

## ➤上次课回顾:

### § 3.1 自然光与偏振光

偏振度  $P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$

### § 3.2 线偏振光和部分偏振光

布儒斯特定律  $\tan i_{10} = n_2 / n_1$

马吕斯定律  $I_{\theta} = I \cos^2 \theta$

起偏和检偏

### § 3.3 光通过单轴晶体时的双折射现象

光轴、主平面、主截面的概念

o光和e光的鉴定

o光和e光的偏振方向和相对强度  $I_o / I_e = \tan^2 \theta$

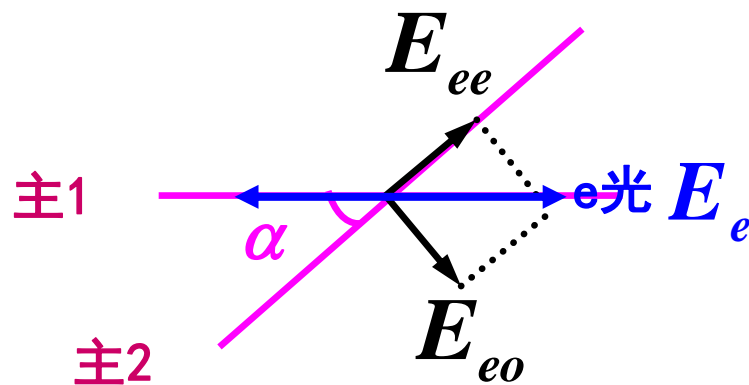
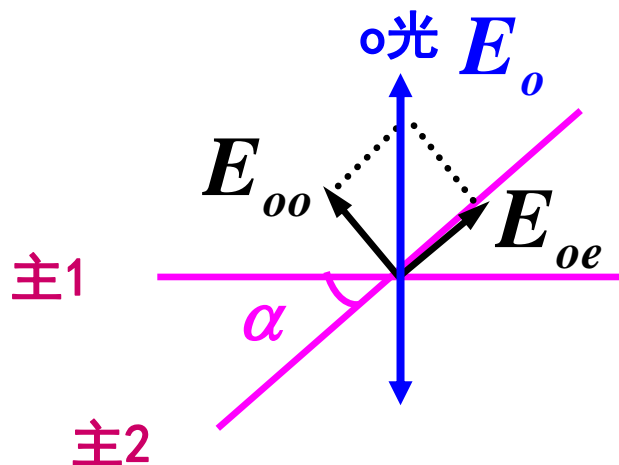
o光折射率:  $n_o = c / v_o$  e光主折射率:  $n_e = c / v_e (90^\circ)$

**例5.4 (P209)** 强度为  $I$  的自然光，垂直入射到方解石晶体上后又垂直入射到另一块完全相同的晶体上。求两块晶体的主截面之间的夹角为  $\alpha$  时，最后透射出来的光束的相对强度（不考虑反射、吸收等损失）。

**解：** 自然光垂直入射到第一块晶体后分成o光和e光，出射后垂直于晶体表面的两光束强度为： $I_o = I_e = I/2$

两光束入射到第二块晶体后又分成o光和e光，最后透射光将为4束。

$$I_{oo} = \frac{I}{2} \cos^2 \alpha \quad I_{oe} = \frac{I}{2} \sin^2 \alpha \quad I_{ee} = \frac{I}{2} \cos^2 \alpha \quad I_{eo} = \frac{I}{2} \sin^2 \alpha$$



## ➤本次课内容提要：

### § 3.4 光在晶体中的波面（掌握）

（正、负）晶体中o光和e的波面特点（熟练掌握）

### § 3.5 光在晶体中的传播方向（掌握）

单轴晶体内o光和e的传播方向（熟练掌握）

### § 3.6 偏振器件（掌握）

尼科耳棱镜（掌握原理）

沃拉斯顿棱镜（掌握原理）

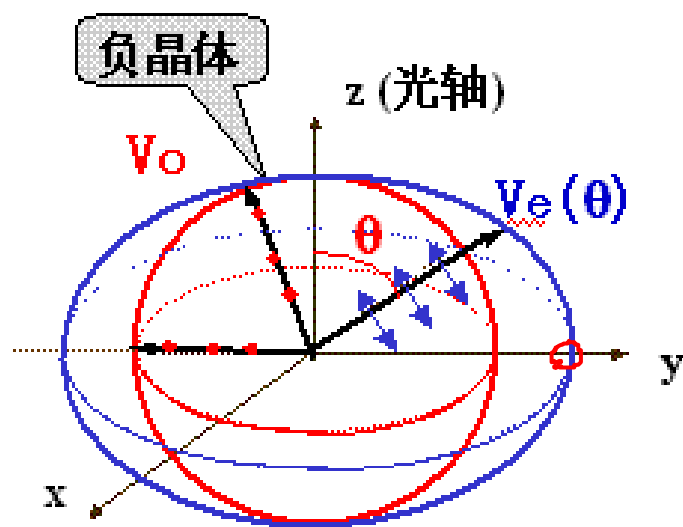
波片（熟练掌握）

## §3.4 光在晶体中的波面

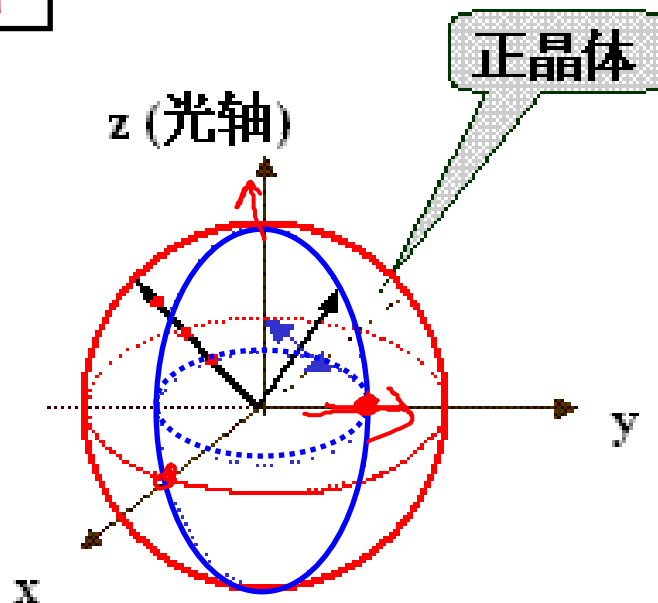
惠更斯假设晶体  
中发光点的波面

- o光为球面
- e光为旋转椭球面

晶体中的波面

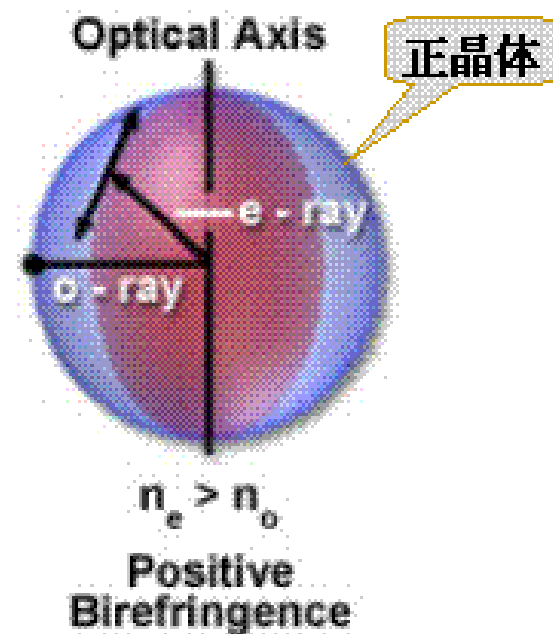
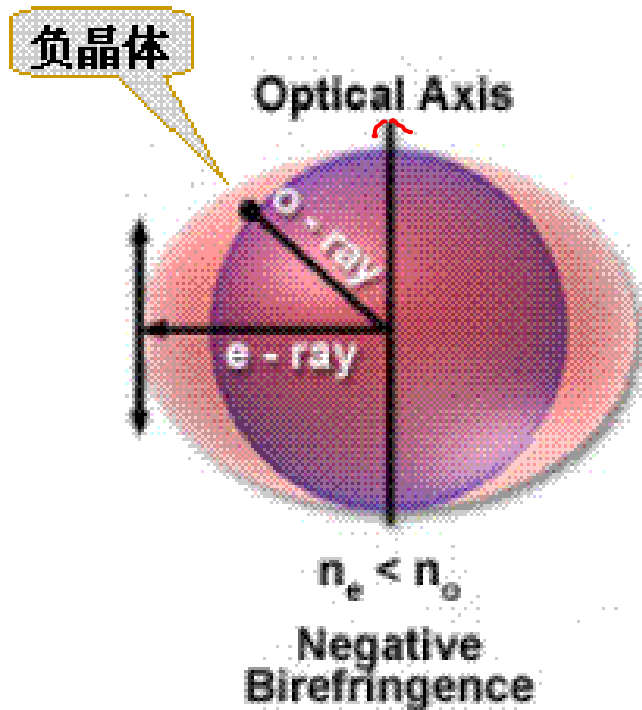


负晶体  $v_o < v_e (n_o > n_e)$



正晶体  $v_o > v_e (n_o < n_e)$

## 晶体中的波面

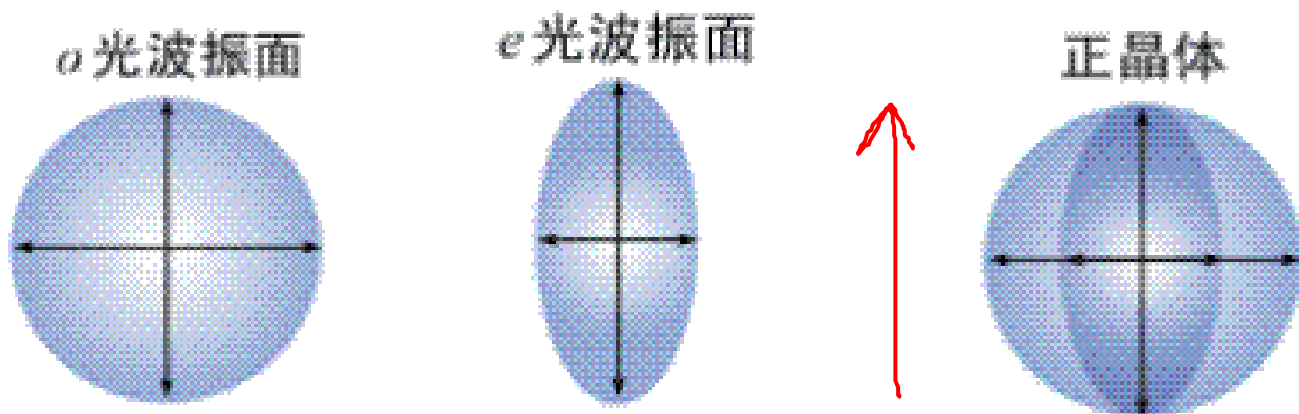


e光为铁饼型旋转椭球面

e光为鸭蛋型旋转椭球面

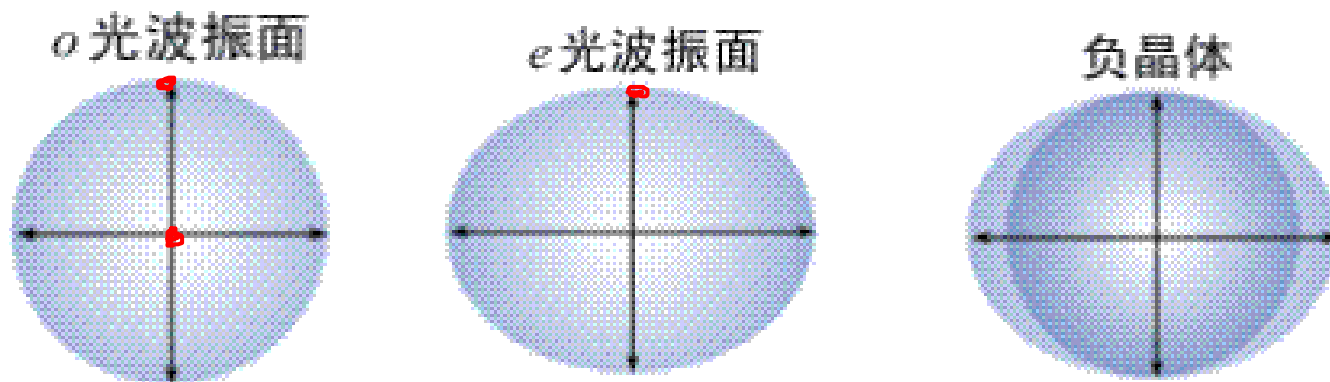
$v_o > v_e$  正晶体：球内切鸡蛋

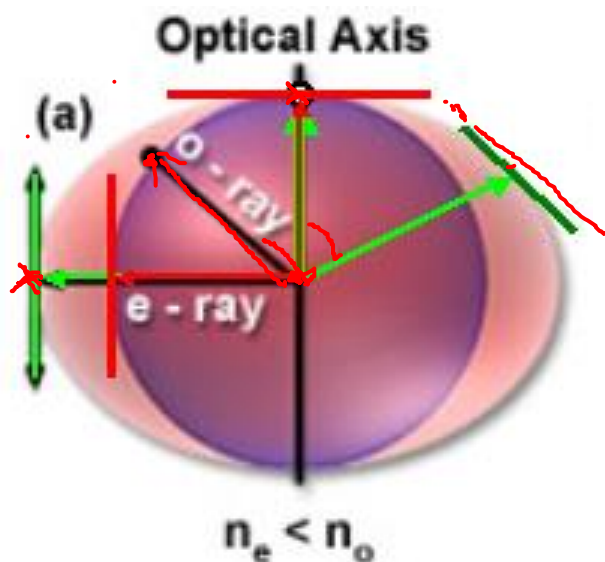
光轴方向



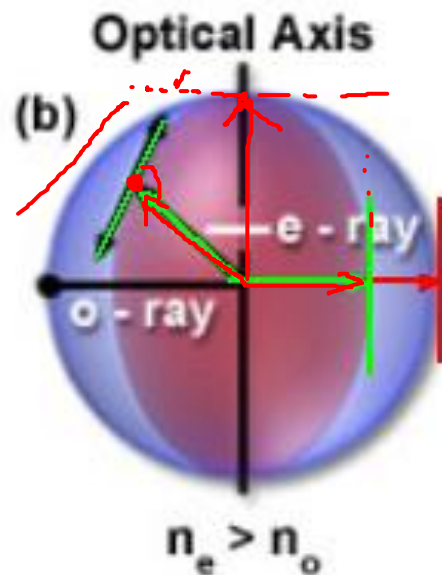
$v_o < v_e$  负晶体：球外切铁饼

光轴方向





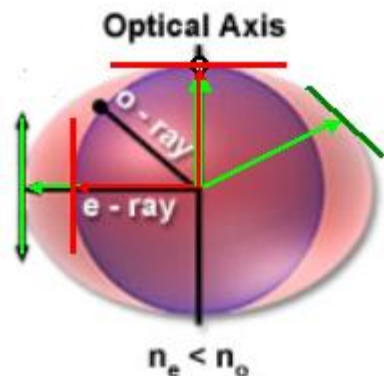
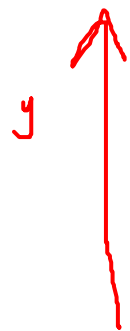
**负晶体(negative)**  
旋转椭球波面在球波面外



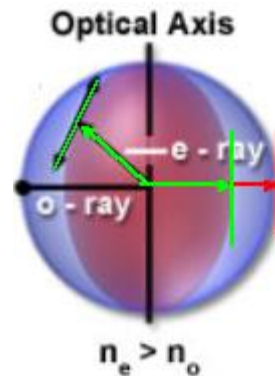
**正晶体(positive)**  
旋转椭球波面在球波面内

## 讨论:

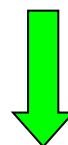
1. **e光的传播方向不一定垂直于波面**—晶体中特有的现象
2. **单轴晶体**: 在光轴方向, 旋转椭球波面和球波面相切, 光的传播速度相同, 不发生双折射。



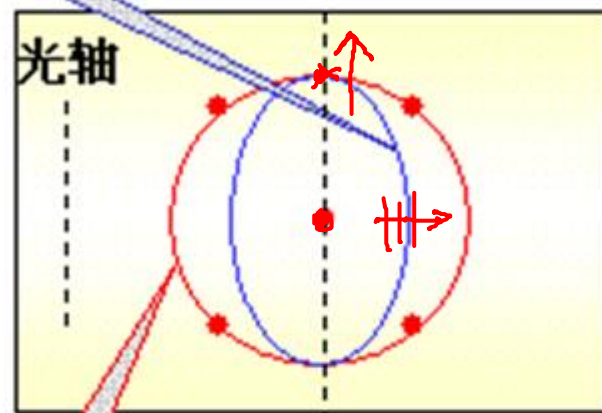
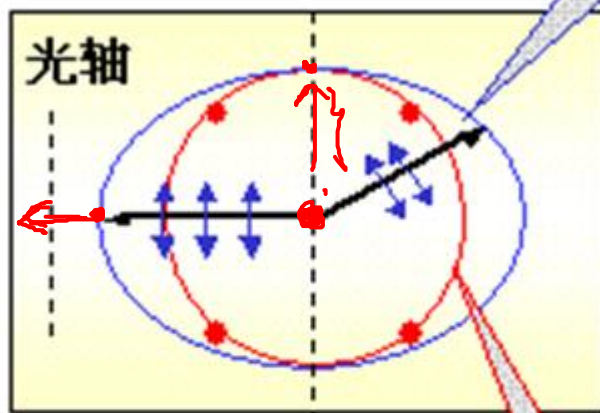
等效于黑板平面内



光轴在入射面内



e光波面



$v_{e^{-t}}$

$v_{e_{min}, t}$

$$v_o < v_e$$

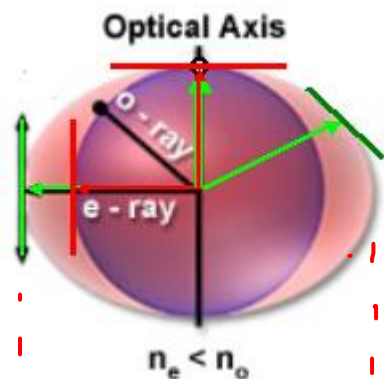
负晶体 (如方解石)

$$v_o > v_e$$

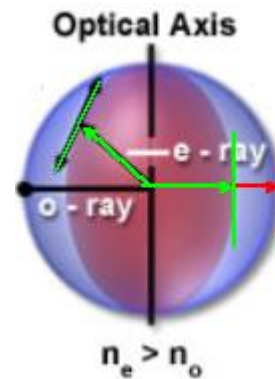
正晶体 (如石英)

o光波面

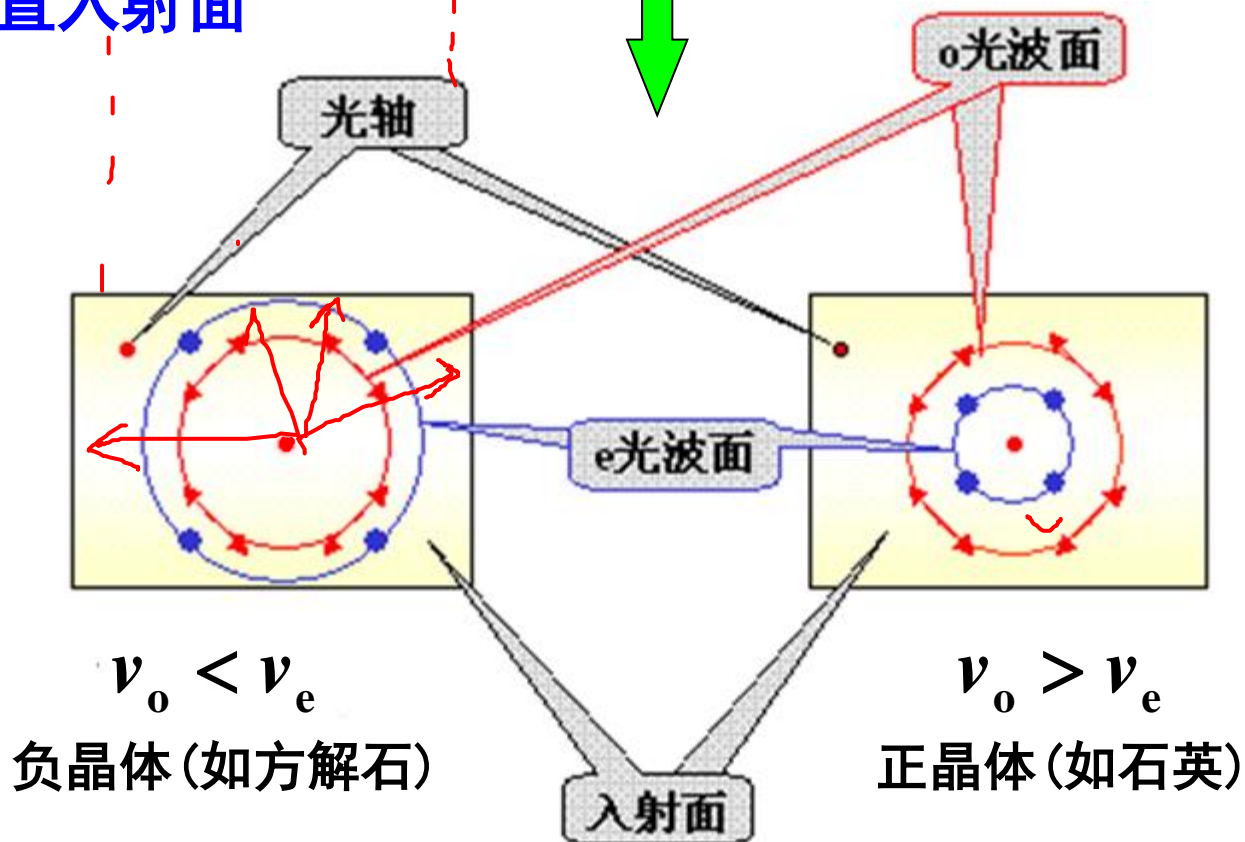




等效于从  
上往下看

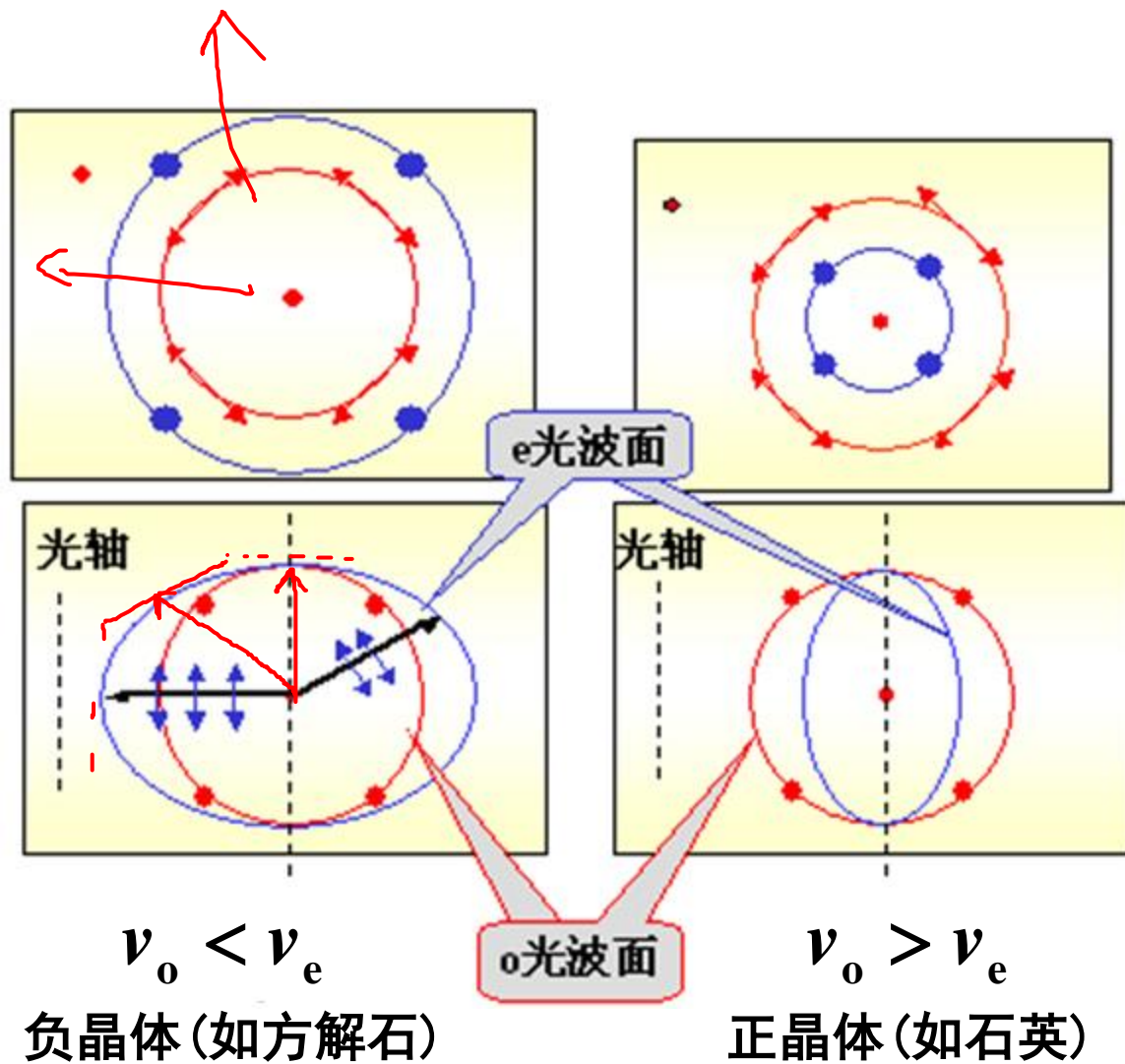


光轴垂直入射面



光轴垂直入射面

光轴在入射面内

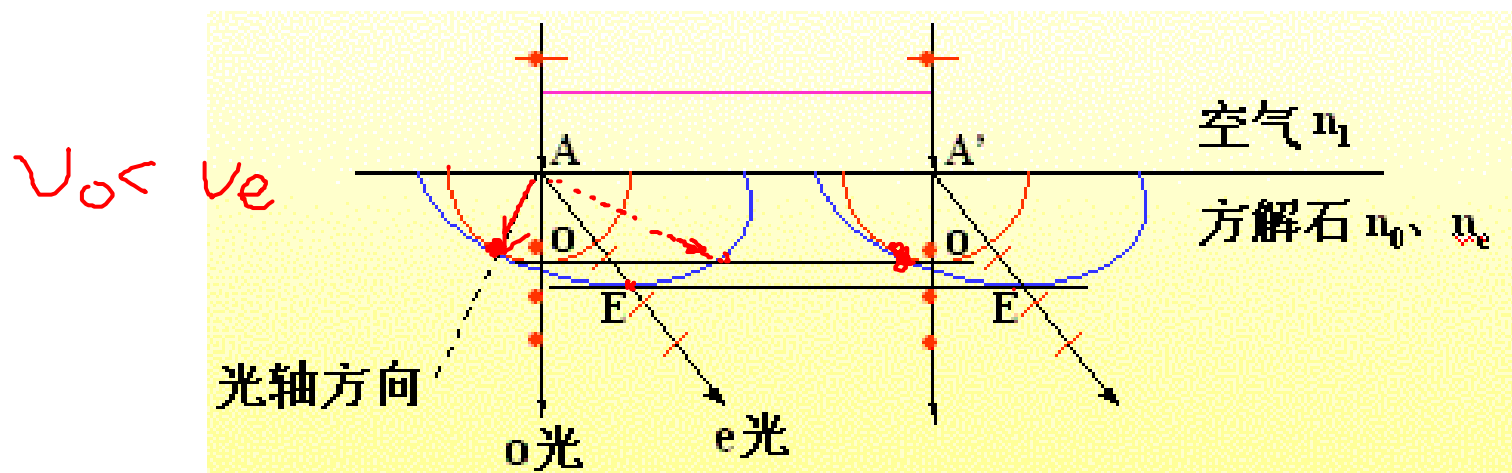


## § 3.5 光在晶体中的传播方向

用晶体的特点和惠更斯作图法确定晶体中光线传播方向

讨论单轴晶体内o光和e光的传播方向（以例说明）

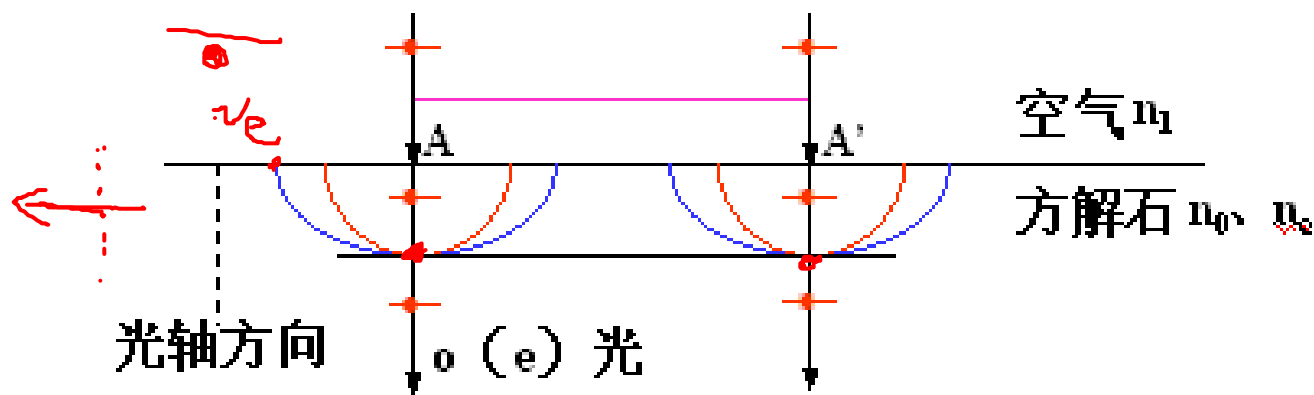
**[例1]** 光轴在入射面内，自然光垂直入射至方解石（负晶体）表面



o光不改变传播方向

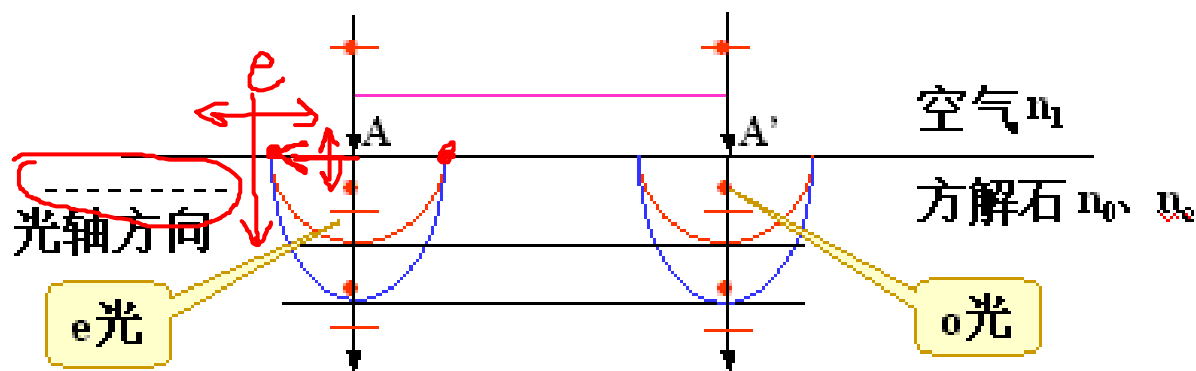
e光发生折射（一般情况下e光不遵守折射定律）

**[例2] 自然光垂直入射特例，光轴垂直于晶面**



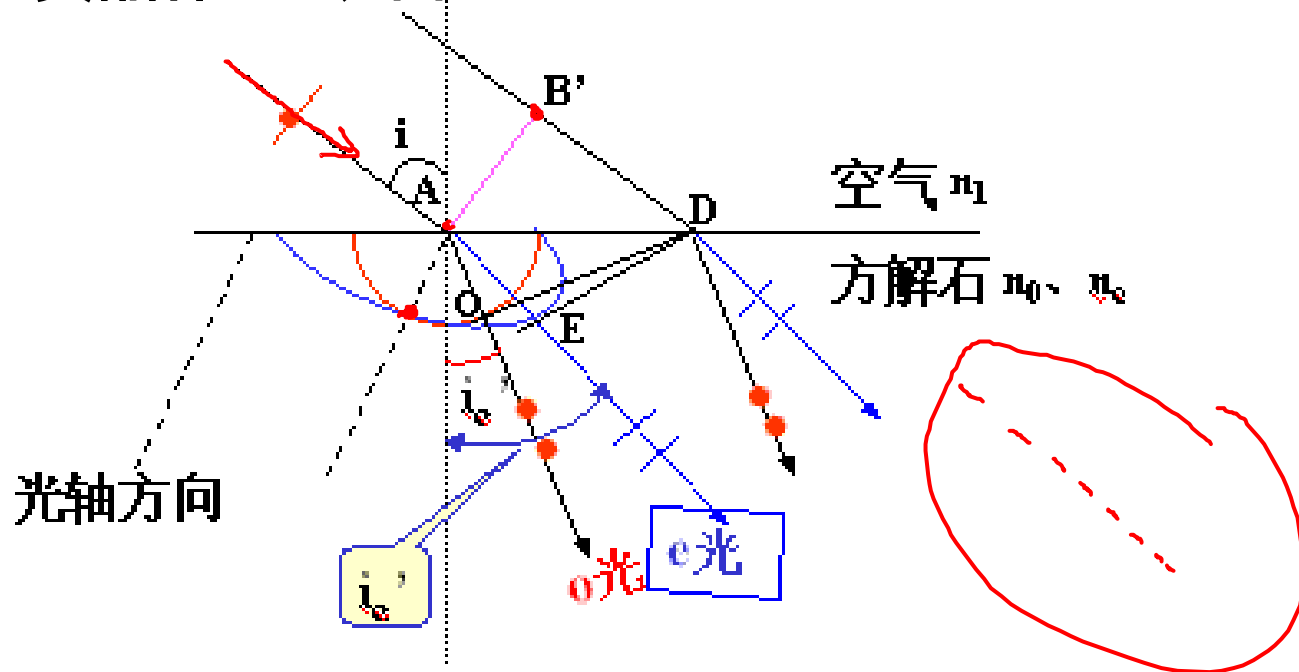
o光e光传播方向相同，不发生双折射，传播速度相同

**[例3] 自然光垂直入射特例，光轴平行于晶面**



o光e光传播方向相同，但传播速度不同

**[例4]** 光轴在入射面内，自然光从空气斜入射至方解石晶体（负晶体）表面



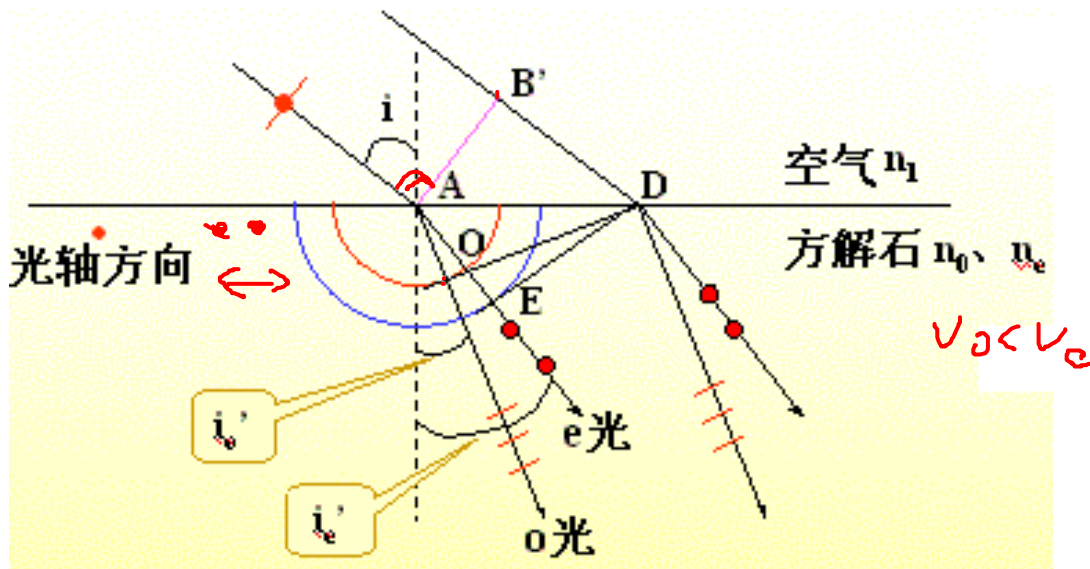
$$\text{令 } \overline{B'D} = n_o \overline{AO} \longrightarrow \overline{AO} = \overline{B'D} / n_o$$

$$\text{o光遵守折射定律} \quad n_1 \sin i = n_o \sin i_o'$$

$$\text{e光不遵守折射定律} \quad n_1 \sin i \neq n_e \sin i_e'$$

□可能出现：对于负晶体，e光折射角小于o光折射角，e光与入射光线在法线同侧。见P212，图5-16 (a) 注意光轴方向

# [例5] 光轴垂直入射面，自然光斜入射



$$\text{令 } \overline{B'D} = n_o \overline{AO}$$

$$\Rightarrow \overline{AO} = \frac{\overline{B'D}}{n_o}$$

$$\text{令 } \overline{B'D} = n_e \overline{AE}$$

$$\Rightarrow \overline{AE} = \frac{\overline{B'D}}{n_e}$$

$$\text{方解石 } n_o > n_e \Rightarrow \overline{AE} > \overline{AO}$$

$$n_1 \sin i = n_o \sin i'_o \Rightarrow n_o = \frac{\sin i}{\sin i'_o}$$

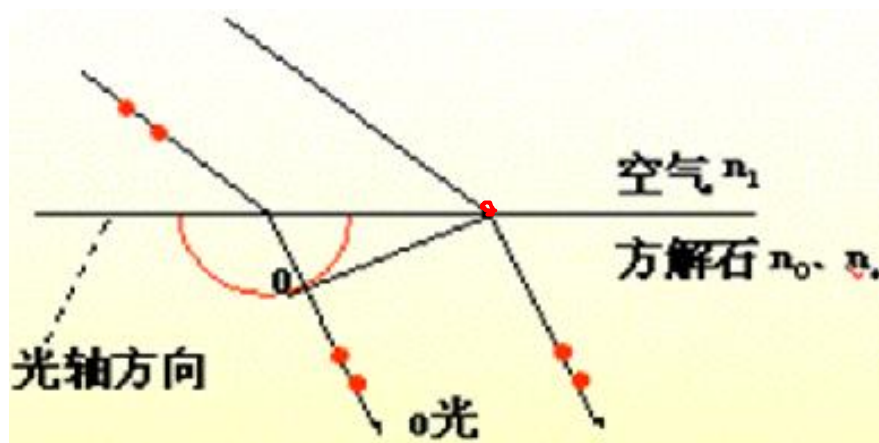
$$\Rightarrow n_e = \frac{\sin i}{\sin i'_e}$$

e光传播方向垂直光轴方向， $n_e$ 为主折射率，此时可用折射定律。

真空中光速与e光在垂直于光轴方向的传播速度之比： 晶体对e光的主折射率

**[例6]** 光轴在入射面内，线偏振光斜入射

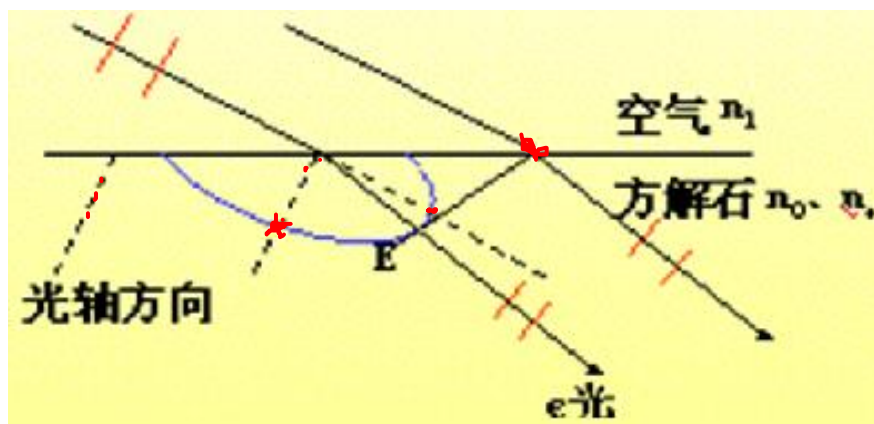
1、入射光振动垂直于入射面



o光e光的相对强度

$$\frac{I_o}{I_e} = \tan^2 \theta$$

2、入射光振动在入射面内



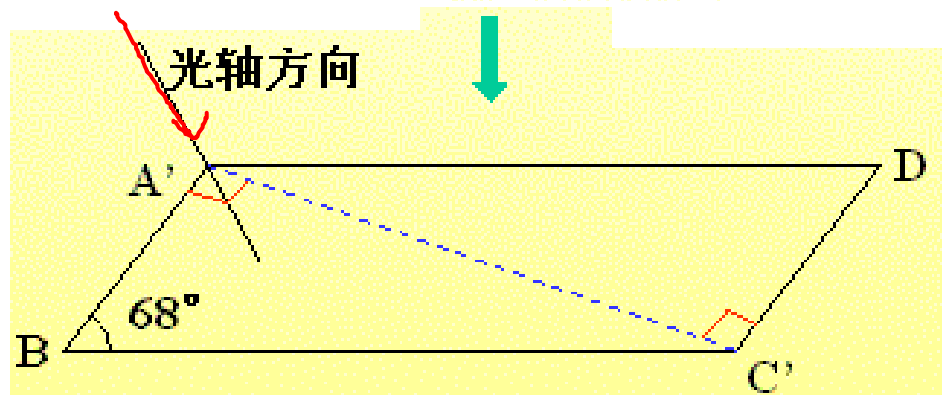
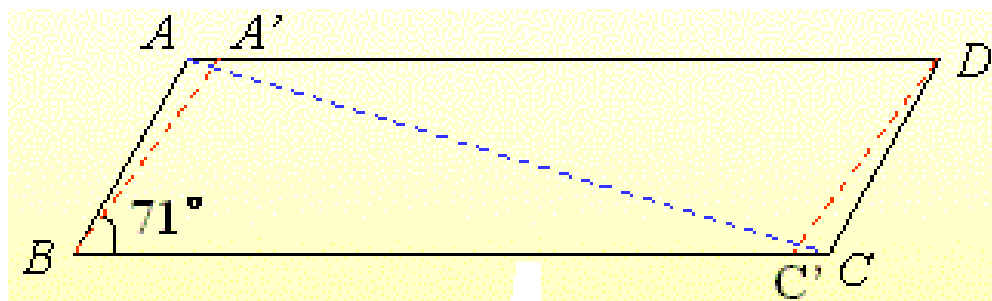
## § 3.6 偏振元件（棱镜）

把晶体制成双折射棱镜，从普通光源中获得线偏振光

### 一、尼克耳棱镜 (Nicol Prism)

#### 1、尼克耳棱镜的**制作**

材料：方解石(Calcite)



$$\angle ABC = 71^\circ$$



$$\angle A'BC' = 68^\circ$$

原因：使上下极限角相等

$$\angle C'A'B = 90^\circ$$



## 方解石 Calcite

### 【名字由来】

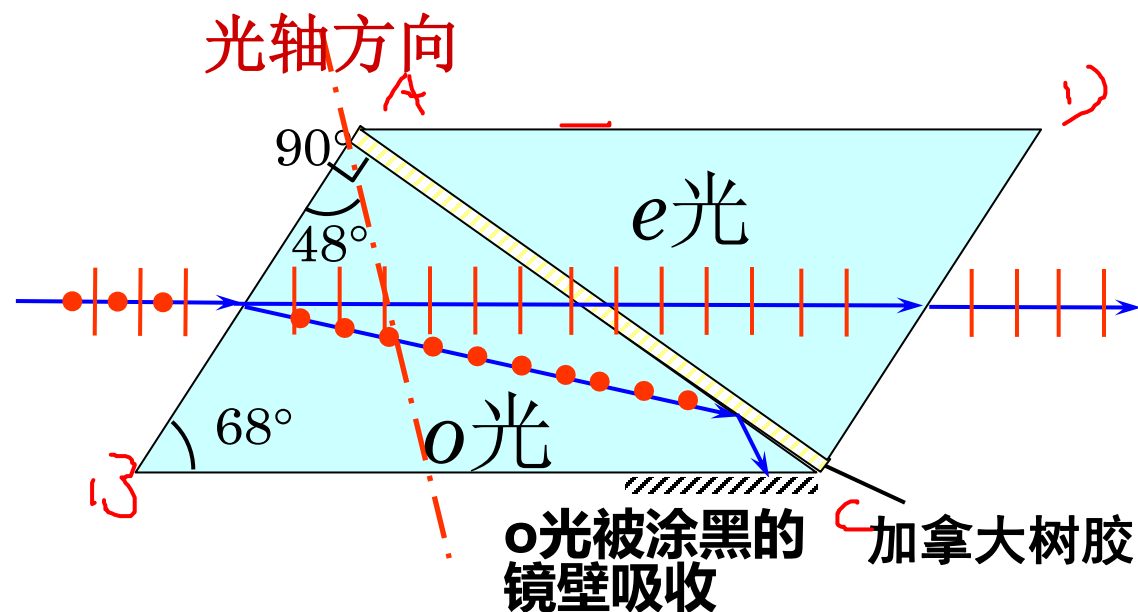
方解石名称来源于其易沿其解理破碎成方形小块，李时珍在《本草纲目》中认为方解石“其似硬石膏成块，击之块块方解，墙壁光明者，名方解石也”。

### 【化学组成】

Ca【CO<sub>3</sub>】，CaO含量为56.03%，CO<sub>2</sub>含量为43.97%。常含Mn、Fe、Zn、Mg等类质同象组分，当它们达到一定含量时，可形成锰方解石、铁方解石、锌方解石等变种。此外，晶体中还常见水镁石、白云石、铁的氢氧化物及氧化物、硫化物、石英等机械混入物。



## 2、尼克耳棱镜的原理



方解石(Calcite)

$$\lambda = 589.3 \text{ nm}$$

$$n_o = 1.658$$

$$n_e = 1.486$$

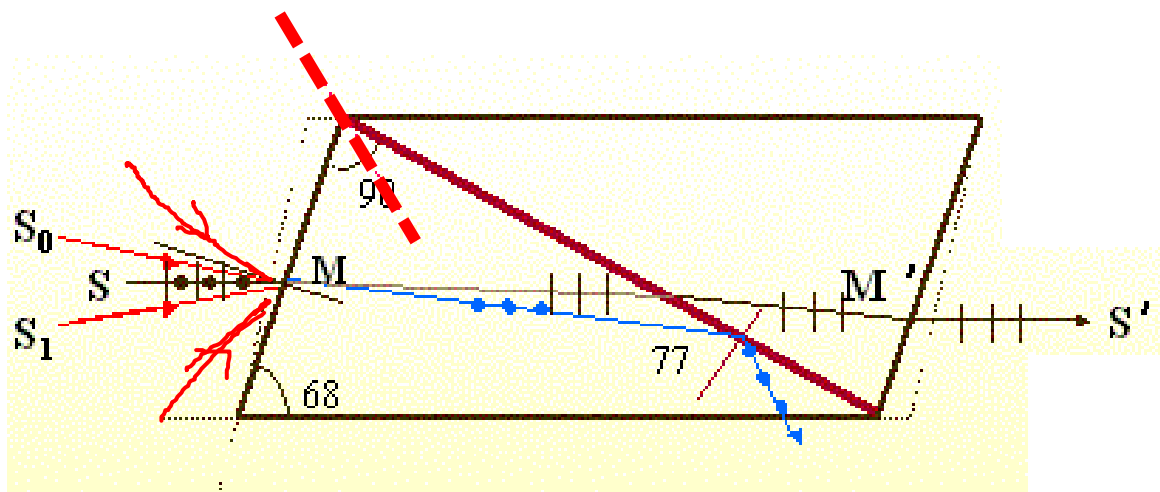
$$n_c = \underline{1.550}$$

$n_e < n_c < n_o$ 
 $\left\{ \begin{array}{l} \text{o光从光密介质射入到光疏介质, 发生全反射} \\ \text{e光从光疏介质射入到光密介质, 不发生全反射} \end{array} \right.$

o光可能发生全反射

全反射临界角:  $i_{oc} = \arcsin \frac{1.550}{1.6581} \approx 70^\circ$

### 3、尼克耳棱镜的孔径角



$\angle S_0MS \leq 14^\circ$   
角再大e光会发生全反射

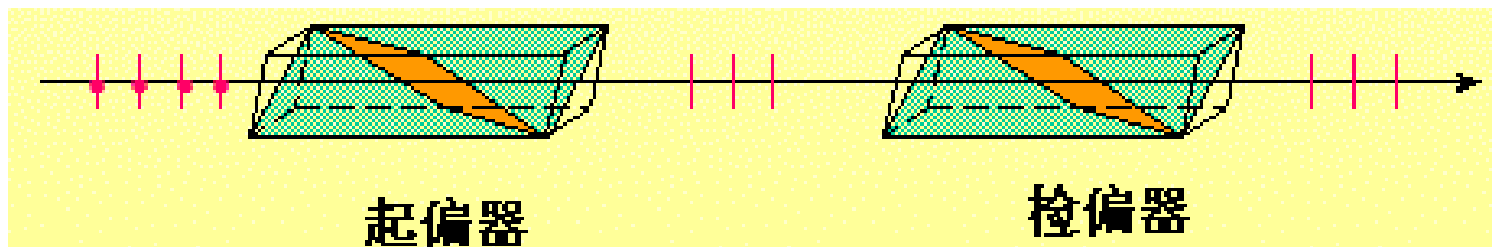
为啥呢？

e光与光轴夹角减少,  $n$  变大

$\angle S_1MS \leq 14^\circ$   
角再大o光不发生全反射

### 4、尼克耳棱镜的缺点

入射光束 (SM) 与出射光束 ( $S'M'$ ) 不同轴



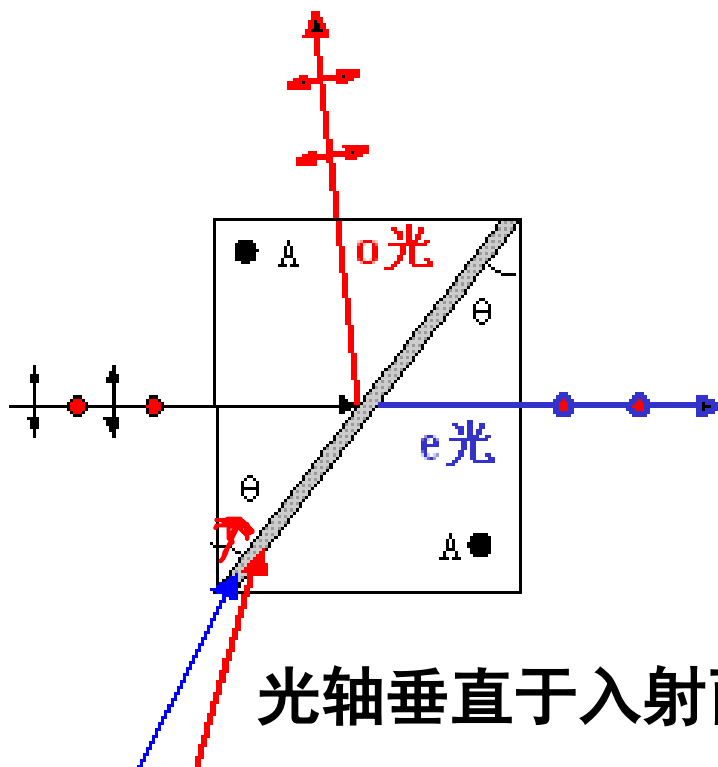
## 二、格兰-付科棱镜(Glan-Foucault Prism)

材料：方解石(Calcite)

$\lambda = 589.3 \text{ nm}$  时：

$$n_o = 1.658$$

$$n_e = 1.486$$



光轴垂直于入射面

空气时： $\theta = 38.5^\circ$  孔径角约为  $\pm 7.7^\circ$

加拿大树胶时： $\theta = 76.5^\circ$  孔径角约为  $\pm 13^\circ$

### 三、沃拉斯顿棱镜(Wollaston Prism)

#### 1、沃拉斯顿棱镜结构

由两块直角方解石棱镜胶合而成

两棱镜 { 光轴平行于各自表面  
光轴相互垂直

方解石  $n_o = 1.658, n_e = 1.486$

#### 2、沃拉斯顿棱镜原理

自然光垂直于AB面（垂直于光轴）入射时

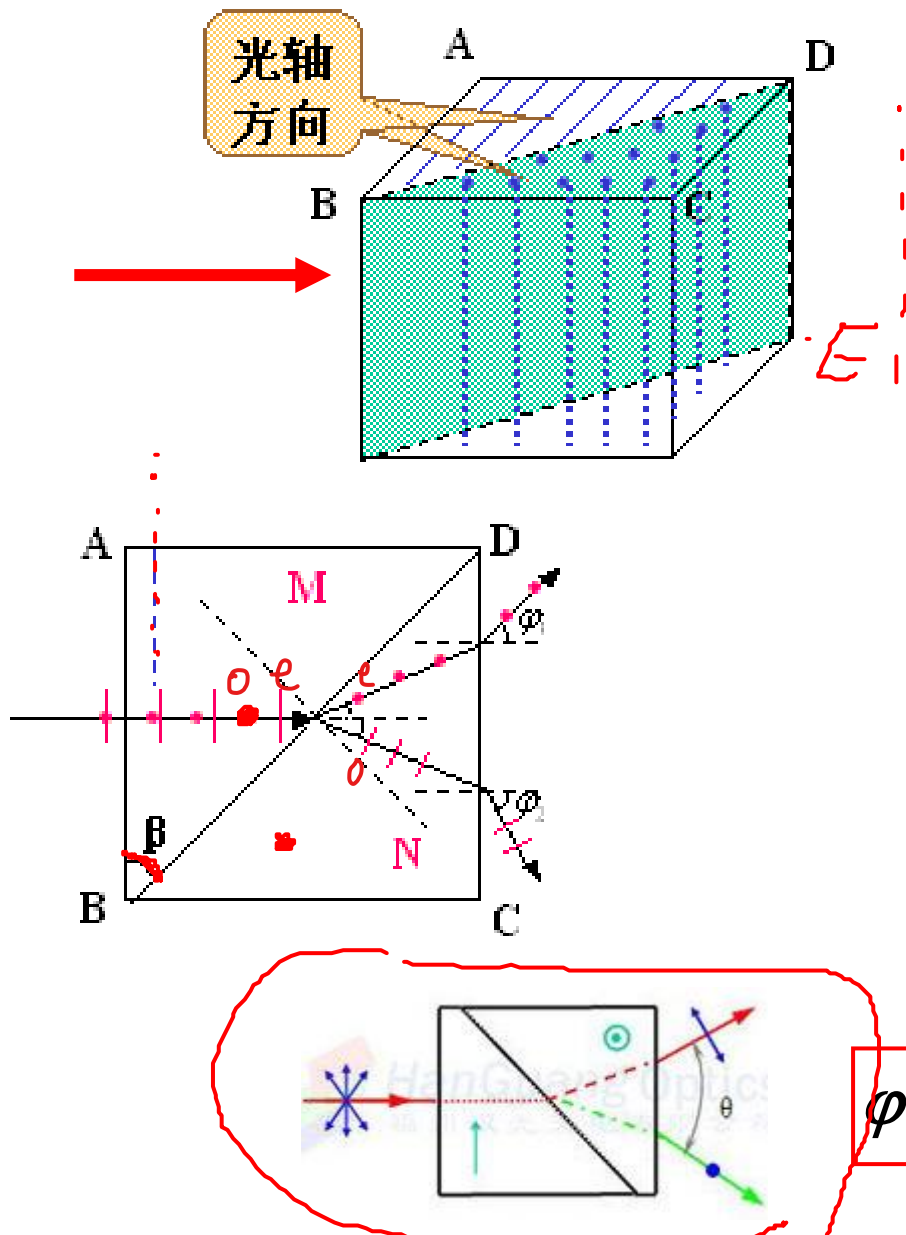
M中o光→N中e光  $n_o > n_e$

M中e光→N中o光  $n_e < n_o$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$$

$$\varphi' = 2\varphi = 2\arcsin[(n_o - n_e)\tan\beta]$$

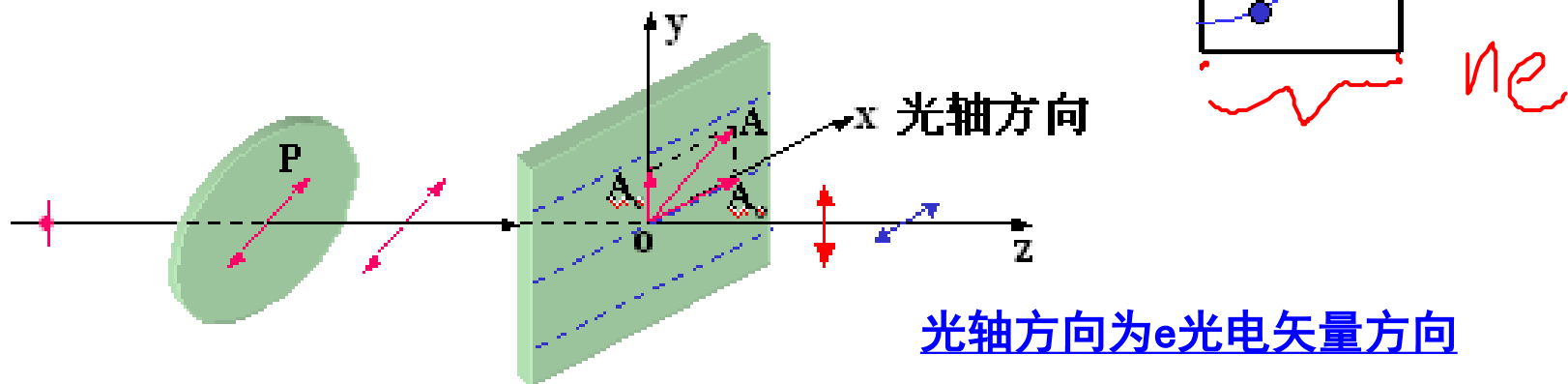
证明过程：P244



## 四、波片(Wave plate,位相延时器)

### 1、波片结构

从单轴晶体切出的平行平面薄片，光轴与表面平行。



**线偏振光垂直入射**到波片上，分成o光和e光

o光和e光不分开，但传播速度不同，通过波片后会产生位相差

**例：**负晶体  $n_o > n_e$ ,  $v_o < v_e$   $\longrightarrow$  光轴方向为快轴，垂直光轴方向慢轴  
正晶体  $n_o < n_e$ ,  $v_o > v_e$   $\longrightarrow$  垂直光轴方向为快轴，光轴方向慢轴

## 2、波片产生的位相差

设波片的厚度为 $d$   $\begin{cases} \text{o光e光的光程差 } \Delta = n_o d - n_e d \\ \text{o光e光的位相差 } \delta = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) d \end{cases}$

$\Delta$  由厚度  $d$  决定,  $\delta$  由厚度  $d$  和  $\lambda$  决定

### ◆ 1/4波片(Quarter-wave plate)

$$\Delta = |n_o - n_e| d = (m + \frac{1}{4})\lambda \quad \text{对应的} \quad \delta = 2m\pi + \frac{\pi}{2}$$

则称该波片是1/4波片, 1/4波片的最小厚度:

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

当 $n_o > n_e$  (负晶体) 时, e光超前, 波片的光轴为快轴, 也是e矢量方向。

当 $n_o < n_e$  (正晶体) 时, o光超前, 波片的光轴为慢轴, 快轴为o矢量方向。

- ◆ 性质:
- 1) 线偏振光入射时, 出射光为椭圆偏振光;
  - 2) 与快慢轴都成45度的线偏振光入射, 出射光为圆偏振光

P224 例5.8

## ◆ 1/2波片(Half-wave plate)

o光和e光产生的光程差

$$\Delta = |n_o - n_e|d = (m + \frac{1}{2})\lambda \quad \text{对应的} \quad \delta = (2m + 1)\pi$$

称该晶片为二分之一波片。

- 1) 椭圆偏振光入射时，出射光仍为椭圆偏振光，只是旋向相反；（见P221 例5.7）

### ◆ 性质：

- 2) 线偏振光入射时，出射光仍为线偏振光。若入射的线偏振光与快（慢）轴夹角为  $\alpha$ ，出射光的振动方向向着快（慢）轴转动了  $2\alpha$ 。

## ◆ 全波片(Full-wave plate)

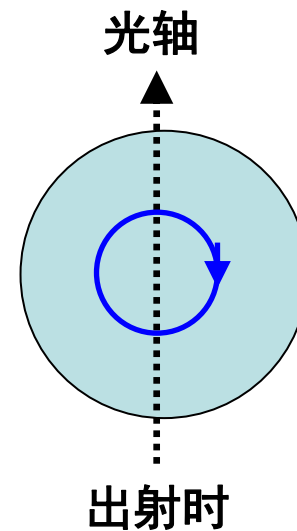
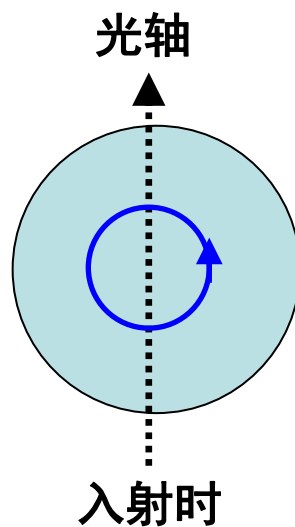
$$\Delta = |n_o - n_e|d = m\lambda \quad \text{对应的} \quad \delta = 2m\pi$$

称该晶片为全波片。

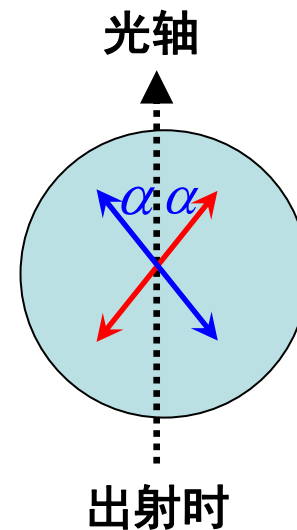
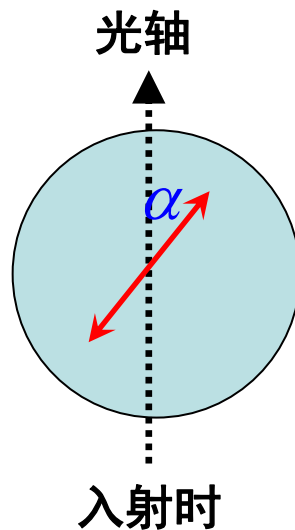
- ### ◆ 性质：
- 1) 不改变入射光的偏振状态；
  - 2) 只能增大光程差。



## 圆偏振光通过半波片 后光矢量的转动



## 线偏振光通过半波片 后光矢量的转动



## ➤ 小结

### § 3.4 光在晶体中的波面

(正、负) 晶体中o光和e的波面特点: o光为球面, e光为椭球面

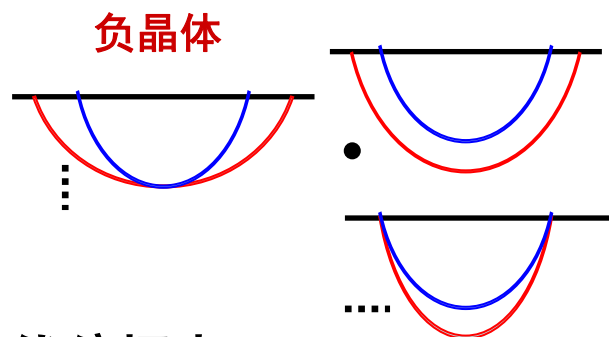
### § 3.5 光在晶体中的传播方向

(正、负) 单轴晶体内o光和e的传播方向: 惠更斯作图法

➤ 光轴垂直晶体表面并平行于入射面

➤ 光轴平行晶体表面并垂直于入射面

➤ 光轴平行晶体表面并平行于入射面



### § 3.6 偏振器件

尼科耳棱镜: 获得一束振动方向固定的线偏振光。

沃拉斯顿棱镜: 产生两束彼此分开的、振动相互垂直的线偏振光。

波片      相位差:  $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d$        $\frac{1}{4}$ 波片    $\frac{1}{2}$ 波片   全波片

作业 P245      5-8, 10, 12