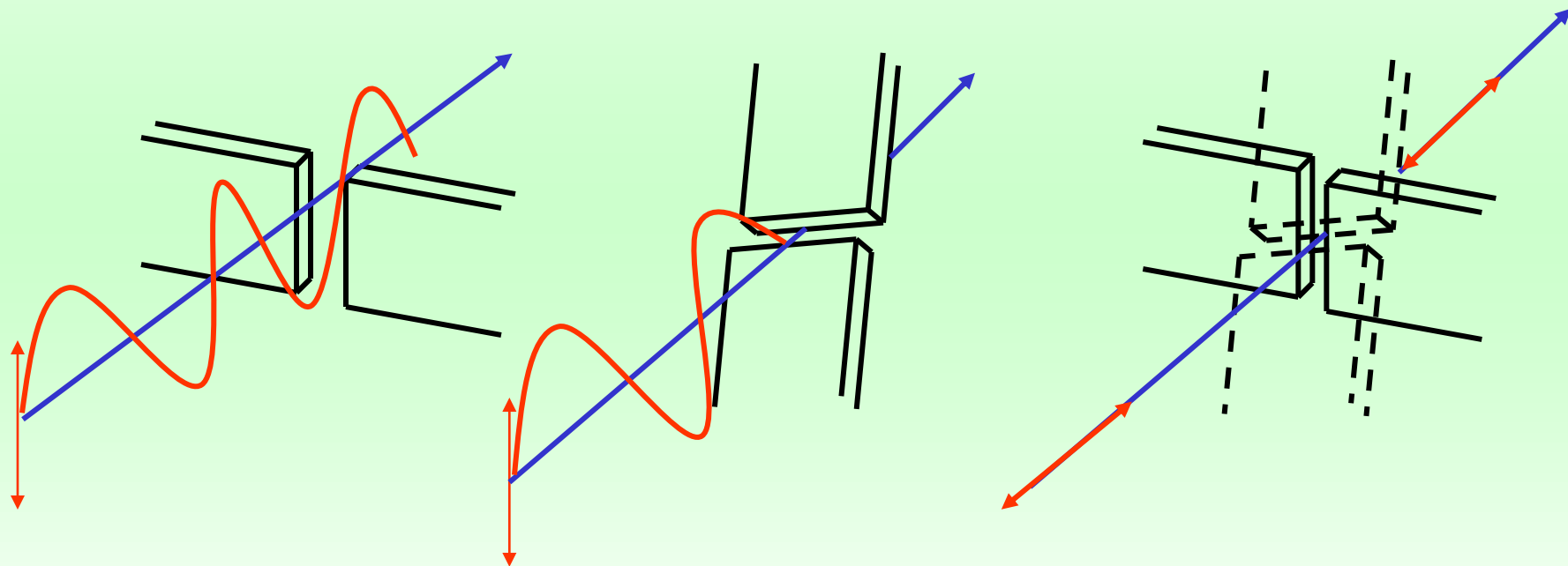


第十五章 光的偏振

§ 15.1 自然光 偏振光

一、横波具有偏振性

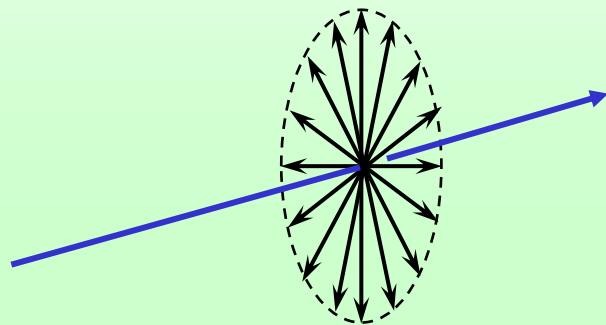


这种取向作用称为偏振

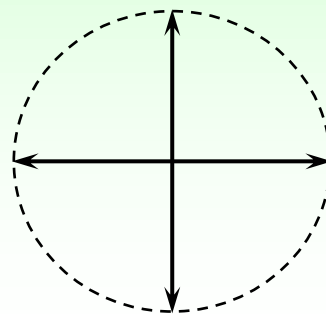
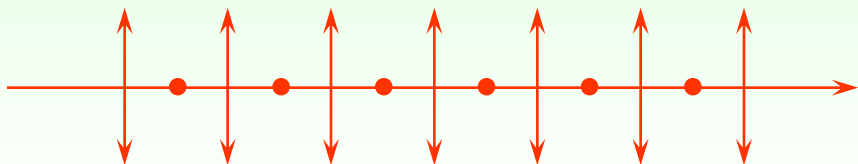
光的偏振性表明光波是横波

二、自然光：

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，这种光称为自然光。



可分解为任意两个方向互相垂直、振幅相等的光矢量分量， $I = \frac{I_0}{2}$



三、偏振光

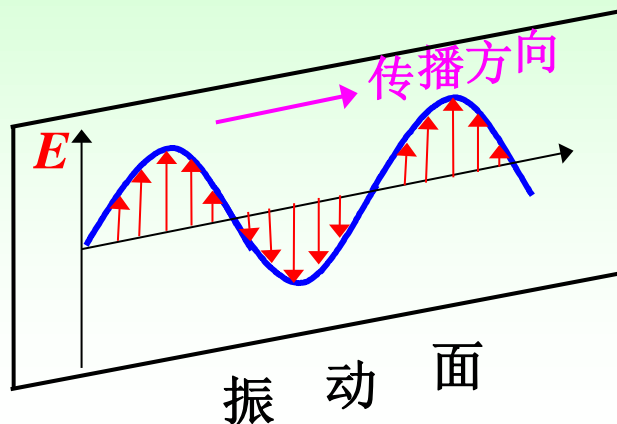
1.偏振:自然光经过媒质的吸收、反射、透射、散射使某一方向的光振动占有优势。

2.完全偏振光(线偏振光)

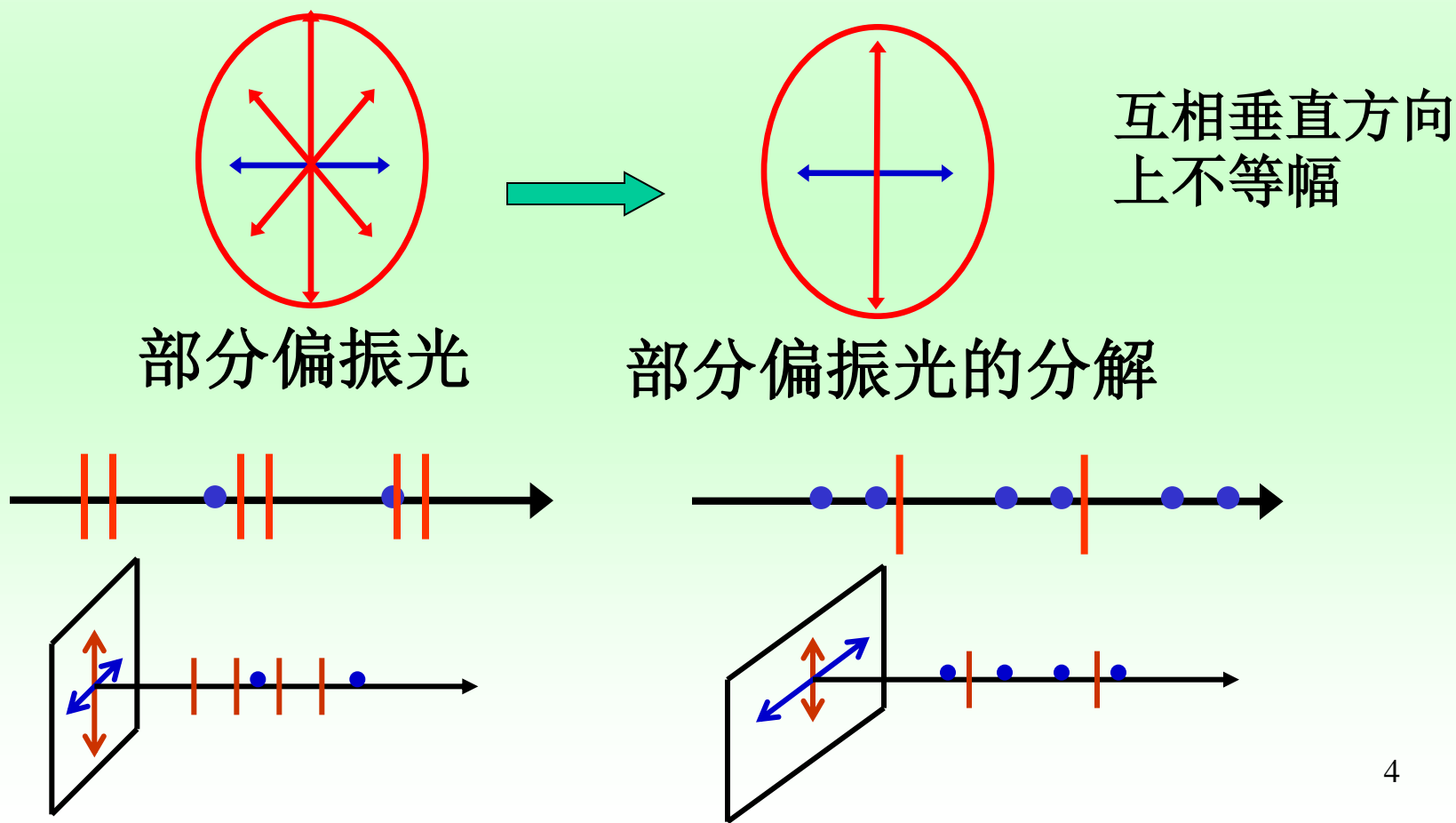
只有单一方向的光振动,这样的光称为完全偏振光。



振动平面: 光振动与光传播方向所决定的平面



3.部分偏振光:二个互相垂直的光振动中某一方向光振动占有相对的优势这样的光称为部分偏振光。光矢量 在某一方向振动较强， 而垂直该方向的振动较弱。



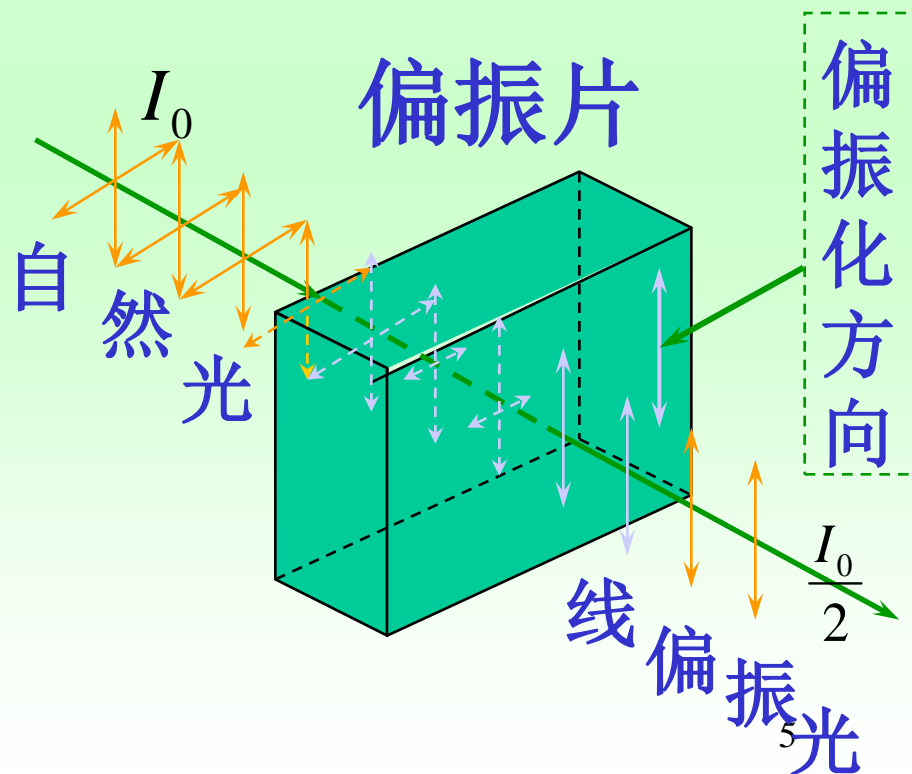
§ 15.2 偏振片的起偏与检偏 马吕斯定律

一、起偏和检偏

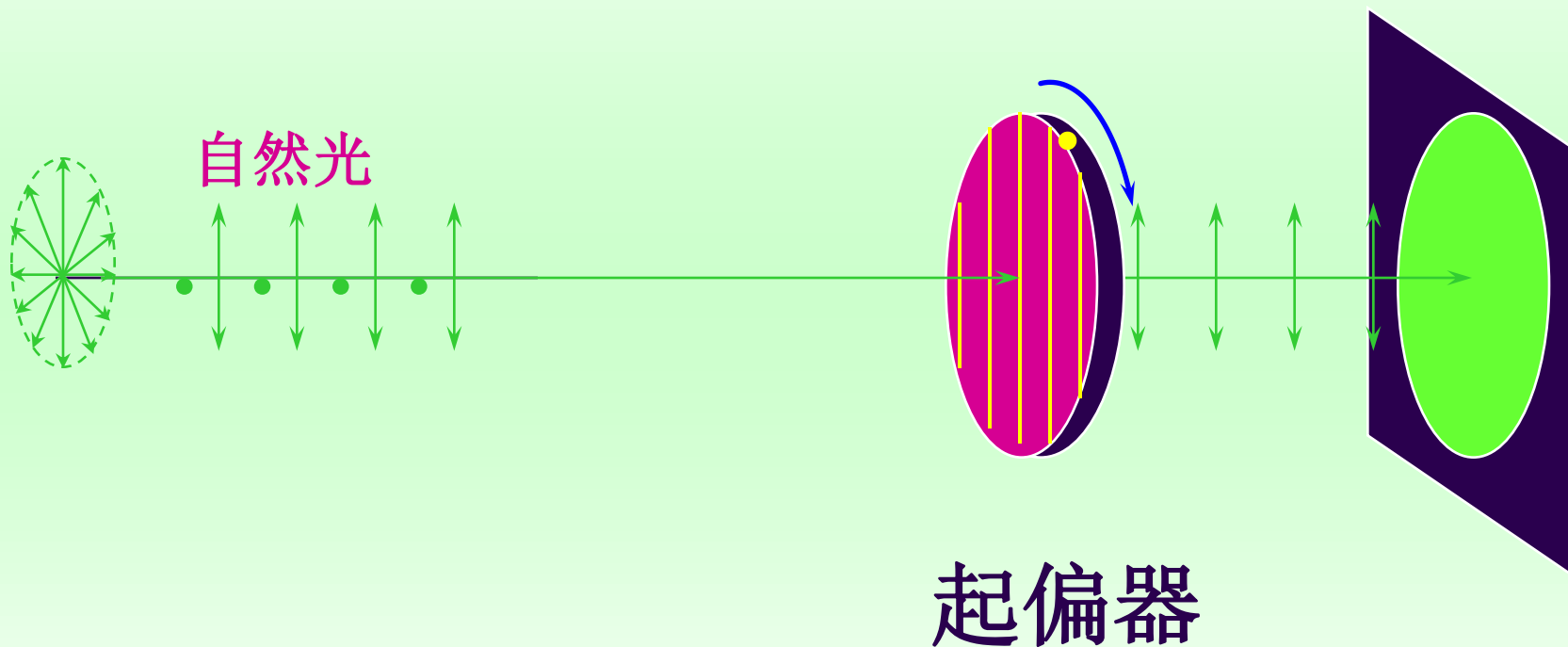
自然光 \longrightarrow 偏振光：起偏（起偏器）

检验一束光是否为偏振光：检偏（检偏器）

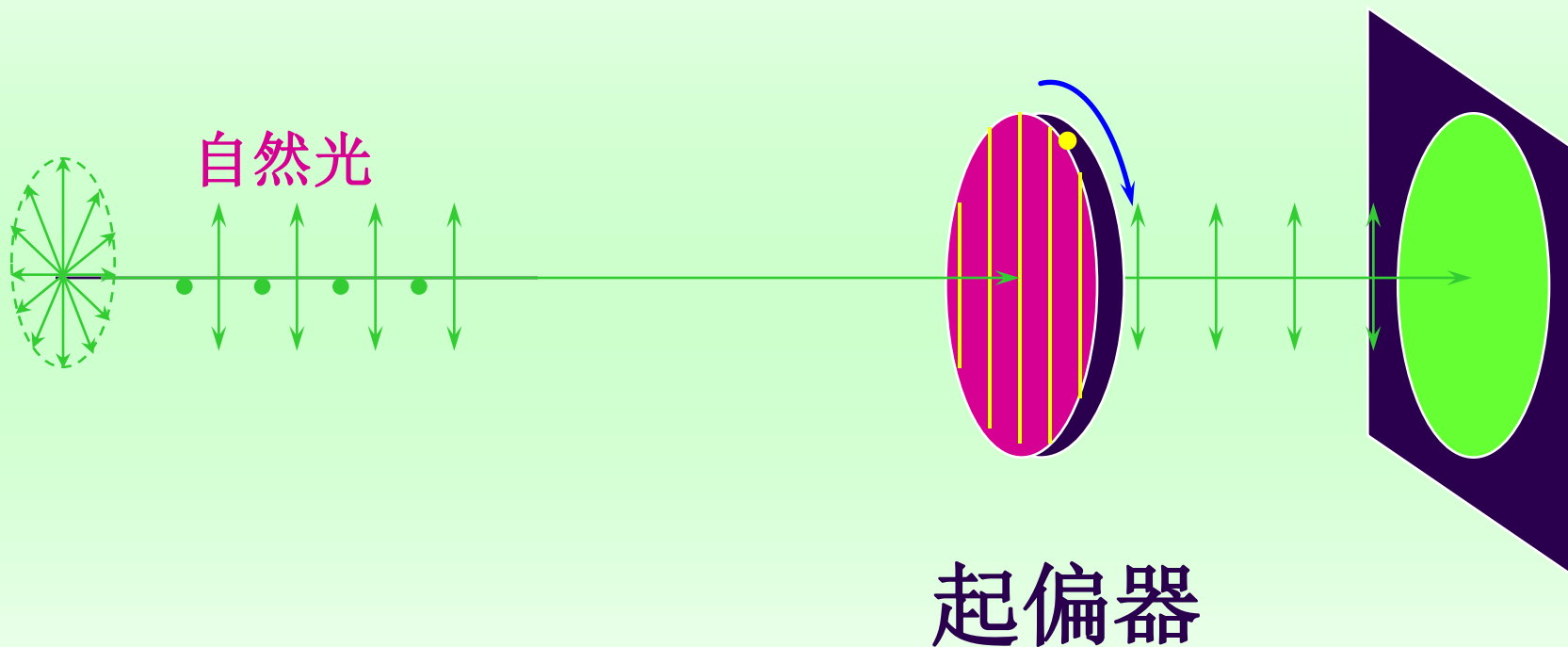
偏振片：能吸收某一方向的光振动，而只让与这个方向垂直的光振动通过的某些薄膜材料。（涂有金鸡纳霜或碧硒等材料的薄膜）
这个方向称为偏振化方向



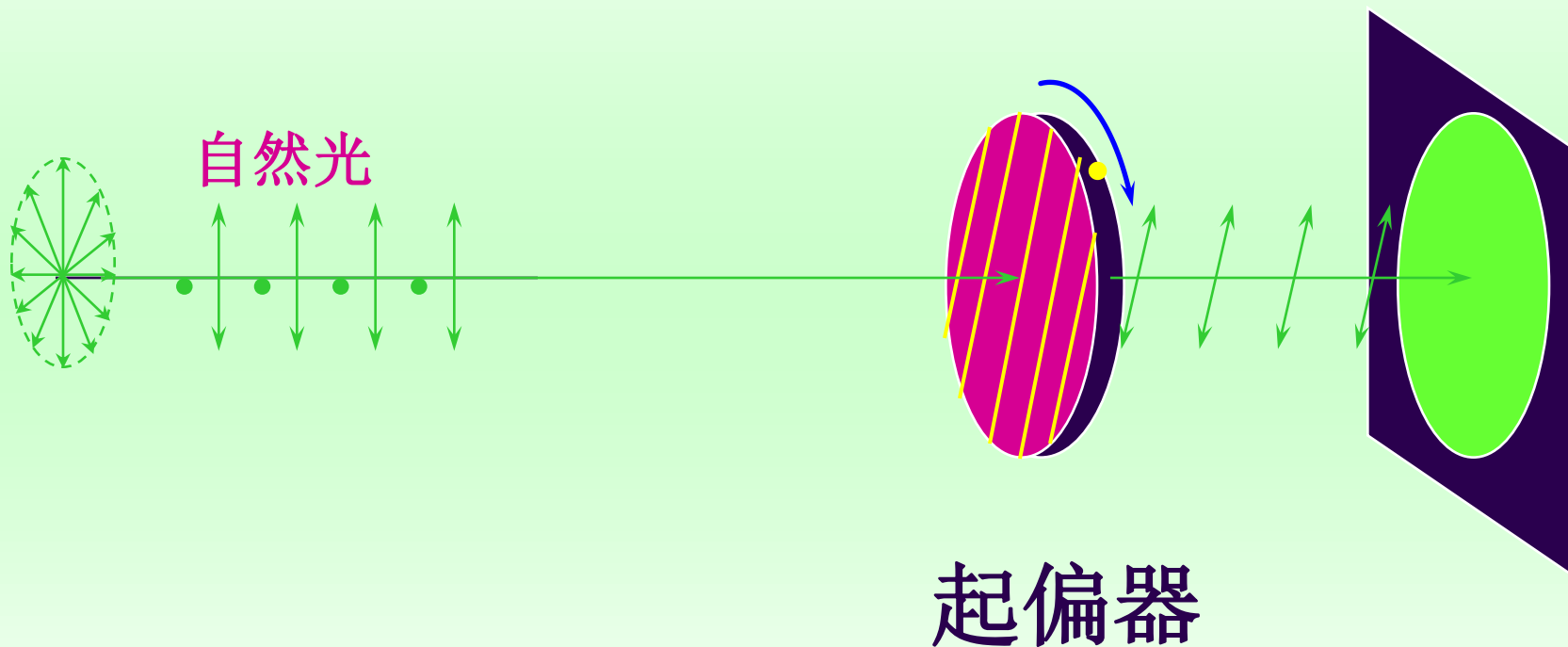
自然光通过旋转的起偏器，光强不变



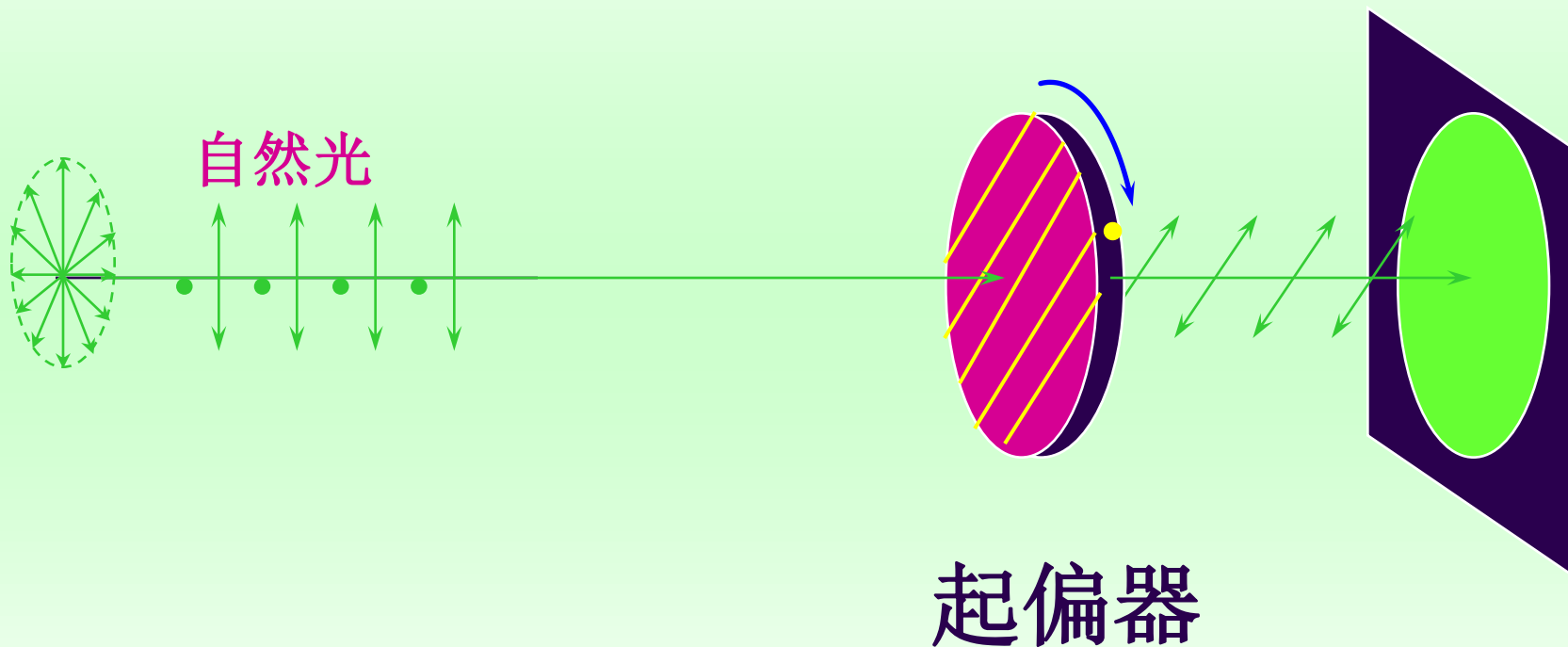
自然光通过旋转的起偏器，光强不变



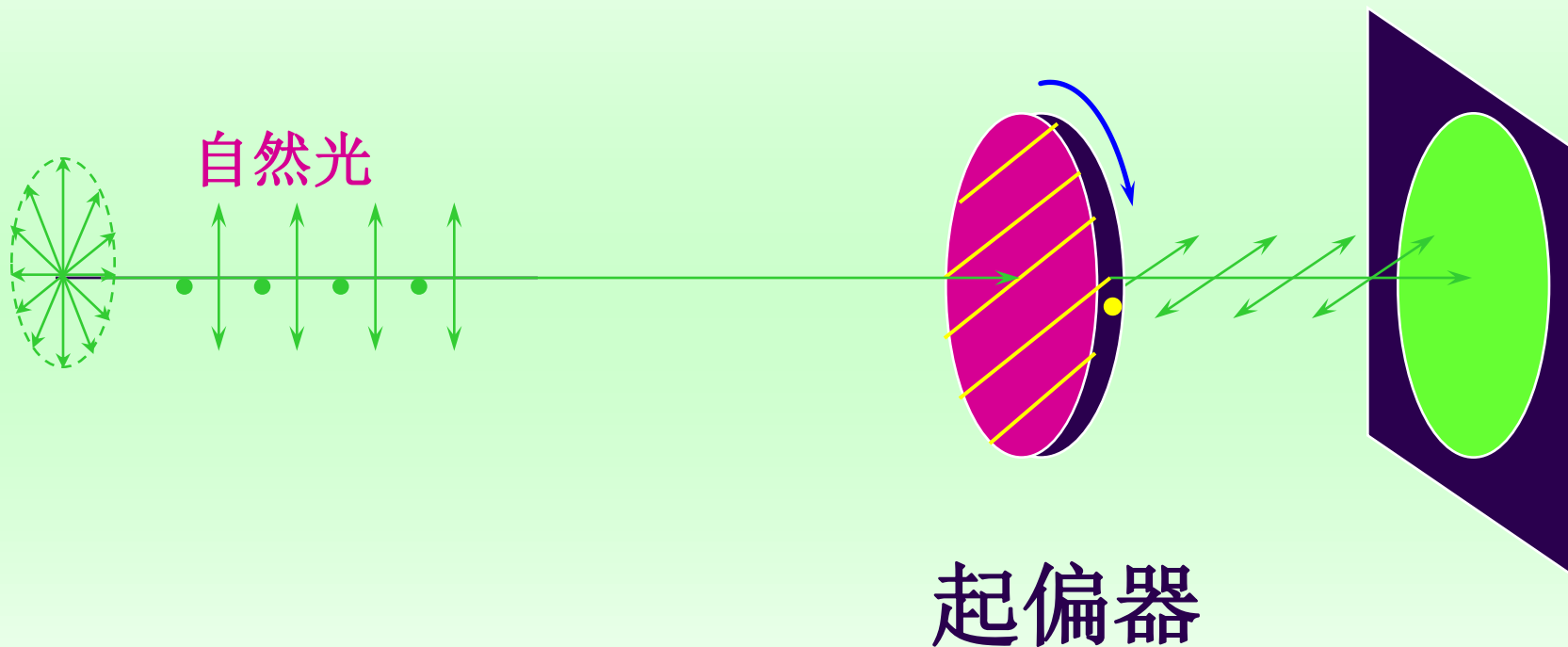
自然光通过旋转的起偏器，光强不变



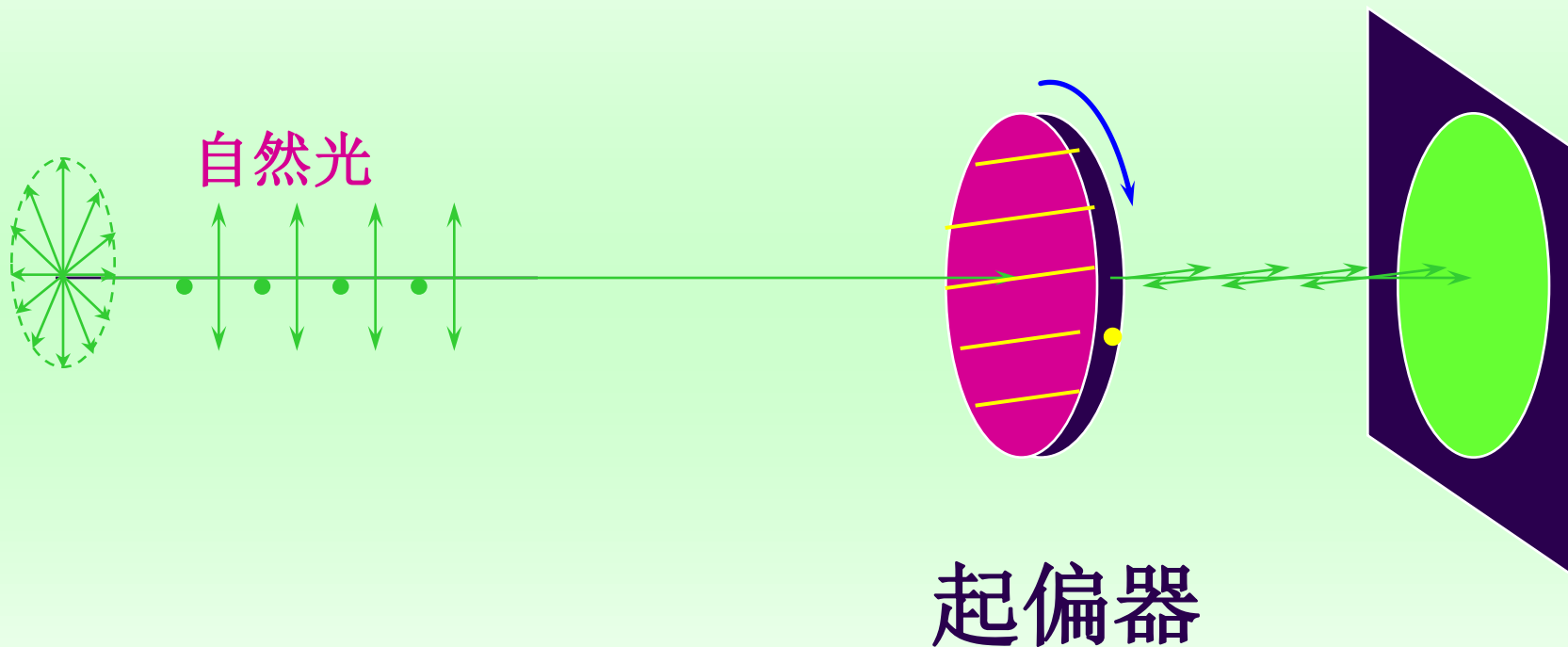
自然光通过旋转的起偏器，光强不变



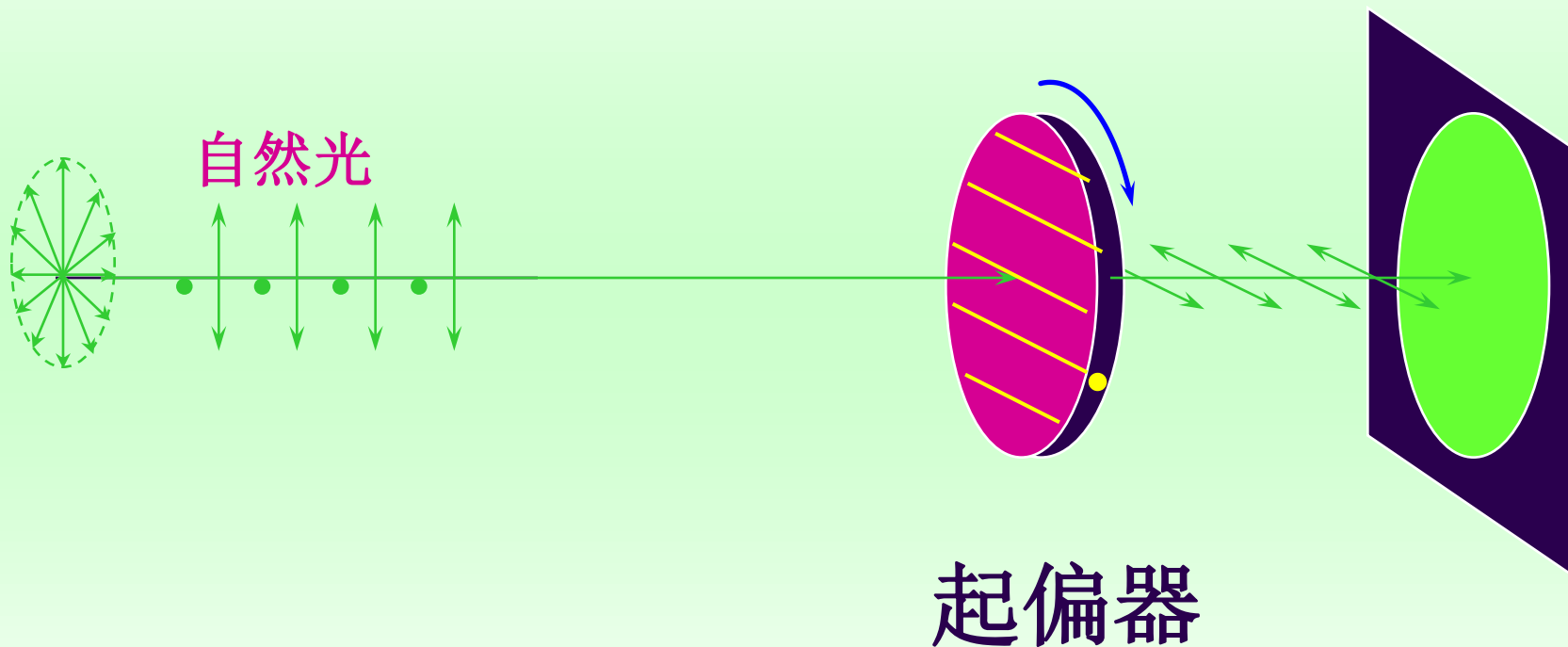
自然光通过旋转的起偏器，光强不变



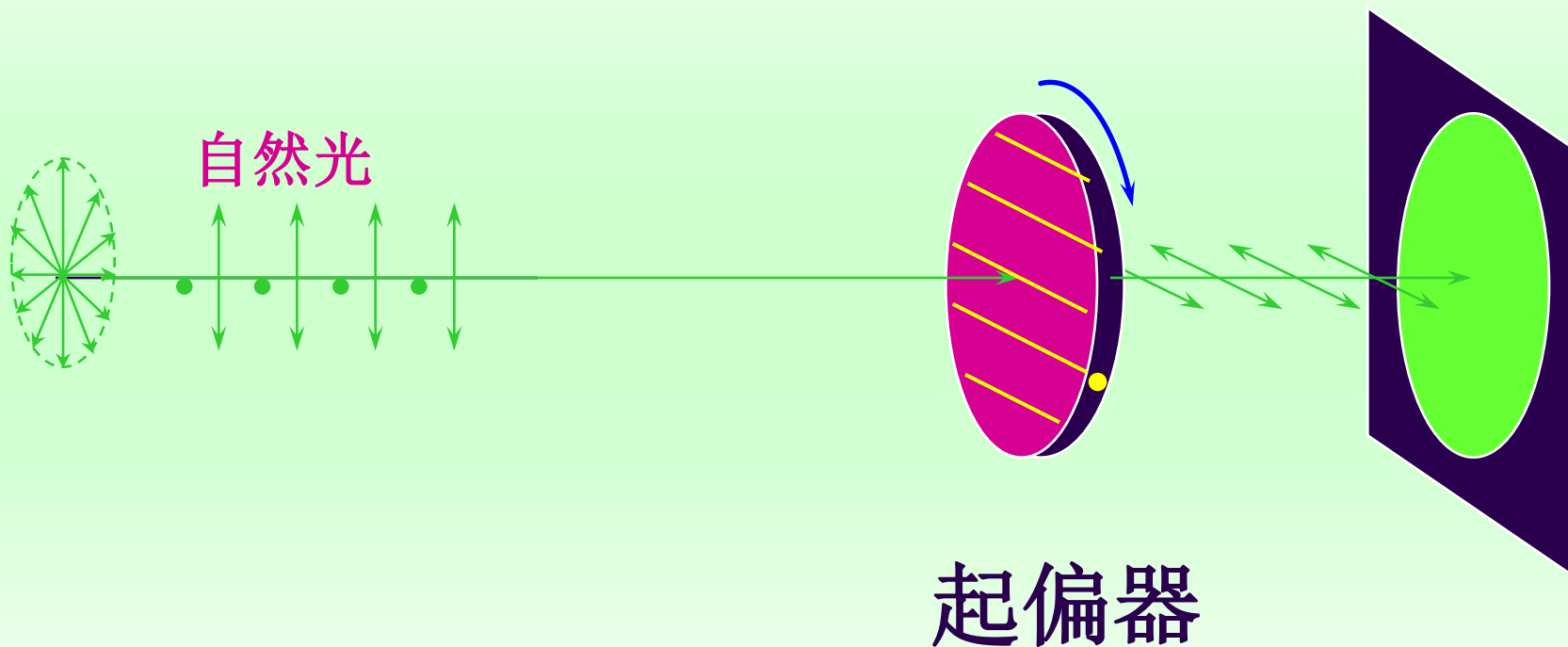
自然光通过旋转的起偏器，光强不变



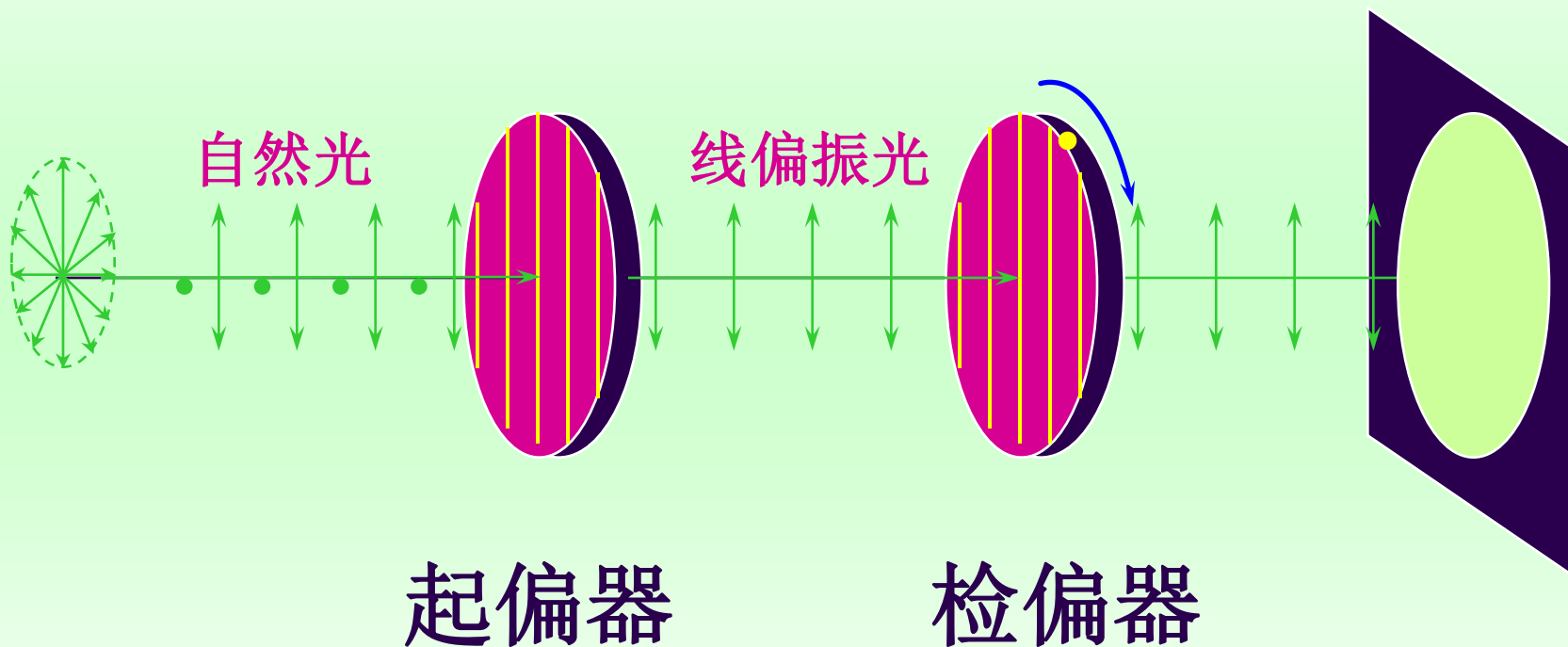
自然光通过旋转的起偏器，光强不变



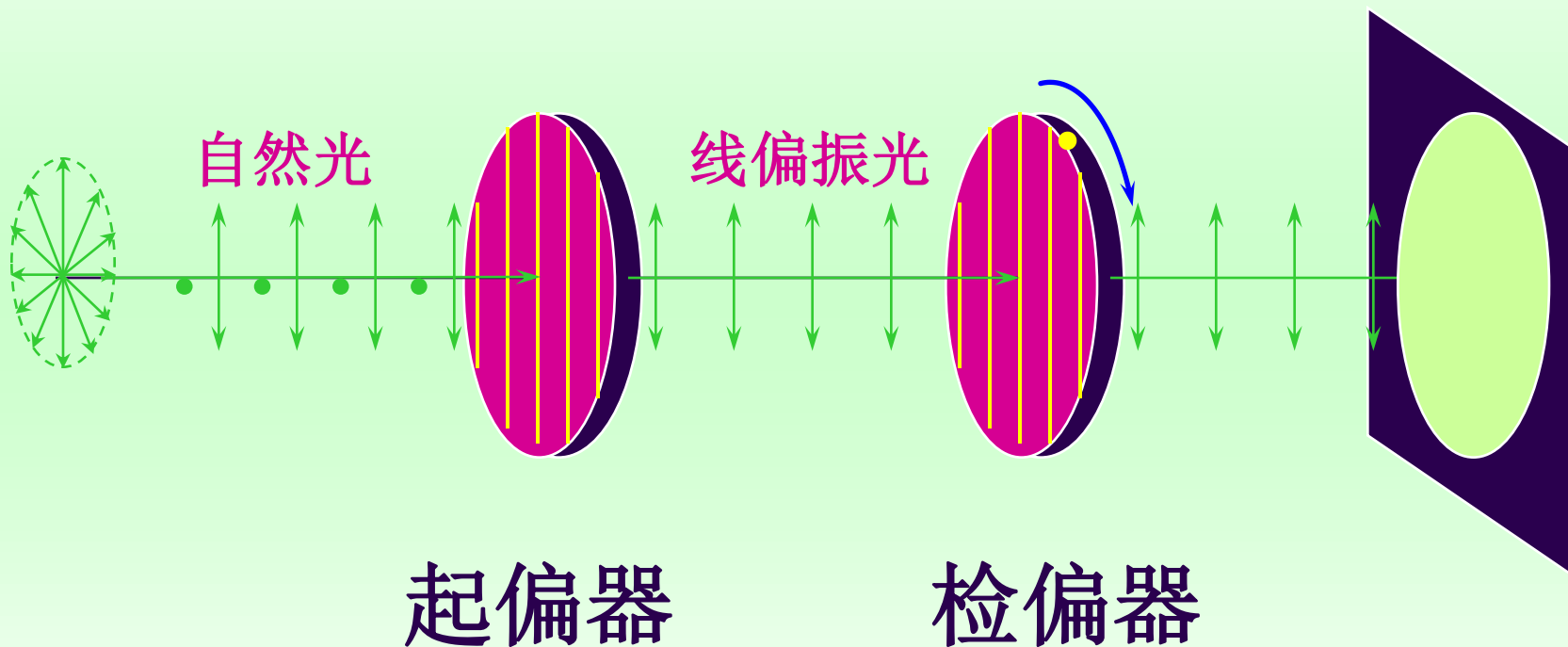
自然光通过旋转的起偏器，光强不变



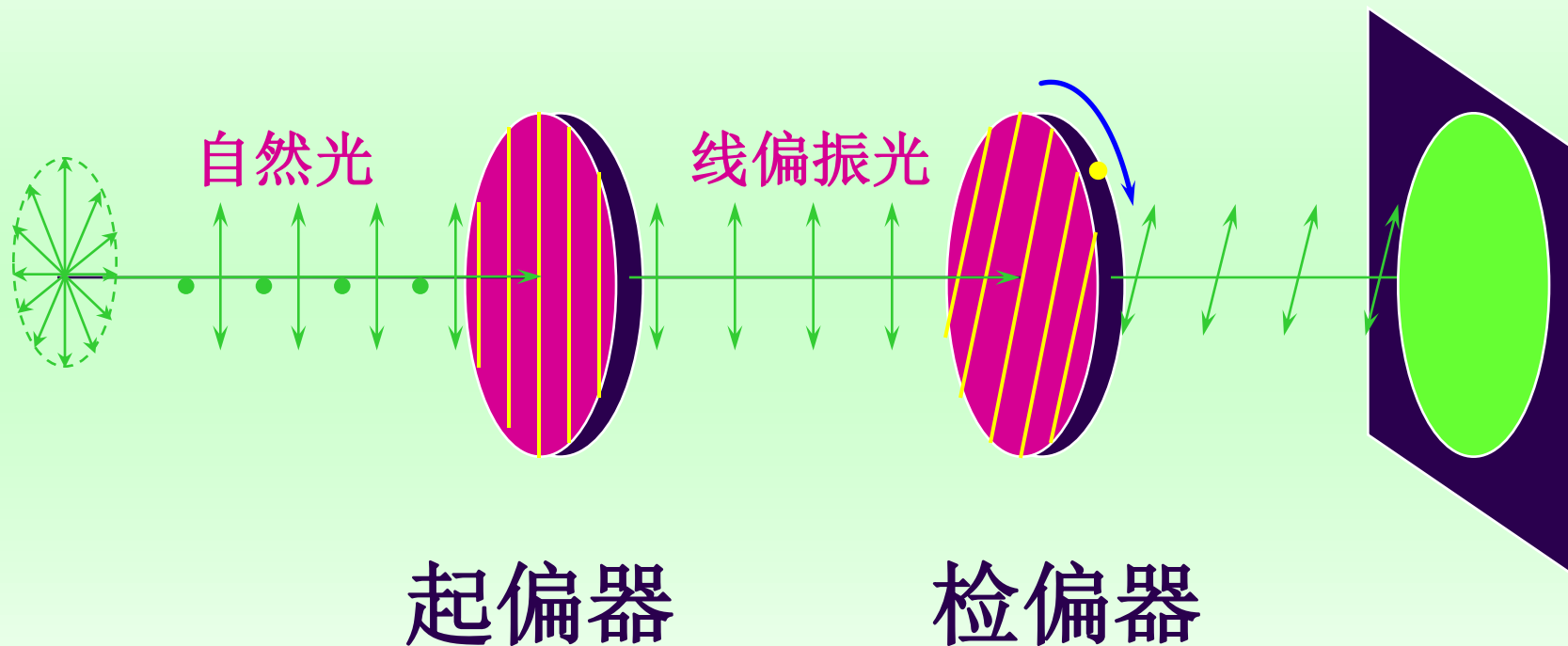
偏振光通过旋转的检偏器， 光强变化情况



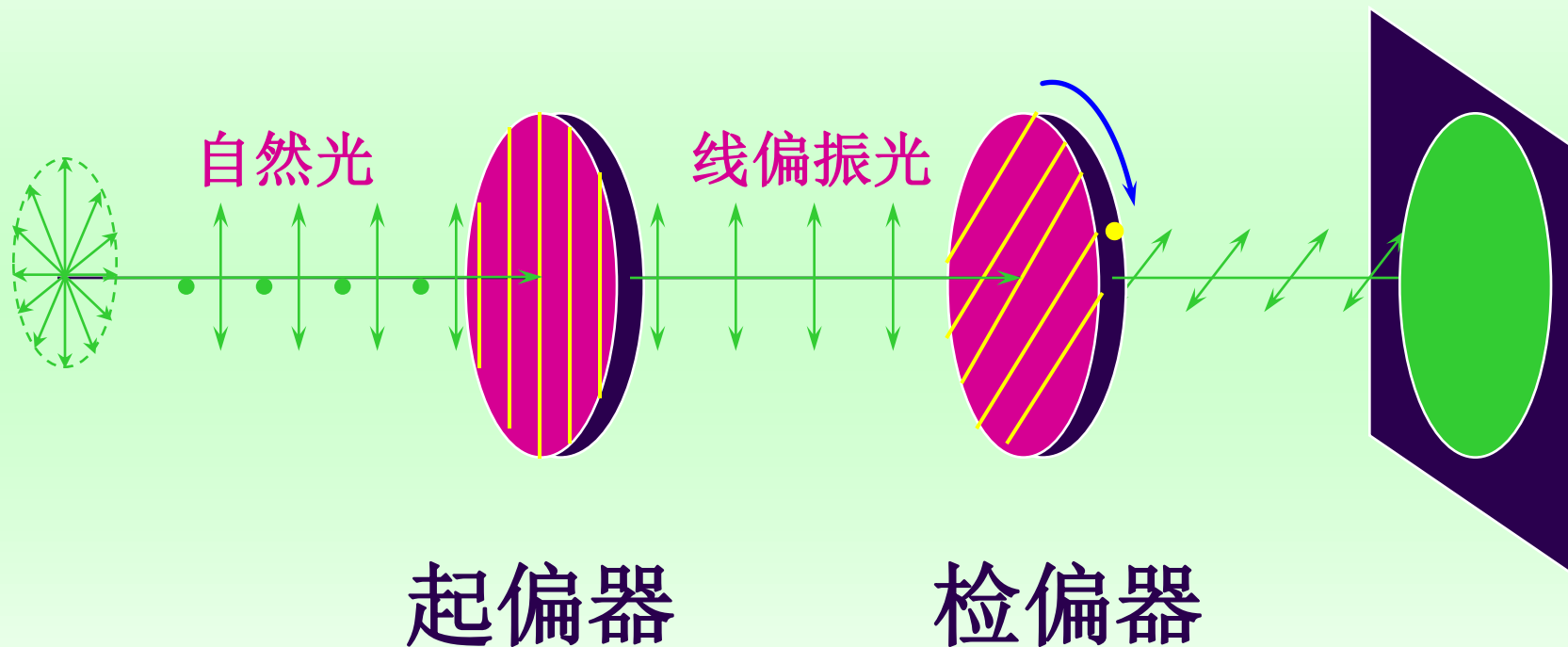
偏振光通过旋转的检偏器， 光强变化情况



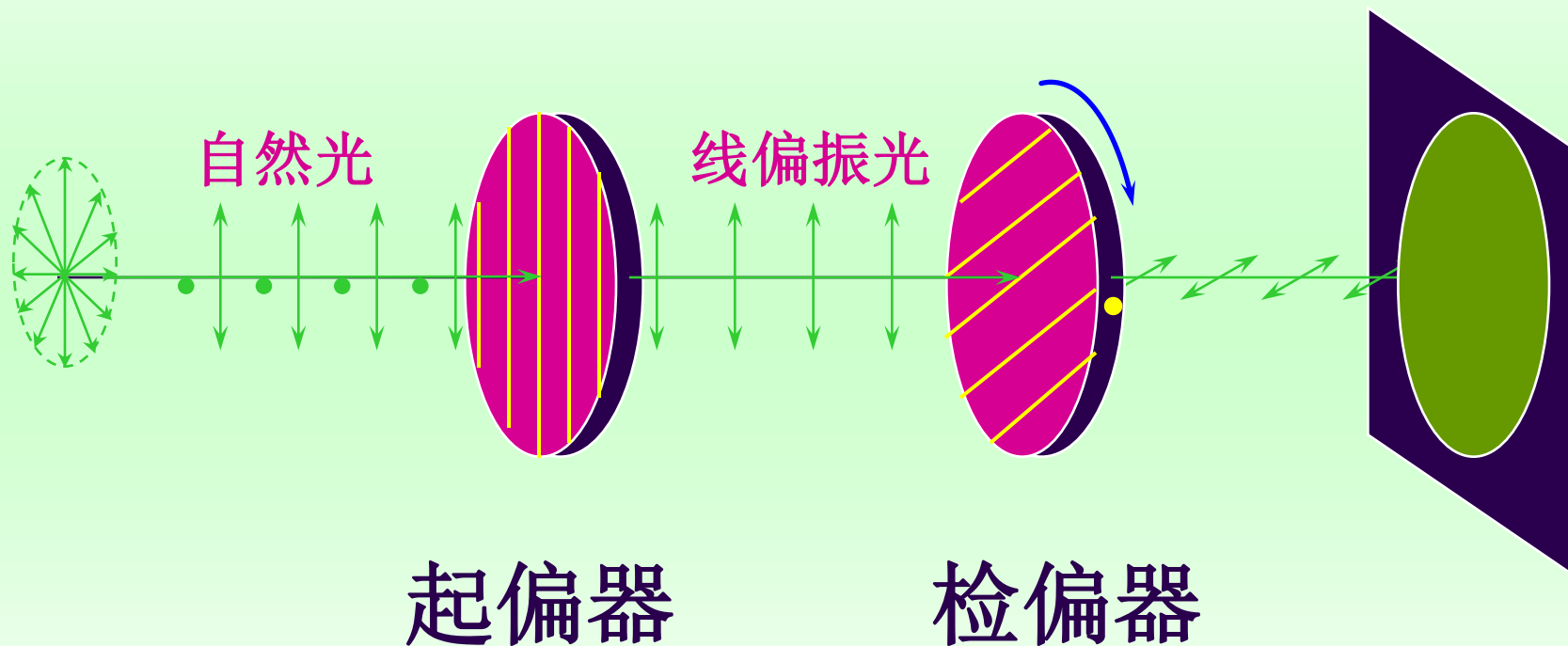
偏振光通过旋转的检偏器， 光强变化情况



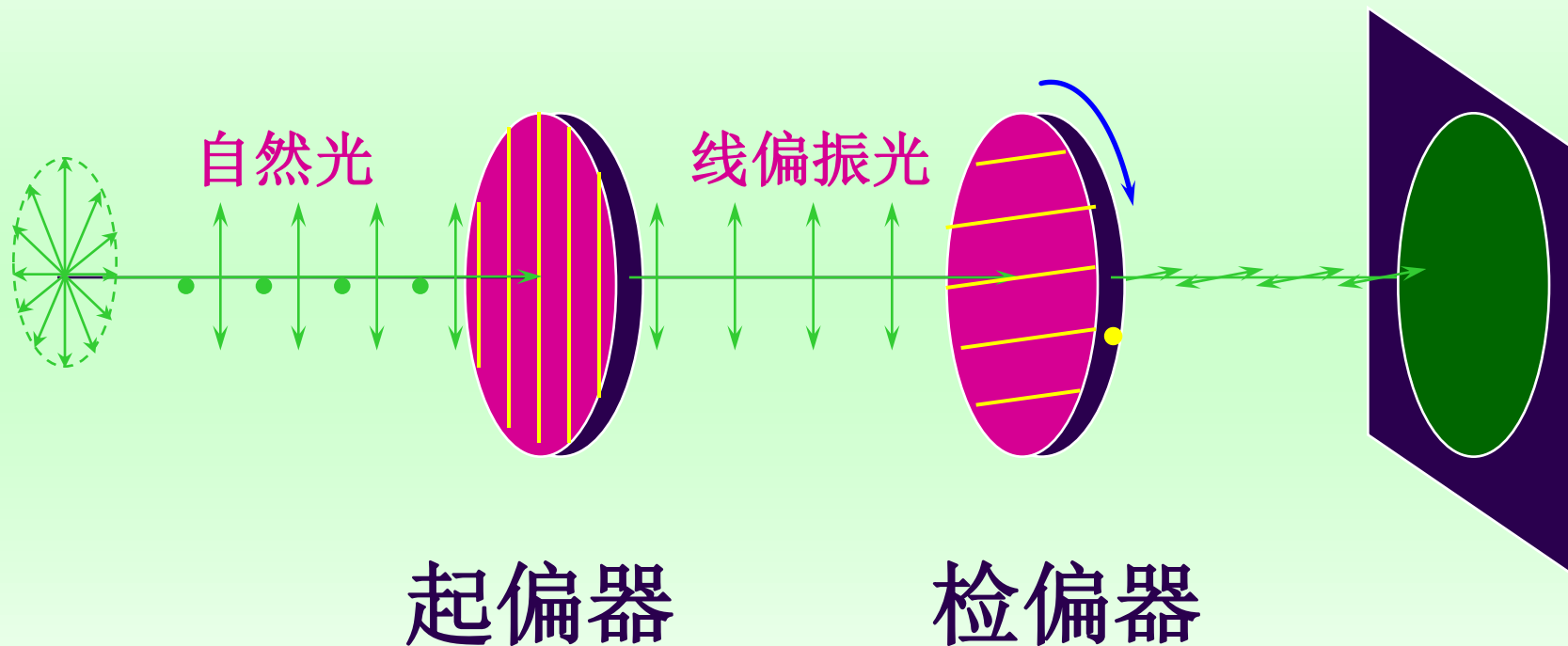
偏振光通过旋转的检偏器， 光强变化情况



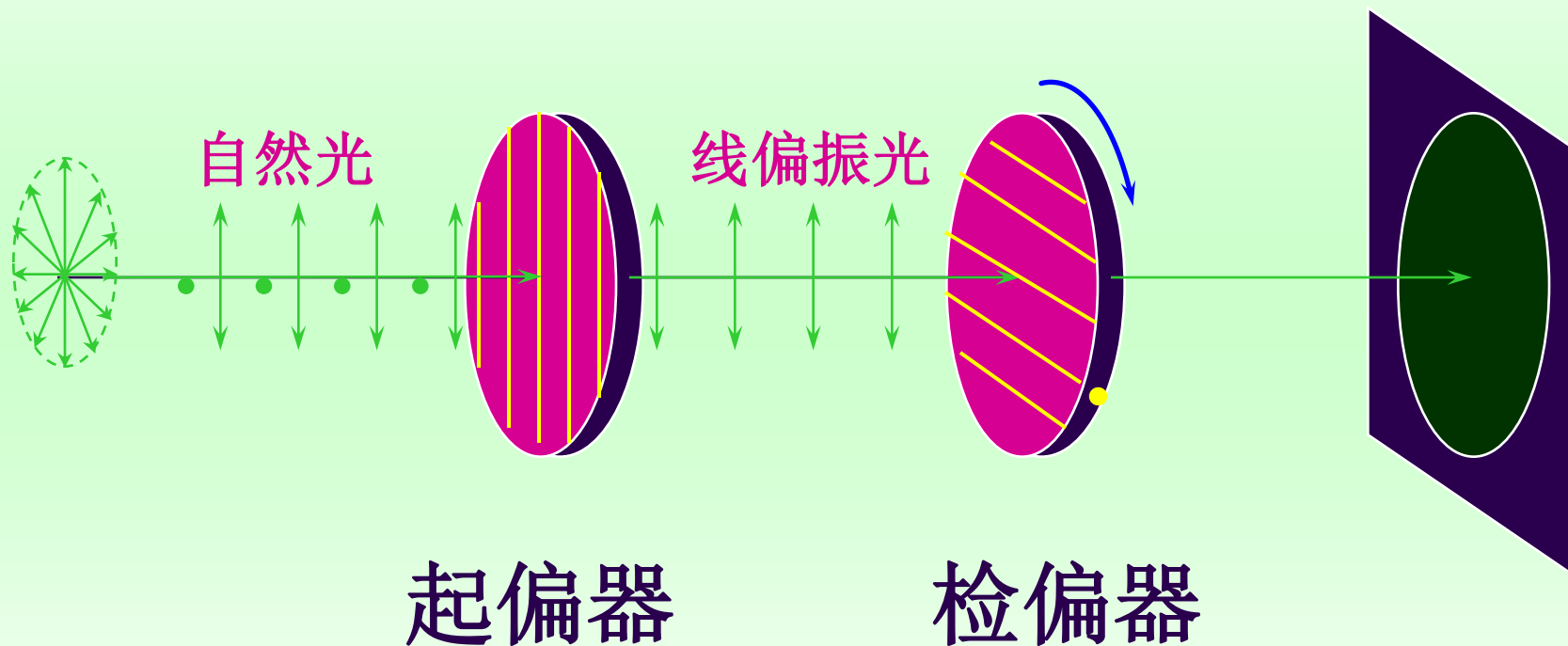
偏振光通过旋转的检偏器， 光强变化情况



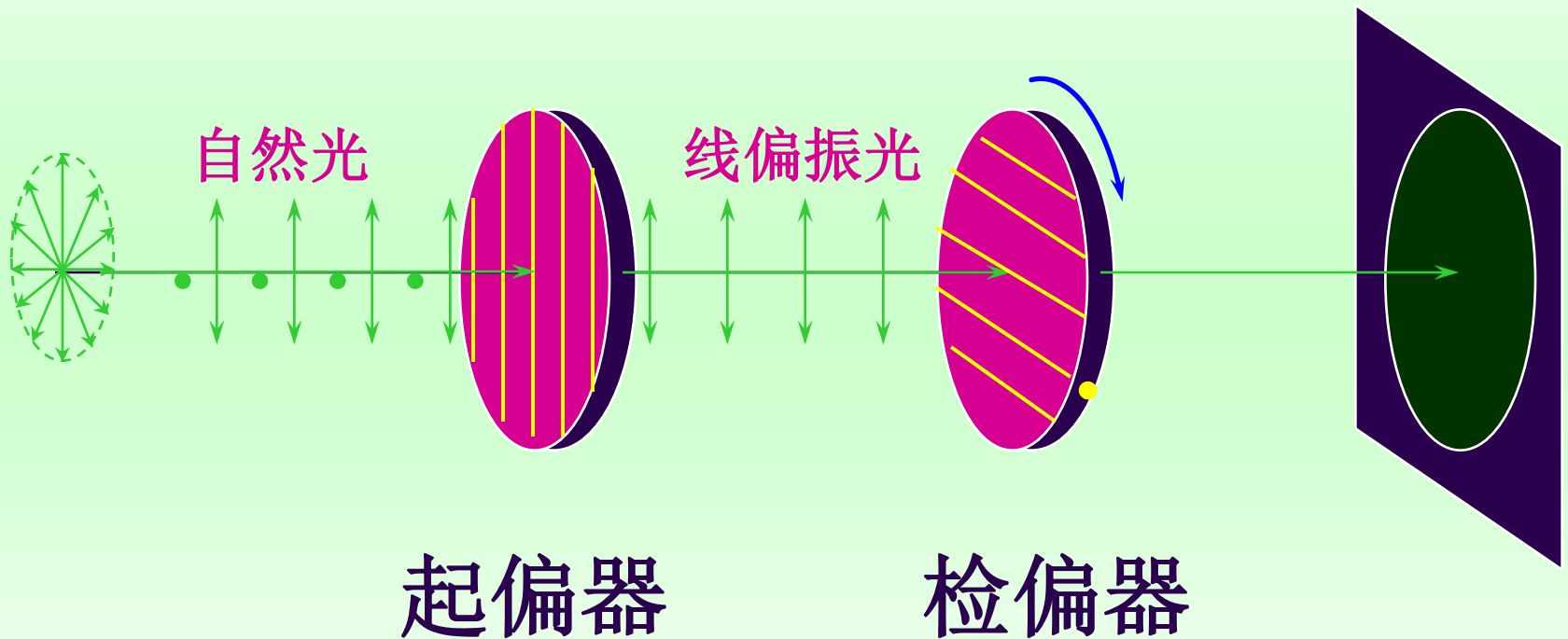
偏振光通过旋转的检偏器， 光强变化情况



偏振光通过旋转的检偏器， 光强变化情况



偏振光通过旋转的检偏器， 光强变化情况



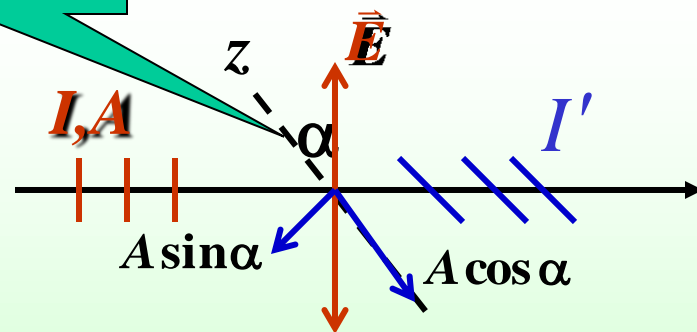
两偏振片的偏振化方向相互垂直
——光强为零

二、马吕斯定律

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

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

偏振化方向



马吕斯定律:

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

$$\begin{cases} \alpha = 0, 180^\circ \rightarrow I' = I \\ \alpha = 90^\circ, 270^\circ \rightarrow I' = 0 \\ 0 < \alpha < 90^\circ \rightarrow 0 < I' < I \end{cases}$$

例：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：

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

§ 15.3 反射和折射时光的偏振

*反射光的偏振——布儒斯特定律

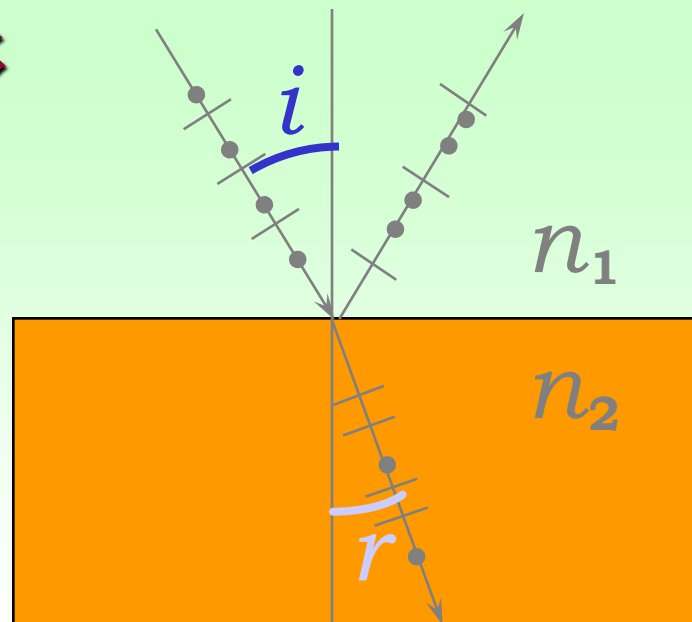
实验和理论都表明：

自然光以任意角度入射到两种各向同性介质的分界面上反射和折射时, 反射光和折射光都是部分偏振光,

且 反射光中垂直入射面的振动居多

折射光中平行入射面的振动居多

以任意角度入射



当入射角 $i = i_0$ —布儒斯特角

反射光为线偏振光，折射光为部分偏振光。并且：

$$i_0 + r = 90^\circ$$

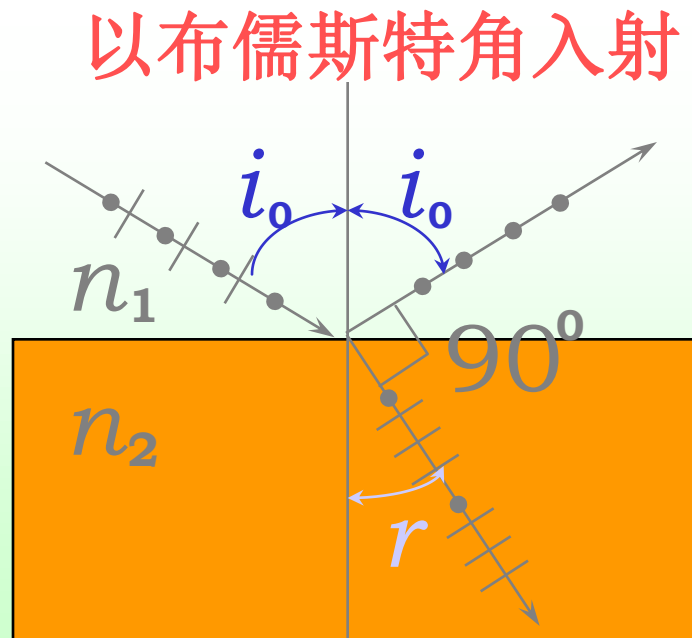
由折射定律：

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

$$\frac{\sin i_0}{\sin r} = \frac{\sin i_0}{\sin(90^\circ - i_0)} = \operatorname{tg} i_0$$

$$\operatorname{tg} i_0 = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

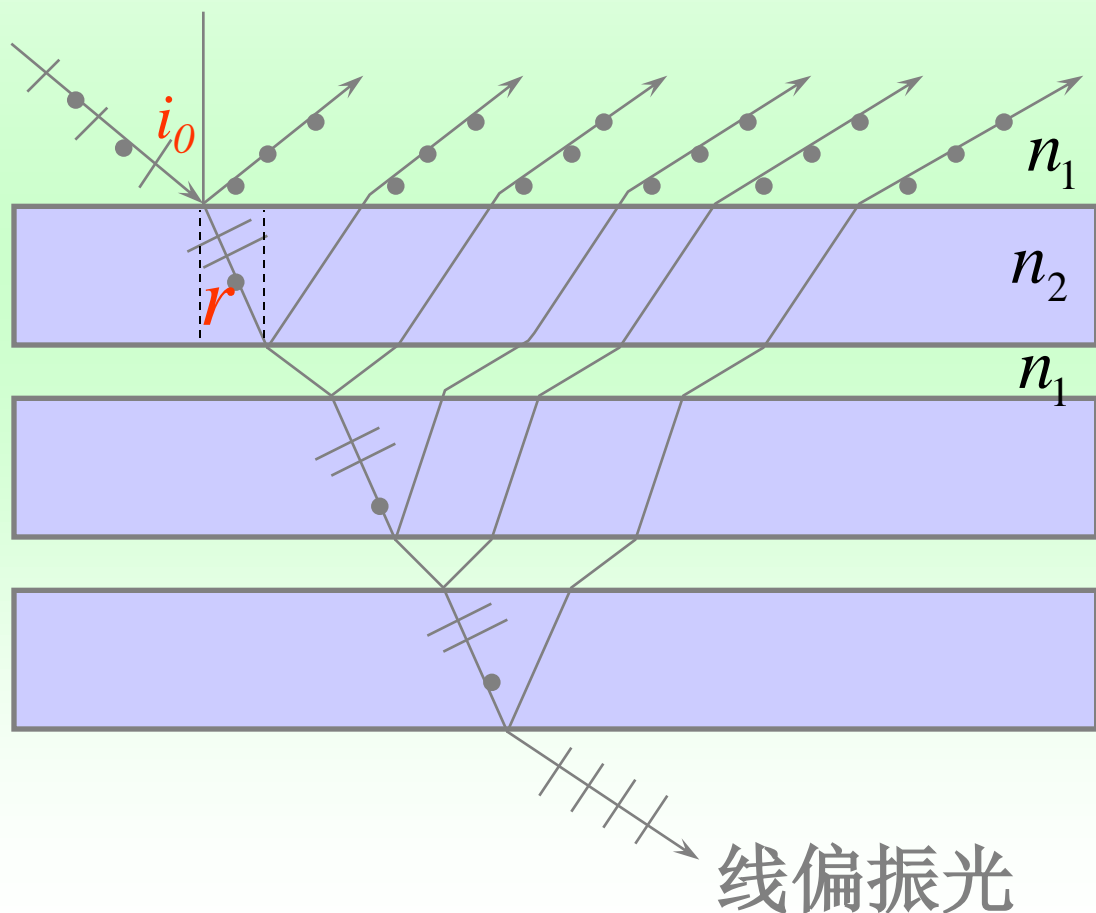
布儒斯特定律



*玻璃片堆

利用玻璃片堆增加反射偏振光光强，提高透射光偏振度，但光强减小

自然光入射

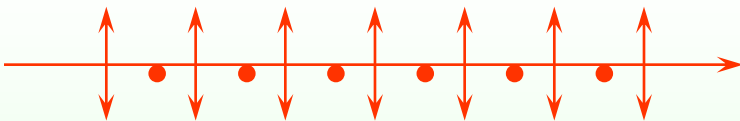


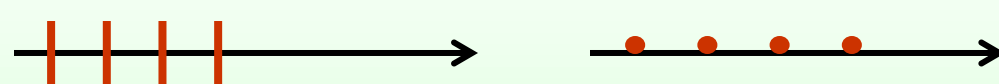
$$\because tgr = tg\left(\frac{\pi}{2} - i_0\right)$$


$$= ctgi_0 = \frac{n_1}{n_2}$$

$\therefore r$ 是玻璃、空气界面的起偏角。

*光的偏振性——光波是横波

自然光： 

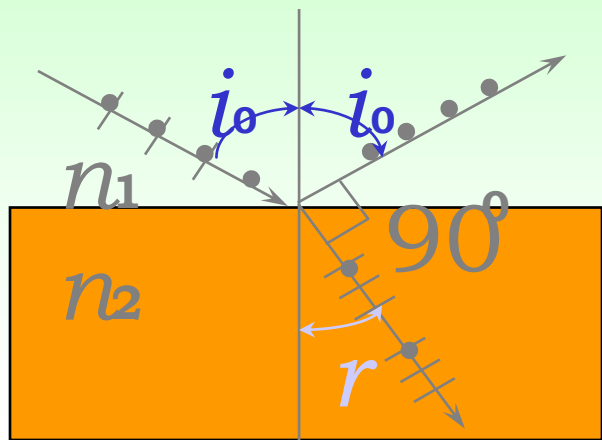
偏振光表示： 

部分偏振光： 

起偏后光强： $I_1 = \frac{I_0}{2}$

检偏后光强： $I_2 = I_1 \cos^2 \alpha$ —— 马吕斯定律

*反射光的偏振——布儒斯特定律



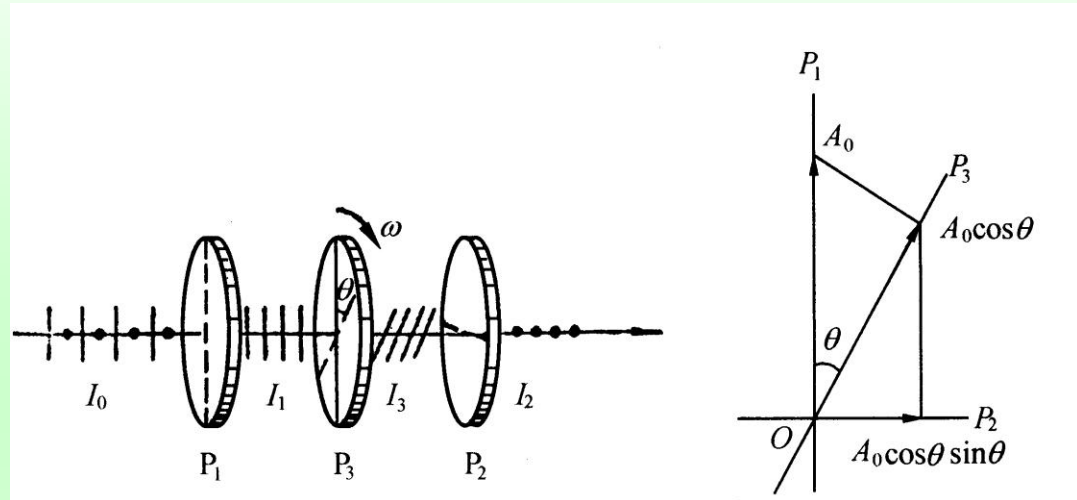
$$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

[例15-1] 自然光 I_0 通过偏振化方向互相垂直的偏振片 P_1, P_2 。如果在 P_1, P_2 间平行插入另一偏振片 P_3 ， P_3 与 P_1 偏振化方向夹角 θ ，求：透过 P_2 后的光强？

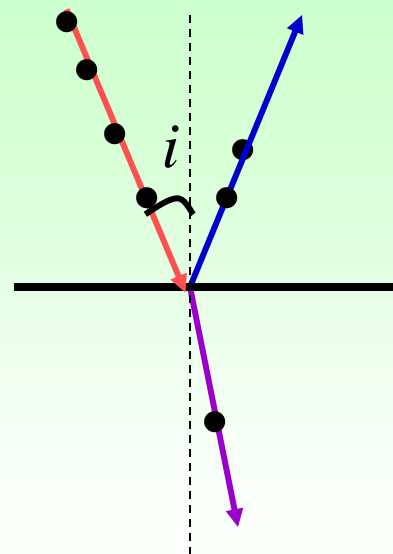
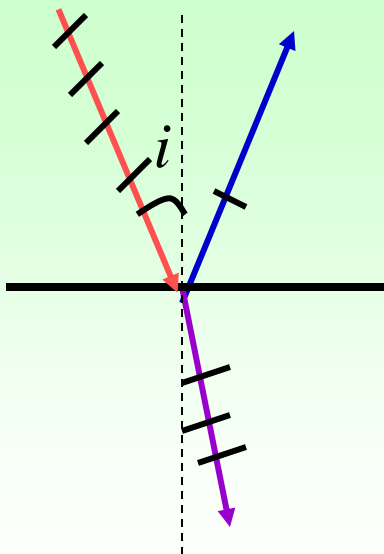
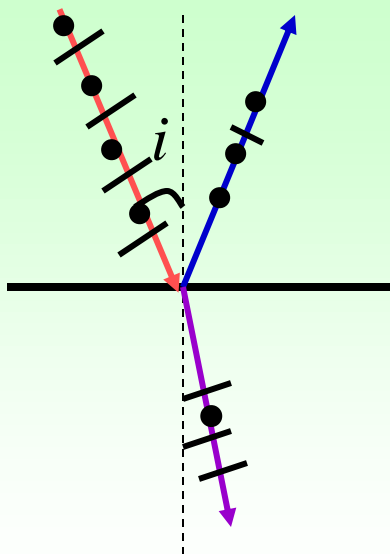
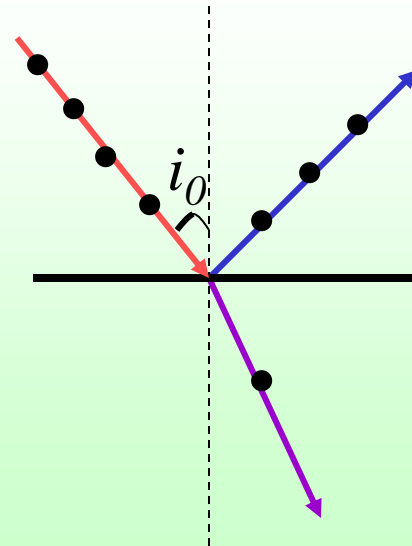
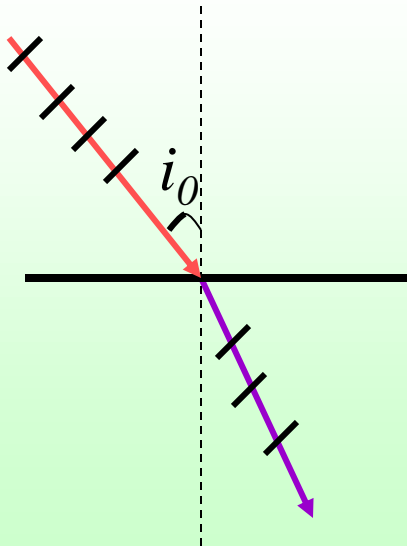
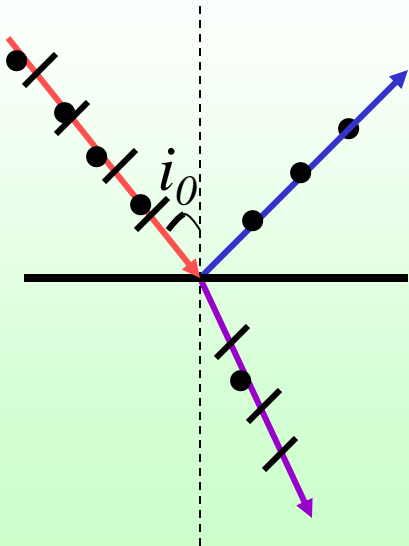
[解]

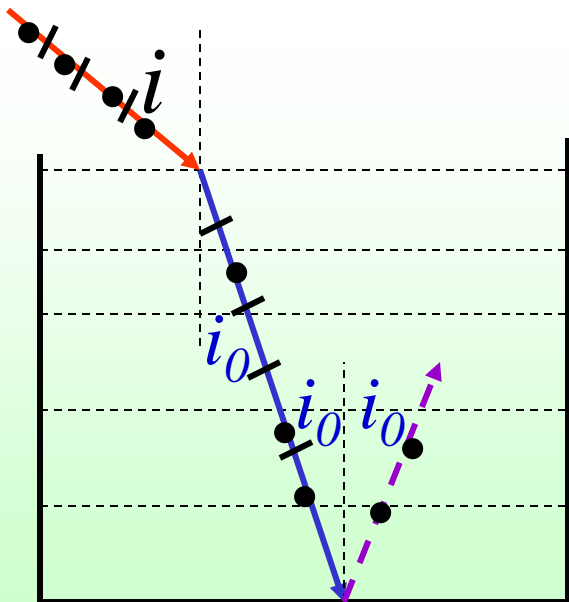
$$\text{自然光 } I_0 \text{ 通过 } P_1 \rightarrow \frac{I_0}{2}$$

$$\text{通过 } P_3 \rightarrow I_3 = \frac{I_0}{2} \cos^2 \theta$$



$$\text{通过 } P_2 \rightarrow I_2 = I_3 \cos^2 (90^\circ - \theta) = \frac{I_0}{2} \cos^2 \theta \sin^2 \theta = \frac{I_0}{8} \sin^2 2\theta$$





已知： $n_{\text{水}}=1.33$, $n_{\text{玻璃}}=1.50$,
 容器底部反射光为偏振光
 求： $i=?$

解： $\operatorname{tgi}_0 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1.50}{1.33}$

$\sin i = n_{\text{水}} \sin i_0 = 1.33 \sin i_0$

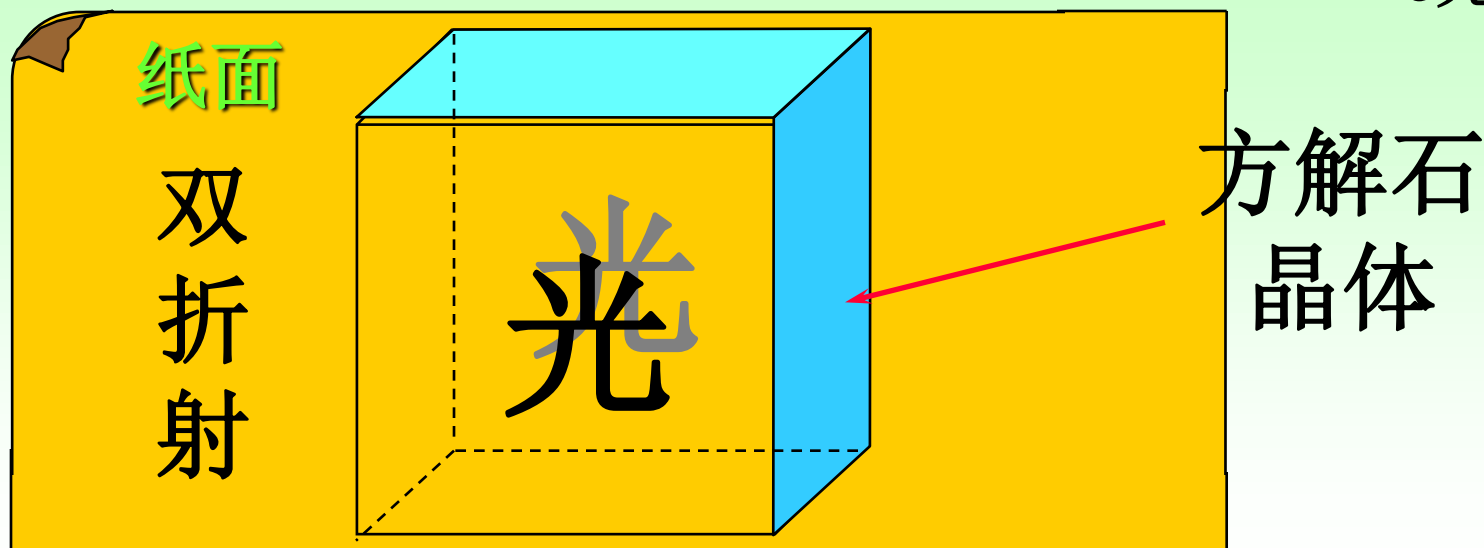
$i = 84^\circ$

§ 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

- 一束光在晶体内各个方向上折射率相同，传播速度相同
—— o光（寻常光）
- 一束光在晶体内各个方向上折射率不同，传播速度不同
—— e光（非常光）



2) o光、e光都是线偏振光

3) 双折射晶体中存在一**特定方向**——**光轴**
光线沿这一方向入射时，不发生双折射

单轴晶体：方解石、石英、红宝石

双轴晶体：云母、蓝宝石

4) 光轴与某光线组成的平面——该光线的主平面

o光：振动方向垂直于o光的主平面

e光：振动方向平行于e光的主平面

一般来说，o光主平面和e光主平面不重合，**只有当光轴位于入射面内时，两主平面重合**。此时o光、e光是两个振动方向互相垂直的偏振光。

二、惠更斯原理对双折射现象的解释

由于各向异性介质在不同方向上的物理性能不同，因而它的电磁学特性（ ϵ ， μ ）随方向不同而不同。

由于 $v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$ ， $n = \frac{c}{v}$ ，所以光在晶体内传播速度 v 以及晶体的

折射率 n 随方向不同而不同

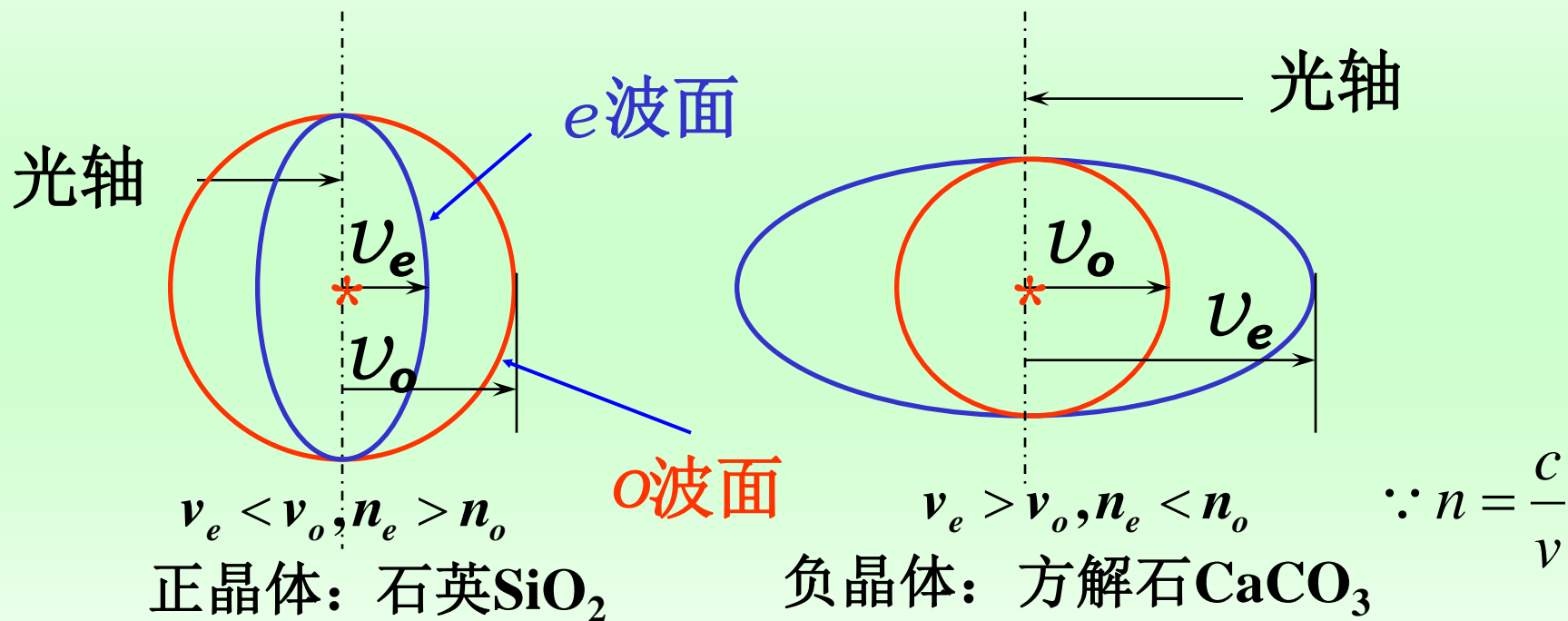
1. 单轴晶体中光波的波面：

$$\left. \begin{aligned} o\text{光: } \frac{\sin i}{\sin r_o} &= n_o (\text{常数}) \\ n_o &= \frac{c}{v_o} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} v_o \text{ 为一常数} \\ \text{（波阵面是球面）} \end{array}$$

$$e\text{光: } \frac{\sin i}{\sin r_e} = n \text{ (不是常数)} \left. \vphantom{\frac{\sin i}{\sin r_e}} \right\} \begin{array}{l} v_e \text{ 不为常数} \\ \text{波阵面是旋转椭球面} \end{array}$$

$$n = \frac{c}{v_e}$$

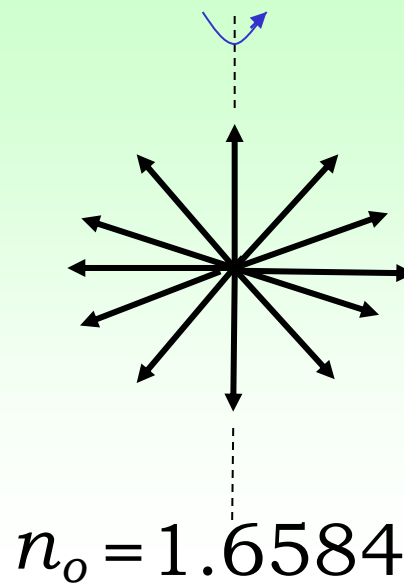
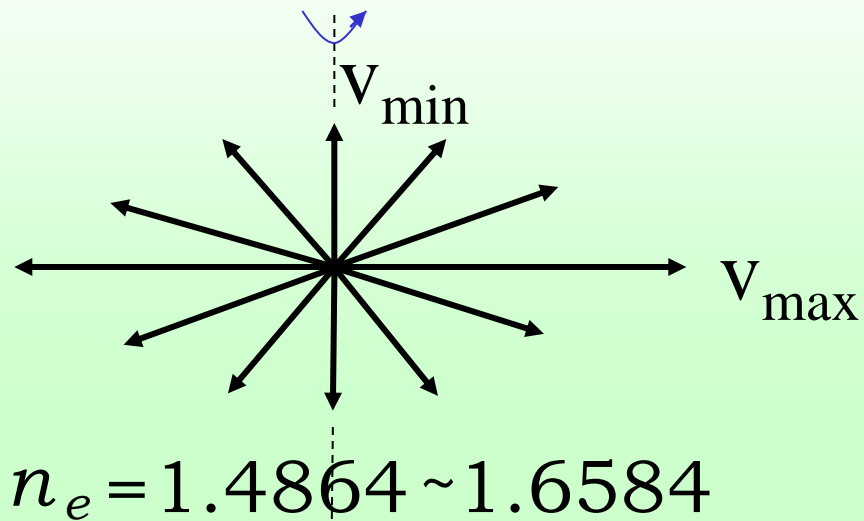
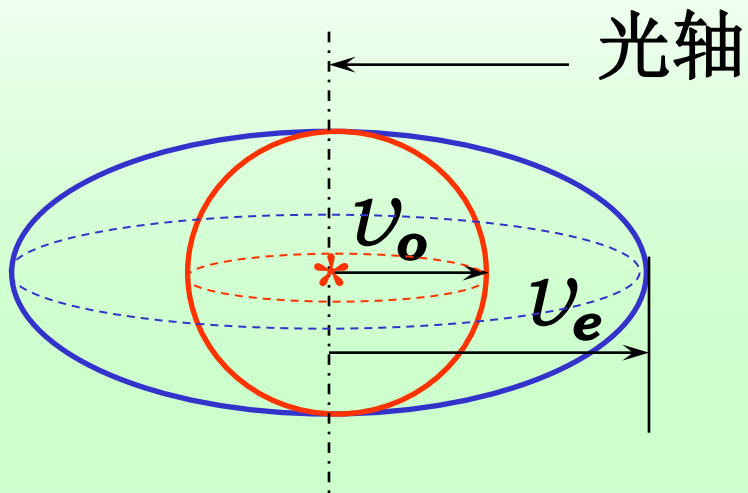
沿光轴方向: $v_o = v_{e//}$, o光、e光波面在光轴方向相切



垂直光轴方向: 两束光传播速度相差最大

垂直于光轴方向的传播速度 $v_{e\perp} \rightarrow n_e = \frac{c}{v_{e\perp}}$ —— e光的主折射率

方解石——单轴负晶体： $v_e > v_o$, $n_e < n_o$



2. 晶体中o光与e光的传播

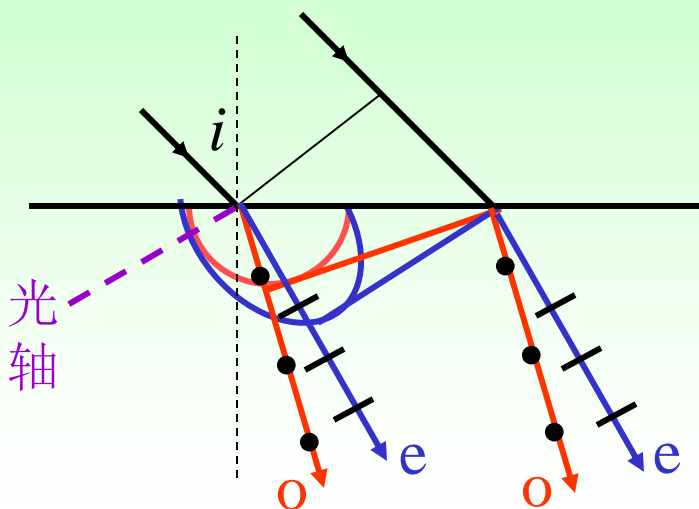
*光线入射到晶体表面时，波阵面上每一个子波波源都向晶体内分别发出球面子波（o光）和椭球面子波（e光）

*同一时刻，各子波包络面就是光线传播的波面

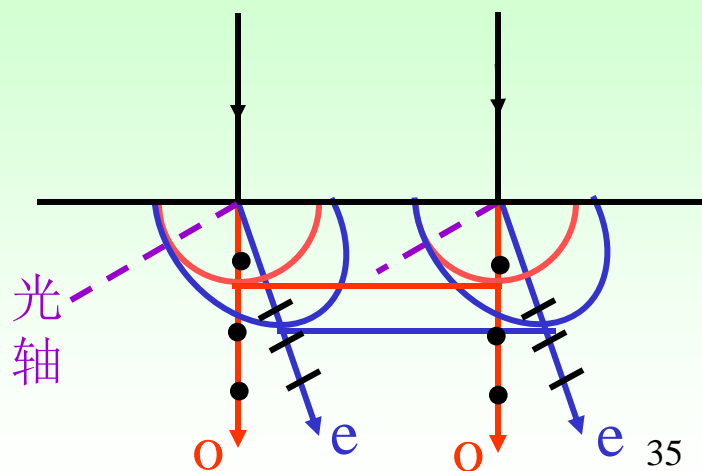
*从入射点引向相应波阵面切点的连线方向就是晶体中o光和e光的传播方向

(1).光轴在入射面内,与晶面斜交

光束斜入射

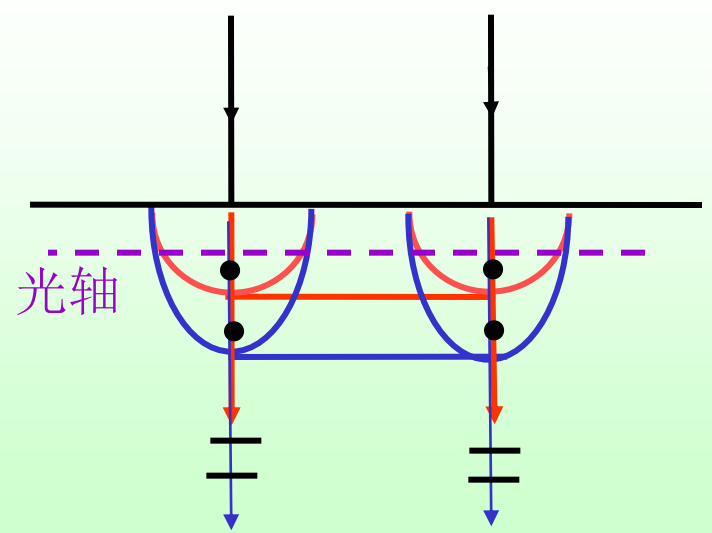


O 光 e 光主平面重合



光束垂直入射

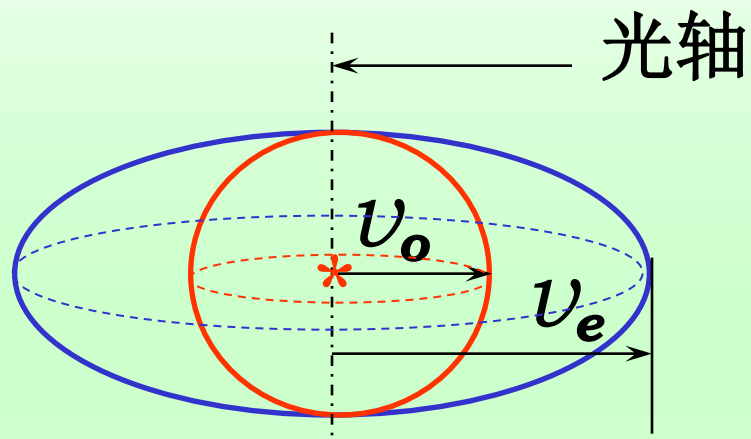
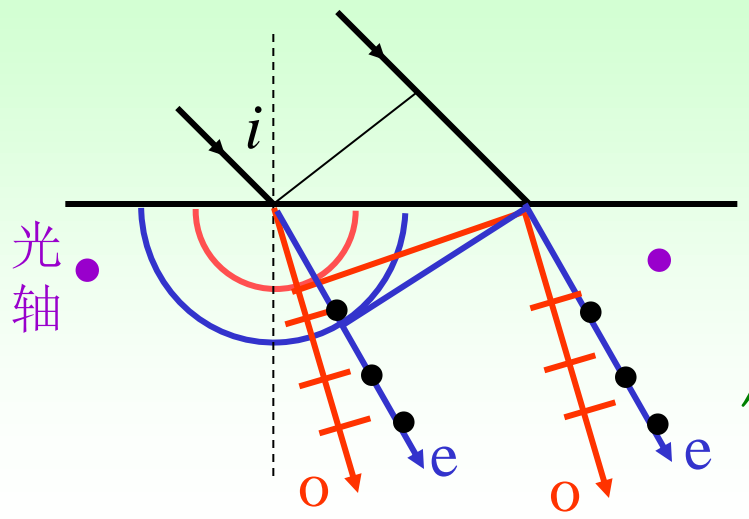
(2).光轴在入射面内,与晶面平行,光束垂直入射。



O,e二光束同方向行进,
但速度大小不一样。

(3).光轴与入射面垂直,与晶面平行

光束斜入射



O光、e光主平面不重合

*o*光振动⊥ *o*光主平面

*e*光振动// *e*光主平面

仅在此情况下, o光e光均遵循折射定律

如图所示，一束自然光以入射角 $i=45^\circ$ 入射到方解石晶体上，方解石晶体光轴垂直于纸面。方解石对o光和e光的折射率分别为： $n_o = 1.658$ $n_e = 1.486$

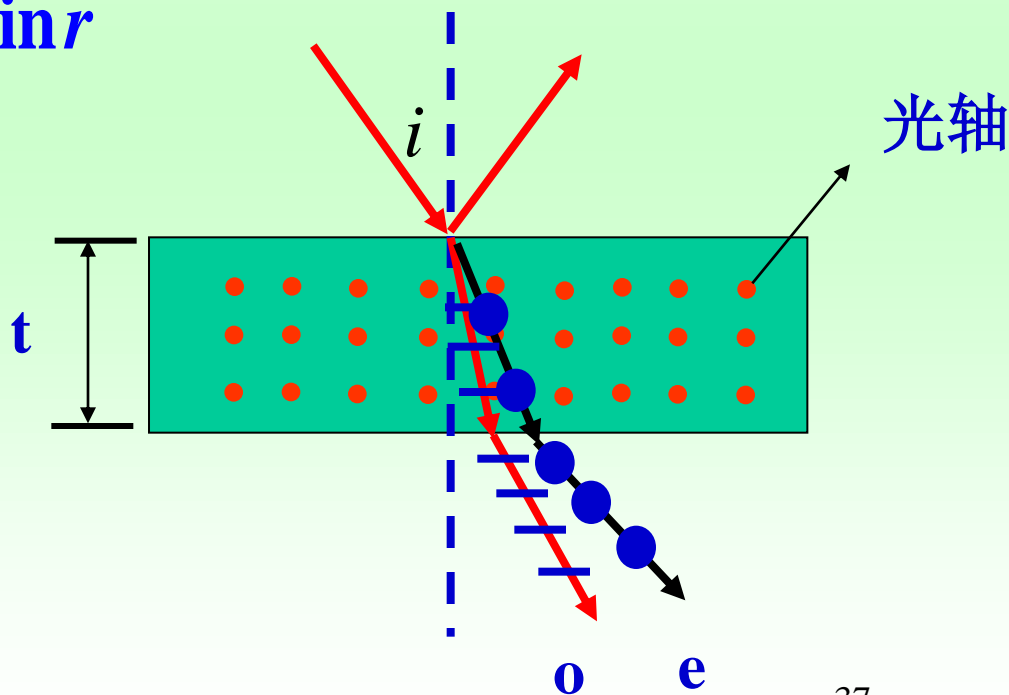
在图中标出哪一束是o光，哪一束是e光？并画出光矢量的振动方向。

解：折射定律 $n_1 \sin i = n_2 \sin r$

$$\sin i = n_o \sin r_o = n_e \sin r_e$$

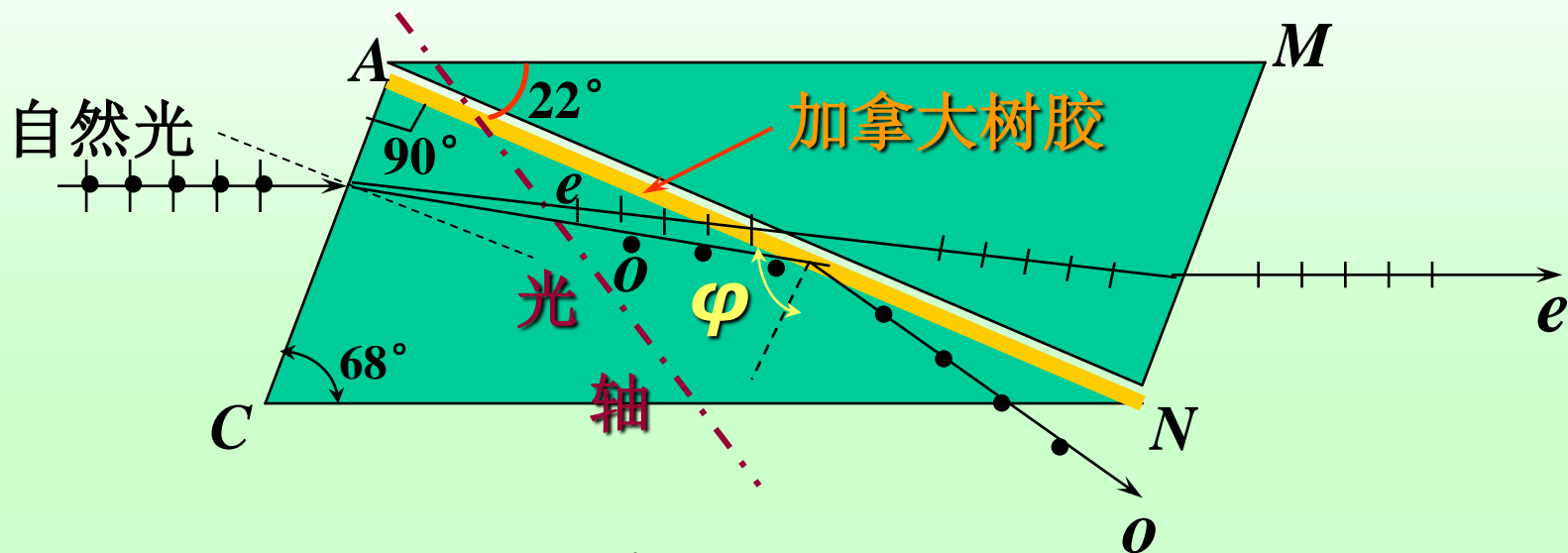
$$r_o = 25.25^\circ$$

$$r_e = 28.41^\circ$$



三、偏振棱镜

1. 尼科尔棱镜 ——起偏和检偏

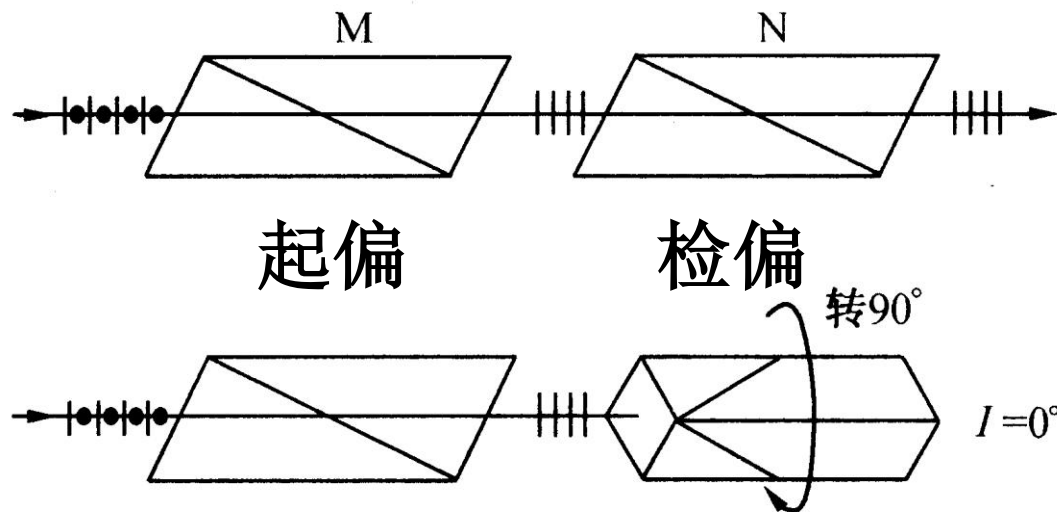


$$n_e = 1.4864 \sim 1.6584$$

$$n_{\text{加}} = 1.55 \quad n_e = 1.516 \quad n_o = 1.6584$$

$\because n_o > n_{\text{加}}$ 且 $\varphi = 77^\circ >$ 临界角, o光发生全反射

$\because n_e < n_{\text{加}}$ 所以 e光不会发生全反射



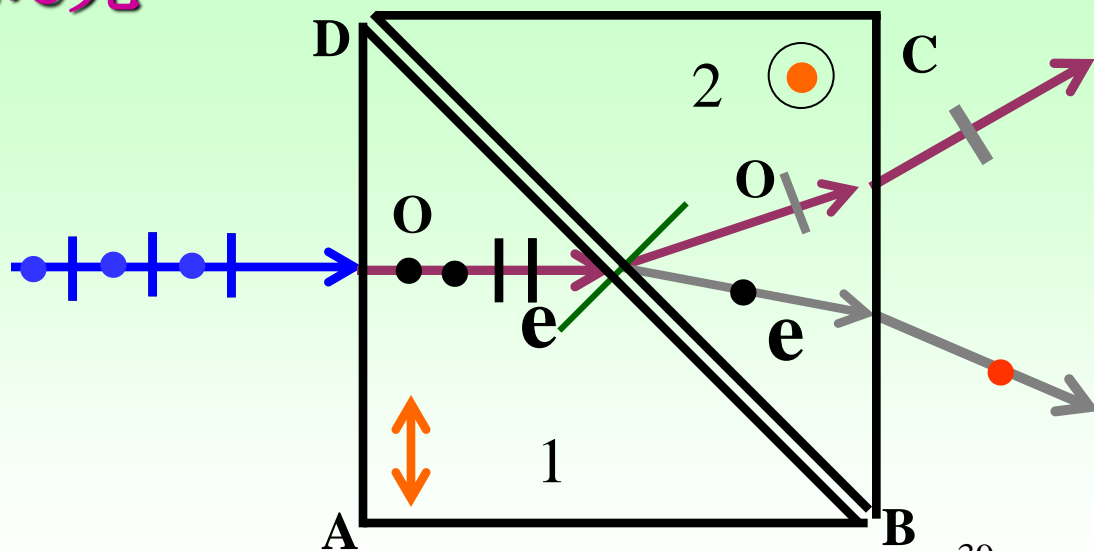
2. 渥拉斯顿棱镜：由两块光轴相互垂直的直角方解石棱镜组成——分开o光和e光

方解石：

$$n_e = 1.486$$

$$n_o = 1.658$$

$$\therefore v_o < v_e$$

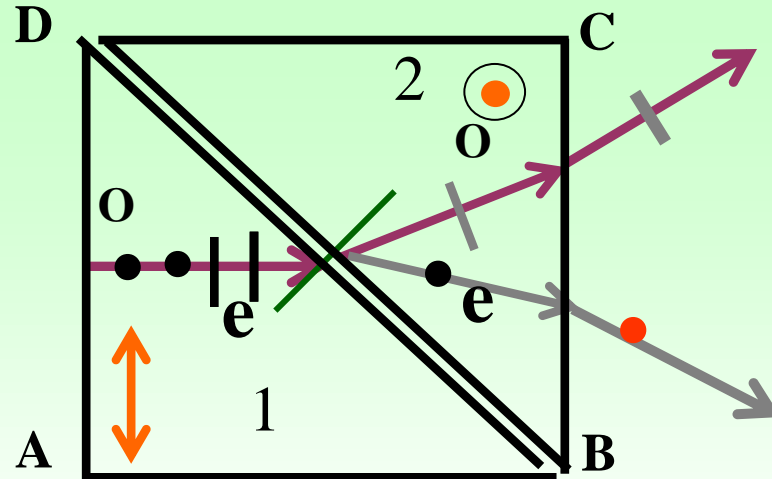


$$o\text{光} \rightarrow e\text{光}: n_o \sin \varphi = n_e \sin \gamma$$

$$\because n_e < n_o \quad \therefore \varphi < \gamma \quad \text{折射光偏离法线}$$

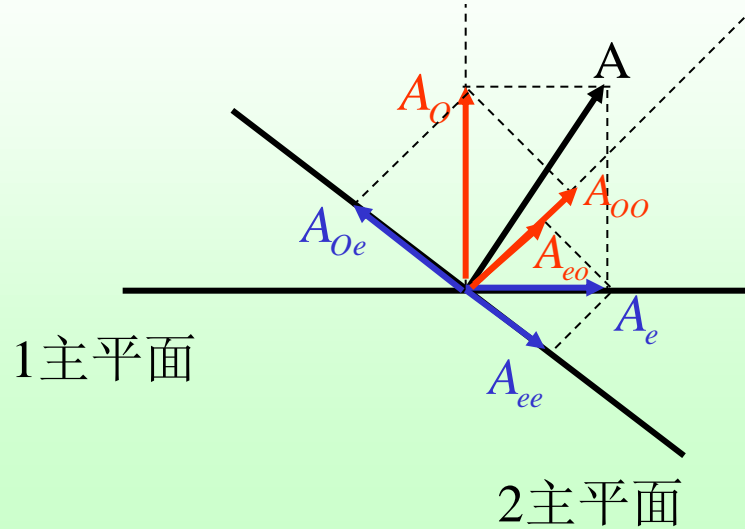
$$e\text{光} \rightarrow o\text{光}: n_e \sin \varphi = n_o \sin \gamma$$

$$\because n_e < n_o \quad \therefore \varphi > \gamma \quad \text{折射光向法线靠拢}$$



方解石: $n_e < n_o$

讨论：1. 偏振光入射晶体时，
亦产生双折射



* 若二主平面互为垂直

