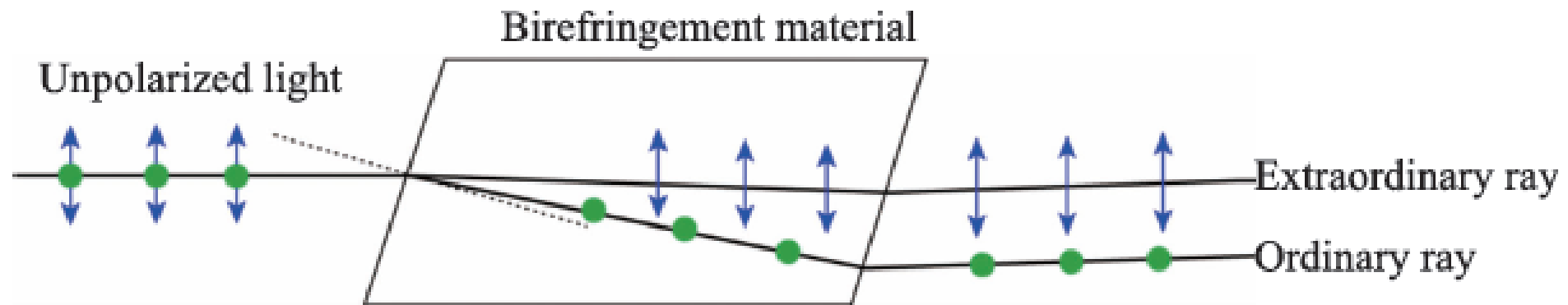


24.5 双折射 (birefringence) 现象



一、双折射的概念

1、双折射：一束光入射到各向异性介质时，折射光分成两束的现象。

2、寻常光和非寻常光

o — ordinary

e — extraordinary

o光：遵从折射定律

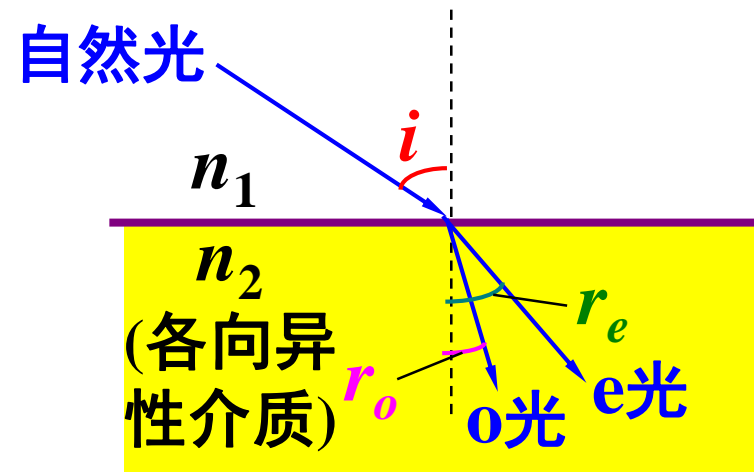
$$n_1 \sin i = n_2 \sin r_o$$

e光：一般不遵从折射定律

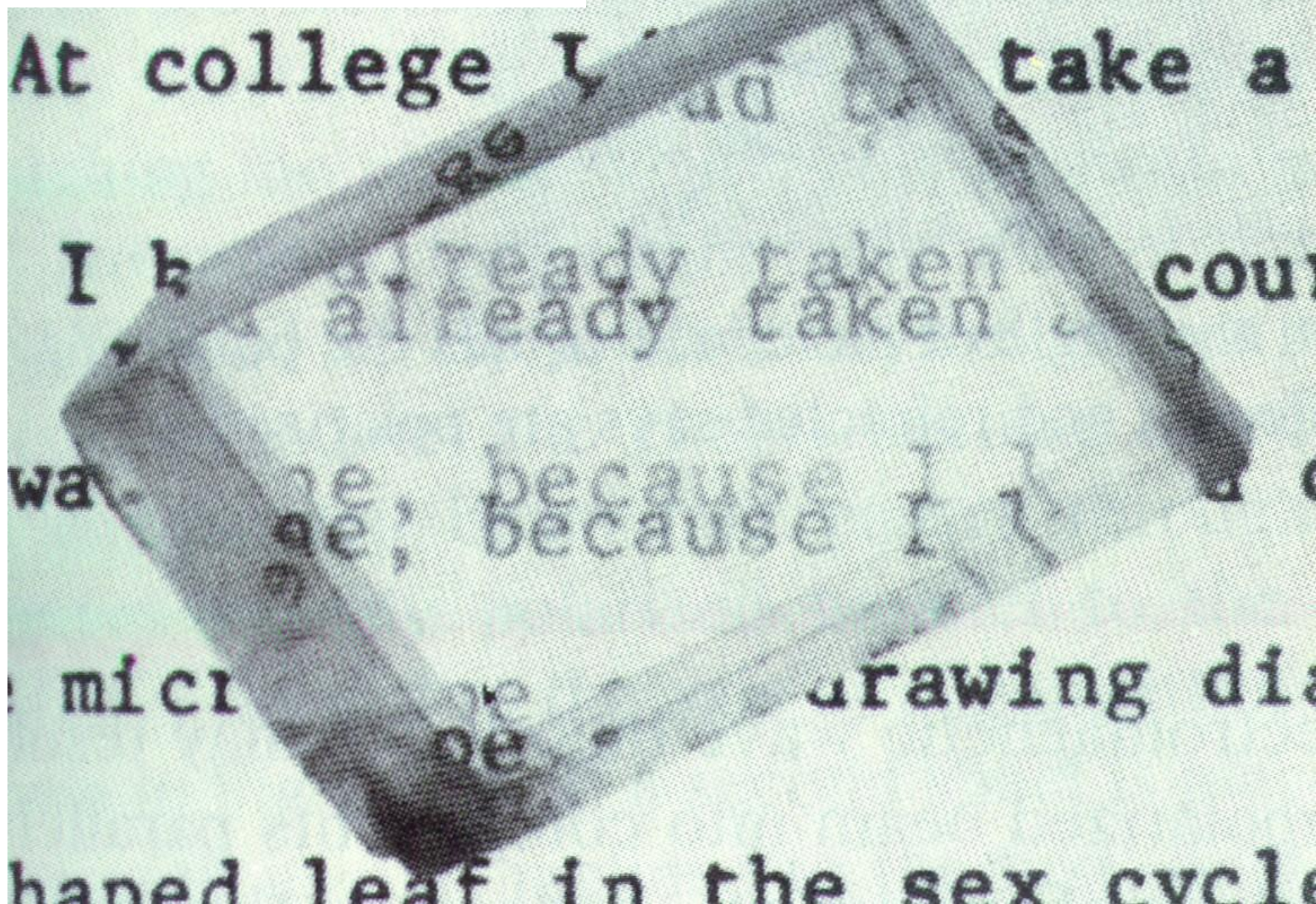
$$\frac{\sin i}{\sin r_e} \neq \text{const.}$$

e光折射线也不一定在入射面内。

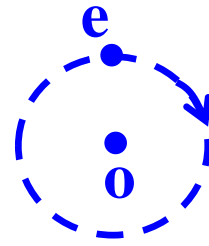
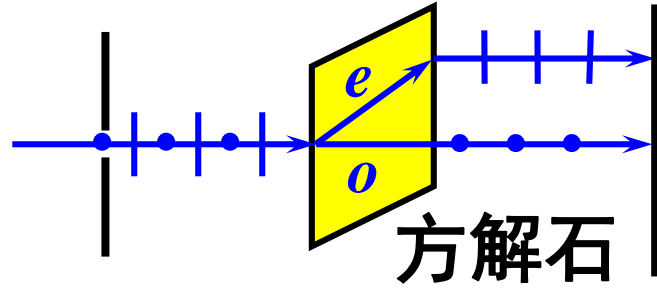
应当注意，这里所谓o光和e光，只在双折射晶体内部才有意义，射出晶体以后，就无所谓o光和e光了。



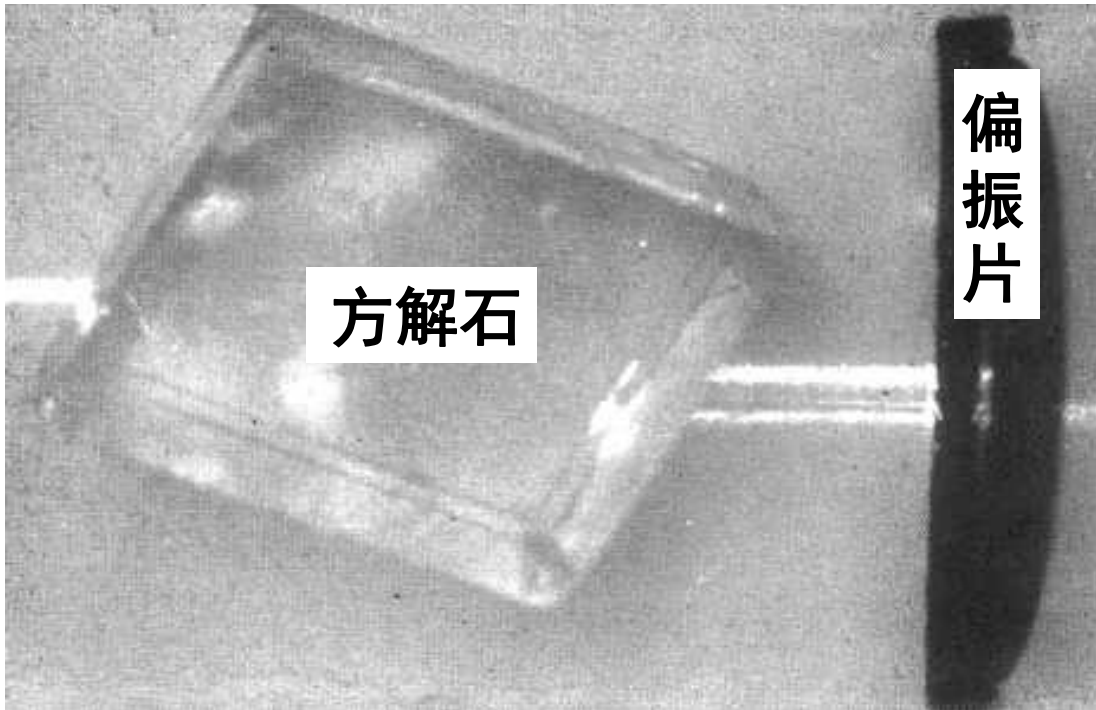
双折射会映射出双像



方解石的双折射

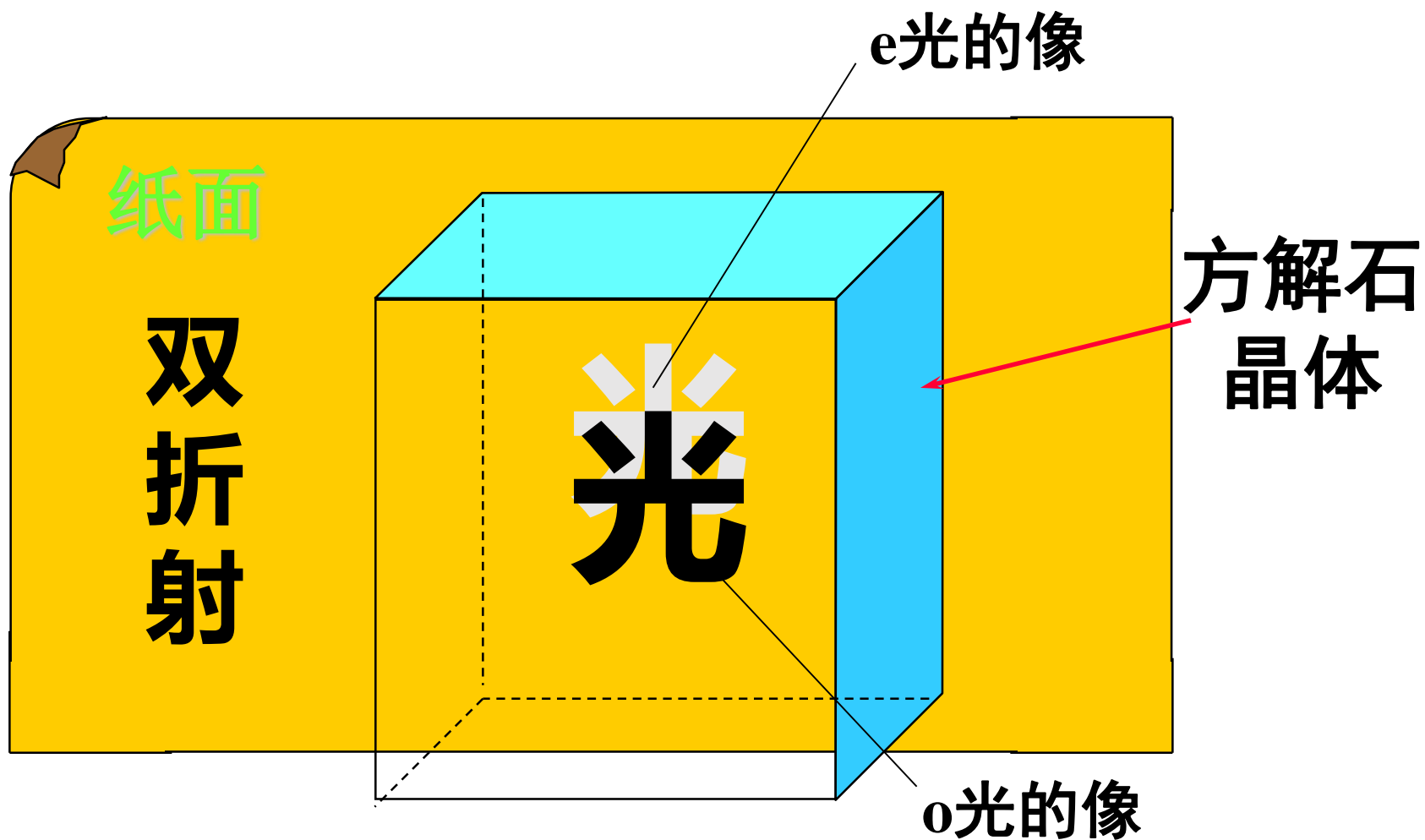


以入射方向为
轴旋转方解石

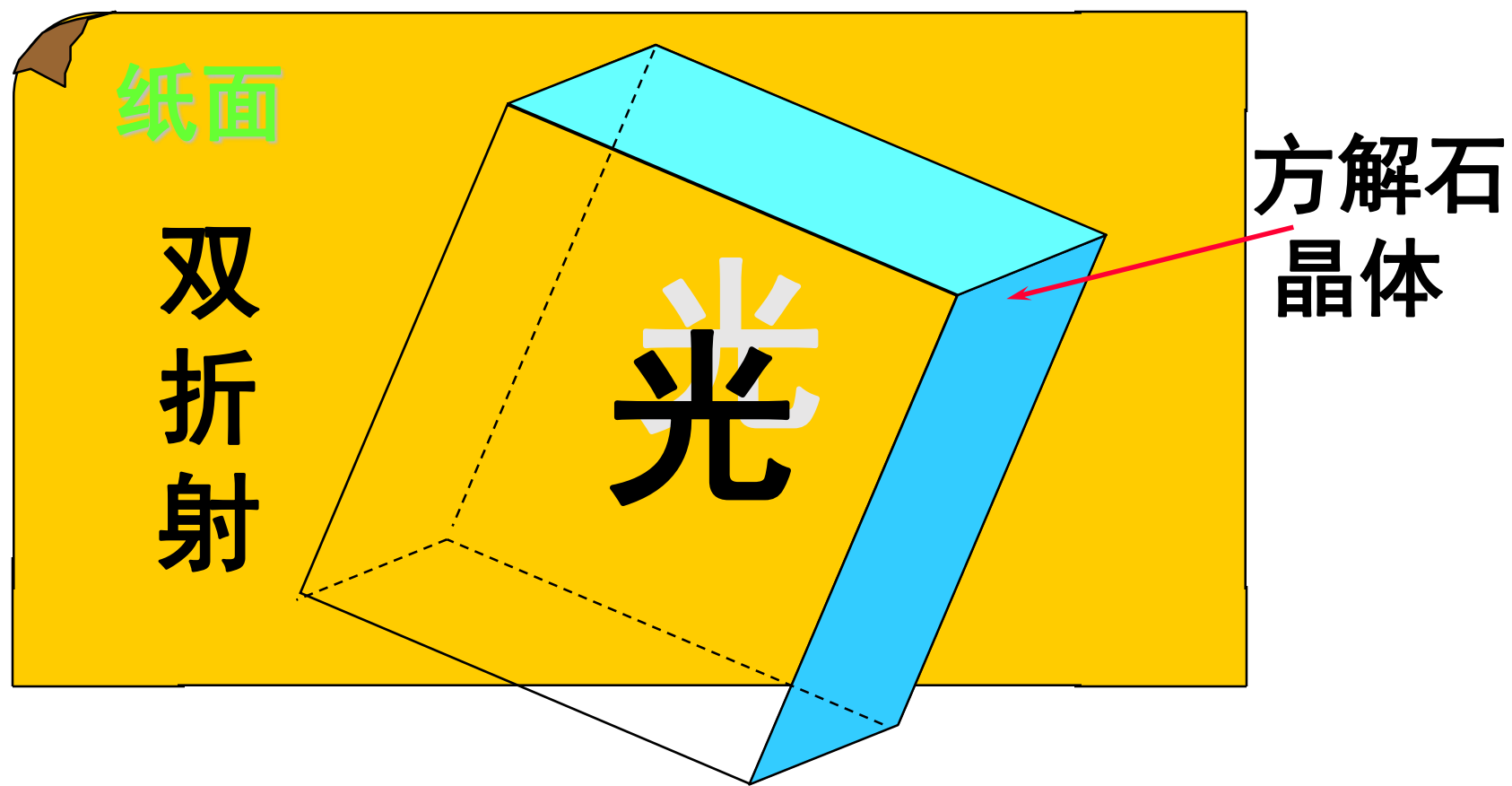


双折射的两
束光振动方
向相互垂直

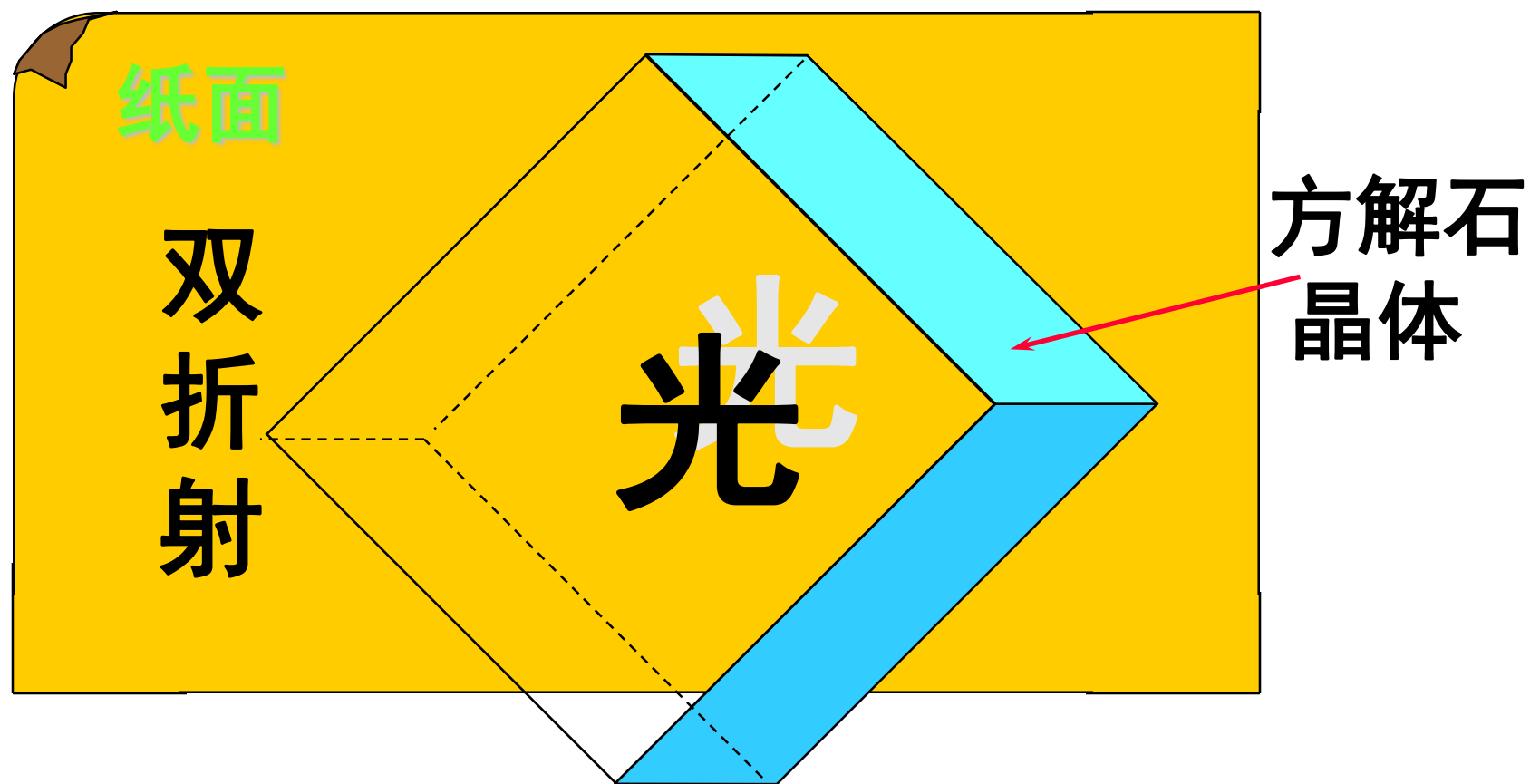
当方解石晶体旋转时，o 光的像不动，
e光的像围绕 o 光的像旋转。



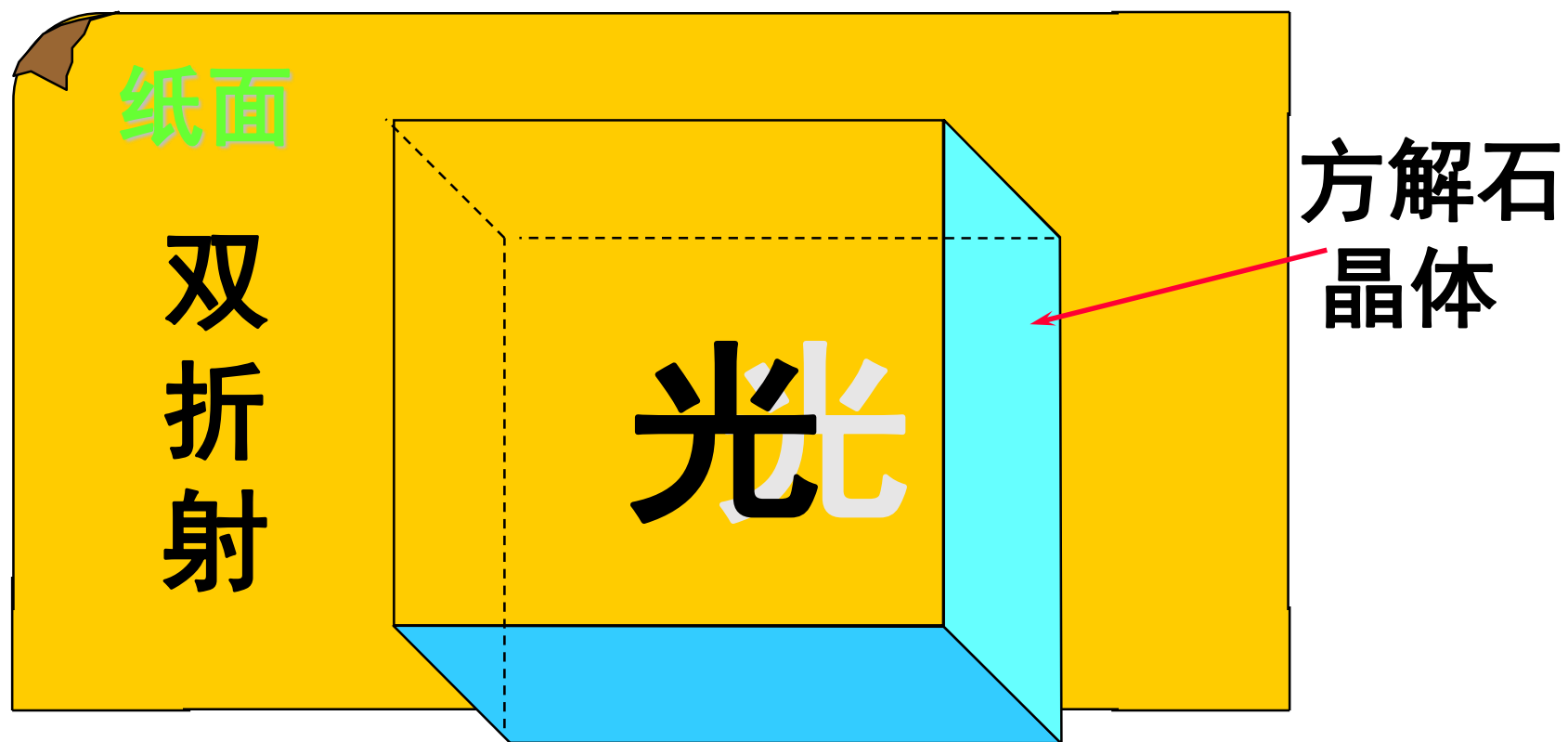
继续旋转方解石晶体：



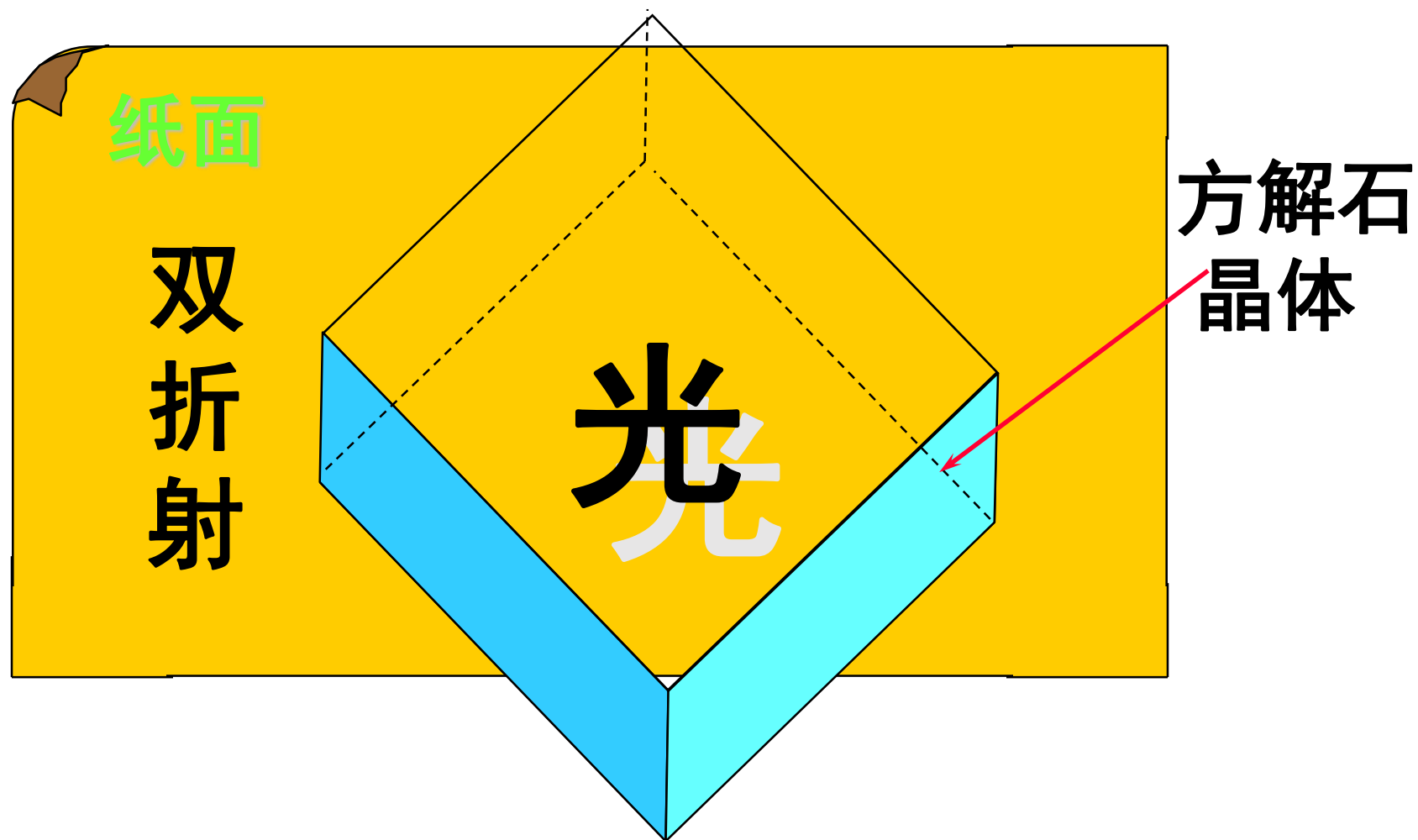
继续旋转方解石晶体：



继续旋转方解石晶体：



继续旋转方解石晶体：



3、晶体的光轴 (optical axis of crystal)

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**。

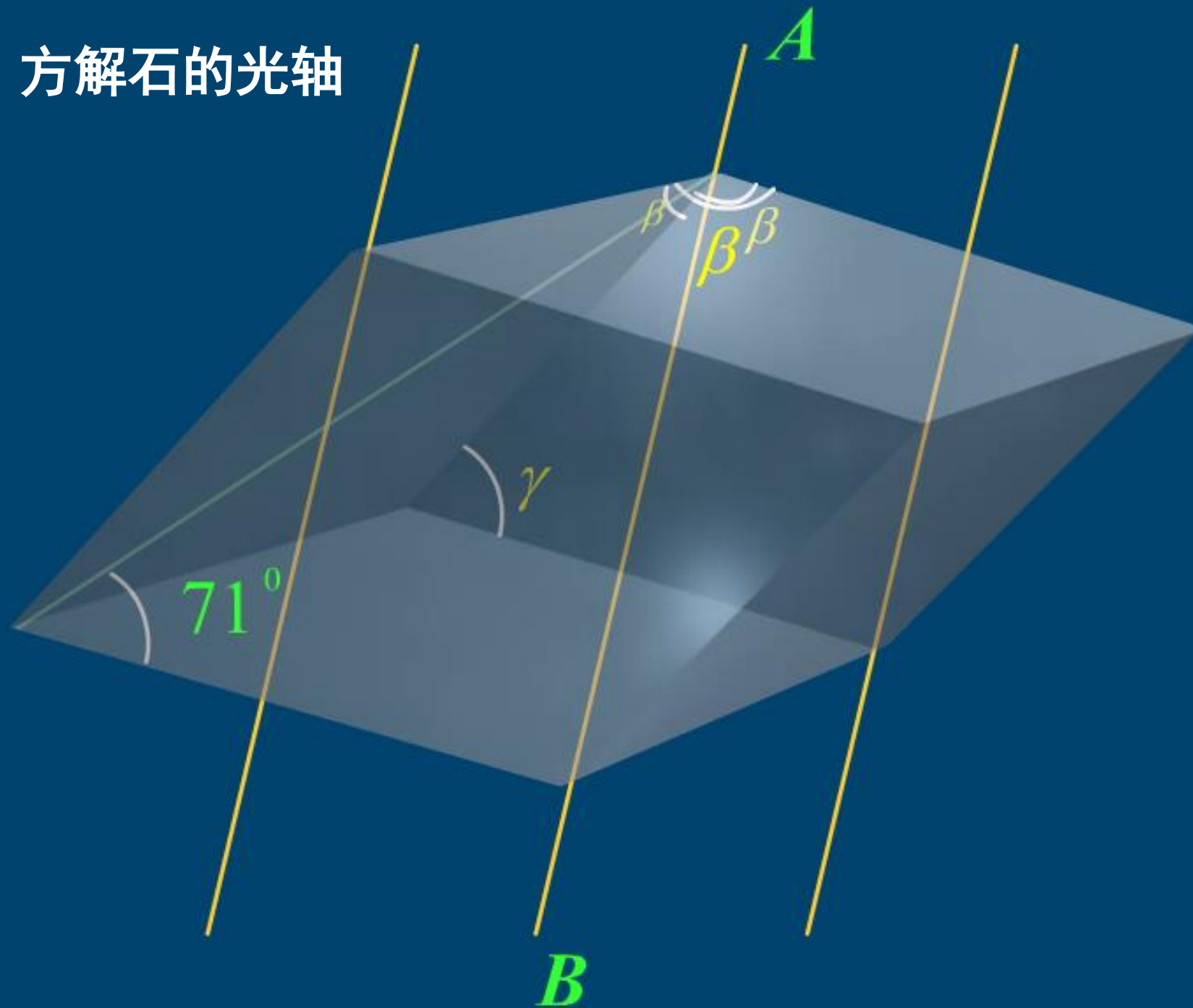
例如，方解石晶体（冰洲石）的光轴：**由钝顶角引出的与三个棱边成等角的方向就是光轴**。

光轴是一个特殊的**方向**，**凡平行于此方向的直线均为光轴**。

单轴晶体：只有一个光轴的晶体，如方解石。

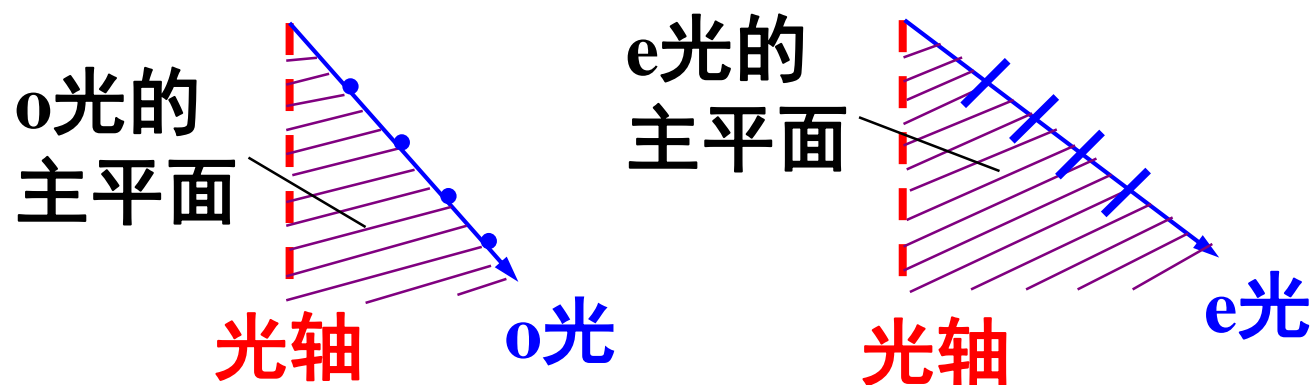
双轴晶体：有两个光轴的晶体，如云母。

方解石的光轴



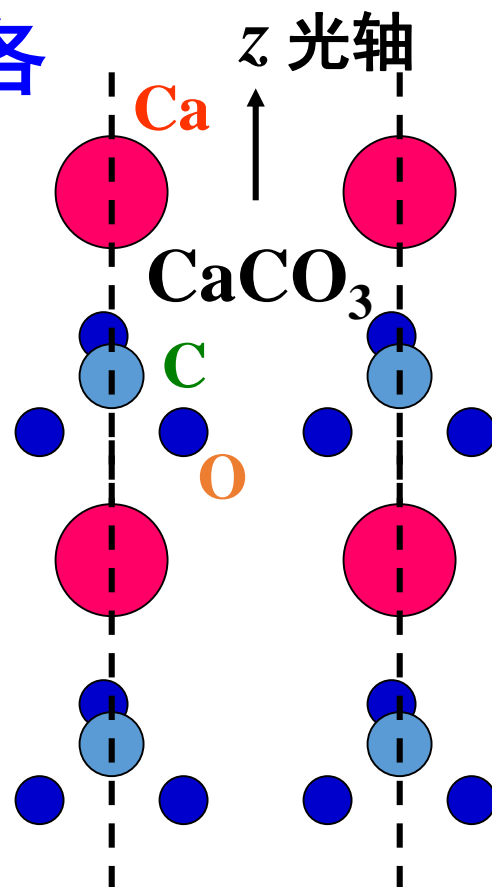
4、主平面 (principal plane)

晶体中光的传播方向与晶体光轴构成的平面
叫该束光的**主平面**。



二、晶体的主折射率，正晶体、负晶体

晶体的各向异性：



光矢量 \vec{E} 平行于光轴时，

介电常数为 ϵ_z

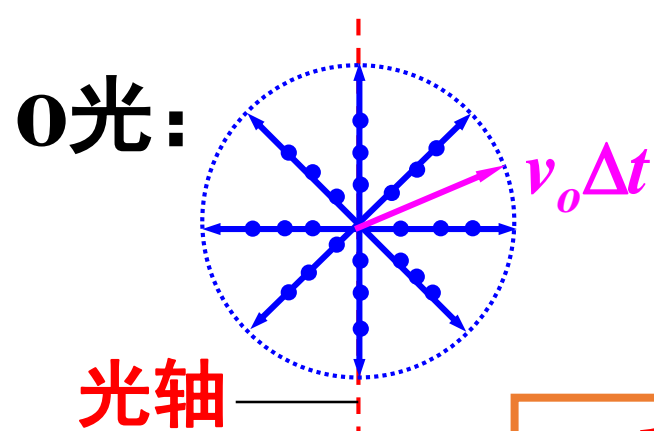
光矢量垂直于光轴时，

介电常数为 ϵ_x, ϵ_y

$$\epsilon_x = \epsilon_y \neq \epsilon_z,$$

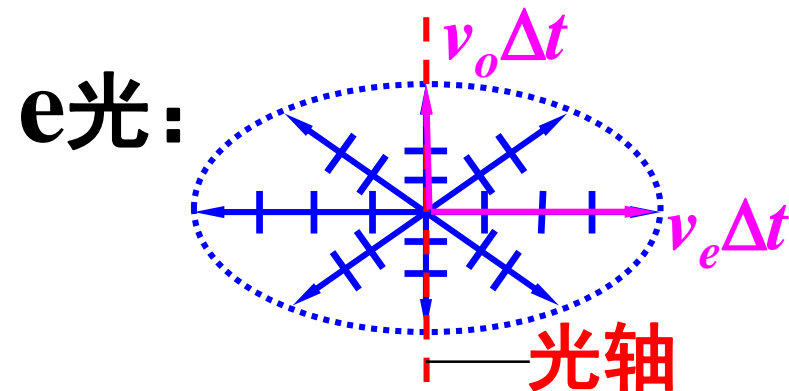
$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \propto \frac{1}{\sqrt{\epsilon}}$$

光矢量振动方向与晶体光轴的夹角不同，介电常数就不同，光的传播速度也就不同。



$$n_o = \frac{c}{v_o}$$

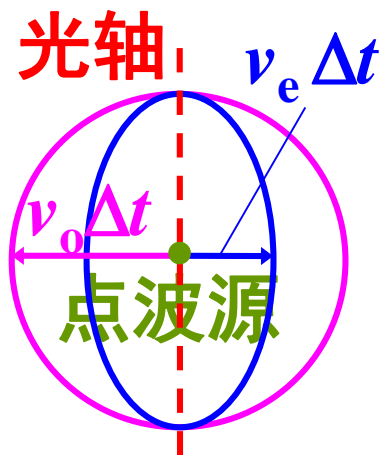
n_o, n_e 称为
晶体的主折射率



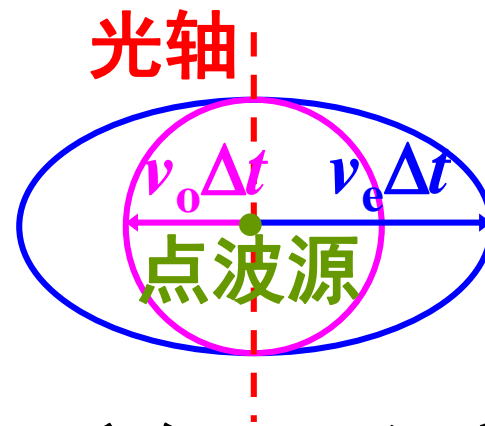
$$v_o \rightarrow n_o$$

$$v_e \rightarrow n_e = \frac{c}{v_e}$$

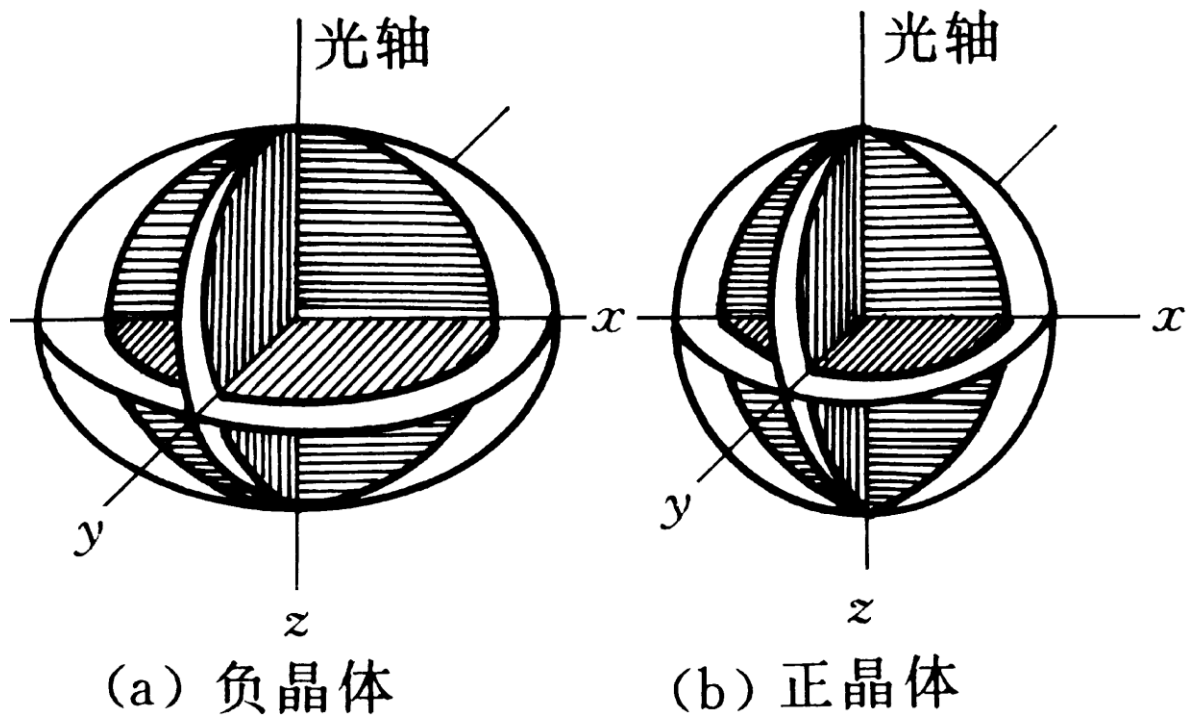
正晶体: $n_e > n_o$ ($v_e < v_o$) **负晶体:** $n_e < n_o$ ($v_e > v_o$)



如: 石英、冰



如: 方解石、红宝石

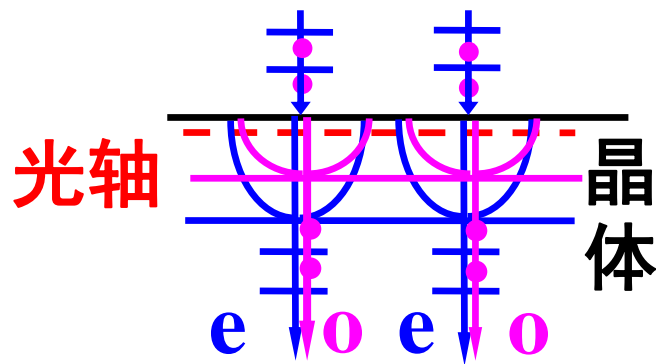


三、单轴晶体中光传播的惠更斯作图法

以惠更斯原理为依据的惠更斯作图法，
是研究光在晶体中传播的重要方法。

下面以负晶体($v_e > v_o$)为例，介绍该方法：

1、光轴平行晶体表面，自然光垂直入射



o、e方向上虽没分开，
但速度上是分开的，
这仍是双折射。

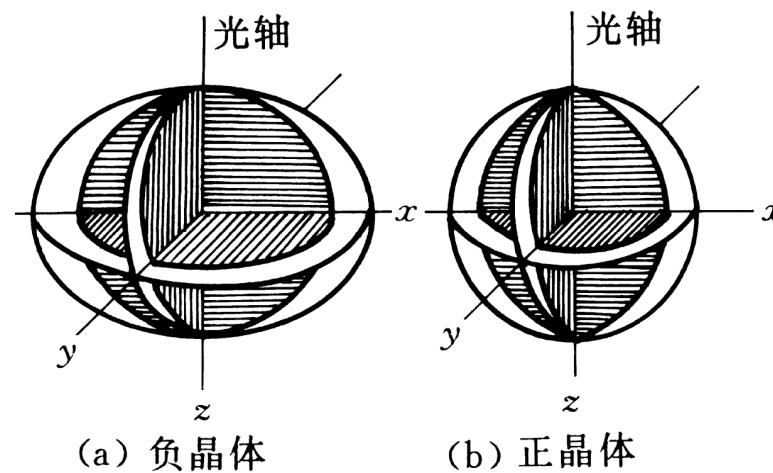
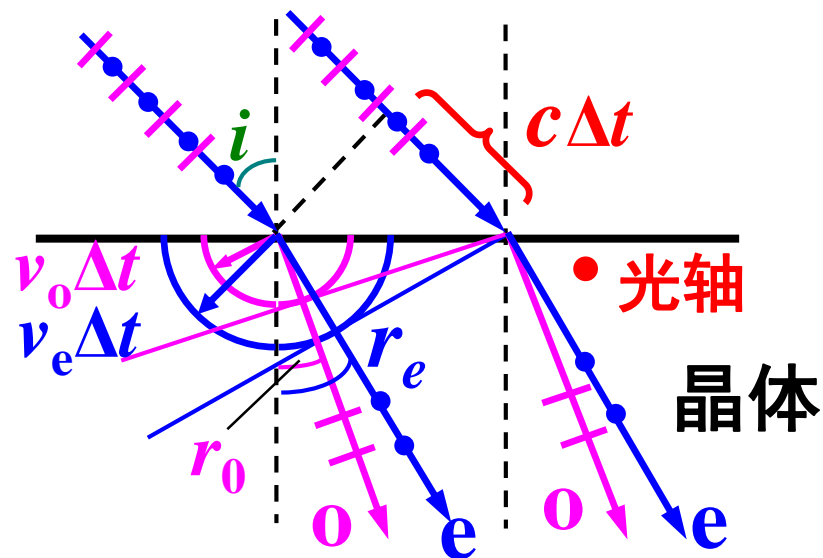
2、光轴平行晶体表面，且垂直入射面，

自然光斜入射

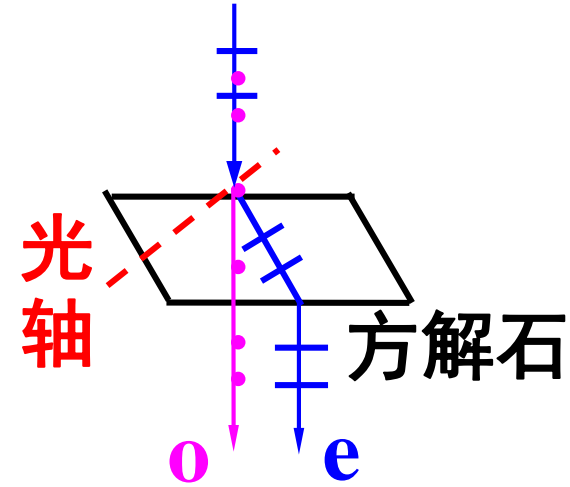
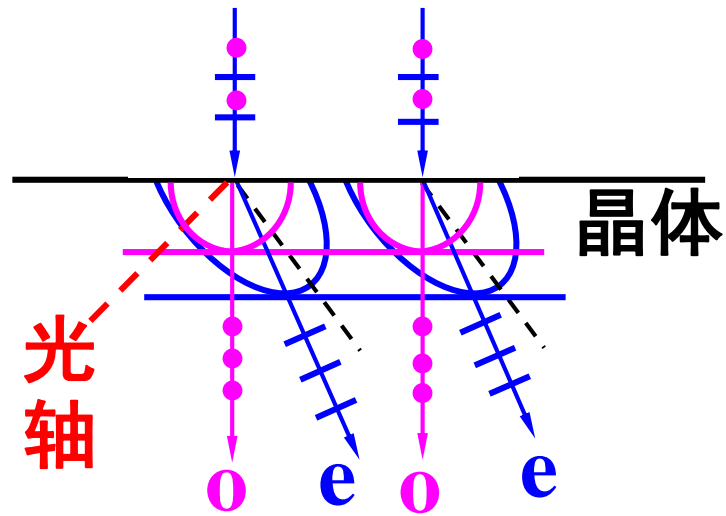
$$\frac{\sin i}{\sin \gamma_o} = \frac{c}{v_o} = n_o$$

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

在这种情况下，对
e光也可以用折射定律。



3、光轴与晶体表面斜交，自然光垂直入射



这正是前面演示的情形。

此时e光的波面不再与其波射线垂直了。

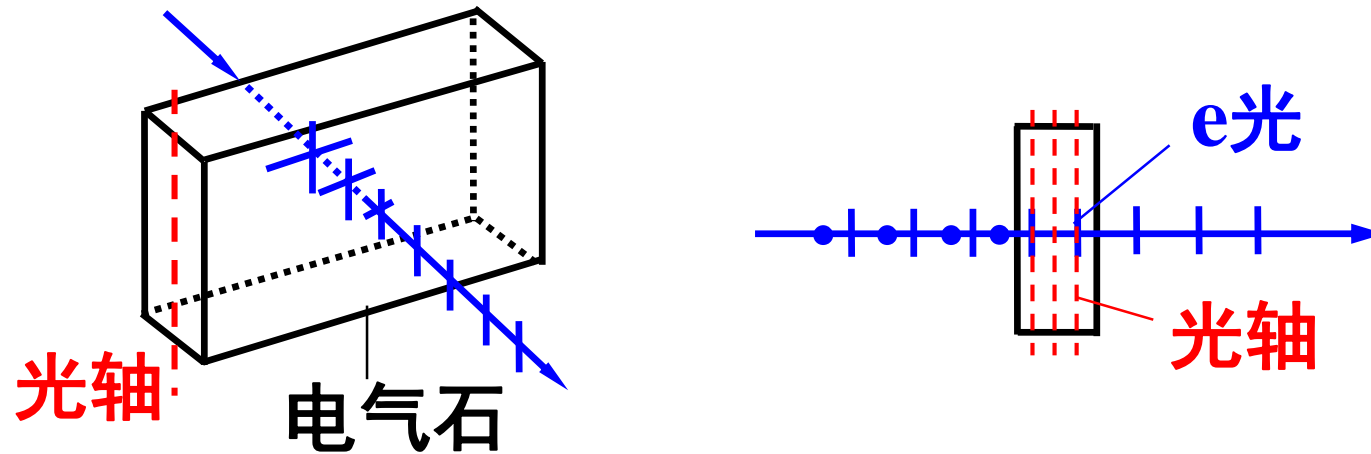
24.6 椭圆偏振光和圆偏振光

一、晶体起偏器件

1、晶体的二向色性、晶体偏振器

某些晶体对o光和e光的吸收有很大差异，这叫晶体的**二向色性**（**dichroism**）。

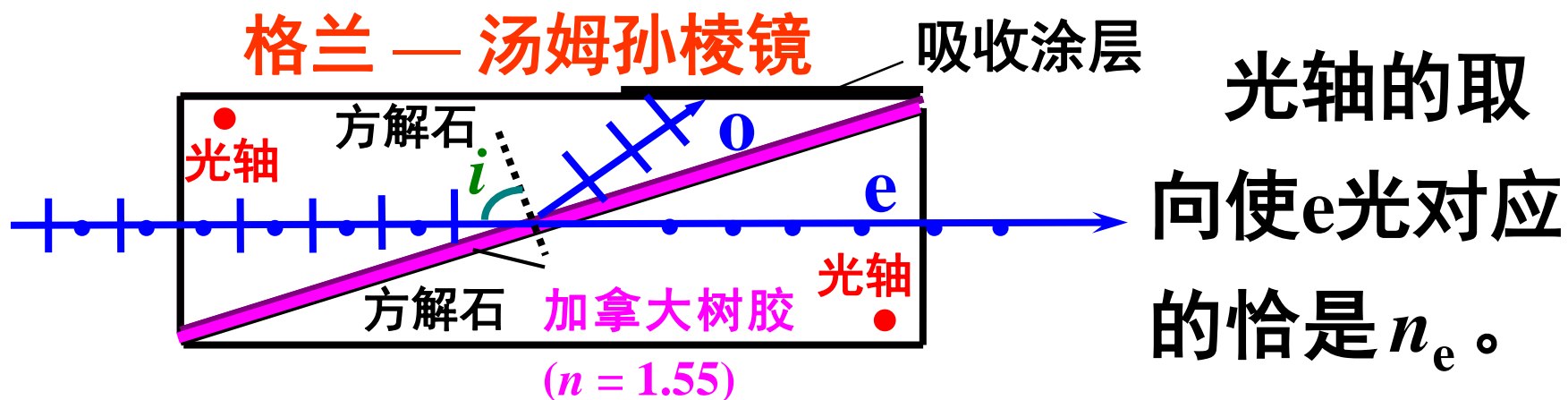
例如，电气石对o光有强烈吸收，对e光吸收很弱，用它就可以产生线偏振光。



2、偏振棱镜

偏振棱镜可由自然光获得高质量的线偏振光，它又可分为偏光棱镜和偏光分束棱镜。

●偏光棱镜：可由自然光获得原方向的线偏振光

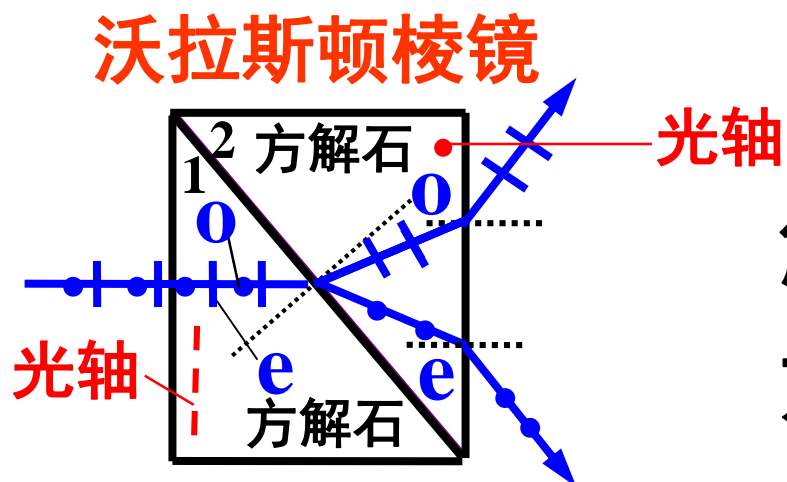


$$n_o (1.6584) > n (1.55) > n_e (1.4864)$$

$i > \text{临界角}$ ，o 光全反射了，e 光可通过。

●偏光分束棱镜：

可由自然光获得分开的两束线偏振光

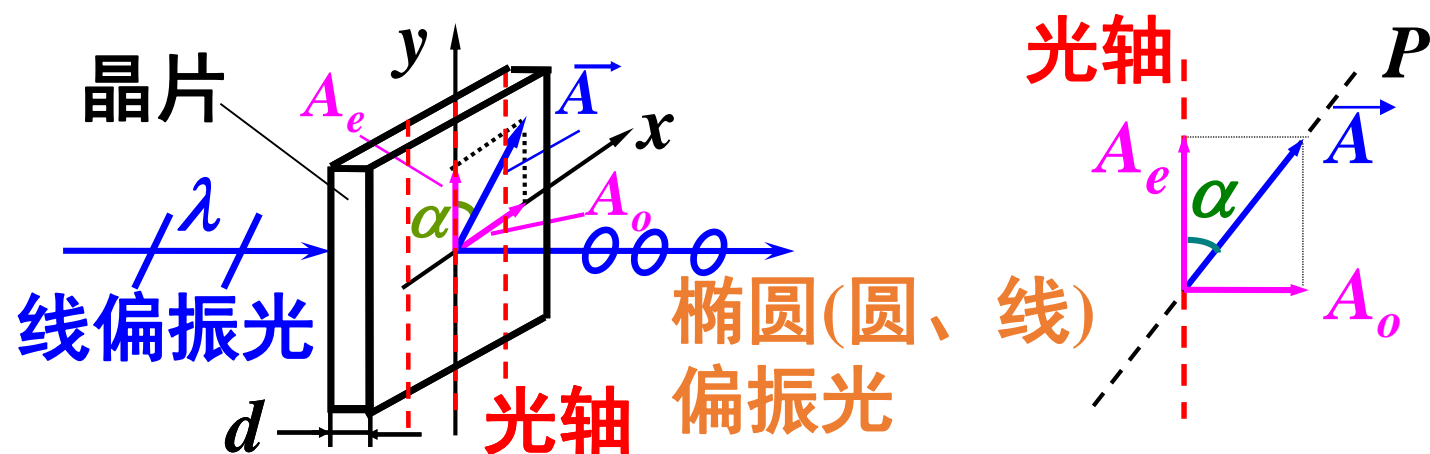


光进入到第1块方解石后，o光和e光在方向上没有分开。

由于方解石2和方解石1二者光轴垂直，当光进入到方解石2时，o光变成e光 ($n_o > n_e$)：光密→光疏；而e光变成o光：光疏→光密
于是两光束在界面处发生折射而分开。

二、晶体相移器件 圆和椭圆偏振光的起偏

晶片： 光轴平行表面的晶体薄片。



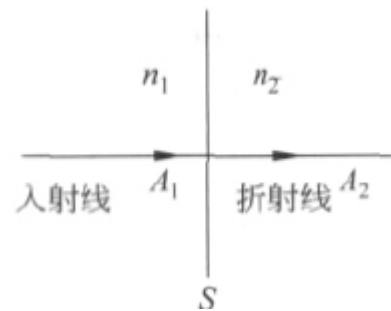
晶片左侧：

$$A_o = A \sin \alpha ,$$

$$A_e = A \cos \alpha$$

晶片内：

$$A'_o = \frac{2}{1 + n_o} A \sin \alpha , \quad A'_e = \frac{2}{1 + n_e} A \cos \alpha$$



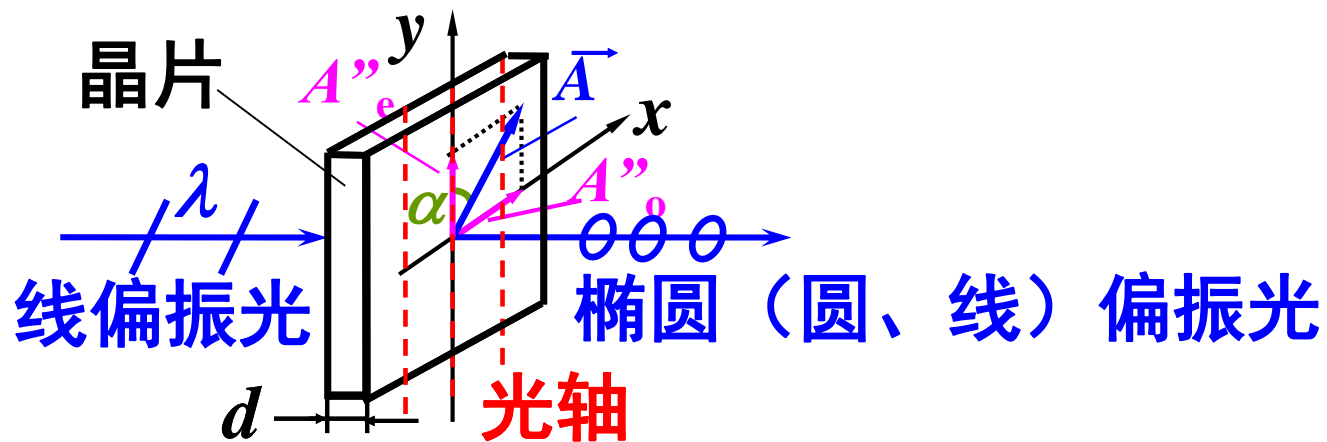
$$A_2 = \frac{2n_1}{n_1 + n_2} A_1$$

晶片右侧：

$$A_o'' = \frac{2n_o}{1 + n_o} A_o' = \frac{4n_o}{(1 + n_o)^2} A \sin \alpha$$

$$A_e'' = \frac{2n_e}{1 + n_e} A_e' = \frac{4n_e}{(1 + n_e)^2} A \cos \alpha$$

从晶片出射的两束光由于出现相位差，
而合成为一束椭圆、圆或线偏振光。



在出射点晶片对o、e光产生的**附加相位差**：

$$|\Delta\varphi| = |n_e - n_o| \cdot d \cdot \frac{2\pi}{\lambda}$$

当 $|\Delta\varphi| = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \dots$ ，出射光为椭圆(圆)偏振光

当 $|\Delta\varphi| = \pi, 3\pi, \dots$ ，出射光仍为线偏振光

1、四分之一波(晶)片 (quarter-wave plate)

厚度满足 $|n_e - n_o| \cdot d = m\lambda + \frac{\lambda}{4} \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots$

$$\rightarrow |\Delta\varphi| = \frac{\pi}{2}$$

可从线偏振光获得椭圆或圆偏振光 (或相反)

要获得圆偏振光, 必须 $A''_o = A''_e$, 故

$$\alpha = \alpha_0 = \arctan \frac{n_e(1 + n_o)^2}{n_o(1 + n_e)^2}$$

其中, n_o 和 n_e 的大小不仅与产生双折射的介质有关, 还与入射光的波长有关,

589.3nm 的钠黄光的 $1/4$ 波片,若介质为方解石,

则 $n_o = 1.6584; n_e = 1.4864; \quad \alpha_o = 45^\circ 42'$

若介质为石英,则 $n_o = 1.5443, n_e = 1.5534,$

$\alpha_o = 44^\circ 58'$

$\alpha = \alpha_o :$

线偏振光→圆偏振光

$\alpha = 0, \pi/2 :$

线偏振光→线偏振光

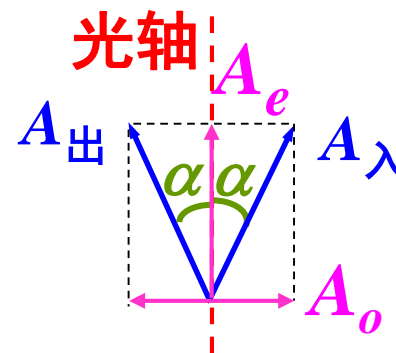
$\alpha \neq \alpha_o, 0, \pi/2 :$

线偏振光→椭圆偏振光

2、二分之一波片

$$|n_e - n_o| \cdot d = m\lambda + \frac{\lambda}{2} \rightarrow |\Delta\varphi| = \pi$$

$$m = 0, 1, 2, 3, \dots$$



可使线偏振光振动面转过 2α 角度

3、全波片

$$|n_e - n_o| \cdot d = m\lambda \rightarrow |\Delta\varphi| = 2\pi$$

$$m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

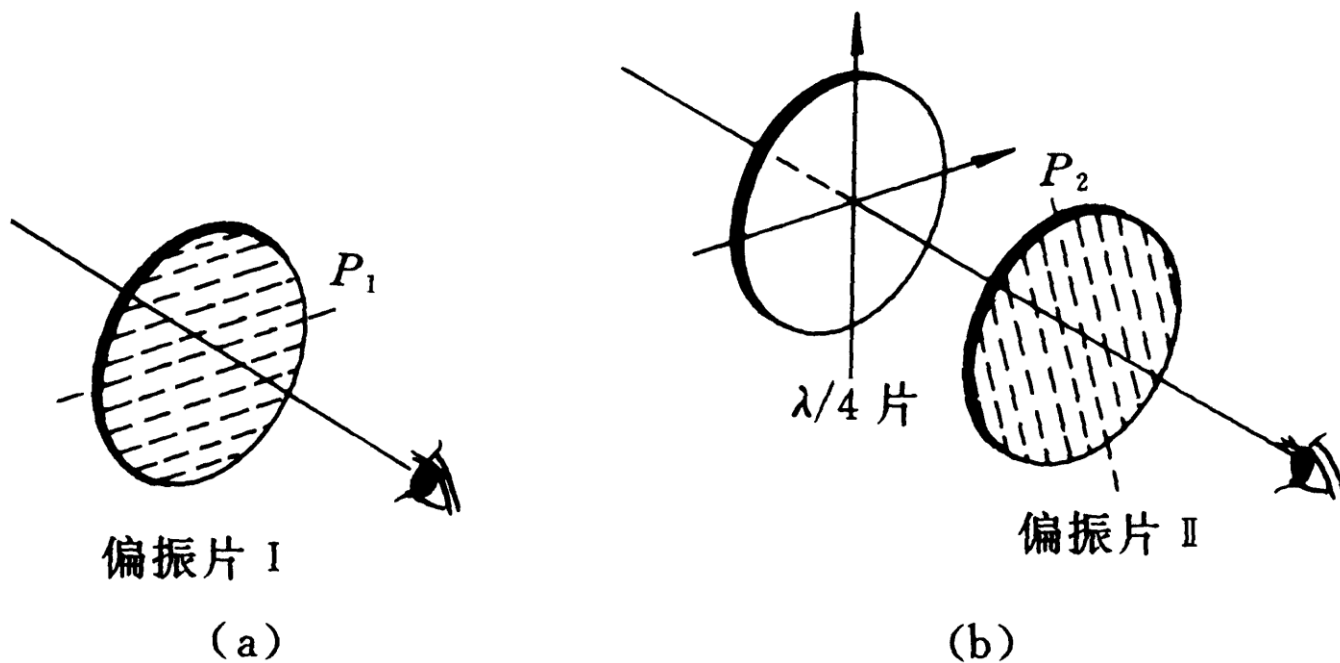
注意：波片是对某个确定波长 λ 而言的

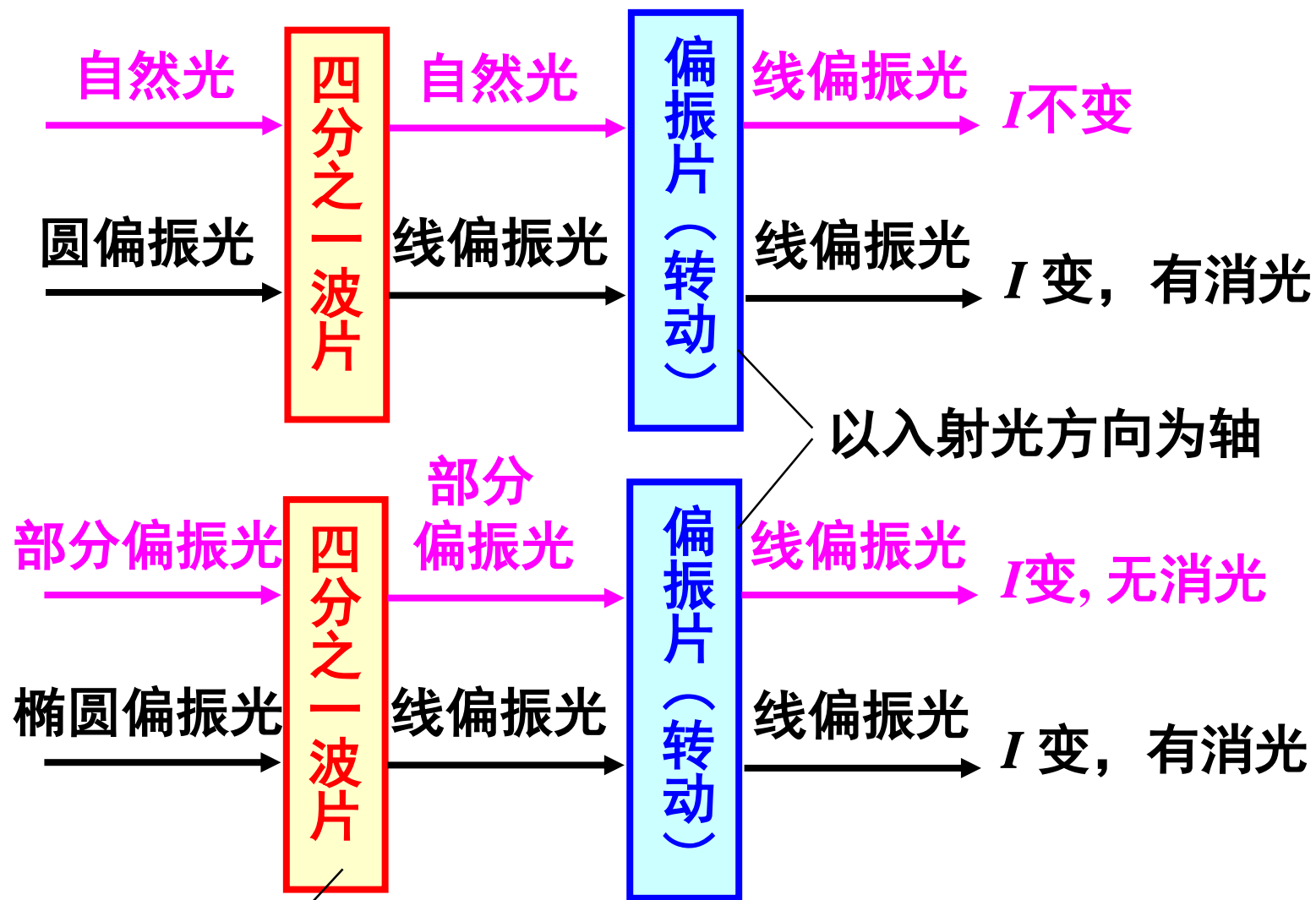
三、椭圆与圆偏振光的检偏

【思考】如何用四分之一波片和偏振片区分

自然光和圆偏振光

部分偏振光和椭圆偏振光





七种偏振态的鉴别

步 骤	操作	把检偏振器迎着被检验光旋转一周						
	光强变化	两明 两零	不变			两明两暗		
	判断	线偏 振光	转步骤2			转步骤2		
步 骤 2	操作	在检偏器前插入λ/4片, 再旋转检偏器				在检偏器前插入λ/4片,并使光轴 对着暗方位,再旋转检偏器		
		光强 变化	两明 两零	不变	两明 两暗	两明 两零	两明两暗 且暗方位 与未插 λ/4波片 时同	两明两暗 但暗方位 与未插 λ/4片时 不同
	判 断							

为了鉴别后两种部分偏振光（自+线，自+椭圆）和椭圆偏振光，则必须设法让1/4波片的光轴与椭圆主轴平行，只有这样才能使椭圆偏振光经过波片后变成线偏振光而将它鉴别出来。参见p. 8

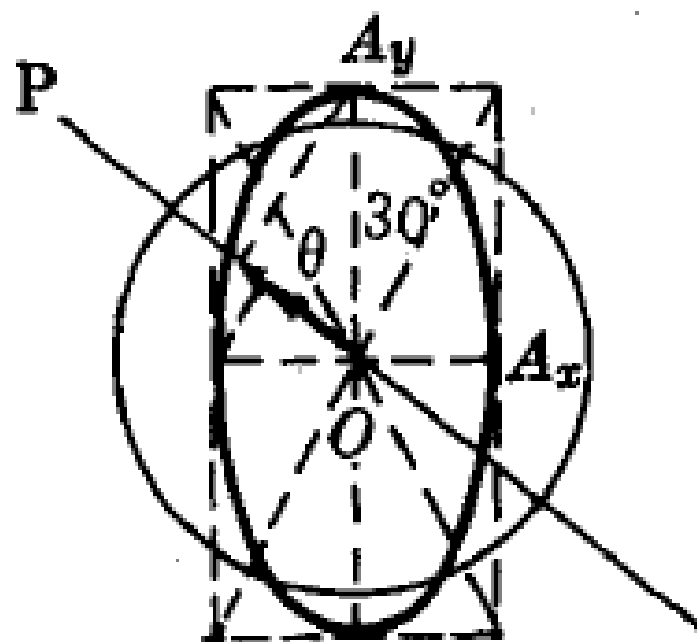
实际上，实验室中所用的偏振片的通光方向和波片的光轴方向常常是不标明的，解决的办法是：在一对正交的偏振片之间放一块1/4波片，以自然光入射，在转动波片光轴方向时若在某位置上有消光现象，则说明这时的波片光轴方向与偏振片的通光方向平行或垂直，作好记号即可用于上述检验步骤之中。

例24.4 用旋转的偏振片去检查未知偏振态的光，发现当其透振方向处于**铅直**和**水平**方向时，分别检出最大光强 I_0 和最小光强 $2I_0/3$ 。先让此偏振态的光通过光轴处于水平方位的**1/4波片**，再旋转偏振片，则发现当其透振方向位于和水平夹角 **30°** 方位时为最暗。

- (1) 试说明该束光的**偏振态**，其中各成分所占**光强百分数**是多少？
- (2) 让这一偏振态的光通过**透振方向与铅直夹 θ 角的偏振片**，则**出射光强**是多少？

解：(1) 试说明该束光为
自然光+椭圆偏振光

且椭圆长轴位于铅直方位，
椭圆长短轴之比为 $\tan 60^\circ$ 。



图中的圆是自然光的表示. 设自然光光强为 $I_{\text{自}}$,
椭圆长半轴振幅为 A_y , 短半轴振幅为 A_x , 则据题意, 有

$$\text{最大光强 } I_0 = (I_{\text{自}}/2) + A_y^2,$$

$$\text{最小光强 } (2I_0/3) = (I_{\text{自}}/2) + A_x^2,$$

$$A_y/A_x = \tan 60^\circ = \sqrt{3}.$$

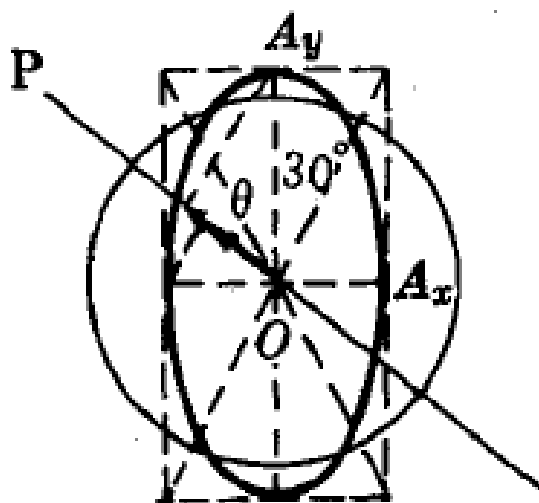
$$\text{由此三式解得 } I_{\text{自}} = I_0, A_y^2 = I_0/2, A_x^2 = I_0/6.$$

椭圆偏光是非相干叠加的结果，故部份偏振光中的椭圆偏光光强 $I_{\text{椭}} = A_y^2 + A_x^2 = (I_0/2) + (I_0/6) = 2I_0/3$. 部份偏振光的总光强为 $I_{\text{自}} + I_{\text{椭}} = I_0 + (2I_0/3) = 5I_0/3$. 注意，它正是题中检偏镜从两个垂直方位所检得的光强之和. 事实上，对任意偏振态的光，从两个任意互相垂直方位上所检得的光强之和，必等于该偏振态的总光强. 显然本题中自然光光强占总光强的 60%，椭圆偏光则占 40%.

(2)

现在使检偏镜 P 处于和铅直方位成 θ 角的位置，见图. 光强为 I_0 的自然光通过 P 后得到 $I_0/2$ 的光强. 椭圆偏光通过 P 后的光强是分光强 $(A_y \cos \theta)^2$ 与 $(A_x \sin \theta)^2$ 之和，这是由于组成椭圆偏光的两个电振动 E_x 、 E_y 之间的相位差为 90° ，相干叠加中的干涉项为零的缘故. 最后， θ 方位所检出的光强为

$$I_{\theta} = (I_0/2) + (I_0/2)\cos^2\theta + (I_0/6)\sin^2\theta = I_0 - (I_0/3)\sin^2\theta$$



第24章结束