

# 大学物理

# *College Physics*

主讲

华中科技大学

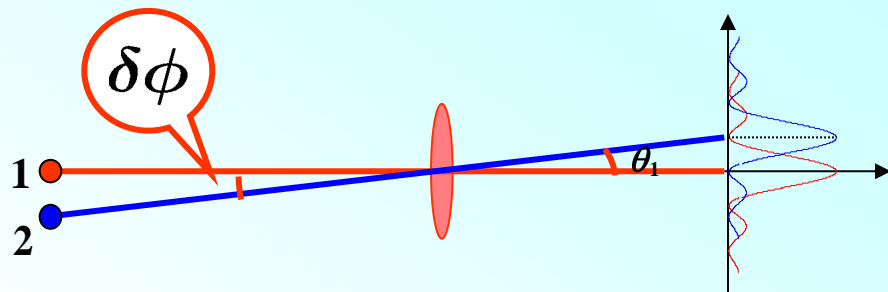
刘超飞

## ● 光学仪器的角分辨率

光学仪器成像的最小分辨角就是爱里斑的角半径

$$\delta\phi = \theta_1 = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

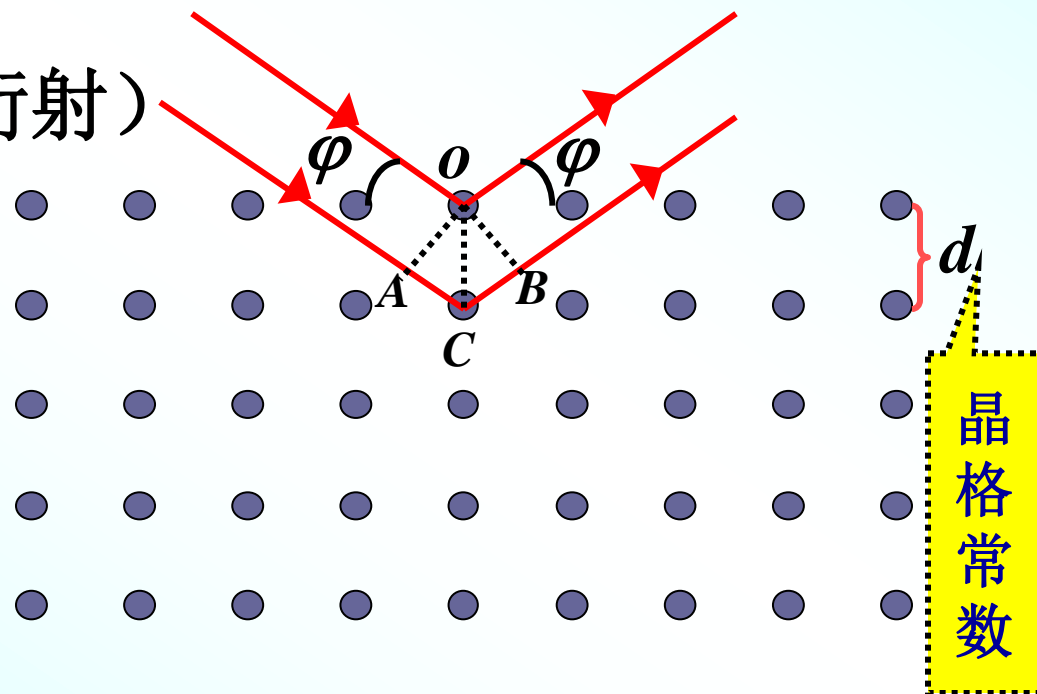
仪器分辨率（分辨本领）为：  $\Rightarrow R = \frac{l}{\delta\phi} = \frac{D}{1.22\lambda}$



## ● X射线的衍射（布喇格衍射）

布喇格公式

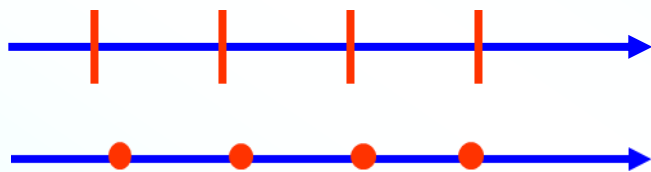
$$2d \sin \phi = k\lambda$$



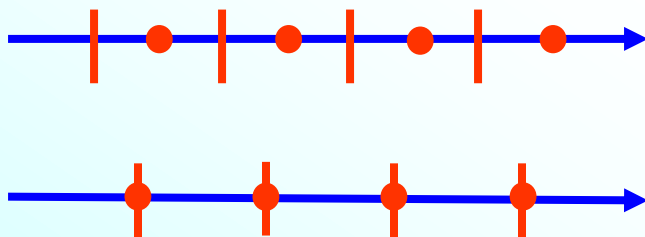
# ●光的偏振状态

## 1. 线偏振光

(平面或完全偏振光)



## 2. 自然光 (非偏振光)

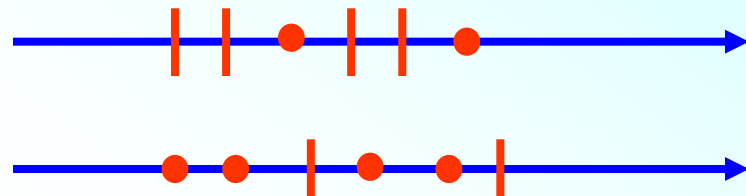


(可分解为两个垂直的、  
振幅相等的独立光振动)

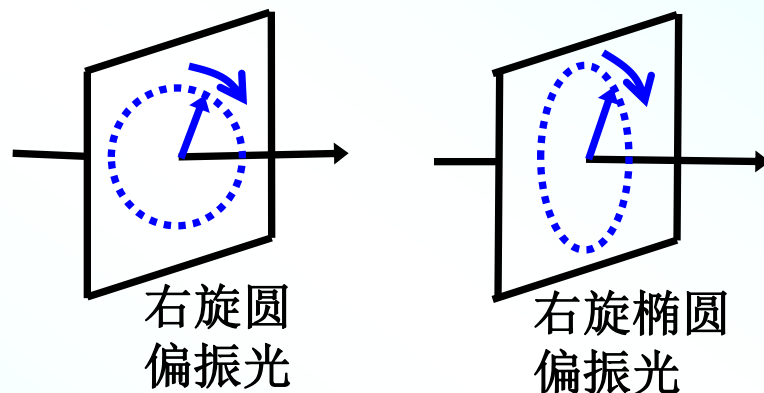
两振动无确定的位相关系

## 3. 部分偏振光

(可分解为两个垂直的、  
振幅不等的独立光振动)



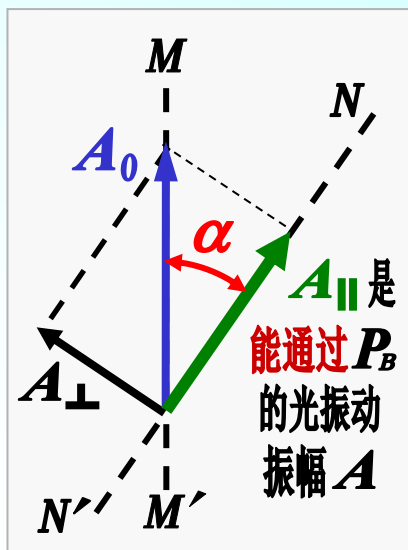
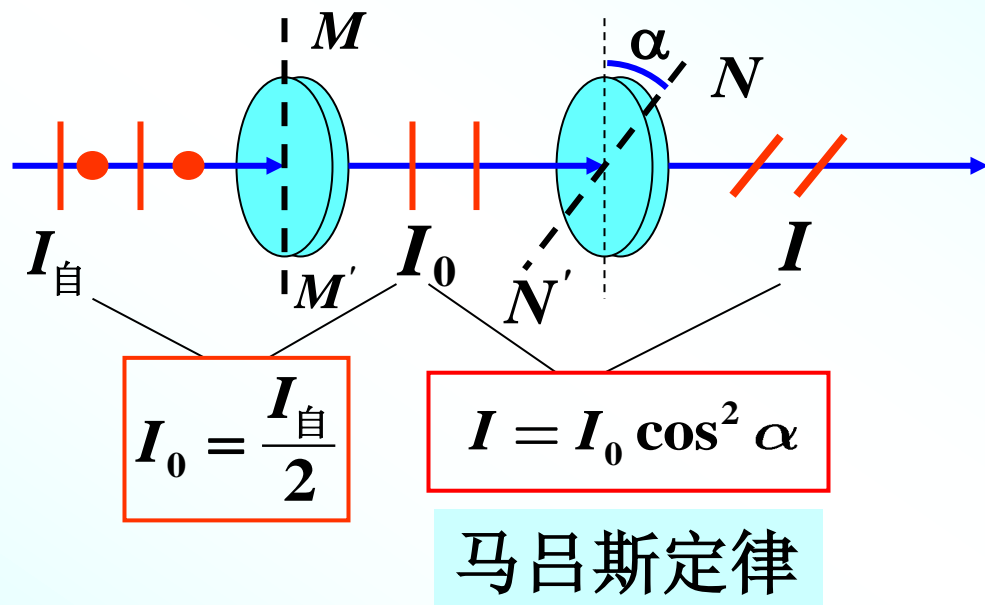
## 4. 圆偏振光、椭圆偏振光



(可分解为两束振动方向垂直的、  
相位差恒定的线偏振光)

两振动有确定的位相差, 如  $\pi/2$

## ● 马吕斯定律

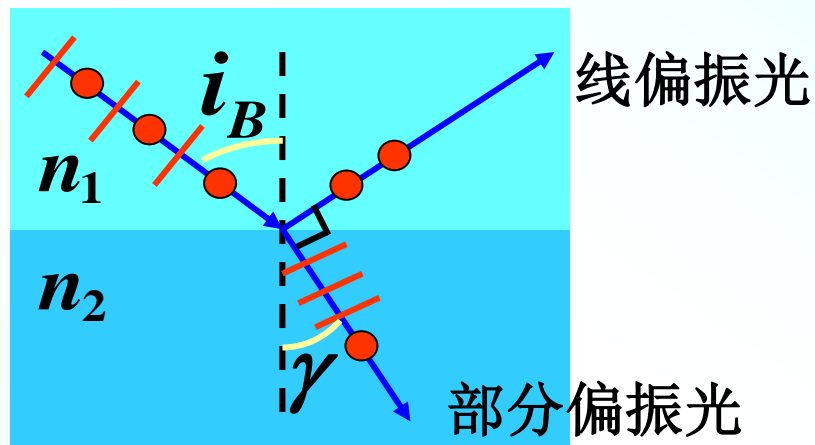


## ● 布儒斯特定律

当  $i_B + \gamma = 90^\circ$  时，  
 反射光为线偏振光，光矢量  
 振动垂直入射面。  
 （折射光仍为部分偏振光）

$$\text{tgi}_B = \frac{n_2}{n_1}$$

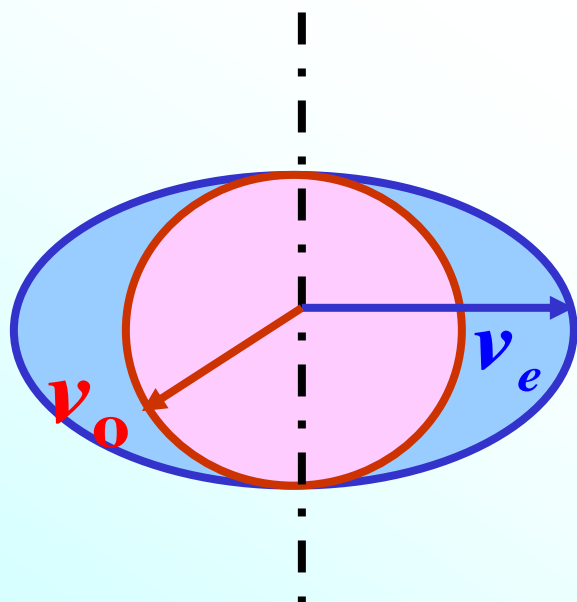
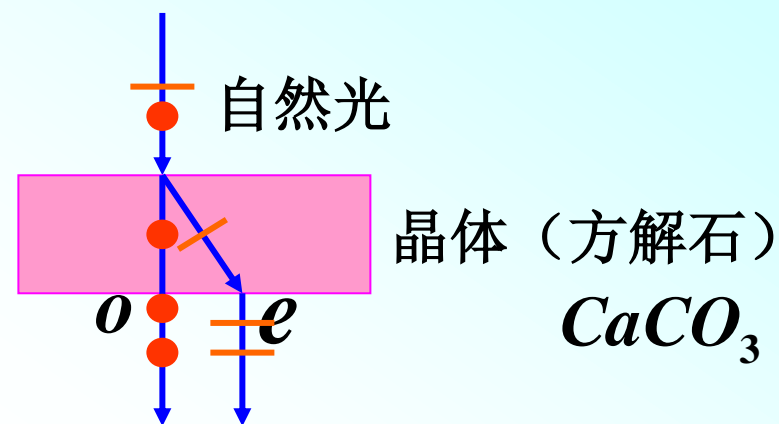
自然光



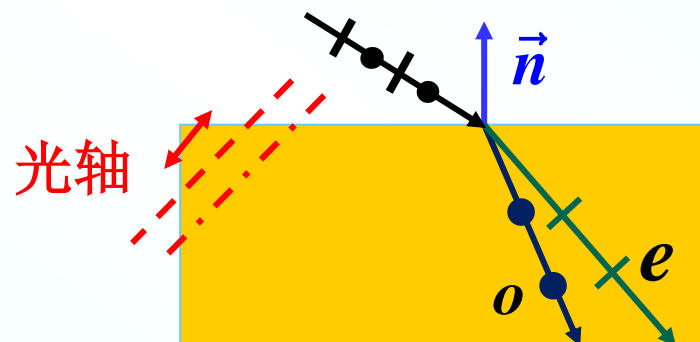
$i_B$  称起偏角或布儒斯特角

## ● 双折射现象

自然光入射到(各向异性)晶体上，一般产生两条折射光，它们都是线偏振光，且振动方向互相垂直。



晶体内 $o$ 光速度各项同性，呈球对称。  
 $e$ 光各项异性，呈椭球分布



## 2.几个概念:

- (1) 晶体的**光轴**: 表示一个特殊的方向, 沿此方向 $o$ 、 $e$ 光速度相同, 折射率 $n_o$ 、 $n_e$ 也相同, 不发生双折射。

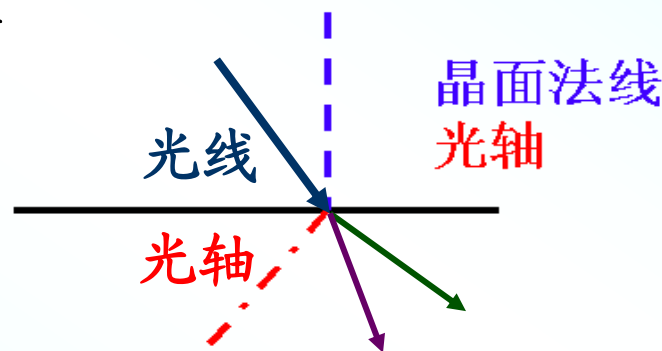
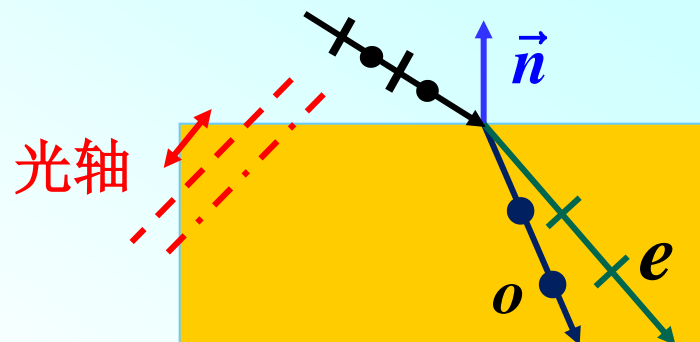
**注:** 光轴方向由晶格结构决定, 所以凡平行于光轴方向的直线均为**光轴**。

一般 { 单轴晶体: 只有一个光轴的晶体  
双轴晶体: 有两个光轴的晶体

- (2) 晶体的**主截面** ( **晶面法线**+**光轴** )

晶面法线由晶体几何形状决定

- (3) 光线的主平面 ( **晶体内光线方向**+**光轴** )



注意：

1)  $o$  光  $e$  光的主平面不一定相同

2) 主平面与主截面不一定相同。

$\left\{ \begin{array}{l} o \text{ 光的振动方向} \perp o \text{ 光的主平面} \\ e \text{ 光的振动方向} \parallel e \text{ 光的主平面} \end{array} \right.$

本节主要介绍：

- \* 入射光在主截面内
- \* 主平面、主截面为同一平面
- \*  $o$  光振动方向  $\perp e$  光振动方向

## (4) 正晶体 负晶体

负晶体

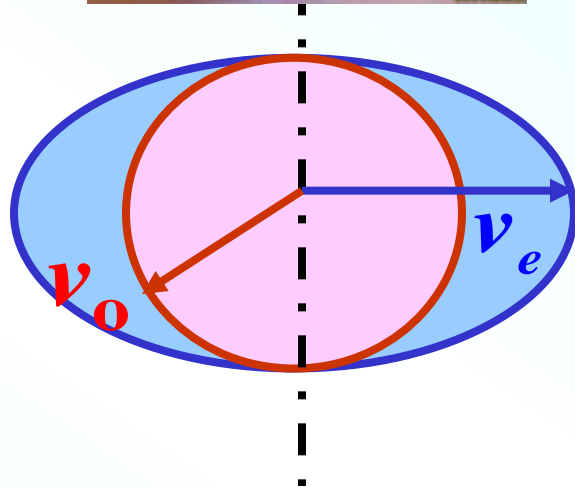
$$\begin{cases} v_o \leq v_e \\ n = \frac{c}{v} \end{cases}$$

$$\Rightarrow n_o \geq n_e$$

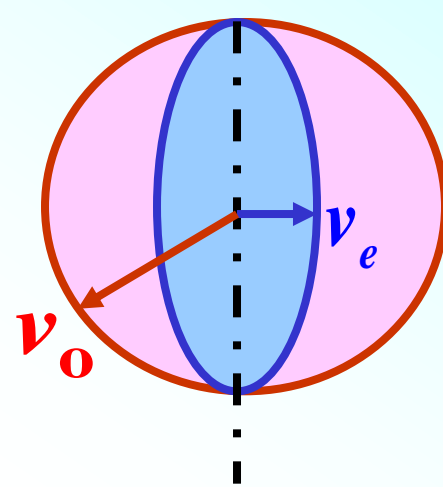
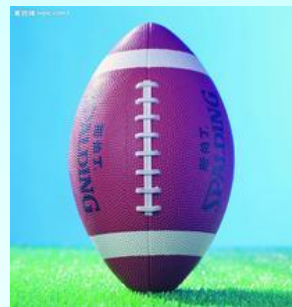
在垂直于光轴的方向上:

$v_e$  取最大值  $\Rightarrow n_e$  取最小值

晶体的  
主折射率  $\begin{cases} n_o \\ n_e(\min) \end{cases}$



负晶体



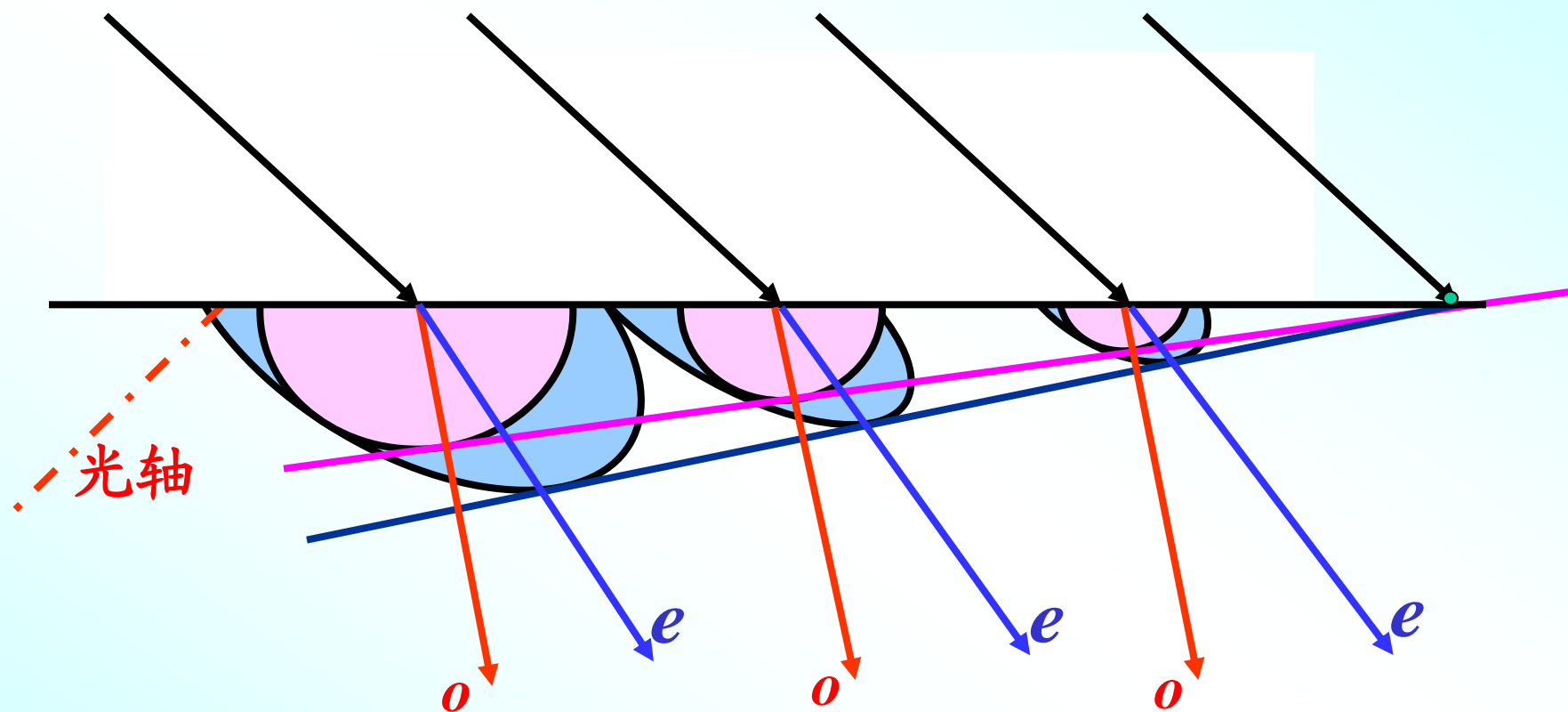
正晶体

晶体内 $o$ 光速度各项同性，  
呈球对称。

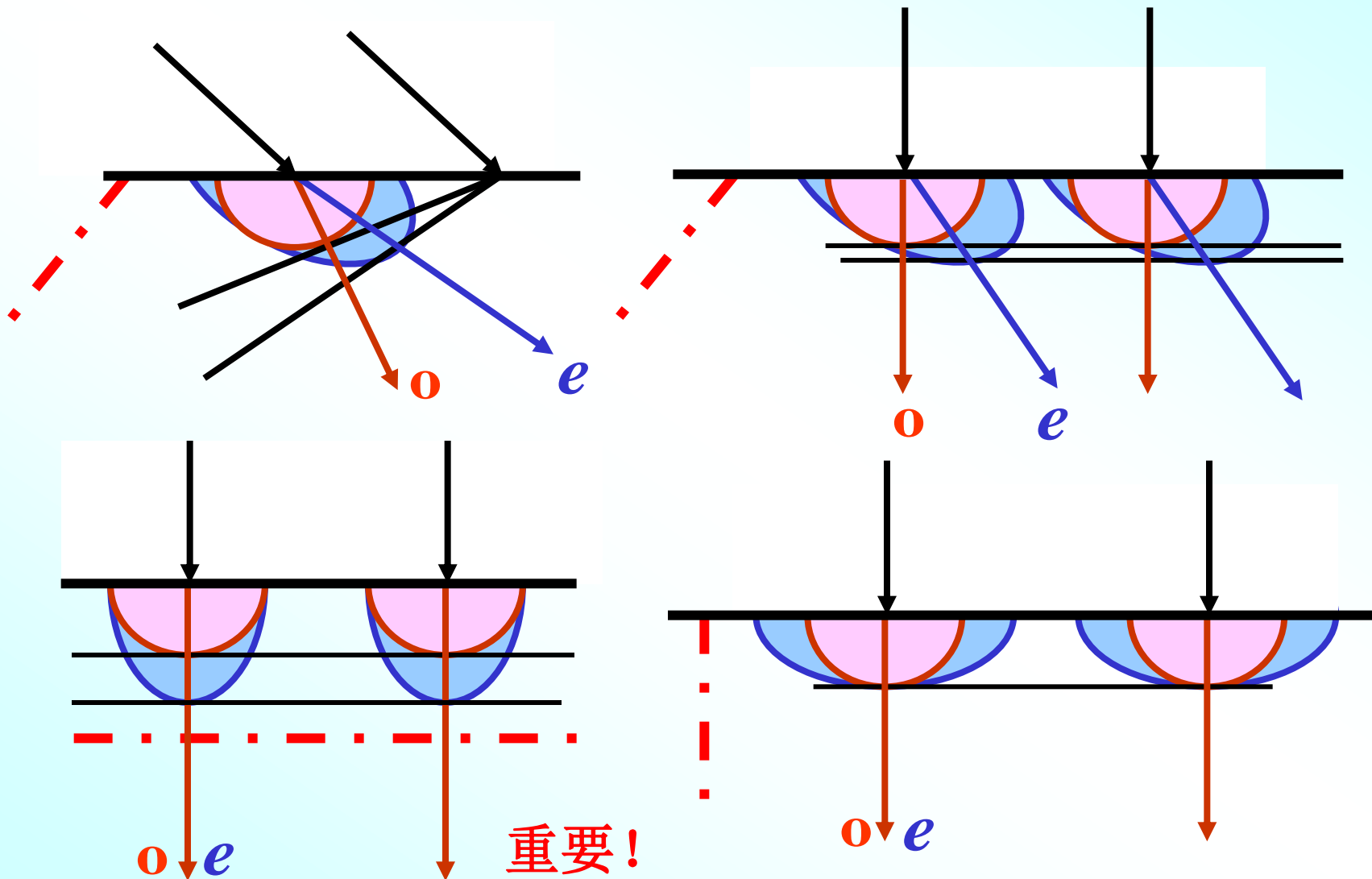
$e$ 光各项异性，呈椭球分布  
二者沿光轴方向速度相等

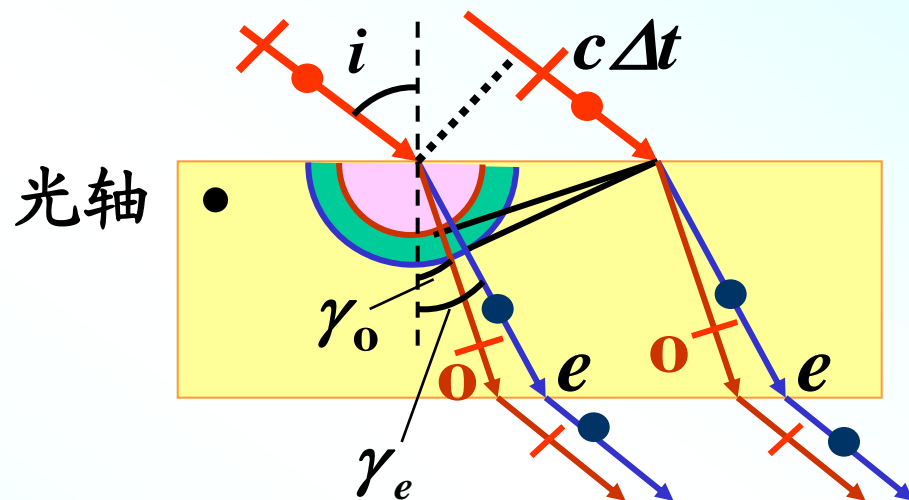


### 3. 用惠更斯原理解释双折射现象



## 双折射的几种情况





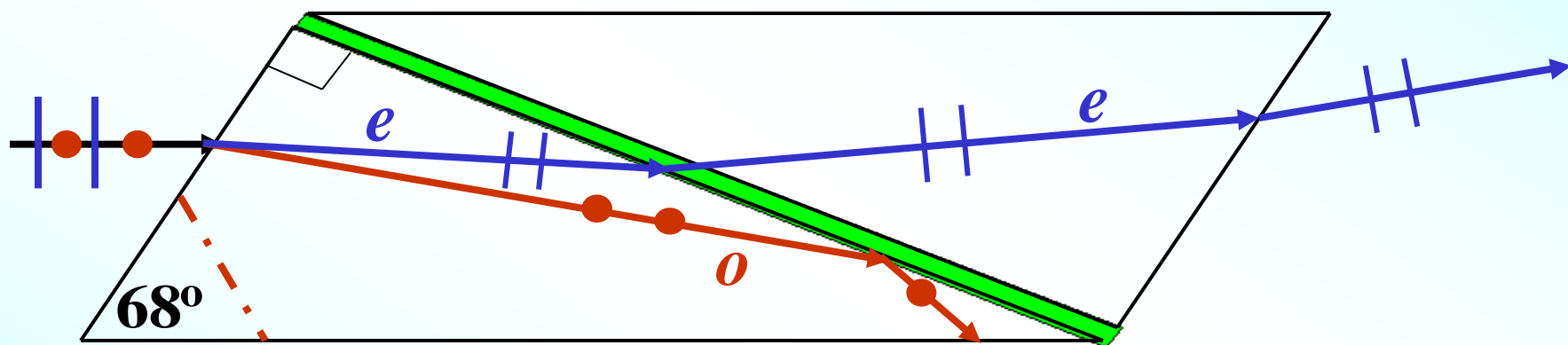
这种特殊情况下 $o$ 光、 $e$ 光都可用折射定律 (主折射率)

$$\sin i = n_o \sin \gamma_o$$

$$\sin i = n_e \sin \gamma_e$$

## 4. 利用双折射获得线偏振光

(1) 尼科尔棱镜 (用方解石粘结而成, 出射 $e$ 光)  
(1828年)



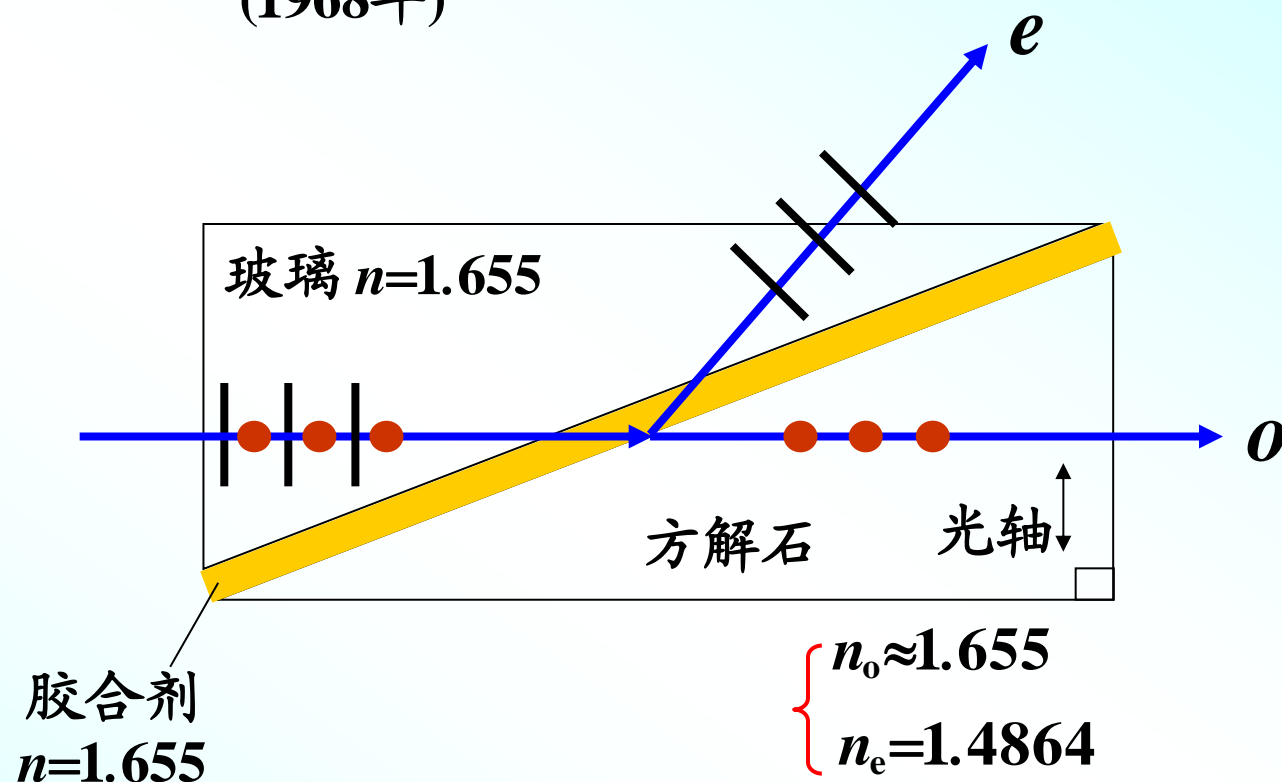
$$\text{方解石} \begin{cases} n_o \Rightarrow 1.658 \\ n_e \Rightarrow 1.486 \end{cases}$$

$$\text{加拿大树胶 } n = 1.55$$

$o$ 光由光密介质进入光疏介质,

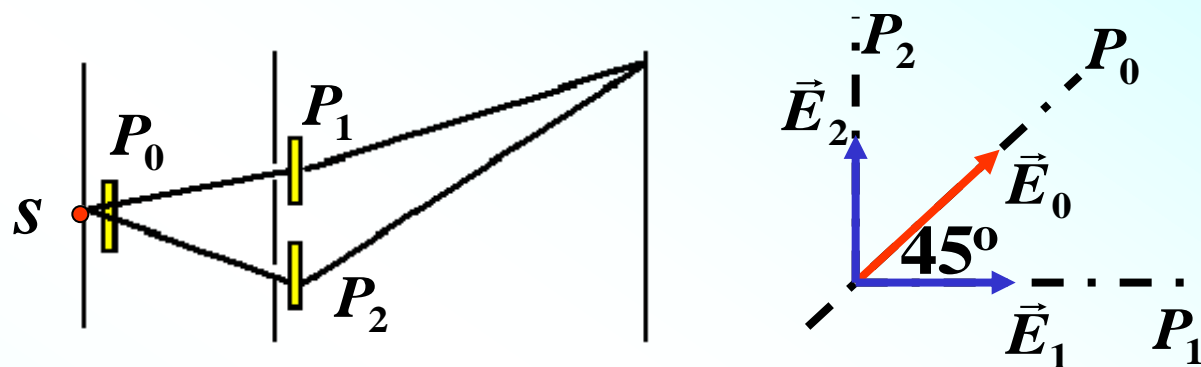
当入射角大于临界角时会发生全反射。

(2) 格兰——汤姆逊棱镜（出射  $o$  光）  
(1968年)



$e$ 光由光密介质进入光疏介质，  
当入射角大于临界角时会发生全反射。

**例：**杨氏双缝干涉实验中，加三个偏振片，偏振化方向为 $P_2 \perp P_1$ ， $P_0$ 与 $P_2$ 、 $P_1$ 各成 $45^\circ$ 角。问：



1. 屏上有无干涉条纹？ 振动方向不同，无干涉条纹

2. 屏上各处偏振态如何？

两束振动方向垂直的线偏振光叠加 有确定的位相关系

$$\Delta\phi = \frac{d \sin \theta}{\lambda} \cdot 2\pi = \begin{cases} k\pi \text{ 时, 为线偏振光} \\ (2k+1)\pi/2 \text{ 时, 为圆偏振光} \\ \text{其它值时, 为椭圆偏振光} \end{cases}$$

● 两个互相垂直的谐振动的合成:

$$\begin{cases} x = A_1 \cos(\omega t + \phi_1) \\ y = A_2 \cos(\omega t + \phi_2) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos(\phi_2 - \phi_1) = \sin^2(\phi_2 - \phi_1)$$

合振动的轨迹取决于两振动的相位差 $\Delta\phi$ .

$$\begin{cases} \Delta\phi = k\pi & \text{为直线} & k = 0, 1, 2, \dots \\ \Delta\phi = (2k+1)\frac{\pi}{2} & \text{为正椭圆, 若 } A_1=A_2 \text{ 则为圆.} \\ \Delta\phi \text{ 为其他任意值} & \text{为斜椭圆} \end{cases}$$

● 对光振动:

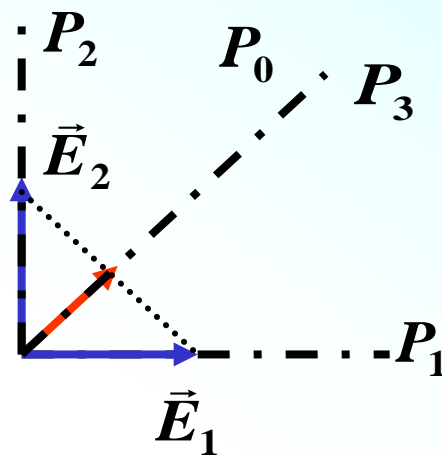
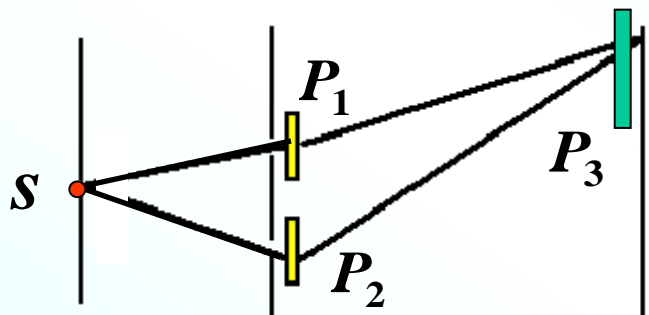
$$\begin{cases} E_x = E_1 \cos(\omega t + \phi_1) \\ E_y = E_2 \cos(\omega t + \phi_2) \end{cases} \quad (\text{振动方向互相垂直})$$

若 $\Delta\phi$ 恒定 合振动为椭圆

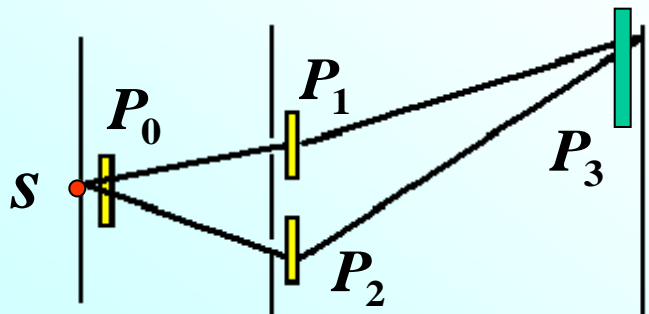
$$\begin{cases} \Delta\phi = k\pi & \text{线偏振} \\ \Delta\phi = (2k+1)\frac{\pi}{2} & \text{(正)椭圆偏振 (若 } E_1 = E_2 \text{ 即为圆偏振)} \end{cases}$$

3. 若去掉 $P_0$ ，加 $P_3$ （ $//P_0$ ），屏上有没有条纹？

两束线偏振光没有稳定的位相关系 无条纹



4. 保留 $P_0$ ，加 $P_3$ （ $//P_0$ ），屏上有没有条纹？



有条纹，条纹位置与杨氏双缝干涉相同。



## 五、波晶片——相位延迟片

**波晶片**是光轴平行于表面的晶体薄片。

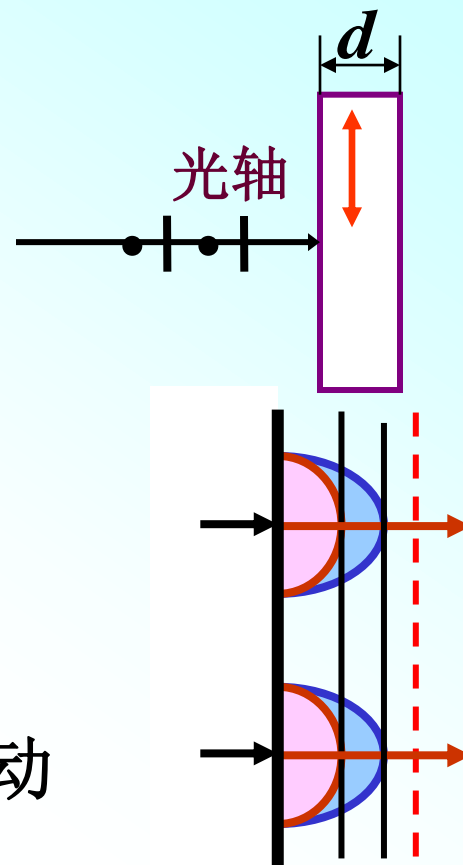
通过厚为 $d$ 的晶片， $o$ 、 $e$ 光不可分开，

但产生光程差： $\Delta r = l_o - l_e = (n_o - n_e)d$

则，出射时二者位相差改变：

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

可见：对于给定 $\lambda$ ，适当选择 $d$ 可使两分振动产生任意数值的位相差。



- 常用的几种波晶片
- (1) 四分之一波片  $|n_e - n_o| \cdot d = \frac{\lambda}{4} \rightarrow |\Delta\phi| = \frac{\pi}{2}$
  - (2) 二分之一波片  $|n_e - n_o| \cdot d = \frac{\lambda}{2} \rightarrow |\Delta\phi| = \pi$
  - (3) 全波片  $|n_e - n_o| \cdot d = \lambda \rightarrow |\Delta\phi| = 2\pi$

对  $\lambda/2$  波片：晶片的厚度  $d$ ，使相位差为  $\pi$

$$(n_o - n_e)d = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow d = \frac{\lambda}{2(n_o - n_e)}$$

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

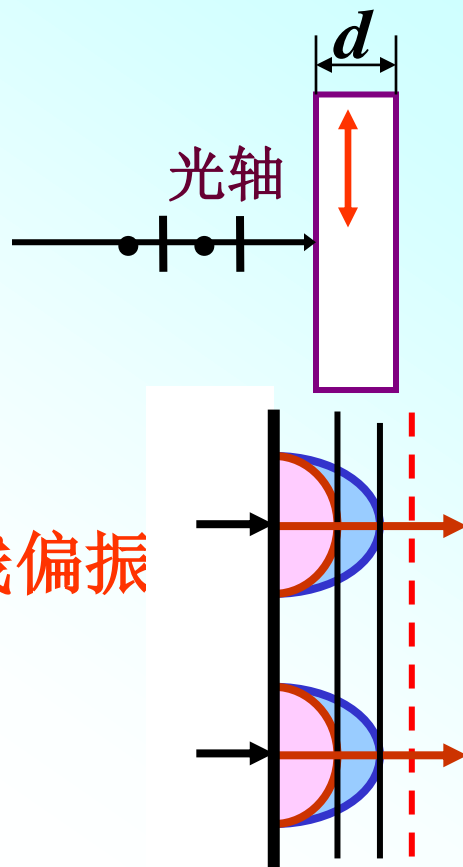
线偏振光入射  $\lambda/2$  波片时，出来仍是线偏振

对  $\lambda/4$  波片：光程差  $\lambda/4$

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

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

线偏振光入射  $\lambda/4$  波片时，出来是椭圆偏振光。



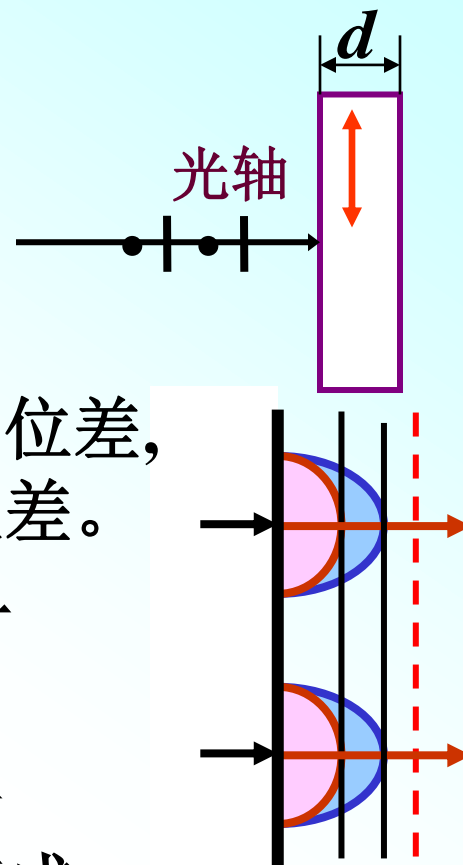
## 注意

- 1)  $\lambda/2$  波片、 $\lambda/4$  波片是对一定的 $\lambda$  而言的。
- 2) 自然光与部分偏振光两垂直成分无恒定相位差，而椭圆和圆偏振光两垂直成分有恒定相位差。

- 自然光、部分偏振光通过 $\lambda/2$ 、 $\lambda/4$  波片仍然是自然光或部分偏振光。
- 正椭圆与圆偏振光（长轴或短轴平行于 $\lambda/4$ 波片的光轴时）经 $\lambda/4$  波片后，两垂直成分位相差为

$$\Delta\phi = (2k + 1)\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \Rightarrow k'\pi$$

出射的是线偏振光。



**例：**用一块偏振片和一块 $\lambda/4$ 波片去鉴别：自然光、部分偏振光、线偏振光、圆偏振光与椭圆偏振光。

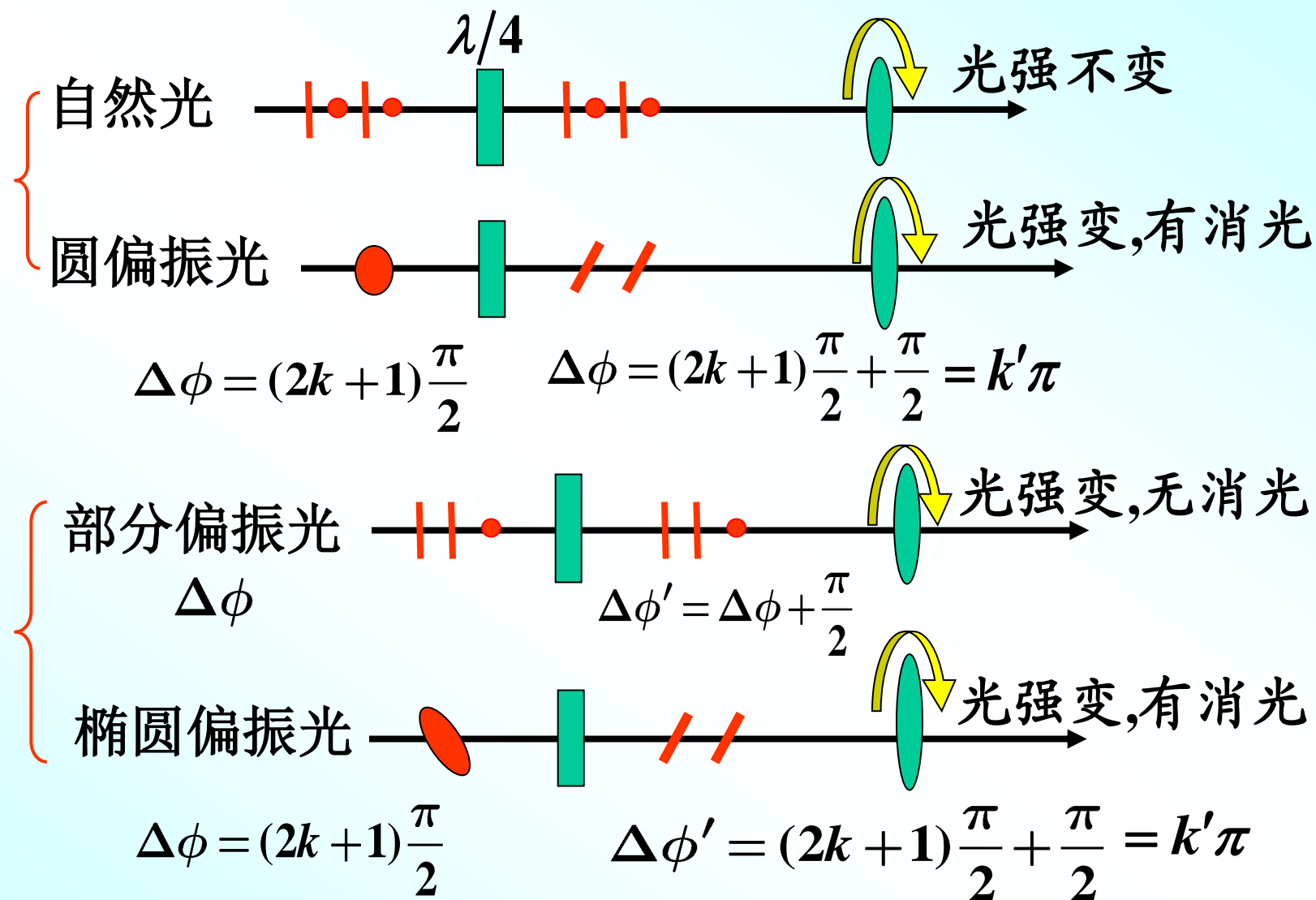
**解：**

(1) 先用一偏振片，光通过转动的偏振片后

光强不变  $\Rightarrow$  为自然光或圆偏振光

光强改变  $\left\{ \begin{array}{l} \text{无消光} \Rightarrow \text{为部分偏振光或椭圆偏振光} \\ \text{消光} \Rightarrow \text{为线偏振光} \end{array} \right.$

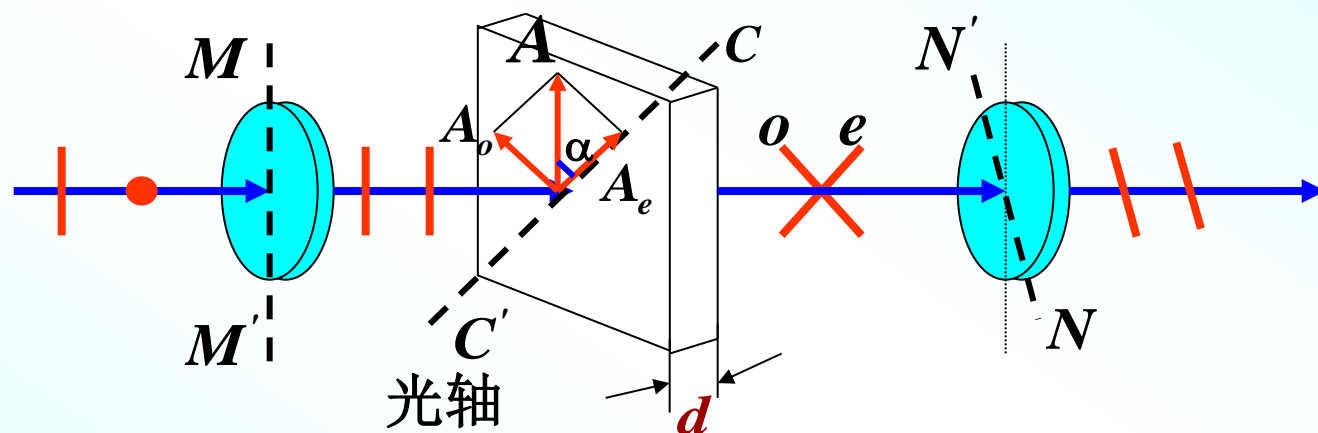
(2) 再用  $\lambda/4$  波片及偏振片, 进一步**鉴别**：



先用偏振片找到光强最大的方向(正椭圆), 再将波片的光轴转至此方向, 然后如上按照有无消光进行区分。

## 六. 偏振光的干涉

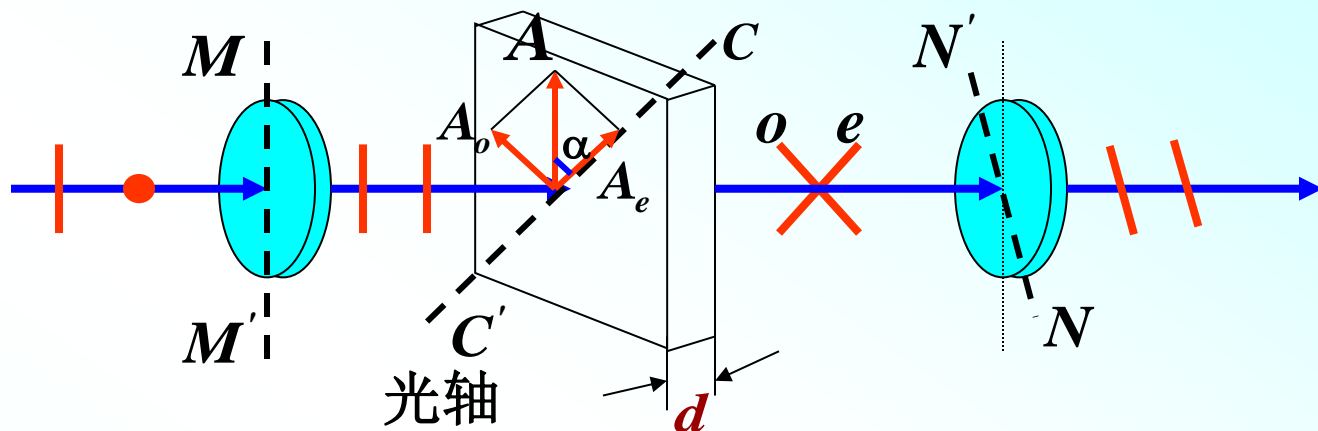
用一偏振片使 $o$ 、 $e$ 光投影到同一方向上，可产生干涉。



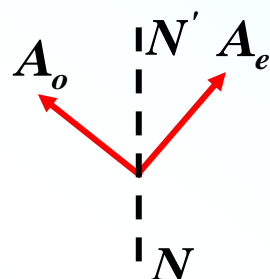
干涉加强减弱取决于 $o$ 、 $e$ 光投影的位相差。  
 $o$ 、 $e$ 光的位相差取决于晶片的厚度 $d$ 。

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

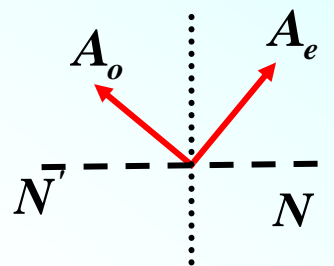
➡ 对于单一波长，晶体厚度 $d$ 不均匀可出现干涉明暗不同。  
如果白光照射，不同波长可在不同厚度处加强，  
故呈彩色。—— 称色偏振。



为什么转动偏振片时颜色会变?



o光与e光沿  $N-N'$  方向的分量 **同相位**



**反相位**

人工双折射:

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

有些材料在力作用下变为各向异性, 产生双折射效应

$$n_o - n_e \propto \text{应力}$$

利用偏振光的干涉来研究材料内部应力分布 —— 光测弹性学

# 应力双折射

机械应力作用产生的各向异性

光弹性效应

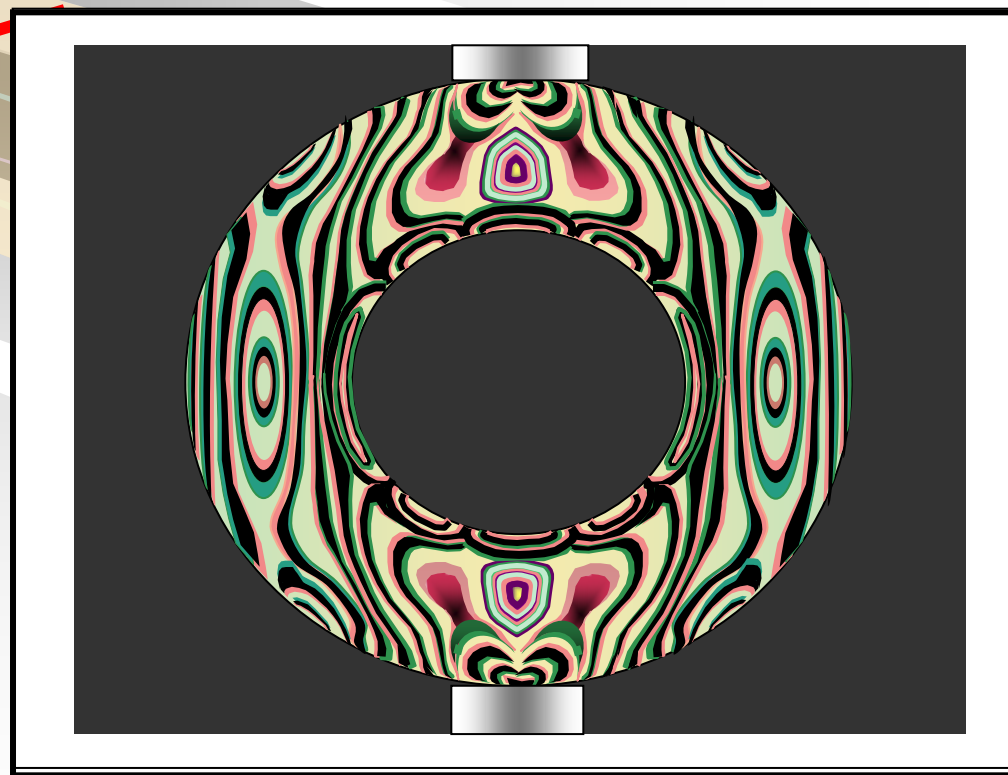
偏振片 1

有机玻璃  
模型

施压

偏振片 2

- 施压方向形成光轴
- 双折射与应力成正比
- 用于应力分析研究



应力双折射显示的偏振光干涉条纹



# 作业： 13 —T31-T35

## 作业要求

1. 独立完成作业。
2. 图和公式要有必要的标注或文字说明。
3. 作业纸上每次都要写姓名以及学号(或学号末两位)。
4. 课代表收作业后按学号排序，并装入透明文件袋。
5. 每周二交上周的作业。迟交不改。
6. 作业缺交三分之一及以上者综合成绩按零分计。