

第十五章

光的偏振

§ 15-1 自然光 偏振光 (P251~252)

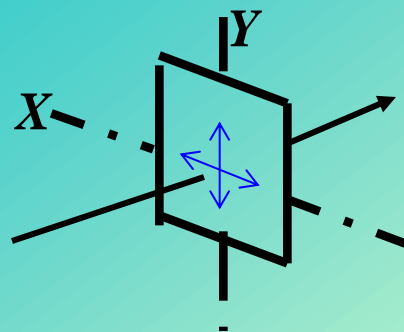
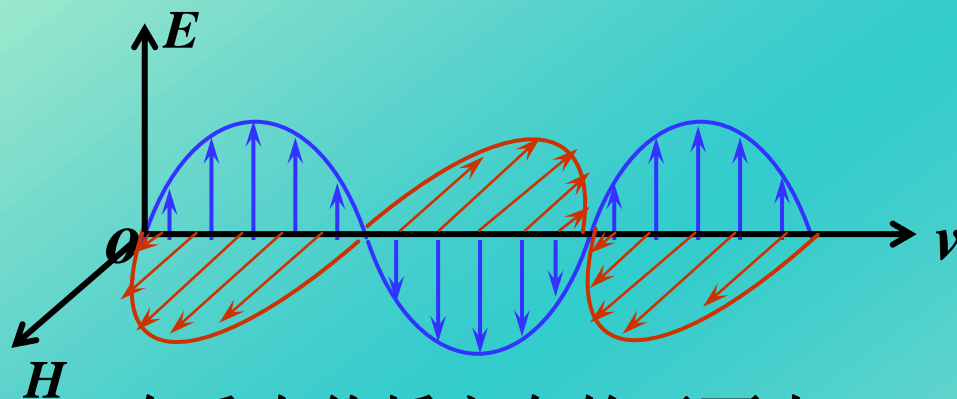
光波 \longrightarrow 电磁波、横波

光矢量 \longrightarrow 电场矢量 \vec{E}

光的偏振性 (*polarization*)

纵波：振动方向 \parallel 传播方向 \longleftrightarrow

横波：振动方向 \perp 传播方向 —— 光的横波偏振性



在垂直传播方向的平面内， \vec{E} 有各种不同的振动状态。

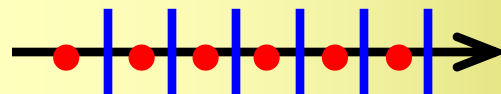
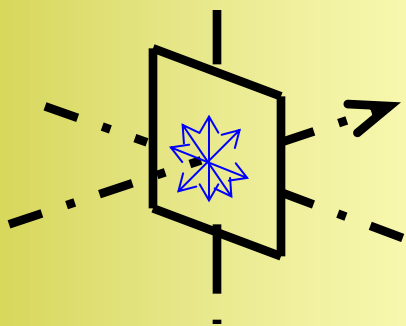
~光的偏振态(*polarization state*)

横波、纵波均有干涉、衍射现象
横波有偏振性，纵波没有

一、自然光 (*natural light*):

光沿某一方向传播时，在垂直于传播方向的平面内，沿各个方向振动的光矢量都有，且各方向光振动的振幅都相等。

可分解为任意两个方向互相垂直、振幅相等，没有任何相位关系的光矢量分量（偏振光）， $I = \frac{I_0}{2}$

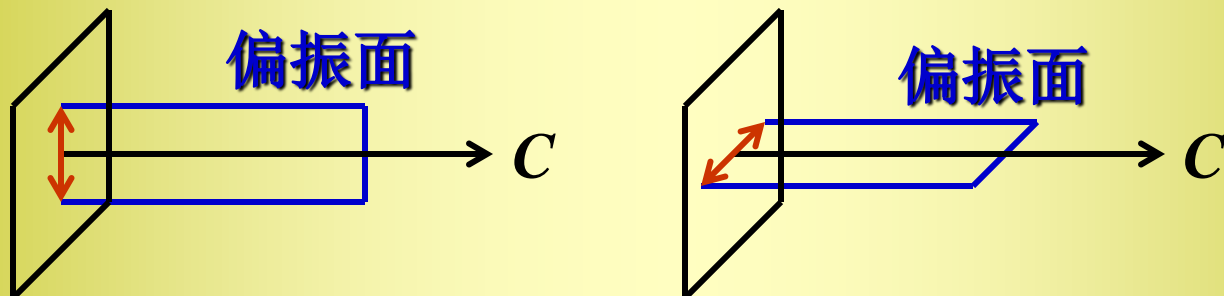



二、偏振光：

*光矢量在垂直传播方向的平面内，只沿一个固定方向振动——**线偏振光（面偏振光）**。

(linear polarization)

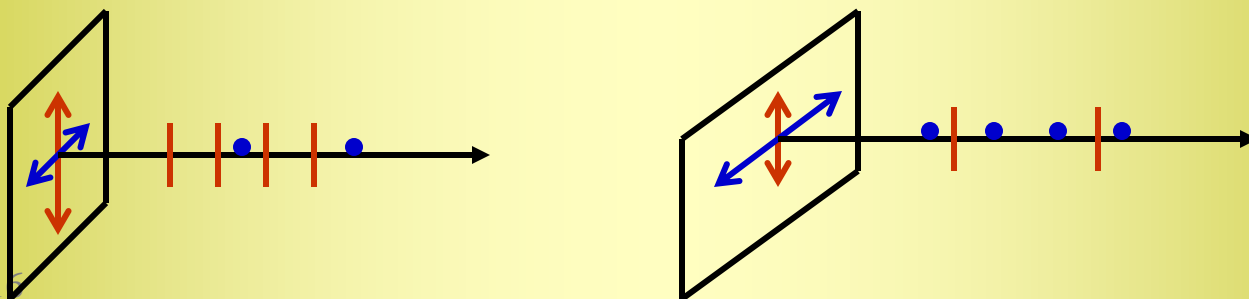
偏振面：传播方向与振动方向(\vec{E} 矢量) 组成的平面。



偏振光表示：

*在垂直传播方向的平面内，光矢量 \vec{E} 在某一方向振动较强，而垂直该方向的振动较弱。

——部分偏振光 (*partial polarization*)



*在垂直于传播方向的平面内，光矢量按一定的频率旋转，
若光矢量振幅不变，矢端扫出轨迹是圆。

——圆偏振光 (*circular polarization*)

若光矢量振幅不断改变，矢端扫出轨迹是椭圆。

——椭圆偏振光 (*elliptic polarization*)

顺时针转动——右旋光

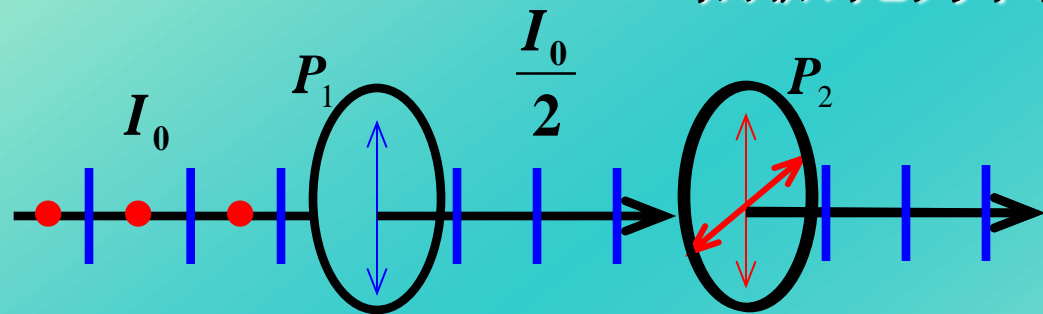
逆时针转动——左旋光

§ 15-2 偏振片的起偏与检偏、马吕斯定律

一、起偏

自然光 \longrightarrow 偏振光

偏振片(*polaroid*): 只让某一特定方向振动的偏振光通过
偏振化方向



自然光入射: $I = \frac{I_0}{2}$

二、检偏: 检验光的偏振状态

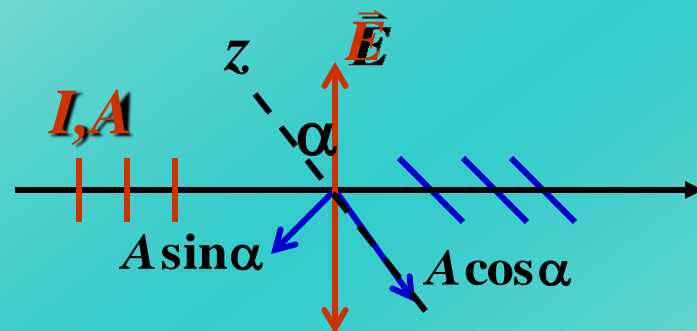
检偏器(*analyzer*) —— 偏振片

三、马吕斯定律

入射光 A $\begin{cases} A \sin \alpha \perp z \rightarrow \text{不通过} \\ A \cos \alpha // z \rightarrow \text{通过} \end{cases}$

$$I' = A^2 \cos^2 \alpha = I \cos^2 \alpha$$

Malus law: $I' = I \cos^2 \alpha$ $\begin{cases} \alpha = 0 \rightarrow I'_{\max} = I \\ \alpha = \frac{\pi}{2} \rightarrow I'_{\min} = 0 \\ 0 < \alpha < \frac{\pi}{2} \rightarrow 0 < I' < I \end{cases}$



例1：自然光和线偏振光的混合光，垂直通过一偏振片。旋转偏振片，测得透射光强最大值是最小值的5倍。求入射光中，自然光与线偏振光的光强比。

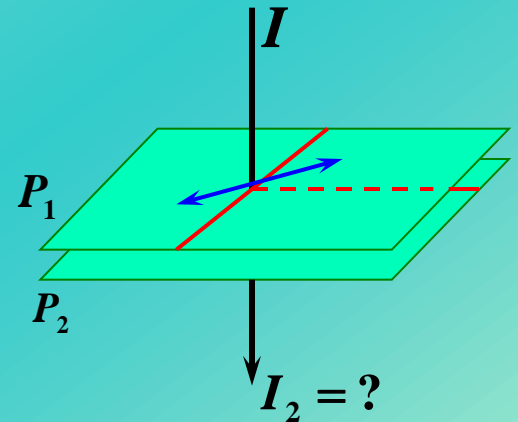
解： $\left. \begin{aligned} I_{\max} &= \frac{I_0}{2} + I_1 \\ I_{\min} &= \frac{I_0}{2} \end{aligned} \right\} I_{\max} = 5I_{\min} \rightarrow \frac{I_0}{I_1} = \frac{1}{2}$

例2：两偏振片 P_1 、 P_2 叠放在一起，它们的偏化方向夹角为 60° ，一束线偏振光垂直入射，其振动方向与 P_1 、 P_2 均成 30° 角。

求：出射光强

解： $I_1 = I \cos^2 30^\circ = \frac{3}{4} I$

$$I_2 = I_1 \cos 60^\circ = \frac{3}{16} I$$

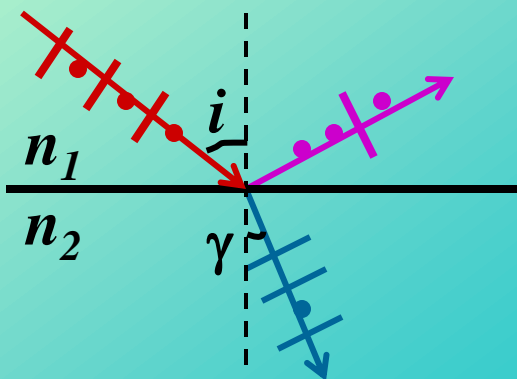


§ 15-3 反射光与折射光的偏振 布儒斯特定律

一、反射光与折射光的偏振现象

自然光在两种各向同性介质的分界面上反射和折射时

传播方向改变
偏振状态发生变化



反射光: \perp 入射面的振动居多

折射光: $//$ 入射面的振动居多

部分偏振光

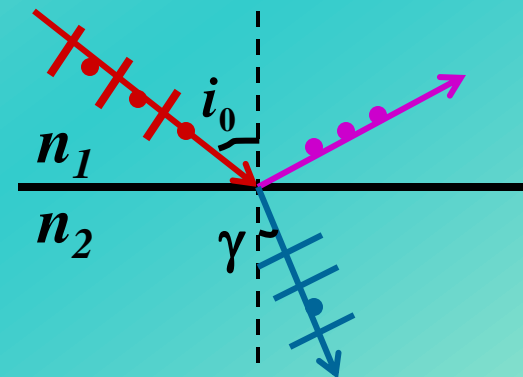


二、反射光的偏振——布儒斯特定律

当入射角 $i = i_0$: 反射光是振动方向完全 \perp 入射面的线偏振光

$$\left. \begin{aligned} i_0 + \gamma &= \frac{\pi}{2} \\ n_1 \sin i_0 &= n_2 \sin \gamma \end{aligned} \right\} \begin{aligned} & \text{布儒斯特角 (Brewster angle)} \\ & \text{起偏角 (polarizing angle)} \end{aligned} \quad \left\{ \begin{aligned} & \text{布儒斯特角 (Brewster angle)} \\ & \text{起偏角 (polarizing angle)} \end{aligned} \right. \quad \left\{ \begin{aligned} & \text{布儒斯特角 (Brewster angle)} \\ & \text{起偏角 (polarizing angle)} \end{aligned} \right.$$

布儒斯特定律



三、透射光的偏振

自然光以 i_0 入射到界面上：

反射光： 线偏振光 —— 只有垂直入射面的振动

透射光： 部分偏振光 { 部分垂直入射面的振动
全部平行入射面的振动

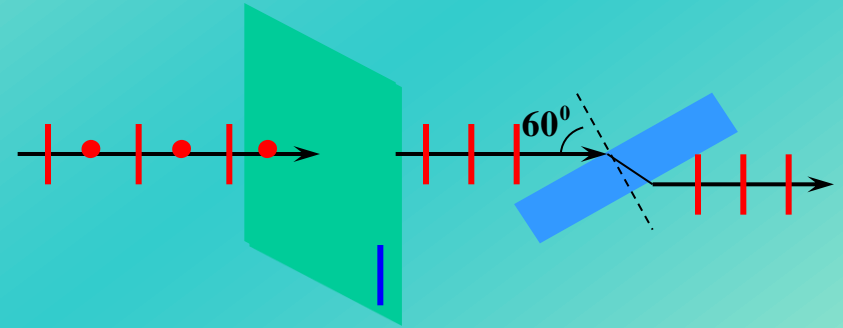
玻璃片堆 { 增加反射光光强
提高透射光偏振度，但光强减小

例3：一束自然光通过一偏振片后射到玻璃上，当入射角为 60° 时，发现反射光消失，求玻璃的折射率。

解：入射光为平行入射面振动的线偏振光

以 i_o 入射时，不被反射，只被透射

$$\therefore \operatorname{tgi}_o = \frac{n}{1} \rightarrow n = \sqrt{3}$$



§ 15-4 光的双折射

一、光的双折射现象

- 1) 光线入射到各向异性晶体表面时 → 二束折射光
(ordinary light)
改变入射角 i $\left\{ \begin{array}{l} \text{一束光始终遵守折射定律 —— o光 (寻常光)} \\ \text{一束光不遵守折射定律 —— e光 (非常光)} \end{array} \right.$
(extraordinary light)
- 2) o光、e光都是线偏振光 (振动方向不同)
- 3) 双折射晶体中存在一特定方向 —— 光轴(optical axis)
光线沿这一方向入射时, 不发生双折射

光轴与某光线组成的平面——**主平面**(*principal section*)

{ o光: 光矢量振动方向垂直主平面
e光: 光矢量振动方向平行于主平面

{ 单轴晶体 (*uniaxial crystal*): 方解石、石英、红宝石 ✨
双轴晶体 (*biaxial crystal*): 云母、蓝宝石

二、惠更斯原理对双折射现象的解释

产生双折射的原因——由于晶体特殊的光学性质

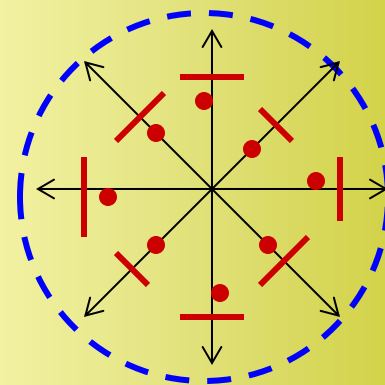
1. 光在晶体中传播的波阵面:

***取自然光点光源**

在各向同性介质中: 波阵面是球面, 各方向传播速度相同

在各向异性晶体 (双折射晶体) 中:

光矢量的振动沿各方向传播速度不同, 波阵面非球面

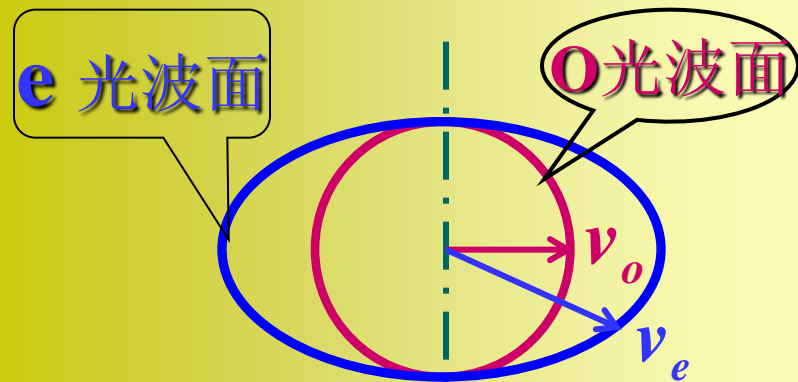


1) o光 ($\vec{E} \perp$ 主平面): 各方向传播速度相等, 折射率相等,
波阵面是球面 $n_o = \frac{c}{v_o}$

2) e光 ($\vec{E} \parallel$ 主平面): 各方向传播速度不同, 折射率不同,
波阵面是旋转椭球面

垂直于光轴方向的传播速度 $v_e \rightarrow n_e = \frac{c}{v_e} \rightarrow$ **e光的主折射率**
principal refractive index

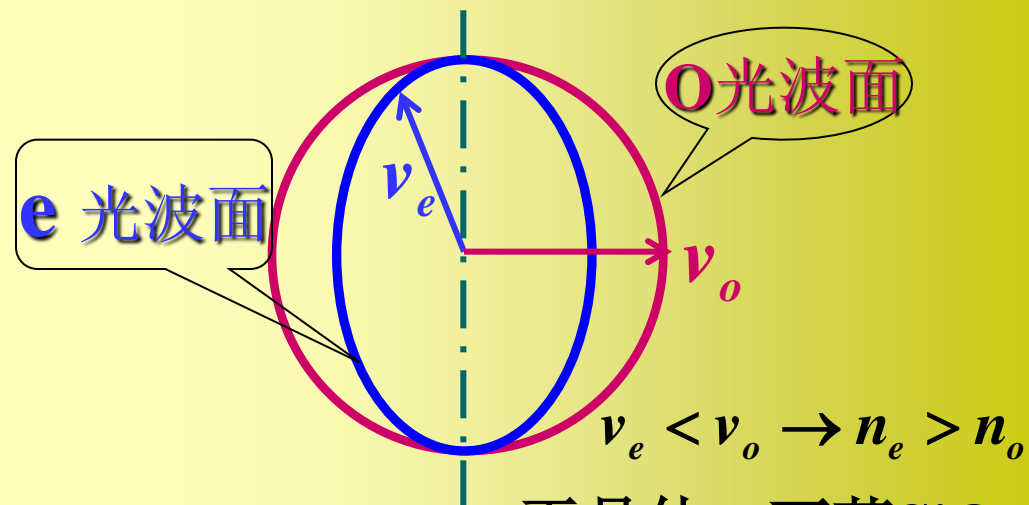
3) **沿光轴方向无双折射**: $\begin{cases} v_o = v_e \\ \text{o光、e光波面在光轴方向相切} \end{cases}$



$v_e > v_o \rightarrow n_e < n_o$

负晶体: 方解石 CaCO_3

negative crystal



$v_e < v_o \rightarrow n_e > n_o$

正晶体: 石英 SiO_2

positive crystal

2. 应用惠更斯原理确定传播方向:

*光线入射到晶体表面时，每一点都看作为新的子波源

O 光发射球面波
e 光发射旋转椭球面波 } 在光轴方向相切

*同一时刻，各子波包络面就是光线传播的波面

*子波源中心（入射点）
子波波面与光波面（包络面）切点 } 两者连线——光线传播方向

讨论: (P259)

1) 晶体光轴在入射面内——入射面就是主平面(a, b, c)

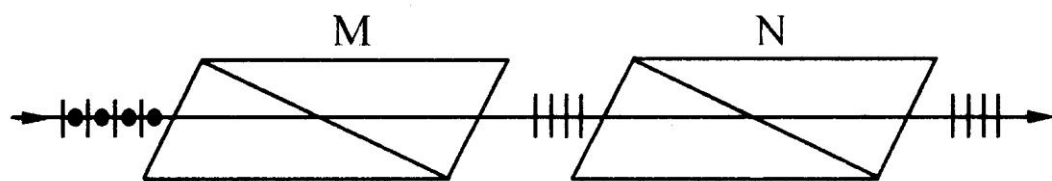
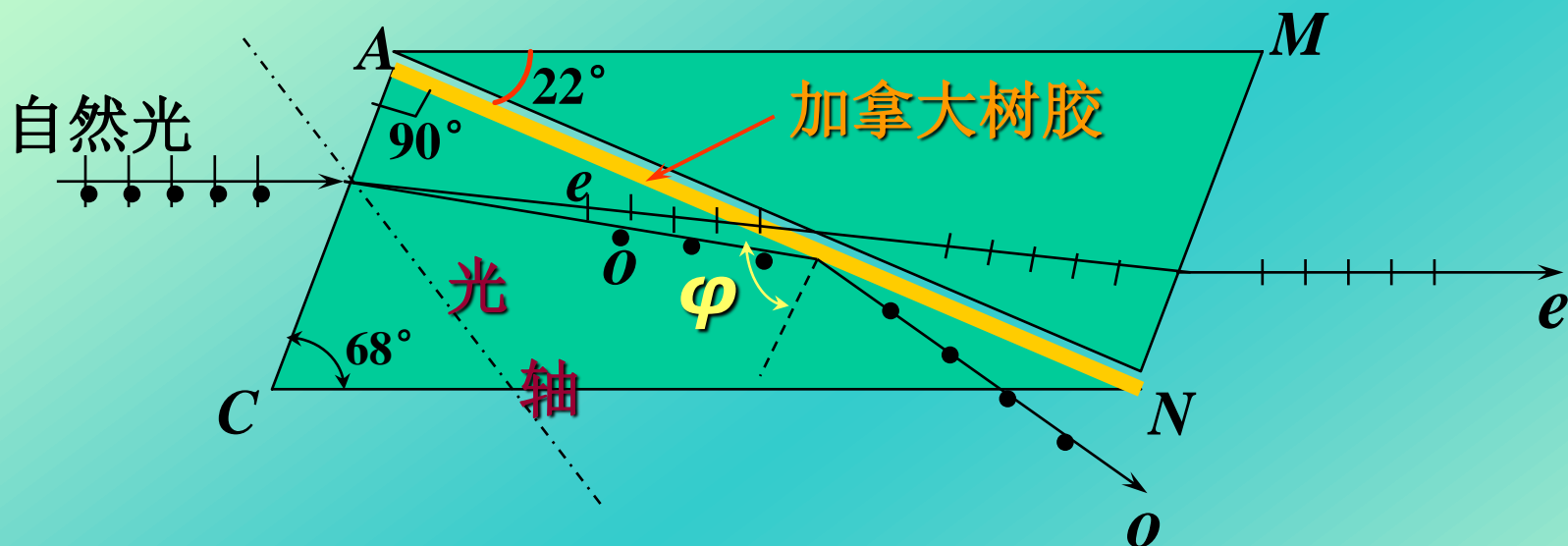
*垂直入射:

*斜入射:

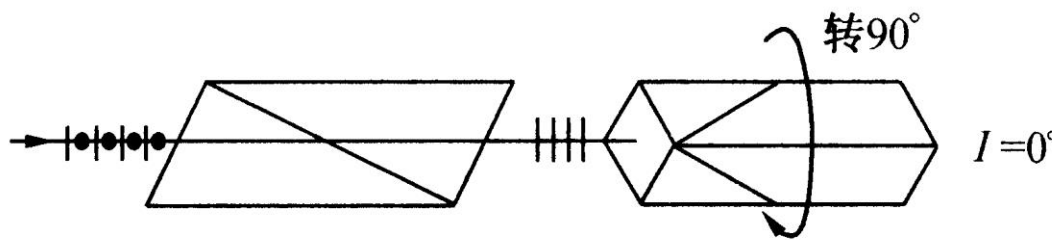
2) 晶体光轴垂直入射面——主平面垂直入射面(d)

三、偏振棱镜

1. 尼科尔棱镜 ——起偏和检偏



——起偏



——检偏

2. 渥拉斯顿棱镜 (*Wollaston prism*):

由**两块**光轴相互垂直的直角方解石棱镜组成

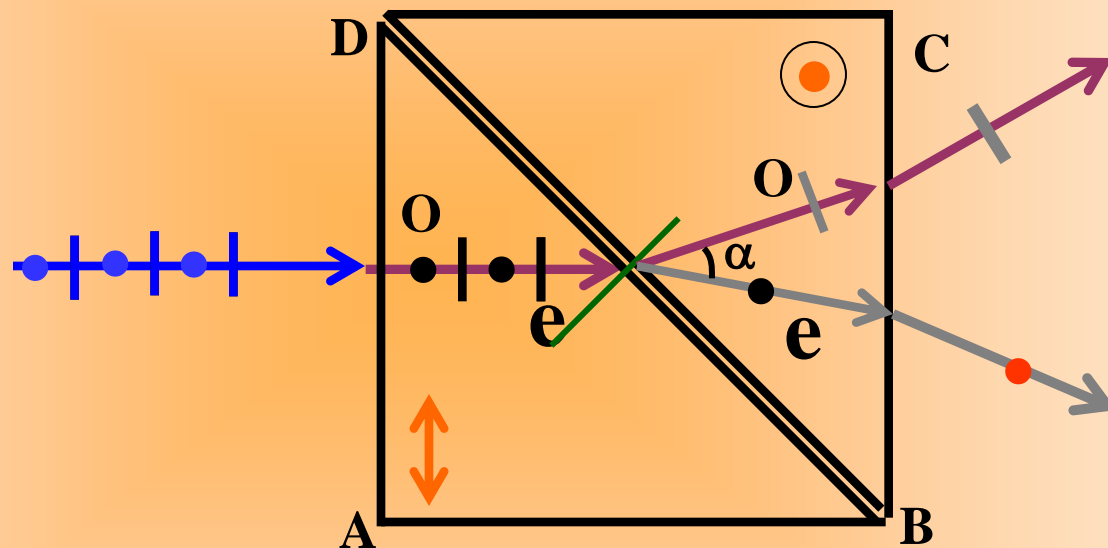
——**分开o光和e光**

方解石:

$$n_e = 1.486$$

$$n_o = 1.658$$

$$V_{e\text{主}} > V_o$$



进入BCD:

● → o光 → e光 // 光轴, $n_o \rightarrow n_e$, $\gamma > i$

+ → e光 → o光 ⊥ 光轴, $n_e \rightarrow n_o$, $\gamma < i$

密 → 疏

疏 → 密

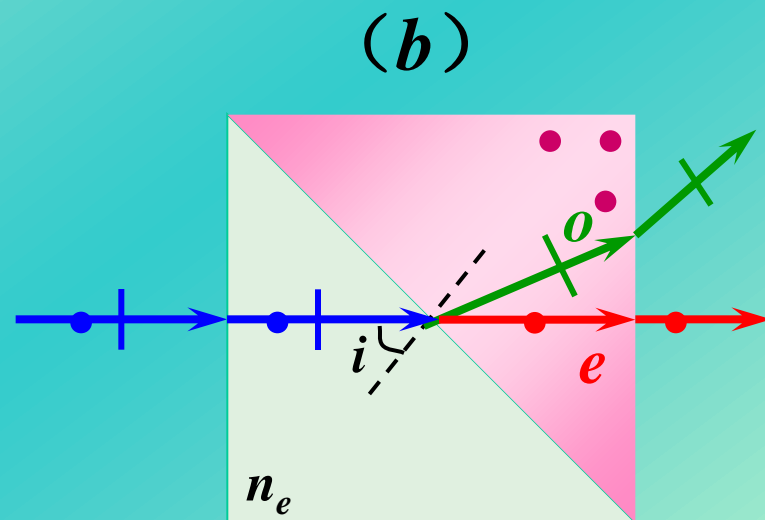
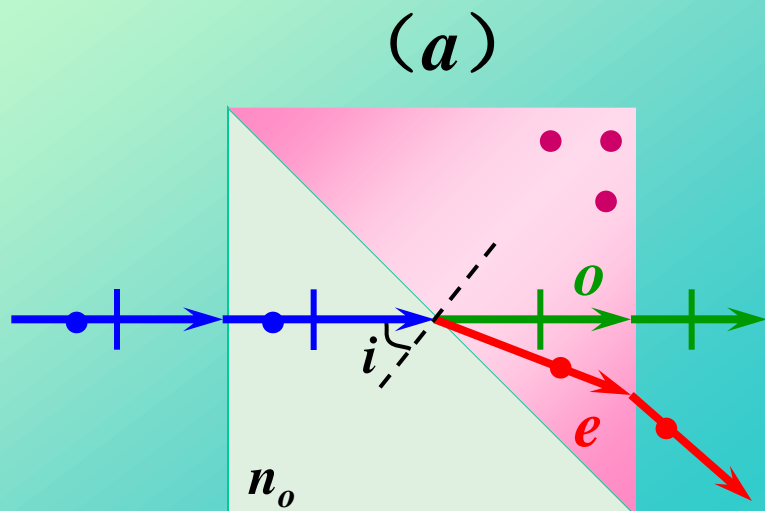
$$n_1 \sin i = n_2 \sin \gamma$$

已知 $i \rightarrow \gamma_1$, $\gamma_2 \rightarrow \alpha$

例：直角玻璃棱镜与方解石棱镜组合，自然光垂直入射。

(a) 取 $n_{\text{玻}} = n_o$, (b) 取 $n_{\text{玻}} = n_e$

画出光路及光矢量振动方向



进入方解石：

●→ e光: $n_o \rightarrow n_e$ $\therefore \gamma > i$
密 → 疏

⊥→ o光: $n_o \rightarrow n_o$ \therefore 无折射

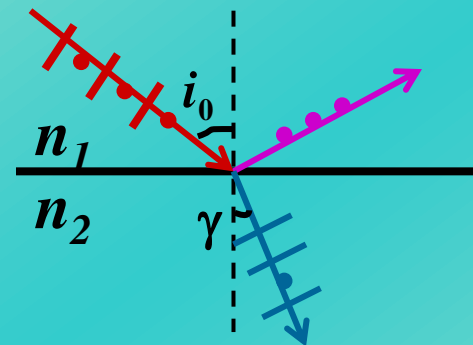
●→ e光: $n_e \rightarrow n_e$ \therefore 无折射

⊥→ o光: $n_e \rightarrow n_o$ $\therefore \gamma < i$
疏 → 密

本章总结——光的偏振

1. 偏振片: $I_2 = I_1 \cos^2 \alpha$

自然光 $I_0 \rightarrow$ 偏振片 $\rightarrow I = \frac{I_0}{2}$ 线偏振光



2. 各向同性介质分界面上的反射和折射: $\operatorname{tgi}_0 = \frac{n_2}{n_1}$

3. 各向异性晶体中的双折射:

 $\begin{cases} \text{o光: } \vec{E} \perp \text{主平面} \\ \text{e光: } \vec{E} \parallel \text{主平面} \end{cases}$

——该光线与光轴组成的平面

$v_e > v_o \rightarrow n_e < n_o$ 负晶体 (方解石)

$v_e < v_o \rightarrow n_e > n_o$ 正晶体

o光、e光相对特定晶体的光轴而言, 决定了其在晶体中的传播速度和折射率; 出射晶体后, 仅是两束偏振方向不同的线偏振光

沿光轴方向无双折射 $\begin{cases} v_o = v_e \\ \text{o光、e光波面相切} \end{cases}$