

同学们好



光 学

重点内容：

1. 光的偏振状态
2. 获得偏振光的方法
3. 检验偏振光的方法
4. 双折射现象的解释

光的偏振

起偏

检偏

双折射

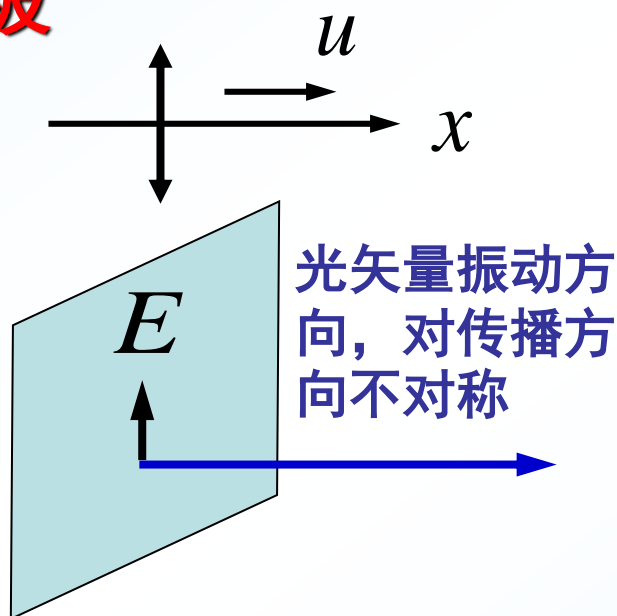
偏振光与自然光

光波： 特定频率范围内的电磁波.

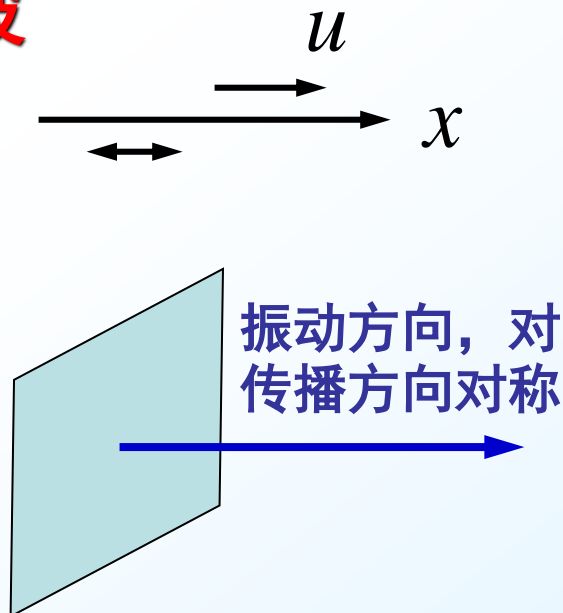
光矢量(light vector): 电磁波的电场强度 \vec{E} 矢量.

电磁波是横波, 光矢量振动方向与光传播方向垂直.

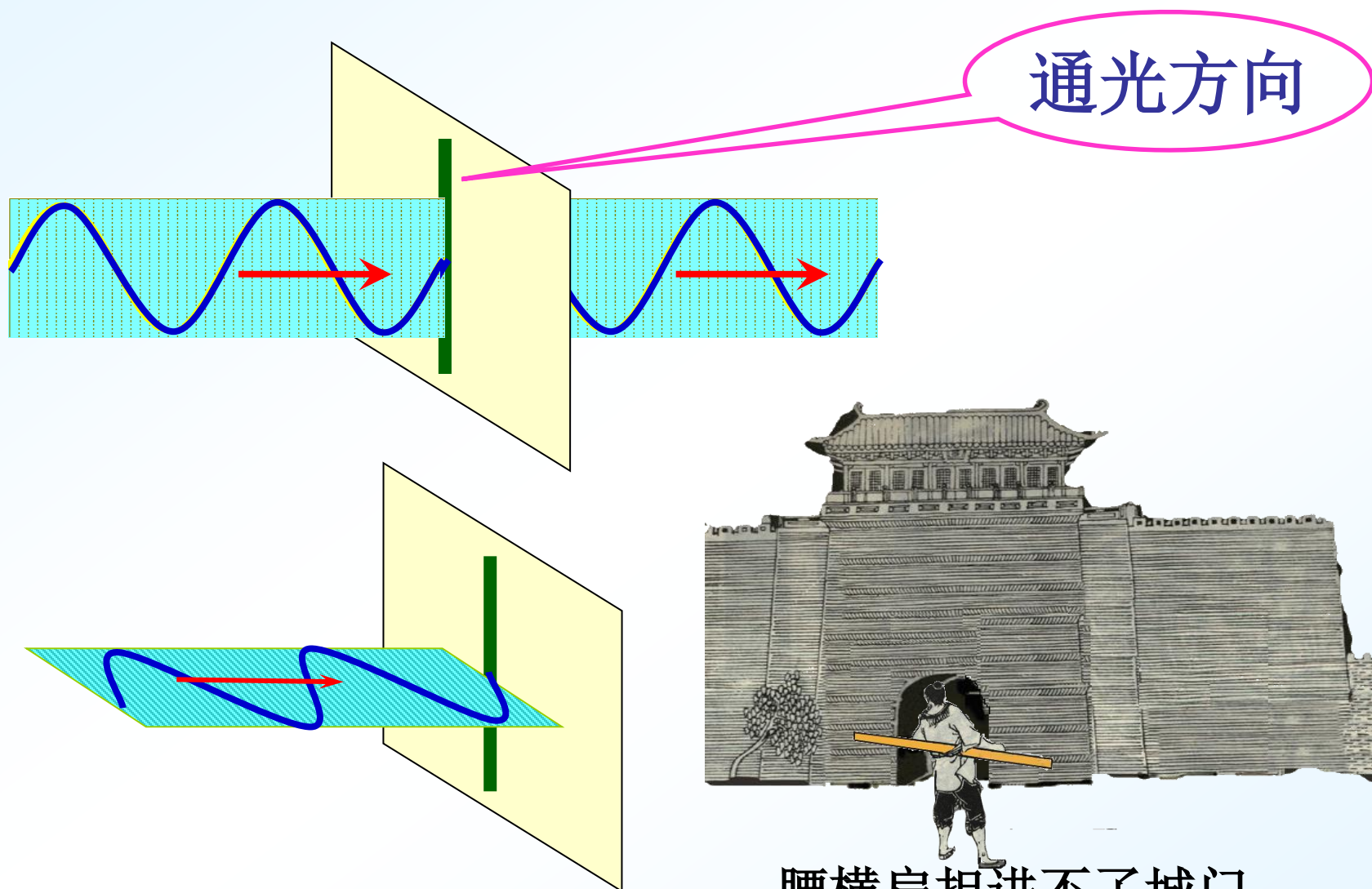
横波



纵波

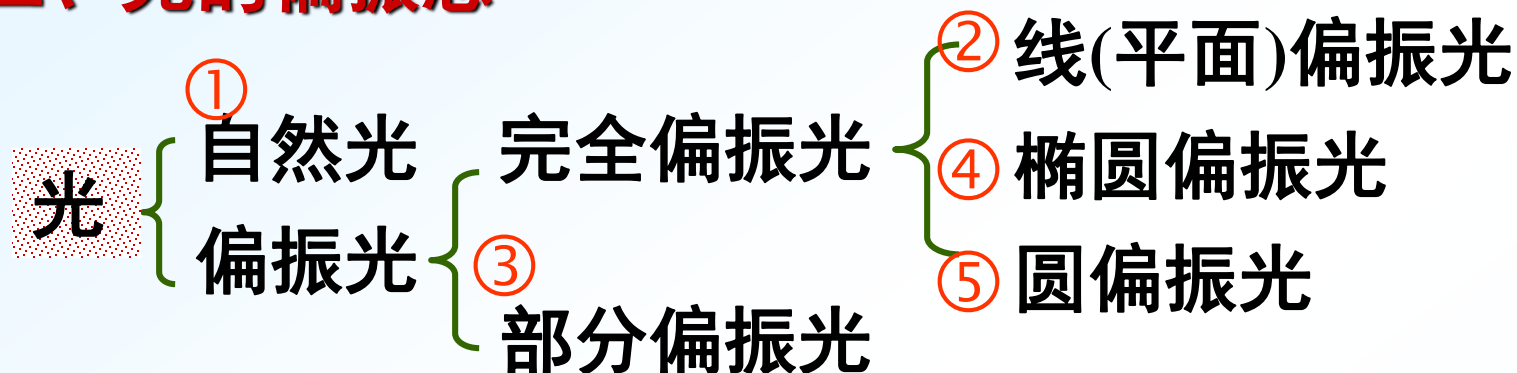


横波有偏振(polarization) 现象 纵波无偏振问题



腰横扁担进不了城门

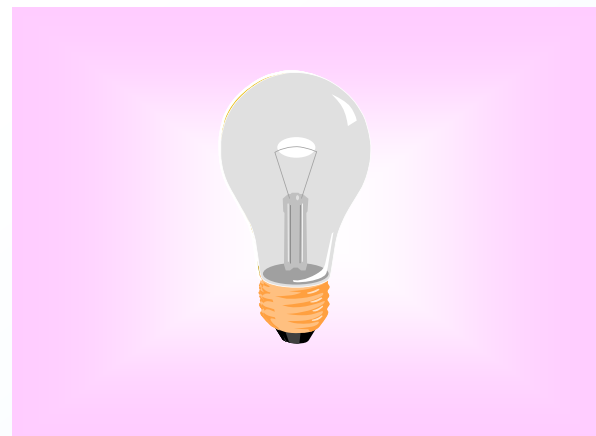
二、光的偏振态



1. 自然光

普通光源发光：

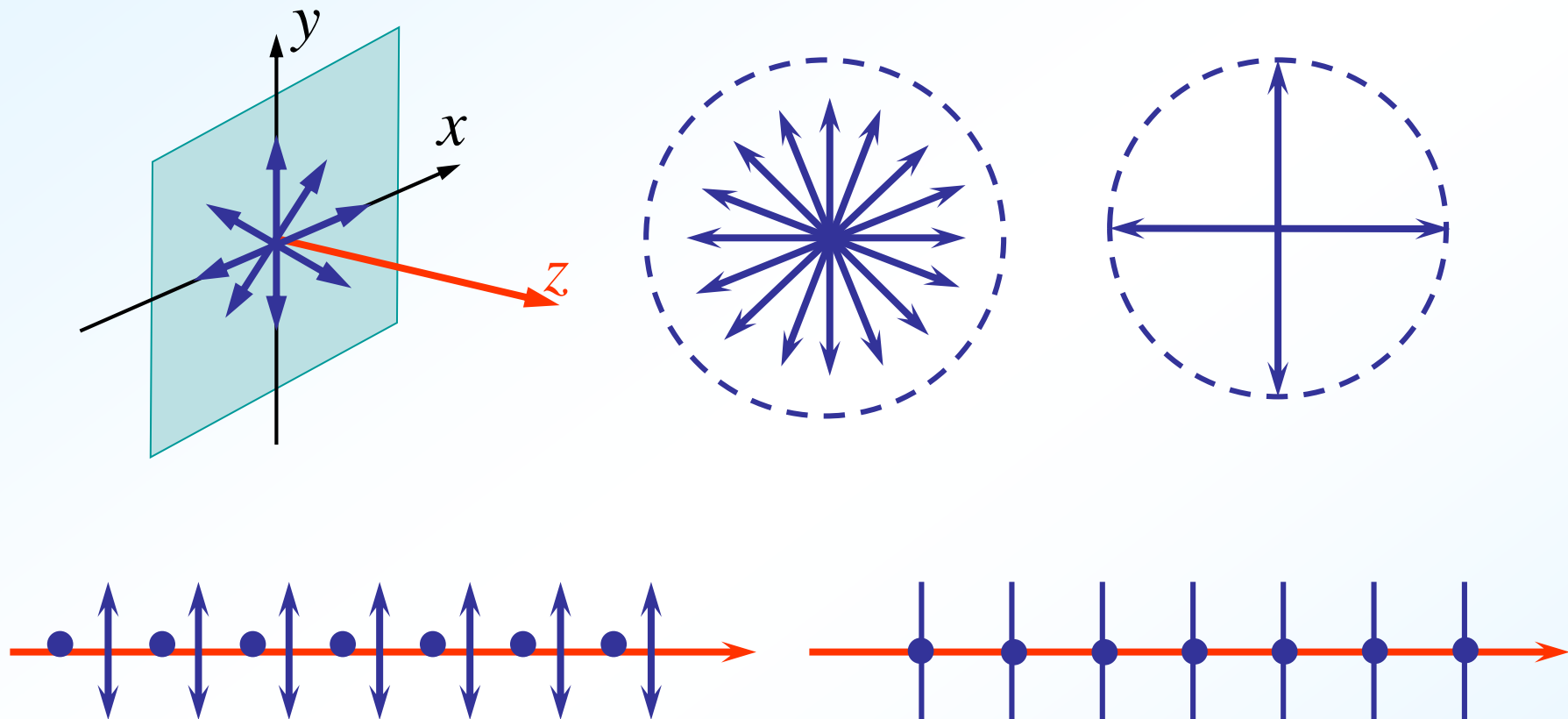
每个光波列：横波 — 偏振光



一束光：由于光振动方向的随机性，统计结果显示，各种取向的光矢量振幅相等。

光矢量对传播方向均匀对称分布 — 非偏振。

正交分解：

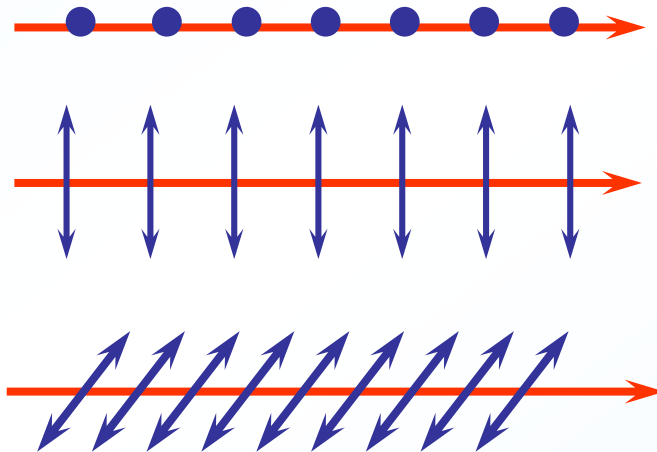
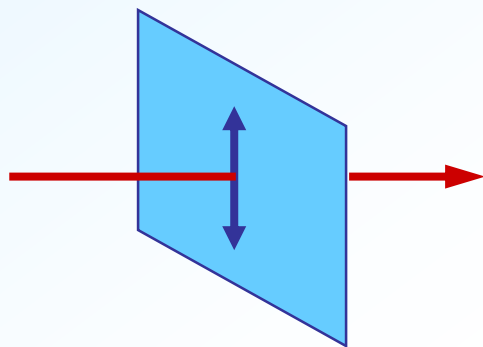


一对互相垂直, 互相独立, 振幅相等的光振动

↓
无固定相位差, 非相干叠加

2. 线(平面)偏振光

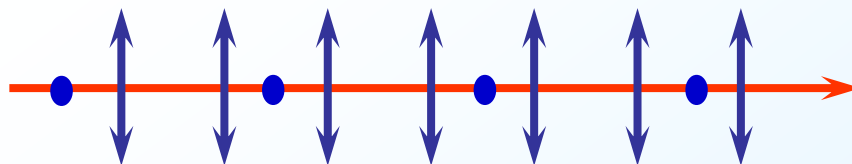
光振动只有一个确定方向



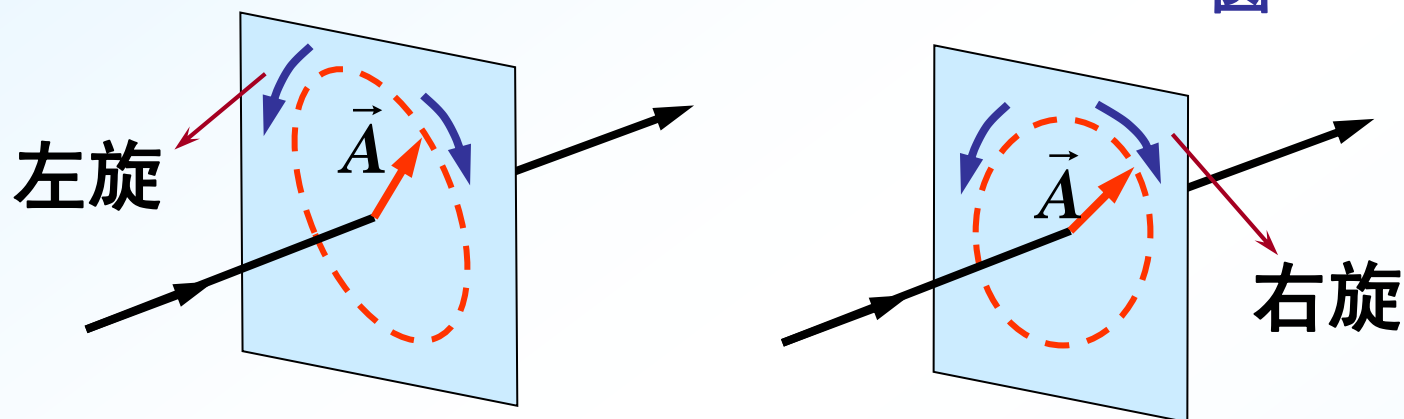
线偏振光：一束光的光矢量只沿含一个确定的方向振动, 叫做线偏振光, 简称偏振光.

振动面：光振动方向与传播方向所确定的那平面.

3. 部分偏振光



4. 椭圆偏振光
5. 圆偏振光
- 光矢量旋转，
其端点轨迹为截面是 **椭圆** 的螺旋线



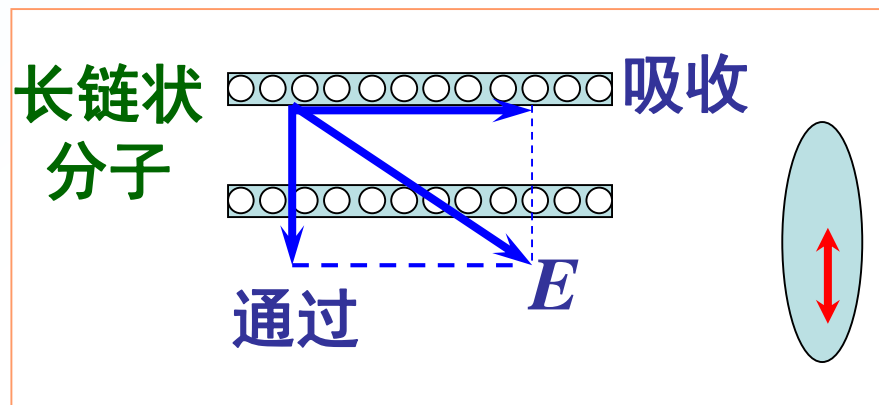
如何产生偏振光？如何检验光的偏振状态？

- (1) 晶体的二向色性
- (2) 自然光在媒质界面上的折射和反射
- (3) 晶体的双折射
- (4) 激光

马吕斯定律

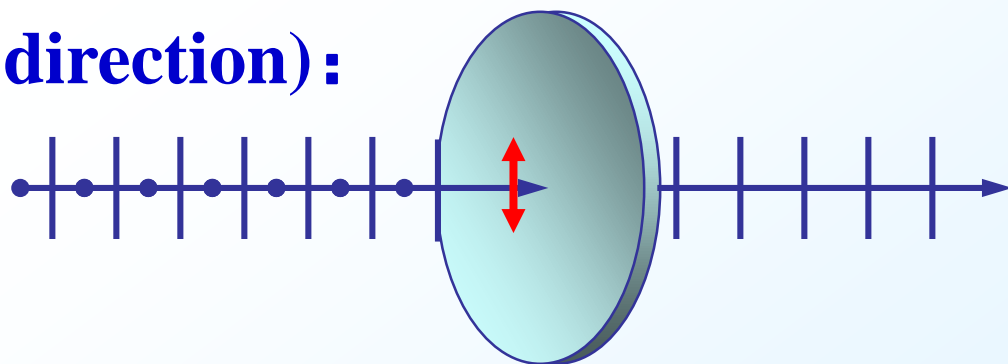
一、偏振片的起偏和检偏

偏振片(polaroid): 能吸收某一方向的光振动, 而只让与之垂直方向上的光振动通过的一种薄片(二向色性的晶体, 如电气石).

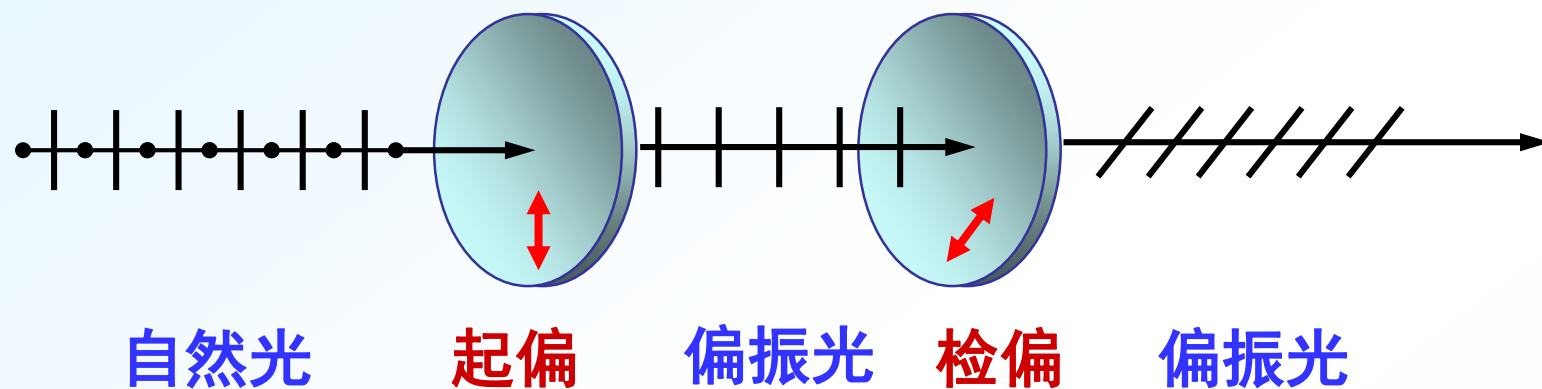


偏振化方向(polarizing direction):

允许通过的光
振动方向.



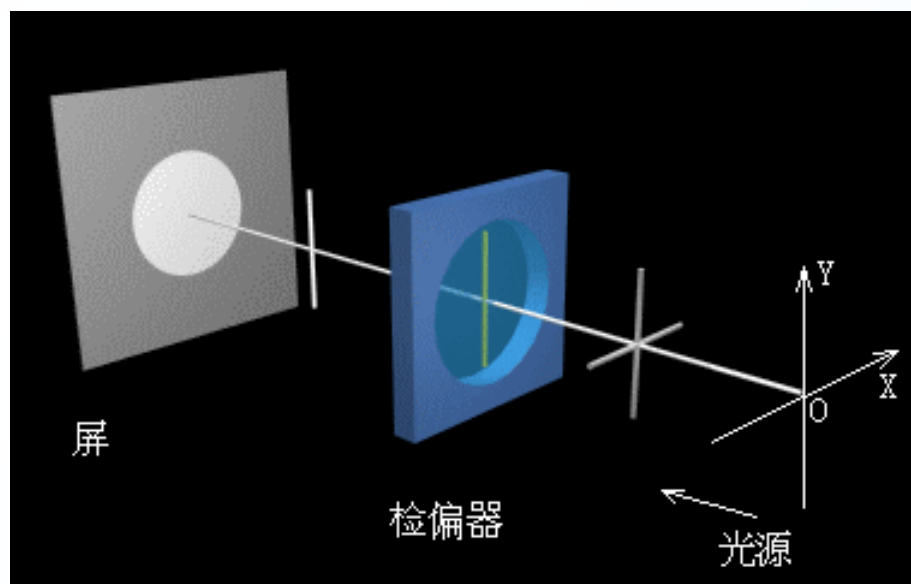
偏振片的用途: “起偏” 和 “检偏”

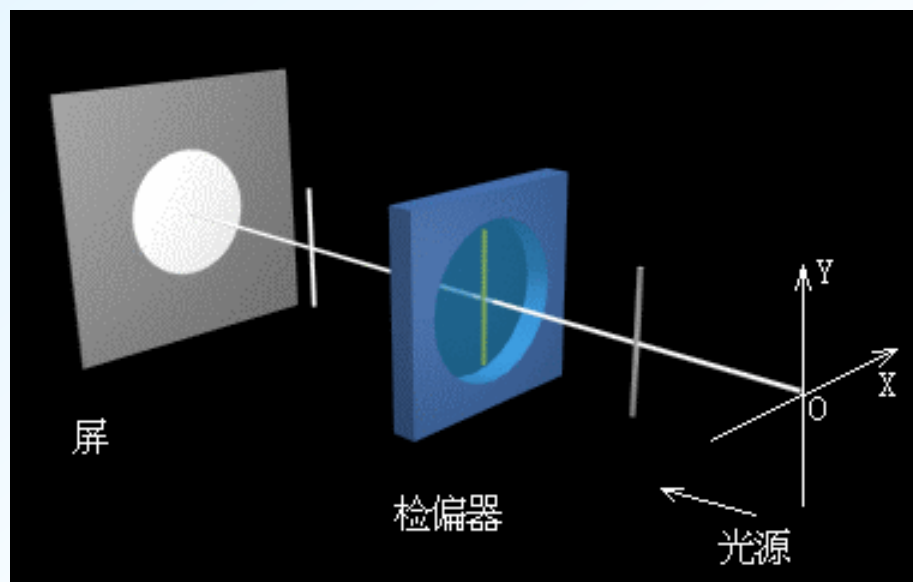


(1) 自然光强 I_0
→ 线偏振光强：

$$I = \frac{I_0}{2}$$

透射光强不变，
无消光



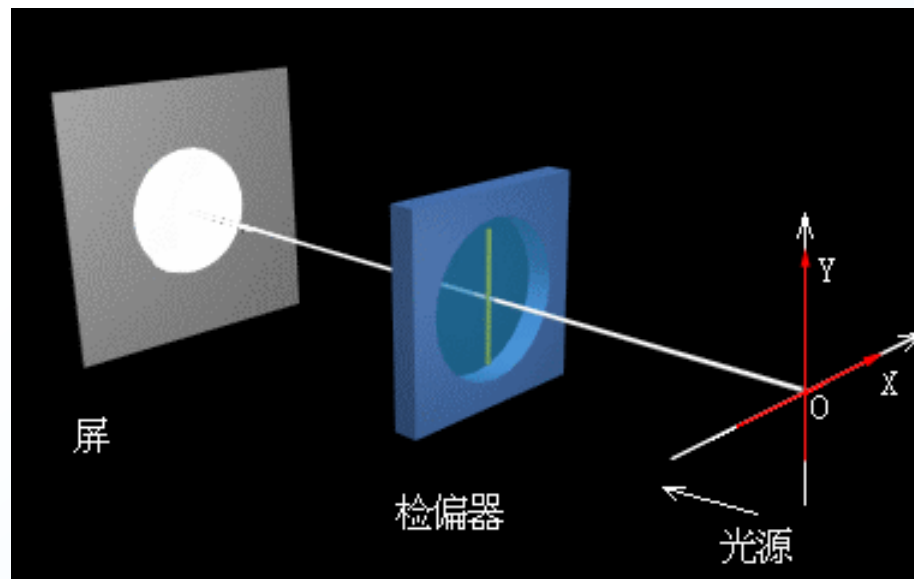


(2) 线偏振光强 I_0
→ 线偏振光

有两次消光现象

(3) 部分偏振光(混合)
→ 线偏振光

有两次极大极小

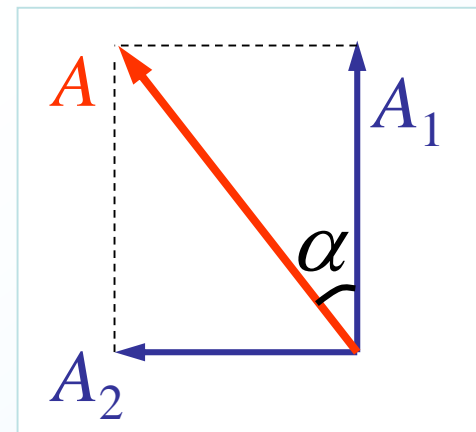
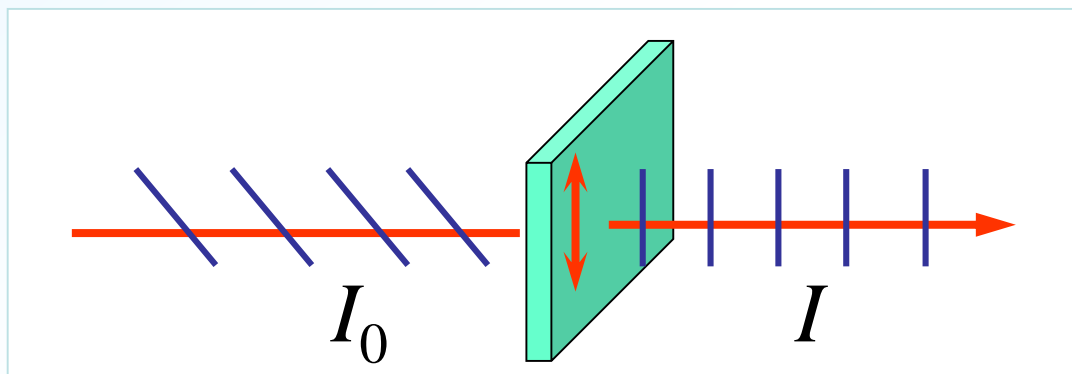


二、马吕斯定律(Malus law) —— 光强度变化规律

自然光入射 I_0 $\xrightarrow{\text{偏振片}}$ $I = \frac{1}{2} I_0$

线偏振光入射 I_0 $\xrightarrow{\text{偏振片}}$ $I = I_0 \cos^2 \alpha$

α : 光振动方向与偏振片偏振化方向的夹角



$$A_1 = A \cos \alpha \quad \frac{I}{I_0} = \frac{A_1^2}{A^2} = \cos^2 \alpha$$

部分偏振光入射：自然光与线偏振光叠加

练习

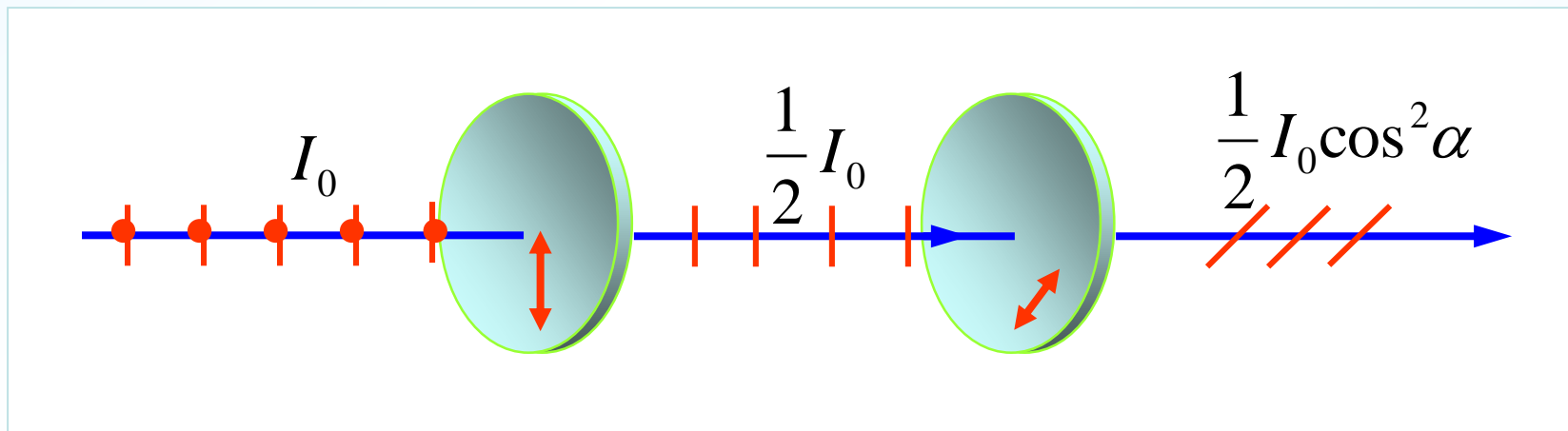
1) 一束光强为 I_0 的自然光通过两个偏振化方向成 60° 的偏振片后, 光强为

① $\frac{1}{2} I_0$

② $\frac{1}{4} I_0$

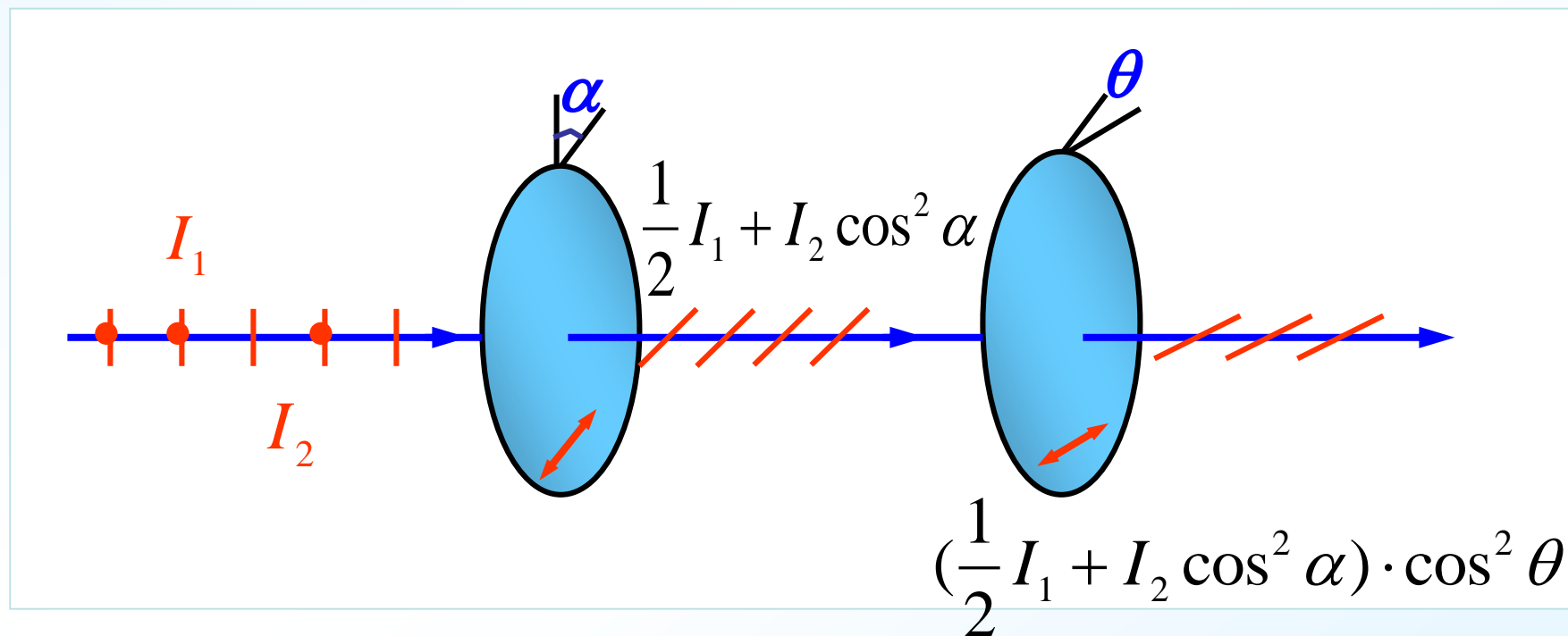
③ $\frac{1}{8} I_0$

④ $\frac{1}{16} I_0$



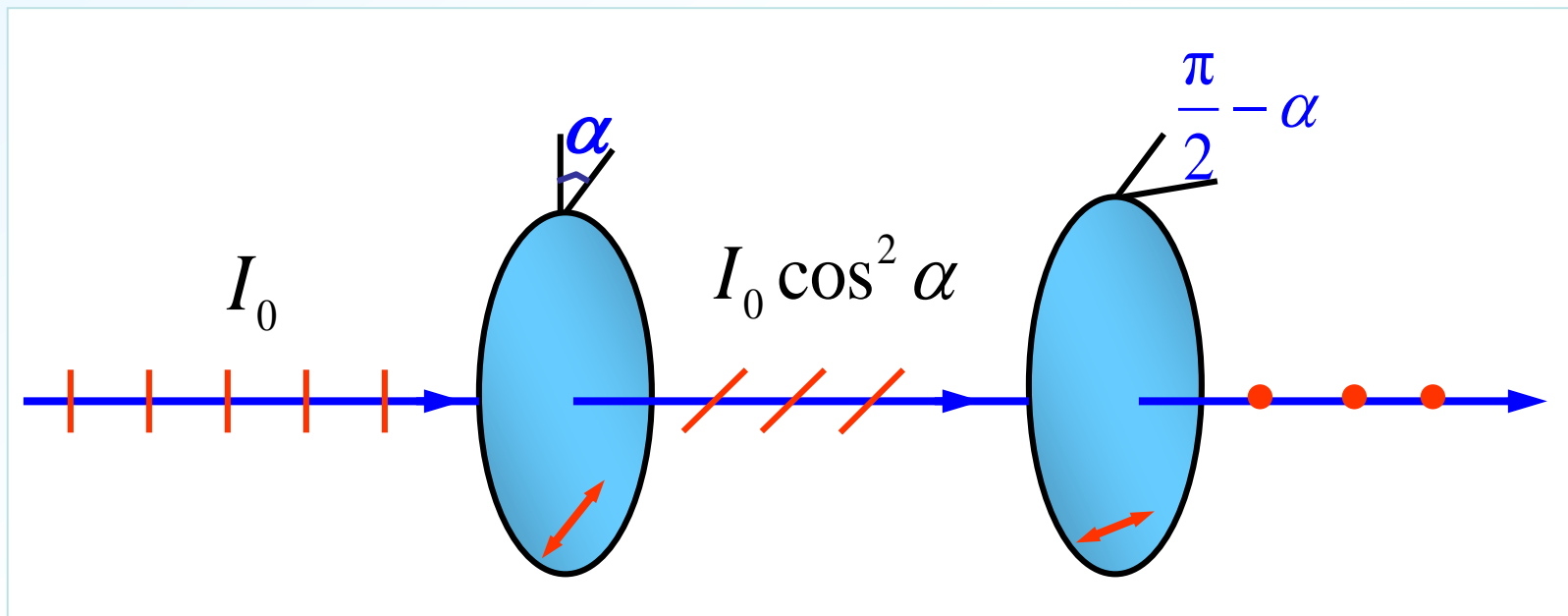
$$\frac{1}{2} I_0 \cos^2 \alpha = \frac{1}{2} I_0 \cdot \cos^2 60^\circ = \frac{1}{8} I_0$$

2) 一束部分偏振光可视为由强度为 I_1 的自然光和强度为 I_2 的竖直振动的线偏振光组成，让它连续通过偏振片 P_1 、 P_2 ，其中 P_1 的偏振化方向竖直偏转 α 角， P_2 再偏转 θ 角，求出射光的强度。



3) 要让一束线偏振光的振动方向旋转 90° 至少要几块偏振片？如何放置？

至少两块偏振片，如图放置：

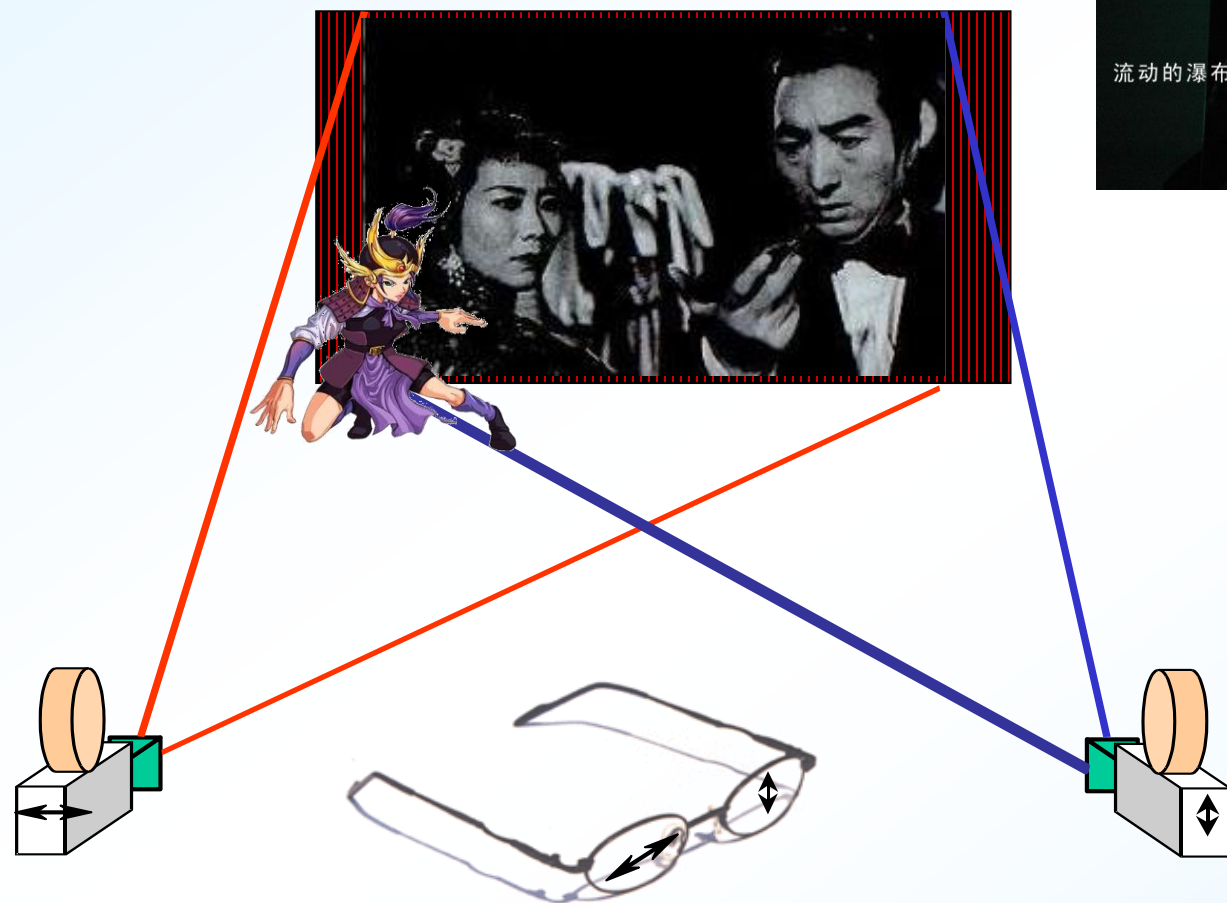


$$I_0 \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) = I_0 \cos^2 \alpha \cdot \sin^2 \alpha = \frac{1}{4} I_0 \sin^2 2\alpha$$

当 $\alpha = 45^\circ$ 时，出射光强最大： $\frac{1}{4} I_0$

三、偏振片的应用

立体电影



流水画



小 结

光的偏振态

① 自然光

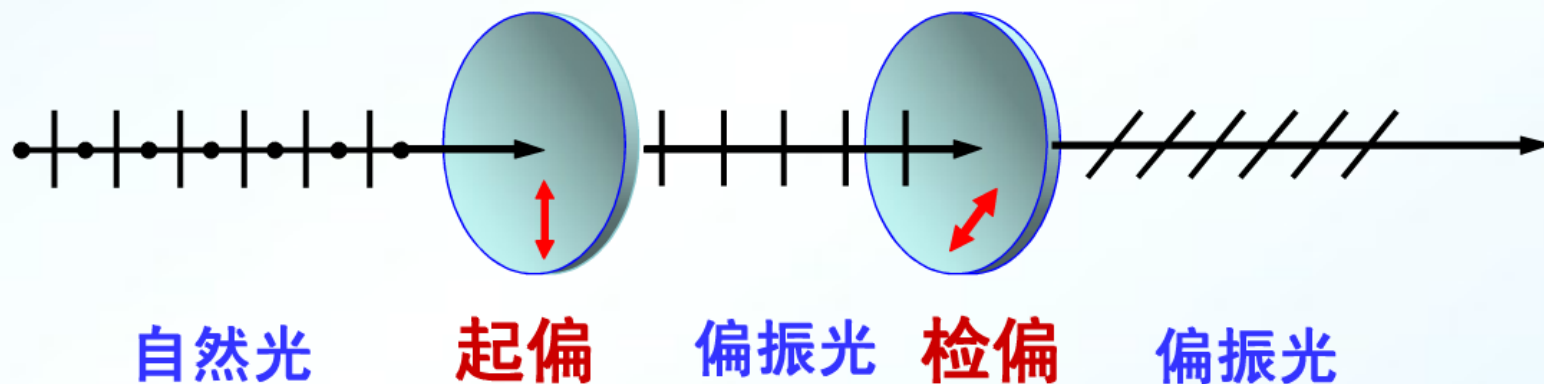
② 线(平面)偏振光

③ 部分偏振光

④ 椭圆偏振光

⑤ 圆偏振光

透射光的起偏和检偏



马吕斯定律(Malus law) —— 光强度变化规律

$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

反射和折射时的偏振

一、反射起偏

1. 一般情况下得部分偏振光

自然光入射 $\left\{ \begin{array}{l} \text{反射光 } \perp > \parallel \\ \text{折射光 } \parallel > \perp \end{array} \right.$

垂直分量与平行分量比例随 i 变

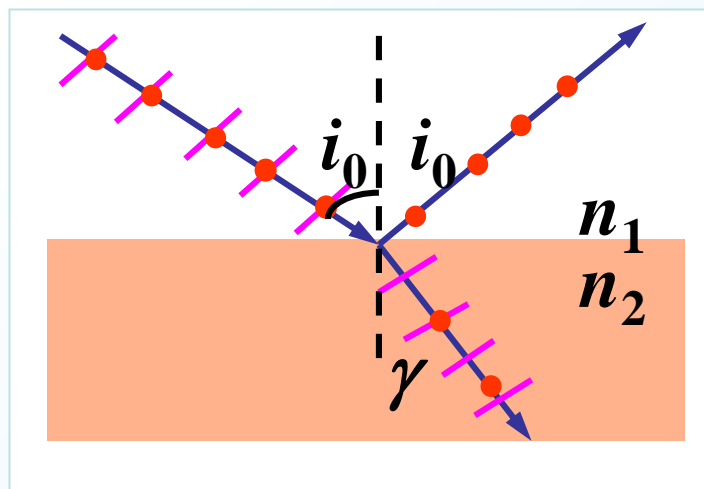
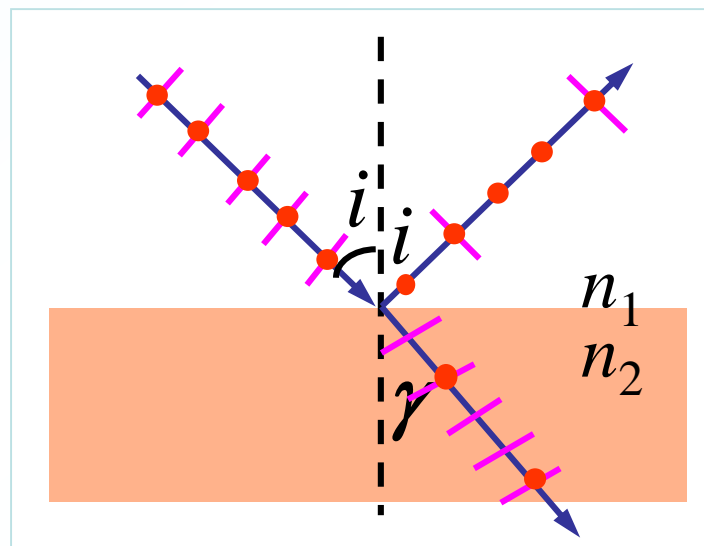
2. 当入射角 i_0 满足

$$i = i_0 = \arctan \frac{n_2}{n_1} \text{ 时}$$

反射光为线偏振光(\perp)

折射光仍为部分偏振光 ($\parallel > \perp$)

注意： \parallel : 只折射不反射 \perp : 又反射又折射



i_0 :布儒斯特角(起偏振角)

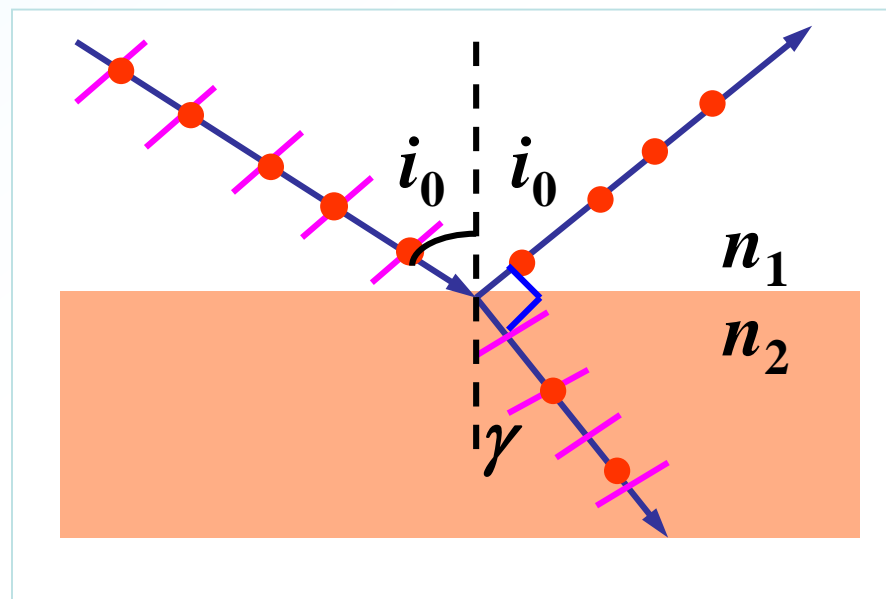
$$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$$

布儒斯特定律

由

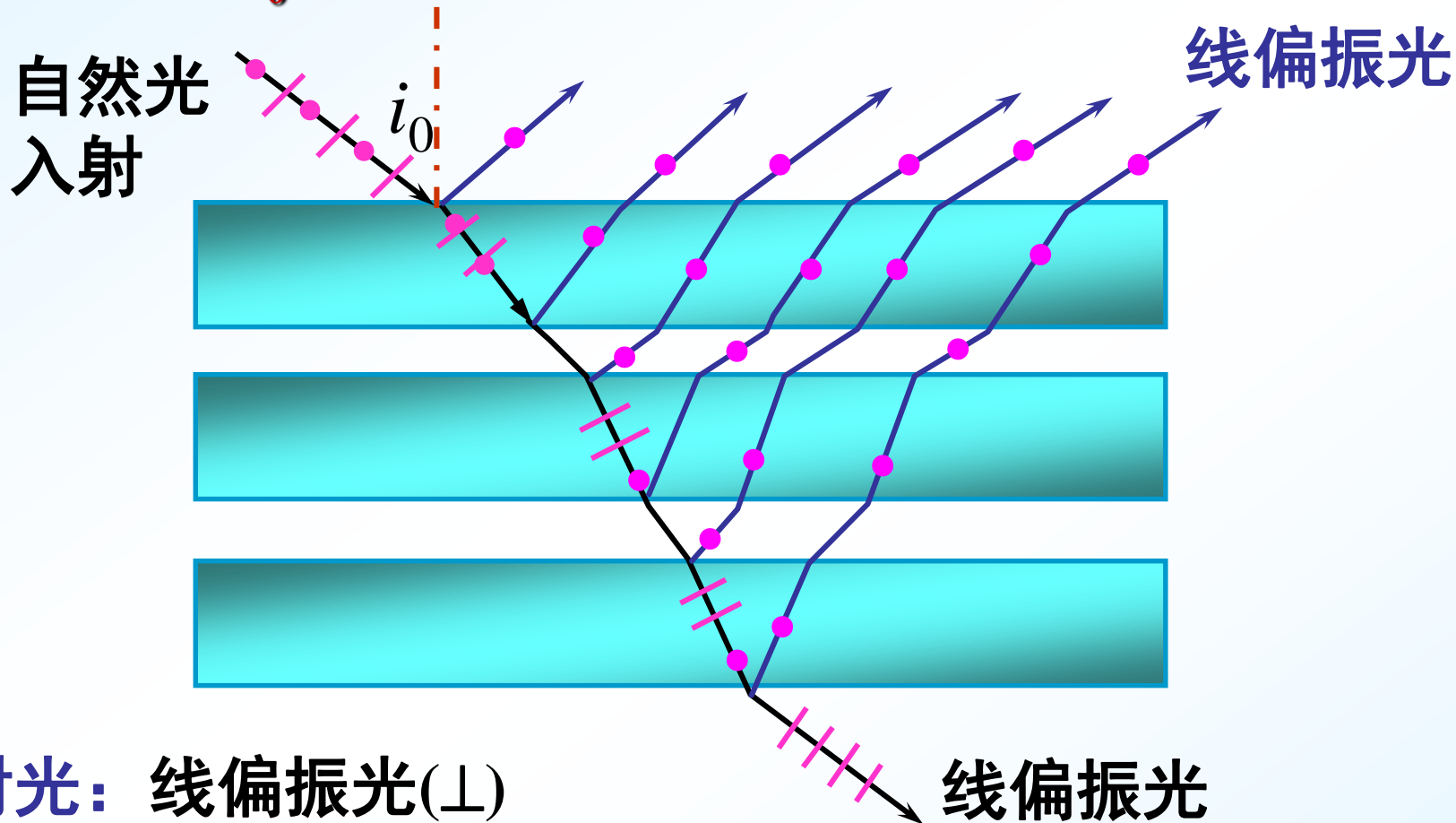
$$\left. \begin{aligned} \tan i_0 &= \frac{n_2}{n_1} \\ \frac{\sin i_0}{\sin \gamma} &= \frac{n_2}{n_1} \end{aligned} \right\} \cos i_0 = \sin \gamma$$

$$i_0 + \gamma = \frac{\pi}{2}$$



反射线与折射线垂直

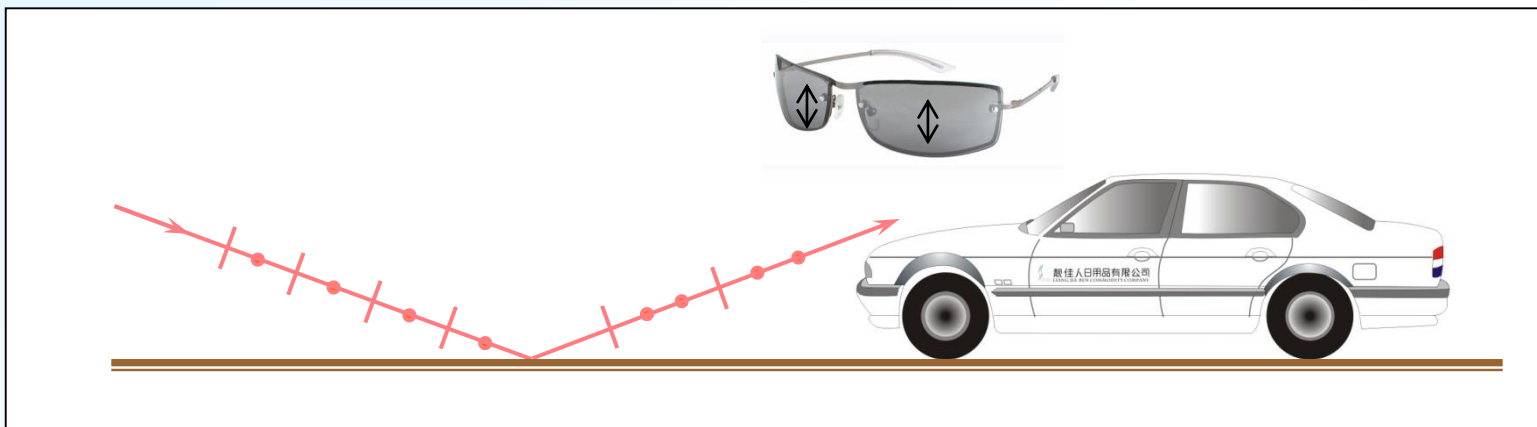
二、光以 $i = i_0$ 角入射, 通过玻璃片堆折射起偏



反射光: 线偏振光(\perp)

折射光: 近似线偏振光(\parallel)

(垂直振动成分一次次被反射掉)



驾驶员戴上偏振太阳镜可以防止马路反射光的炫目。



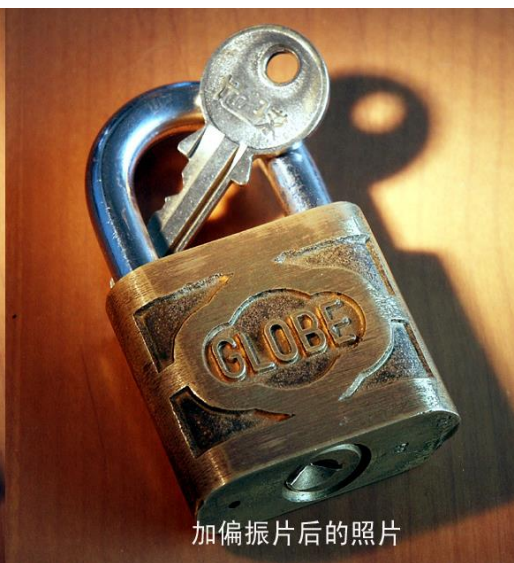
照相机安上偏振镜可以产生不同的效果, 看出来了吗?



用偏光镜**消除**了反射偏振光, 使玻璃门内的人物清晰可见.

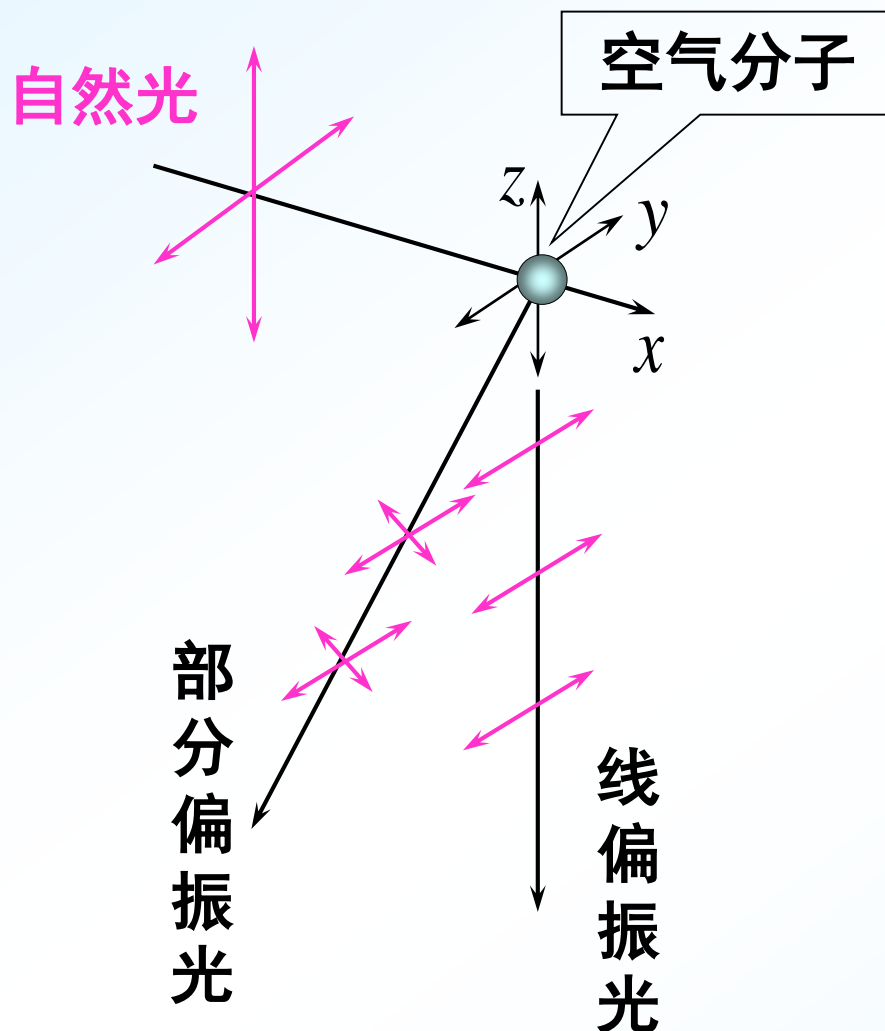


一般情况下的照相



加偏振片后的照片

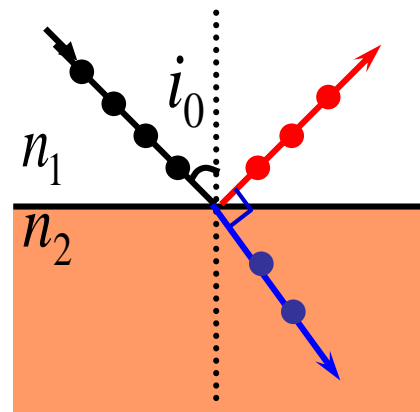
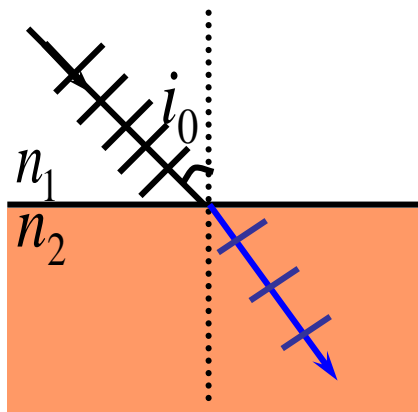
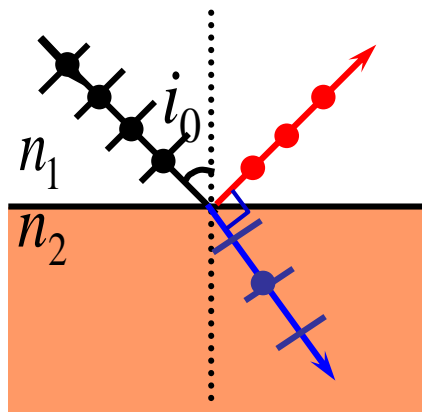
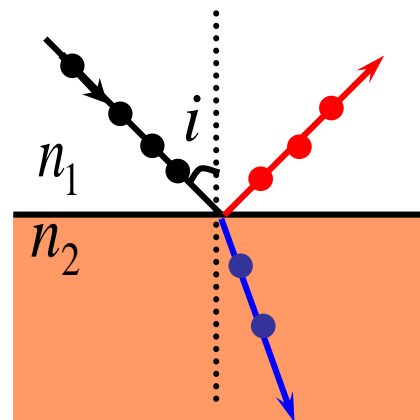
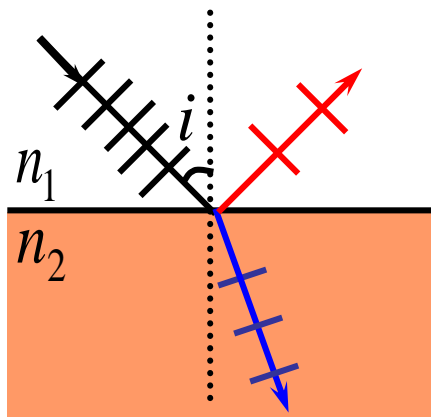
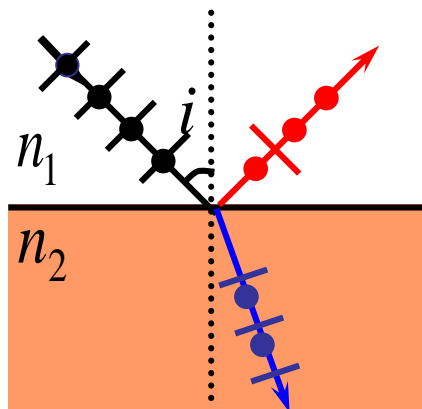
散射光的偏振性



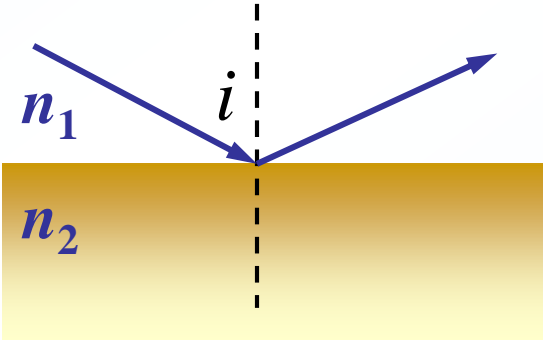
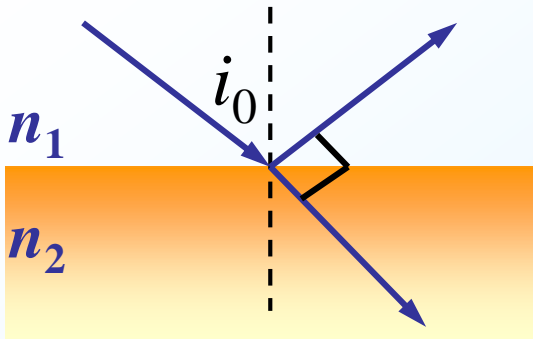
照相机按上偏振镜可以产生不同的效果

练习

$$1) \quad i \neq i_0 \quad i_0 = \arctg \frac{n_2}{n_1}$$

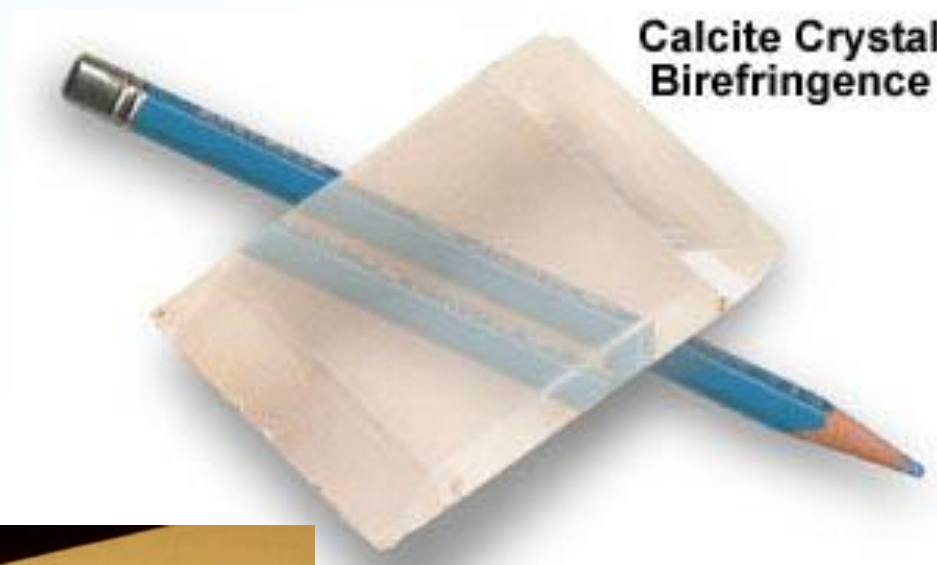


2) 试比较起偏角与全反射临界角

	条件	关系式	现象
全反射	光密→光疏 $i \geq i_0$	$\sin i_0 = \frac{n_2}{n_1}$ 临界角	 <p>无折射线</p>
起偏振	光密 ↔ 光疏 $i = i_0$	$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$ 布鲁斯特角	 <p>折射线与反射线垂直</p>

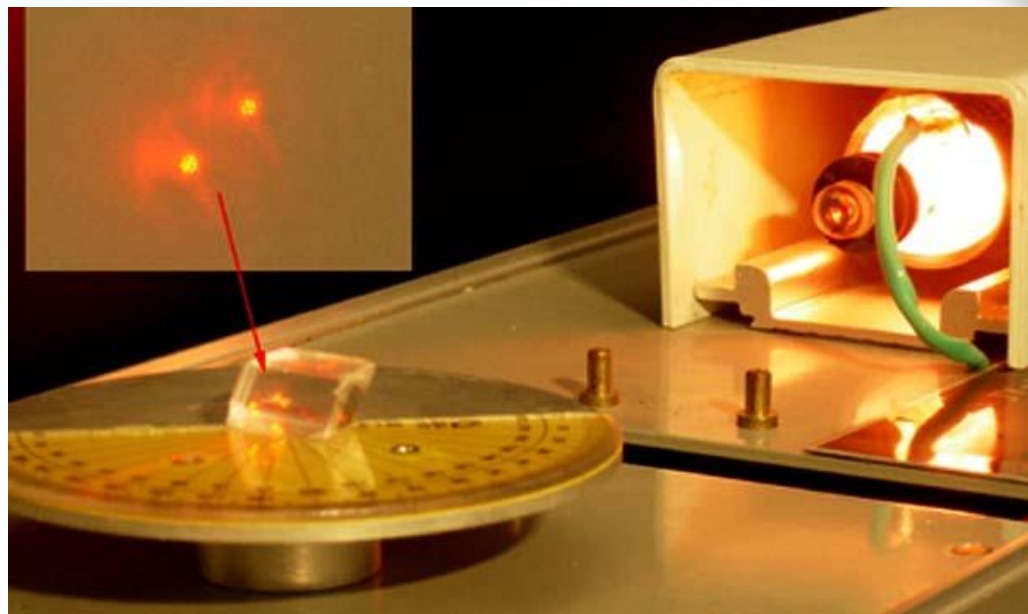
双折射现象

方解石晶体(CaCO_3)
的双折射现象



双折射现象：

一束光进入某种晶体后会出现两束折射光的现象。

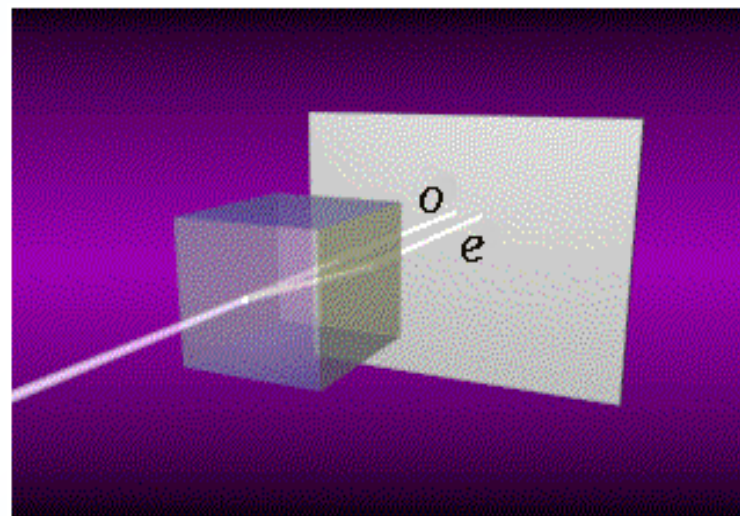


寻常光线(o光) (ray) : 恒遵守通常折射定律的光线.
ordinary

非常光线(e光) (extraordinary ray): 非恒遵守通常折射定律的光线.

检偏器检验表明:

o光和e光都是线偏振光。



原因: 晶体(CaCO_3) 各向异性

在各方向传播速率 u_o 相同 $n_o = \frac{c}{u_o} = \text{恒量}$

在不同方向上 u_e 不相同 $n_e = \frac{c}{u_e} \neq \text{恒量}$

二、几个重要概念

1. 晶体的光轴

晶体内 $u_o = u_e$ 的特殊方向

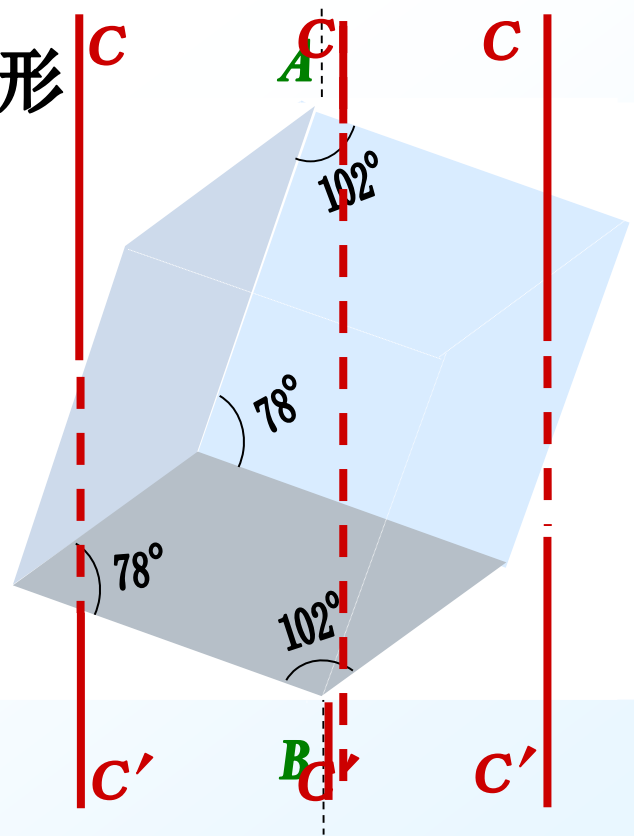
单轴晶体
双轴晶体

方解石 (碳酸钙晶体)

结构: 形状为平行六面体 各晶面为菱形
一对约 102° 的钝角 一对约 78° 的锐角
菱体的四对顶点中 **只有一对顶点是由三个钝角面会合而成** (图中 **A**、**B**)

通过**A**或**B**, 并与三个会合钝角的边成等角的直线方向, 就是方解石晶体的**光轴方向**.

与此平行通过晶体的直线都是光轴方向.



沿解理面截取的
等棱长的方解石菱块

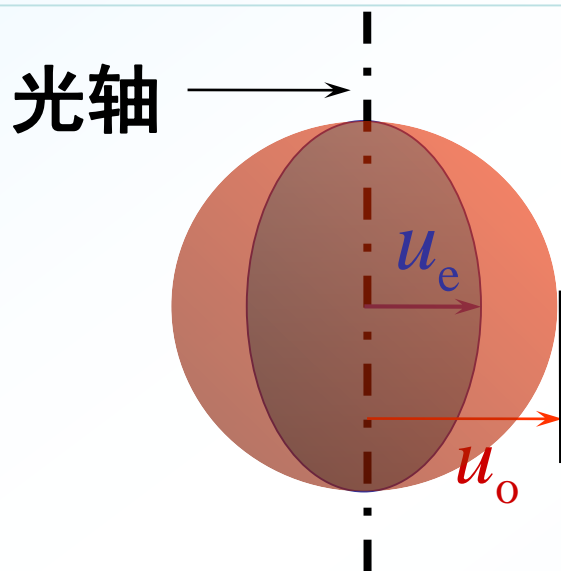
2. 正晶体和负晶体

主折射率 $n_o = \frac{c}{u_o}$ $n_e = \frac{c}{u_e}$

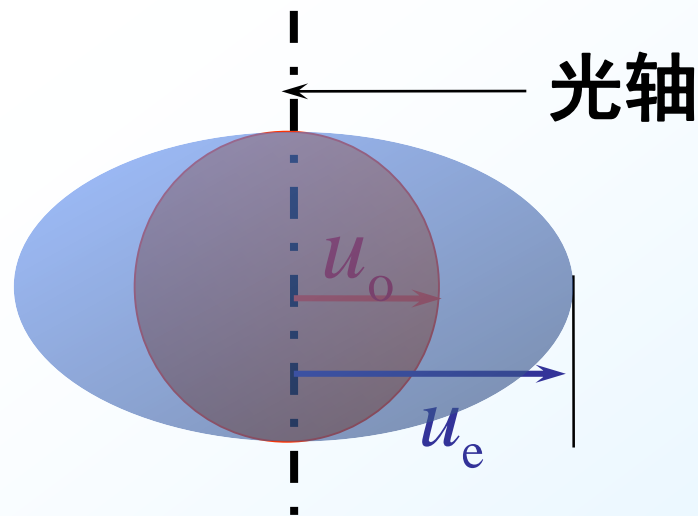
o光波面：球面

e光波面：椭球面

光轴方向相切
($u_o = u_e$)



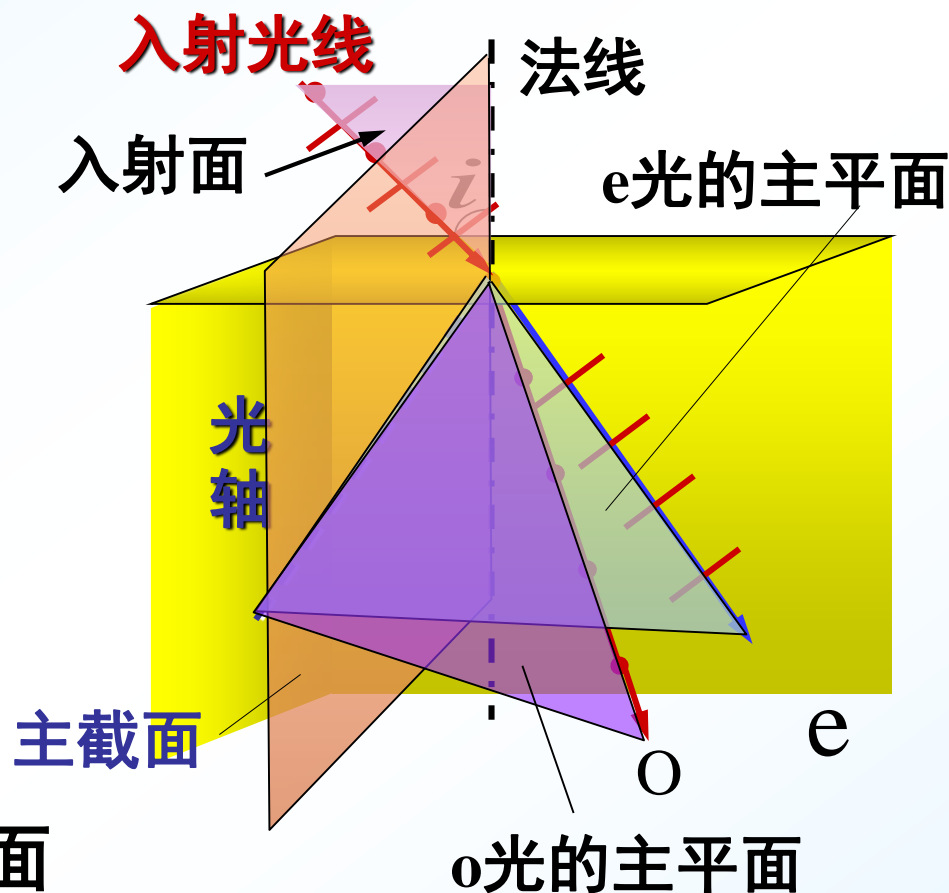
正晶体 $u_o > u_e$ $n_o < n_e$



负晶体 $u_o < u_e$ $n_o > n_e$

3. 晶体的主截面

光轴与晶面法线组成的平面. 入射线在主截面内时, 两条折射线均在主截面内.



4. 光线的主平面

折射光与光轴构成的平面

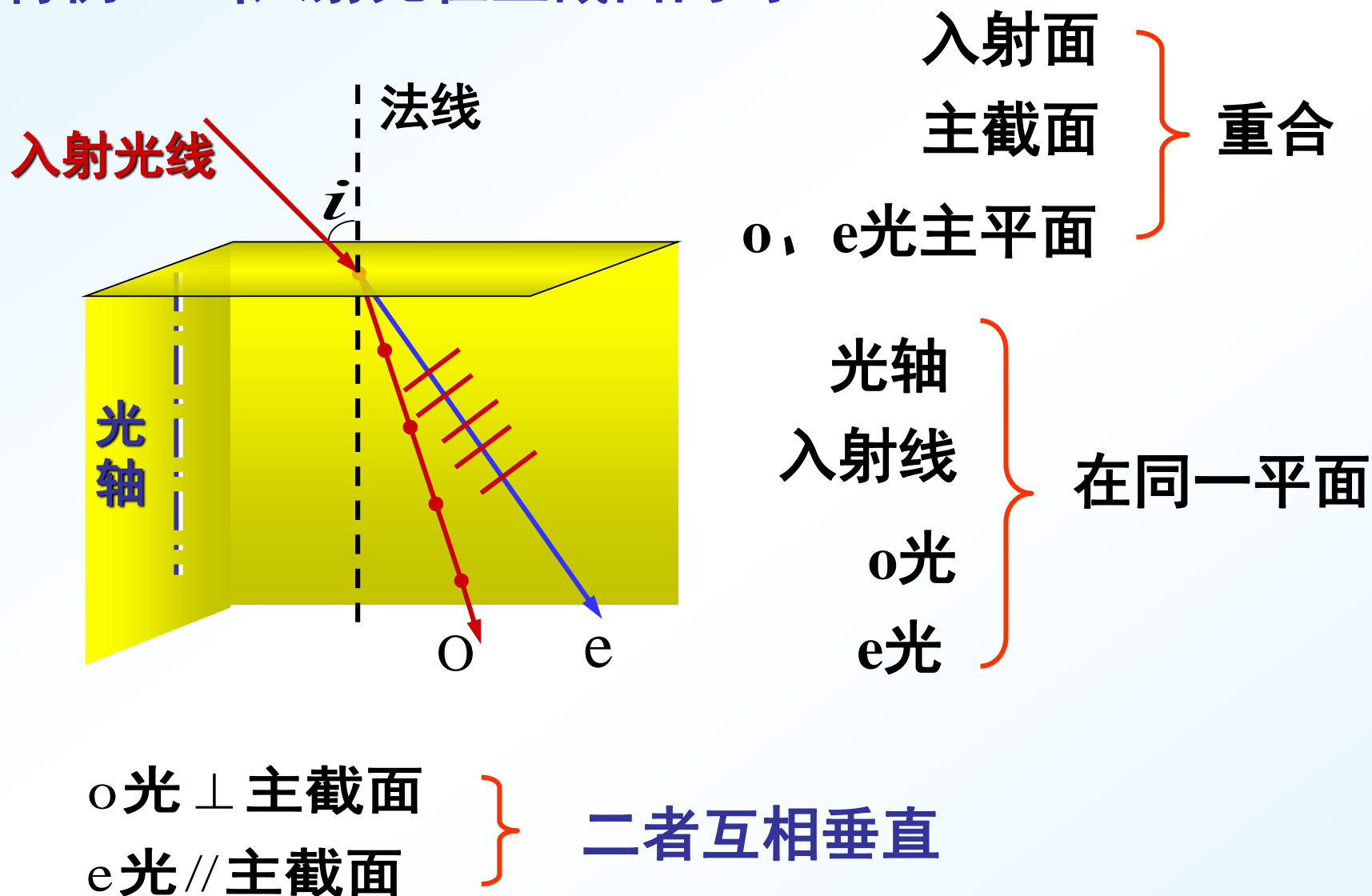
o光振动 \perp 它的主平面

e光振动 \parallel 它的主平面

一般, 二者主平面不重合

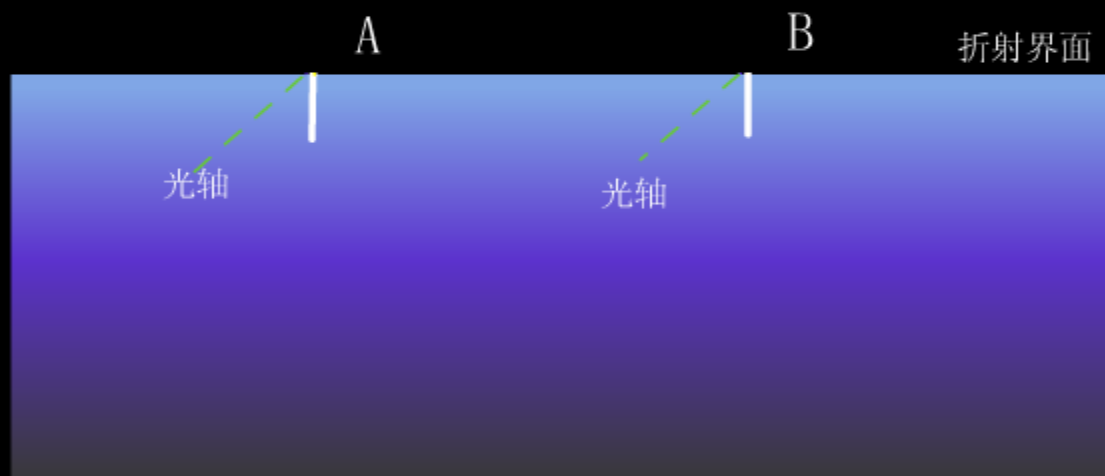
o、e光振动不垂直

特例：当入射光在主截面内时

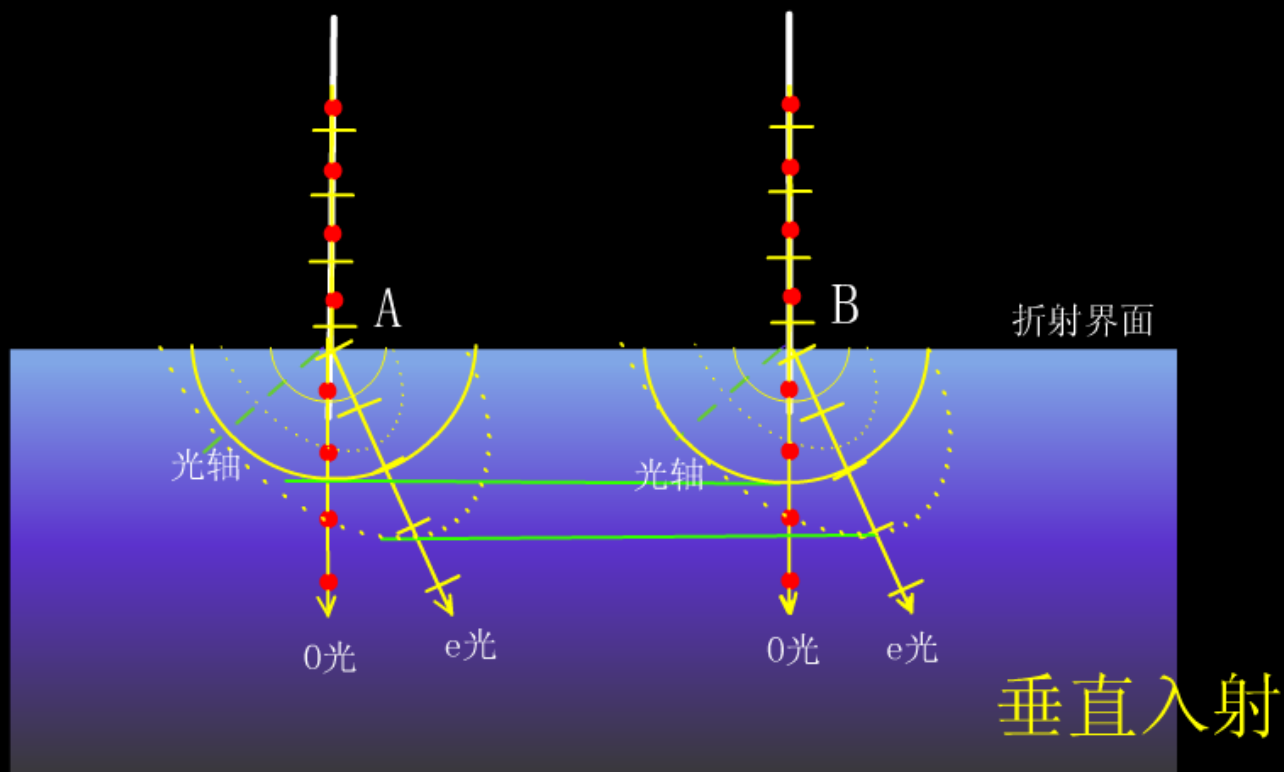


三、用惠更斯原理解释双折射

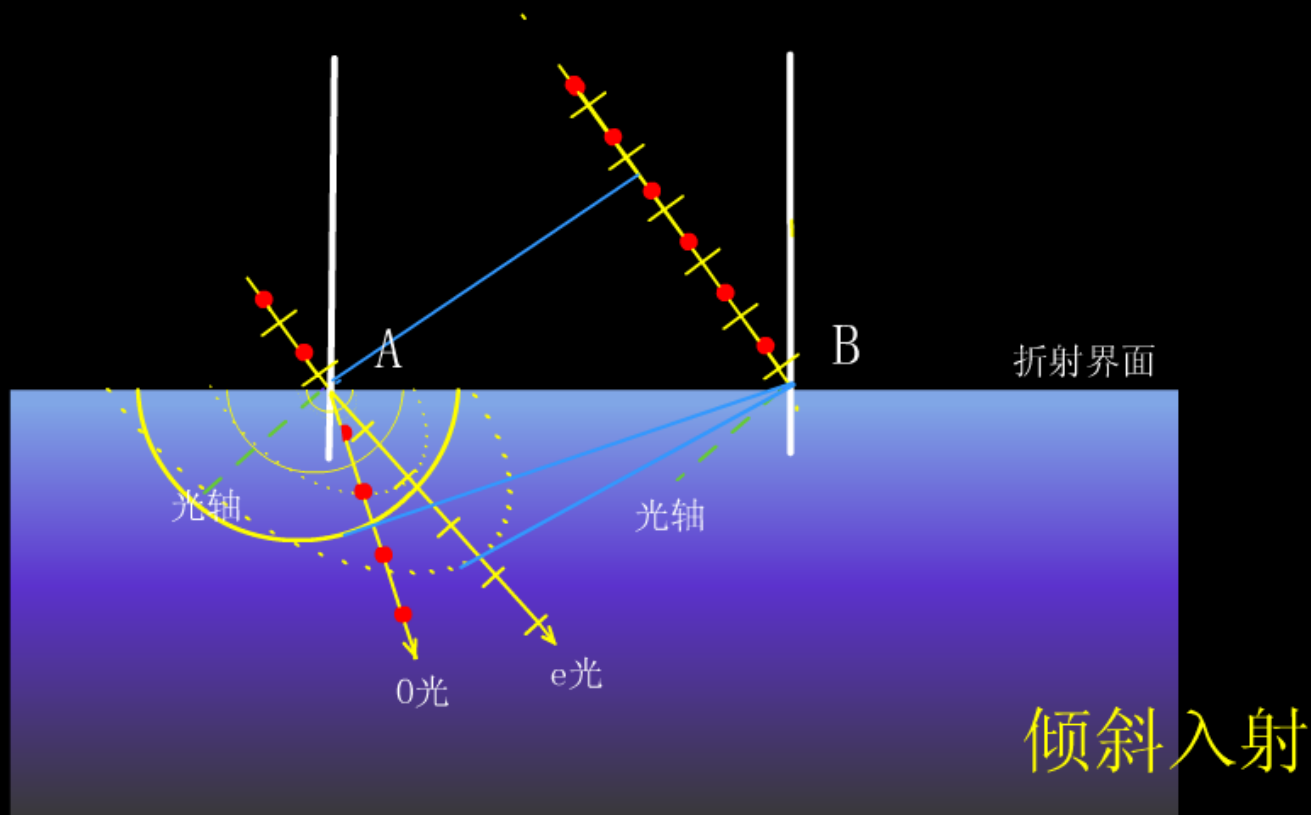
用惠更斯原理解释光的双折射现象

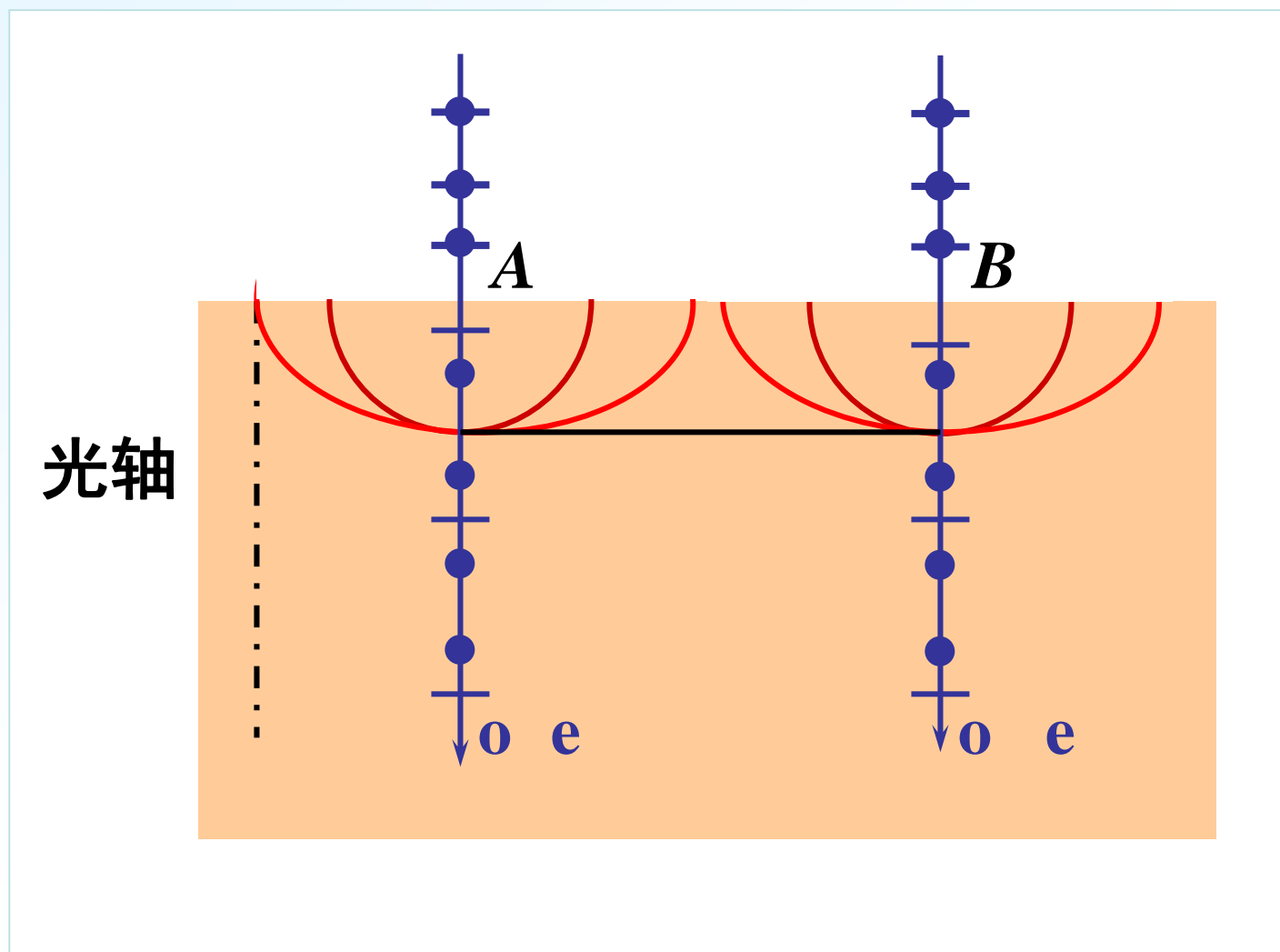


用惠更斯原理解释光的双折射现象

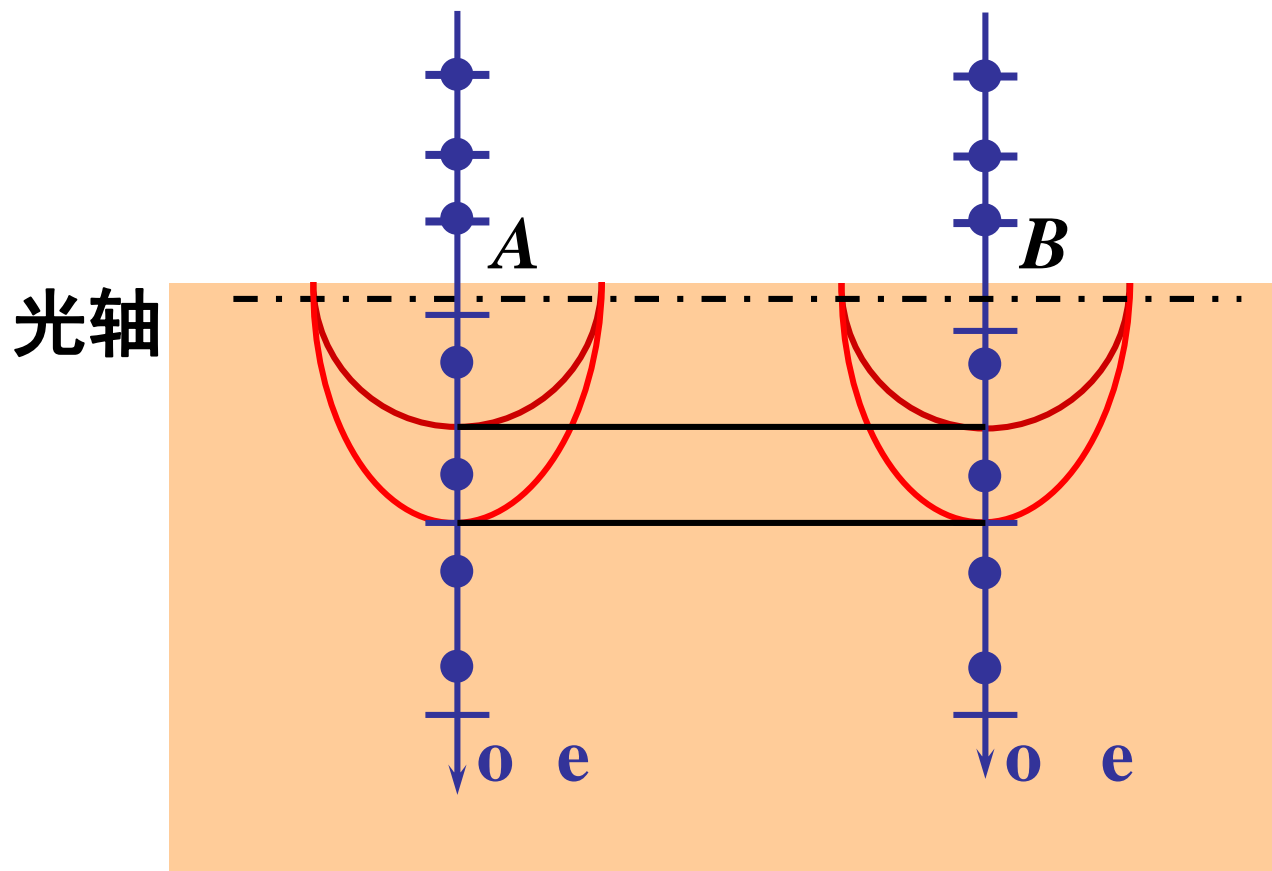


用惠更斯原理解释光的双折射现象





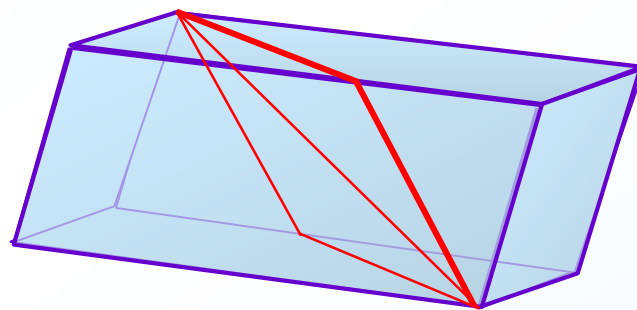
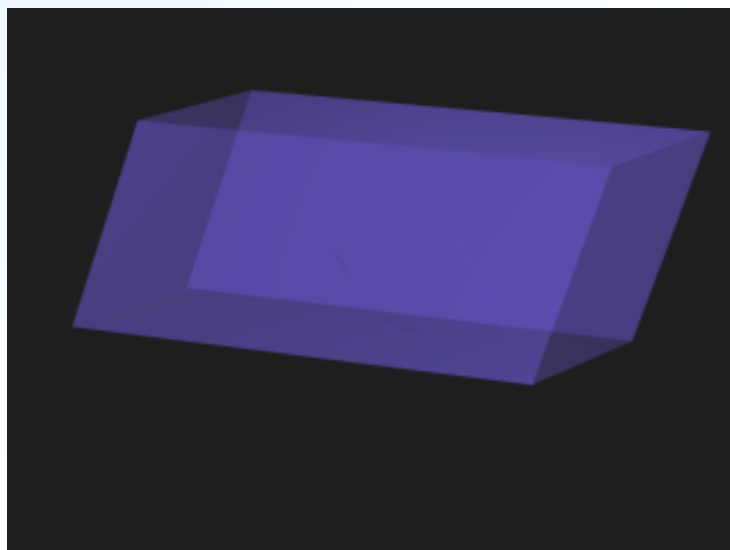
o, e光重合, 无双折射。
光轴与光线垂直结果如何？



o , e 光同方向, 但有光程差, 有双折射.

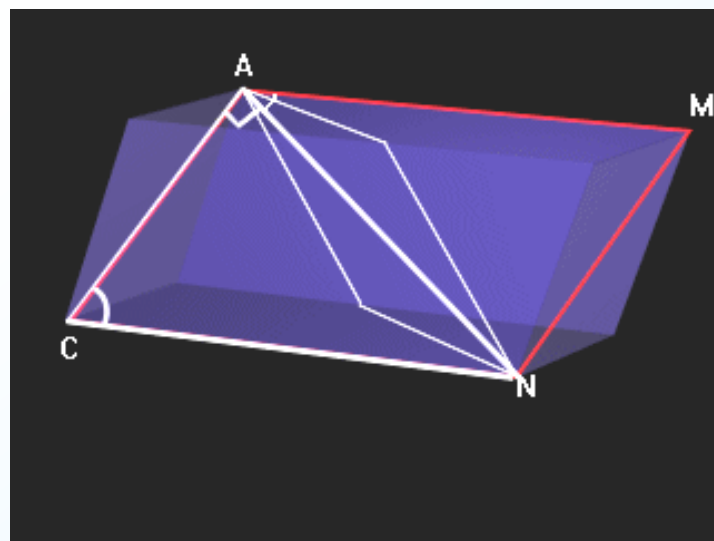
四、双折射起偏仪器

1. 尼科耳棱镜 将天然的方解石晶体按一定的要求加工成两块直角棱镜, 然后再用特种树胶($n=1.53$)把它们粘合起来制成一块斜长方形的光学棱镜.



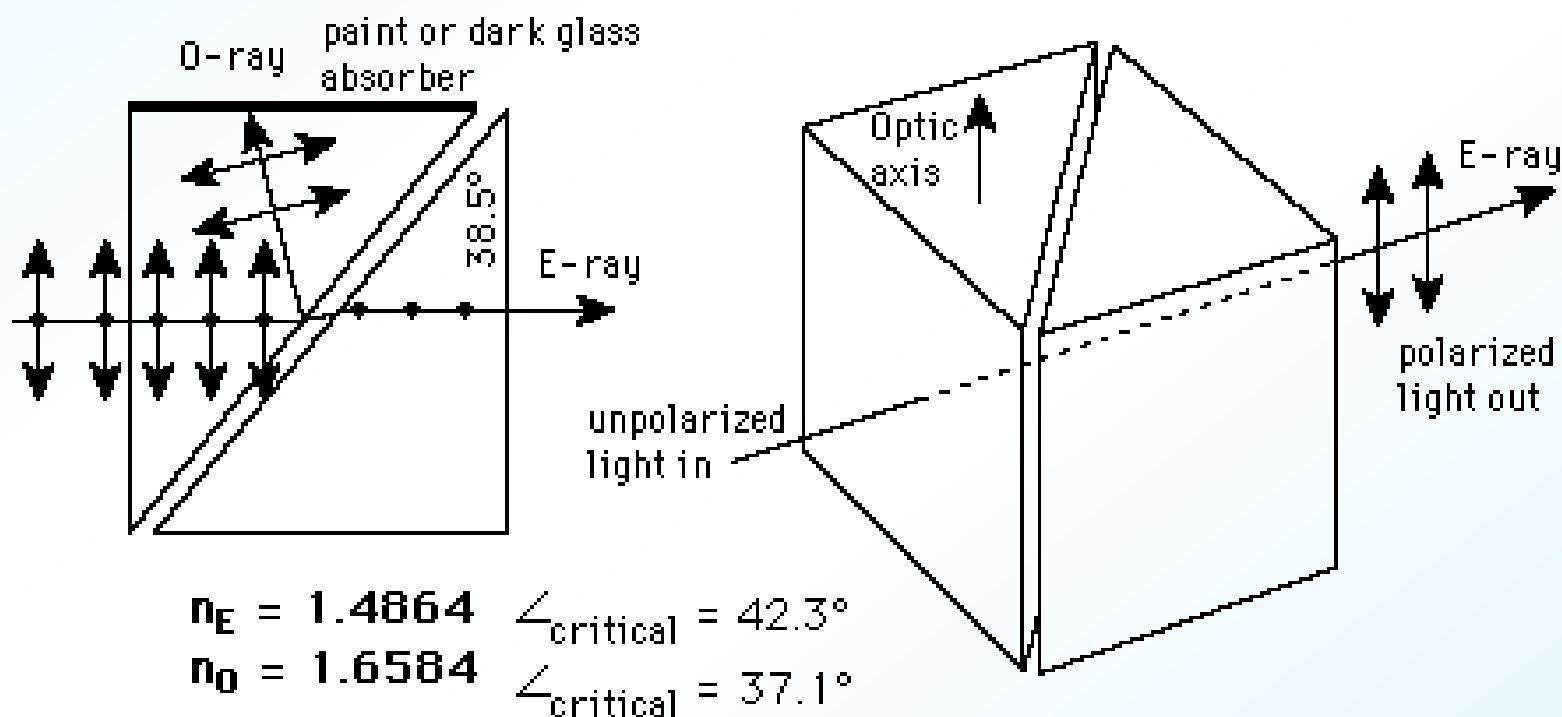
$$n_o = 1.65 \quad n_e = 1.48$$

$$n_e < n < n_o$$



2. 格兰—傅科棱镜

将一块方解石晶体加工成直角长方体,再切成两个楔型,切开的两部分不用树胶粘合,而代以空气层.



例. 用方解石割成一个 60° 的正三角形棱镜, 光轴垂直于棱镜的正三角形截面. 设非偏振光的入射角为 i , 而e光在棱镜内的折射线与镜底边平行, 求入射角 i , 并在图中画出 o 光的光路. (已知 $n_o=1.66$, $n_e=1.49$)

解: 设 e 光的折射角为 γ_e ,

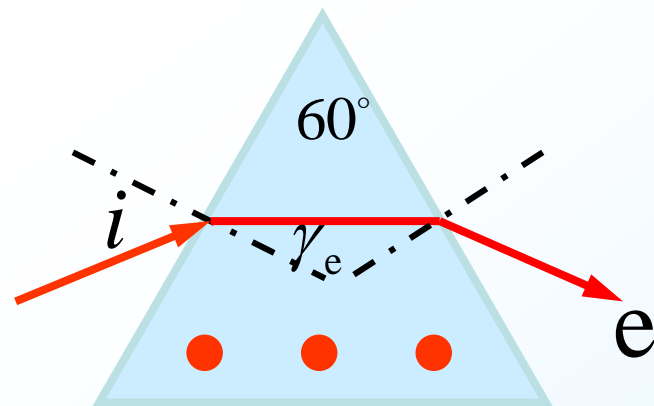
由图得:

$$\gamma_e = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$$

由折射定律得

$$\sin i = n_e \sin \gamma_e = 1.49 \times \sin 30^\circ = 0.745$$

$$i = 48^\circ 10'$$



$$\sin i = n_o \sin \gamma_o \Rightarrow \sin \gamma_o = \sin i / n_o$$

$$\sin \gamma_o = \sin 48^\circ 10' / 1.66 = 0.449$$

$$\gamma_o = 26^\circ 40'$$

