

# 光的双折射现象

----光在各向异性晶体中传播

§ 1 双折射现象

§ 2 晶体光学器件（偏振器、波片、相位补偿器）

§ 3 人工双折射

§ 4 旋光现象



方解石晶体的双折射  
( double refraction, birefringence )

## § 1. 双折射实验现象

### 一. 双折射现象及描述

◆一束光入射到各向异性介质时，折射光分成两束：双折射

一束遵从折射定律    ✕ 寻常光 (ordinary  $\leftrightarrow$  o光)

一束一般不遵从    ✕ 非常光 (extraordinary  $\leftrightarrow$  e光)

◆在晶体中,

o光永远在入射面内;

而e光不一定在入射面内，只有几个特殊方向才在入射面内

◆当光在晶体内沿某个特殊方向(光轴方向)传播时不发  
生双折射

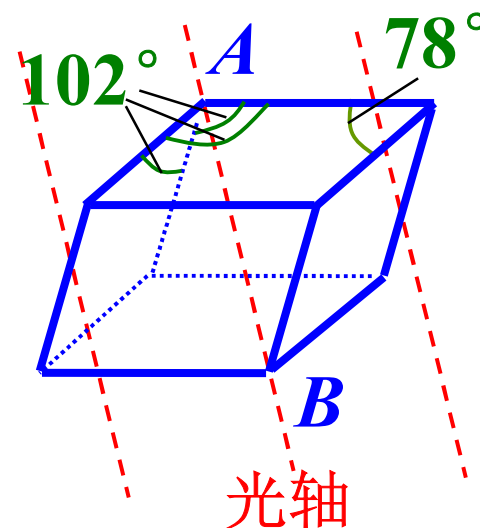
## 晶体的光轴

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**。

光轴是一个特殊的方向，**凡平行于此方向的直线均为光轴**。

例：方解石晶体（冰洲石）

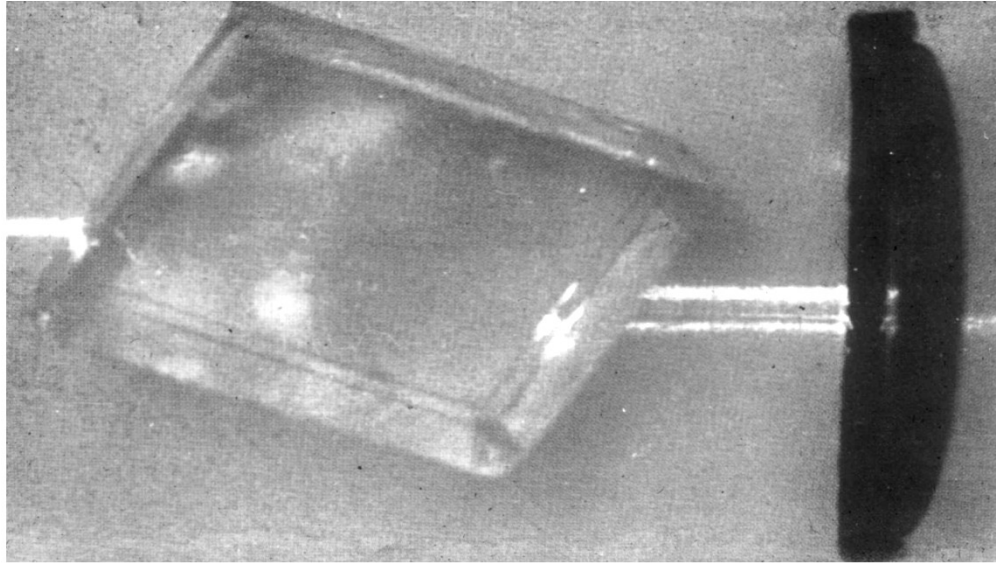
**由三个钝角面会合而成的顶点引出的与三个棱边成等角的方向就是光轴**。



**单轴晶体**：只有一个光轴的晶体，如方解石、石英、红宝石。

**双轴晶体**：有两个光轴的晶体，如云母。

## 用偏振片来检查o, e两折射光的振动方向



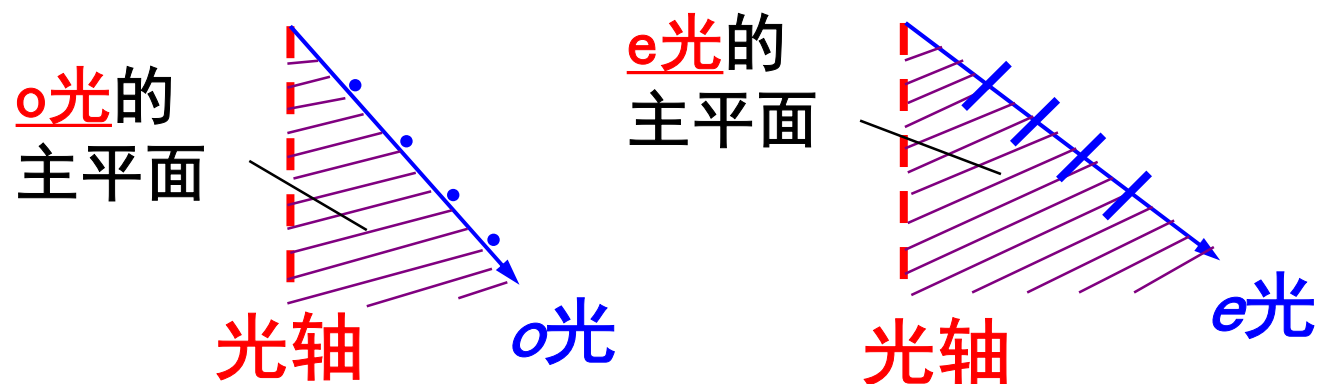
◆ **o光振动方向**始终垂直于**o光线**与**光轴**构成的平面(**o光主平面**)，并与光轴方向相垂直

**e光振动方向**始终在**e光线**与**光轴**构成的平面内(**e光主平面**)，并不一定与光轴相垂直。

◆ **o振动的传播具有各向同性，e振动的传播具有各向异性**

## 主平面

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。



$o$ 光振动垂直 $o$ 光的主平面， $e$ 光振动在 $e$ 光的主平面内。

**主截面：**晶体表面的法线与晶体光轴构成的平面。

与晶体相关，与光线无关

## 几个概念

- 1、晶体的光轴
- 2、晶体的主截面
- 3、光线的主平面

## 注意：

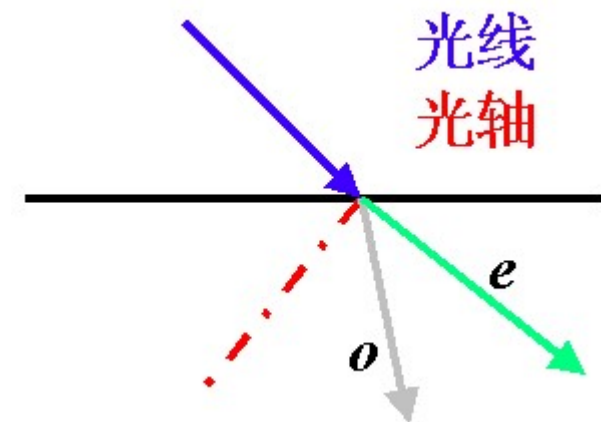
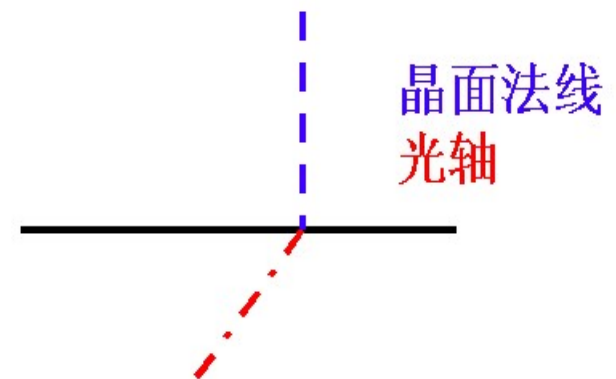
- \* o光 e光的主平面不一定相同
- \* 主平面，主截面不一定相同

o光的振动方向 $\perp$ o光的主平面

e光的振动方向 $\parallel$ e光的主平面

## 主要研究：

- (A) 入射光在主截面内
- (B) 主平面、主截面为同一平面

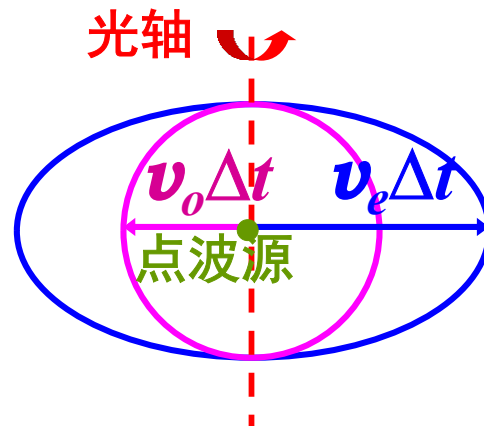


## 二. 单轴晶体中光波的波面

惠更斯原理可讨论光在各向同性介质中传播和折射规律

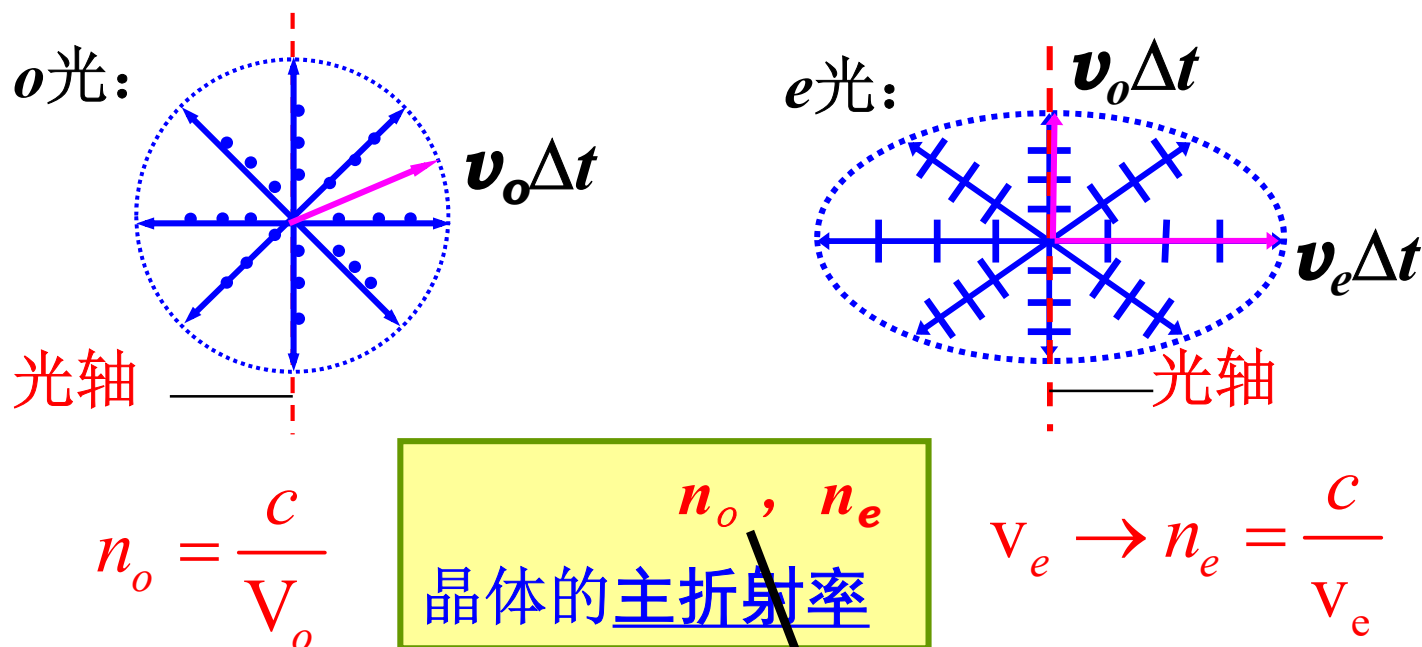
惠更斯对各向异性晶体中波面的描述

- 1、两折射光→晶体中任一点发出的次波应有两个波面
- 2、o光和e光→次波面应为球面、旋转椭球面(围绕光轴方向的回转的椭球面)
- 3、沿光轴方向不发生双折射→光轴方向两波面应相切





## 单轴晶体的主折射率

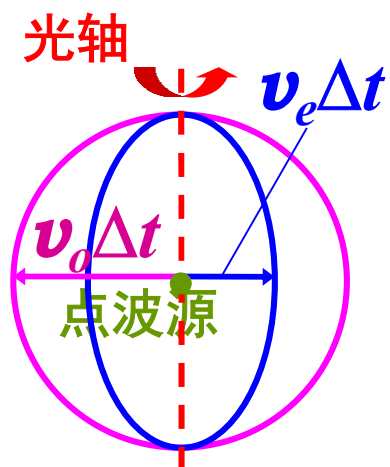


在垂直于光轴的方向上

对*o*光：一个折射率；对*e*光：无数个折射率

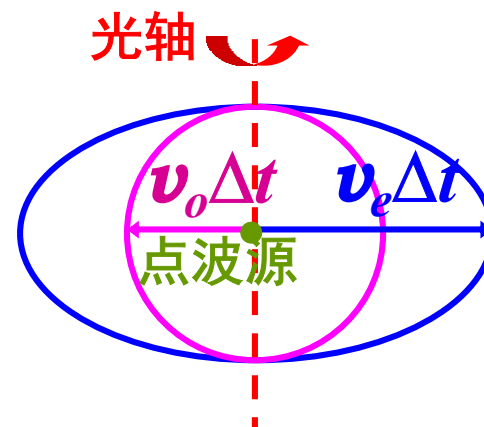
在光轴方向上相等

正晶体:  $n_e > n_o$  ( $v_e < v_o$ )



如: 石英、冰

负晶体:  $n_e < n_o$  ( $v_e > v_o$ )



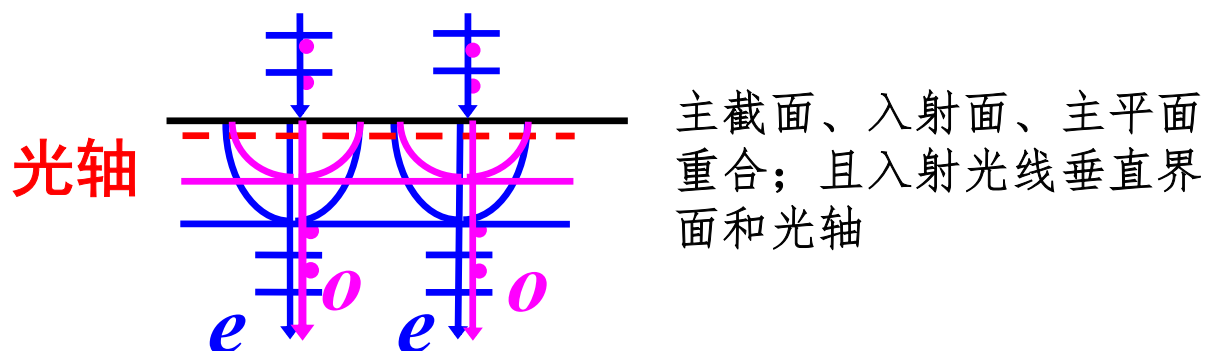
如: 方解石、红宝石

光轴方向  
相切

### 三. 单轴晶体中光传播的惠更斯作图法

以负晶体 ( $v_e > v_o$ ) 为例: (次波面, 波阵面, 能量面)

1. 光轴平行晶体表面, 平行入射面, 自然光垂直界面入射

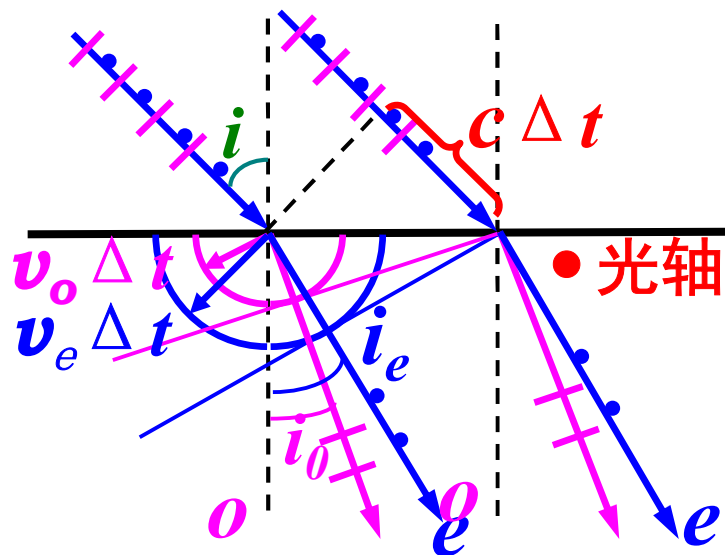


2. 光轴平行晶体表面, 垂直入射面, 自然光与界面斜入射

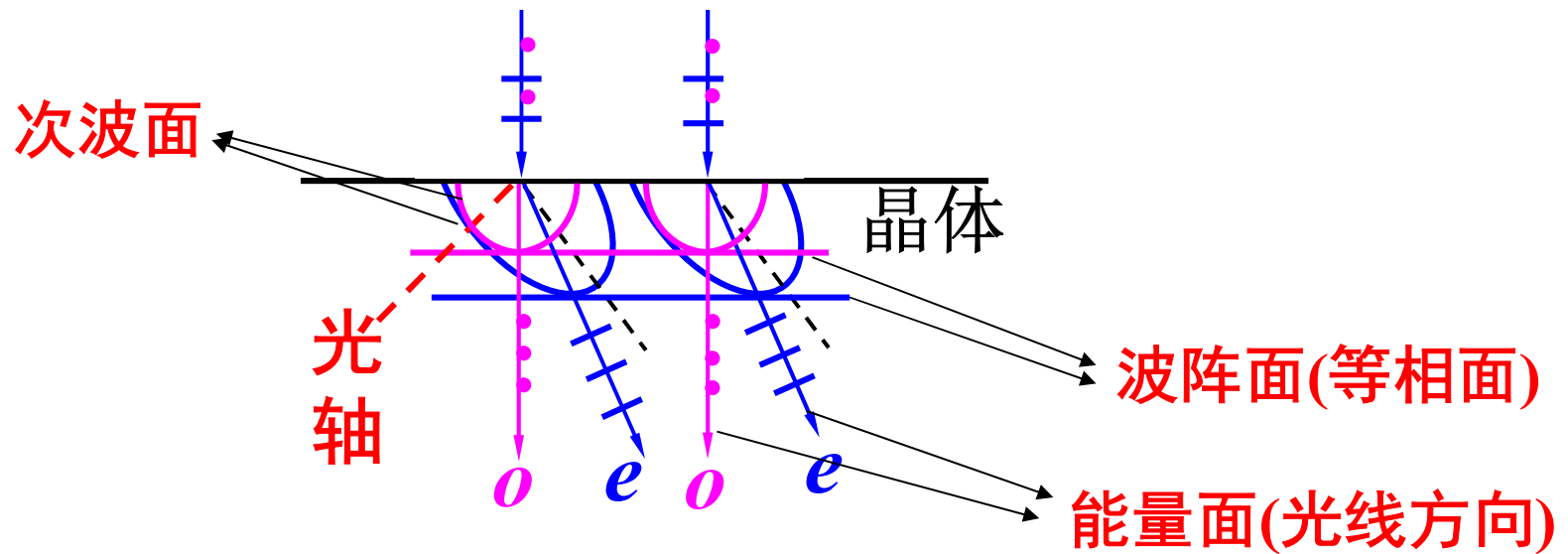
$$\frac{\sin i}{\sin i_o} = \frac{c}{v_o} = n_o$$

$e$ 光的次波面(圆)对应的波阵面(等相面)与其波射线垂直

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



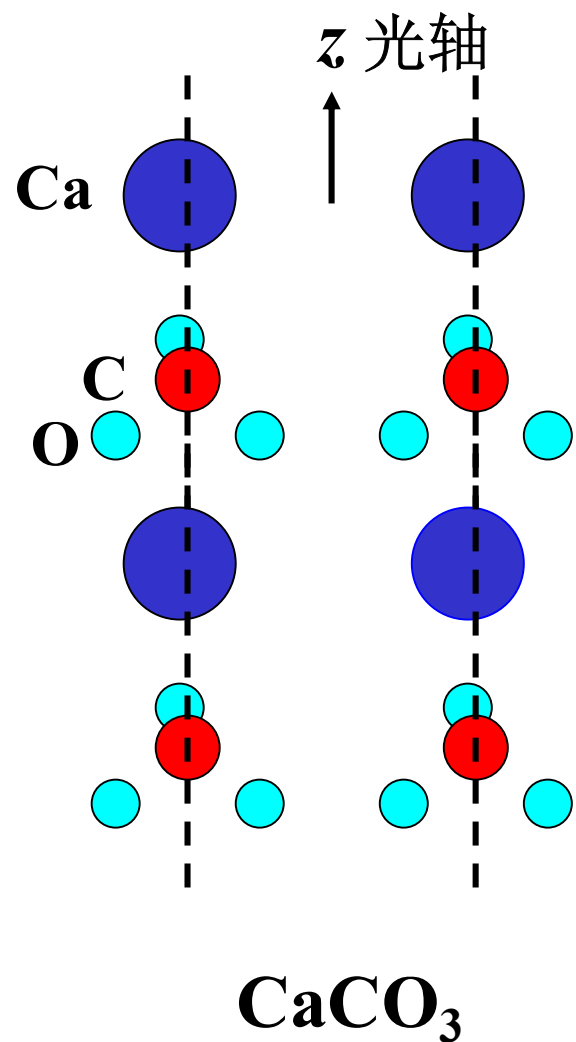
3. 光轴与晶体表面斜交，自然光垂直界面入射，与光轴有一定夹角



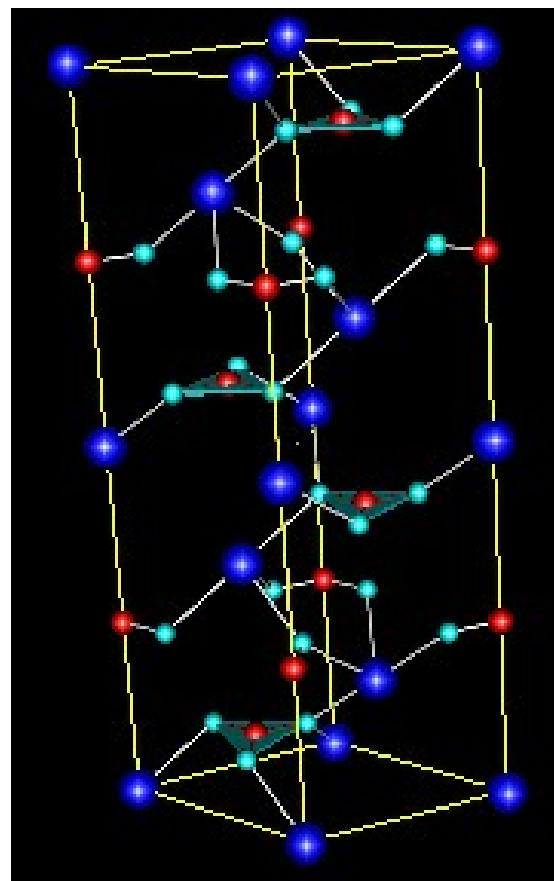
注意：此时 $e$ 光不满足折射定律

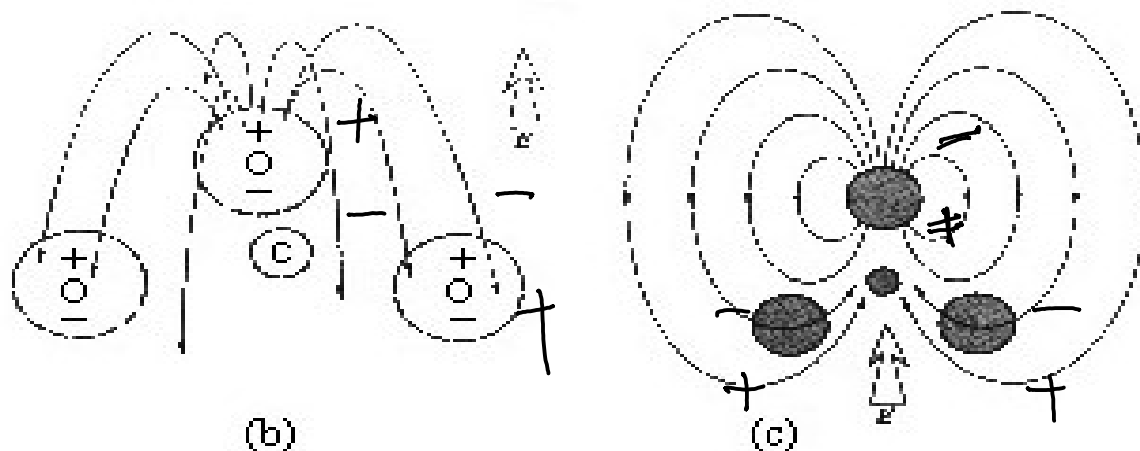
次波面的公切面即为其波阵面(等相面)，对应相速度

双折射现象产生的原因：不同的方向极化大小不一样



方解石内部的原子排列如图。每个  $\text{CO}_3$  原子群构成三角形平面垂直于光轴。





(b) 外场  $E$  垂直  $\text{CO}_3$  平面的极化； (c) 外场  $E$  平行于  $\text{CO}_3$  平面的极化

当  $\mathbf{E} \perp \text{CO}_3$  平面，即**平行**于光轴  $Z$  时，每个较易极化了的氧原子所产生的局域场都使邻近的  $O$  极化变小 (b) 。当  $\mathbf{E}$  在  $\text{CO}_3$  平面内，即**垂直**于  $Z$ ，两个极化了的  $O$  的局域场都使第三个  $O$  增大极化。即，**平行光轴**的  $\mathbf{E}$  引起极化较**难**，介电系数和折射率就较**小**；**垂直光轴**的  $\mathbf{E}$  引起极化较**容易**，介电系数和折射率就较**大**，致使振动方向不同的光波的传播速度也不相同。可见，由于晶体内部原子排列的对称性，使原子的**极化随方向而不同**，导致了光的传播速度(即折射率)随**光振动的方向**而变，这是晶体双折射的基本原因。

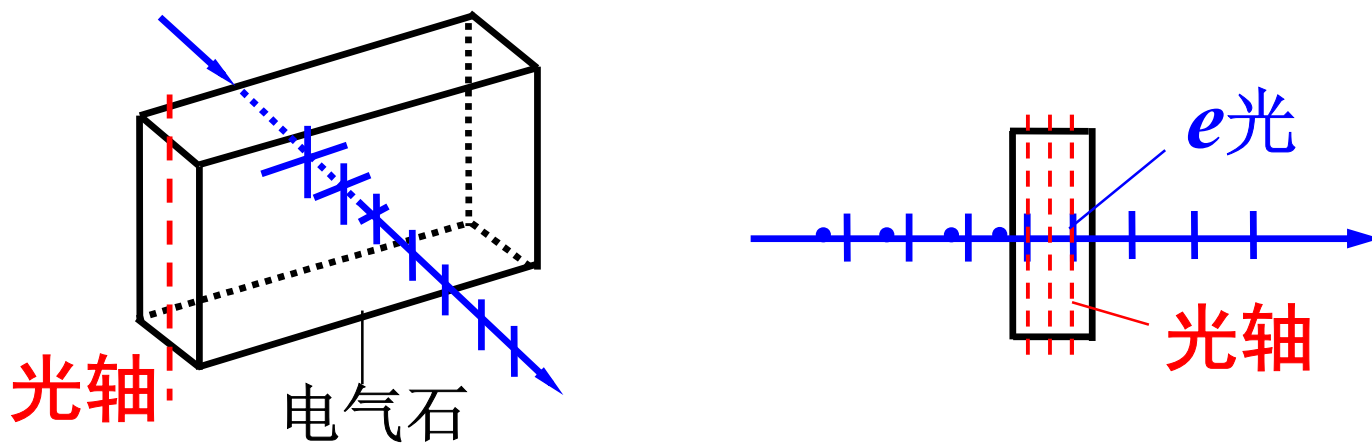
## § 2. 晶体光学器件

### 一. 晶体起偏器件

#### 1. 晶体的二向色性偏振器

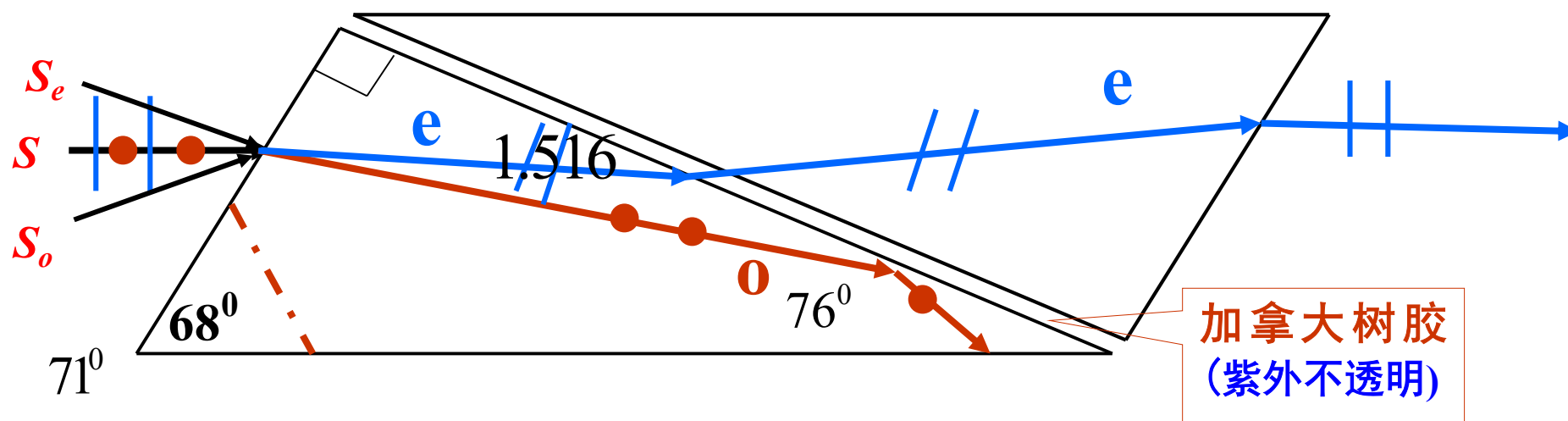
某些晶体对 $o$ 光和 $e$ 光的吸收有很大差异，叫晶体的二向色性

例如，电气石对 $o$ 光有强烈吸收，对 $e$ 光吸收很弱



## 2. 偏振棱镜

▲ 尼科尔棱镜：e光不能用折射定律



方解石（钠黄光）： $n_o = 1.658$ ;  $n_e = 1.486$

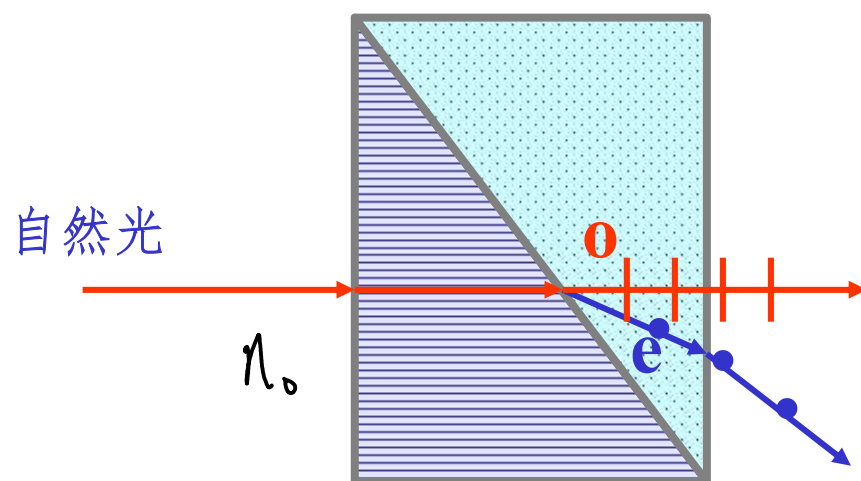
加拿大树胶： $n = 1.55$

$i >$  临界角（ $69^\circ$ ），o光全反射了，e光可通过

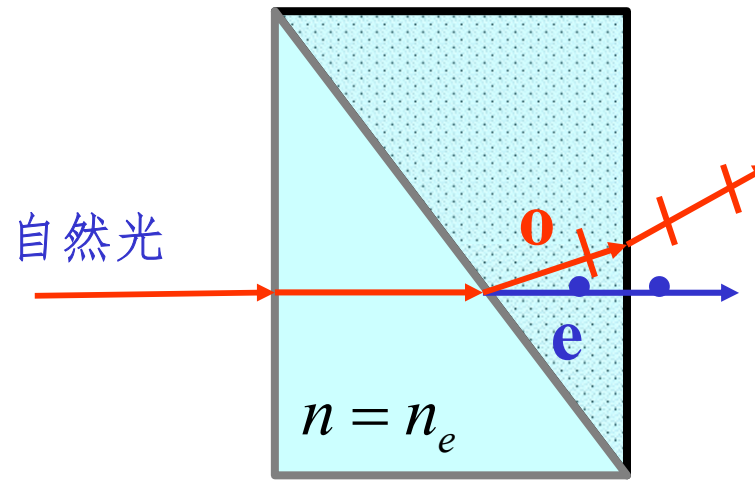
限制：入射光的汇聚角度有限， $S_o S_e$ 的夹角小于 $28^\circ$



▲ 洛匈棱镜：



方解石制成的洛匈棱镜



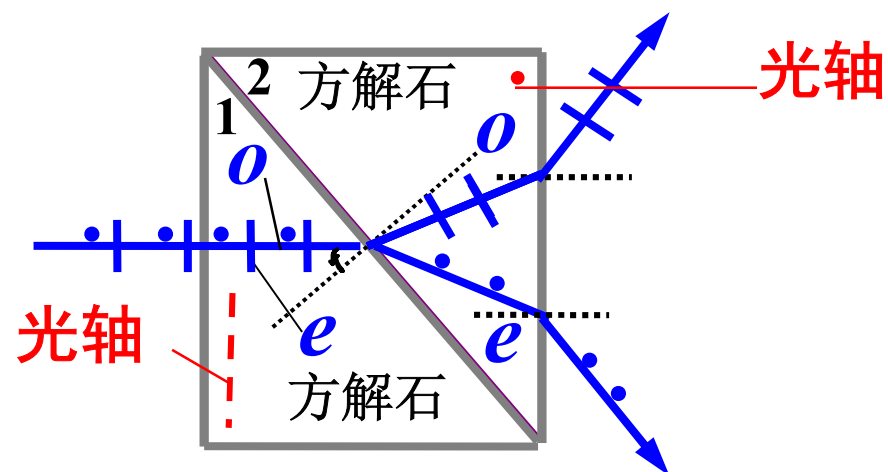
玻璃和方解石构成

负单晶  $n_o > n_e$

光轴垂直于入射面 e光可以用折射定律

注意：光轴的配置，偏振和方向的变化

## ▲ 渥拉斯顿棱镜

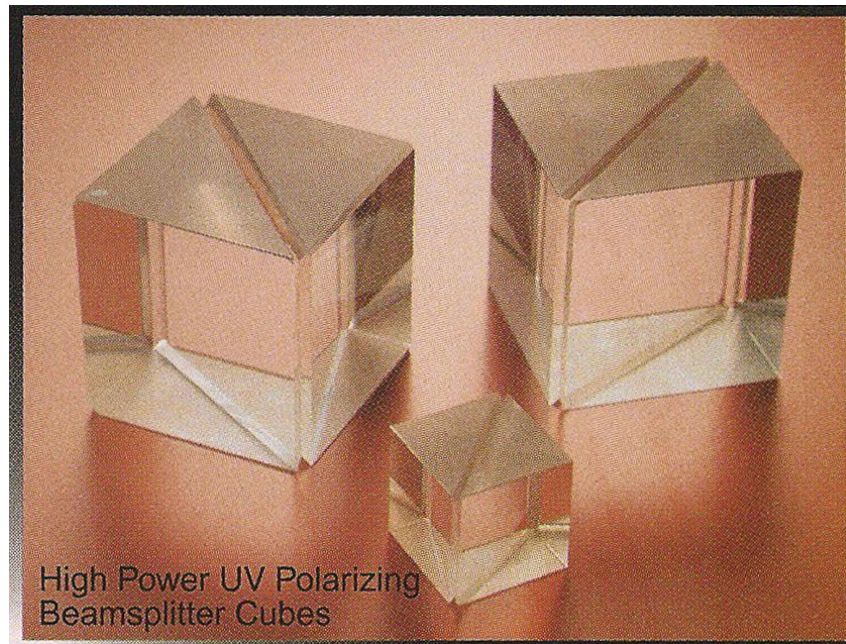


两块晶体内o光和e光互换

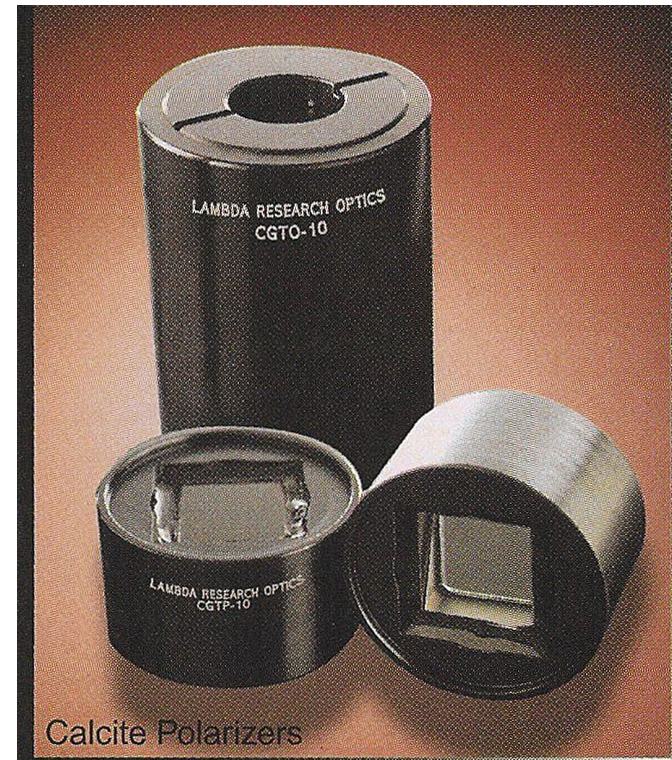
棱镜锐角为 $45^\circ$ 时，出射光张角为 $20^\circ 41'$

负晶体  $n_o > n_e$

# Real Polarizers



Air-spaced polarizers



## 二. 波晶片—相位延迟

### 圆和椭圆偏振光的起偏与检偏

回顾振动的合成：**偏振光的产生**（**迎着**传播方向看）

$$E_x = E_{x0} \cos(\omega t - kz)$$

$$E_y = E_{y0} \cos(\omega t - kz - \Delta\varphi)$$

$\Delta\varphi$  为任意值，合振动的轨迹为一般椭圆

$$\begin{cases} \Delta\varphi \in I, II, \text{左旋} \\ \Delta\varphi \in III, IV, \text{右旋} \end{cases}$$

垂直光轴传播任何偏振态的光在晶体中总是分解为沿光轴方向振动(e) 和垂直光轴振动(o)的两相互垂直的本征振动的迭加

o光、e光两相互垂直线振动可产生各偏振态

注意：

(1) 自然光在双折射晶体中产生的o光、e光迭加，不能产生完全偏振光。

(2) 由同一单色的偏振光在双折射晶体中分成的o光、e光可以产生完全偏振光。

## 一、偏振态经波晶片后的偏振态：

- 1、入射波片前的位相关系
- 2、经波片产生的位相差
- 3、振幅比

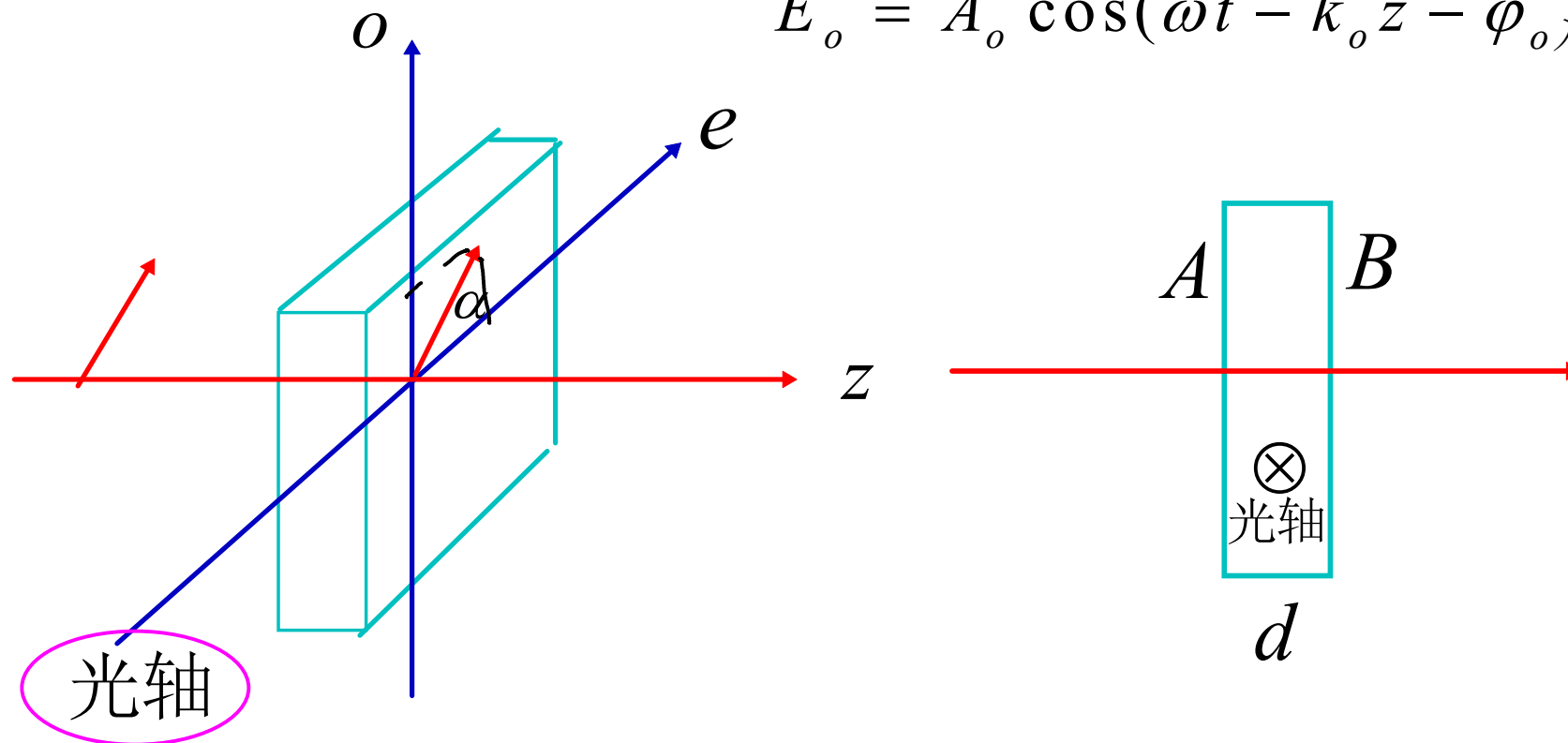


偏振态

1、光正入射 → 光轴平行表面的晶体薄片

$$E_e = A_e \cos(\omega t - k_e z - \varphi_{e\lambda})$$

$$E_o = A_o \cos(\omega t - k_o z - \varphi_{o\lambda})$$



线偏振光:  $A_o = A \sin \alpha$      $A_e = A \cos \alpha$

$\alpha$ 是振动方向与光轴的夹角



## 相位关系：

	入射面A	波晶片产生的相位延迟	输出面B
<i>o</i> 相位	$\varphi_{o\lambda}$	$\Delta_o = \frac{2\pi}{\lambda} n_o d$	$\varphi_{oB} = \varphi_{o\lambda} + \Delta_o$
<i>e</i> 相位	$\varphi_{e\lambda}$	$\Delta_e = \frac{2\pi}{\lambda} n_e d$	$\varphi_{eB} = \varphi_{e\lambda} + \Delta_e$
<i>o-e</i>	$\Delta\varphi_\lambda = \varphi_{o\lambda} - \varphi_{e\lambda}$	$\Delta = \Delta_o - \Delta_e$	$\Delta\varphi = \Delta\varphi_\lambda + \Delta$

负晶体（方解石）

$$V_e > V_o; n_o > n_e$$

正晶体（石英）

$$V_o > V_e; n_e > n_o$$



判断光通过波片后它的偏振态可归纳为以下几个步骤：

- 1、将入射光的电矢量 $E$ 按照波晶片的 $e$ 轴和 $o$ 轴分解成 $E_e$ 和 $E_o$ ，其振幅 $A_e$ 和 $A_o$ ；并根据入射光的偏振态确定在波晶片输入面上 $o$ 光对 $e$ 光的相位差
- 2、在波晶片输出面出射的 $o$ 光和 $e$ 光的振幅仍为 $A_e$ 和 $A_o$ ，但相差要附加上晶片所引起的 $E_o$ 对 $E_e$ 的相位差
- 3、出射光的偏振态可根据以前建立的偏振态的判据判定

## 2. 四分之一波片

选择晶片的厚度，使 $o$ 、 $e$ 光产生光程差：

$$(n_o - n_e)d = \pm(2m + 1)\frac{\lambda}{4}$$

$$\Delta = -\frac{2\pi}{\lambda}n_e d + \frac{2\pi}{\lambda}n_o d \rightarrow \Delta = \pm(2m + 1)\frac{\pi}{2} \quad m \text{ 是任意整数}$$

有效光程差或位相差：  $\rightarrow \pm\frac{\lambda}{4}, \pm\frac{\pi}{2}$

## 四分之一波片

$$\text{有效程差或位相差: } \pm \frac{\lambda}{4}; \pm \frac{\pi}{2}$$

$\pm$ 号并不对应正、负晶体，与晶体的正负性并没有必然的联系

$$(n_o - n_e)d = -\frac{3\lambda}{4} \Leftrightarrow \frac{\lambda}{4} \quad \text{即} \quad -\frac{3\pi}{2} \Leftrightarrow \frac{\pi}{2}$$

$$(n_o - n_e)d = \frac{3\lambda}{4} \Leftrightarrow -\frac{\lambda}{4} \quad \text{即} \quad \frac{3\pi}{2} \Leftrightarrow -\frac{\pi}{2}$$

$$\Delta = \left| -\frac{2\pi}{\lambda} n_e d + \frac{2\pi}{\lambda} n_o d \right| = \frac{2\pi}{\lambda} (n_{\text{慢}} - n_{\text{快}})d + 2m\pi$$

快轴    慢轴：传播速度的快慢

四分之一波片

$$\Delta = \pm \frac{\pi}{2}$$

可从线偏振光获得椭圆或圆偏振光

$\alpha = \frac{\pi}{4}$      $A_o = A_e$     线偏振光 → 圆偏振光

$\alpha = 0, \frac{\pi}{2}$      $\begin{matrix} A_o \\ A_e \end{matrix} = 0$     线偏振光 → 线偏振光

$\alpha \neq 0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}$      $A_o \neq A_e$     线偏振光 → 椭圆偏振光

## 椭圆偏振光经 $\lambda/4$ 的变化 ( $\alpha$ 代表光轴与长轴的夹角)

$$\alpha = 0, \frac{\pi}{2}$$

椭圆偏振光 $\rightarrow$ 线偏振光

$$\alpha \neq 0, \frac{\pi}{2}$$

椭圆偏振光 $\rightarrow$ 椭圆偏振光

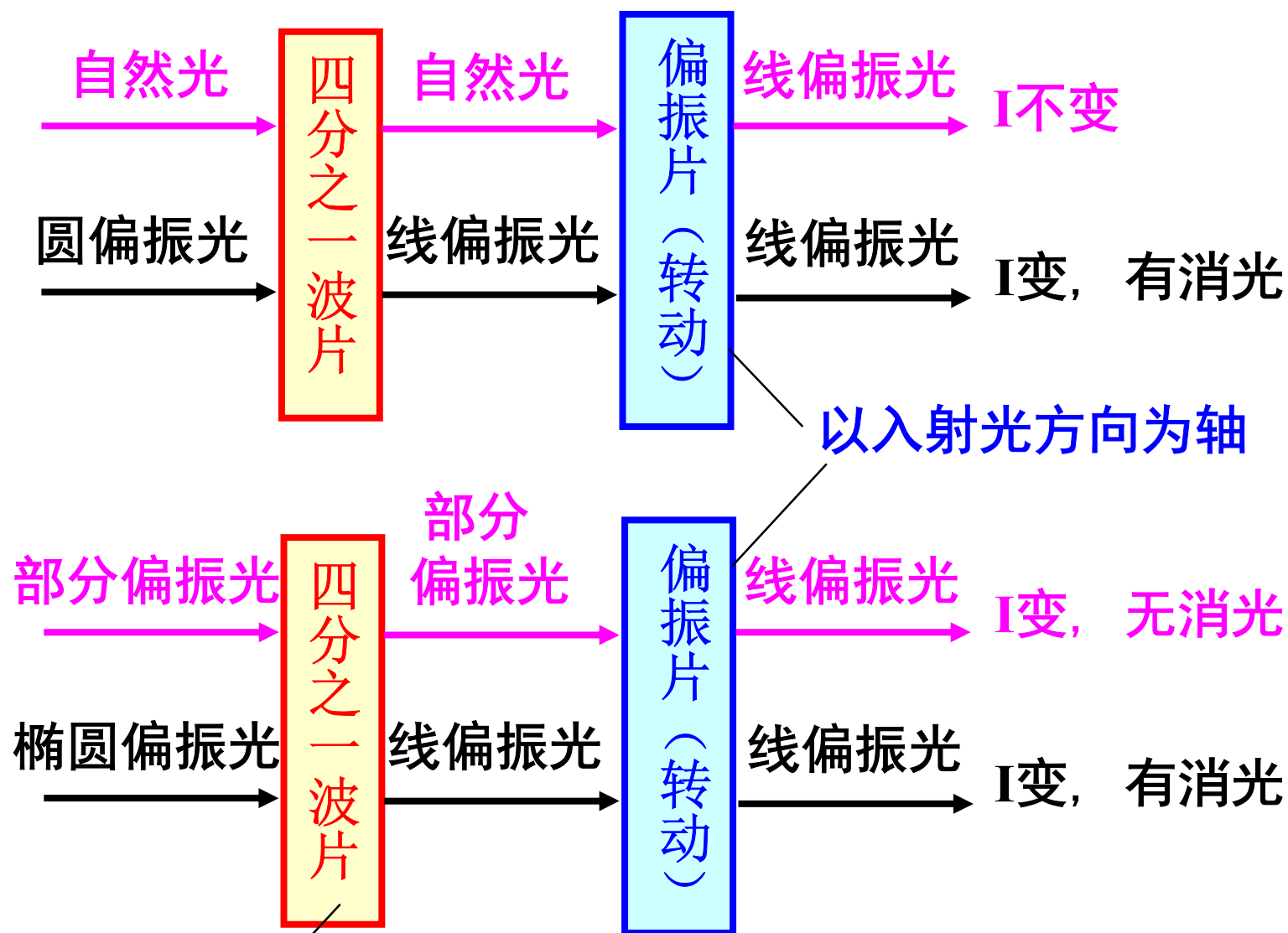
## 圆偏振光经 $\lambda/4$ 的变化

$\alpha$ 任意

圆偏振光 $\rightarrow$ 线偏振光

## 椭圆与圆偏振光的检偏 ??

用四分之一波片和偏振片可区分出自然光和圆偏振光，  
或部分偏振光和椭圆偏振光。

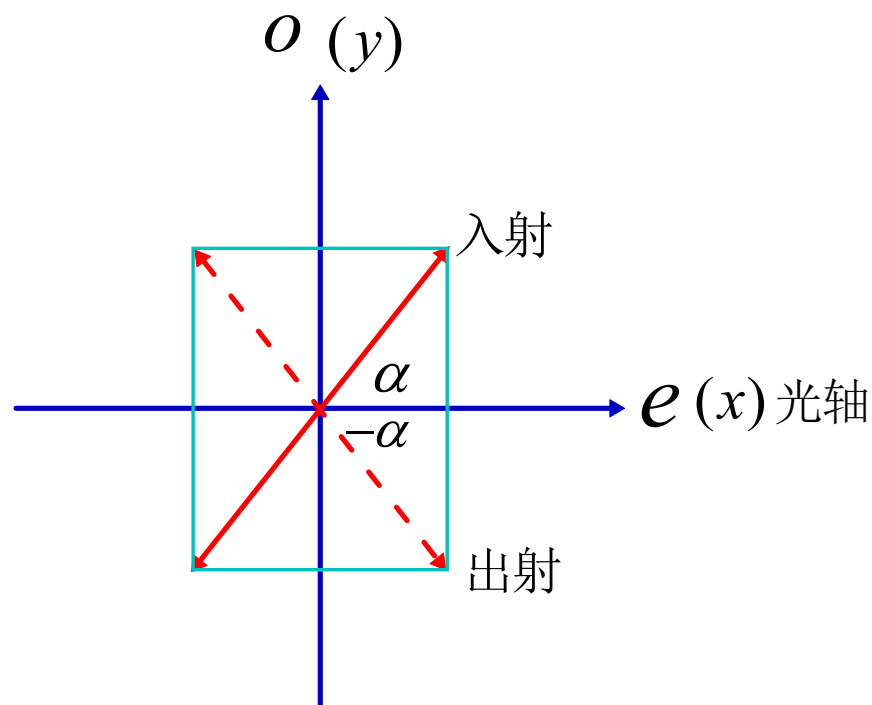


光轴平行最大光强或最小光强方向放置  
或光轴平行椭圆偏振光的长轴或短轴放置

## (2) 二分之一波片

$$(n_e - n_o)d = \pm(2m + 1)\frac{\lambda}{2}$$

$$\rightarrow \Delta = \pm(2m + 1)\pi$$



可使线偏振光振动面转过  $2\alpha$  角度

## (3) 全波片

$$(n_e - n_o)d = \lambda \rightarrow \Delta = 2\pi$$

### 三. 相位补偿器

在振动方向互相垂直的两束光间  
产生任意的相位差

#### 1、巴比涅补偿器

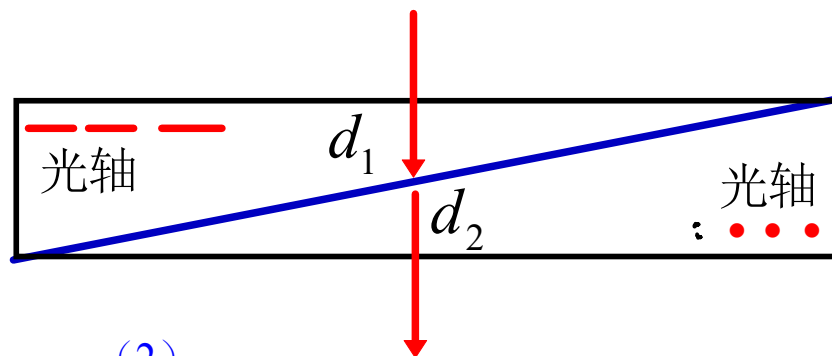
类渥拉斯顿棱镜  
薄、顶角很小

振动方向:  $^{(1)}n_o \rightarrow ^{(2)}n_e$  ;  $^{(1)}n_e \rightarrow ^{(2)}n_o$

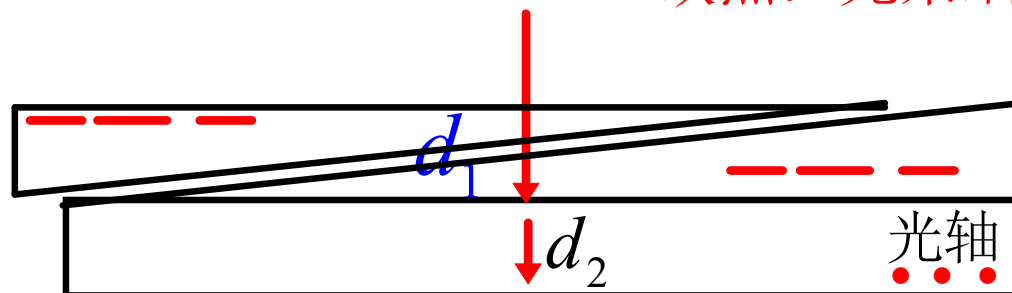
$\therefore$  出射  $s, p$  光的程差:  $\Delta L = (n_o d_1 + n_e d_2) - (n_e d_1 + n_o d_2)$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e)(d_1 - d_2)$$

#### 2、索列尔补偿器



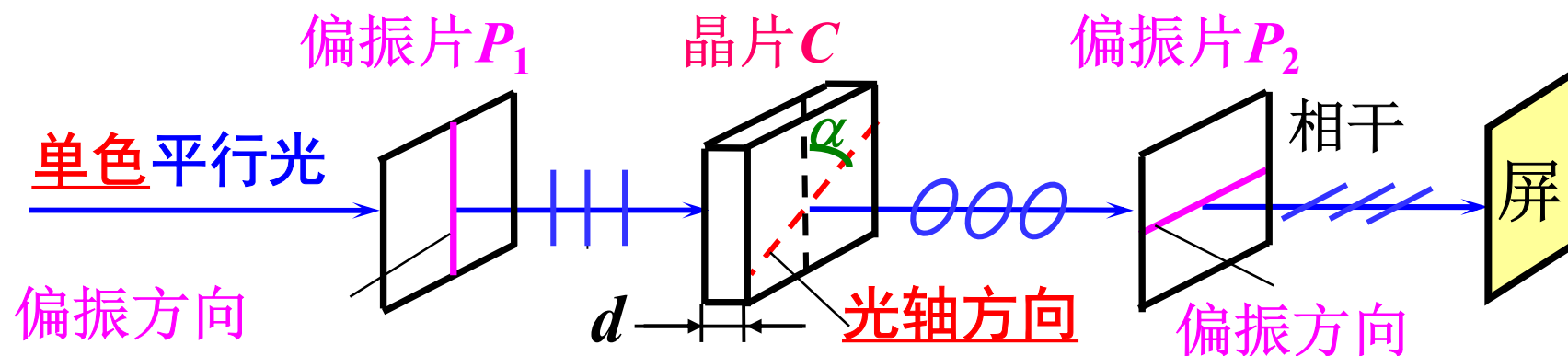
缺点: 光束细





## § 3 偏振光的干涉

### 一. 平行偏振光干涉装置



从C出射的o光、e光能否产生干涉 ?

从C出射的o光、e光通过 $P_2$ 后才会产生干涉

## 二. 平行偏振光干涉分析

### 1. 振幅大小关系

透过 $P_1$ 上:

$$A_o = A_1 \sin \alpha$$

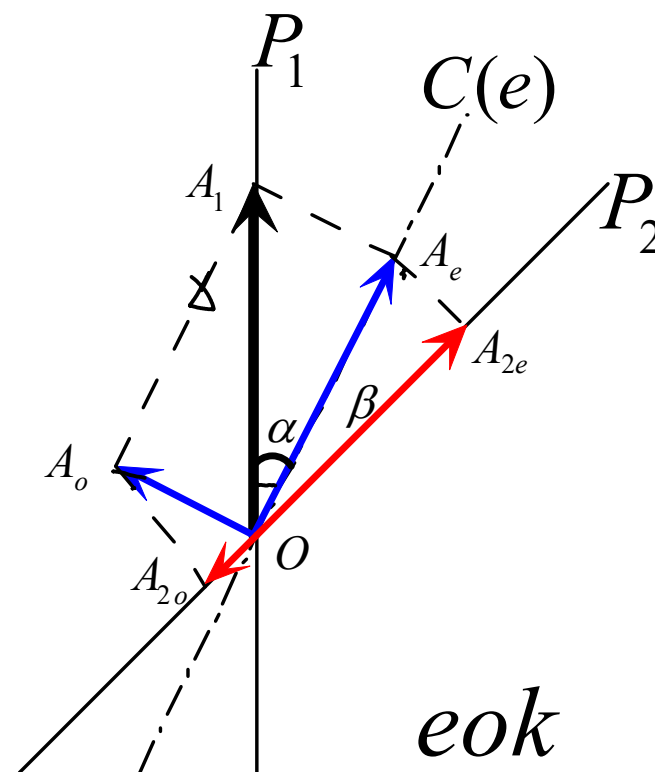
$$A_e = A_1 \cos \alpha$$

$A_1$ 透过 $P_1$ 后振幅

投影在 $\widehat{P_2}$ 上:

$$A_{o2} = A_o \sin \beta = A_1 \sin \alpha \cdot \sin \beta$$

$$A_{e2} = A_e \cos \beta = A_1 \cos \alpha \cos \beta$$



设从偏振片  $P_2$  出射两振动的位相差为  $\Delta\varphi$

则通过  $P_2$  后的光强为：

$$I = I_{o2} + I_{e2} + 2\sqrt{I_{o2}I_{e2}} \cos \Delta\varphi$$

$$I_{o2} = A_{o2}^2 = A_1^2 \sin^2 \alpha \cdot \sin^2 \beta$$

$$I_{e2} = A_{e2}^2 = A_1^2 \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \beta$$

$$I = A_1^2 (\cos^2 \alpha \cos^2 \beta + \sin^2 \alpha \sin^2 \beta + 2 \cos \alpha \cos \beta \sin \alpha \sin \beta \cos \Delta\varphi)$$

## 2. 相位关系

1、入射光在波晶片上分解的 $o, e$ 光分量间的位相差 $\delta_\lambda$

$$\delta_\lambda \text{ 取决于入射光的偏振态; Q 有 } P_1 \rightarrow \delta_\lambda = \begin{cases} 0 \\ \pi \end{cases}$$

2、通过波晶片后的位相差 $\Delta$ （由波晶片引起的）

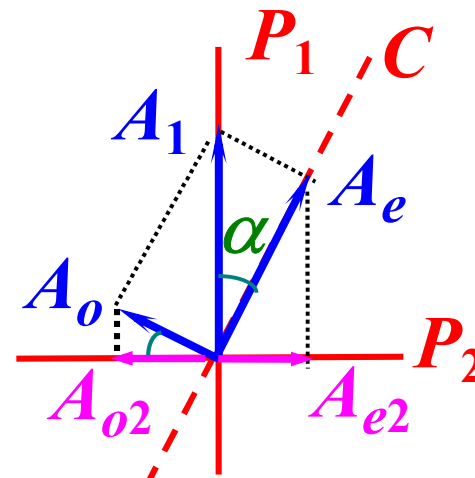
$$\Delta = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) d$$

3、坐标轴投影引起的位相差 $\delta'$

若 $o, e$ 轴正向对 $P_2$ 轴的两个投影分量方向一致 $\delta' = 0$ , 相反 $\delta' = \pi$

$$\therefore \Delta\varphi = \delta_\lambda + \Delta + \begin{cases} 0 \\ \pi \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{书上只有两项} \\ \text{与书上是等价的} \end{array}$$

*If :  $P_1 \perp P_2$ , and,  $\alpha = 45^\circ$*

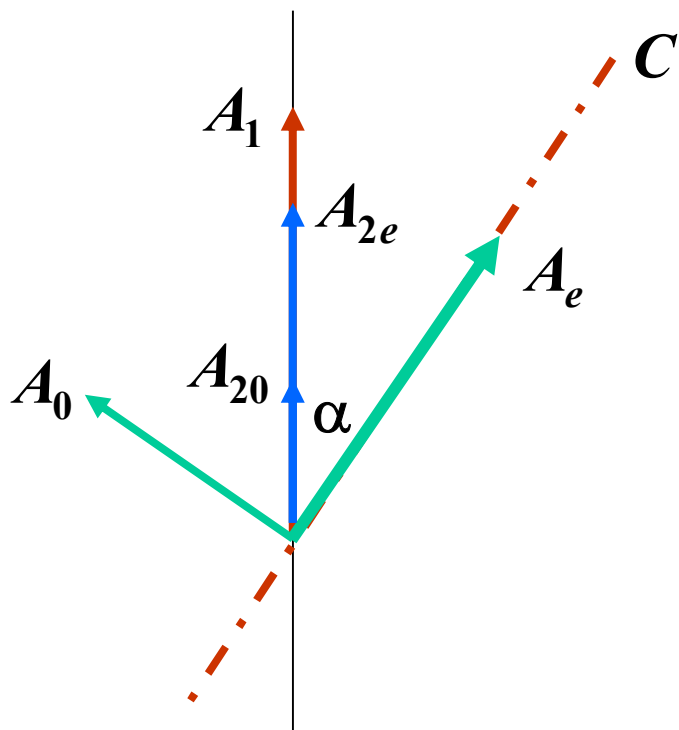


$$\Delta\varphi_{\perp} = 0 + \Delta + \pi = \frac{2\pi d}{\lambda}(n_e - n_o) + \pi$$

$$\Rightarrow I_{2\perp} = \frac{A_1^2}{2}[1 + \cos(\Delta\varphi_{\perp})] = \frac{A_1^2}{2}(1 - \cos \Delta)$$

$$I_{2\perp} = I_1 \sin^2\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

If :  $P_1 \parallel P_2$ , and,  $\alpha = 45^\circ$



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

只取决于晶片带来的位相差

则通过  $P_2$  后的光强为:

$$I_{2//} = \frac{A_1^2}{2} [1 + \cos(\Delta\varphi_{//})]$$

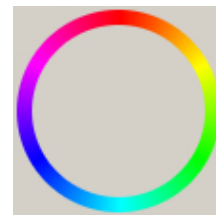
$$I_{2//} = I_1 \cos^2\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

### 三. 显色偏振

若白光入射，且晶片 $d$  均匀，屏上由于某种颜色干涉相消，  
而呈现它的互补色，这叫（显）色偏振。

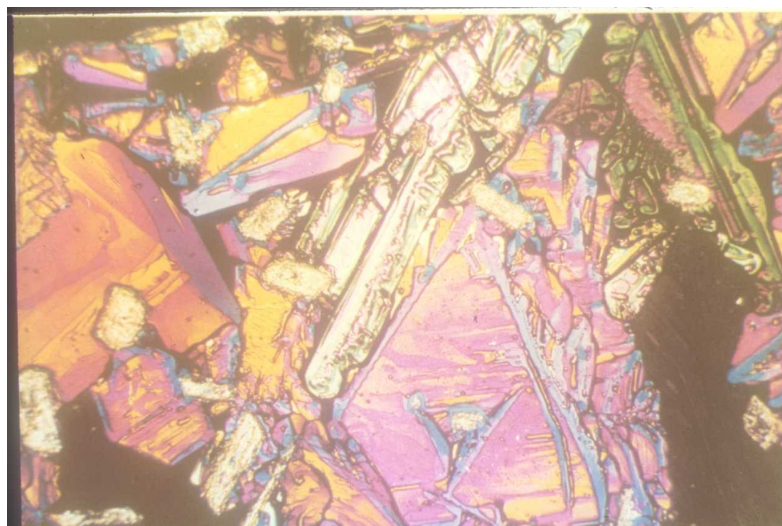
红色（656.2nm）相消→青色（492.1nm）

蓝色（485.4nm）相消→黄色（585.3 nm）

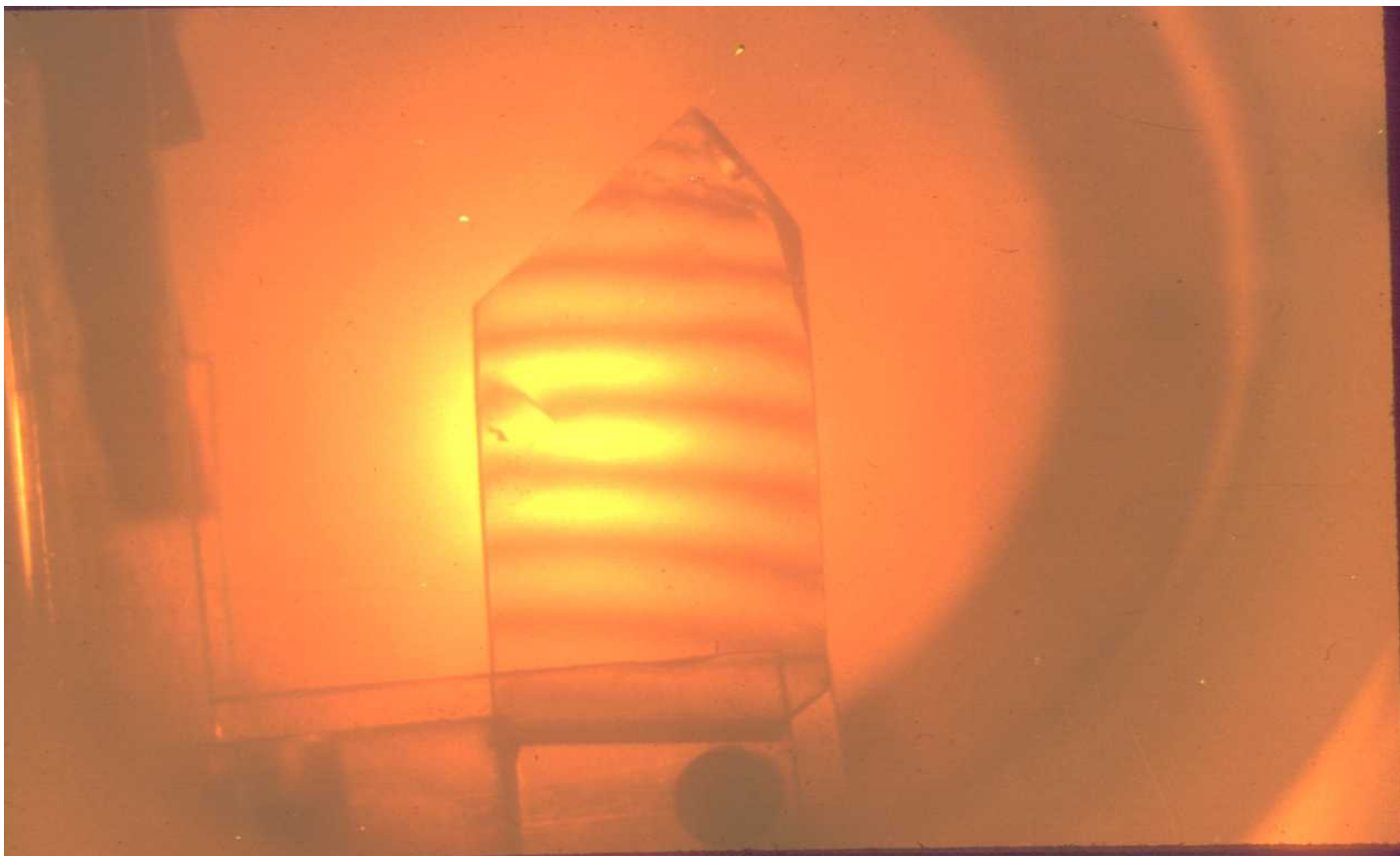


若  $d$  不均匀，白光  
入射则屏上出现彩  
色图案

硫代硫酸钠晶片  
的显色偏振图片



## 石英劈尖的偏振光干涉（等厚条纹）



若单色光入射，且 $d$ 不均匀，则屏上为等厚条纹

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



由于

$$\Delta \varphi_{\perp} \xleftrightarrow{\pi} \Delta \varphi_{//} \quad \boxed{\alpha = 45^{\circ}}$$

$$I_{2\perp} = I_1 \sin^2\left(\frac{\Delta}{2}\right) \quad I_{2//} = I_1 \cos^2\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

在**白光**的照射下，对同一晶板，在**正交**系统中出现的颜色与**平行**系统中出现的颜色互补

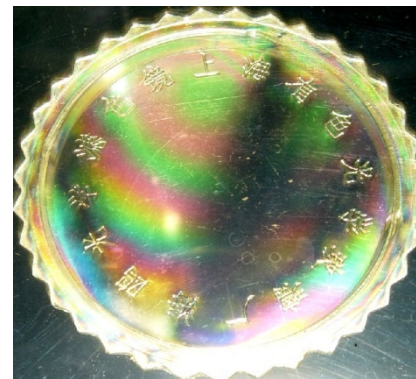


(a) 暗场

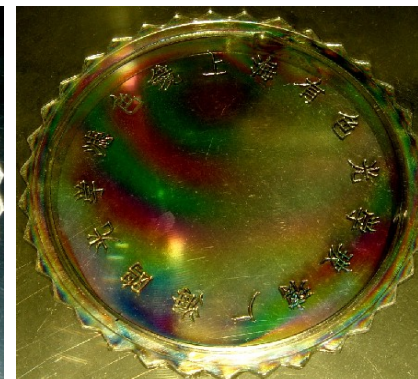


(a) 亮场

透明胶带薄膜的偏光干涉图样



(a) 暗场

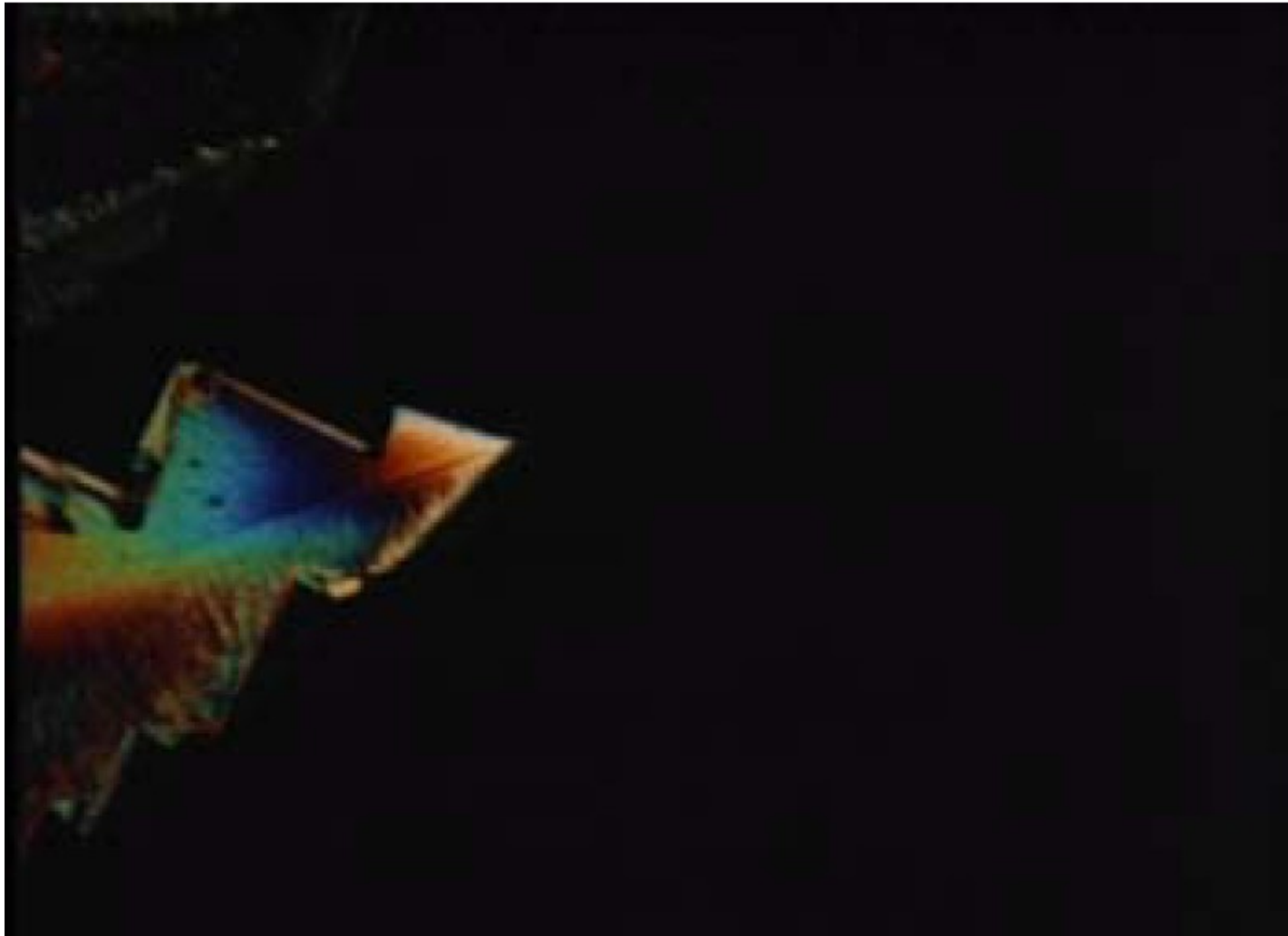


(a) 亮场

塑料板的偏光干涉图样

显色偏振是检验材料有无双折射效应的灵敏方法，用显微镜观察各种材料在白光下的显色偏振，可以分析物质内部的某些结构

—偏光显微术



利用偏振光干涉看到的结冰过程

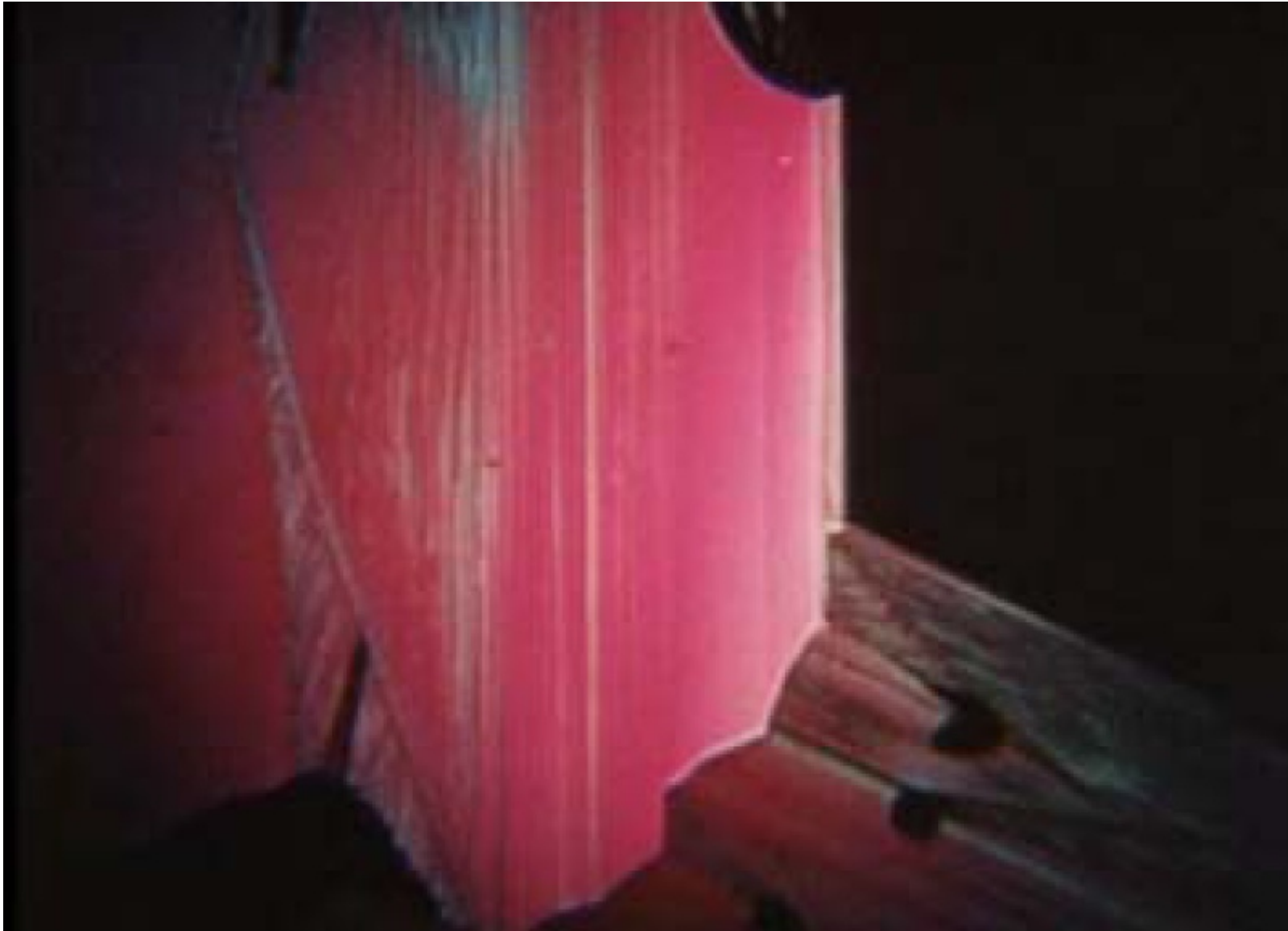
## 利用偏振光干涉看到的结冰过程



## 利用偏振光干涉看到的结冰过程



## 利用偏振光干涉看到的结冰过程





## 利用偏振光干涉看到的结冰过程



## 利用偏振光干涉看到的结冰过程



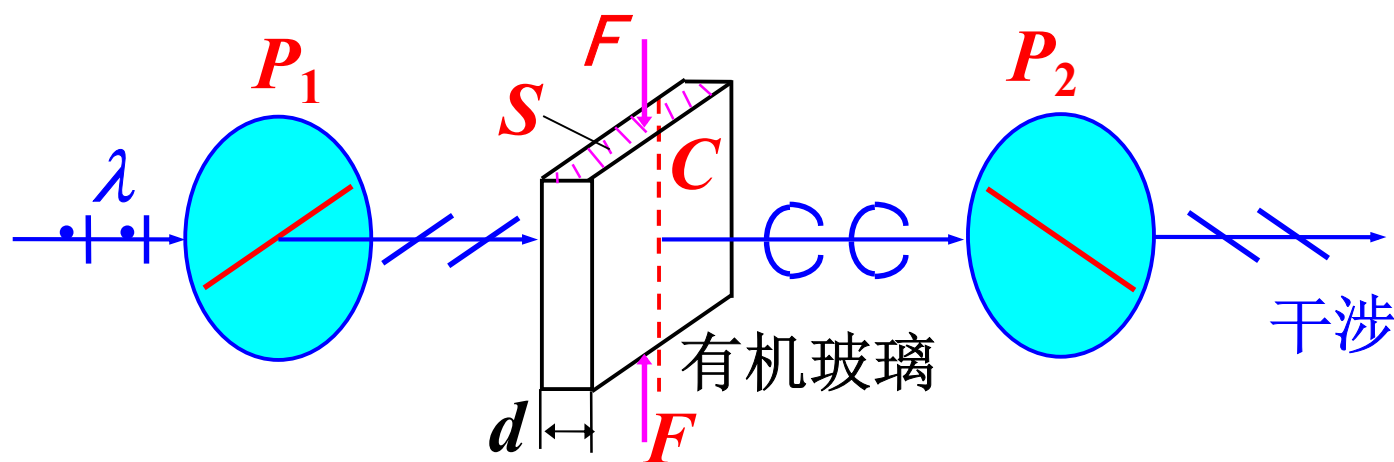
## 利用偏振光干涉看到的结冰过程





## § 4. 人工双折射

### 一. 光弹效应 (应力双折射效应)



应力  $\rightarrow$  各向异性  $\rightarrow n$  各向不同

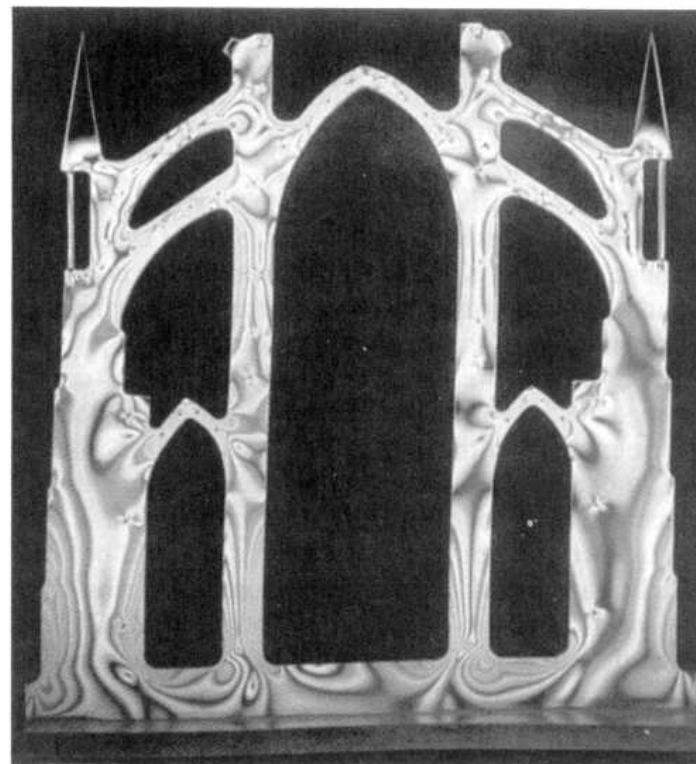
在一定应力范围内: 
$$n_o - n_e = k \frac{F}{S}$$

各处 $F/S$ 不同 $\rightarrow$ 各处  $\Delta\varphi$ 不同 $\rightarrow$ 出现干涉条纹

钩钩的光弹图象



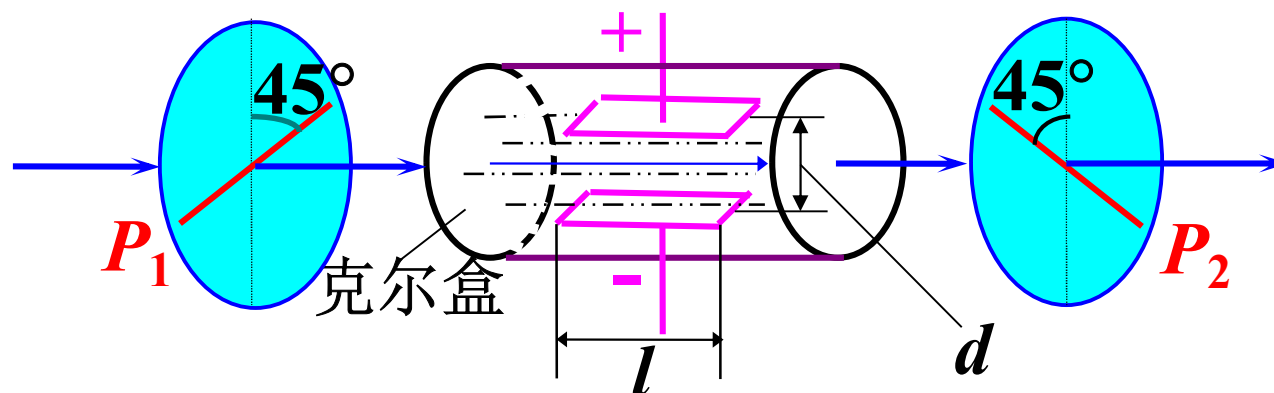
模型的光弹图象



光测弹性

## 二. 电光效应 (电致双折射效应)

### 1. 克尔效应 → 二次电光效应



盒内充某种液体，如硝基苯 ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$ )

- ▲ 不加电场 → 液体各向同性 →  $P_2$  不透光
- ▲ 加电场 → 各向异性分子取向有序，液体呈单轴晶体性质，  
光轴平行电场强度 →  $P_2$  透光

$$n_o - n_e = \kappa E^2 = \kappa \frac{U^2}{d^2} \quad \kappa \text{ 克尔常数, } U \text{ 电压}$$

克尔效应引起的相位差为:

$$\Delta\varphi_{\kappa} = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) l = 2\pi l \frac{\kappa U^2}{\lambda d^2}$$

$\Delta\varphi_{\kappa} = \pi$  克尔盒相当于半波片,  $P_2$ 透光最强 ? ?

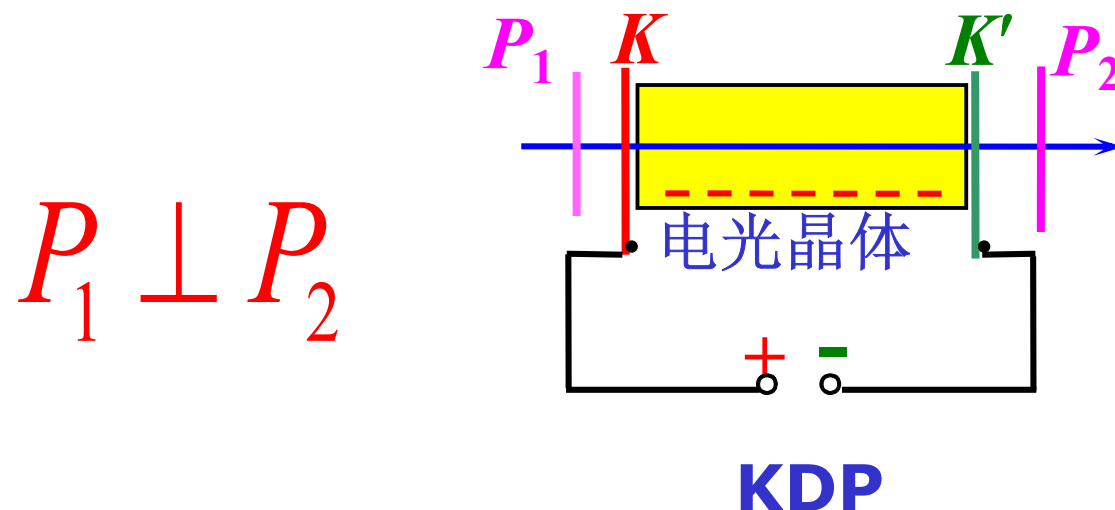
硝基苯:

$$\kappa = 1.44 \times 10^{-18} \text{ m}^2/\text{V}^2, l = 3\text{cm}, d = 0.8\text{cm}, \lambda = 600\text{nm}$$

$$U_{\pi} \approx 2 \times 10^4 \text{ V}$$

高速电光开关 1ns

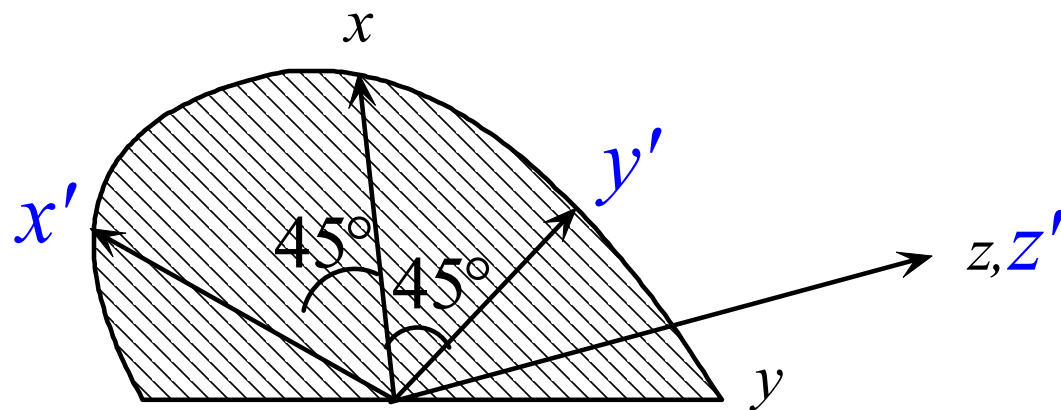
## 2. 泡克尔斯效 → 线性电光效应 应



光传播方向与电场平行，电极 $K$ 和 $K'$ 透明，晶体是单轴晶体，光沿光轴传播方向。

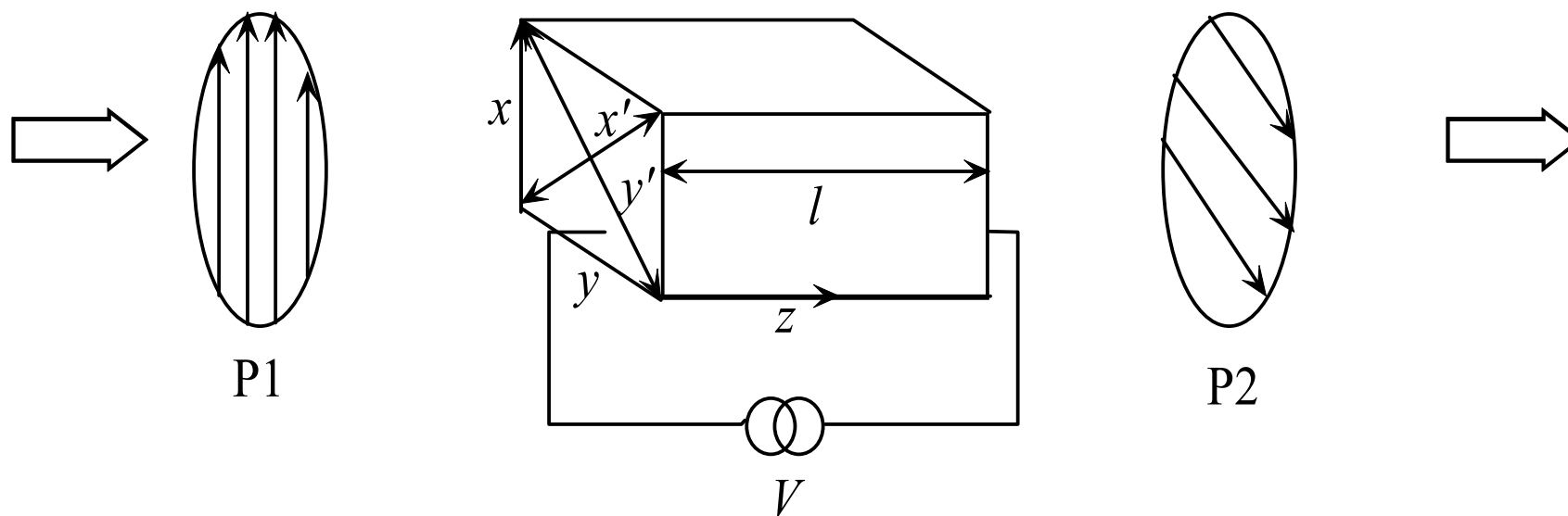
▲ 不加电场 →  $P_2$ 不透光。

▲ 外加电场（沿光轴） → 晶体变双轴晶体 → 绕原光轴方向转动45度  $n_{x'} \neq n_{y'}$  附加双折射效应 →  $P_2$ 透光



$$\left. \begin{aligned} n_{x'} &= n_o + \frac{1}{2} n_o^3 \gamma E_z \\ n_{y'} &= n_o - \frac{1}{2} n_o^3 \gamma E_z \end{aligned} \right\}$$

电致双折射主轴与原主轴的关系



(KDP晶体)光强度调制器的光路

泡克尔斯效应引起的相位差：

$$\Delta\varphi_p = \frac{2\pi}{\lambda} n_o^3 \gamma U$$

$n_o$ - $o$ 光在晶体中的折射率；  $\gamma$  电光常数；  $U$ 电压。

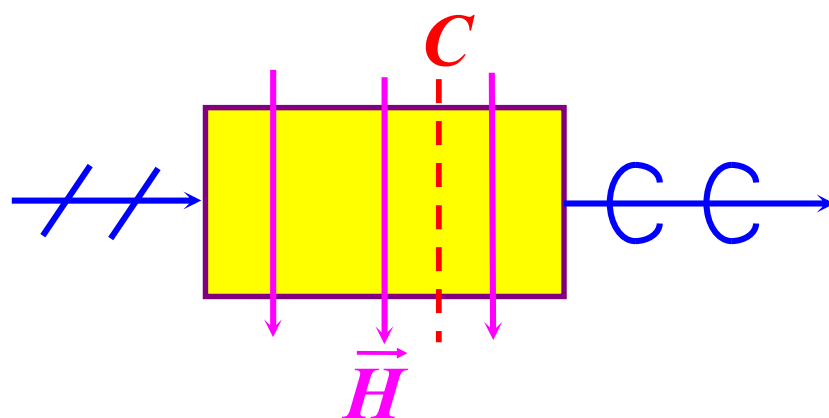
$\text{KH}_2\text{PO}_4$  (KDP)

$$n_o = 1.51, \gamma = 10.6 \times 10^{-12} \text{ m/V}, \lambda = 532 \text{ nm}$$

$$U_\pi \approx 7 \times 10^3 \text{ V}$$

### 3. 磁致双折射(科顿—穆顿效应)

某些透明液体在磁场 $H$ 作用下变为各向异性，性质类似于单轴晶体，光轴平行磁场。



$$|n_e - n_o| \propto H^2 \quad \text{二次效应}$$

需要很强的磁场才能观察到

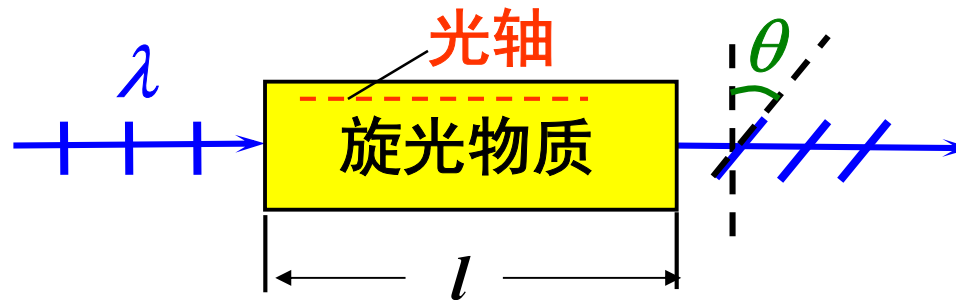


## § 5. 旋光现象

### 一. 物质的旋光性

旋光现象： 1811年，法国物理学家阿喇果（Arago）发现，线偏振光沿光轴方向通过石英晶体时，其振动面发生旋转

除石英，氯酸钠、乳酸、松节油、糖的水溶液等也具有旋光性



旋转的角度：

$$\theta = \alpha l$$

$\alpha$  旋光率

左旋物质    右旋物质

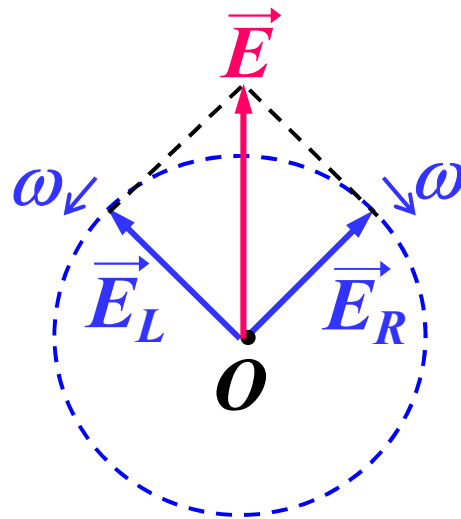
旋光异构体

实验表明，旋光率 $\alpha$ 与旋光物质和入射波长有关，对于溶液，还和旋光物质的浓度有关

石英对 $\lambda = 589\text{nm}$ 的黄光， $a = 21.75^\circ/\text{mm}$ ；对 $\lambda = 408\text{nm}$ 的紫光， $a = 48.9^\circ/\text{mm}$

## 二. 菲涅耳对旋光性的解释

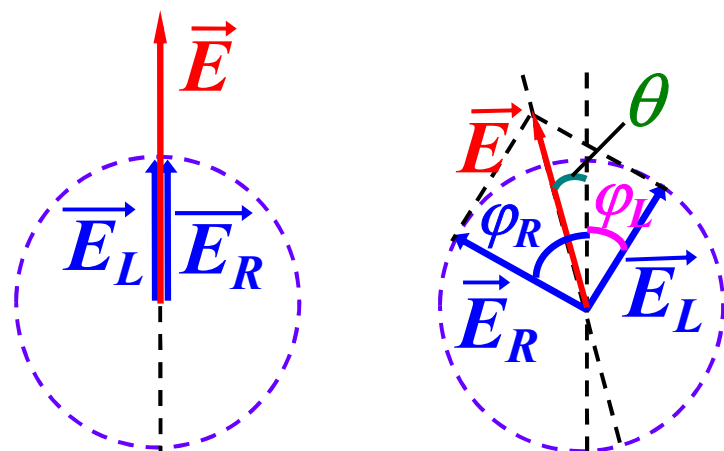
线偏振光( $E, \omega$ )可看作是同频率( $\omega$ )、等振幅( $E/2^{1/2}$ )、有确定相位差的左( $L$ )、右( $R$ )旋圆偏振光的合成。



$$v_L \neq v_R \leftrightarrow n_L \neq n_R$$

设入射时 $L$ 、 $R$ 初相为0，

光通过长为 $L$ 旋光物质后，相位要**滞后**（相位落后 $\leftrightarrow$ 转角倒退）。  
在出射面上：



入射面 (a)

出射面 (b)

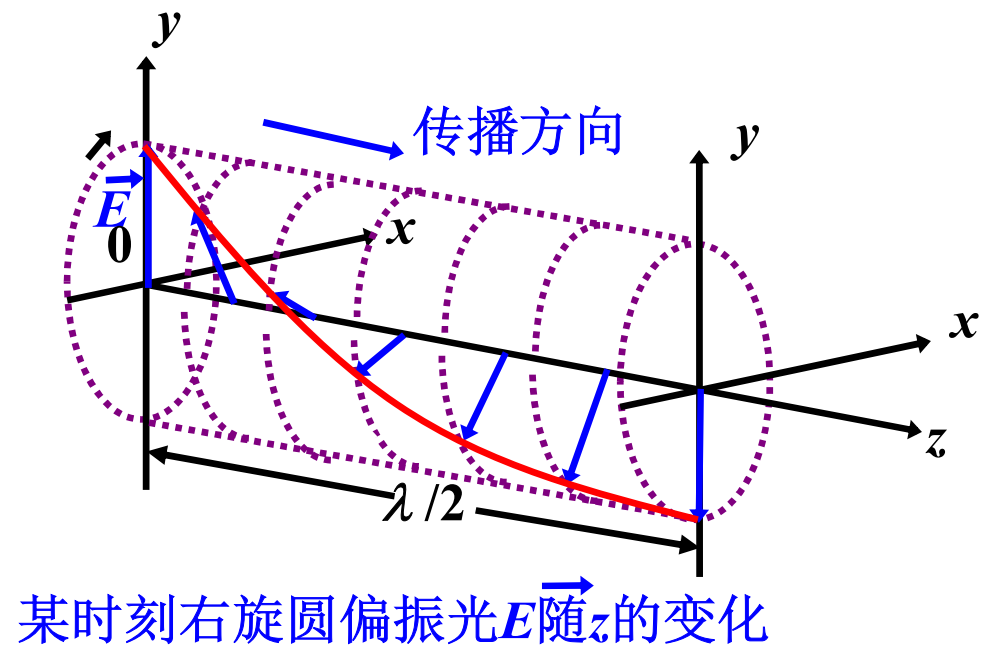
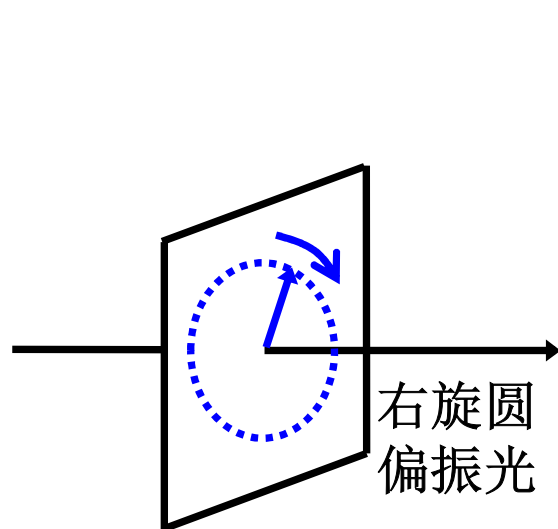
$$\begin{cases} \varphi_R = \frac{2\pi}{\lambda} n_R l > 0 \\ \varphi_L = \frac{2\pi}{\lambda} n_L l > 0 \end{cases}$$

设  $n_R > n_L$  (即  $v_L > v_R$ )

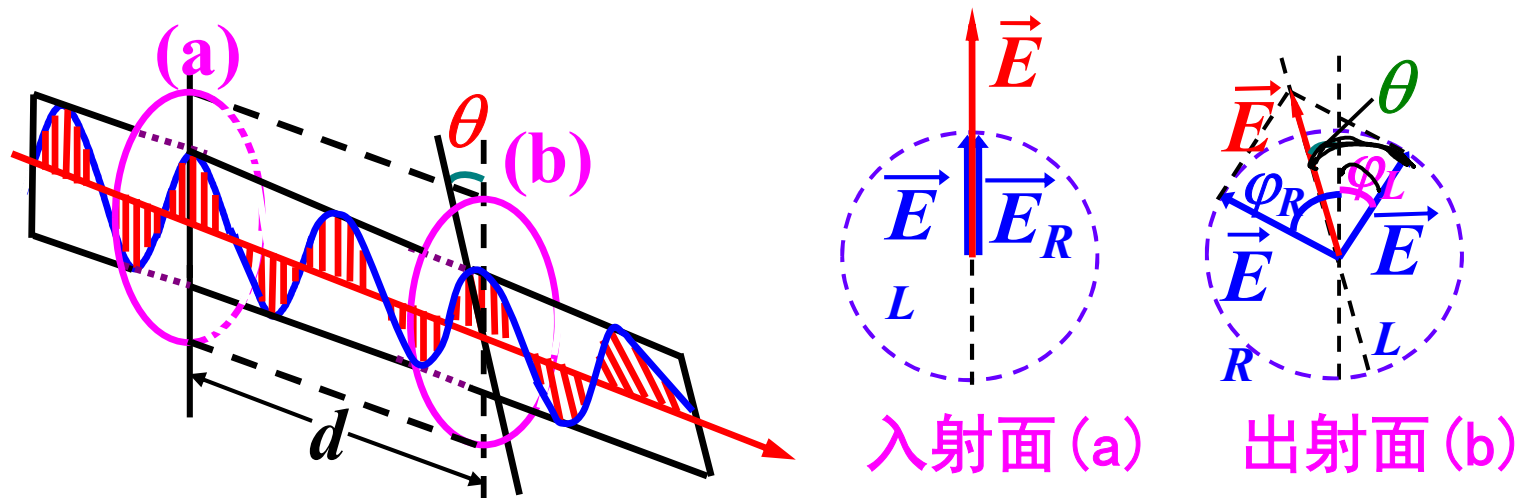
此物质为左旋体

则  $\phi_R > \phi_L$

左旋物质  $\Leftrightarrow n_R > n_L$ ; 右旋物质  $\Leftrightarrow n_L > n_R$



随时间左（右）旋的圆偏光在空间上呈现右（左）旋螺线。



$$\theta = -\left\{ \frac{1}{2}[\varphi_R + \varphi_L] - \varphi_L \right\} = -\left\{ \frac{1}{2}[\varphi_R - \varphi_L] \right\}$$

$$= \frac{\pi}{\lambda}(n_L - n_R) \cdot l$$

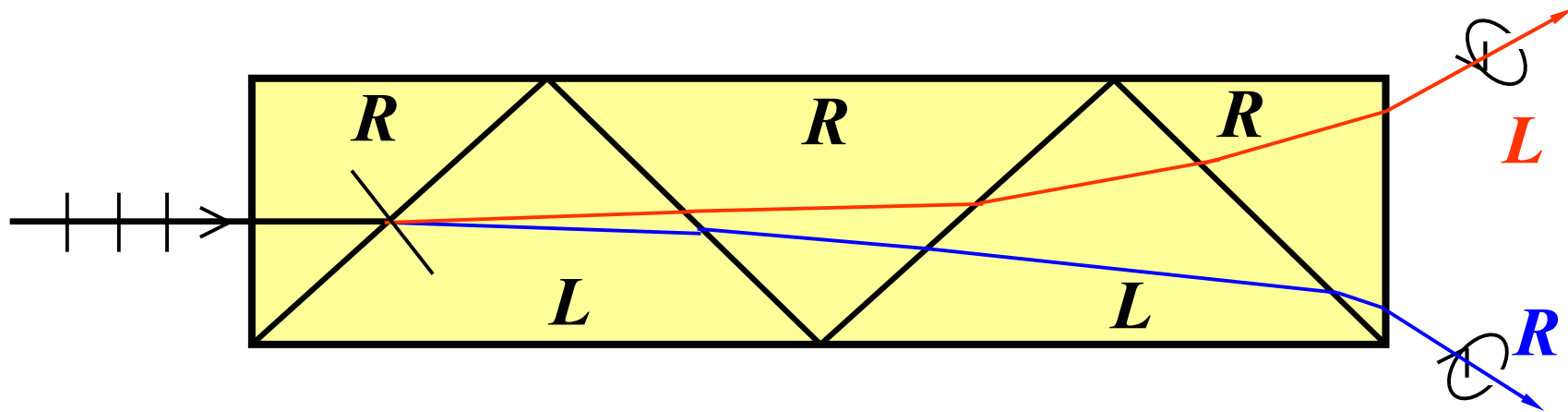
令  $\theta = \alpha \cdot l \rightarrow \alpha = \frac{\pi}{\lambda}(n_L - n_R)$  —旋光率

这既解释了旋光现象，又说明了旋光率  $\alpha$  与物质（由  $n_R$  和  $n_L$  反映）和入射波长有关。

左旋物质  $\Leftrightarrow n_R > n_L$ ; 右旋物质  $\Leftrightarrow n_L > n_R$

菲涅耳进行了如下实验，证实了自己的解释。用左旋型（ $L$ ）和右旋型（ $R$ ）的石英棱镜交替胶合成多级组合棱镜

左旋物质  $\Leftrightarrow n_R > n_L$ ; 右旋物质  $\Leftrightarrow n_L > n_R$



光从  $R$  进入  $L$  时，左旋光速度由小变大，光密媒质  $\rightarrow$  光疏媒质，光将远离界面法线折射。右旋光速度由大变小，将靠近界面法线折射。各界面继续使左右旋圆偏振光分开的角度放大，射出棱镜时就成了两束分开的圆偏振光。

石英晶体性质：  
沿光轴方向只表现旋光性而无双折射性  
垂直光轴方向只表现双折射性而无旋光性

旋光晶片与半波片的区别：

旋光晶片

半波片

晶片的取向：

光轴垂直于晶面

光轴平行于晶面

对应波长：

对任何波长出射光  
为线偏振光，只是  
转角不同

只对特定波长出射光  
为线偏振光

振动方向：

对于确定旋向的晶片，  
光的振动面只向一个  
方向转动一定的角度

旋转角度与光的振动面  
和波片晶轴的夹角  
有关，可左转也可右转

## 量糖术

对旋光溶液有

$$\theta = [\alpha] \cdot C \cdot l$$

$[\alpha] \cdot C$  溶液的旋光率;  $C$  溶液的浓度;

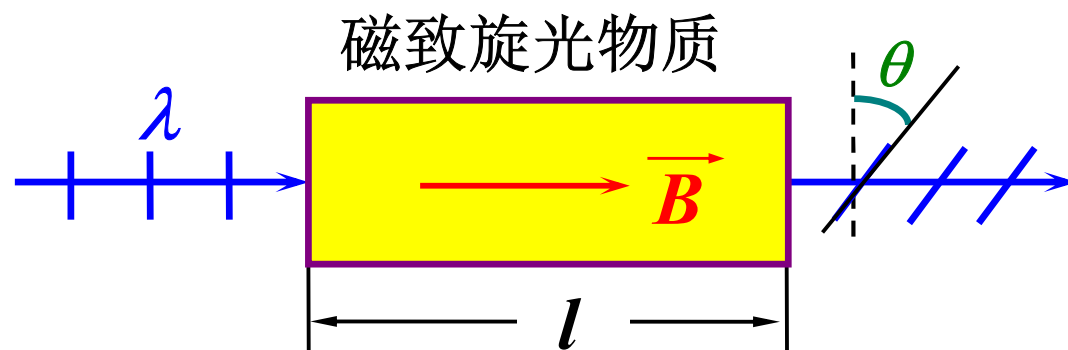
$[\alpha]$  溶液的比旋光率

“量糖计”可分析旋光（同分）异构体的成分，广泛用在化学和制药等工业中。

氯霉素天然品为左旋，合成品为左右旋各半，称合霉素，其中只左旋有疗效（左霉素），疗效同天然品。



#### 四. 磁致旋光（法拉第效应）

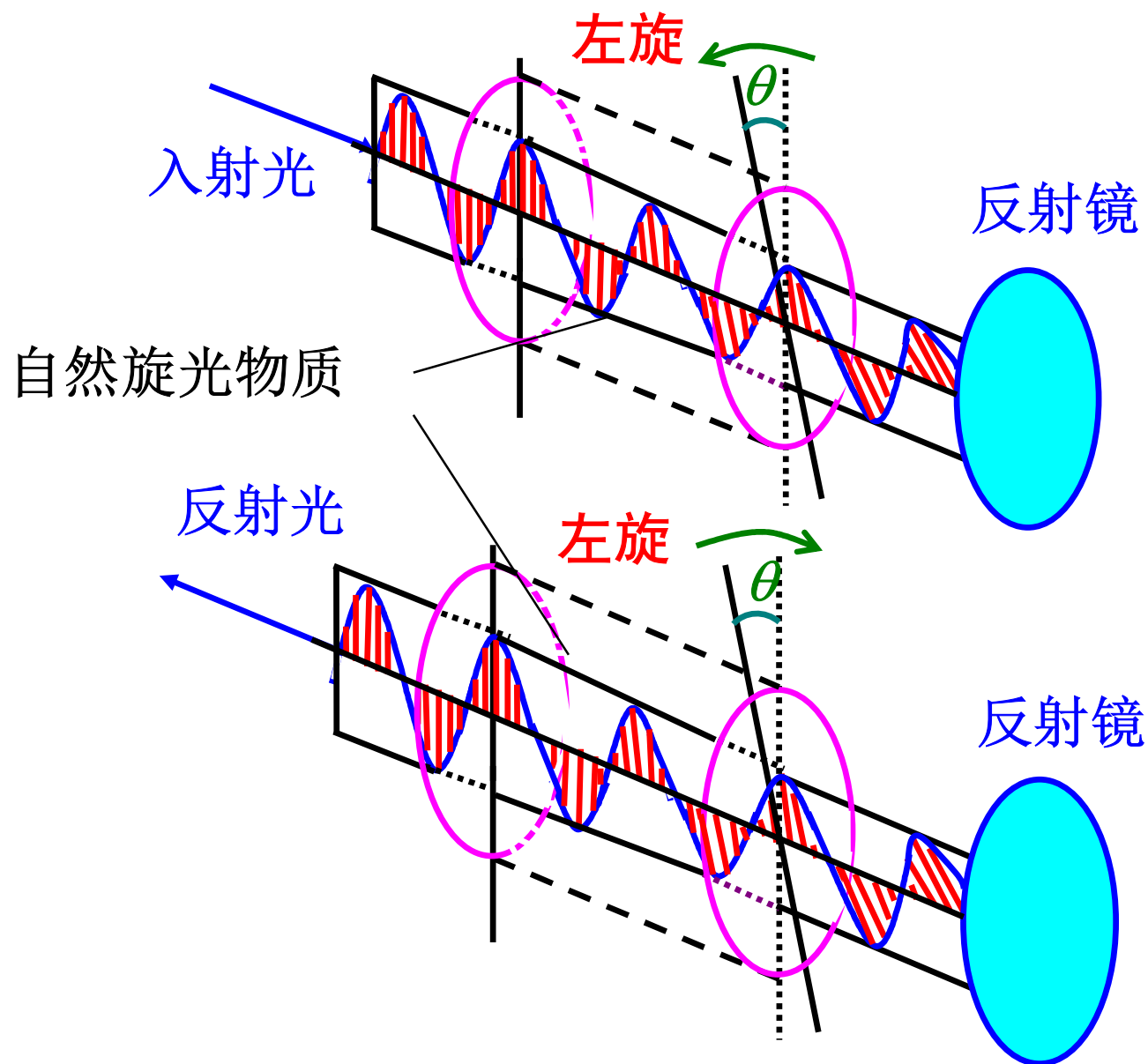


水、二硫化碳、  
食盐、乙醇等

$$\theta = V \cdot l \cdot B$$

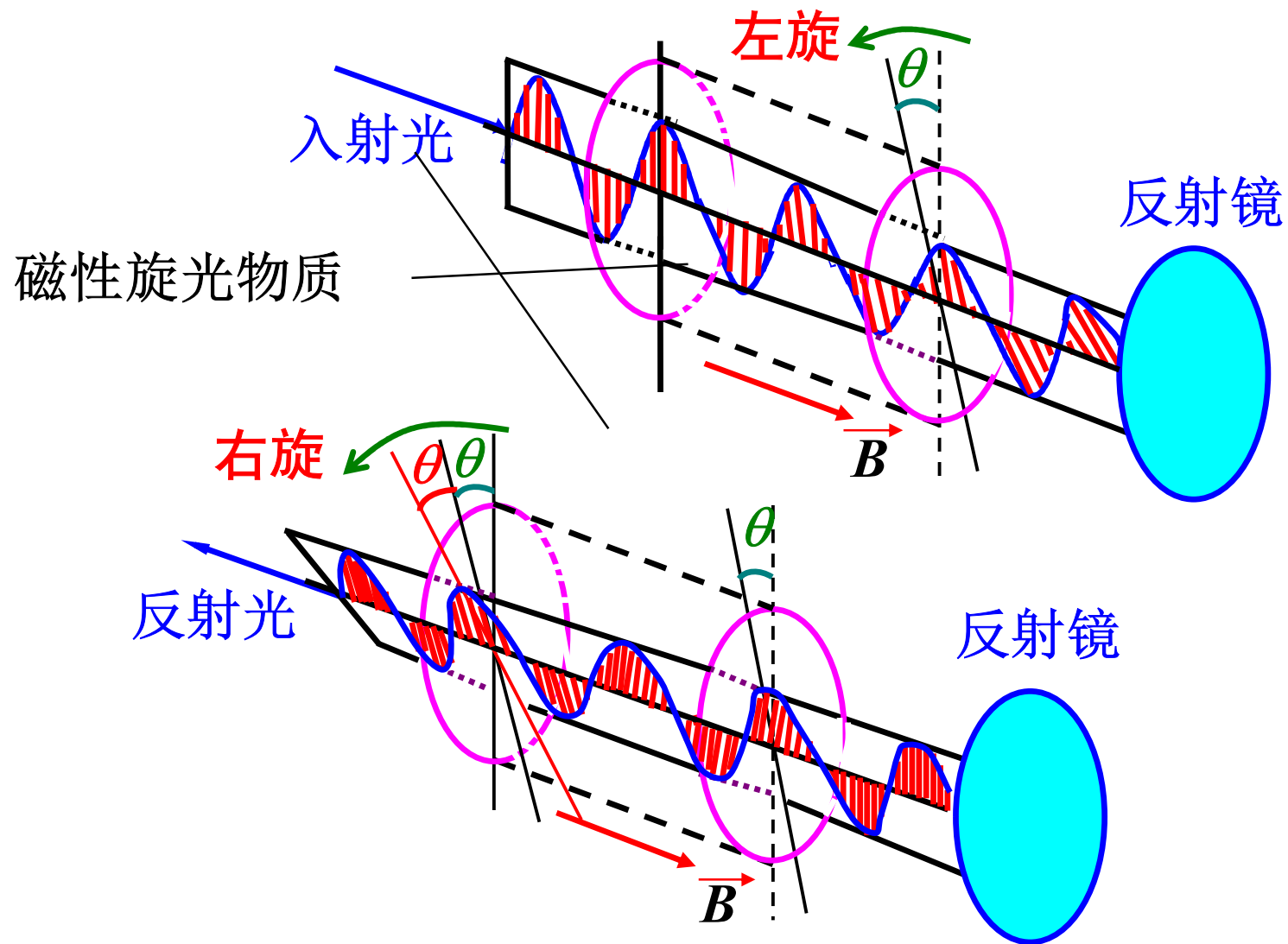
$V$  — 韦尔代常数

对自然旋光物质，振动面的左旋或右旋（迎着光看）是由旋光物质本身决定的，与光的传播方向无关

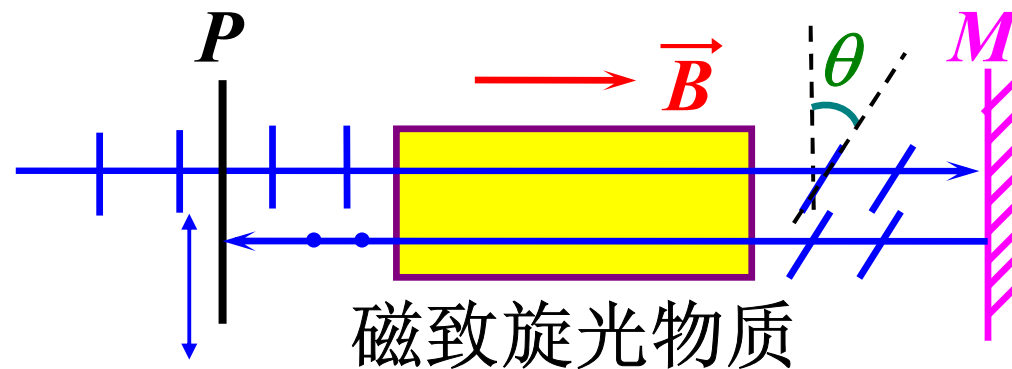


对磁致旋光物质，光沿B与逆B方向传播，振动面旋向相反。

正旋体：顺着磁场方向看，顺时针转动 负旋体



## 磁光隔离器：



令  $\theta = 45^\circ$ ，则  $2\theta = 90^\circ$ ，反射光通不过  $P$ ，这样可以消除反射光的干扰。