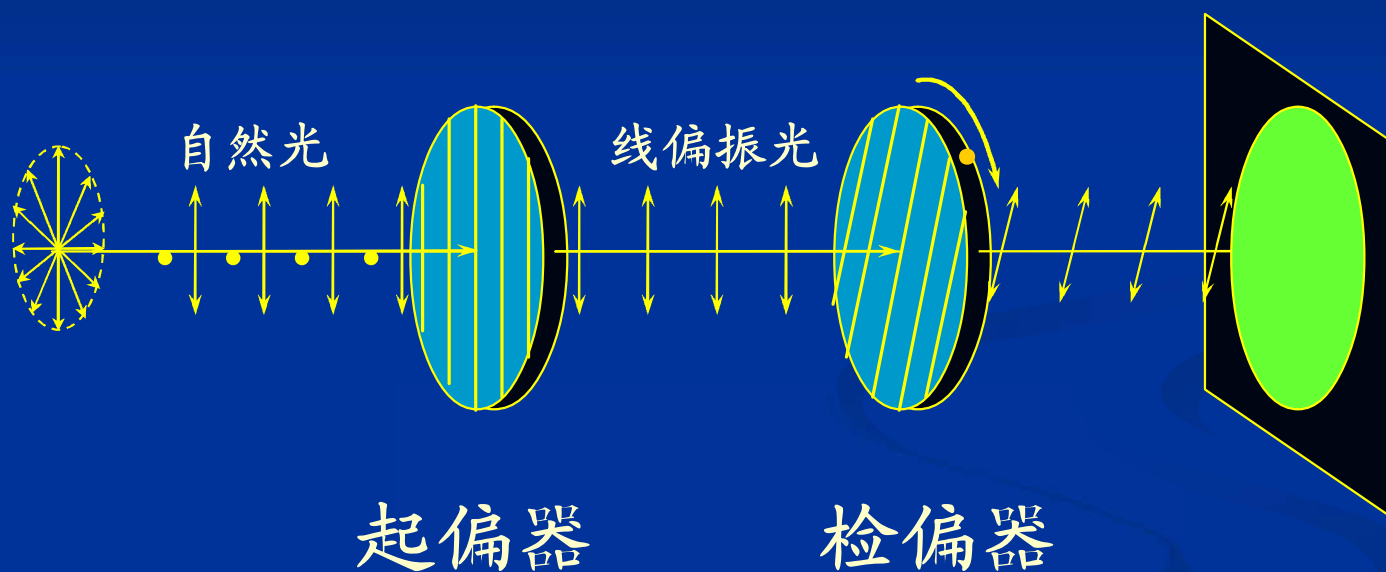
偏振光通过旋转的检偏器， 光强发生变化



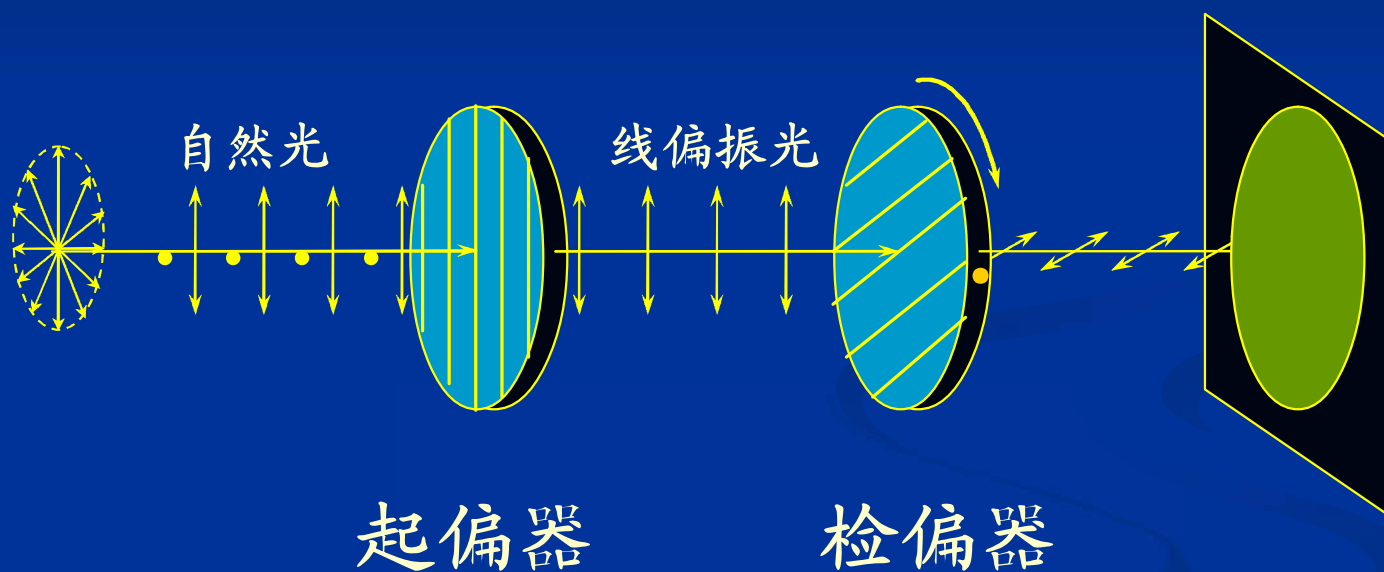
偏振光通过旋转的检偏器， 光强发生变化



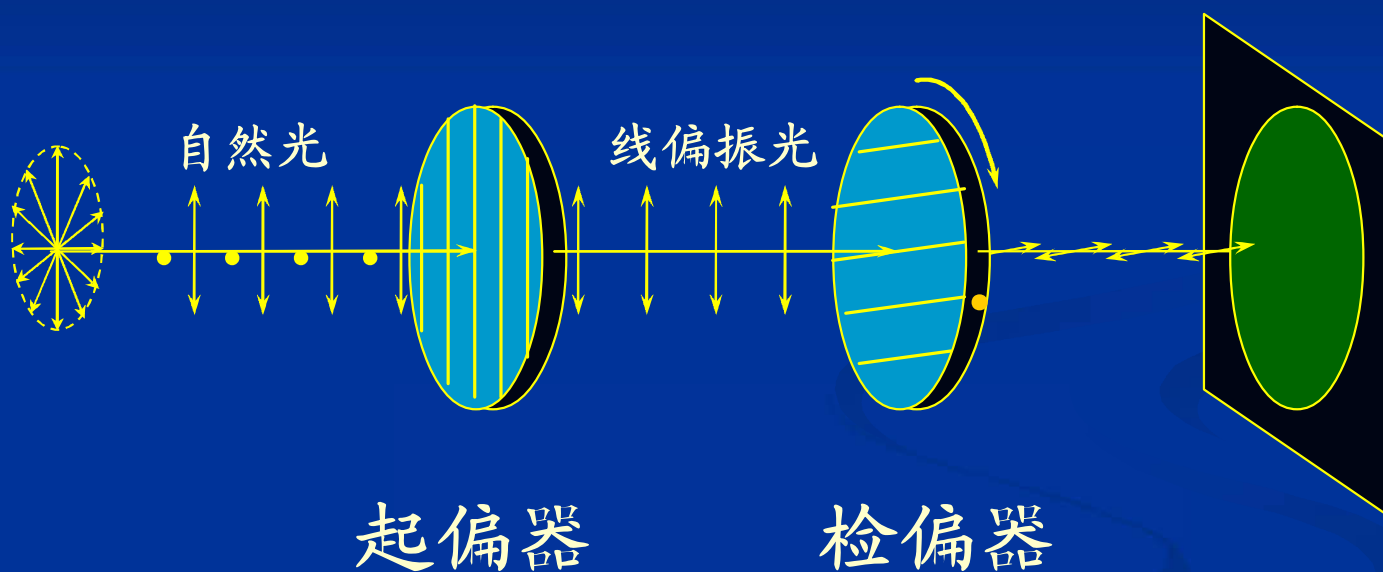
偏振光通过旋转的检偏器， 光强发生变化



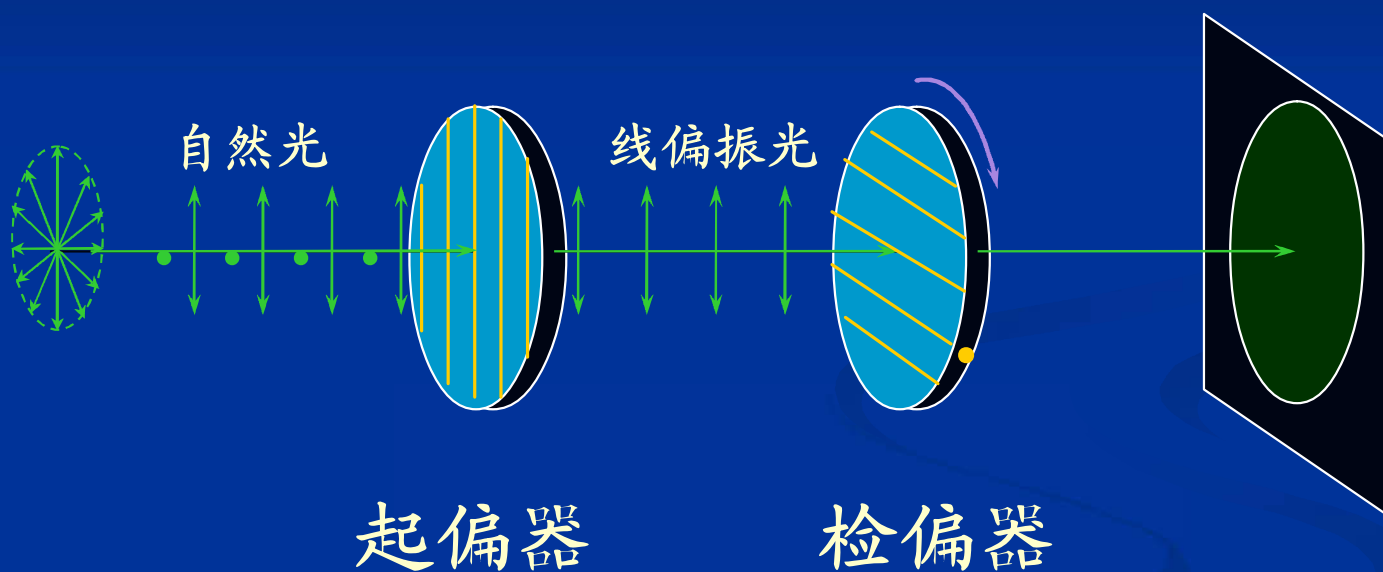
偏振光通过旋转的检偏器， 光强发生变化



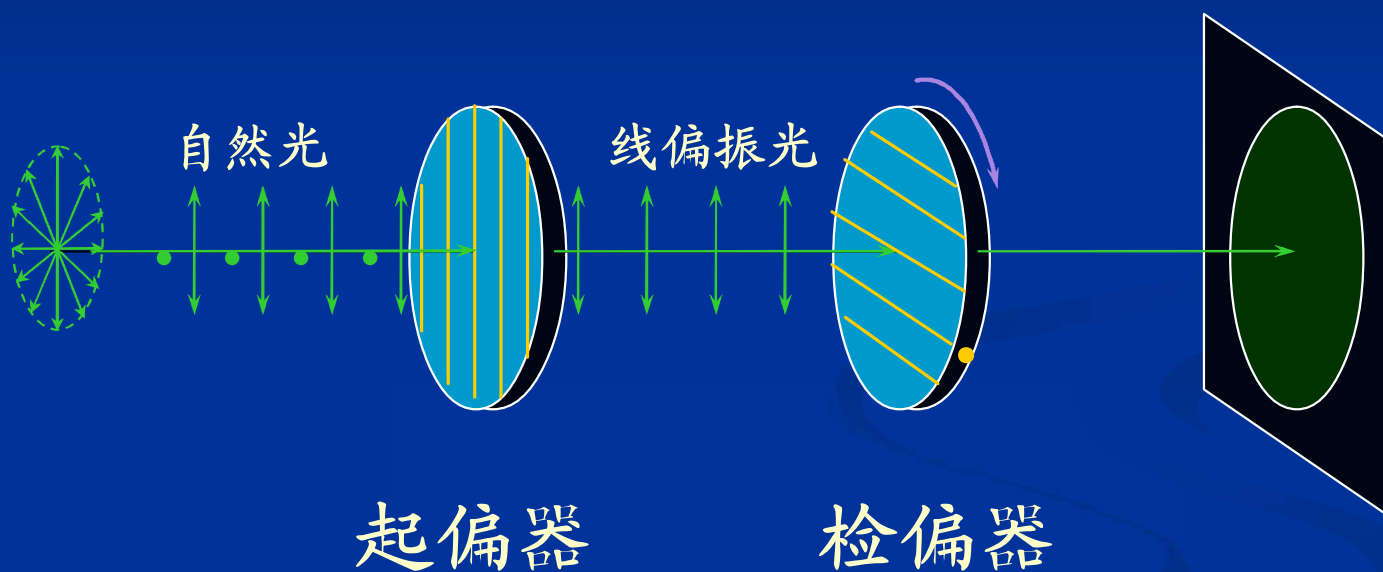
偏振光通过旋转的检偏器， 光强发生变化



偏振光通过旋转的检偏器， 光强发生变化

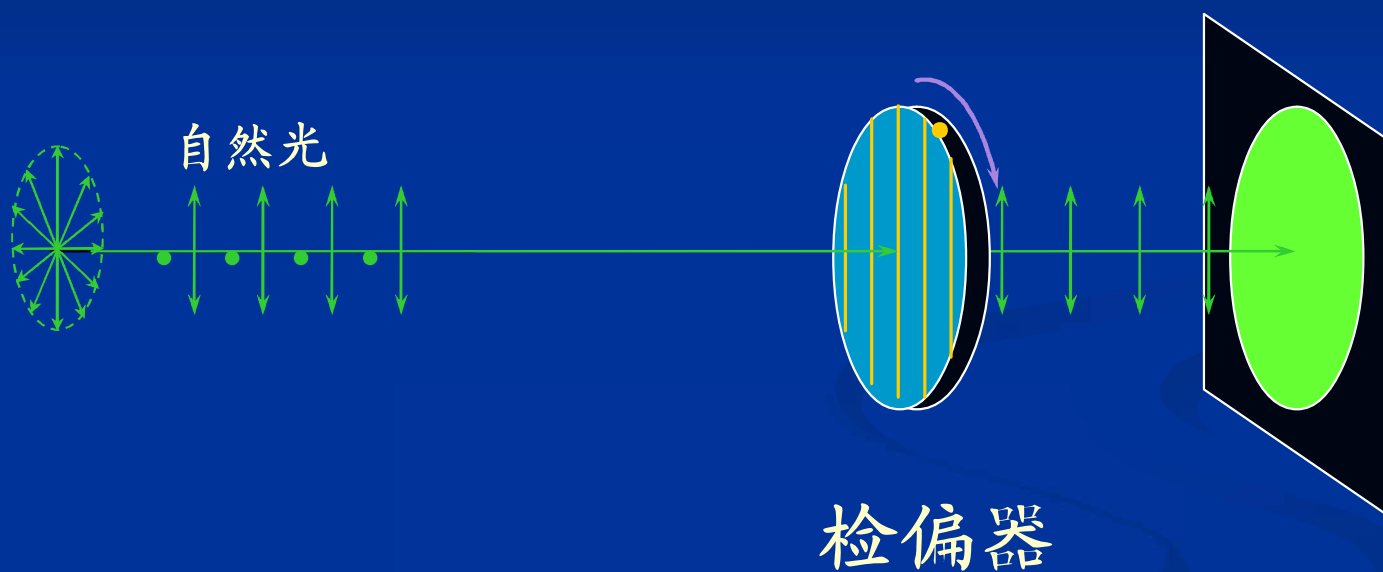


偏振光通过旋转的检偏器， 光强发生变化

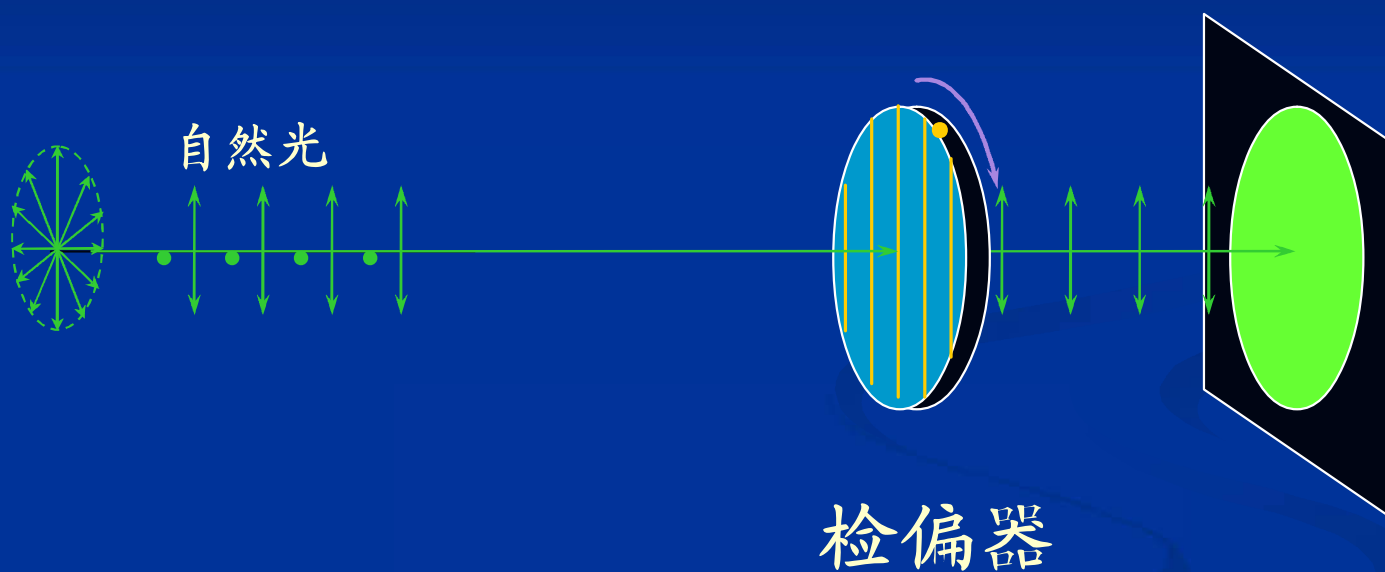


两偏振片的偏振化方向相互垂直 光强为零

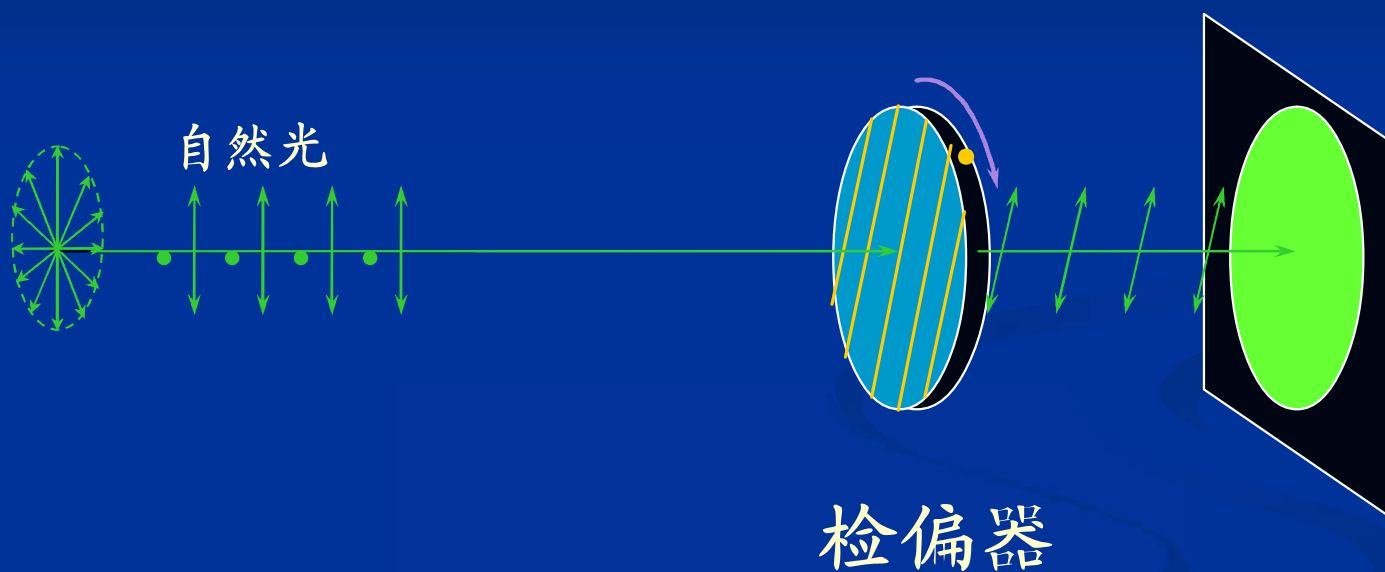
自然光通过旋转的检偏器，光强不变



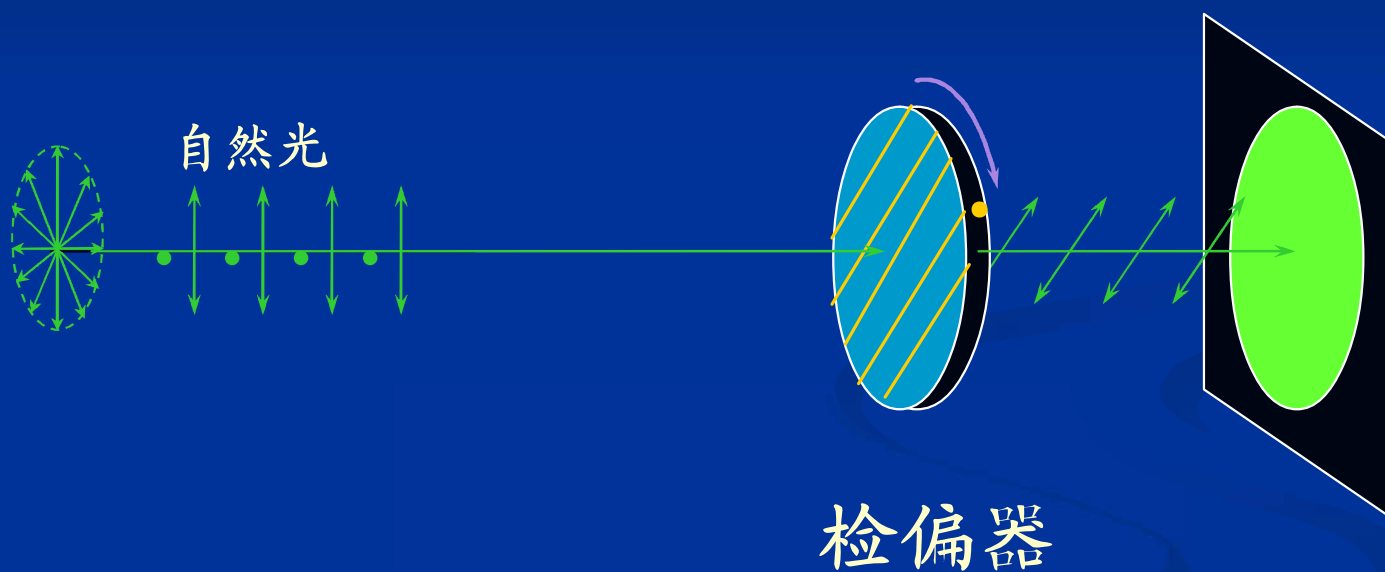
自然光通过旋转的检偏器，光强不变



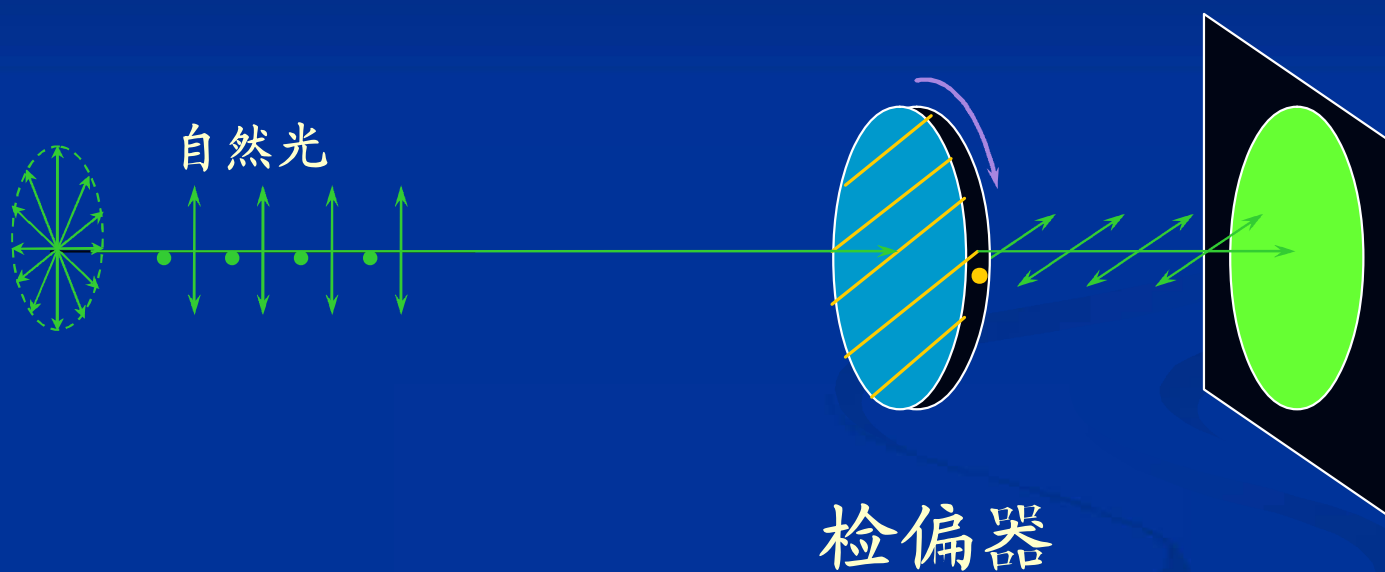
自然光通过旋转的检偏器，光强不变



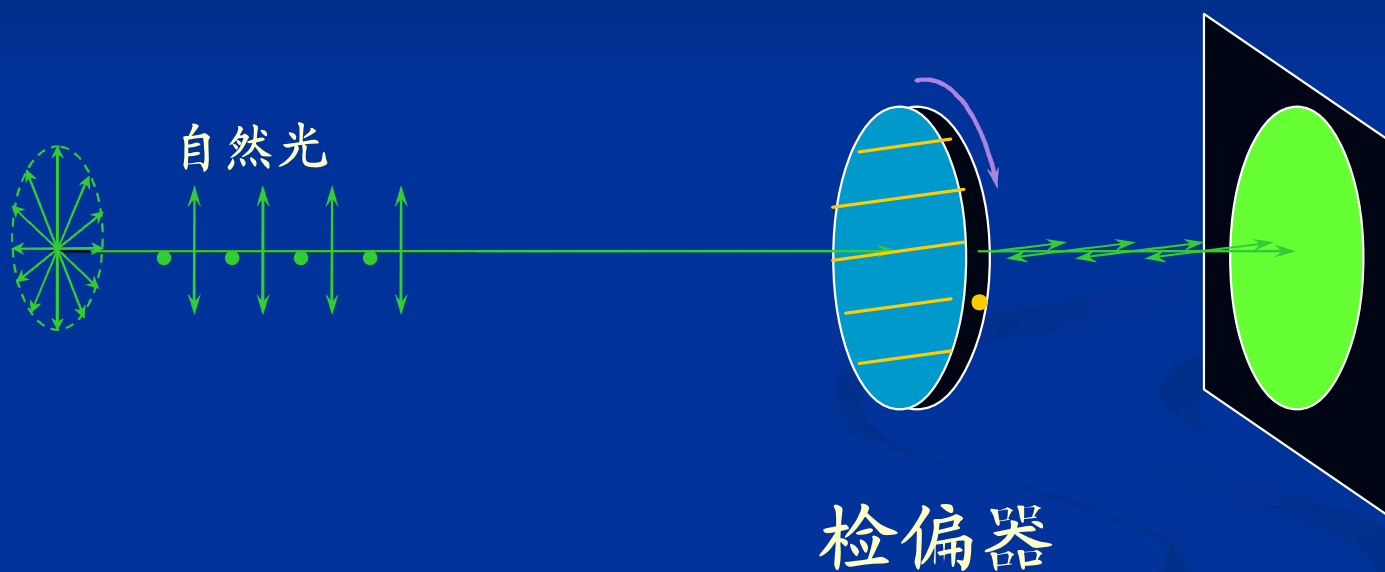
自然光通过旋转的检偏器，光强不变



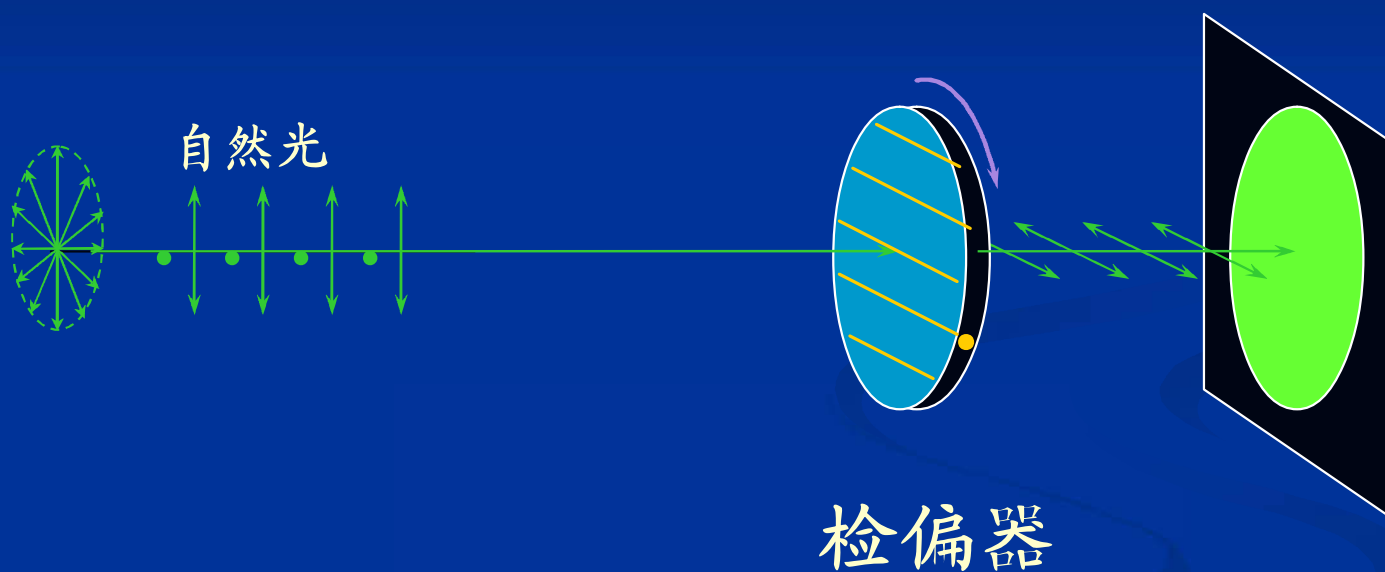
自然光通过旋转的检偏器，光强不变



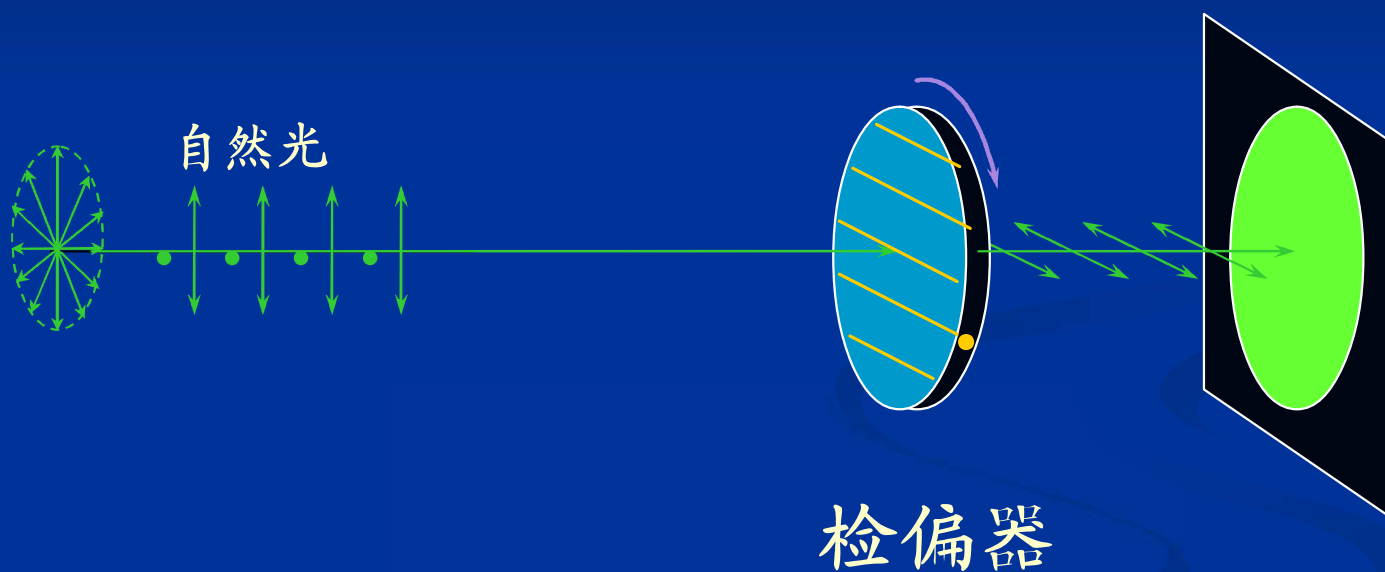
自然光通过旋转的检偏器，光强不变



自然光通过旋转的检偏器，光强不变

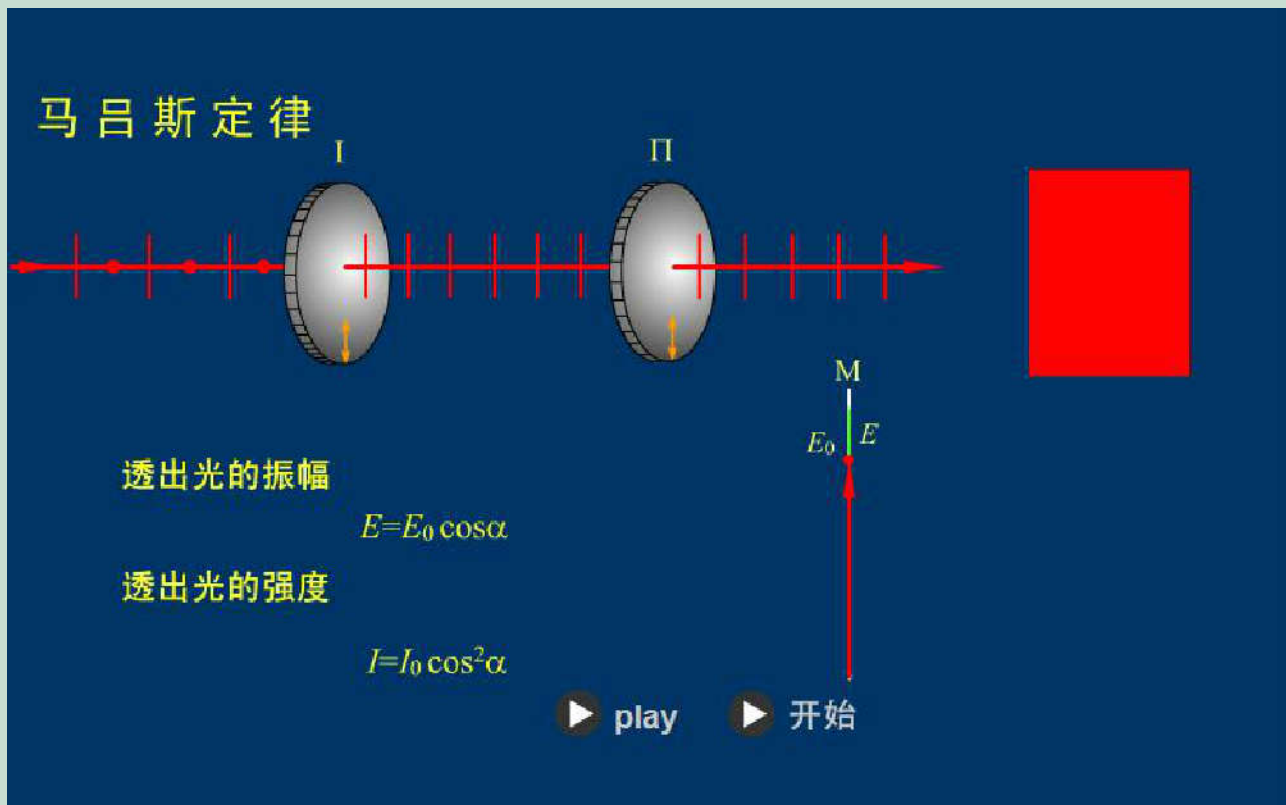


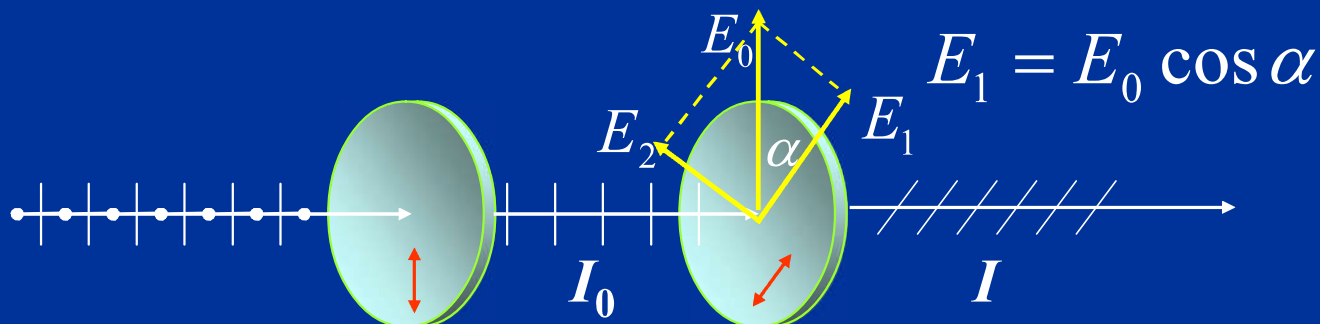
自然光通过旋转的检偏器，光强不变



四. 马吕斯定律(Malus law)

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





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

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

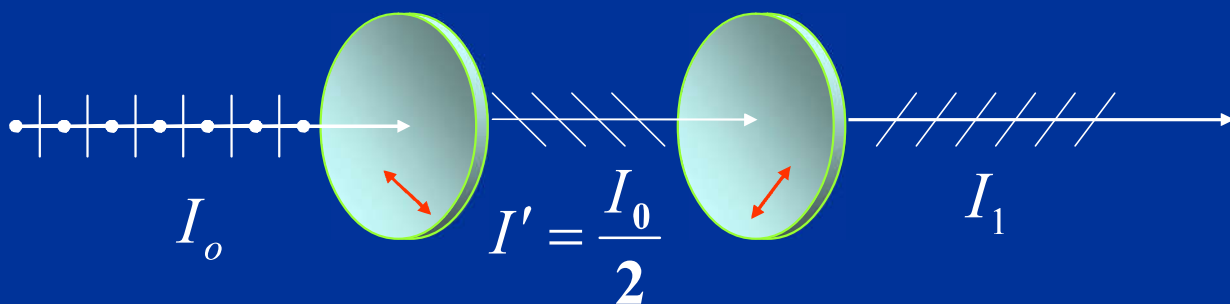
当: $\alpha = 0, \pi \rightarrow I = I_0$

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，对于自然光并不成立。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° 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° 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 ； 通过偏振片后对应光强： I ，
自然光强度： I_{10} ； I_1 ，
偏振光强度： I_{20} ； I_2

$$I_0 = I_{10} + I_{20}$$
$$I_1 = \frac{1}{2} I_{10}$$
$$I_2 = I_{20} \cos^2 \alpha$$
$$I = I_1 + I_2 = \frac{1}{2} I_{10} + I_{20} \cos^2 \alpha$$

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

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

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

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

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

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

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

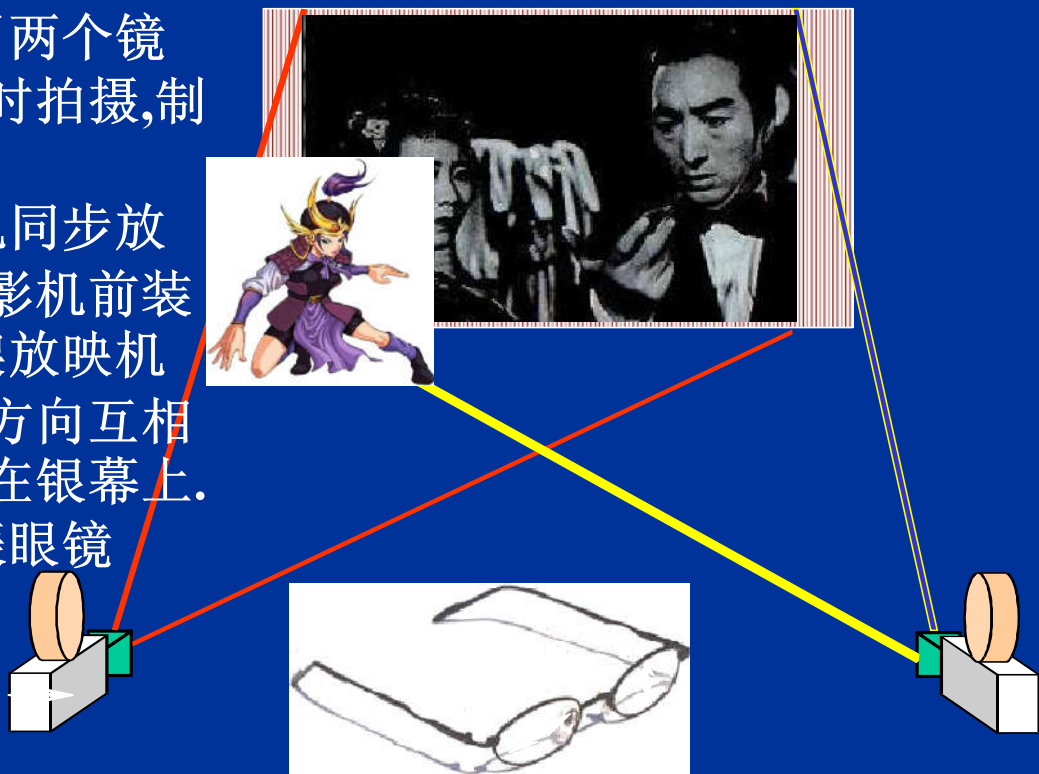
偏振片的应用

立体电影

1、**拍摄**：立体电影用两个镜头从两个不同方向同时拍摄，制成电影胶片。

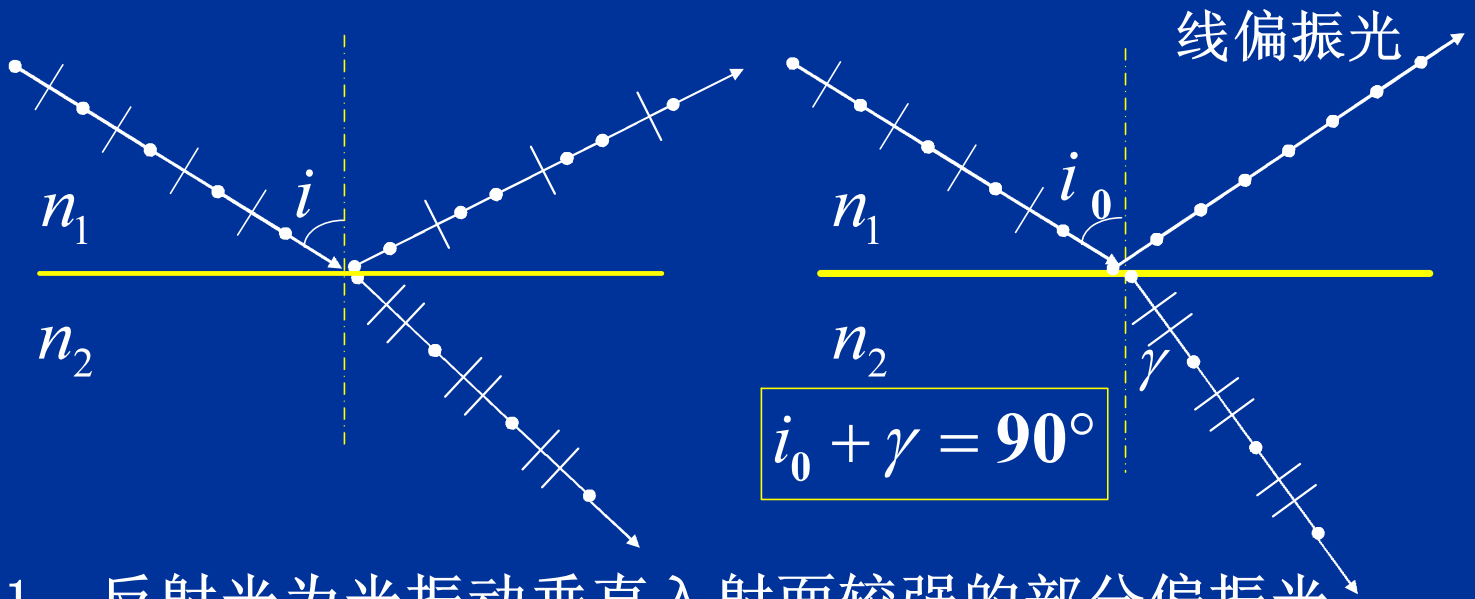
2、**放映**：两台放映机同步放映两组胶片，每架电影机前装一块偏振片，左右两架放映机前的偏振片的偏振化方向互相垂直，两幅图像重叠在银幕上。

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。



12.9 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

i_0 为布儒斯特角

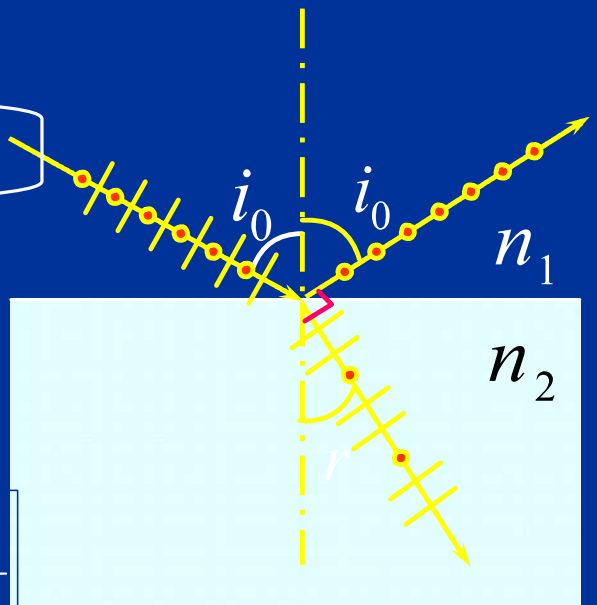
$$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$$

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

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

n_1 为反射光线所在媒质的折射率, n_2 为折射光线所在媒质的折射率。

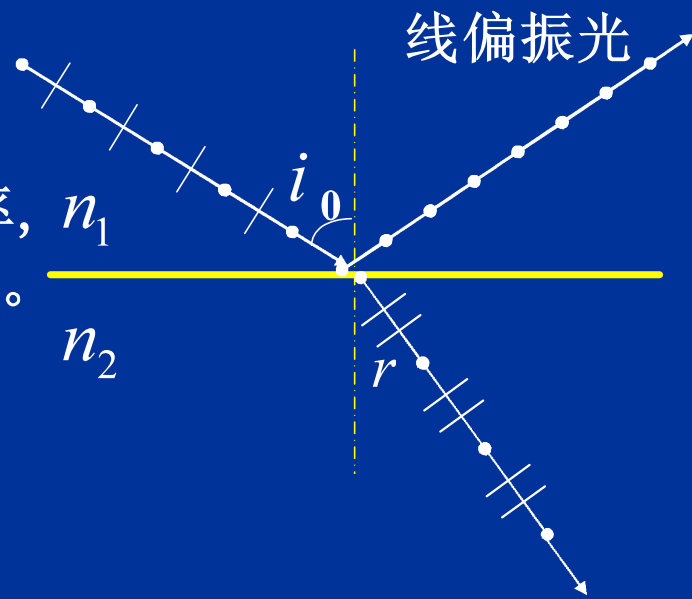
$$(2) \quad i_0 + r = 90^\circ$$

-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





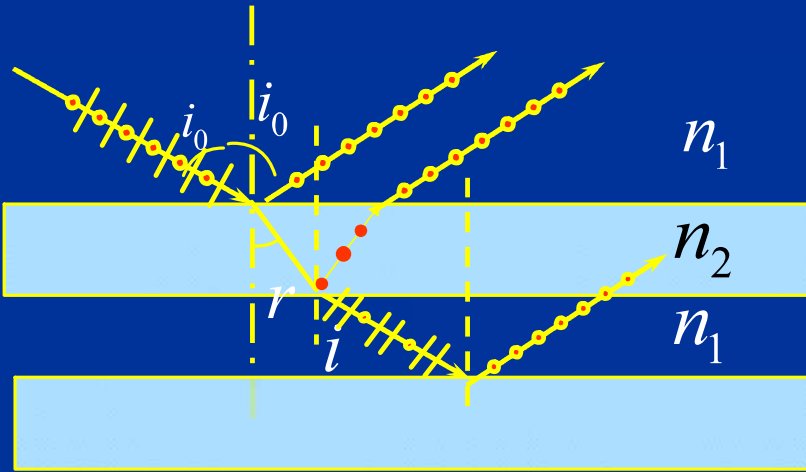
有反射光干扰的橱窗



在照相机镜头前加偏振片消除了反射光的干扰

3、玻璃片堆的起偏

实验表明：自然光以布儒斯特角由空气入射到玻璃表面时，反射的线偏光的光强仅占入射光强的15%，而折射到玻璃中的部分偏光的光强约占入射光强的85%。



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

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

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

r 也是布儒斯特角。

•玻璃 $n_2=1.5$ ， 布儒斯特角

$$i_0 = 56.3^\circ$$

•水 $n_2=1.33$ ，

$$i_0 = 53.1^\circ$$

n

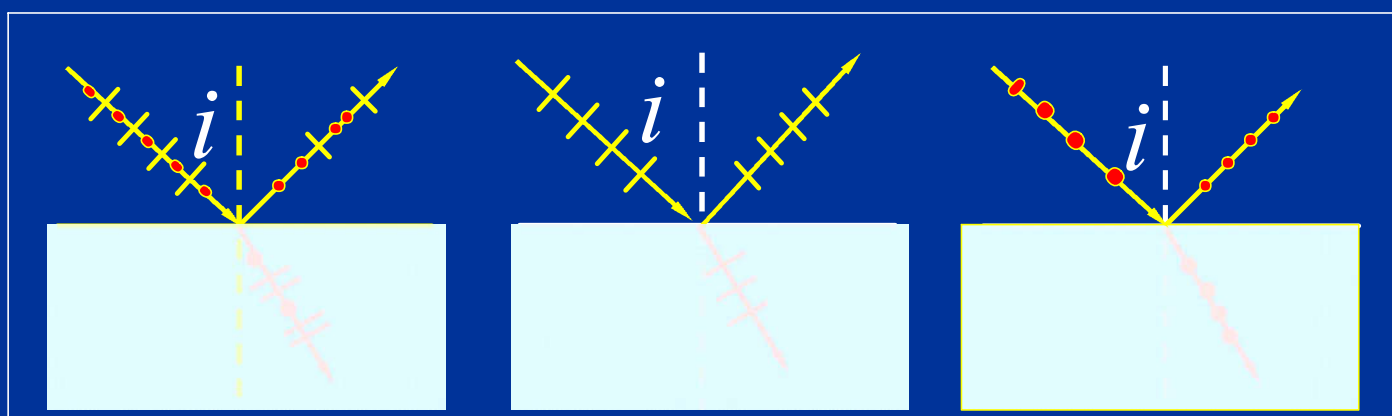
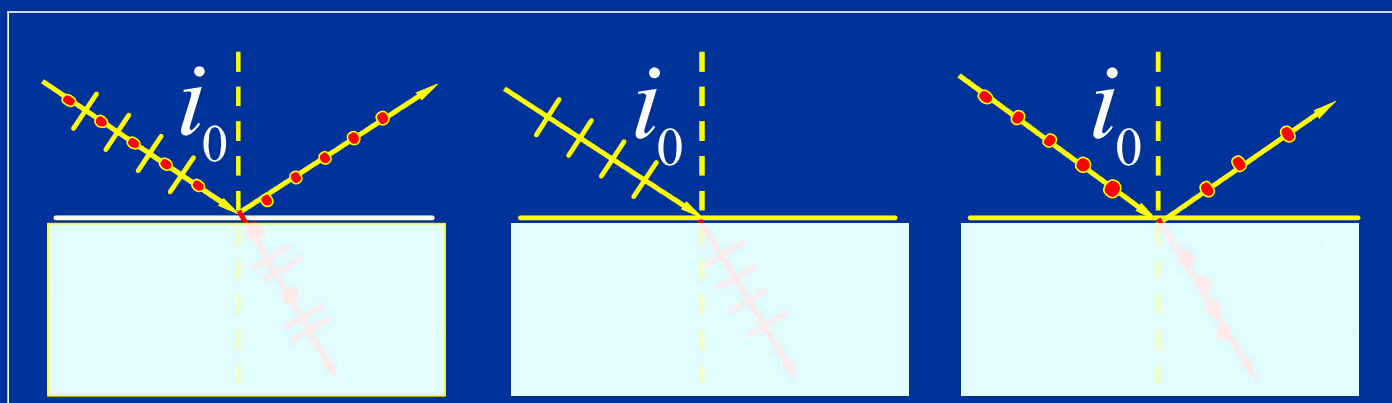
n



n



例题：画出反射光和折射光的偏振化状态。

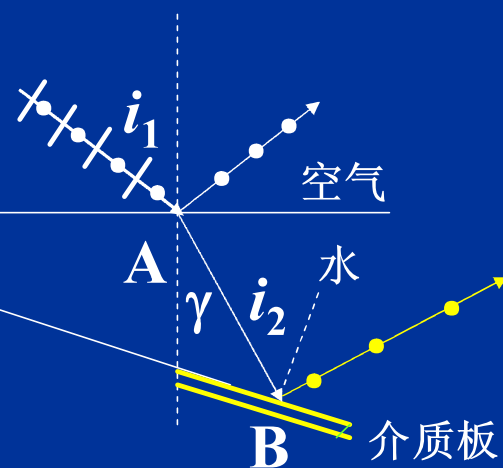


例：将一块介质平板放在水中，板面与水平面之间的夹角为 θ ，如图所示，已知 $n_{\text{水}}=1.333, n_{\text{介质}}=1.681$ 。若使水平面和介质板表面的反射光均为线偏振光，试求 θ 应取的角度。

$$\tan i_1 = \frac{n_{\text{水}}}{n_{\text{空气}}} = 1.333 \quad i_1 = 53.12^\circ$$

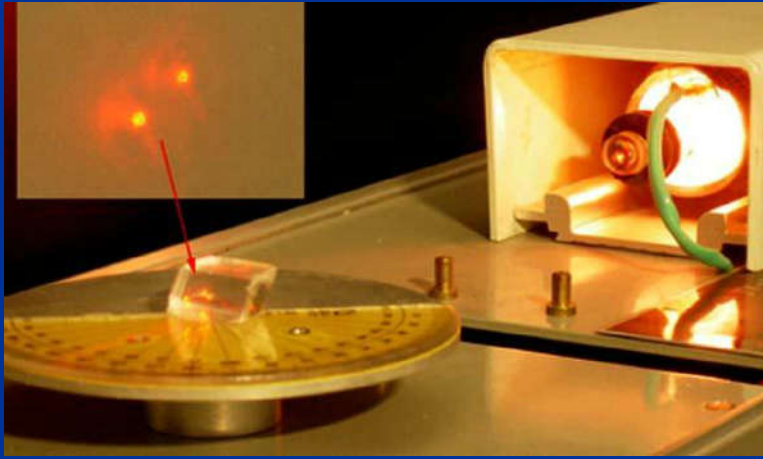
$$\tan i_2 = \frac{n_{\text{介质}}}{n_{\text{水}}} = \frac{1.681}{1.333} = 1.261$$

$$i_2 = 51.58^\circ$$



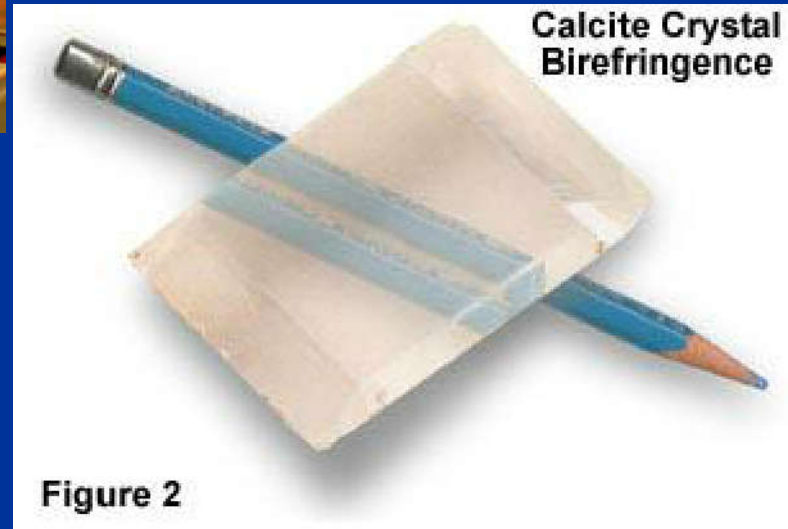
$$\theta + \left(\frac{\pi}{2} + \gamma \right) + \left(\frac{\pi}{2} - i_2 \right) = \pi \quad \theta = i_2 - \gamma = i_2 - \left(\frac{\pi}{2} - i_1 \right) = 14.7^\circ$$

12.10 双折射现象

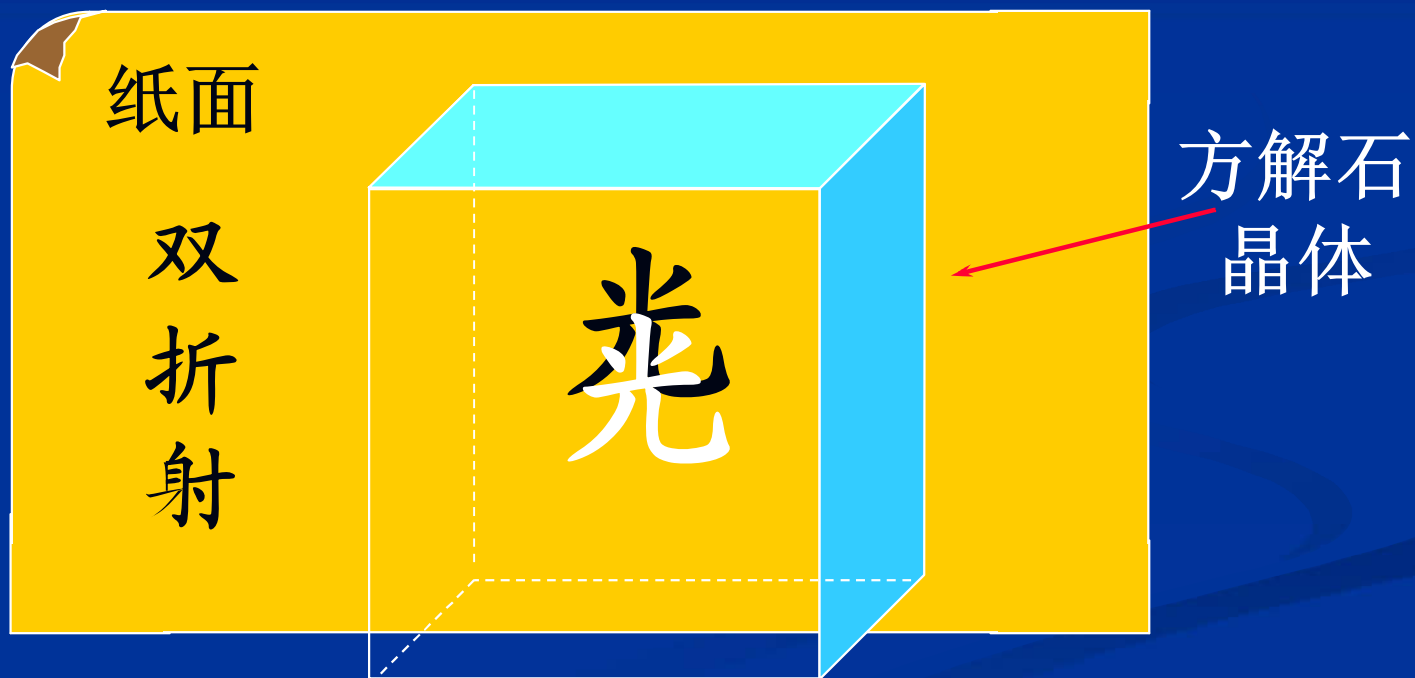


方解石晶体
双折射现象
(CaCO_3)

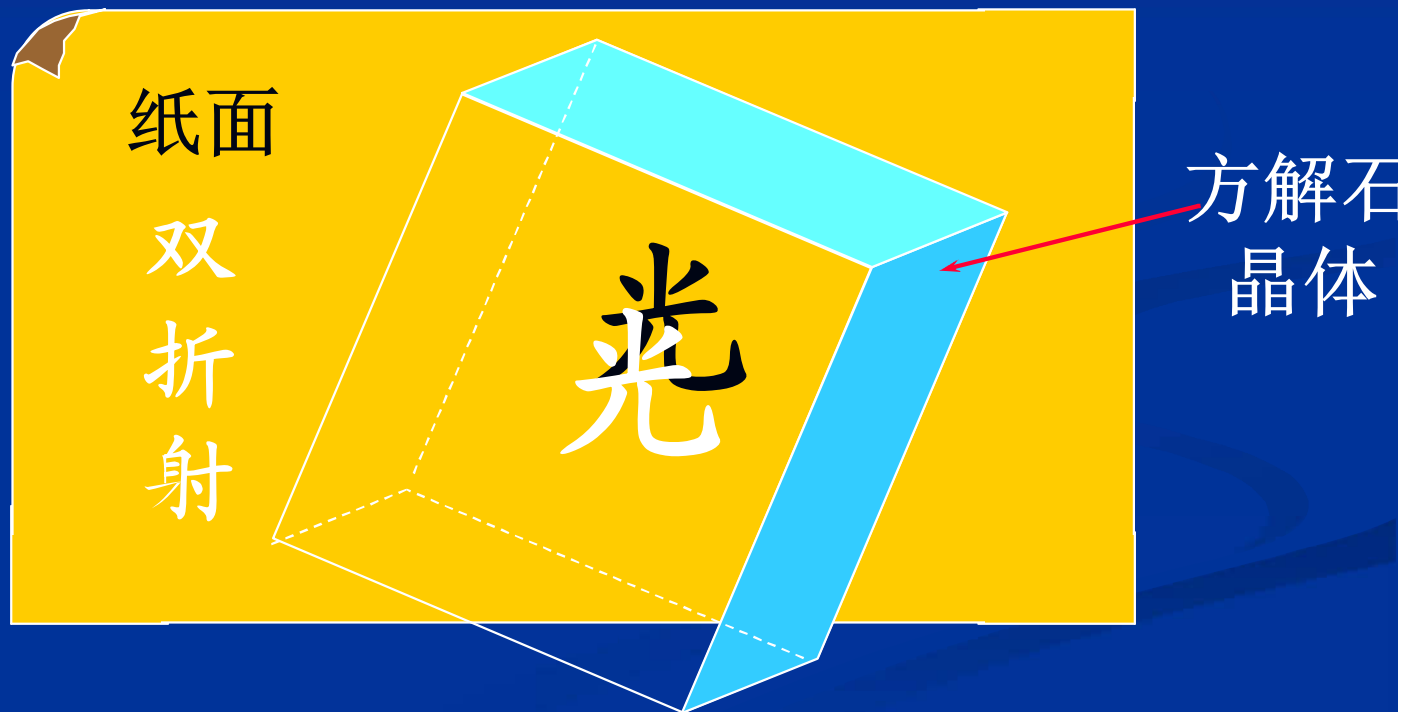
一、双折射现象：一束光进入某种晶体后会出现两束折射光的现象。



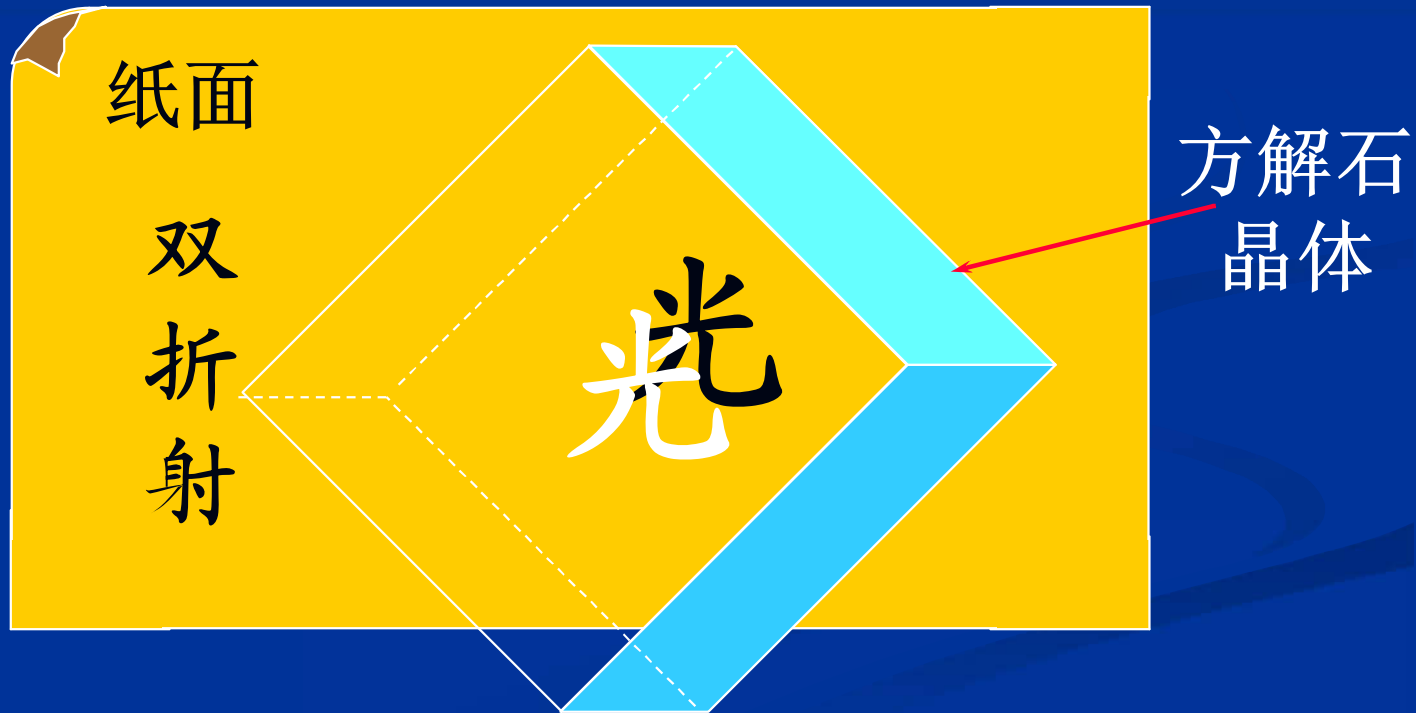
当方解石晶体旋转时
 o 光不动， e 光围绕 o 光旋转



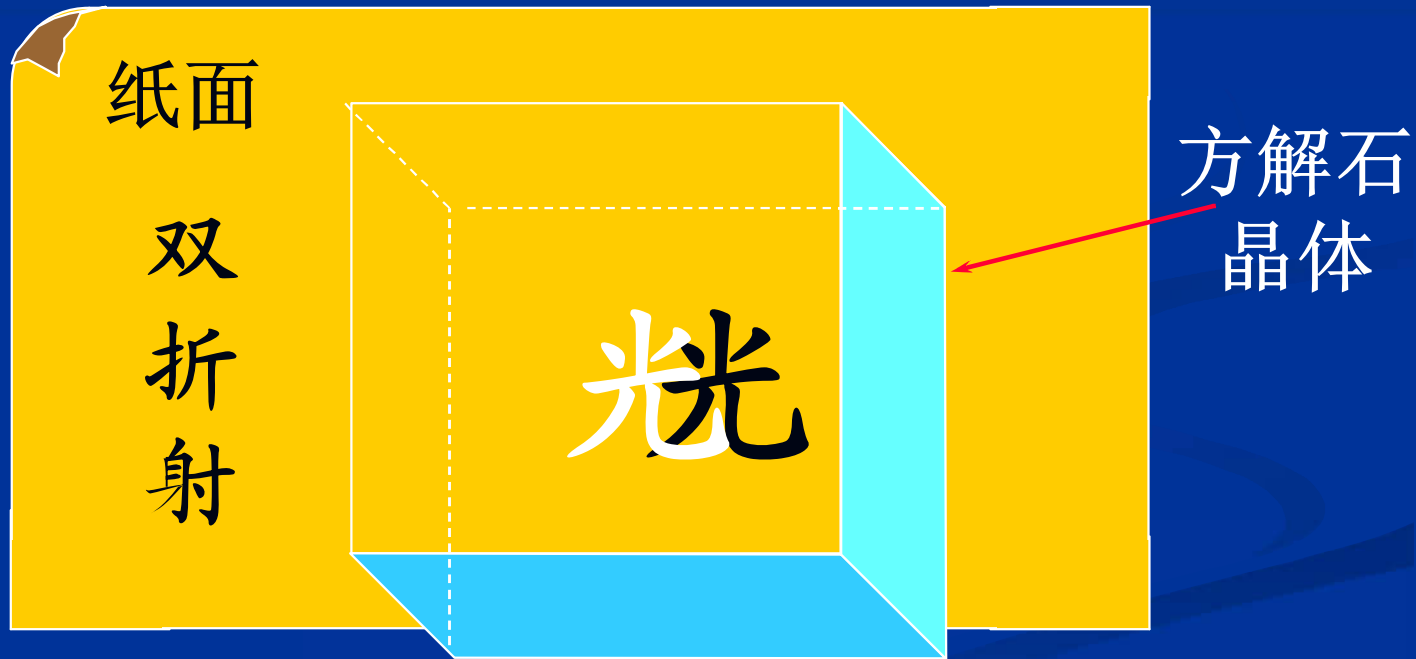
当方解石晶体旋转时
 o 光不动， e 光围绕 o 光旋转



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

其中一束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

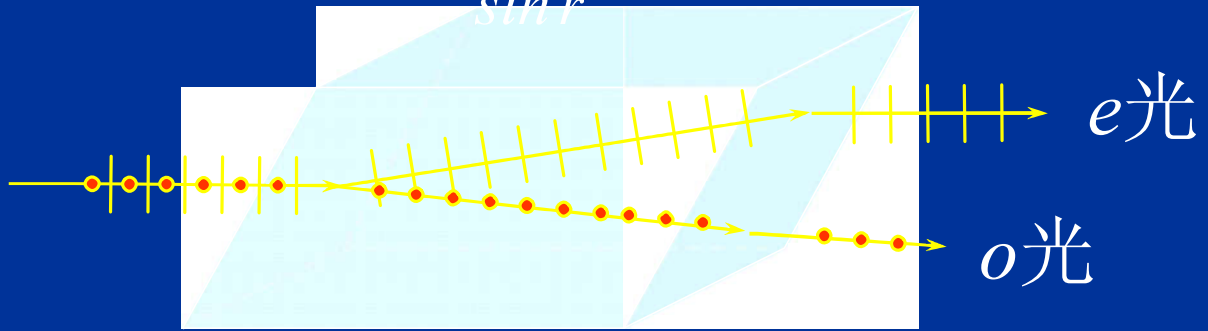
另一束折射光不服从折射定律；

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

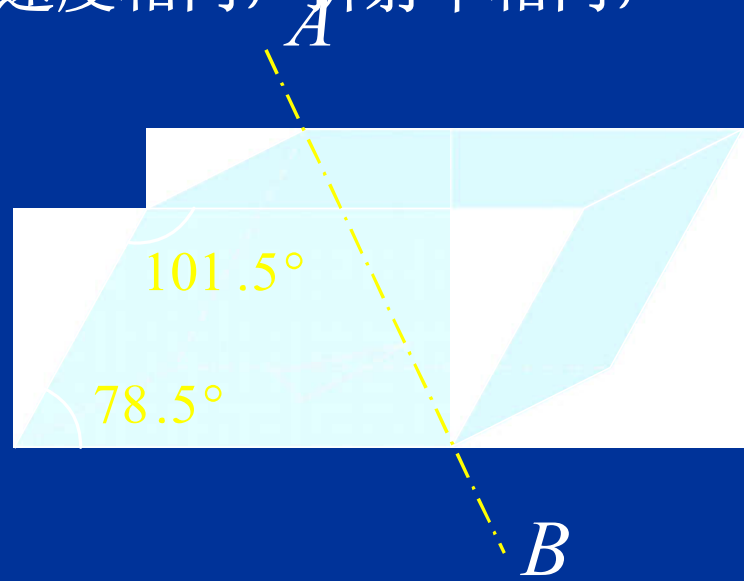
$n_o = n_e$ ， o 、 e 光重合，
不产生双折射现象。

- 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。

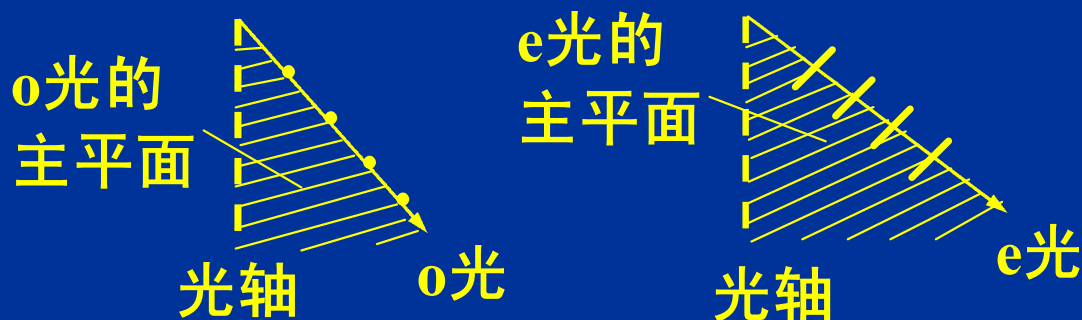


具有一个光轴的晶体，称为**单轴晶体**。例如：方解石、石英等。

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

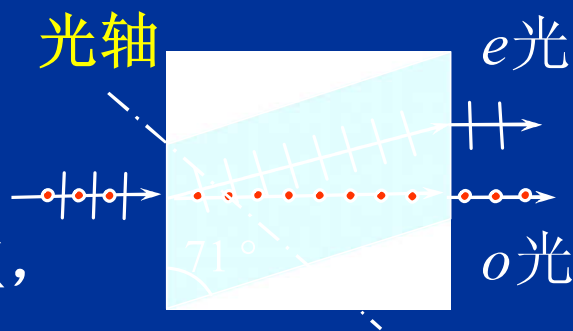
晶体内任一光线和光轴所决定的平面称为此光线的主平面。



- 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，

- e 光的振动方向与它的主平面平行。



方解石

- 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，射出晶体以后就没有意义了

五.正晶体、负晶体 $n = \frac{c}{v}$

$n_o < n_e$ 即o光的传播速度大于e光的传播速度。

这种晶体称为**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。

$n_o > n_e$ 即 e光的传播速度大于o光的传播速度。

这种晶体称为**负晶体**。

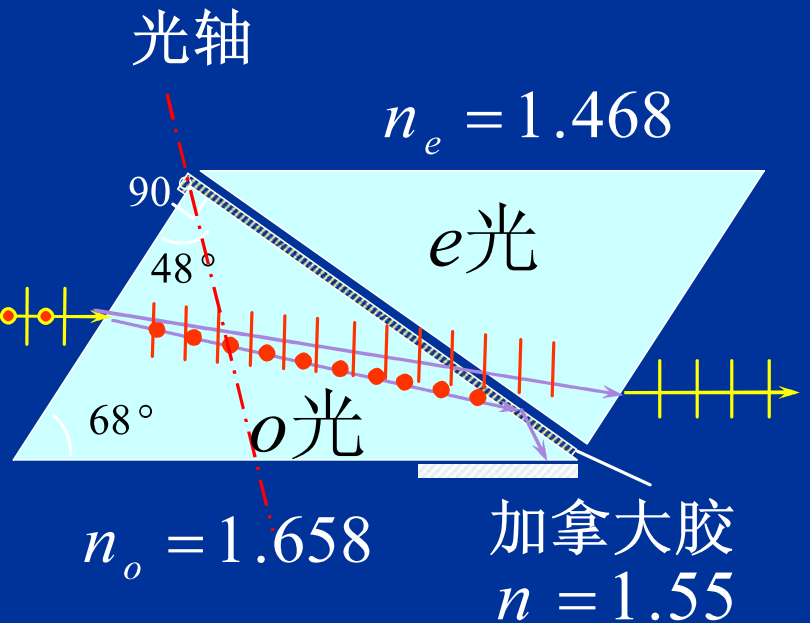
如方解石晶体 $n_o = 1.658$, $n_e = 1.468$

其他方向不能用主折射率。

尼克尔棱镜

原理：把自然光分成寻常光和非寻常光，然后利用全反射把寻常光反射到棱镜侧壁上，只让非寻常光通过，从而获得一束振动方向固定的线偏振光。

加工后将两块方解石用加拿大胶粘合起来，



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

