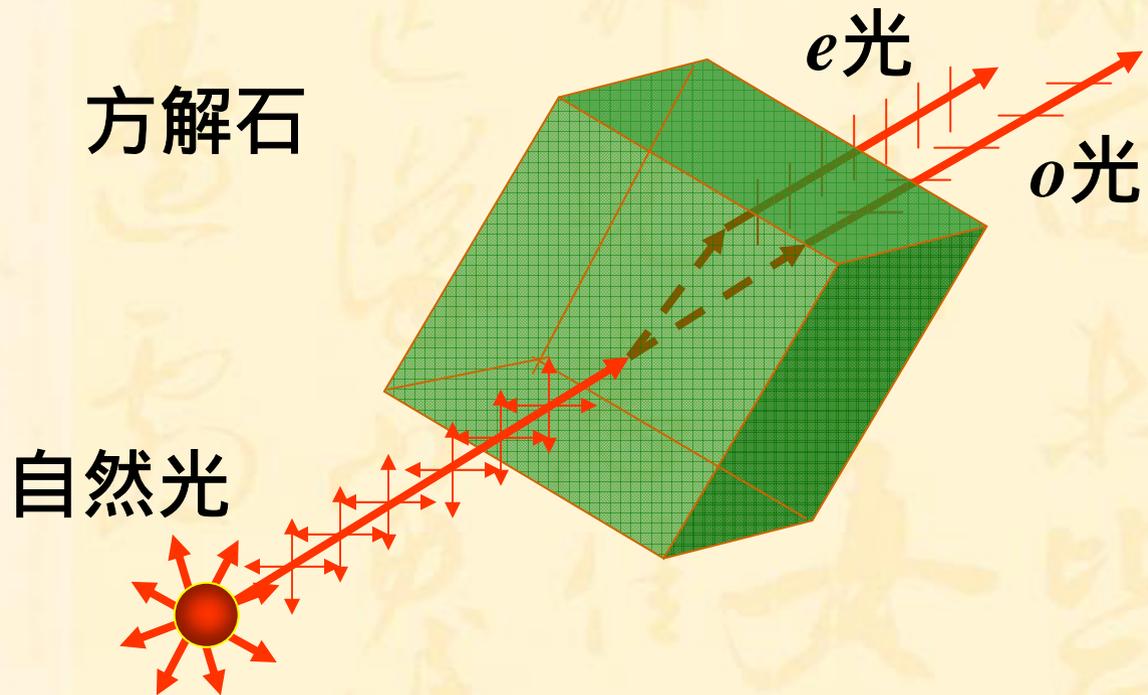
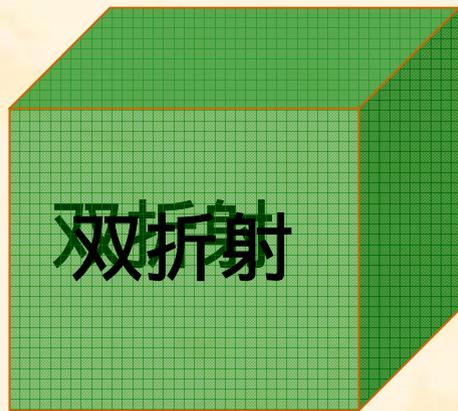


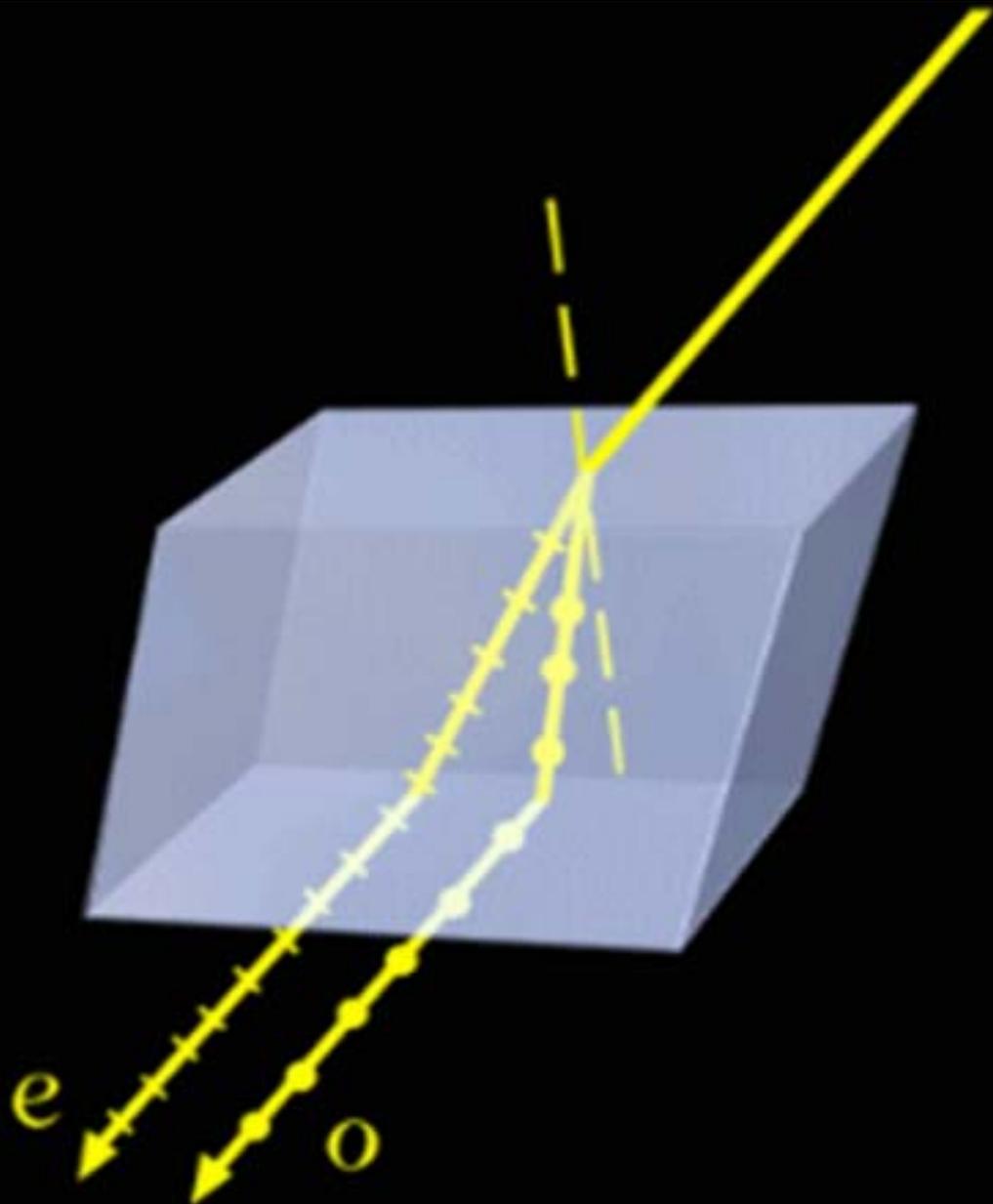
## § 9-4 双折射 ( Double Refraction )

### 一、双折射现象



### 双折射现象

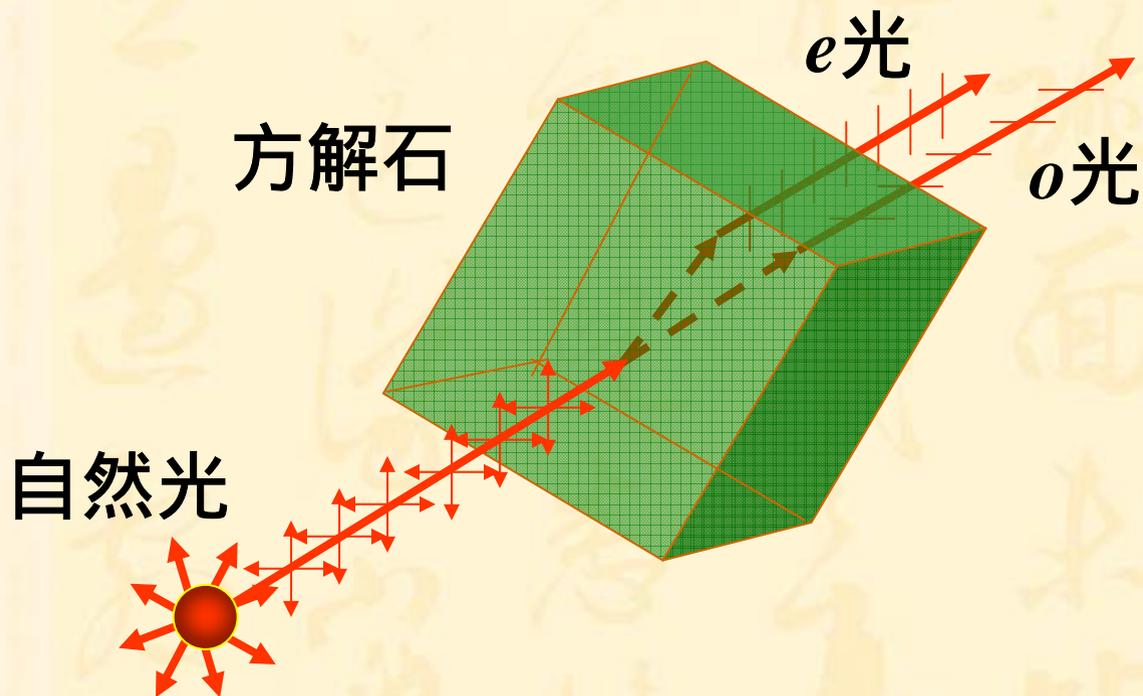
一束自然光通过某些各向异性晶体时，在晶体  
内折射成两束光的现象。



## 二、寻常光和非寻常光

$o$  : 寻常光  
Ordinary

$e$  : 非寻常光  
Extraordinary



两束光均是偏振光，一束称寻常光（ $o$ 光）一束称非寻常光（ $e$ 光）

$o$ 光遵守折射定律，而 $e$ 光光线方向不遵守通常所说的折射定律。

对 $o$ 光：
$$\frac{\sin i_0}{\sin r_0} = n_o = \text{const}$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c}{v} = n$$

对 $e$ 光：
$$\frac{\sin i_e}{\sin r_e} = n_e(i) \neq \text{const}$$

与入射角有关  
且不为定值。

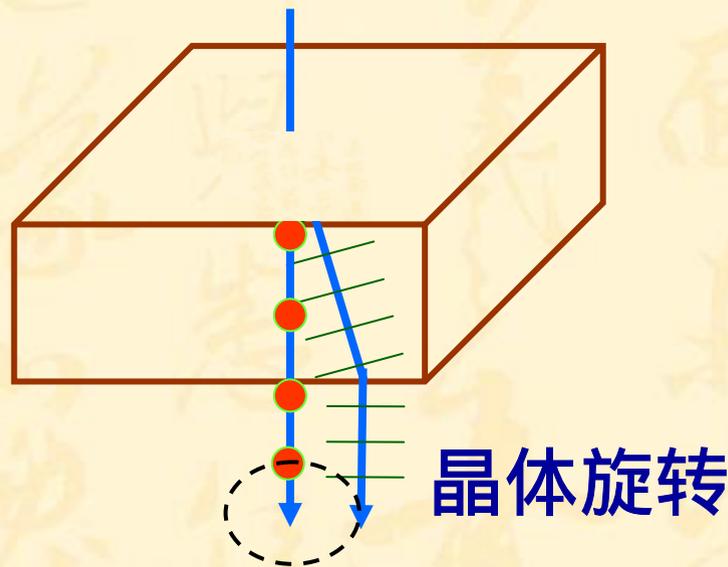
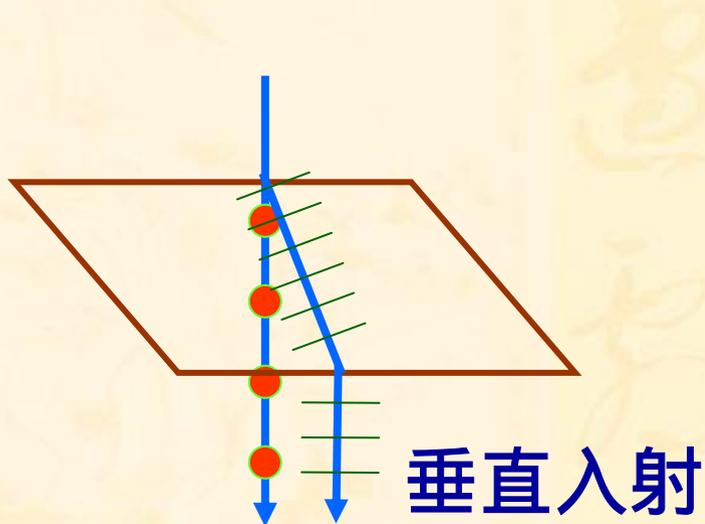
**产生双折射的原因：** 晶体的各向异性。

光在晶体中的传播速度与光的传播方向和偏振方向有关。

$o$ 光在晶体中沿各个方向的传播速度都相同，所以折射率不随方向而变；

$e$ 光在晶体中沿不同方向传播时有不同的速度，所以其折射率随方向而变。

**$e$ 光的特殊现象**：垂直入射时， $o$ 光折射角 $r_o = 0$ ，但 $e$ 光 $r_e \neq 0$ 。 $e$ 光不沿原方向传播。当晶体绕入射光旋转时， $e$ 光随之旋转。



**注意：**

$o$ 光和 $e$ 光只是相对于晶体内部而言的，出射后两束光均为通常的偏振光，但它们的振动方向不相同。

### 三、晶体的光轴

在双折射晶体中，至少可以找到一個確定的方向，沿這個方向 $o$ 光和 $e$ 光的傳播速度或折射率相同，即沿此方向不產生雙折射現象。這一特殊方向稱為晶体的光轴。

#### 讨论

光轴代表一个方向，而不是单指某一条直线，在晶体内沿这一特殊方向的任一条直线都是光轴。

仅有一个光轴方向的晶体称单轴晶体（如方解石、石英）。

有两个光轴的晶体称双轴晶体（云母、硫磺等）。

在垂直于光轴的方向， $o$ 、 $e$  两光的传播方向相同，但传播速度差别最大。设该方向 $e$ 光速度为 $v_e$ ， $e$ 光在该方向的折射率称为**主折射率**。

$o$ 光的折射率与方向无关。

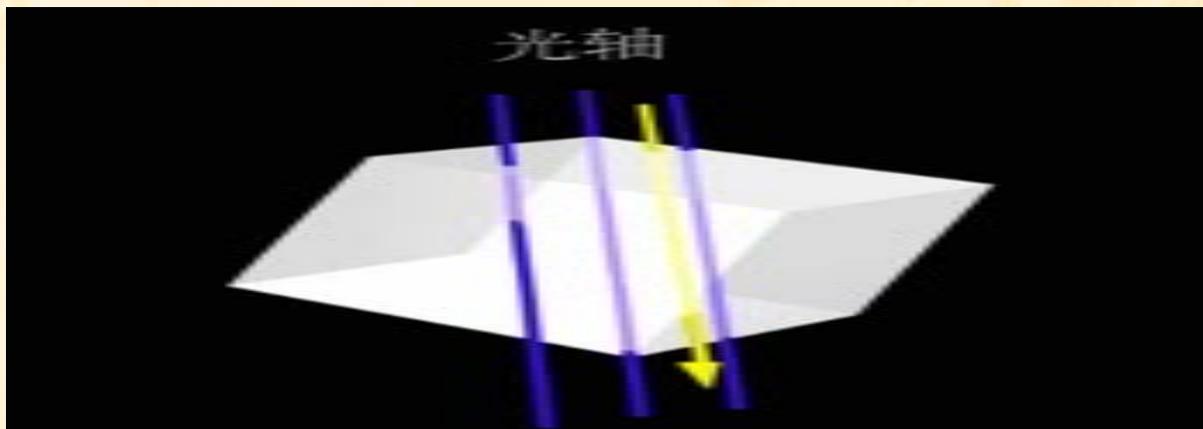
$$n_e = \frac{c}{v_e}$$

随方向变

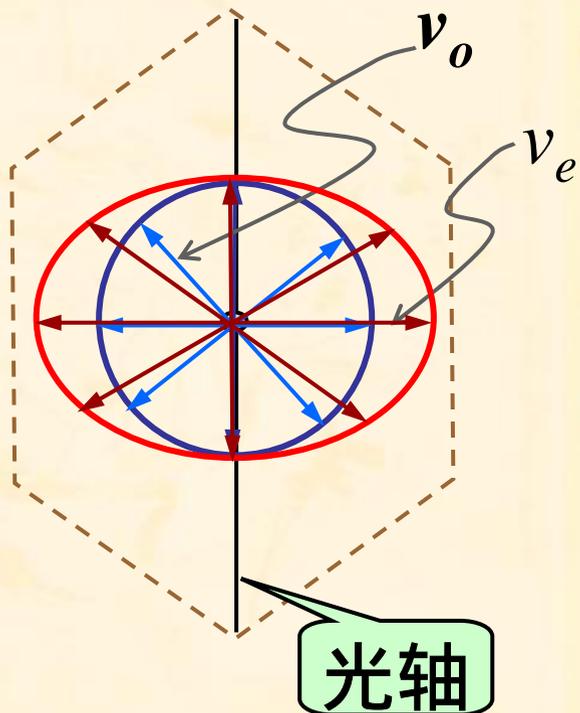
$$n_o = \frac{c}{v_o}$$

不变

晶体中点波源的 $o$ 光和 $e$ 光波面分别为球和椭球形。



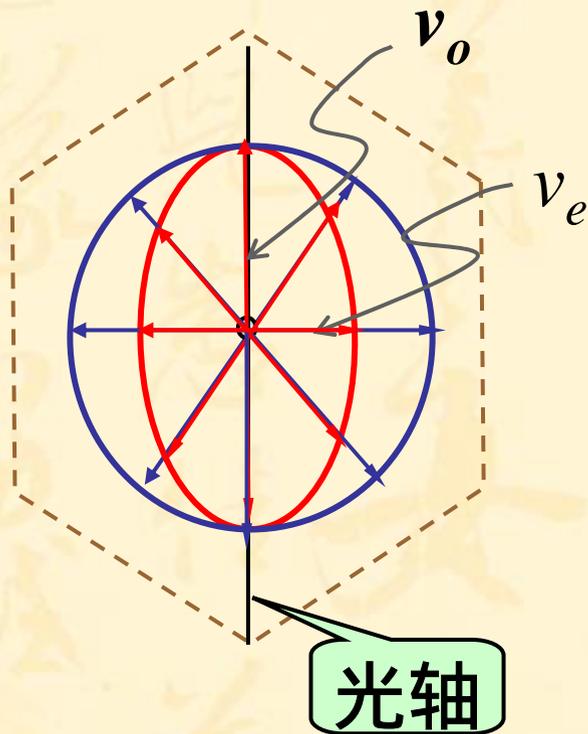
负单轴晶体  $v_o < v_e$   
 $n_o > n_e$  (如方解石)



负单轴晶体

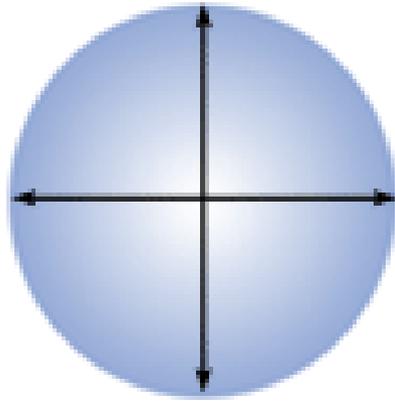
晶体  
内点  
波源  
发出  
的波  
阵面

正单轴晶体  $v_o > v_e$   
 $n_o < n_e$  (如石英)

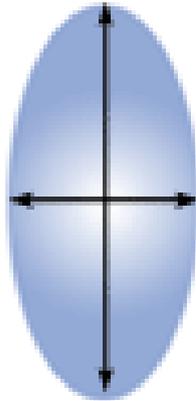


正单轴晶体

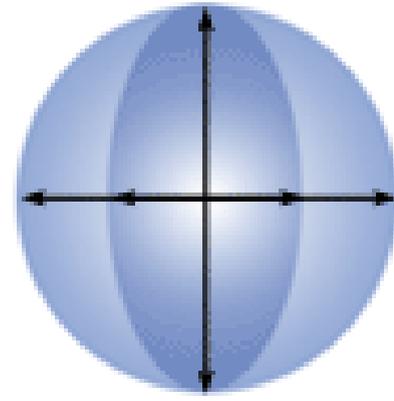
$o$  光波振面



$e$  光波振面

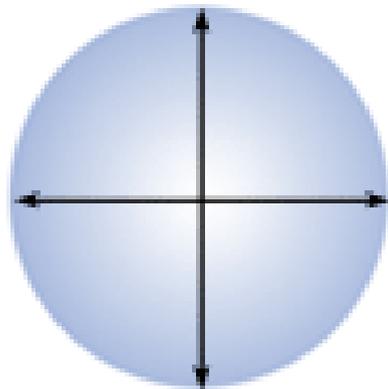


正晶体

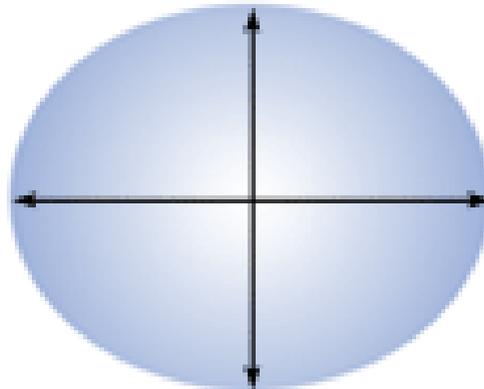


光轴方向

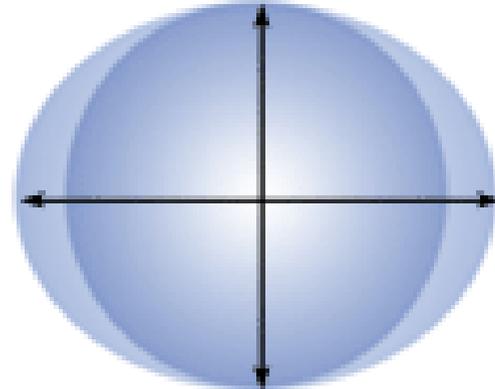
$o$  光波振面



$e$  光波振面



负晶体

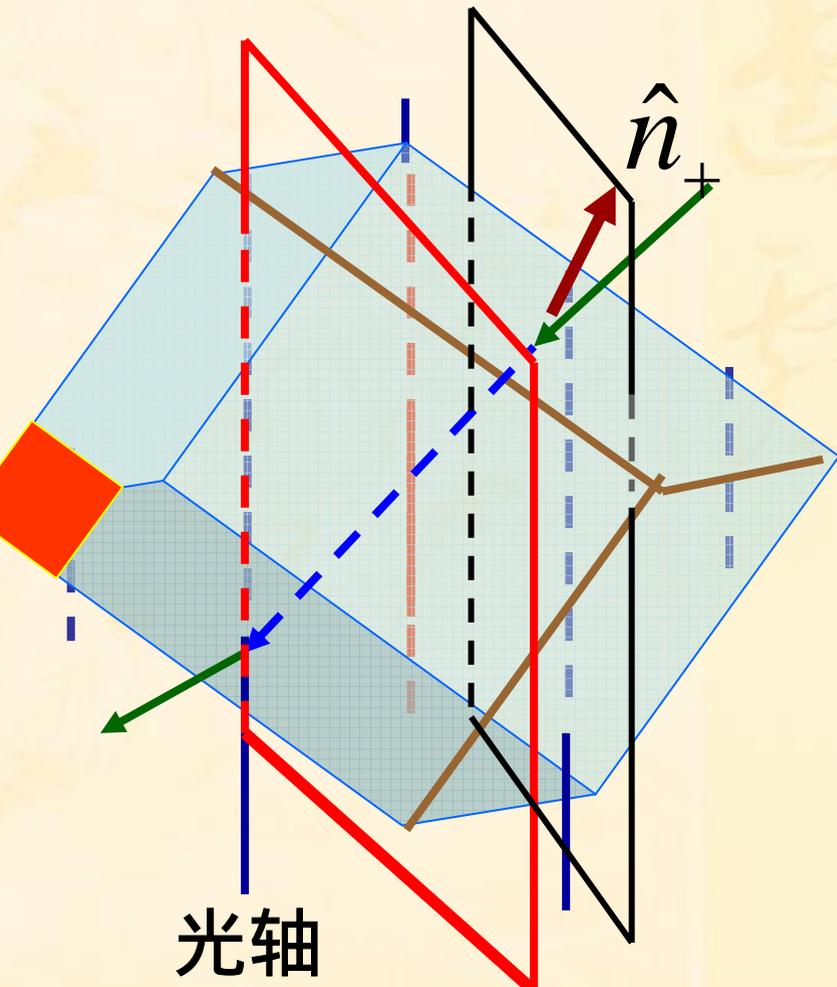


光轴方向

## 四、主截面与主平面

**主截面**--- 晶面法线与光轴组成的平面。

主截面是一系列平行平面，而不量一个特定的面。

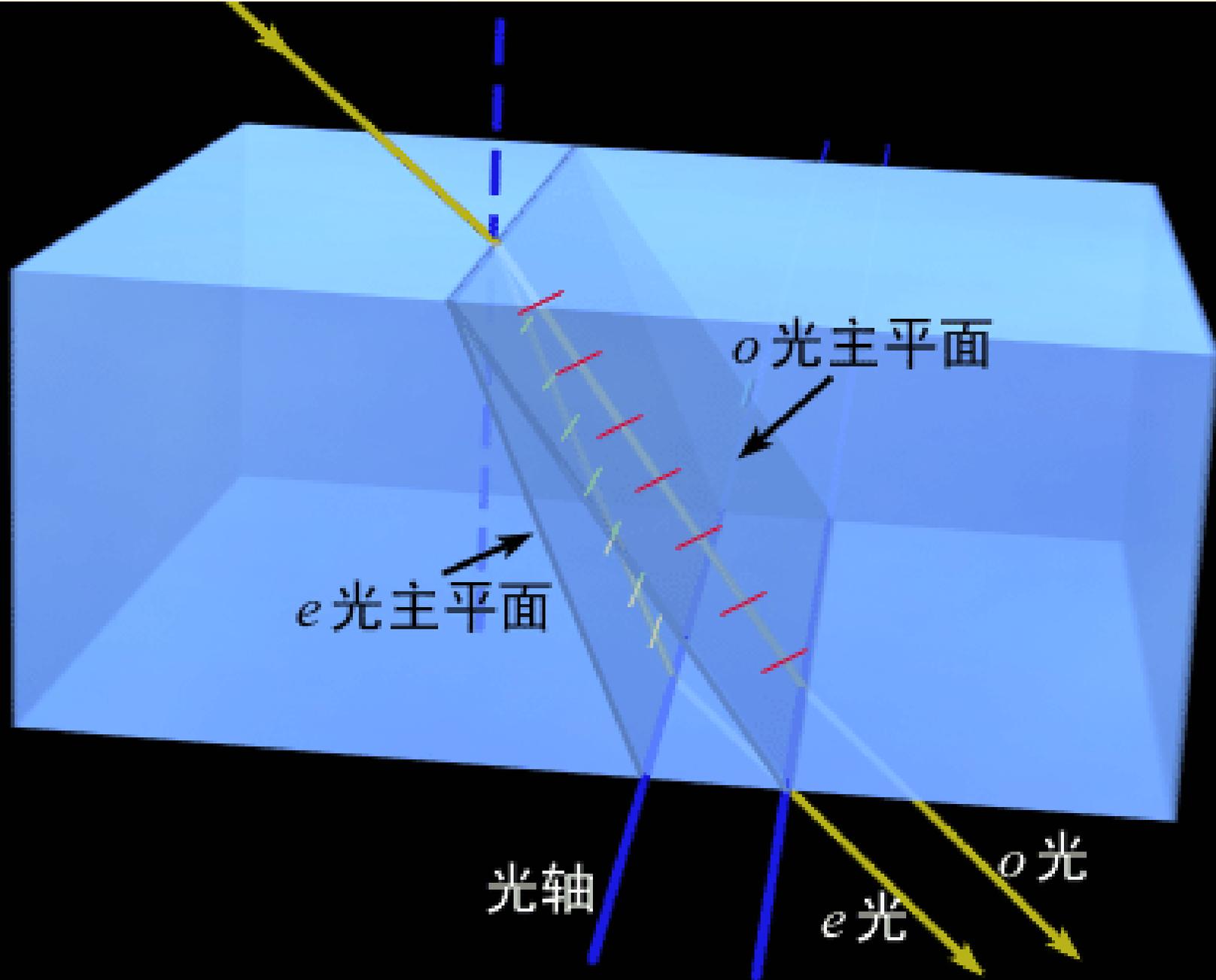


## 主平面

光轴和晶体内任一条光线组成的平面。

## 注意：

- ① *o*光为振动方向垂直于自己的主平面的偏振光；  
*e*光为振动方向平行于自己主平面的偏振光；



② 当入射面与主截面重合时， $o$ 光和 $e$ 光的主平面重合，并同在晶体的主截面内。

此时 $o$ 光与 $e$ 光振动方向相互垂直，且：

$o$ 光为振动面垂直于主截面的偏振光；

$e$ 光为振动面平行于主截面的偏振光。

③ 自然光入射时， $o$ 光和 $e$ 光的振幅相等；偏振光入射时，则视偏振方向与主截面的夹角而定。

④ 一般情况 $o$ 、 $e$ 二光的光振动不完全垂直，而有一定的夹角， $e$ 光也不在主截面内。

## 说明：

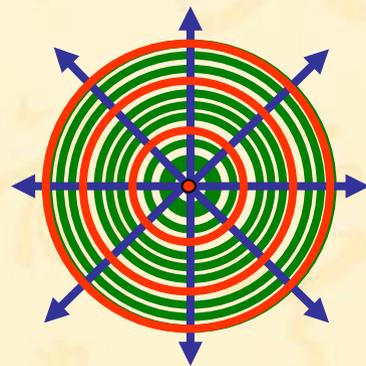
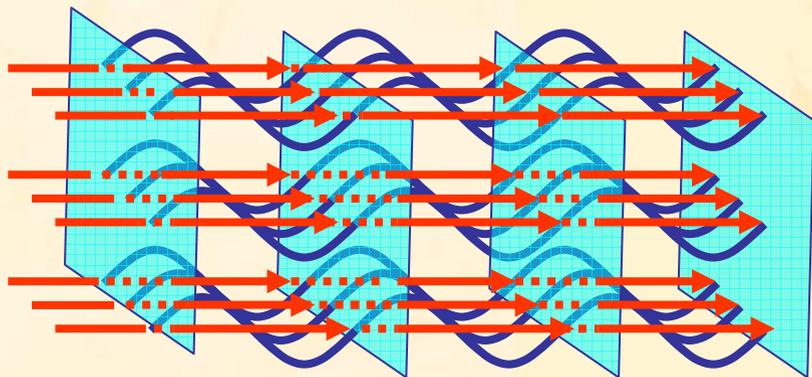
光线是能量传播的方向，而波法线是位相传播的方向。

在各向同性介质中，波面法线与光线方向一致，即光线与波面垂直。

在各向异性介质中，波面法线一般不与光线同方向。

如晶体中 $e$ 光传播方向就不一定与波阵面垂直。

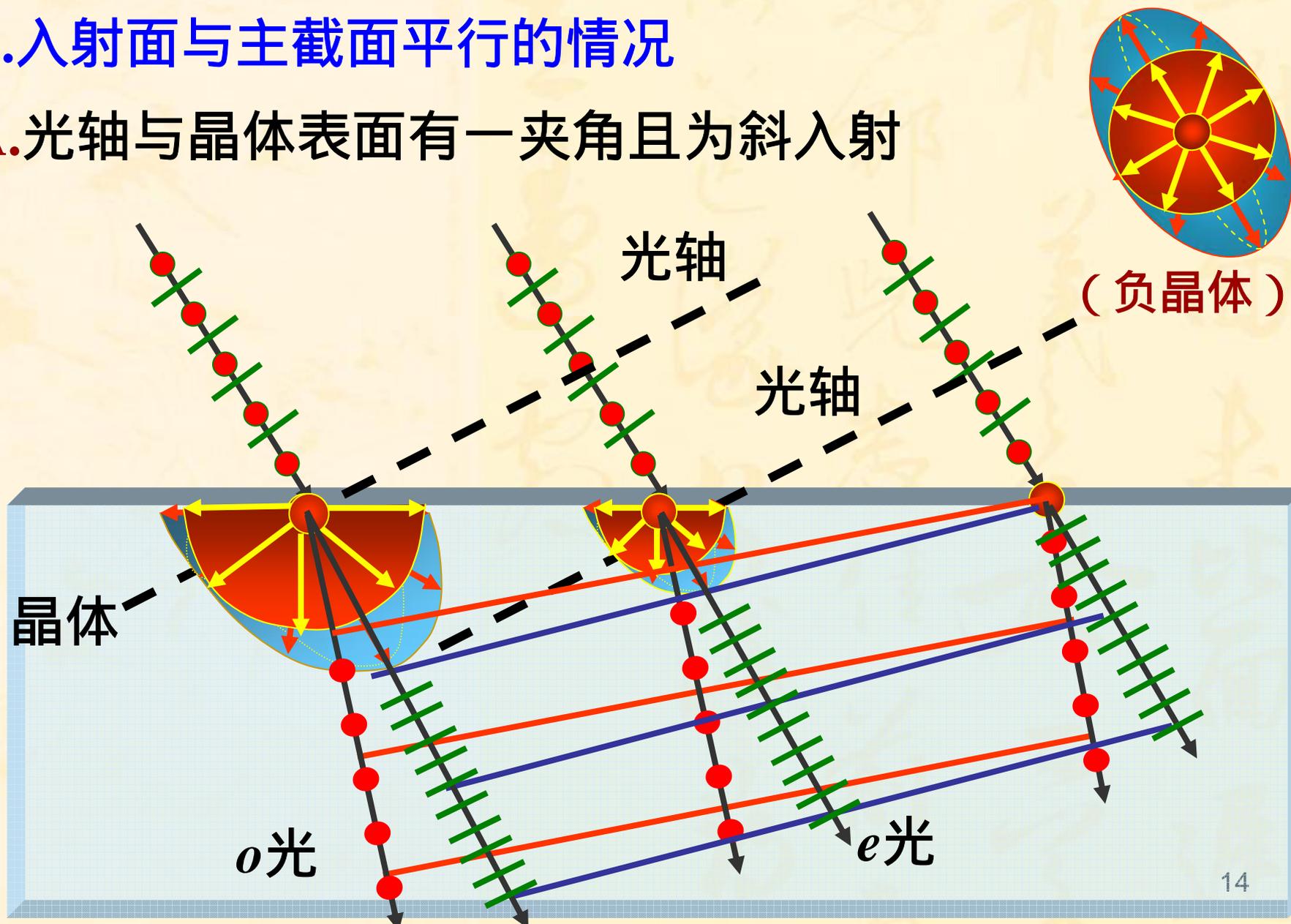
光线就是指光矢量的传播方向。



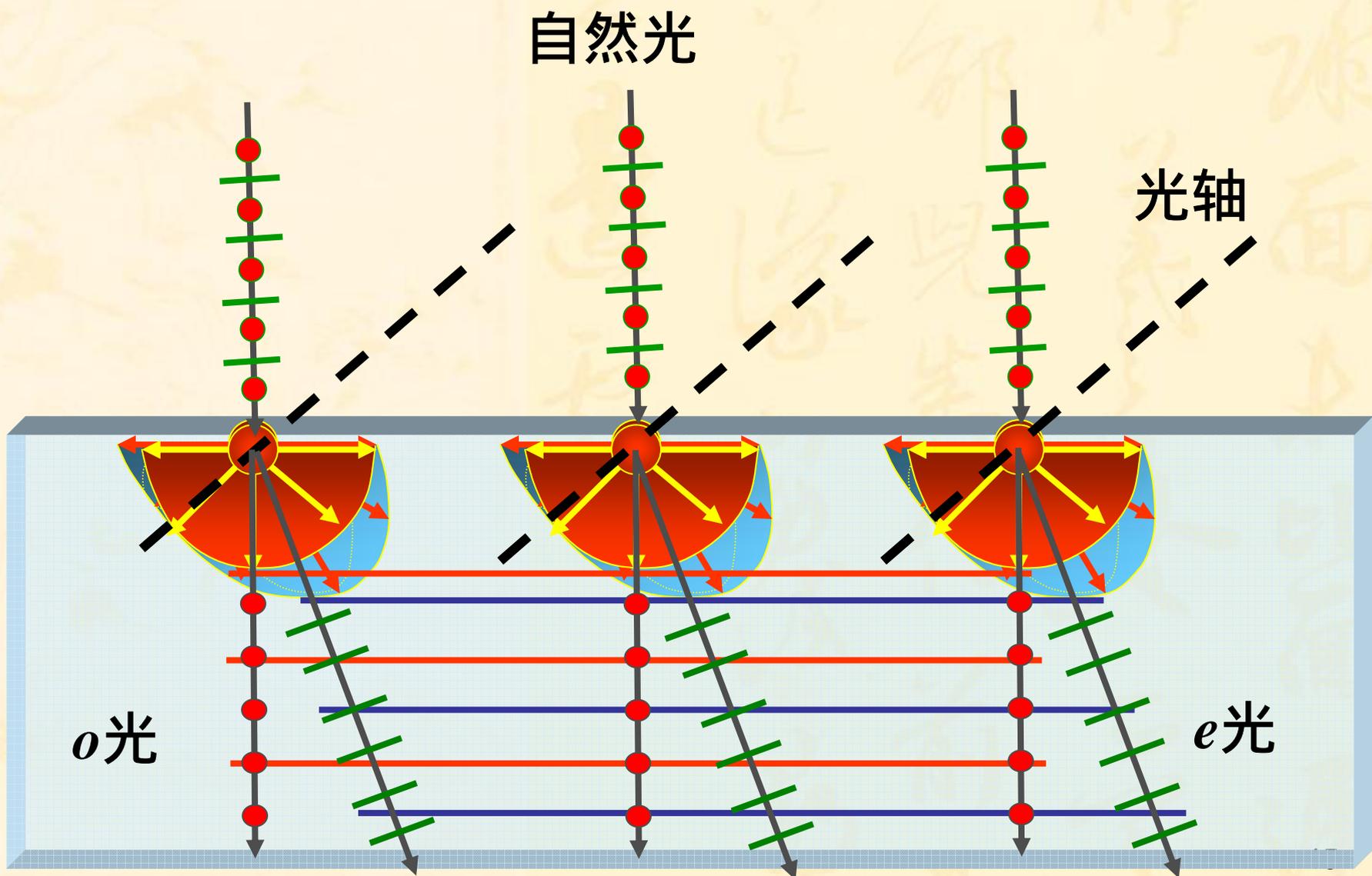
# 五、用惠更斯原理解释双折射现象

## 1.入射面与主截面平行的情况

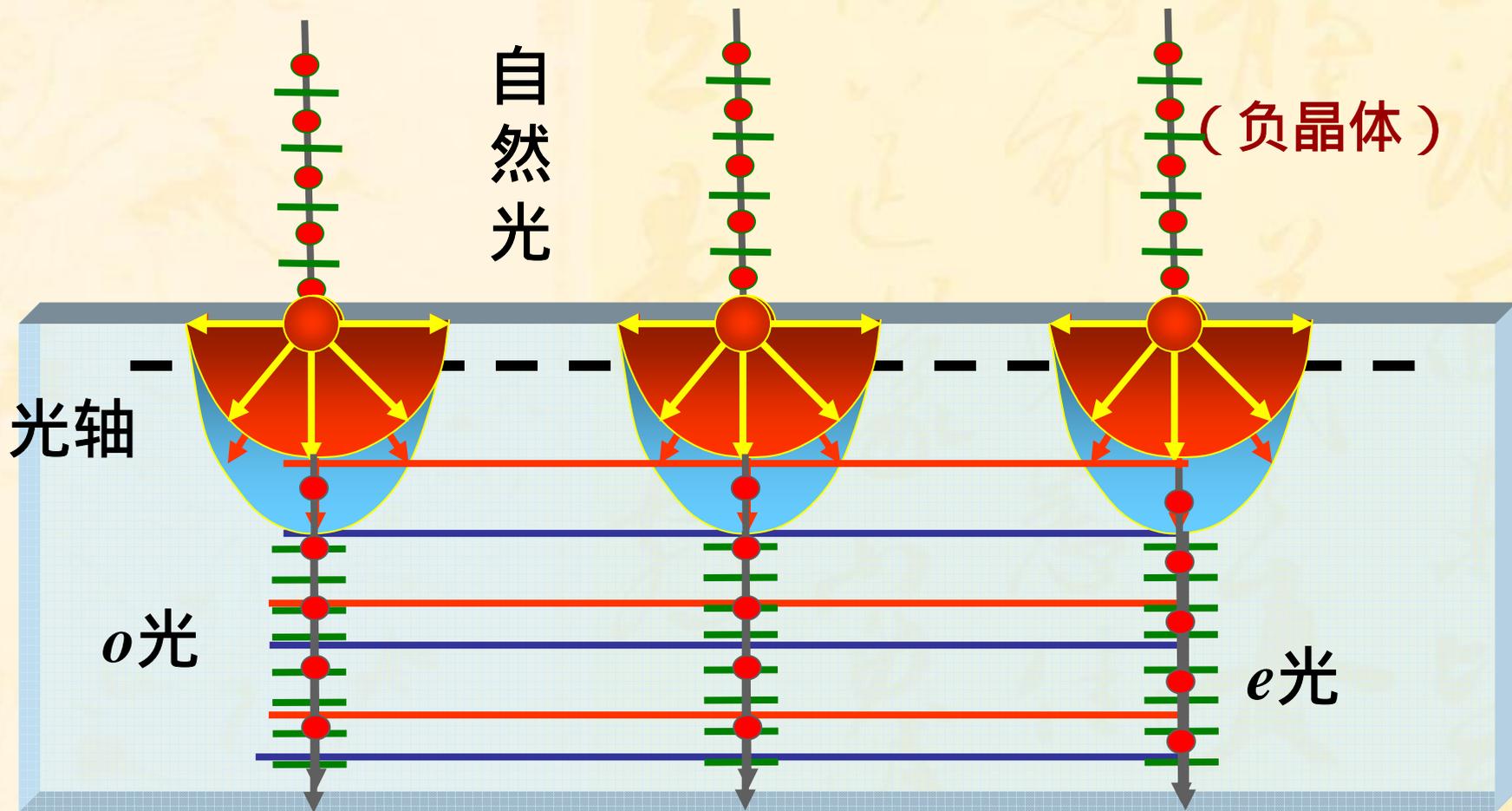
### A.光轴与晶体表面有一夹角且为斜入射



# B. 光轴与晶体表面有一夹角且为正入射



# C. 光轴与晶体表面平行且为正入射

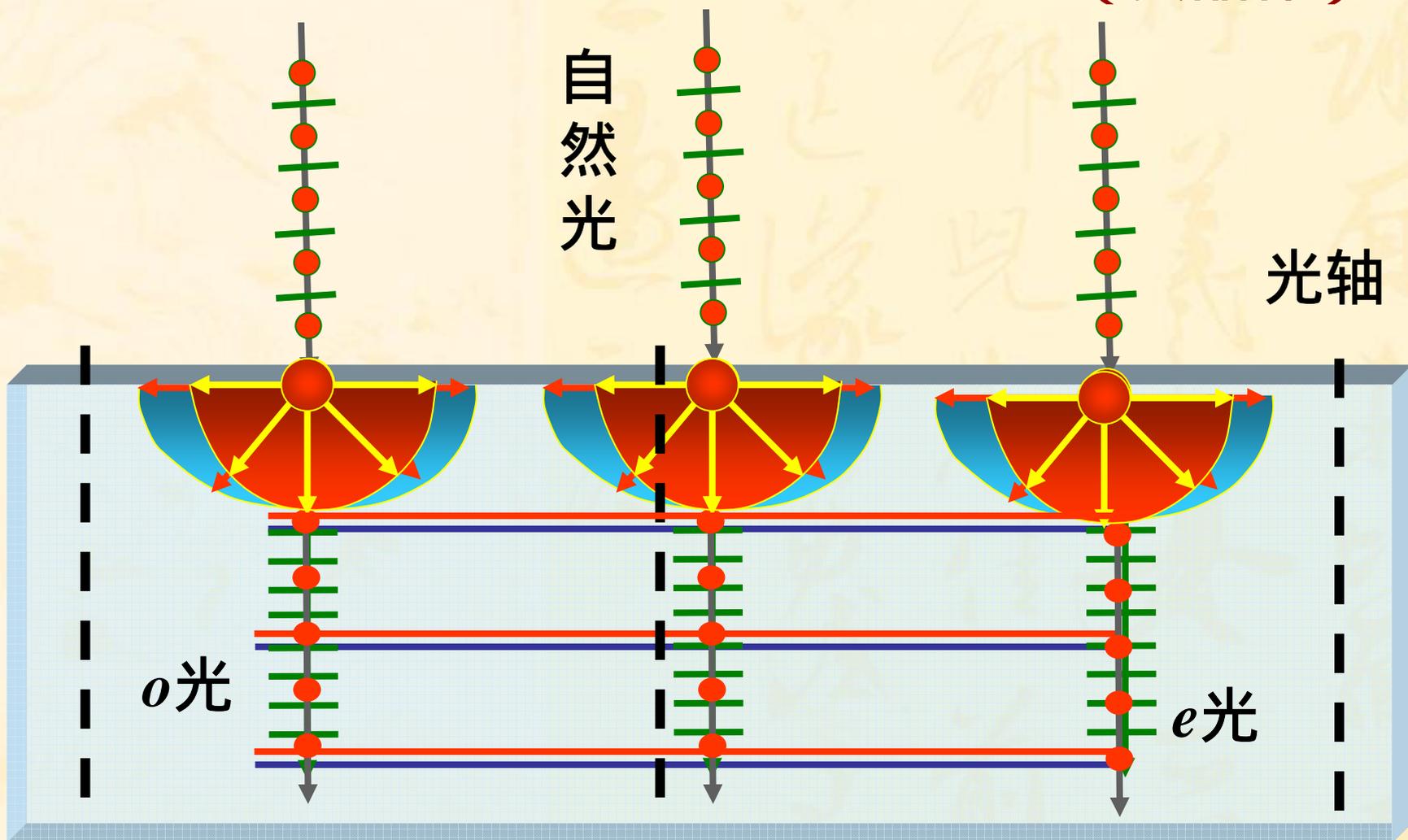


$o, e$ 二光通过厚度 $d$ 后的光程差： $\delta = (n_e - n_o)d$

结论： $v_o \neq v_e$   $n_o \neq n_e$  有双折射。

# D. 光轴与晶体表面垂直且为正入射

(负晶体)

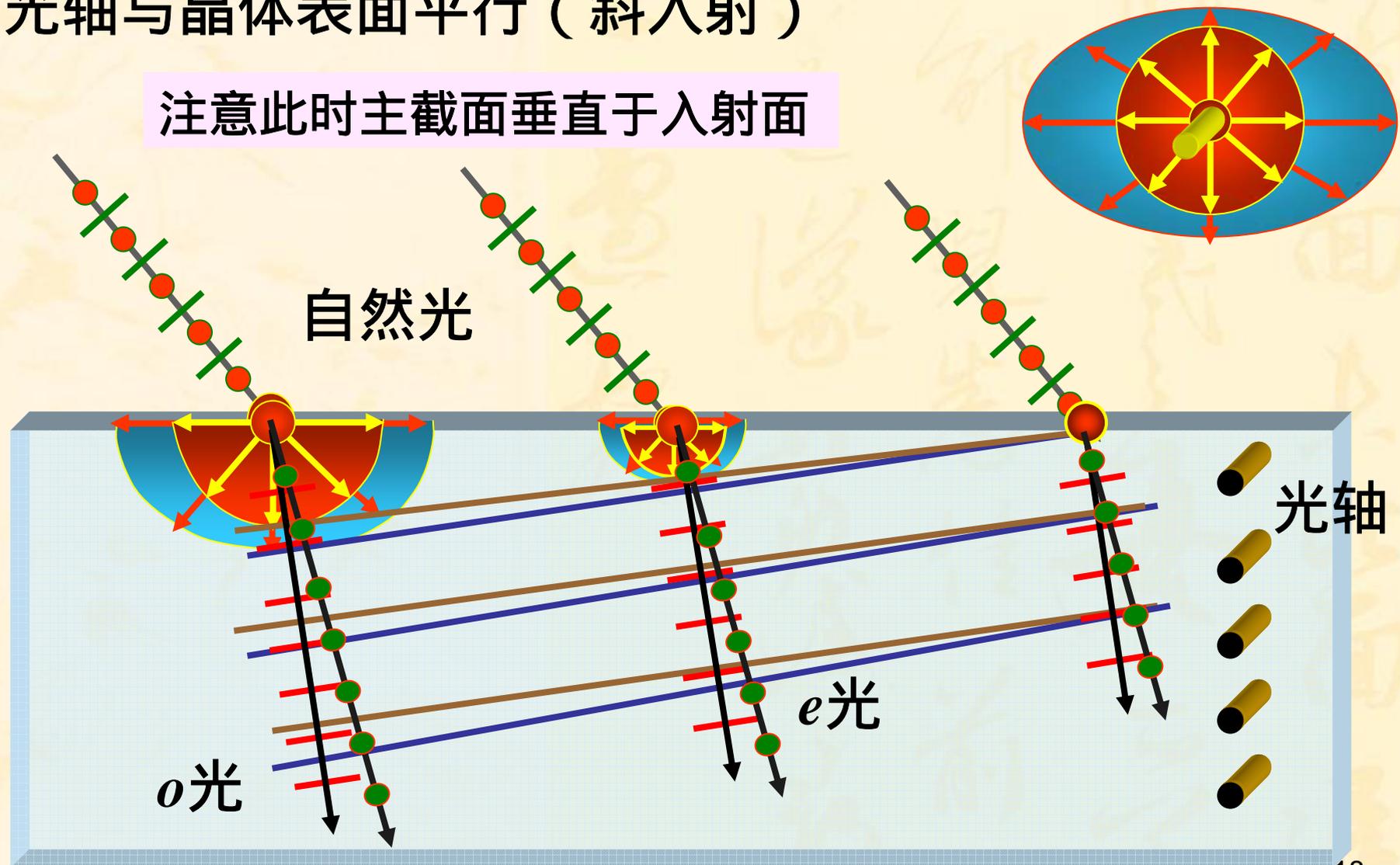


沿光轴传播  $o, e$  二光速度相同，无光程差。

## 2.入射面与主截面垂直的情况（负晶体）

光轴与晶体表面平行（斜入射）

注意此时主截面垂直于入射面

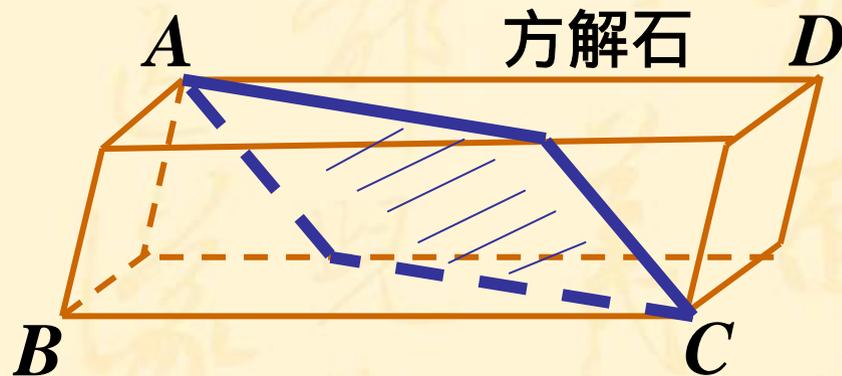


# 利用双折射产生偏振光的仪器 (Polarizing Devices by Double Refraction)

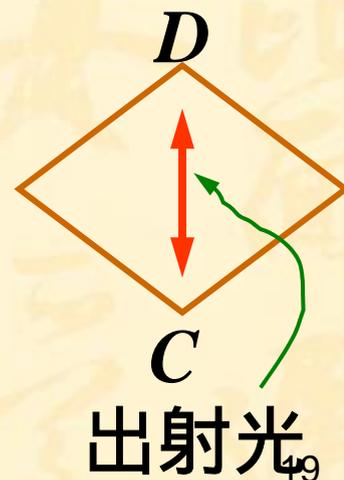
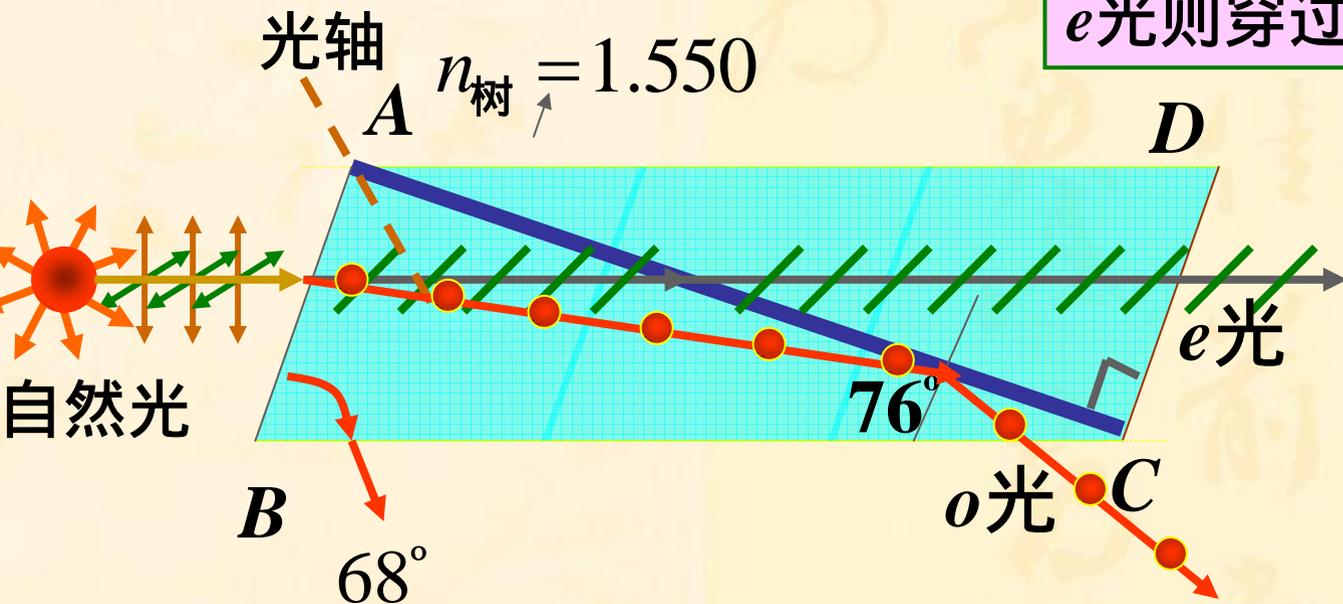
## 一、尼科耳棱镜

$$n_o = 1.658 \quad n_o > n_{\text{树}}$$

$$n_e = 1.486 \quad n_e < n_{\text{树}}$$

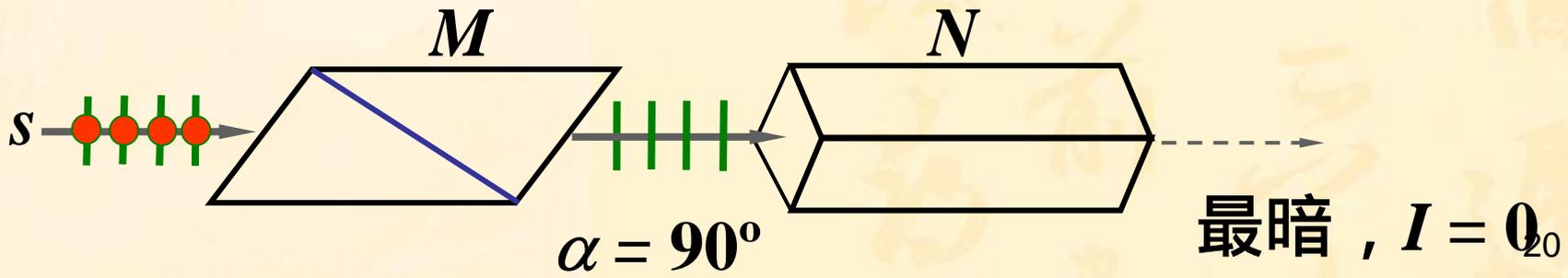
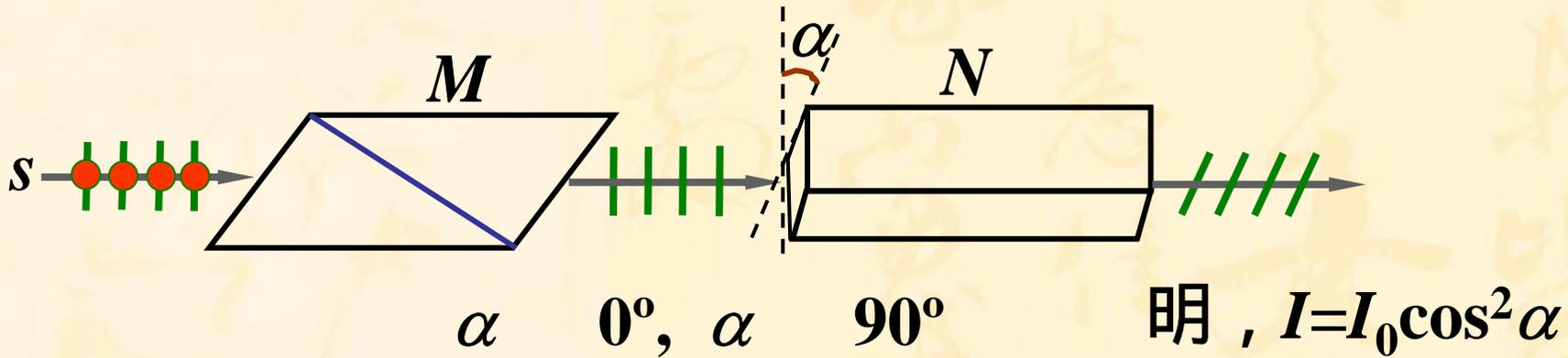
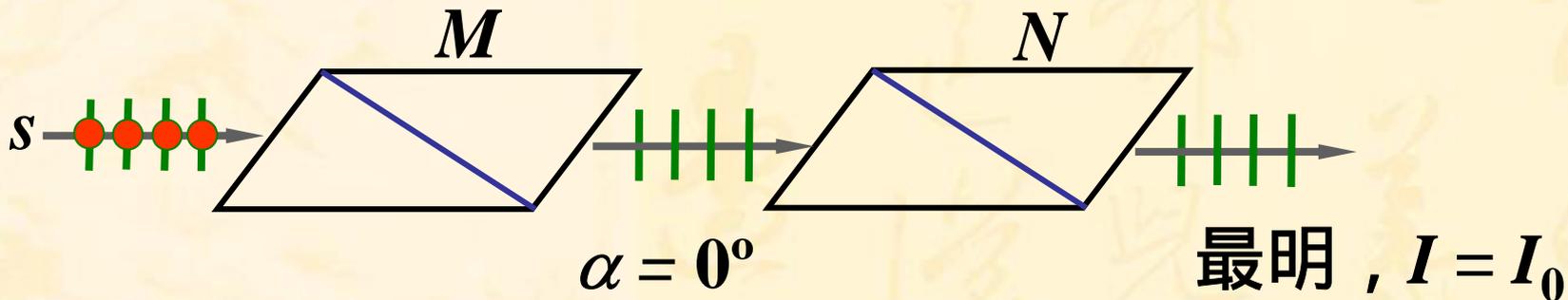


o光发生全反射;  
e光则穿过树胶。

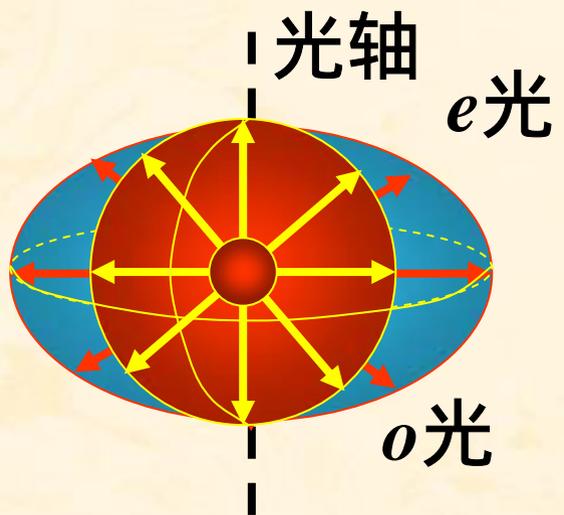


# 尼科耳棱镜的应用

起偏与检偏：



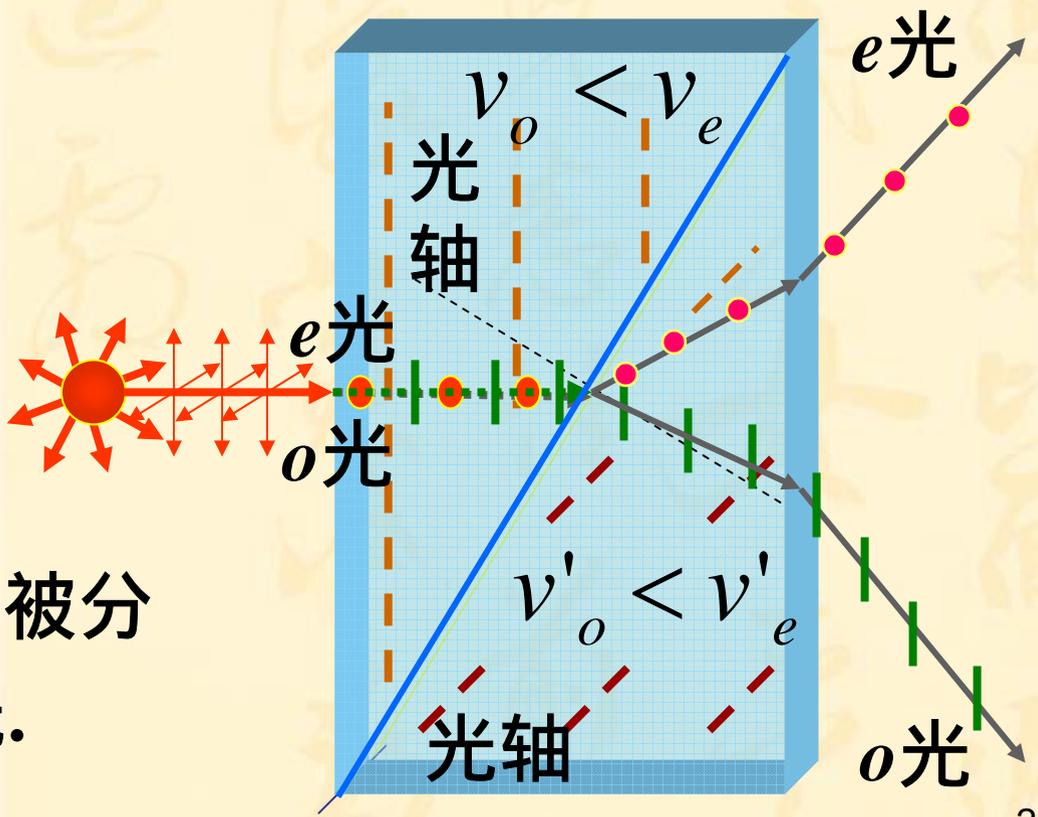
## 二、渥拉斯顿棱镜



*o*光、*e*光是相对于主平面而言的，*o*光垂直于主平面，*e*光平行于主平面。

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c}{v} = n$$

*o*、*e*二光通过晶体后被分开，从而获得偏振光。



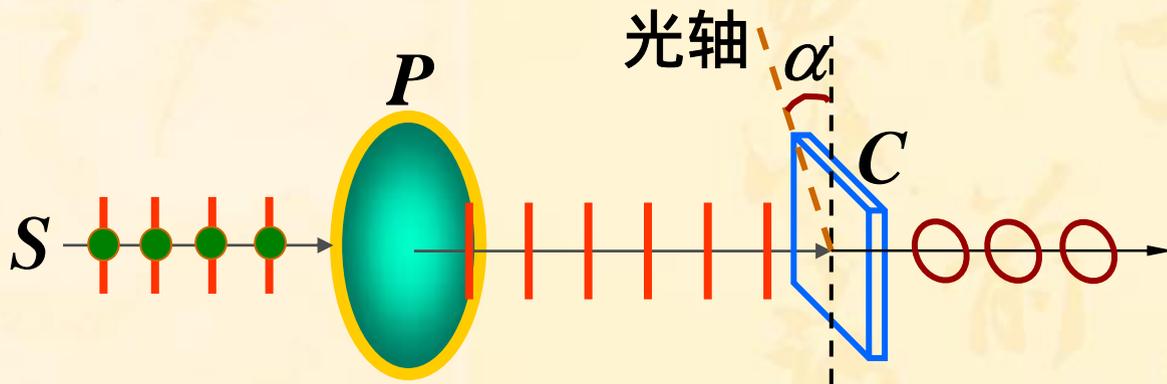
## § 9-5 椭圆偏振光和圆偏振光、波片

( Elliptically and Circularly Polarized Light , Wave Plate )

如图，线偏光垂直于晶面入射。因光轴平行于晶面，故晶片  $C$  中的  $o$ 、 $e$  两光传播方向相同，但速度（折射率）不同。两光透过晶片后具有光程差：

$$\delta = (n_o - n_e) d$$

$d$  为晶片厚度



两光相位差：

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

$$d = \frac{\lambda}{4(n_o - n_e)}$$

两光叠加的结果为一椭圆偏振光。

当晶片厚度  $d$  满足：

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) d = \frac{\pi}{2} \quad \text{即} \quad \delta = (n_o - n_e) d = \frac{\lambda}{4}$$

则合成光为一个正的椭圆偏振光。

厚度  $d$  满足上式的晶片称为**四分之一波片**。

(其使  $o$ 、 $e$  两光产生  $\lambda/4$  的光程差)

上述再当  $\alpha = 45^\circ$ , 则  $A_o = A_e$ , 得到圆偏光。

当 $o$ 、 $e$ 光的光程差为  $\delta = (n_o - n_e)d = \frac{\lambda}{2}$

则两光经晶片后附加了 $\pi$ 的相位差：

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

$$d = \frac{\lambda}{2(n_o - n_e)} \quad \text{二分之一波片}$$

### 讨论

圆或椭圆偏振光通过四分之一波片后，将变成线偏振光。

线偏振光通过二分之一波片后仍为线偏光，但其振动面转了 $2\alpha$ 的角度。

椭圆或圆偏光通过二分之一波片后仍为椭圆或圆偏振光，但其旋转方向发生改变。

仅用检偏器时，不能区分自然光与圆偏光；部分偏振光与椭圆偏振光。

在检偏器前加一个四分之一波片，则可区分上述不同偏振光。

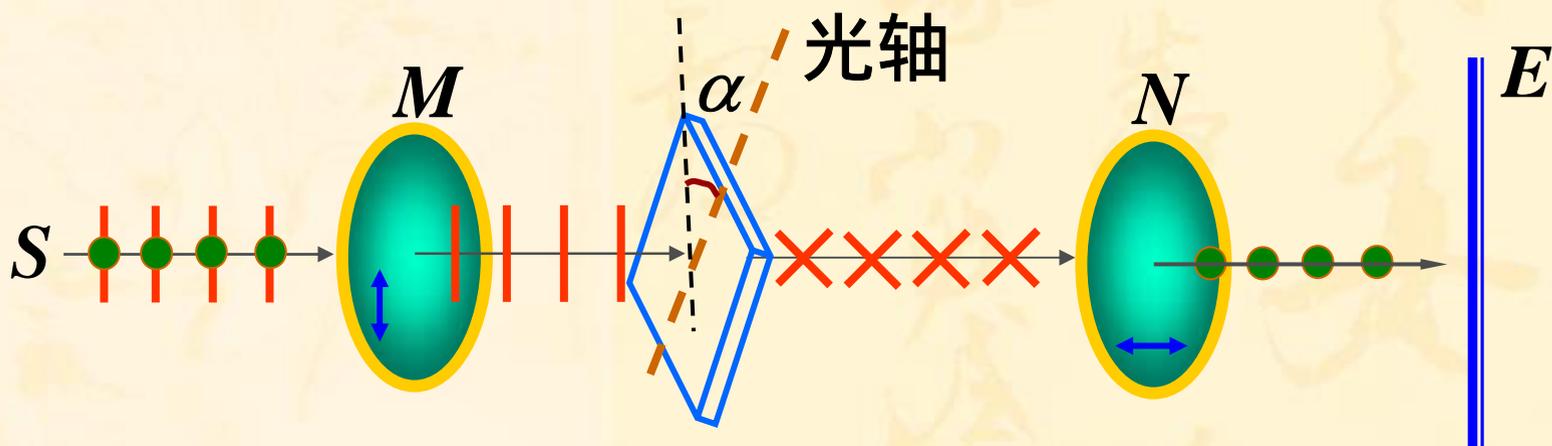
圆偏光通过四分之一波片成为线偏光，再旋转检偏器就可看到光强由最大到零的变化；

自然光通过四分之一波片后仍然是自然光，转动检偏器时仍不会有光强的变化。

同理可以将部分偏振光与椭圆偏振光区分开来。

## § 9-6 偏振光的干涉 ( Interference of Polarized Light )

两偏振片的偏振化方向相互垂直时，没有光透过第二块偏振片。但在两偏振片之间插入一晶片后，则有光从第二块偏振片透出。



若晶片为楔形，则在屏上将出现明暗相间的条纹。称此为平面偏振光的干涉。

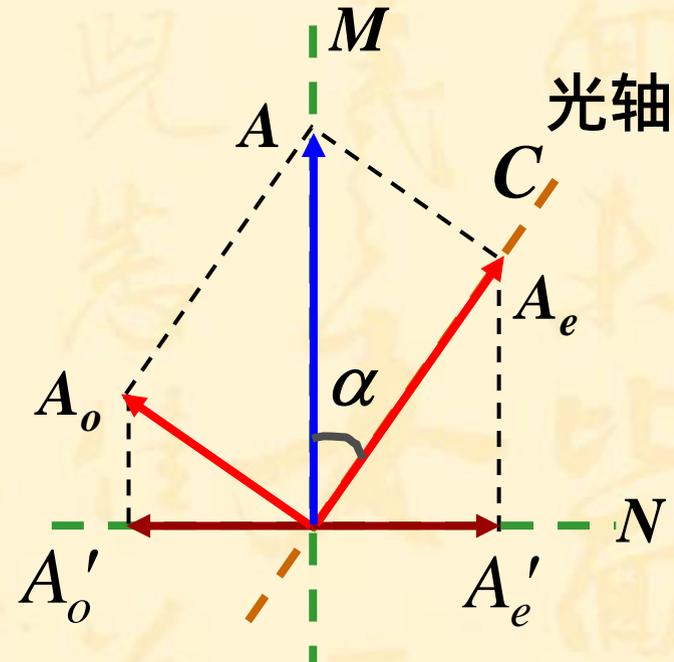
由  $M$  出射的线偏光  $A$  进入晶片  $C$  内分解为分别振幅分别为  $A_o$  和  $A_e$  的  $o$ 、 $e$  光，其射入第二偏振片  $N$  时，只有沿  $N$  的透振方向的光才能透过，透过光的振幅分别为  $A_o'$  和  $A_e'$ 。

$$A_o' = A_o \cos \alpha = A \sin \alpha \cos \alpha$$

$$A_e' = A_e \sin \alpha = A \cos \alpha \sin \alpha$$

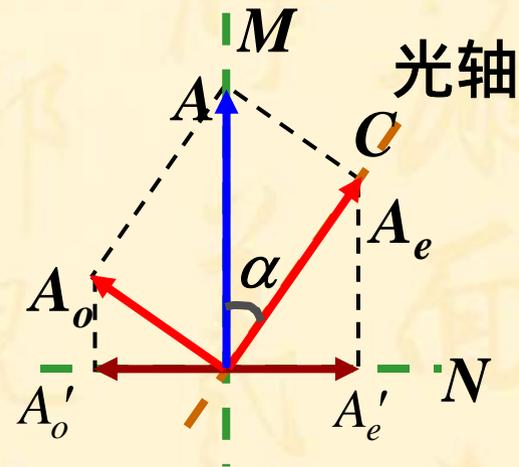
当  $M \perp N$ ， $A_o' = A_e'$ ，且  $A_o'$  和  $A_e'$  方向相反，故由  $N$  射出时两相干光总的相位差为：

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



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

上式第一项是通过晶片  $C$  时产生的相差，第二项是通过  $N$  所产生的附加相差。



当  $\Delta\varphi = 2k\pi \quad k = 1, 2, 3, \dots,$

即  $(n_o - n_e)d = (2k - 1)\frac{\lambda}{2}$  干涉加强

当  $\Delta\varphi = (2k + 1)\pi \quad k = 1, 2, 3, \dots,$

即  $(n_o - n_e)d = k\lambda$  干涉相消

## 讨论

- 1.若晶片厚度均匀，当用单色自然光照射且满足干涉加强条件时， $N$ 后面的视场最亮；干涉相消时视场最暗。由于各处干涉情况相同，故无干涉条纹出现。
- 2.当晶片厚度不均匀时，各处干涉情况不同（ $d$  不同），则视场中出现干涉条纹。
- 3.若用白光照射，由偏振光干涉公式可知，干涉加强或减弱的条件随波长的不同而异，这时若晶片的厚度均匀，则某些波长干涉加强，视场中将出现一定的色彩，称为色偏振；当晶片厚度不均匀时，视场中将出现彩色条纹。