

第11章作业

波动光学（第七版）

第十一章 11-1 ~ 11-8, 11-10, 11-11, 11-14, 11-17, 11-18, 11-21, 11-23, 11-24, 11-25, 11-26, 11-27, 11-29, 11-30, 11-31, 11-34, 11-35, 11-38, 11-39 共26道题

- 下周五交给助教

• 回顾:

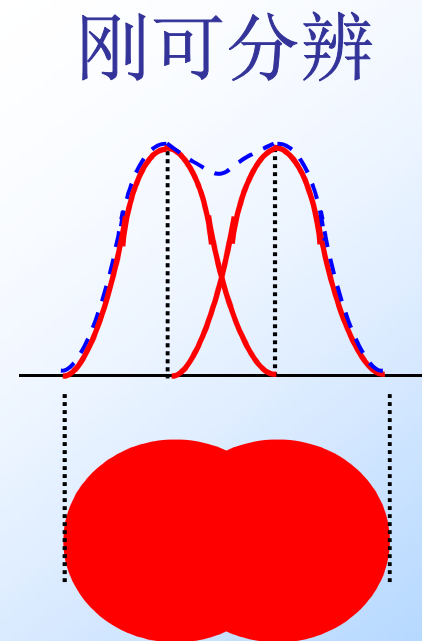
4. 光栅光谱 角色散本领 $D = \frac{\Delta\theta_k}{\Delta\lambda} = \frac{k}{d \cos \theta_k}$

五、圆孔衍射 光学仪器的分辨率

爱里斑半角宽

$$\theta_1 \approx 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

瑞利判据



六、X 射线衍射 布喇格公式 (了解)

$$2d \cdot \sin \theta = k\lambda \quad k = 1, 2, 3 \dots$$

第11章 波动光学

Wave Optics

第1节 光波

第2节 光的叠加 光程

第3节 分波阵面干涉

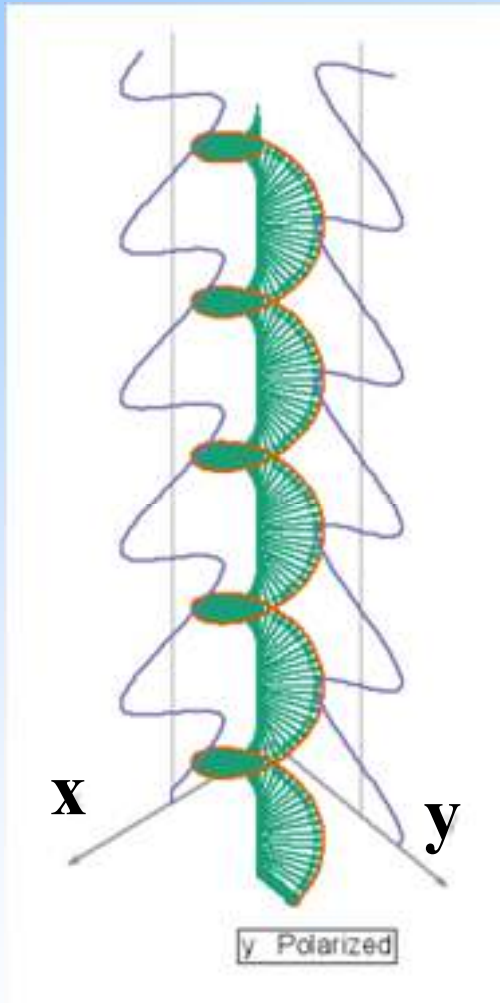
第4节 分振幅干涉

第5节 光波的衍射

第6节 光波的偏振

第7节 双折射

自然光和偏振光
马吕斯定理
反射和折射的起偏
布儒斯特定理



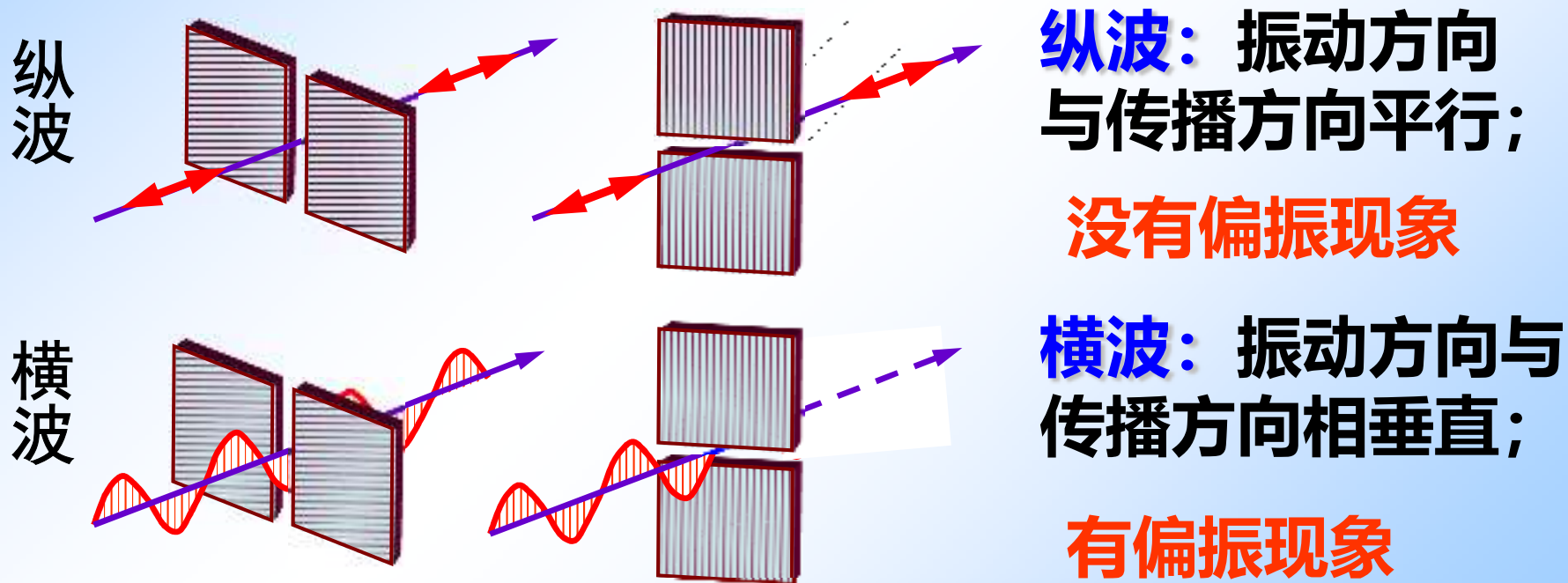
第6节 光波的偏振

*偏振现象 Polarization of Light Waves

一、光的偏振态

光波（电磁波）是**横波**。 $\vec{E} \perp$ 传播方向。

偏振现象为区别纵波和横波最重要的标志。



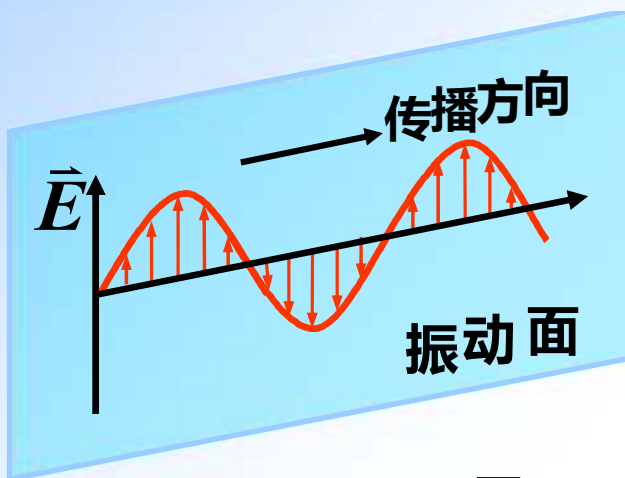
偏振：振动方向对于传播方向的不对称性。

一、光的偏振状态

在垂直于光的传播方向的平面内，光矢量可能有各种不同的振动状态：
——光的偏振状态（可分为五种）

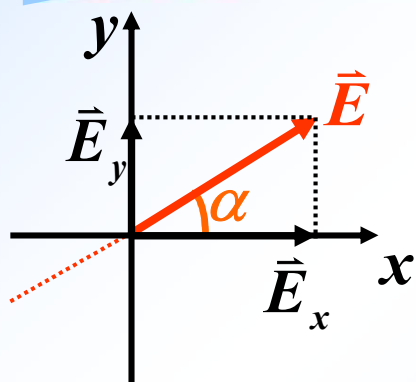
1. 线偏振光

光矢量只沿一个固定的方向振动。



振动面固定不动——平面偏振光、完全偏振光。

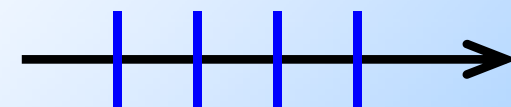
线偏振光可沿两个相互垂直的方向分解：
线偏振光的符号表示：



$$E_x = E \cos \alpha$$

$$E_y = E \sin \alpha$$

同相或反相。



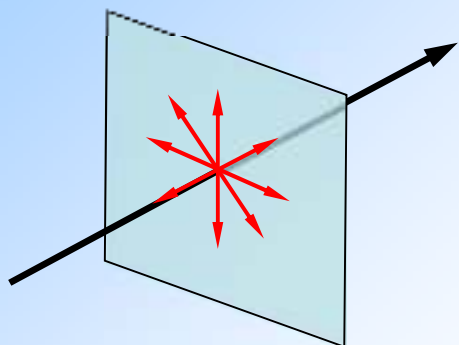
光矢量在纸面内



光矢量垂直于纸面

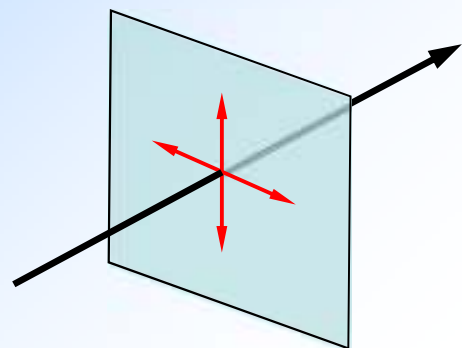
2. 自然光

无限多个振幅相等、振动方向任意、彼此间**没有固定位相关系**的光振动的组合。



普通光源所发的光为自然光。

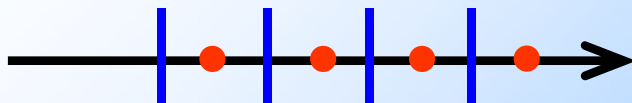
光矢量具有轴对称性。——非偏振光



自然光可分解为两个方向任意互相垂直、振幅相等，没有固定相位关系的线偏振光。

$$\overline{E}_x = \overline{E}_y \quad I_0 = I_x + I_y \quad I_x = I_y = \frac{1}{2} I_0$$

自然光的表示：

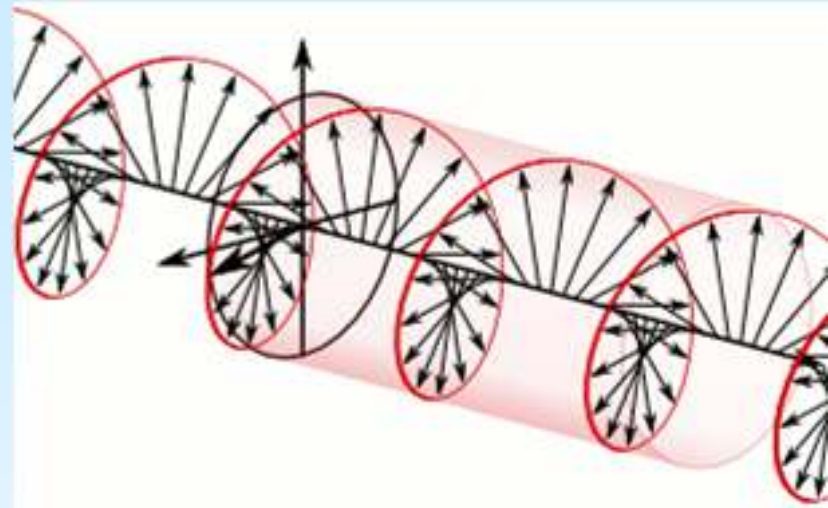


3. 圆偏振光

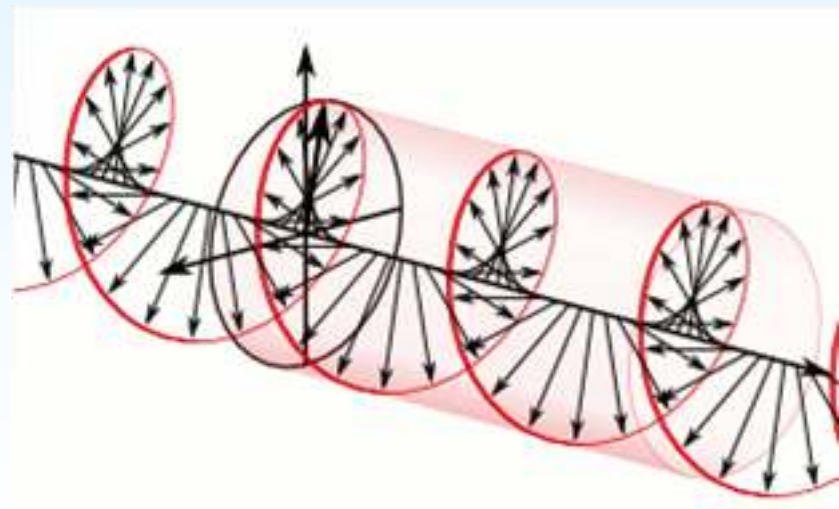
在垂直于光传播的任一平面内，光振动矢量 \vec{E} 是一个旋转矢量，矢量端点的运动轨迹是一个圆。

圆偏振光可由两束同向传播、振动方向相互垂直、振幅相等、相位相差 $\pm \pi/2$ 的线偏振光合成。

右旋（沿着传播方向看）



左旋



4. 椭圆偏振光

在垂直于光传播的任一平面内，光振动矢量 \vec{E} 是一个旋转矢量，矢量端点的运动轨迹是一个椭圆。

线偏振、圆偏振与椭圆偏振对比

椭圆偏振光可由两束同向传播、振动方向相互垂直、振幅不相等、相位相差 $\pm \pi/2$ 或相位相差为其他数值的线偏振光合成。

科普：

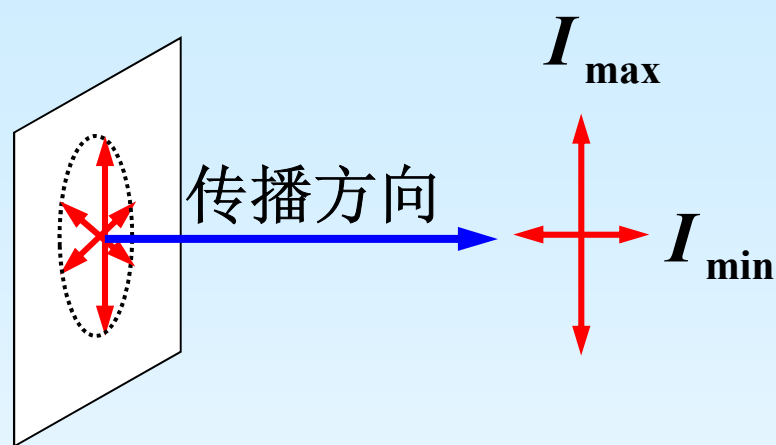


一部分金甲虫经外壳反射的光是左旋圆偏振光，

存在极少数金甲虫，其外壳的反射光是右旋圆偏振光。

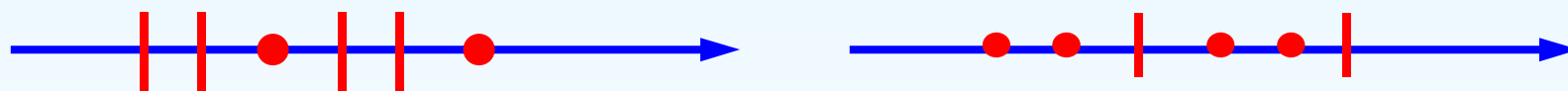


5. 部分偏振光



部分偏振光是介于自然光和线偏振光之间的一种偏振态。它可分解为两个垂直的、振幅不相等的独立光振动，还可以看成自然光与线偏振光混合起来的一种光。

表示法:



$$\text{偏振度 } p = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{线偏振光, } p=1 \\ \text{部分偏振光, } 0 < p < 1 \\ \text{自然光, } p=0 \end{array} \right.$$

二、马吕斯定律

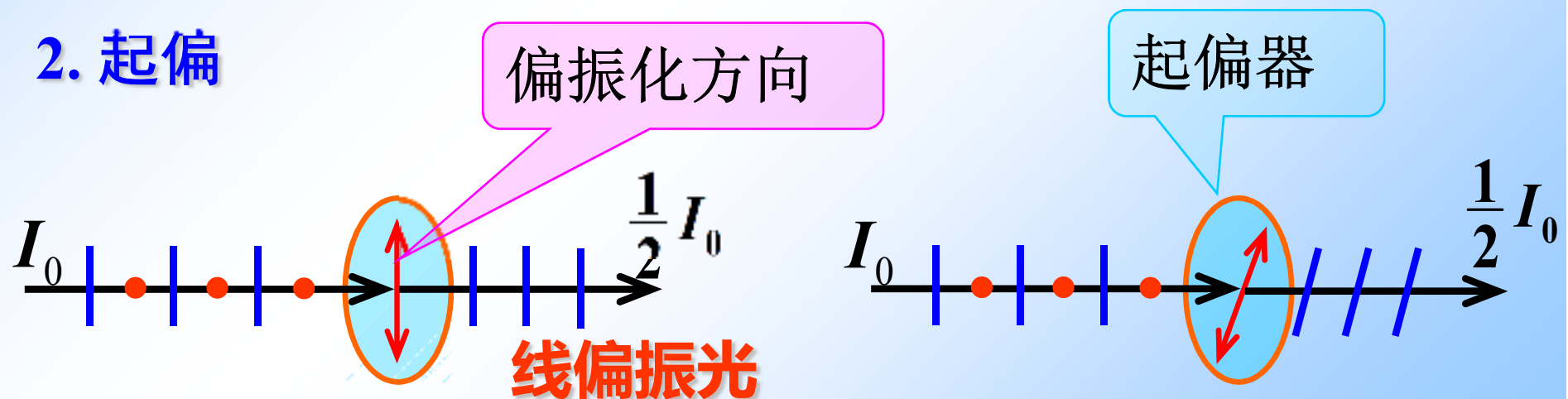
1. 偏振片

(1)二向色性： 某些物质能吸收某一方向的光振动，而只让与这个方向垂直的光振动通过。

(2)偏振片： 涂有二向色性材料的透明薄片。

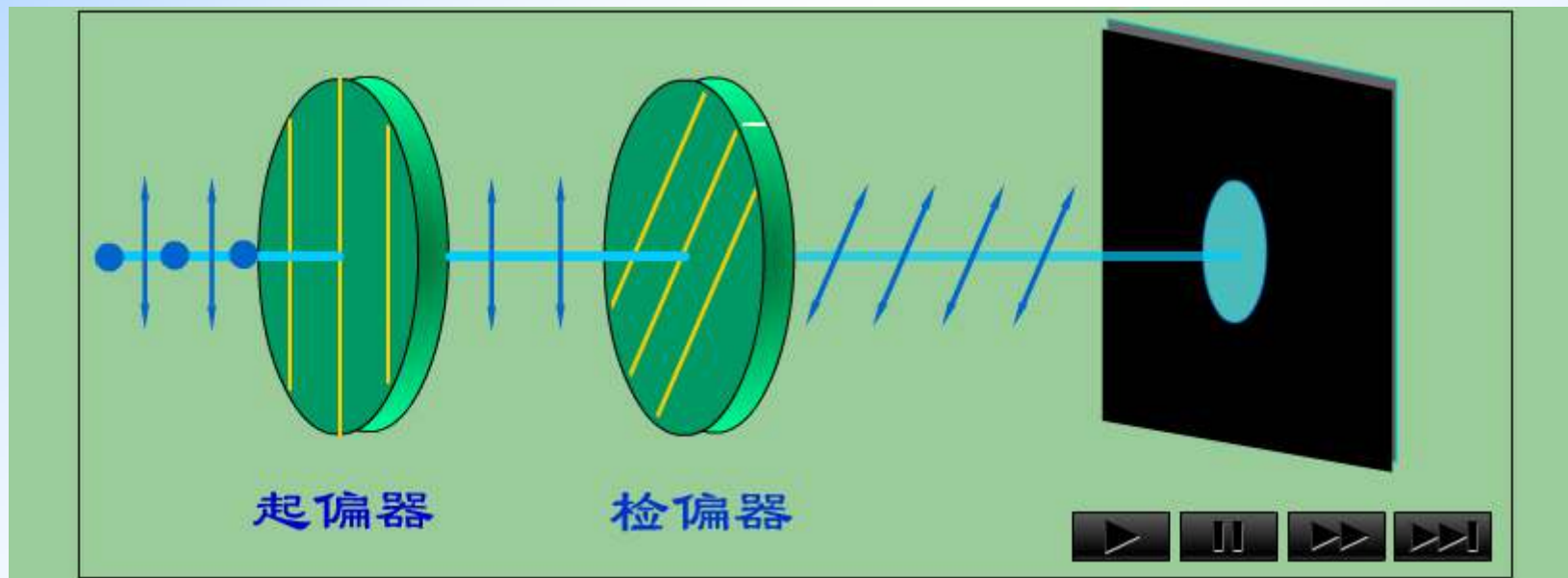
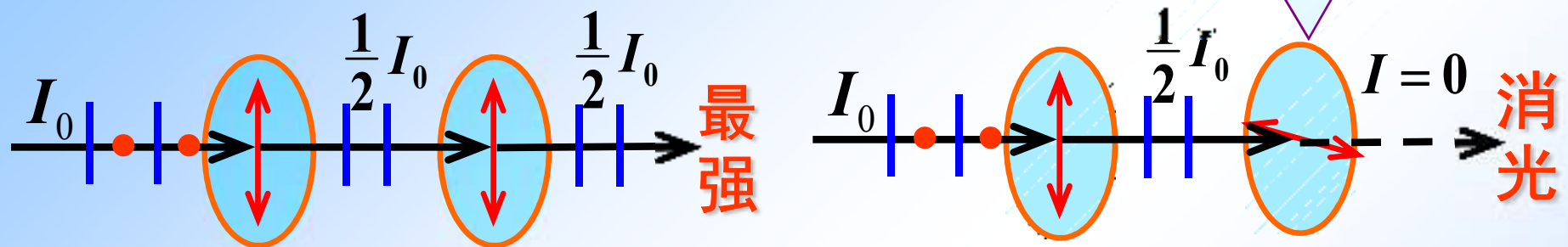
(3)偏振化方向： 能通过偏振片的光振动的方向。
(透光轴、透振方向)

2. 起偏

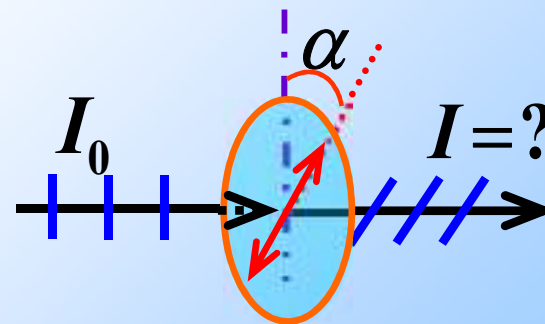


3. 检偏

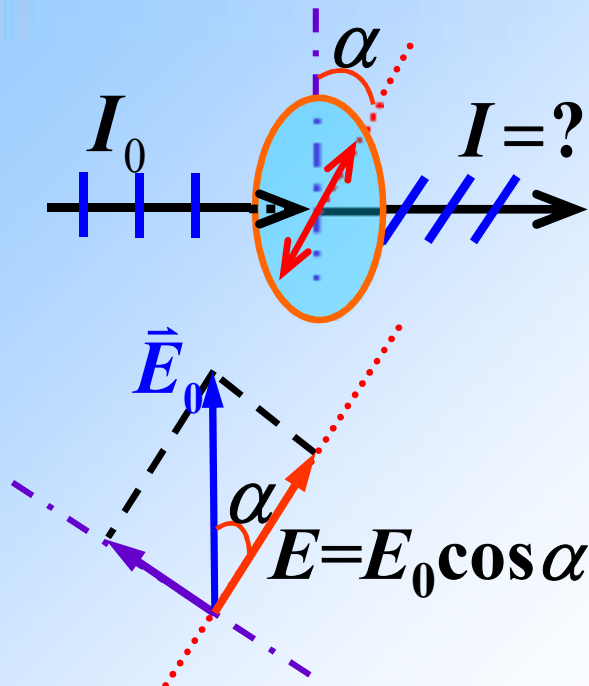
——线偏振光的检验



检偏器旋转一周，透射光强
出现**两次最强**，**两次消光**。



4. 马吕斯定律



入射线偏振光的光振动方向与检偏器透振方向间的夹角为 α 。

$$I_0 \propto E_0^2 \quad I \propto E^2 = E_0^2 \cos^2 \alpha$$

$$I = I_0 \cos^2 \alpha \quad \text{—— 马吕斯定律}$$

$$\alpha = 0, \pi \Rightarrow I = I_{\max} = I_0 \quad \text{—— 最强}$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2} \Rightarrow I = 0 \quad \text{—— 消光}$$

5. 偏振光的检验

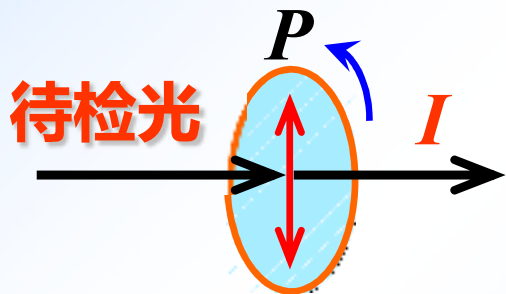
用偏振片检验光的偏振态

I 变, 有消光 \rightarrow ? 线偏振光

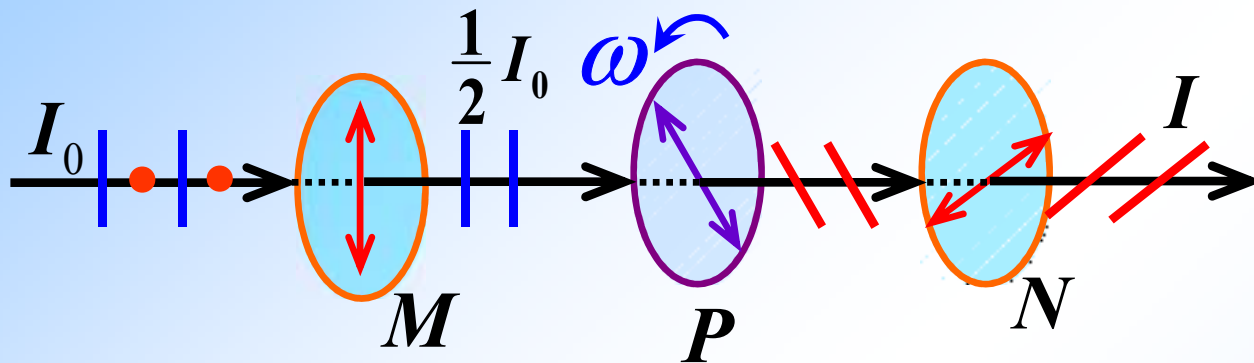
I 不变 \rightarrow ? { 自然光
圆偏

I 变, 无消光 \rightarrow ? { 椭圆偏
部分偏

仅用检偏器
无法区分



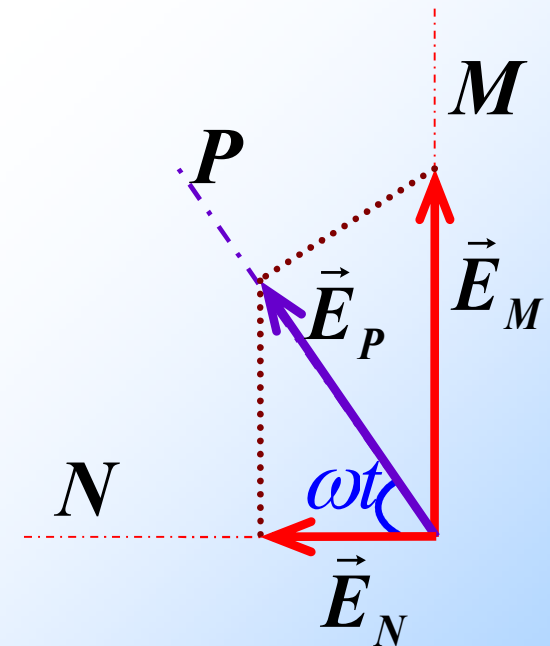
例1. 在透振方向正交的起偏器 M 和检偏器 N 之间，插入一片以角速度 ω 旋转的偏振片 P ，入射自然光强 I_0 ，试求该系统的出射光强。



$$E_N = E_P \cos \omega t = E_M \sin \omega t \cos \omega t$$

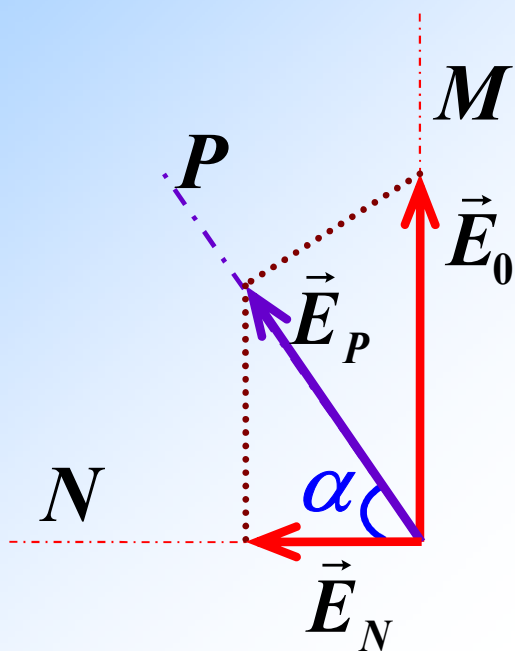
$$I = E_N^2 \quad I = \frac{1}{2} I_0 \sin^2 \omega t \cdot \cos^2 \omega t$$

$$I = \frac{1}{8} I_0 \sin^2 2\omega t \begin{cases} \omega t = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}, & I = 0 \\ \omega t = \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4}, & I = \frac{I_0}{8} \end{cases}$$



P 每旋转一周，
输出光强出现
“四明四零”。

例2.要使一束线偏振光通过偏振片之后振动方向转过 90° , 至少需要让这束光通过 2 块理想的偏振片, 在此情况下透射光强最大是原来光强的 $\frac{1}{4}$ 倍。



$$E_N = E_0 \sin \alpha \cos \alpha$$

$$= \frac{1}{2} E_0 \sin 2\alpha$$

$$I = \frac{1}{4} I_0 \sin^2 2\alpha$$

例3：一束光由线偏振光和自然光混合而成，当它通过一理想偏振片时发现光强随着偏振片偏振化方向旋转而出现 4 倍的变化，求这两种光各占几分之几？

解：
$$\frac{I_{\text{自}}}{2} : \left(\frac{I_{\text{自}}}{2} + I_{\text{线}} \right) = 1 : 4$$

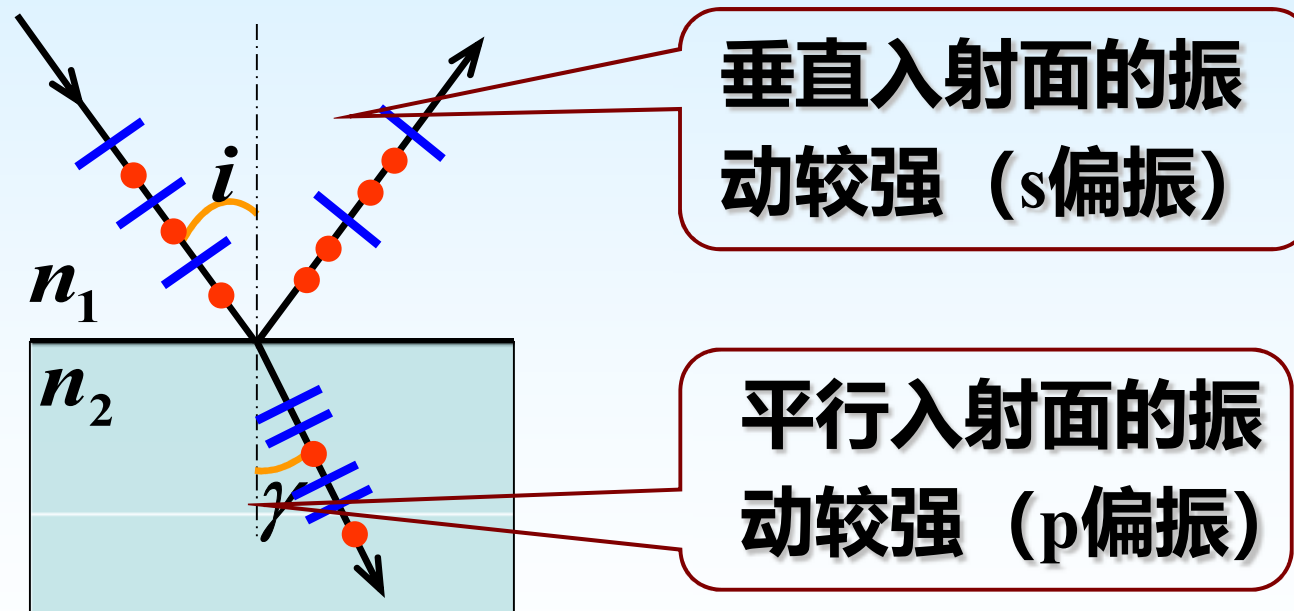
$$\rightarrow I_{\text{线}} = \frac{3}{2} I_{\text{自}}$$

$$\rightarrow \frac{I_{\text{线}}}{I_{\text{总}}} = \frac{3}{5} \quad \frac{I_{\text{自}}}{I_{\text{总}}} = \frac{2}{5}$$

三、反射光和折射光的偏振

1. 反射光和折射光的偏振态

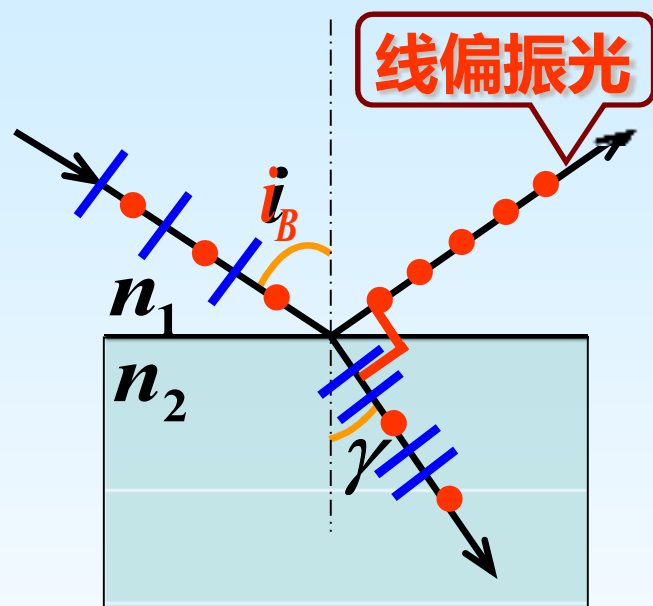
实验表明，当自然光入射到两种介质的分界面上时，**反射光和折射光都是部分偏振光。**



入射角改变时，反射光的偏振化程度随之改变。

2. 布儒斯特定律

实验现象：当入射角 i 等于某一定值 i_B 时，



1、反射光与折射光互相垂直。

2、反射光只有垂直于入射面的光振动。

此时，入射光中的平行分量全部折射了。

3、折射光为平行分量多的部分偏。

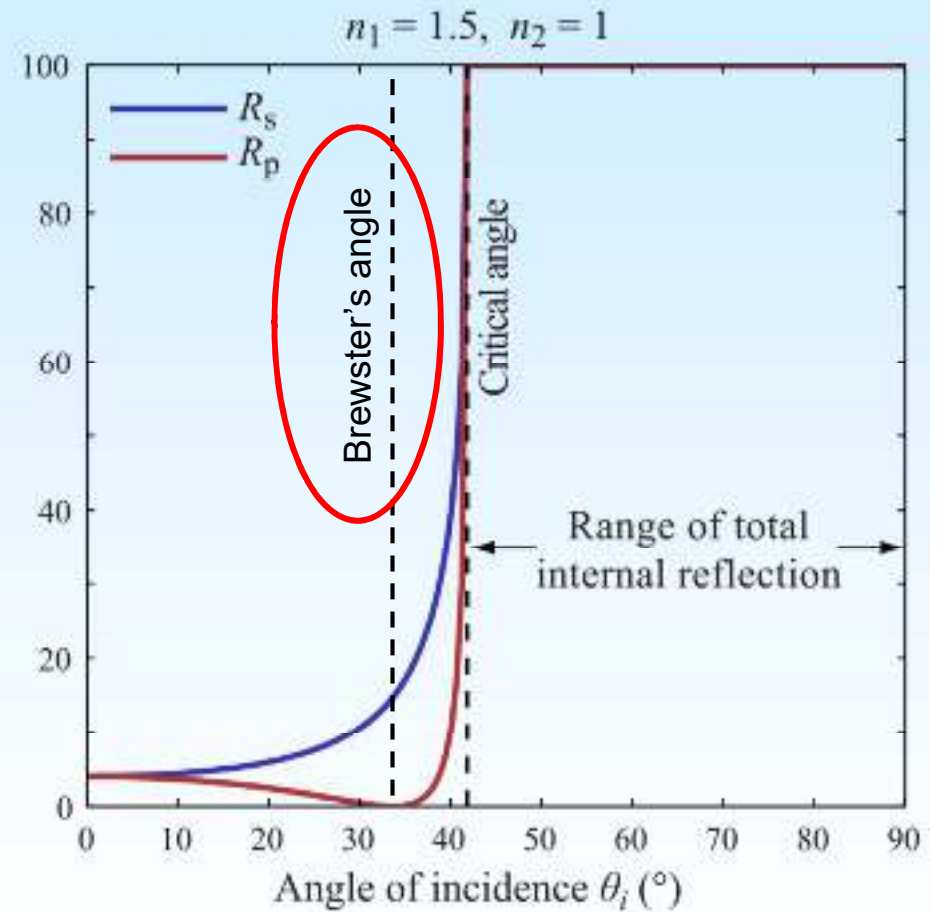
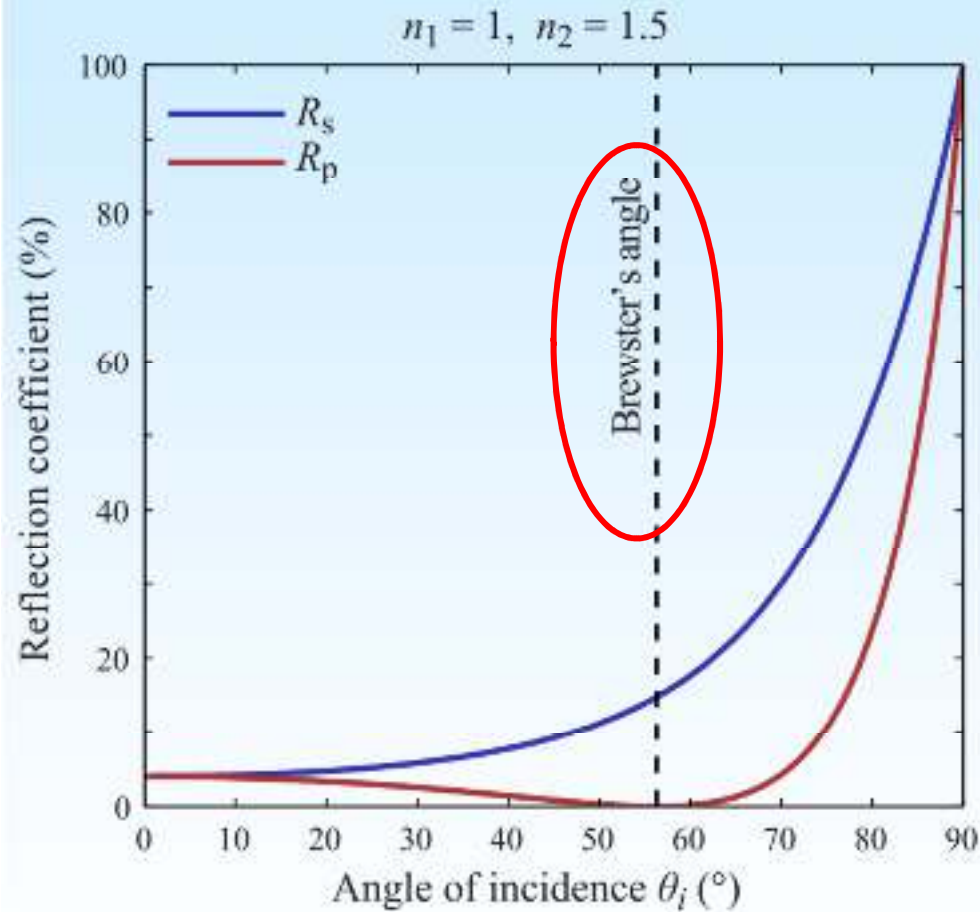
$$i_B + \gamma = 90^\circ \quad \sin \gamma = \cos i_B \quad \sin i_B = \frac{n_2}{n_1} \sin \gamma = \frac{n_2}{n_1} \cos i_B$$

$$\tan i_B = \frac{n_2}{n_1}$$

布儒斯特定律

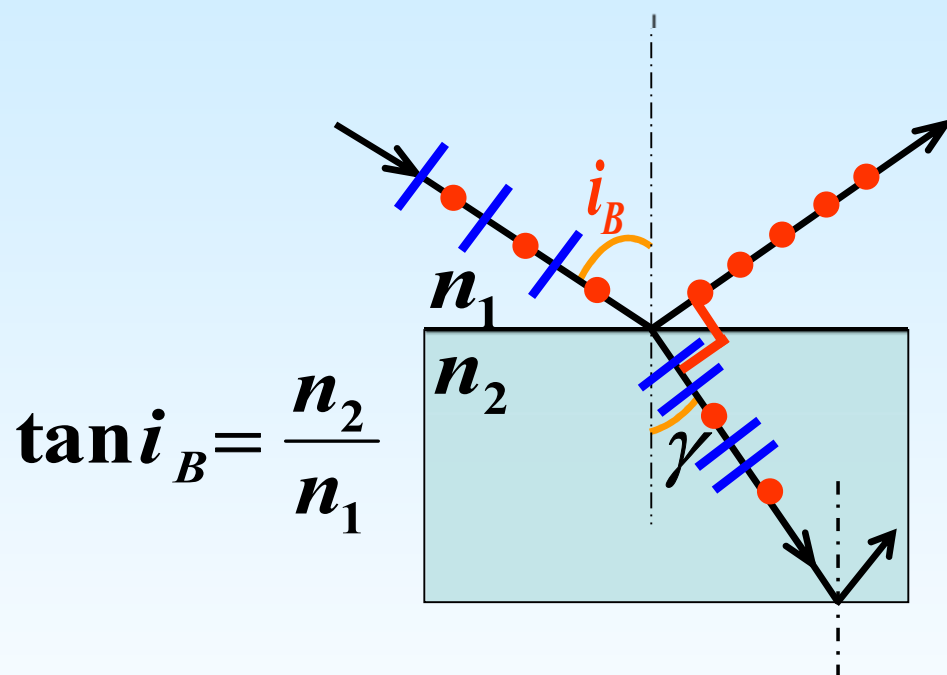
i_B 称为**布儒斯特角或起偏角**。

折射率 n_1 和 n_2 界面处的s与p偏振光反射率曲线



3. 讨论

(1) 光线以入射角 γ 从 n_2 入射:



$$\tan \gamma = \frac{\sin \gamma}{\cos \gamma} = \frac{\sin \gamma}{\sin i_B} = \frac{n_1}{n_2}$$

γ 为 n_2 对 n_1 的
布儒斯特角

入射方向和折射方向遵从光路的可逆性。

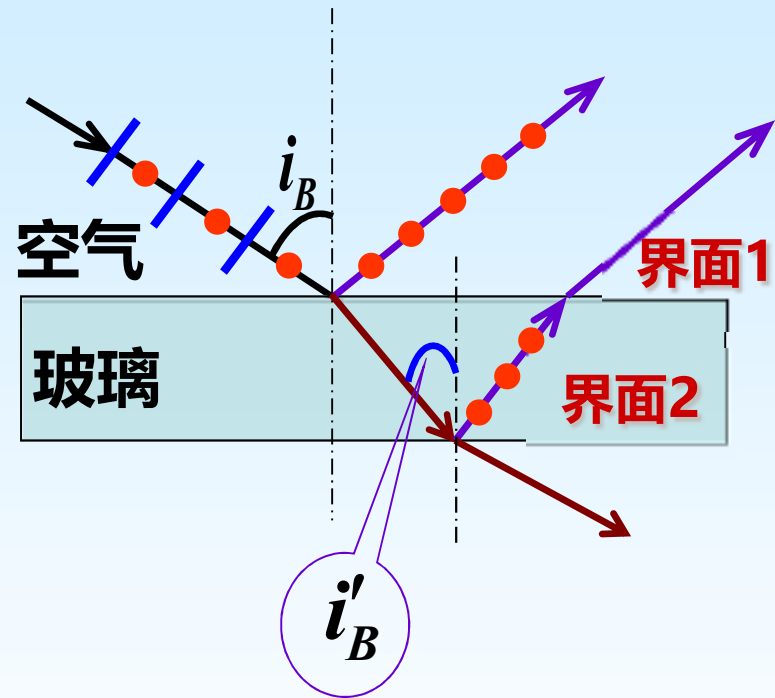
例3. 一束自然光自空气射向一块平板玻璃，入射角等于布儒斯特角，则在界面2的反射光：

1、是自然光。

2、是部分偏振光。

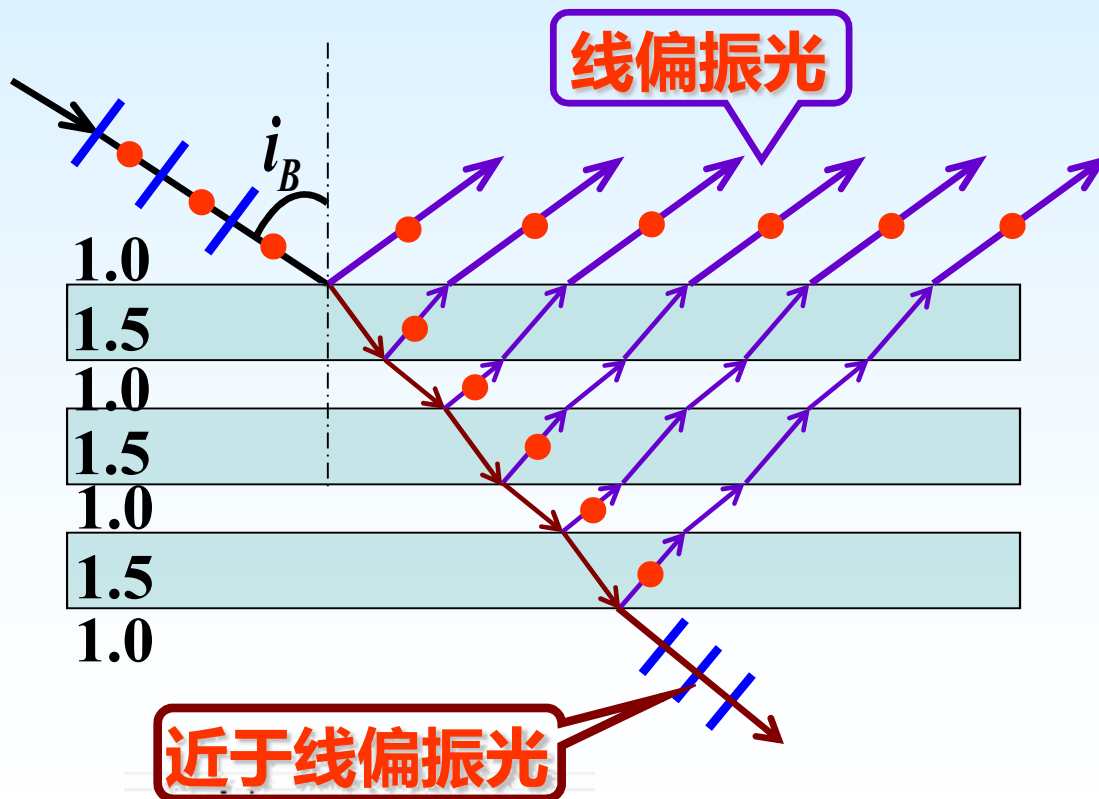
3、是完全偏振光，且光矢量的振动方向垂直于入射面。

4、是完全偏振光，且光矢量的振动方向平行于入射面。



(2) 利用玻璃堆产生线偏振光

理论实验表明：反射所获得的线偏振光仅占入射自然光总能量的7.4%，绝大部分垂直分量和全部平行分量都折射到介质中。

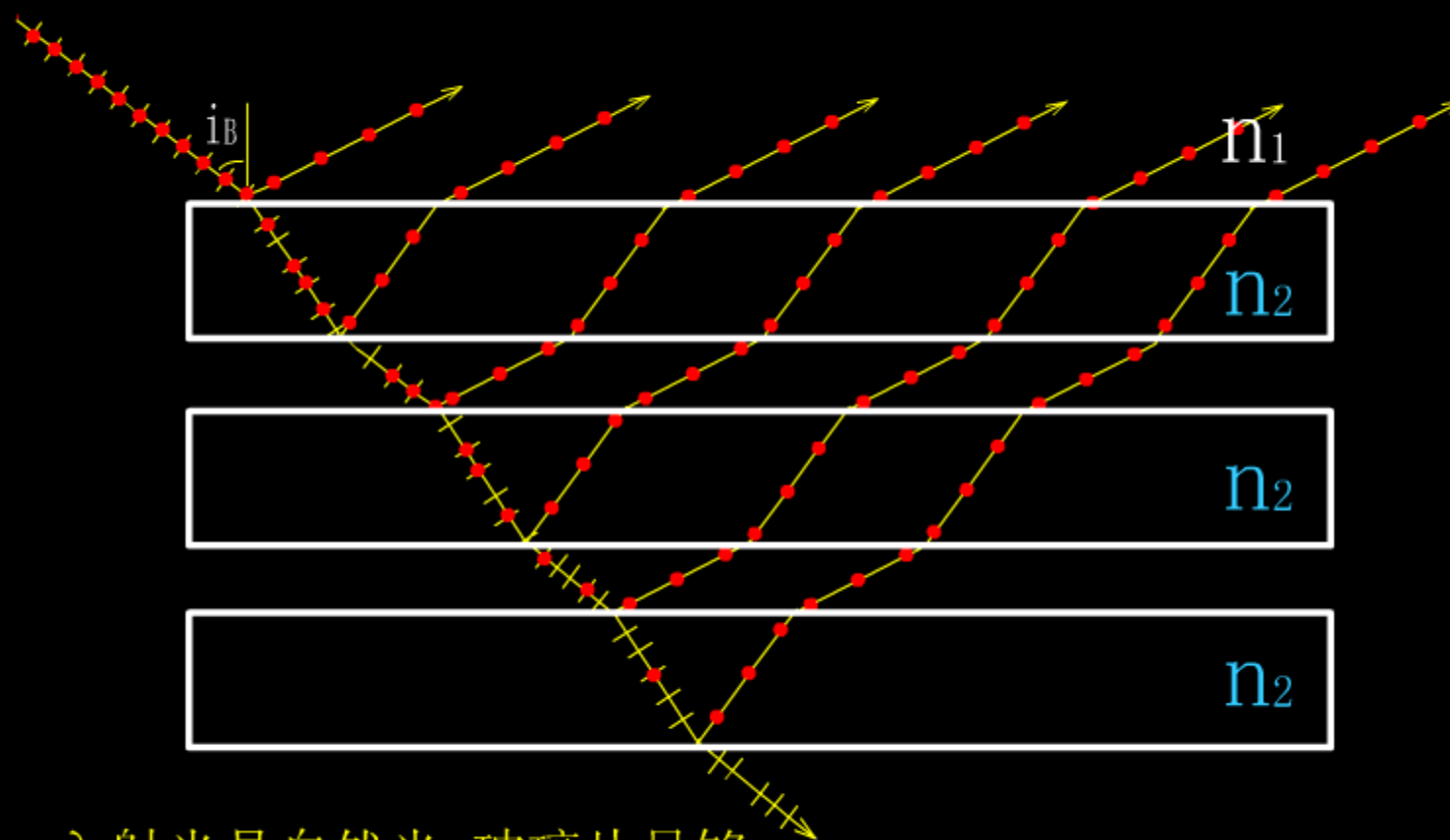


自然光以起偏角 56.3° 入射到由多层平板玻璃组成的玻璃堆上。

增强了反射光的强度；

增加了折射光的偏振程度。

玻璃片堆



入射光是自然光, 玻璃片足够多时, 透射光接近完全偏振光

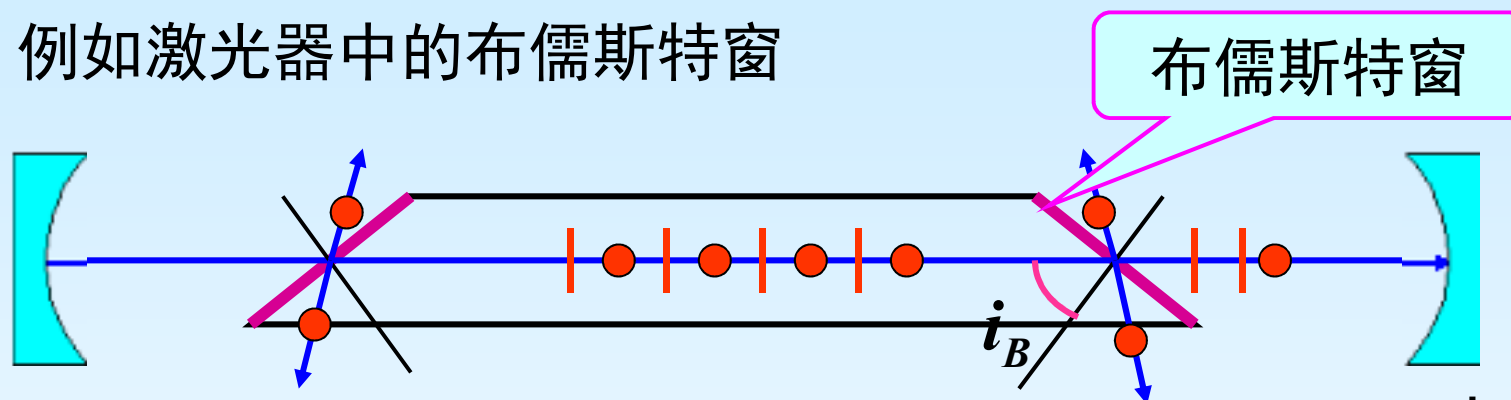


演示：玻璃堆

应用：

1^o 可由反射获得线偏振光

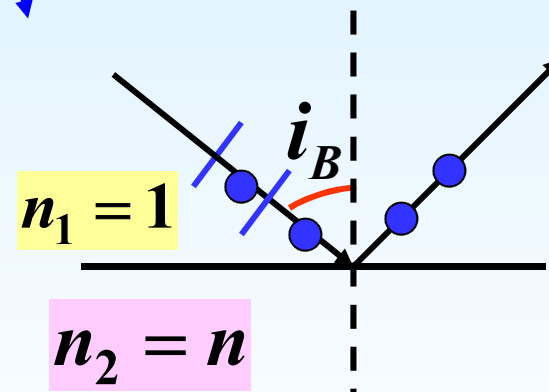
例如激光器中的布儒斯特窗



最后得到 || || || 的线偏振光

2^o 可测不透明媒质折射率

$$\operatorname{tg} i_B = n$$



3^o 若反射光是部分偏振光，

利用偏振片可消去大部分反射光（如镜头前加偏振片、偏光望远镜等）。



反射光是部分偏振光



(A)

玻璃窗上强烈的
反光



(B)

加入偏振片



(C)

加入偏振片，并
转到布儒斯特角

偏振太阳眼镜

光矢量振动方向垂直于公路

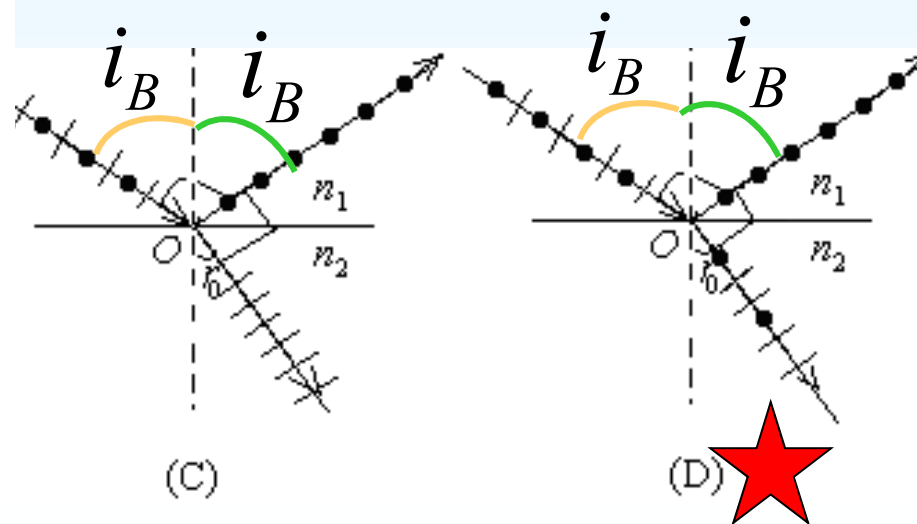
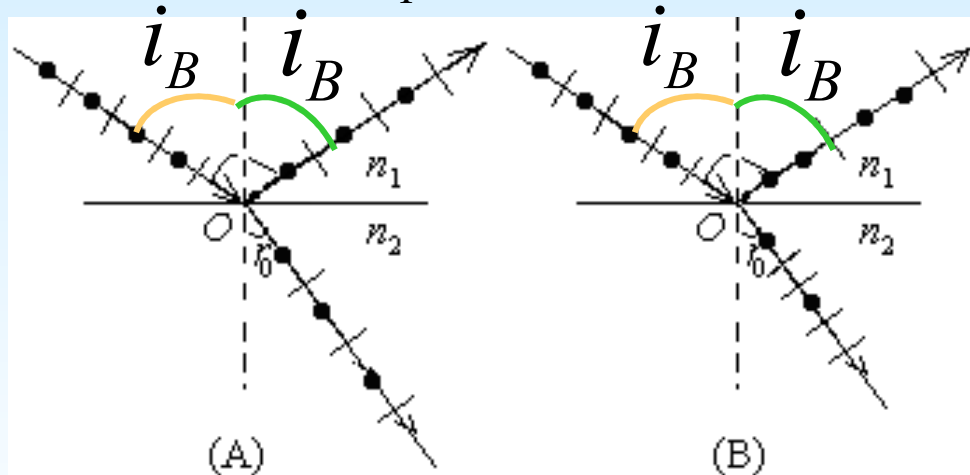


偏振太阳眼镜

光矢量
振动方向
平行于
公路



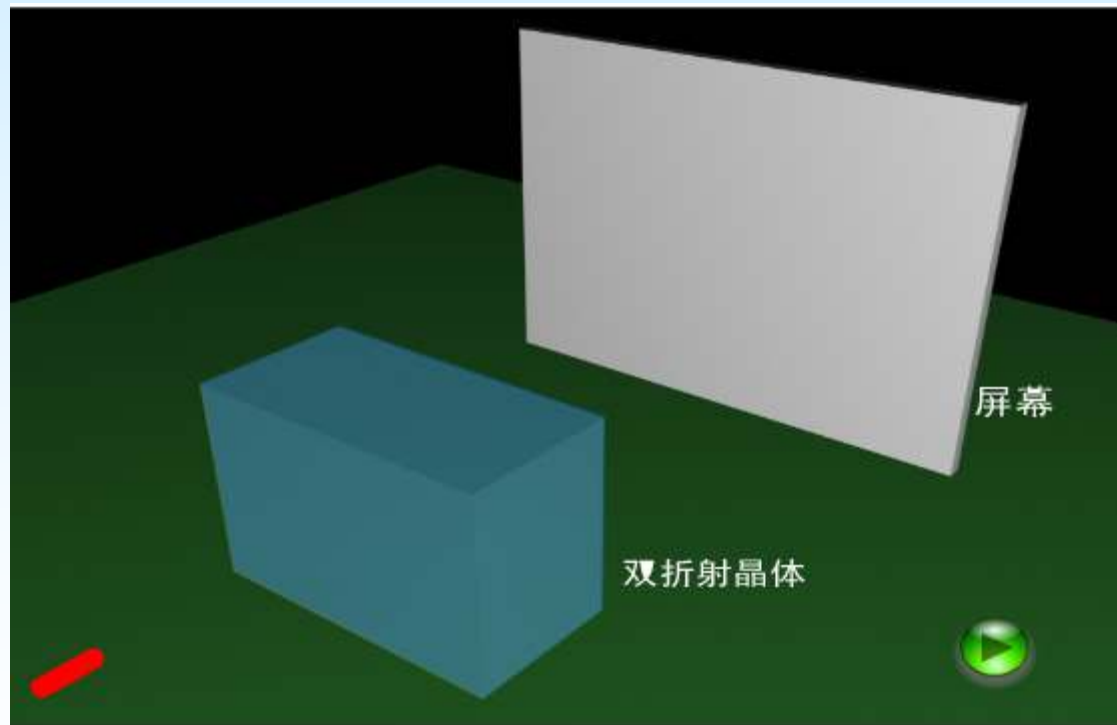
例 如图所示是一束自然光入射到折射率分别为 n_1 和 n_2 的两种介质的分界面上，若入射角等于布儒斯特角 i_B ($\tan i_B = \frac{n_2}{n_1}$)，则在下面的四个图中，正确的是



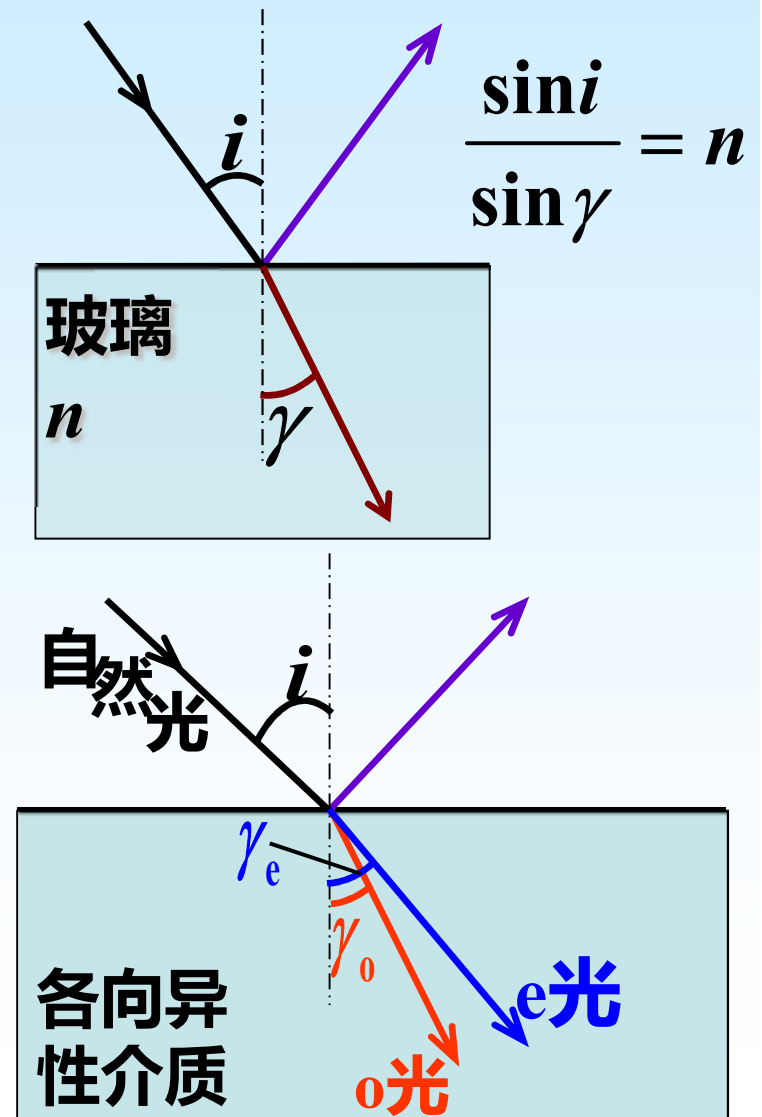
第7节 双折射

一、晶体对光的双折射现象 各向同性介质（如玻璃）

各向异性介质（如晶体）



同一束入射光折射后分成两束的现象称为**双折射**。



1. 寻常光 (o) 和非常光 (e)

o光: 折射线在入射面内。

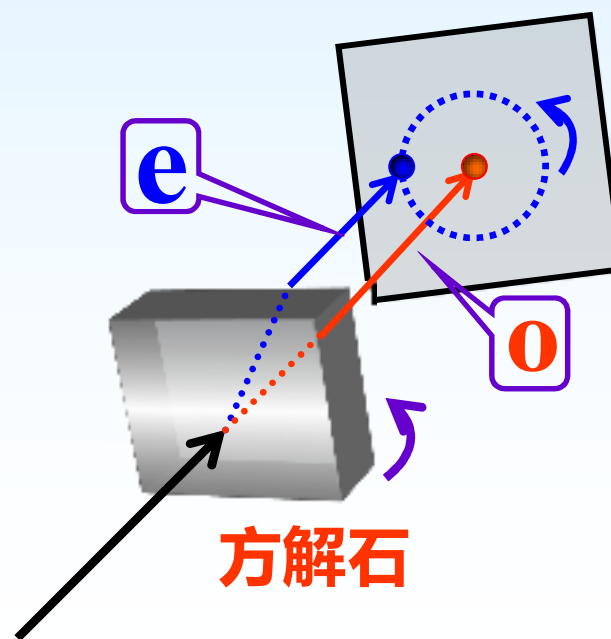
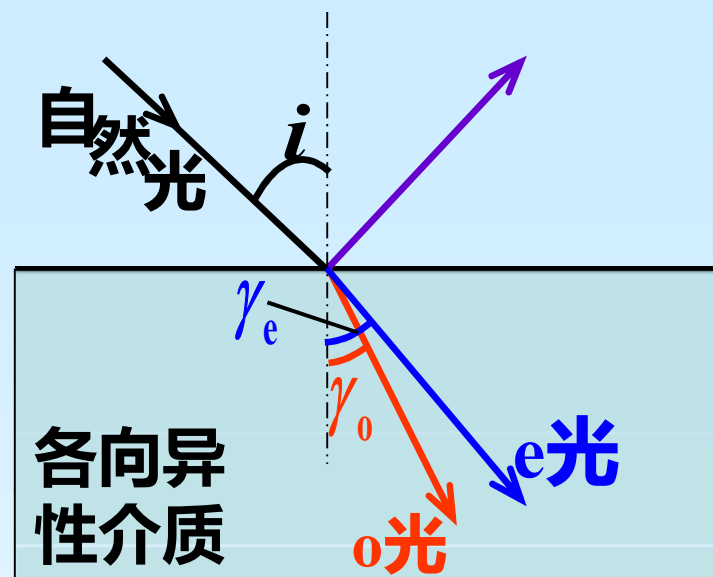
遵从折射定律: $\frac{\sin i}{\sin \gamma_o} = \frac{n_2}{n_1} = \text{const.}$

e光: 折射线一般不在入射面内。

不遵从折射定律: $\frac{\sin i}{\sin \gamma_e} \neq \text{const.}$

双折射, 是由于晶体对两光束有不同的折射率。

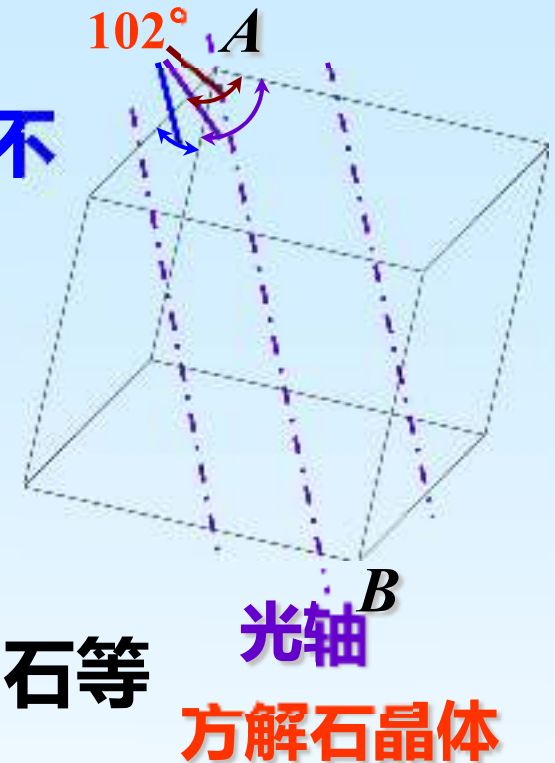
检偏器检验表明:
两出射光束都是**线偏振光**。



2. 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**。

注意：光轴是一特殊的**方向**，凡平行于此方向的直线均为**光轴**。



一般 { **单轴晶体**：只有一个光轴的晶体，
如方解石、石英、红宝石等
双轴晶体：有两个光轴的晶体，
如云母、硫磺、蓝宝石等

3. 主截面 晶体表面的法线与晶体光轴构成的平面。

入射光在**主截面**内时，两折射光均在入射面内。此时：

$\vec{E}_o \perp$ **主截面**, $\vec{E}_o \perp$ 光轴, $\vec{E}_e \parallel$ **主截面**, $\vec{E}_e \parallel$ 光轴 即 $\vec{E}_o \perp \vec{E}_e$

二、惠更斯原理对双折射的解释(了解)

1. o光和e光的子波面

o光: 各方向速度相同:

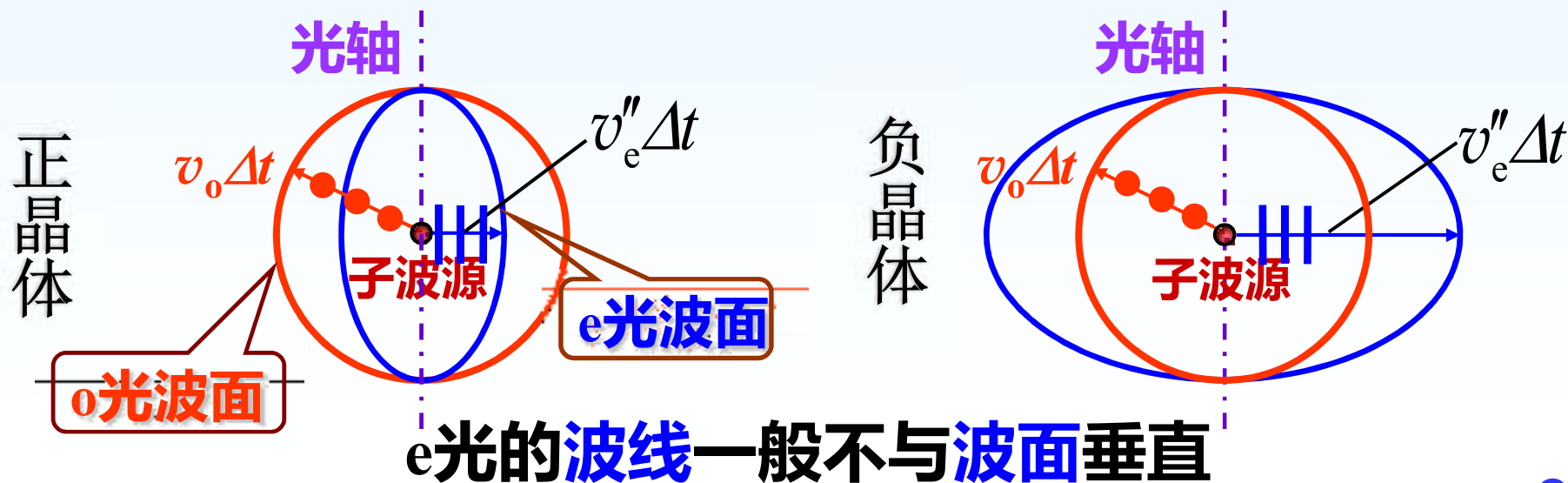
波面——**球面**

e光: 各方向速度不相同:

波面——**旋转椭球面**

平行光轴的方向上: $v'_e = v_o$ 两波面在光轴方向相切。

垂直光轴的方向上: $v''_e \neq v_o$ $\left\{ \begin{array}{l} v''_e < v_o (v_e < v_o): \text{正晶体, 如石英} \\ v''_e > v_o (v_e > v_o): \text{负晶体, 如方解石} \end{array} \right.$



2. 晶体的主折射率

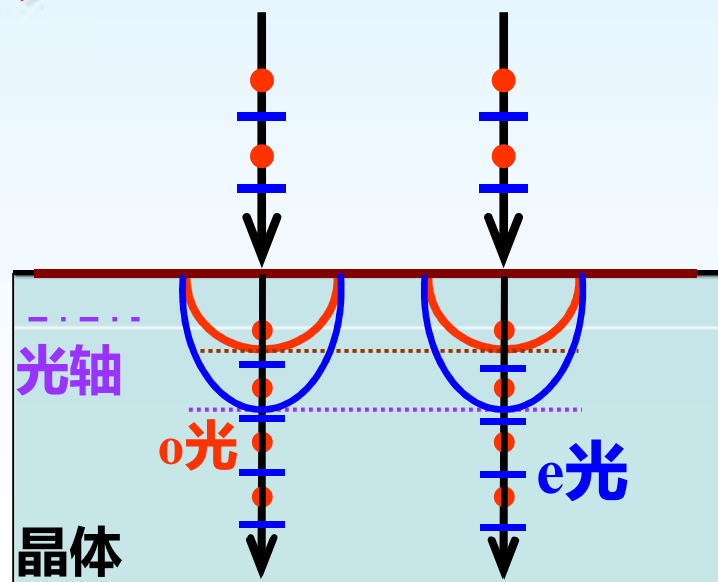
晶体对o光的折射率: $n_o = \frac{c}{v_o}$

晶体对e光的折射率: $n_e = \frac{c}{v_e''}$

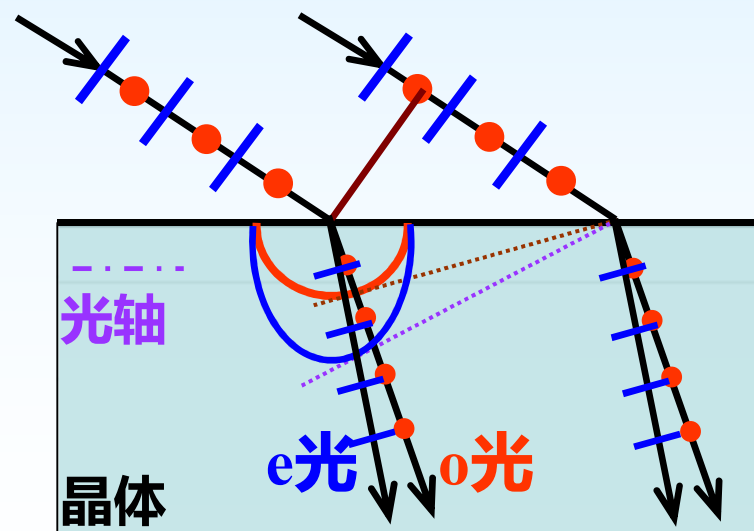
n_o, n_e 称为晶体的
主折射率

3. 惠更斯作图法 以负晶体为例 ($v_e > v_o$)

(1) 光轴平行晶体表面，自然光垂直入射与斜入射。



两光没分开但速度上是分开的



两光完全分开

(2) 光轴与晶体表面斜交，自然光垂直入射

