

第九章 光的偏振 (Polarization of Light)

§ 9-1 自然光、偏振光 (Natural Light、 Polarized Light)

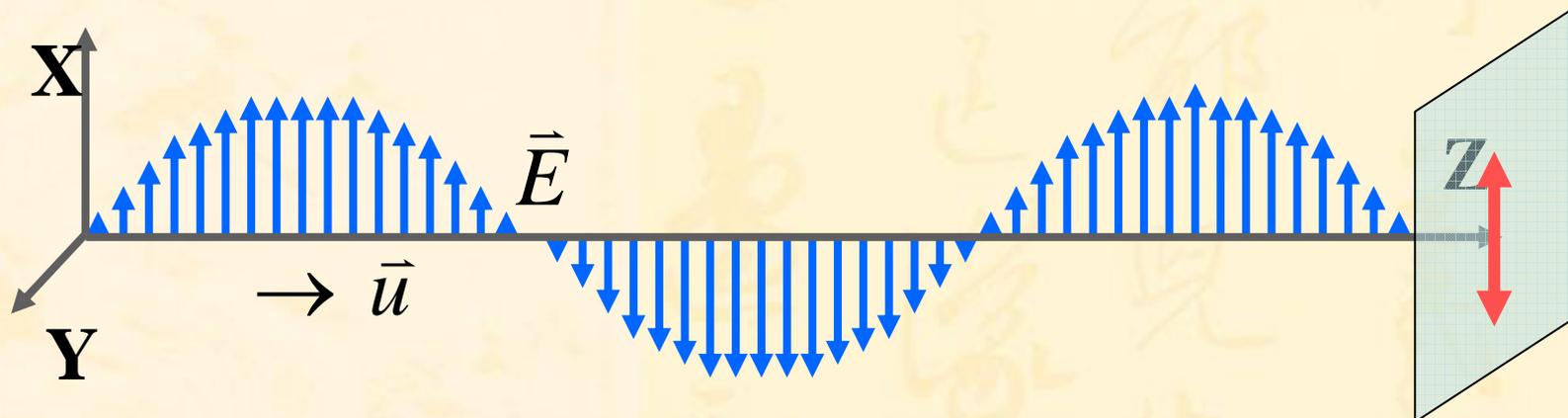
偏振---波的振动方向相对于波传播方向的不对称性。

偏振是横波所特有性质。所以，光的偏振是光的横波性的表现。

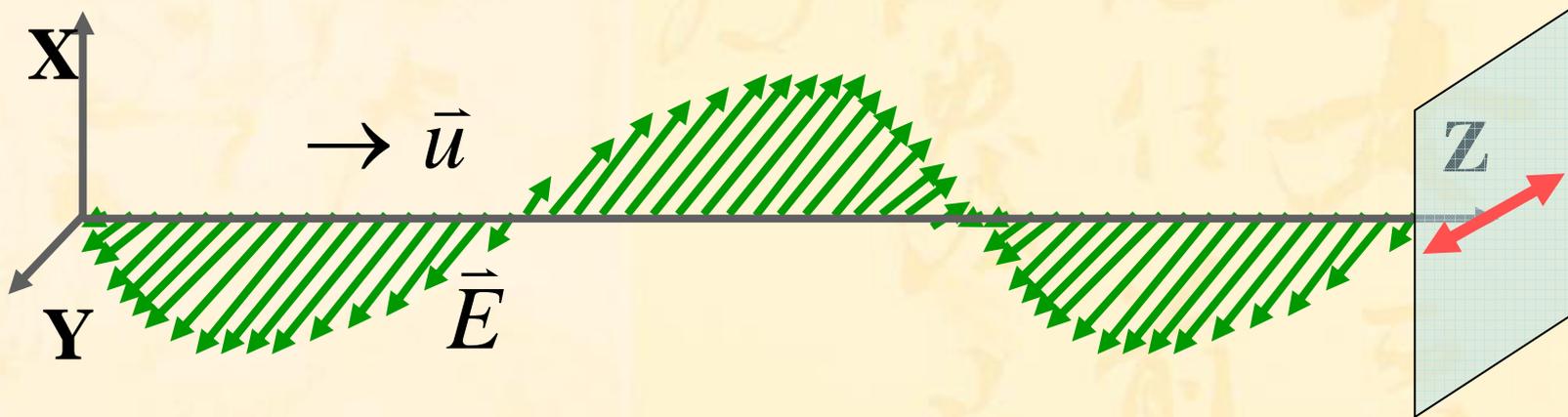
电磁波的 \vec{E} 和 \vec{H} 矢量都与光线方向垂直，且分别在两个固定的平面内振动。

振动面---光振动方向与光传播方向构成的面

线偏振光---电矢量始终处于同一个平面(振动面)内.



表示：  或  平行于纸面振动



表示：  垂直于纸面振动

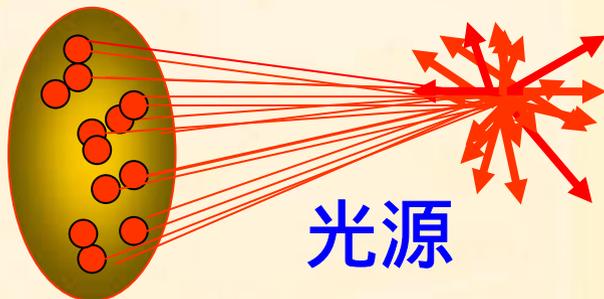
自然光---相对于光的传播方向，光矢量是对称的，
其在各方向的时间平均值相等。

普通光源所发的光是自然光：

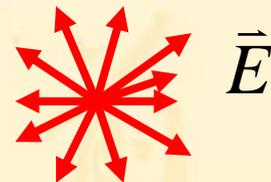
一个原子在某时刻所发出的一个波列是偏振光；

同一原子先后发出的光及同一瞬间不同原子发出的光的频率、振动方向、初相位等都是随机的，所以：

大量原子所发出的光的振动面取向是随机的，且各个方向的几率相同。

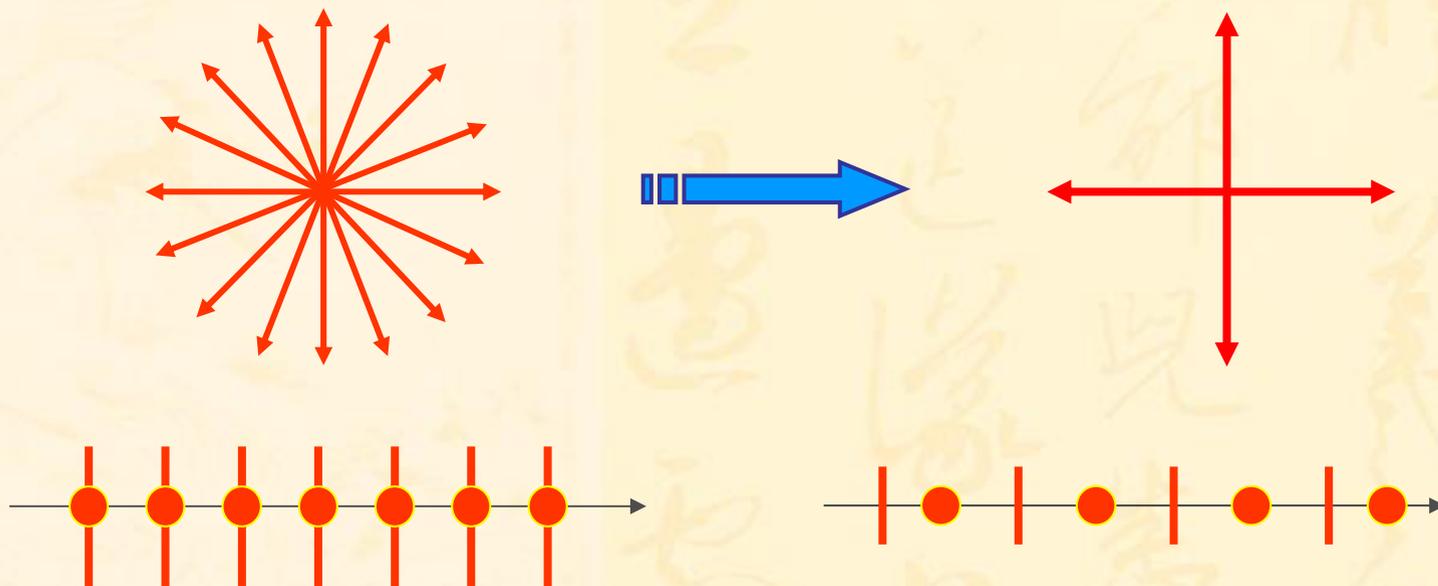


光源



任一时刻的光矢量

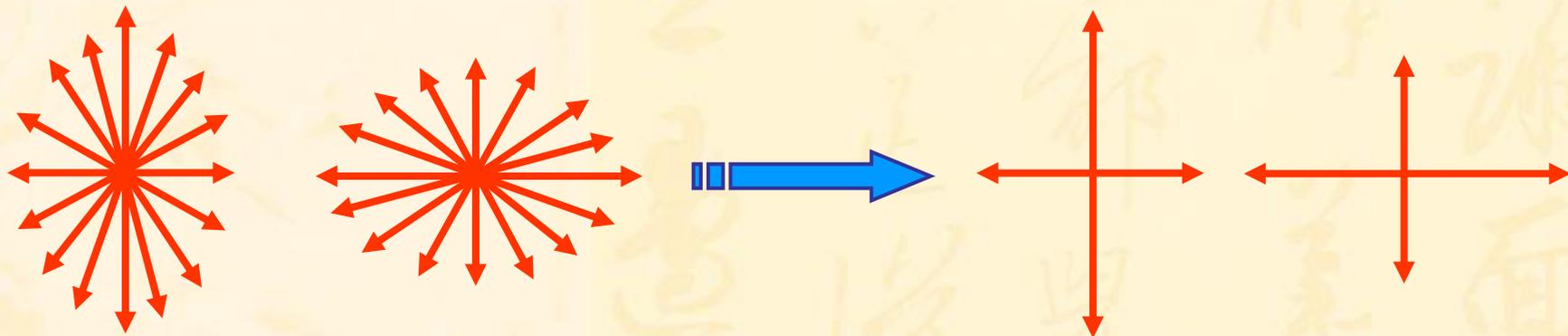
自然光的表示



在垂直于光线的任一平面内的两正交方向上，光矢量的平均值相等。

部分偏振光---光矢量的平均值在与光线垂直的平面内的两正交方向上的强度不相等。

部分偏振光的表示



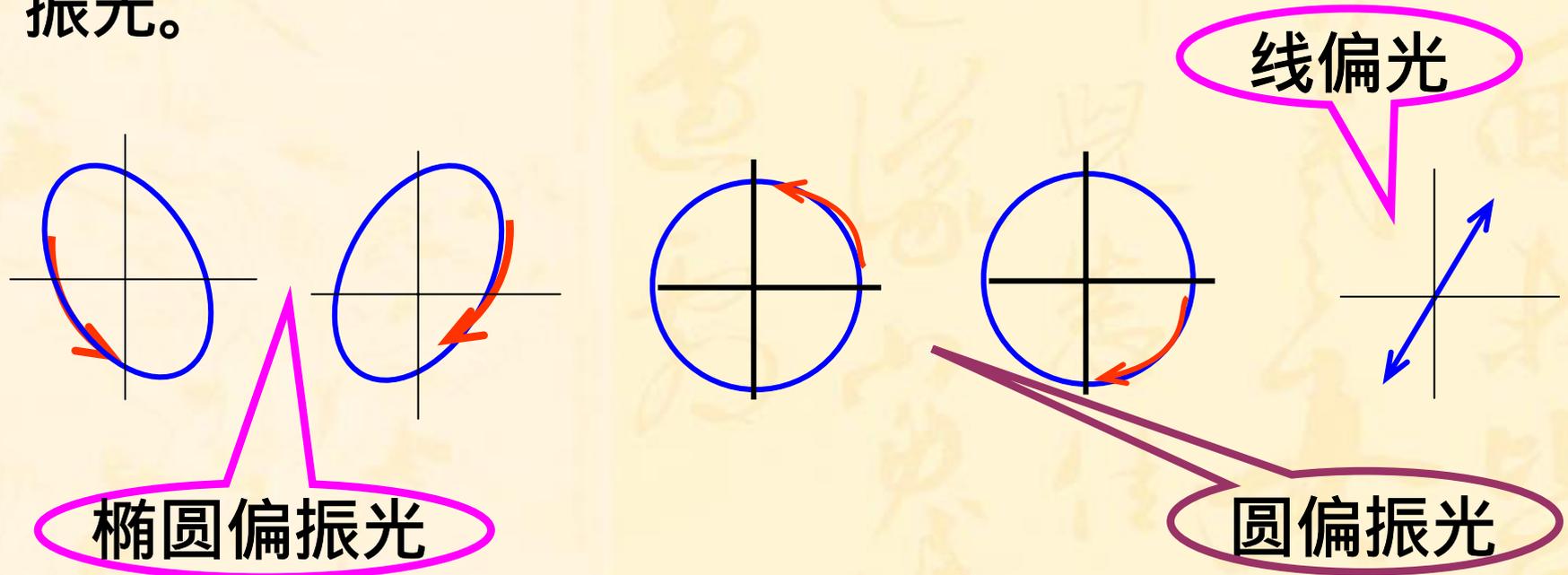
垂直于纸面的光振动分量大于平行于纸面的光振动分量：



平行于纸面的光振动分量大于垂直于纸面的光振动分量：



椭圆偏振光：光矢量末点的运动轨迹是椭圆。迎着光传播方向上看，光矢量端点沿逆时针方向旋转的称为左旋偏振光，沿顺时针方向旋转的称为右旋偏振光。



自然光加线偏振光、自然光加椭圆偏振光、自然光加圆偏振光，都是部分偏振光。

偏振度

若一偏振光，光强最强方向的光强平均值为 I_{\max} ，
与之垂直方向的光强平均值为 I_{\min} ，则定义：

偏振度

$$p = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

① 完全偏振光

$$I_{\min} = 0 \quad p = 1$$

② 自然光

$$I_{\max} = I_{\min} \quad p = 0$$

③ 部分偏振光

$$I_{\min} \neq 0 \quad 0 < p < 1$$

§ 9-2 起偏与检偏、马吕斯定律

(Polarizing and polarization analyzer、Malus law)

一、起偏与检偏

起偏--从自然光获得偏振光；

检偏--检查某束光是否是偏振光；

起偏振器--从自然光获得偏振光的装置；

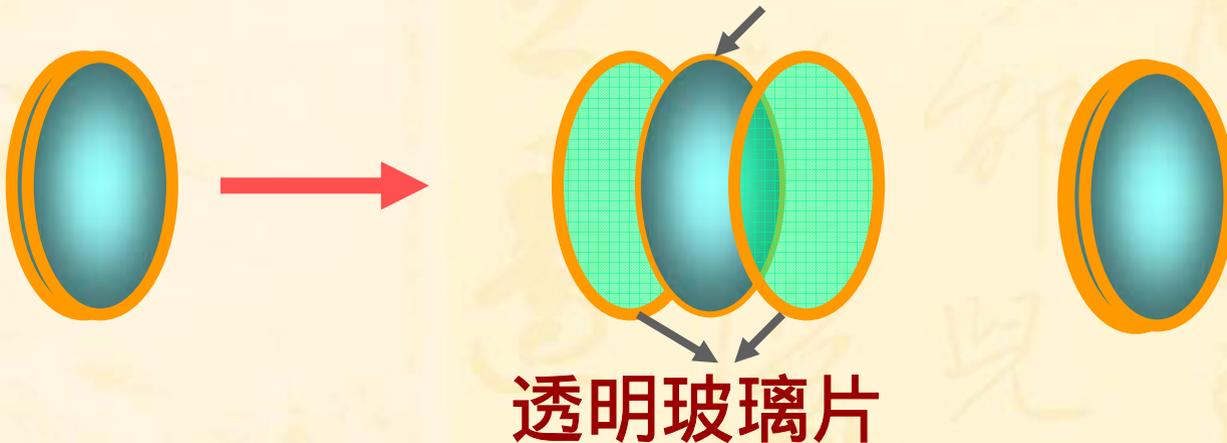
检偏振器--检查某束光是否为偏振光的装置。

二、偏振片及其起偏与检偏

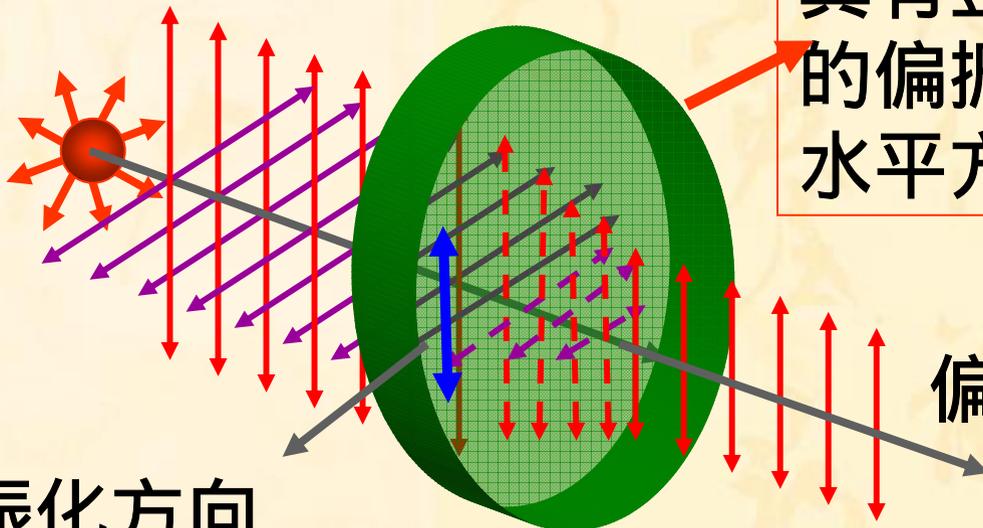
偏振片---只能透过沿某个方向振动的偏振光，而不能透过与之垂直振动的光矢量。

偏振片

涂有金鸡纳霜或碧硒
(电气石)等材料的薄膜



自然光

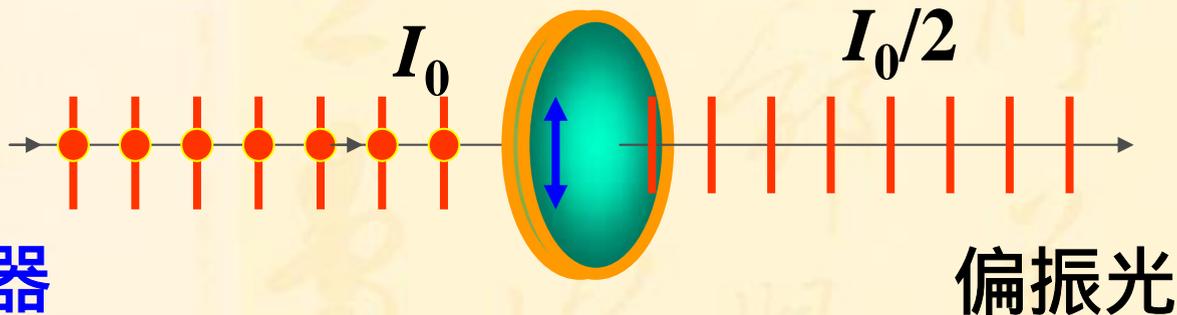


具有竖直偏振方向的偏振膜。吸收了水平方向的光振动

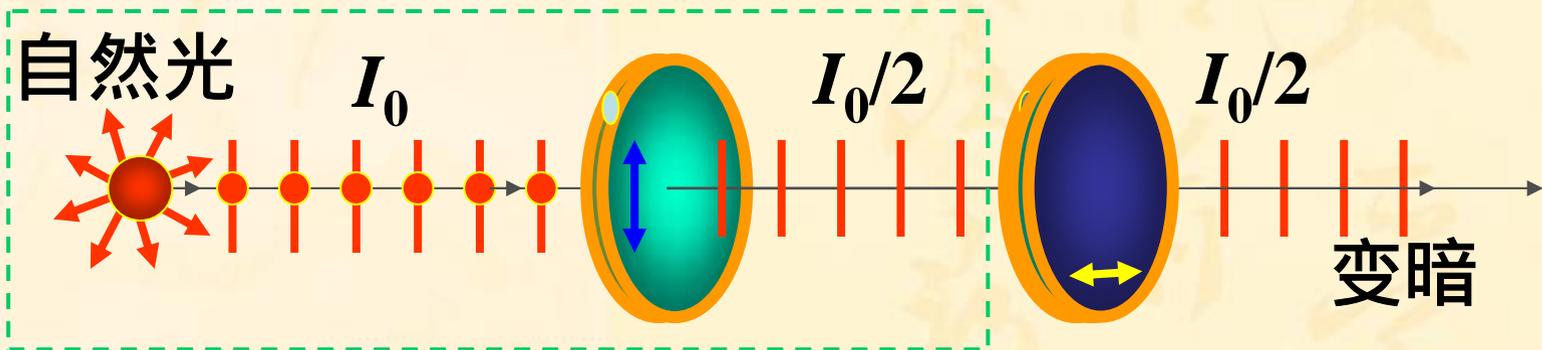
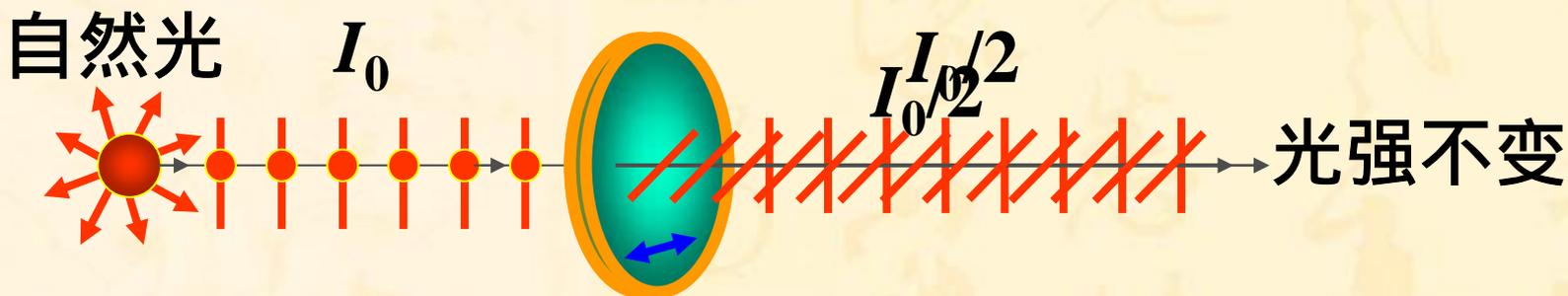
偏振光

偏振化方向

偏振片用作起偏器



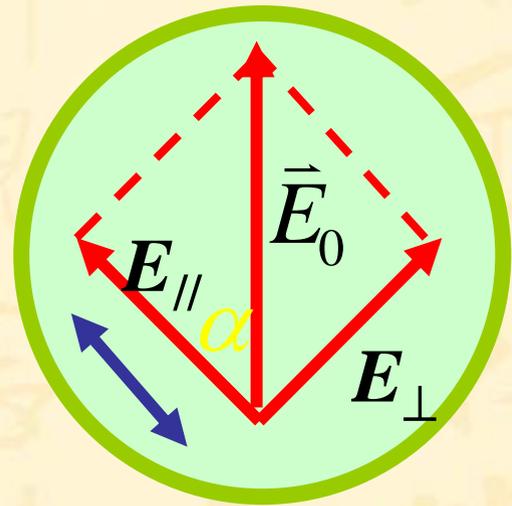
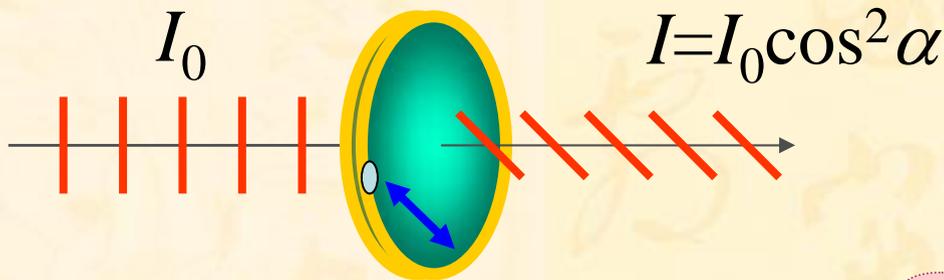
用作检偏振器



若入射光为部分偏振光，当旋转检偏器时，光强会在最强与最弱之间交替变化，但没有 $I=0$ 的情况。

马吕斯定律：强度为 I_0 的偏振光透过偏振片后强度变为

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



证明：

被吸收

$$E_{//} = E_0 \cos \alpha \quad E_{\perp} = E_0 \sin \alpha$$

$$I = E_{//}^2 = E_0^2 \cos^2 \alpha = I_0 \cos^2 \alpha$$

$$\alpha = 0, 180^\circ, I = I_0$$

$$\alpha = 90, 270^\circ, I = 0$$

偏振的应用举例：

夜行车，车灯前加偏振片灯罩，司机台前玻璃也由偏振片做成，规定它们的偏振化方向都是左下或右上倾斜45度。

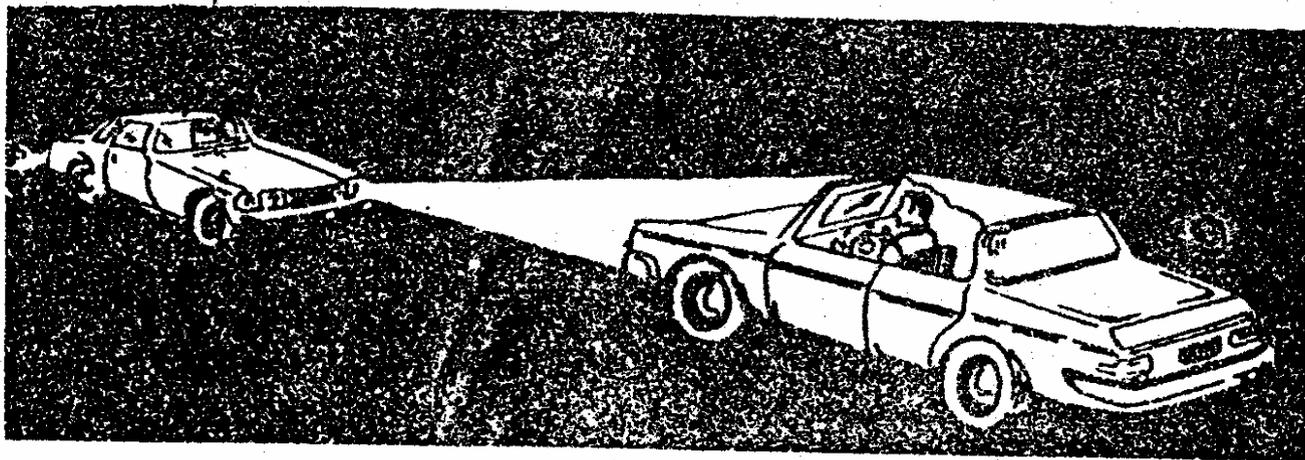
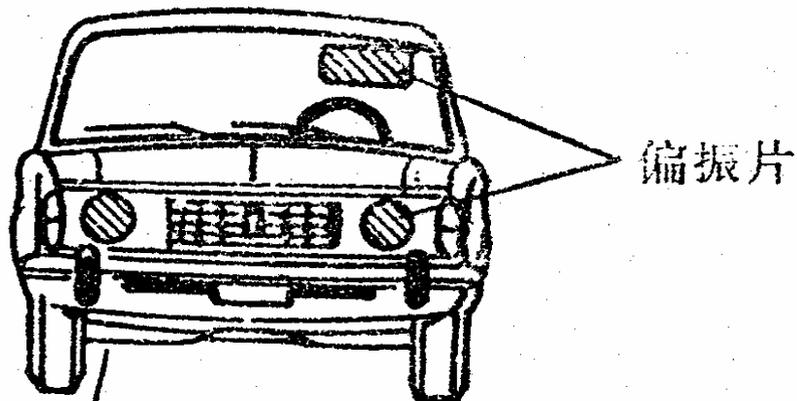
司机可看到自己车灯发出的光，看不到迎面驶来汽车车灯的光。

防止对面来车的灯光耀眼

图示

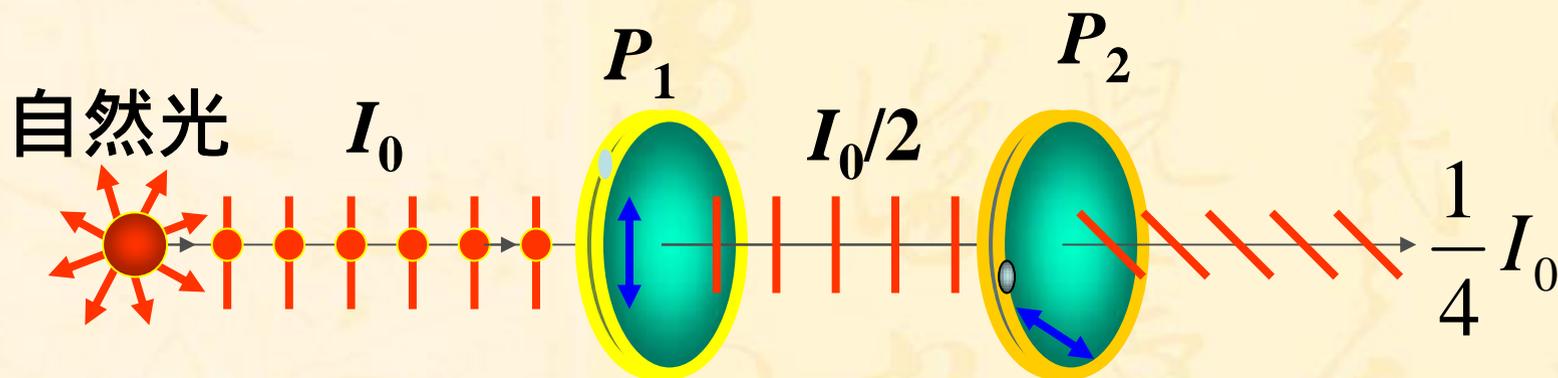
看立体电影时戴的特殊眼镜是用偏振片制成的。

汽车灯与窗玻璃用同一偏振化方向的透明膜



汽车车灯和窗玻璃上的偏振片

例：一束自然光，光强度为 I_0 ，使其通过两透光方向之间的夹角为 45° 的偏振片，求从第二个偏振片出射的偏振光强度。



解：

$$I = \left(\frac{1}{2} I_0\right) \cos^2 \alpha = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 45^\circ$$
$$= \frac{1}{2} I_0 \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 = \frac{1}{4} I_0$$

例：两块偏振片叠在一起，强度为 I_0 的自然光垂直入射其上，**1.**若通过两偏振片后的光强为 $I_0/8$ ，则此两偏振片的偏振化方向间的夹角是多少？**2.**若在两片之间再插入一片偏振片，其偏振化方向与前、后两片的偏振化方向的夹角相等，求通过三块偏振片后的透射光强。

解：**1.**自然光通过偏振片后成为强度减半的偏振光：

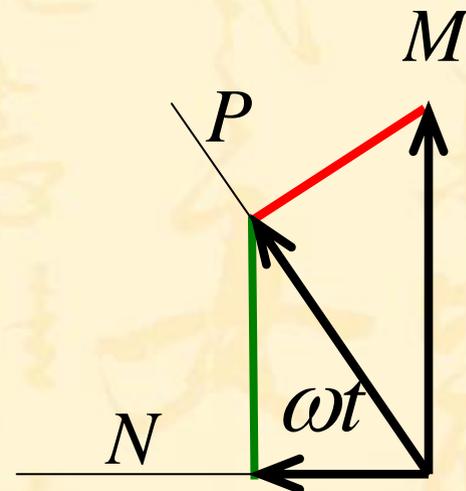
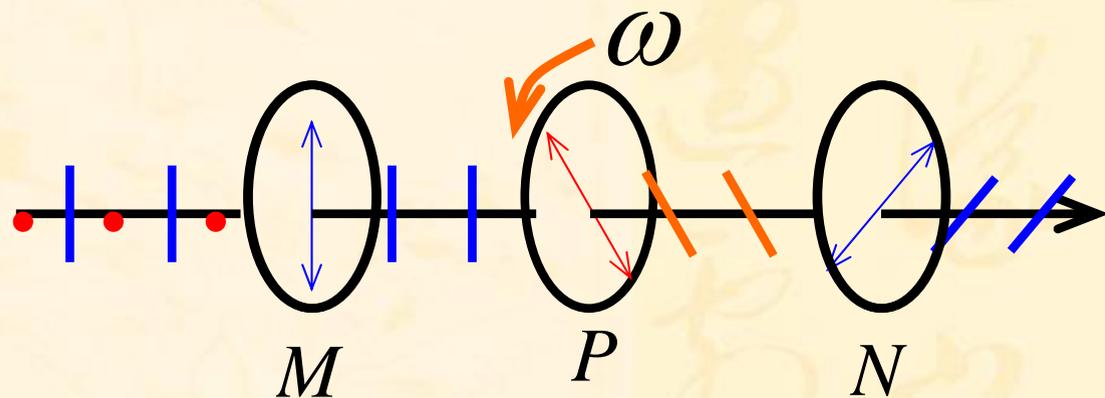
$$I_1 = I_0 / 2$$

由马吕斯定律，通过第二块后的光强：

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha \quad \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \alpha = \frac{1}{8} I_0 \quad \alpha = 60^\circ$$

$$\mathbf{2.} \quad I_3 = \frac{1}{2} I_0 \cdot \cos^2(30^\circ) \cdot \cos^2(30^\circ) = \frac{9}{32} I_0$$

例：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 旋转的理想偏振片 P ，入射自然光强为 I_0 ，求由系统出射的光强是多少？

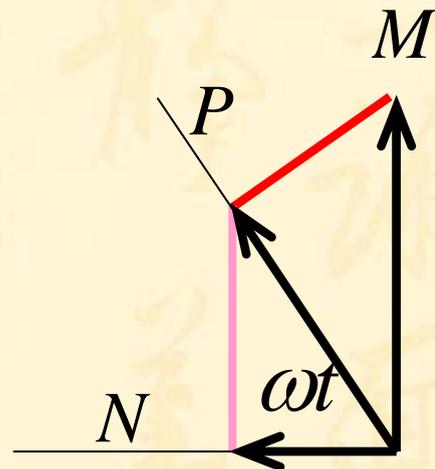


$$\begin{aligned}
 I_{\text{出}} &= \frac{I_0}{2} \cdot \cos^2\left(\frac{\pi}{2} - \omega t\right) \cdot \cos^2 \omega t \\
 &= \frac{I_0}{16} \cdot (1 - \cos 4\omega t) = \frac{I_0}{8} \sin^2(2\omega t)
 \end{aligned}$$

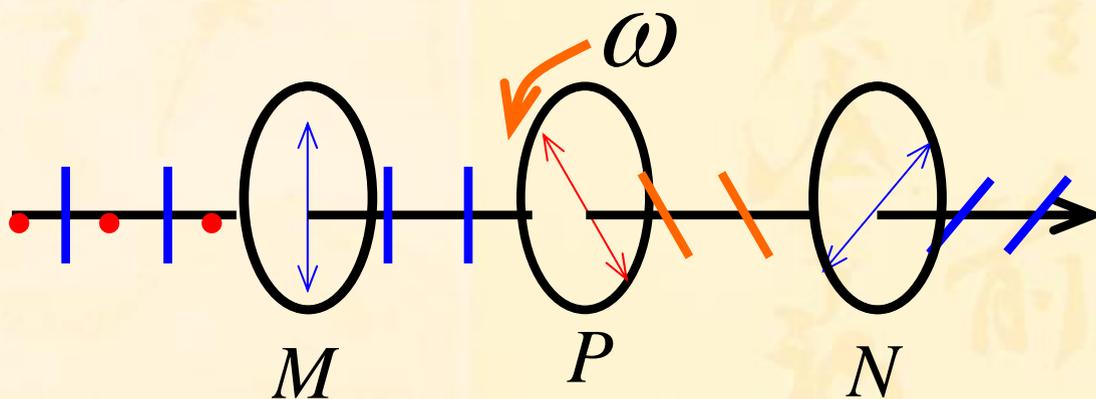
$$I_{\text{出}} = \frac{1}{8} I_0 \sin^2(2\omega t)$$

$$\omega t = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, I_{\text{出}} = 0$$

$$\omega t = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ, I_{\text{出}} = \frac{1}{8} I_0$$



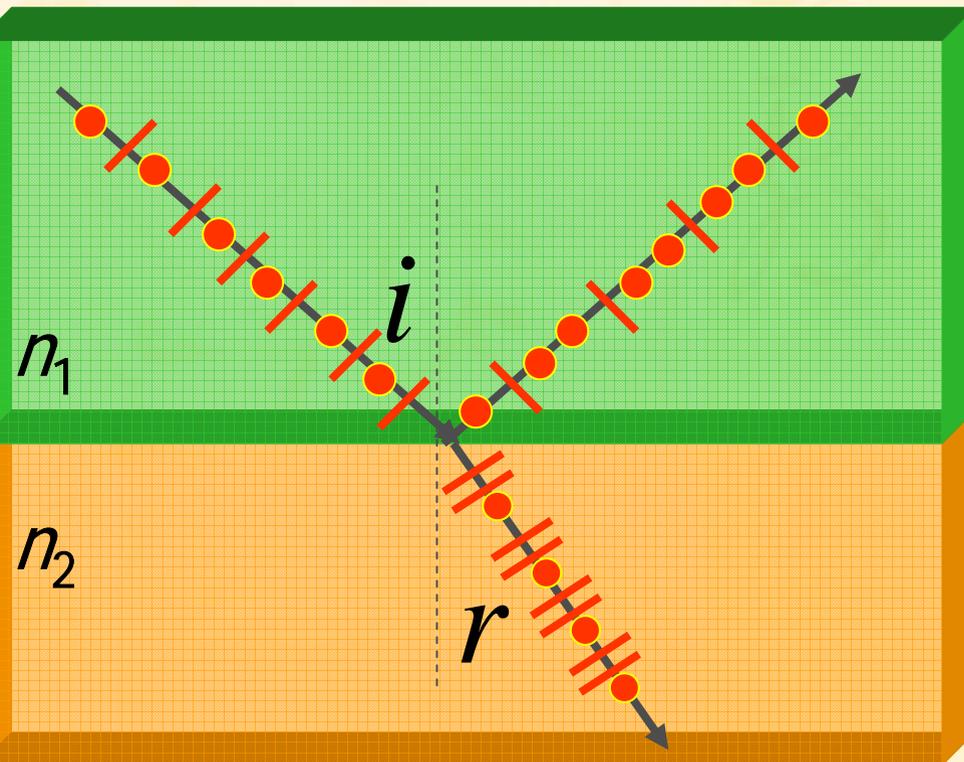
每旋转偏振片 P 一周，输出光有“四亮四零”变化。



§ 9-3 反射和折射时光的偏振 (Polarization of Light by reflection and refraction)

一、反射和折射时光的偏振

自然光入射时, 反射和折射光都是部分偏振光.



反射光中垂直振动强于平行振动；

折射光中平行振动强于垂直振动；

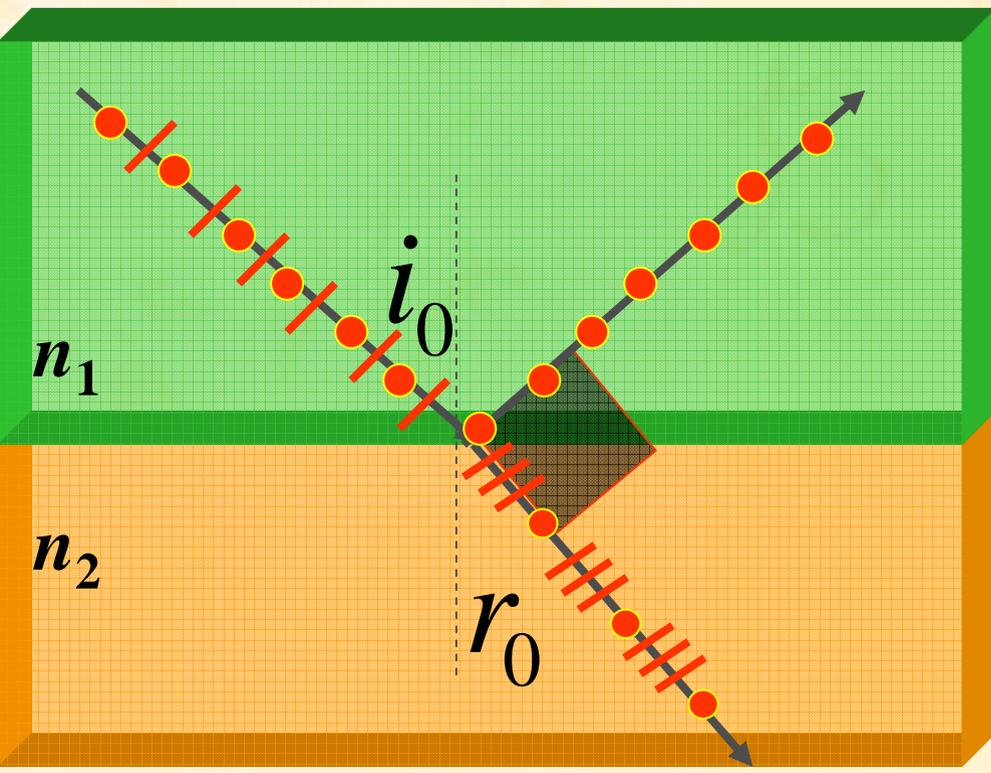
反射和折射光的偏振化程度随入射角 i 的不同而不同。

二、布儒斯特定律

当入射角 i 等于某特定角 i_0 ，即：

$$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad \text{时，反射光只有垂直于}$$

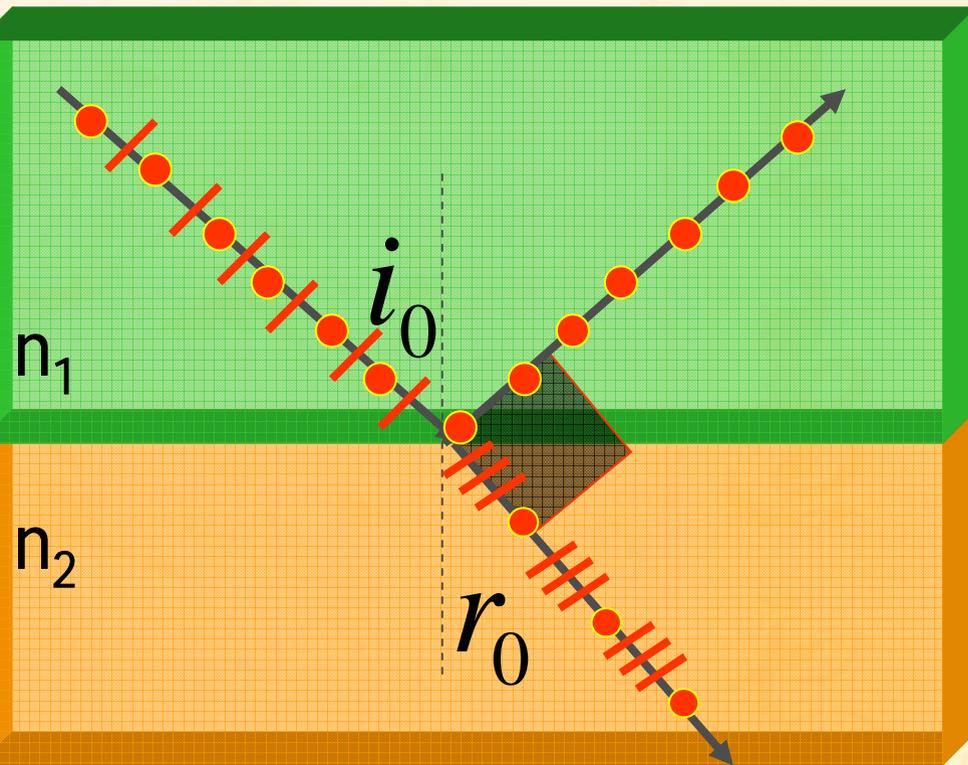
入射面的振动而无平行于入射面的振动。



① i_0 称为布儒斯特角或起偏振角；

② 此时折射光仍为部分偏振光；

③ 入射角为起偏振角时，反射光与折射光互相垂直。



证明：

由折射定律：

$$\frac{\sin i_0}{\sin r_0} = \frac{n_2}{n_1}$$

入射角为起偏振角时，

由布儒斯特定律：

$$\tan i_0 = \frac{\sin i_0}{\cos i_0} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

由上两式得：

$$\sin r_0 = \cos i_0$$

$$\therefore i_0 + r_0 = 90^\circ \quad (\text{证毕})$$

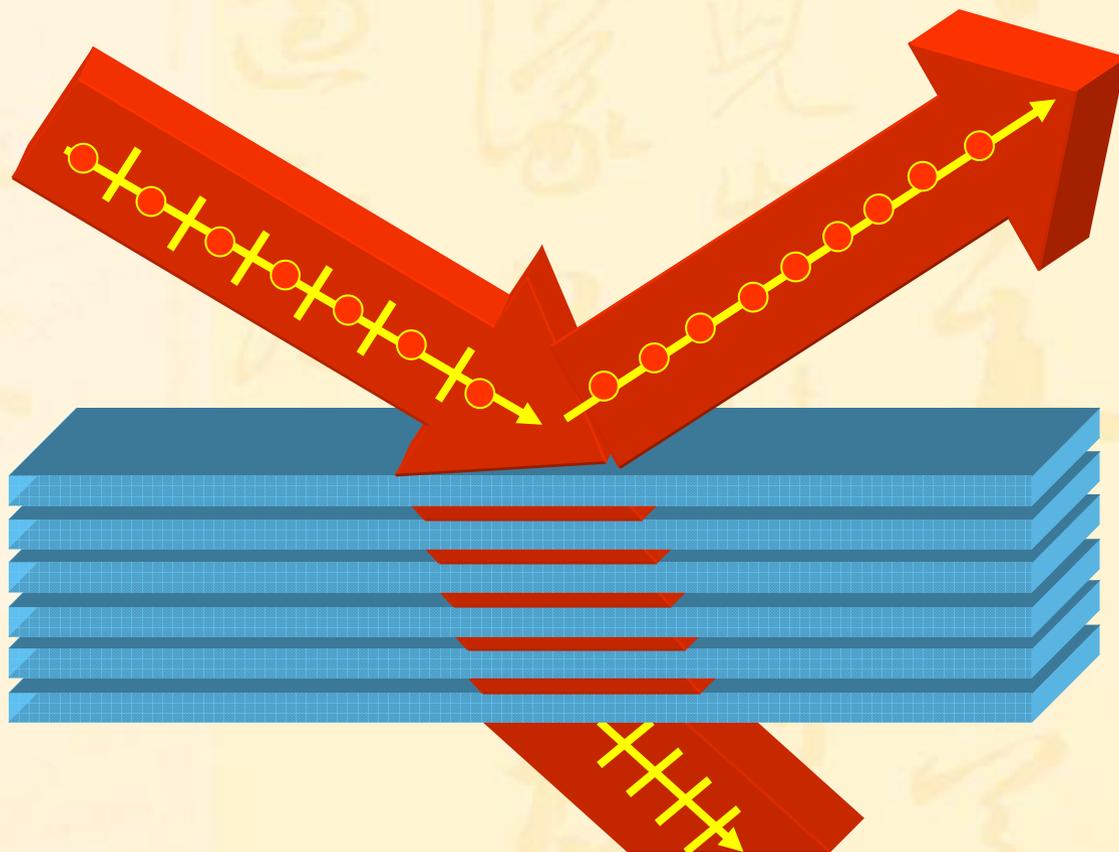
利用反射和折射获得偏振光

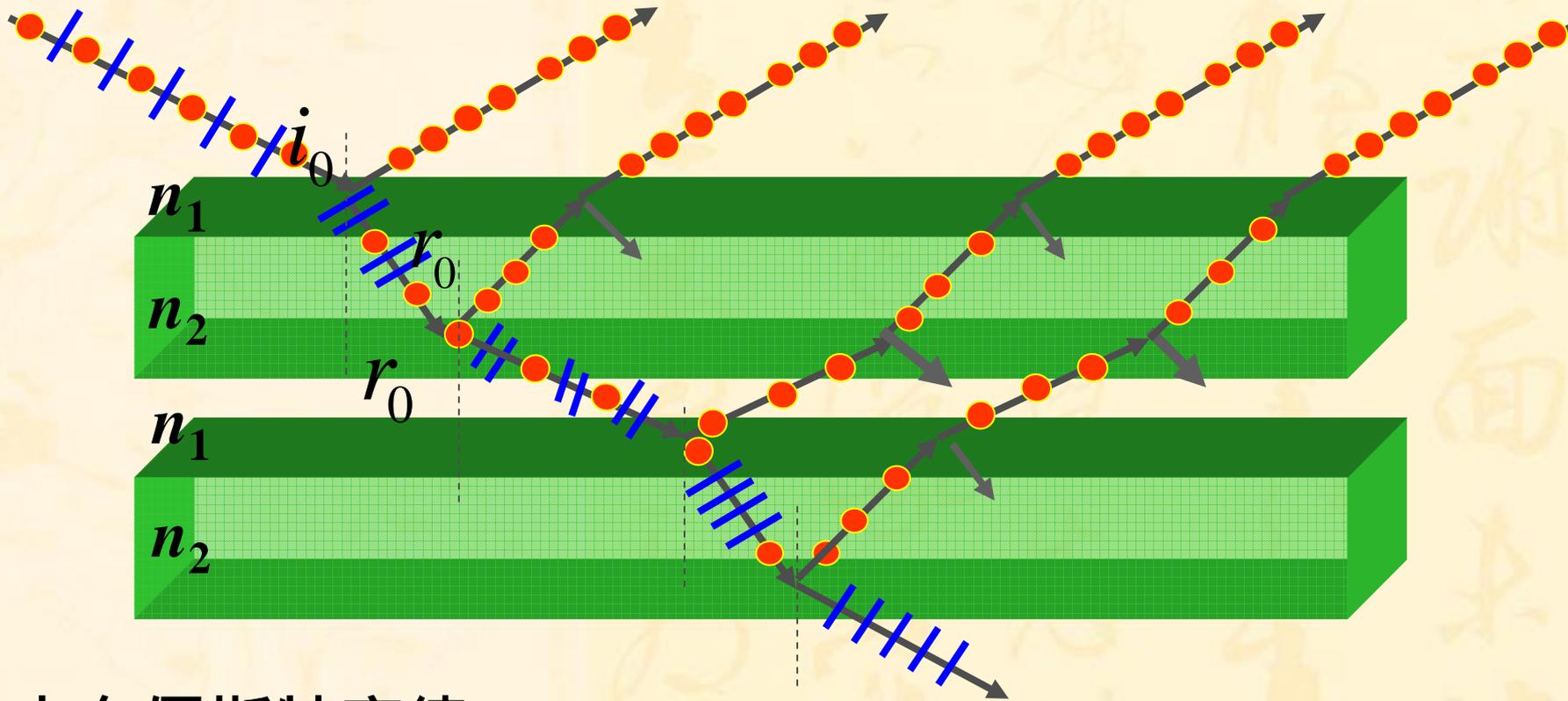
问题：1. 经一次反射后光强一般较弱；

2. 折射光仍为部分偏振光。

解决办法：多次反射和折射。

玻璃堆：





由布儒斯特定律：

$$\tan r_0 = \tan(90^\circ - i_0) = \cot i_0 = n_1 / n_2$$

当光从折射率为 n_2 的介质入射到折射率为 n_1 的介质时，反射光仍为偏振光。

例：已知某材料在空气中的布儒斯特角 $i_p=58^\circ$ ，求它的折射率；若将它放在水中（水的折射率为1.33），求布儒斯特角？该材料对水的相对折射率是多少？

解：设该材料折射率为 n ，空气折射率为1。

$$\tan i_p = n/1 = \tan 58^\circ = 1.599 \approx 1.6$$

$$n = 1.6$$

放在水中，则对应有 $n_1 = n_{\text{水}}$

$$\tan i'_p = \frac{n}{n_{\text{水}}} = \frac{1.6}{1.33} = 1.2 \quad i'_p = 50.3^\circ$$

$$\frac{n}{n_{\text{水}}} = 1.2$$