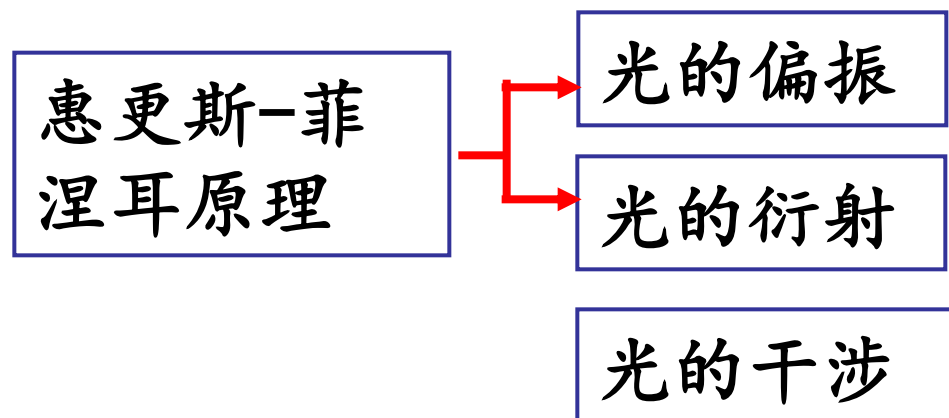


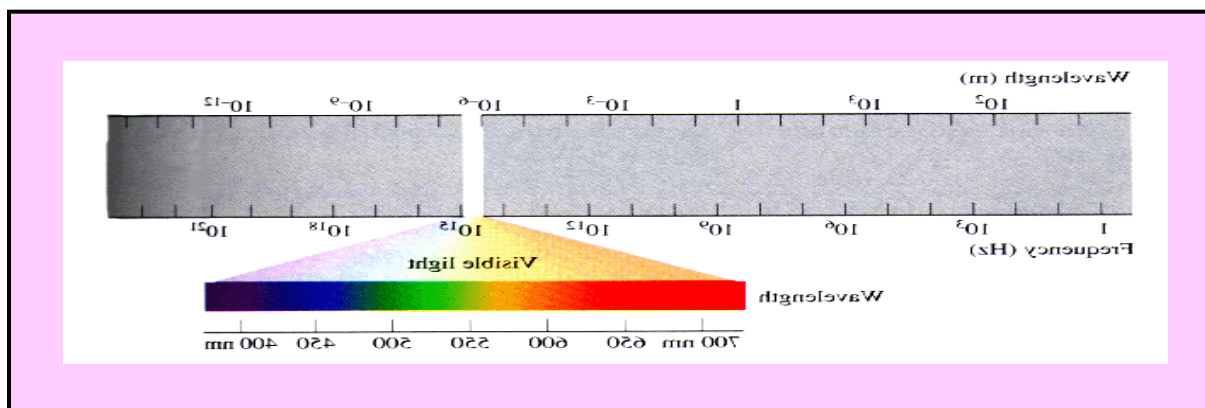
第十四章 波动光学

结构框图



学时：14

光：可见光，电磁波中的狭窄波段(狭义)

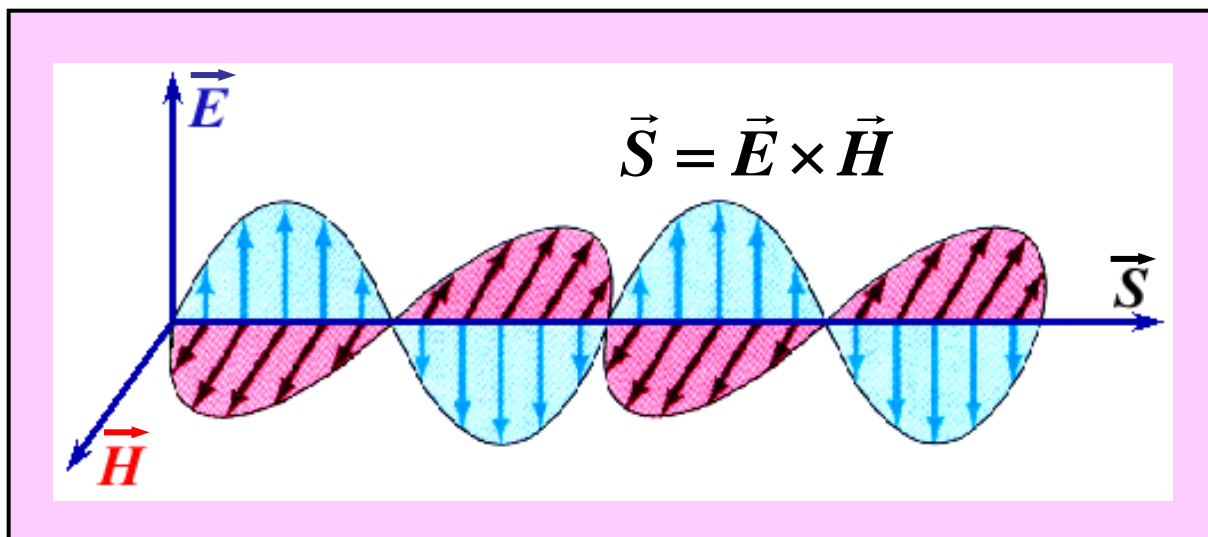


λ : $4000 \text{ \AA} \sim 7000 \text{ \AA}$ ($3900 \text{ \AA} \sim 7600 \text{ \AA}$)

ν : $3.95 \times 10^{14} \text{ Hz} \sim 7.69 \times 10^{14} \text{ Hz}$

颜色： 紫 \sim 红

光波：交变电磁场在空间的传播，为电磁波。（广义）



光矢量 $\vec{E}(t)$ ：光波的电场强度矢量。

光振动 $\vec{E}(t)$ ： $\vec{E}(t) = \hat{e}E_0 \cos(\omega t + \varphi)$

光强： $I_0 \propto E_0^2$

相对光强： $I = E_0^2$

第一节 光的偏振

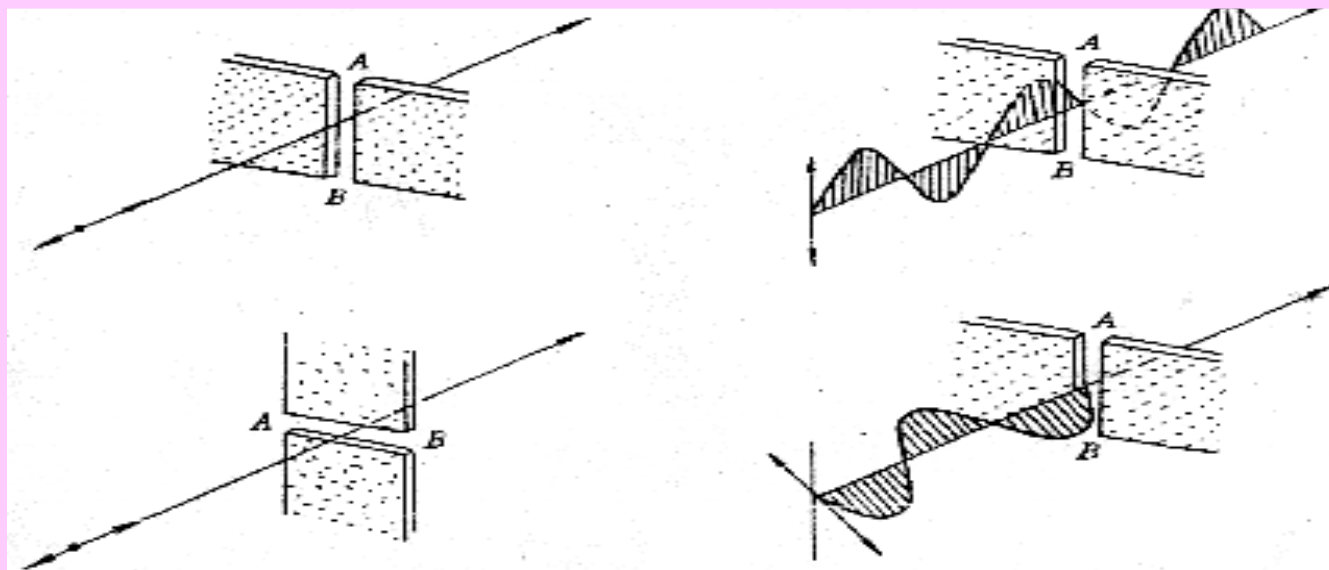
一、偏振现象

二、光的偏振态

三、起偏方法及规律

四、检偏方法及规律

一、偏振现象



纵波

横波

偏振：波振动对传播方向非对称分布的现象。

纵波：不具有偏振

横波：具有偏振

} 区分二者的标志

二、光的偏振态

光是横电磁波

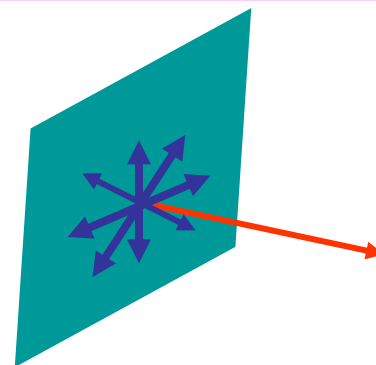
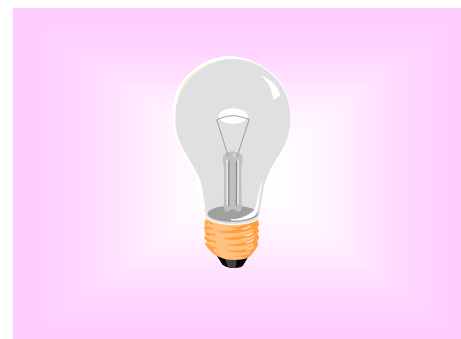
光的偏振态：

在垂直于光传播方向的平面内光矢量的振动状态。

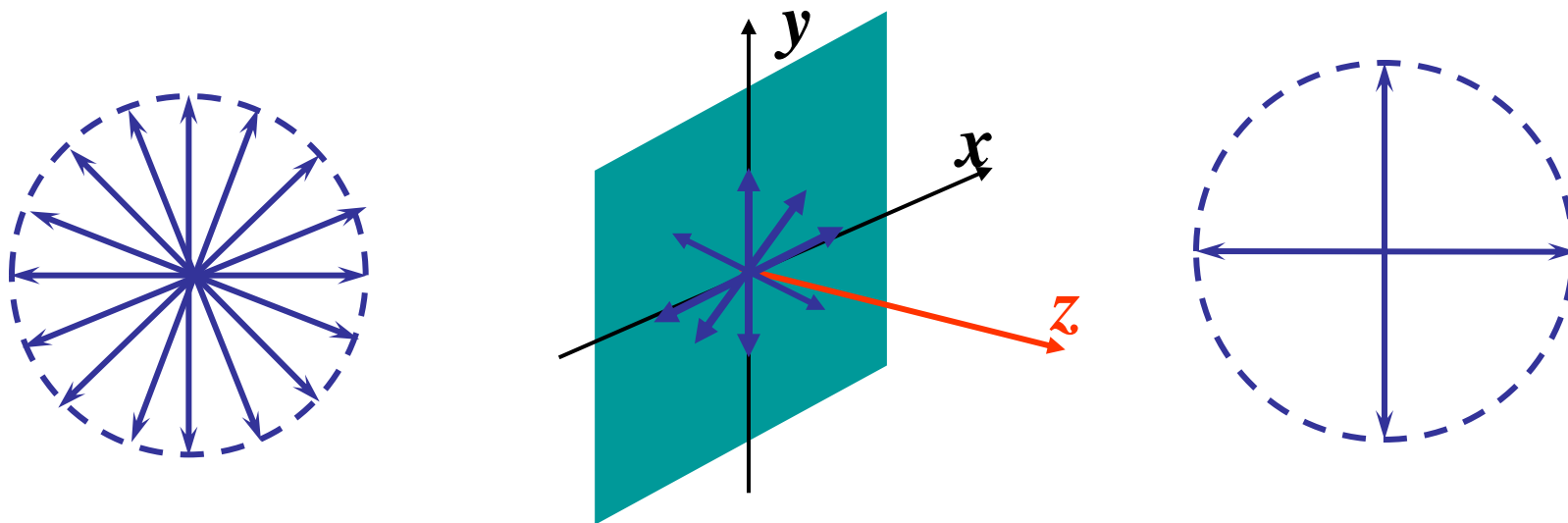
1. 自然光

自然光：由普通光源产生、振动在垂直于传播方向的平面内均匀对称分布的光。

特点：每个光波列为横波。自然光在各方向振动的振幅相等且固定不变，不具有偏振性。

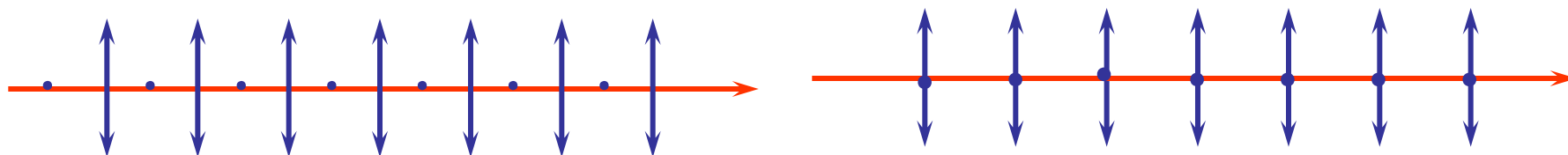


正交分解：



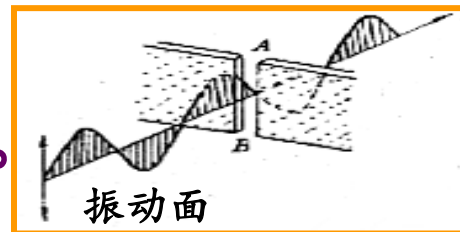
正交分解：得到一对互相垂直，互相独立，振幅相等的光振动，为**非相干叠加**。

自然光图示：



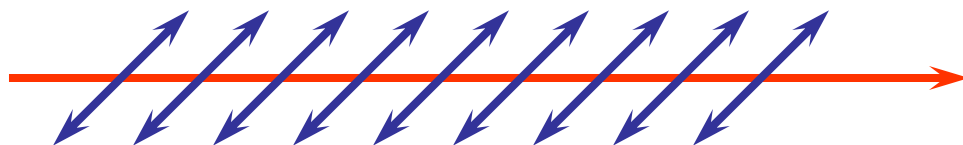
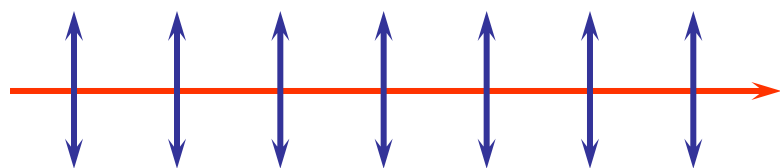
2. 线偏振光（平面线偏振光）

定义： 只有某一固定方向的光振动的光。



振动面： 光的振动方向与光的传播方向构成的平面。

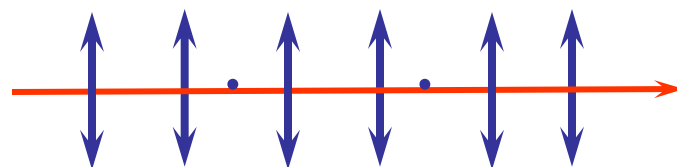
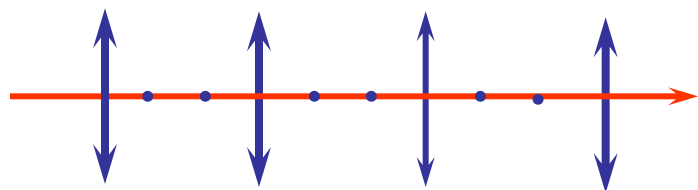
特点： 只有一个振动面，且固定。



3. 部分偏振光

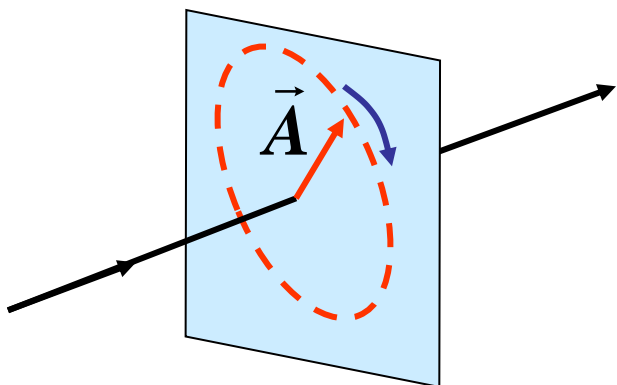
自然光+线偏振光

特点：某方向光振动较强且固定不变。



4. 椭圆偏振光

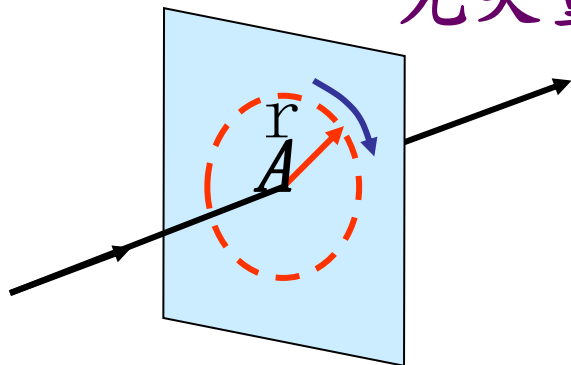
定义：将不同时刻的光矢量画在同一平面内，光矢量端点轨迹为椭圆的螺旋线光。



特点：光矢量大小方向均随时间变化。

5.圆偏振光

定义：将不同时刻的光矢量画在同一平面内，光矢量端点轨迹为圆的螺旋线光。



特点：光矢量大小不变，方向随时间变化。

三、起偏方法及规律

起偏：从自然光获得线偏振光的过程。

起偏器：起偏所用的器件。

1.反射和折射起偏

起偏原理：利用光在两种介质界面上的反射和折射起偏

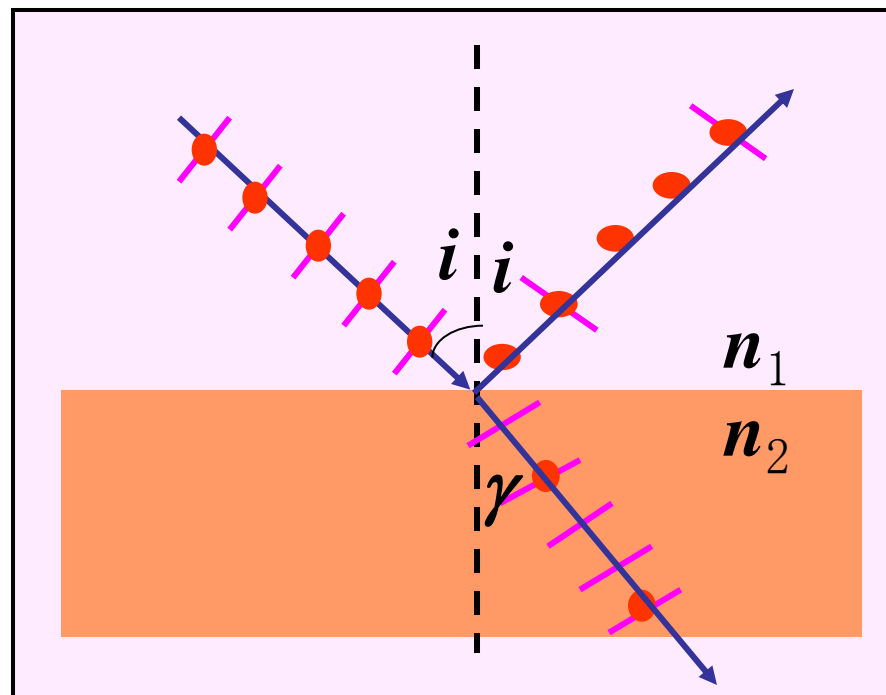
(1) 偏振光的获得

入射面：入射光和界面法线构成的平面。

一般情况下：

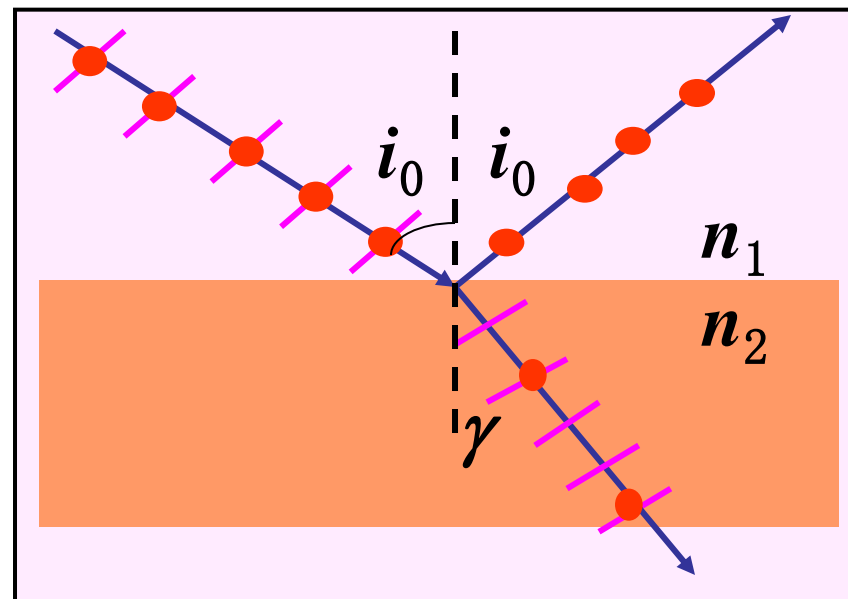
自然光入射 { 反射光为部分偏振光，且 $\perp > \parallel$
 折射光为部分偏振光，且 $\parallel > \perp$

特点：垂直分量与平行分量比例随 i 变化



(2) 布儒斯特定律

布儒斯特定律: 当入射角 i_0 满足 $\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$ 时, 反射光为只有垂直于入射面的振动的**线偏振光**, 折射光仍为**部分偏振光**。



i_0 为布儒斯特角 (起偏振角)

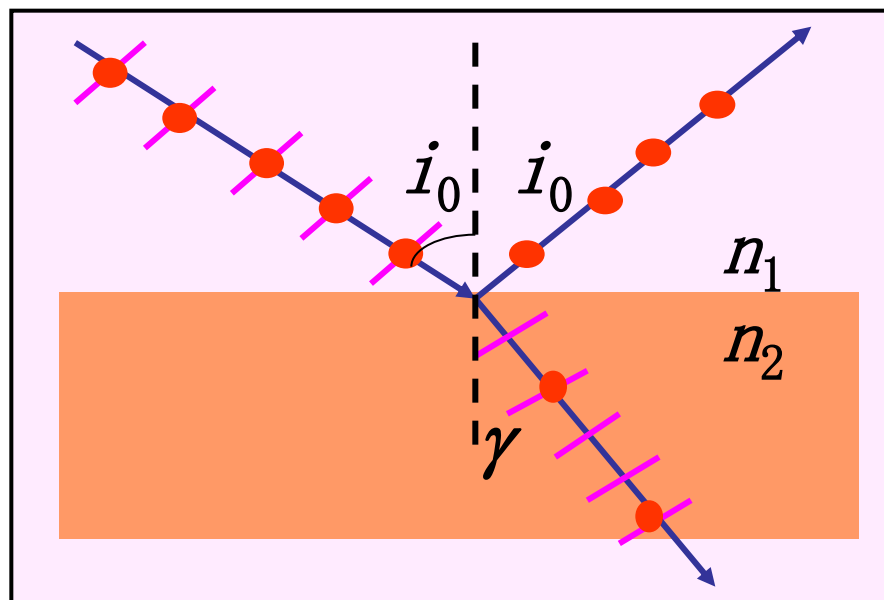
注意: //: 只折射不反射; \perp : 又折射又反射

由

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tgi}_0 &= \frac{n_2}{n_1} \\ \frac{\sin i_0}{\sin \gamma} &= \frac{n_2}{n_1} \end{aligned} \right\} \cos i_0 = \sin \gamma$$

得：

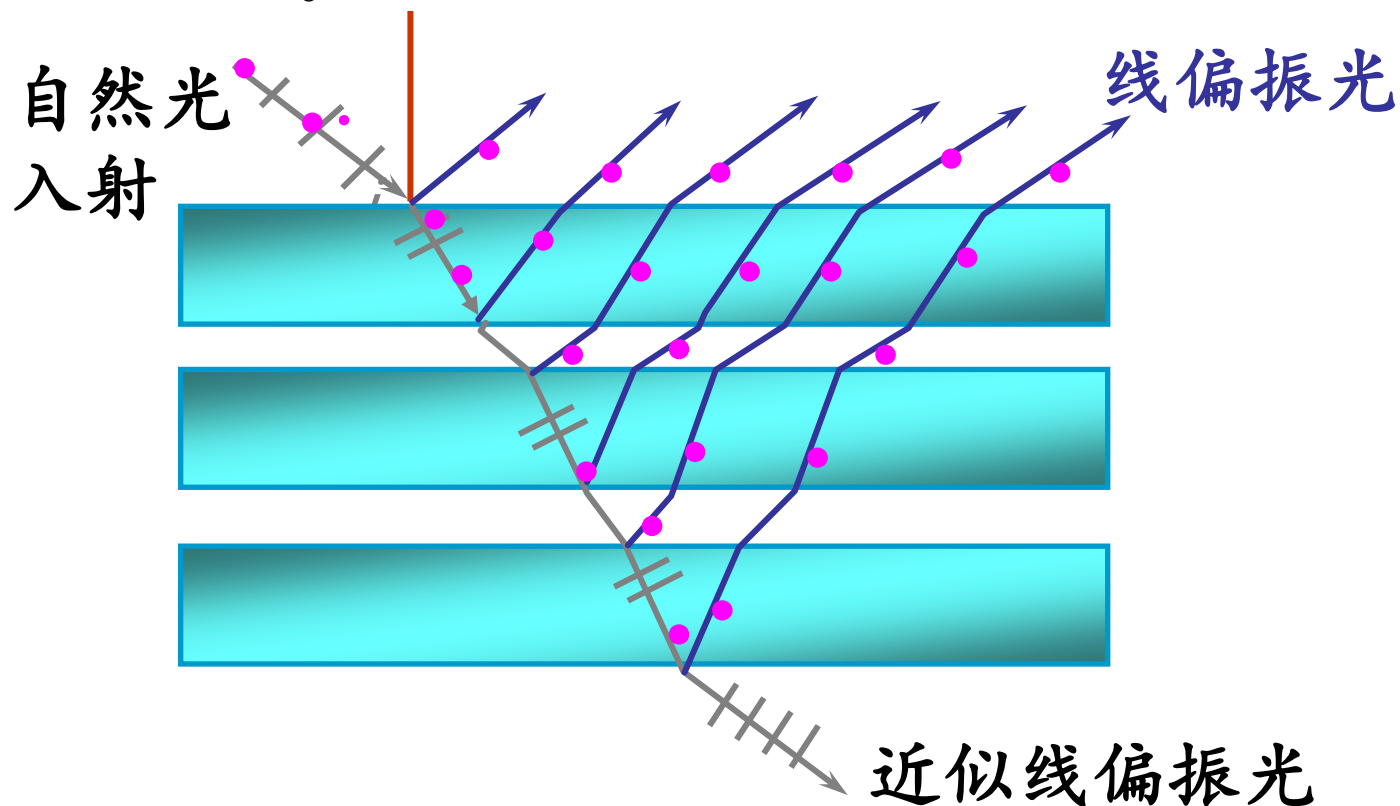
$$i_0 + \gamma = \frac{\pi}{2}$$



反射光线与折射光线垂直

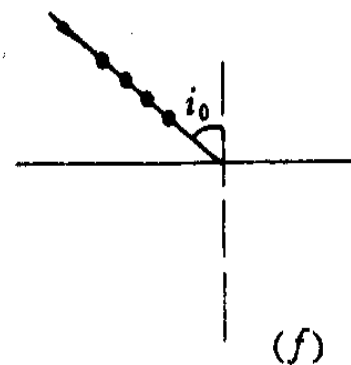
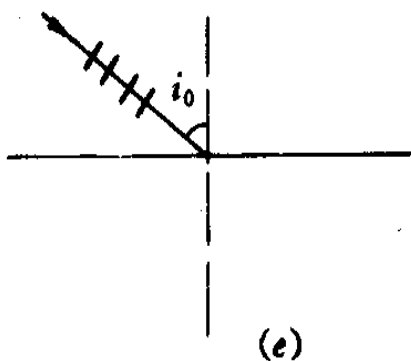
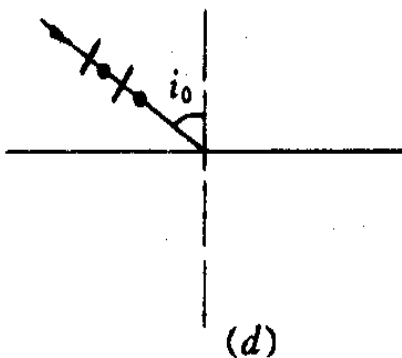
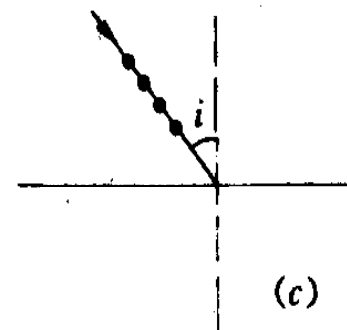
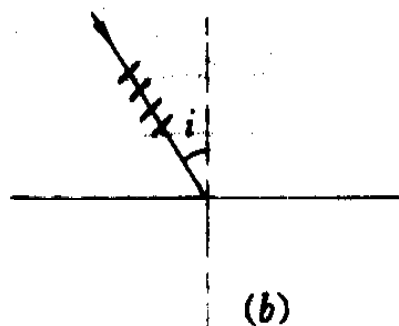
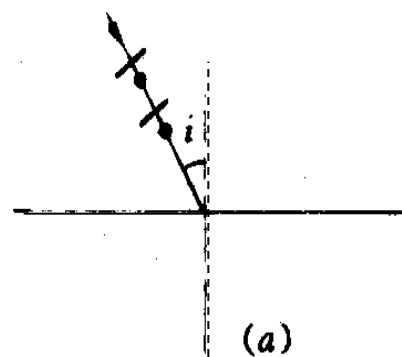
(3) 布儒斯特特定律应用

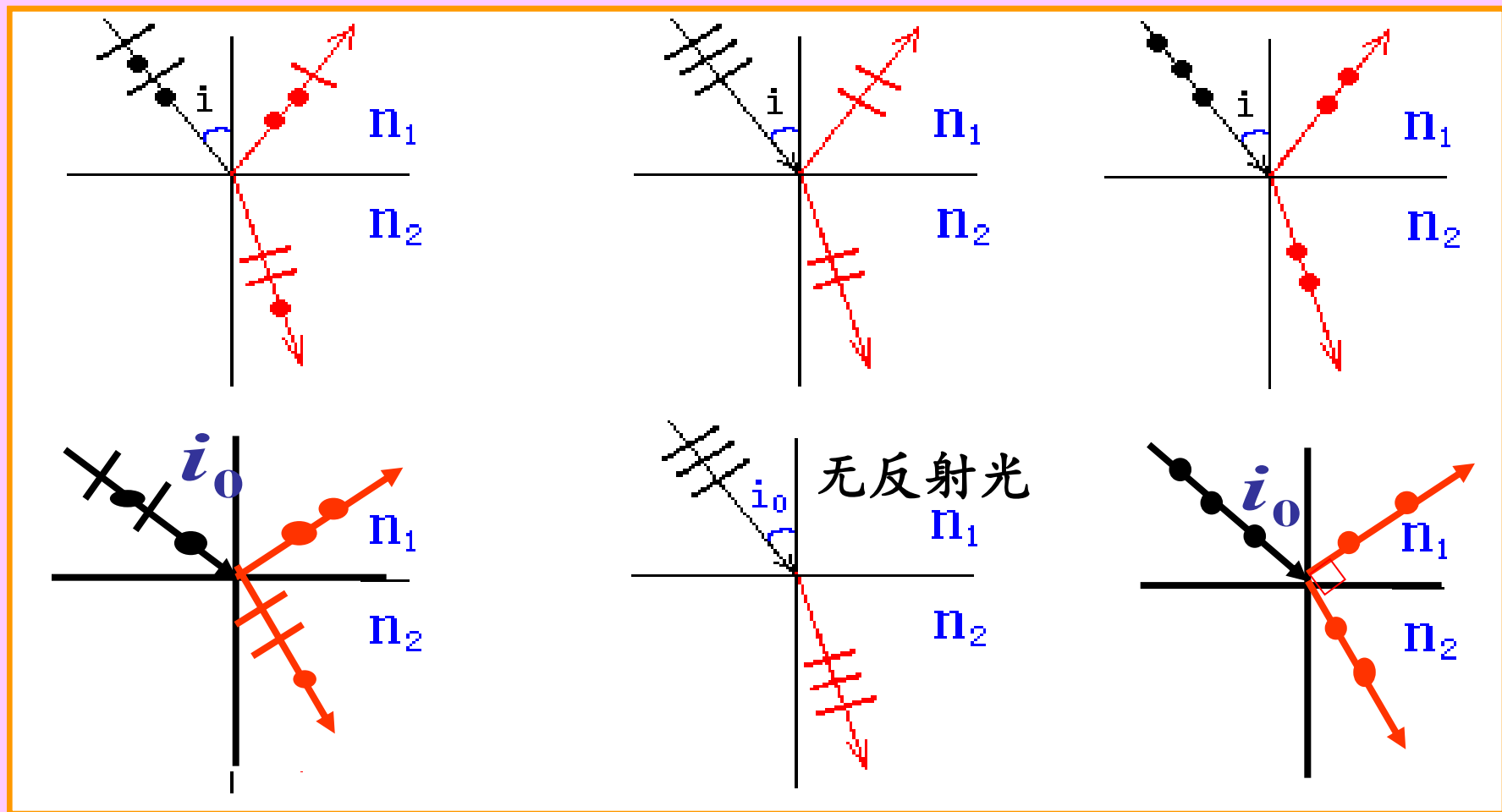
光以 $i = i_0$ 角入射，通过玻璃片堆折射



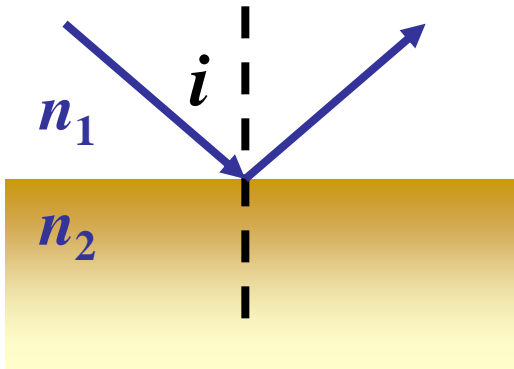
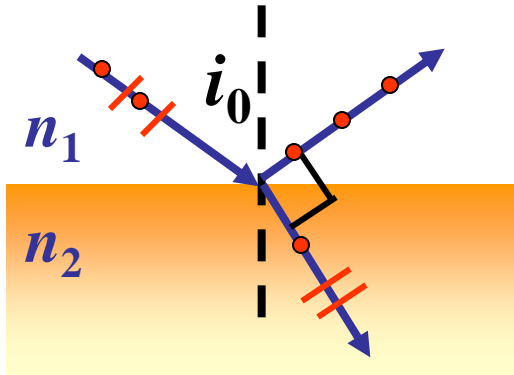
当光以 $i = i_0$ 角入射，通过玻璃片堆折射后，反射光为线偏振光，折射光为近似线偏振光。

练习：(1) **P₈₄ 14.1.4** $i_0 = \arctg \frac{n_2}{n_1}$ ，画出 $i \neq i_0, i = i_0$ 的反射光和折射光。





(2) 试比较起偏角与全反射临界角

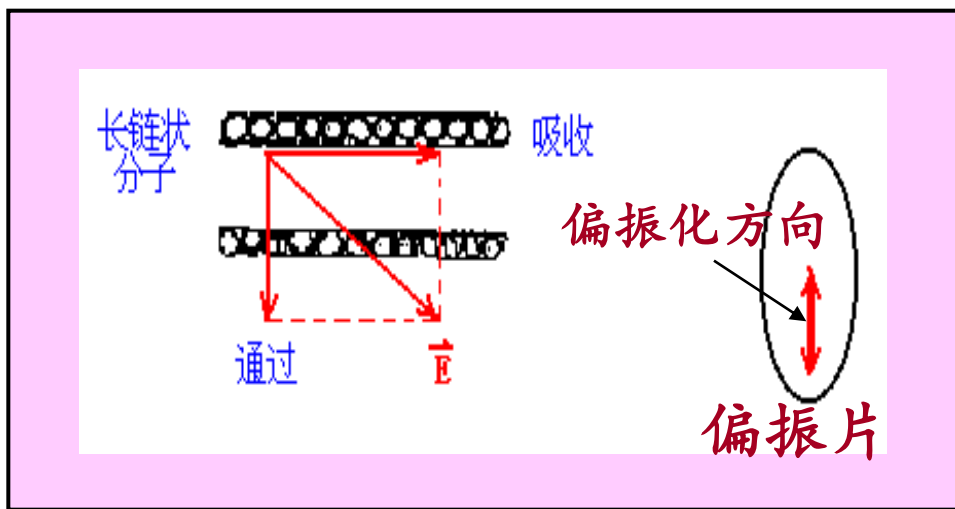
	条件	关系式	现象
全反射	光密 → 光疏 $i \geq i_0$	$\sin i_0 = \frac{n_2}{n_1}$	 <p>无折射线</p>
起偏振	光密 ↔ 光疏 $i = i_0$	$\operatorname{tgi}_0 = \frac{n_2}{n_1}$	 <p>折射线 与反射 线垂直</p>

2. 偏振片起偏

起偏原理：利用晶体的二相色性，即只让某一方向振动的光通过，而吸收其它方向的光振动起偏。

偏振化方向

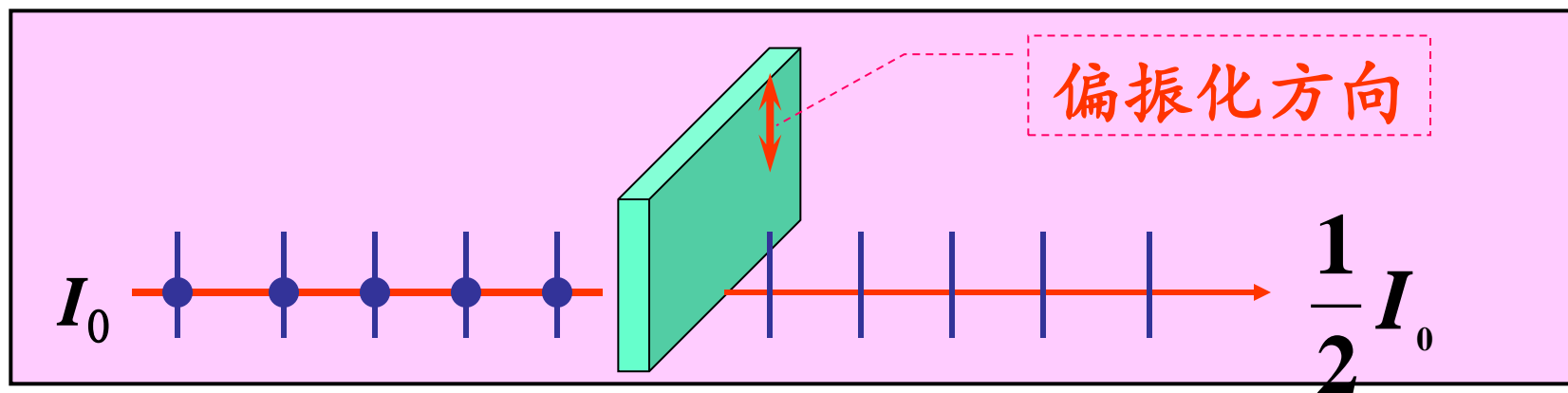
(1) 偏振光的获得



效果：得到振动方向与偏振化方向相同的线偏振光

(2) 马吕斯定律

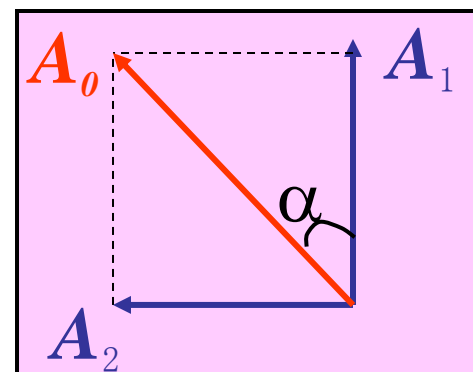
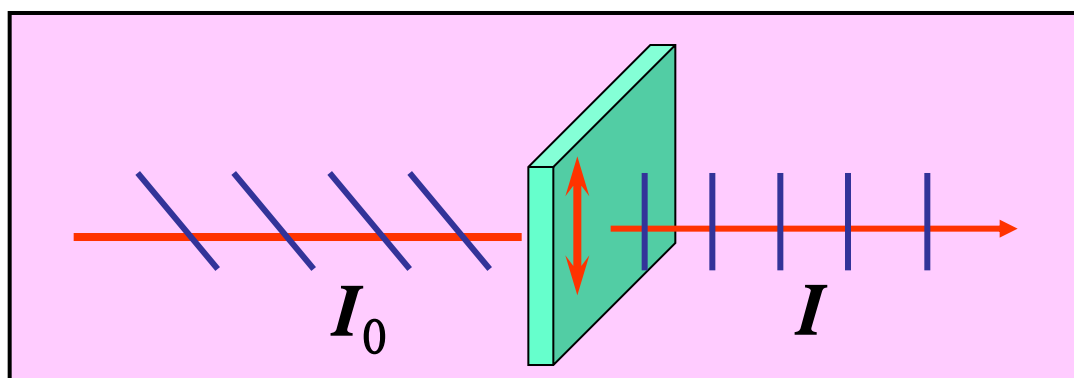
① 自然光入射



$$I_0 \xrightarrow{\text{偏振片}} I = \frac{1}{2}I_0$$

② 线偏振光入射

设线偏振光光强为 I_0 ，光振动方向与偏振片偏振化方向的夹角为 α ：



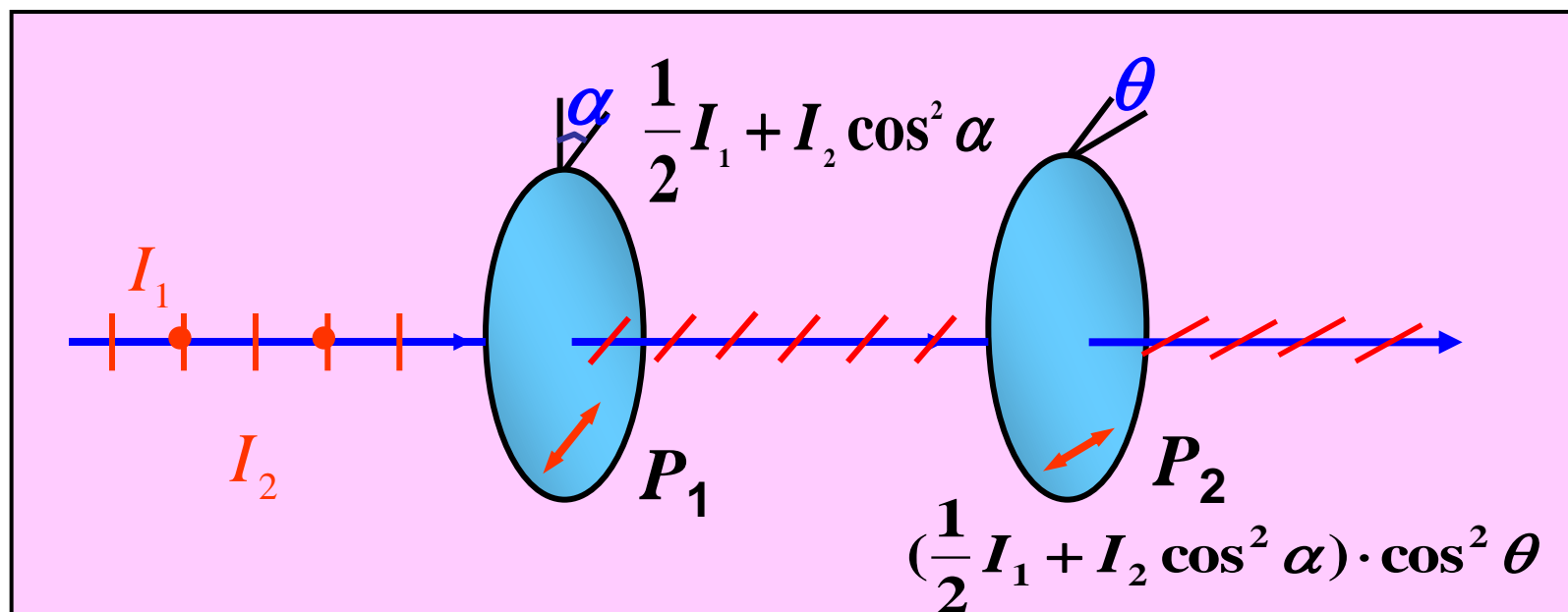
$$A_1 = A_0 \cos \alpha \quad I = A_1^2 = A_0^2 \cos^2 \alpha = I_0 \cos^2 \alpha$$

因此： I_0 偏振片 $I = I_0 \cos^2 \alpha$ —— 马吕斯定律

③ 部分偏振光入射：自然光与线偏振光分别通过偏振片后光强的叠加

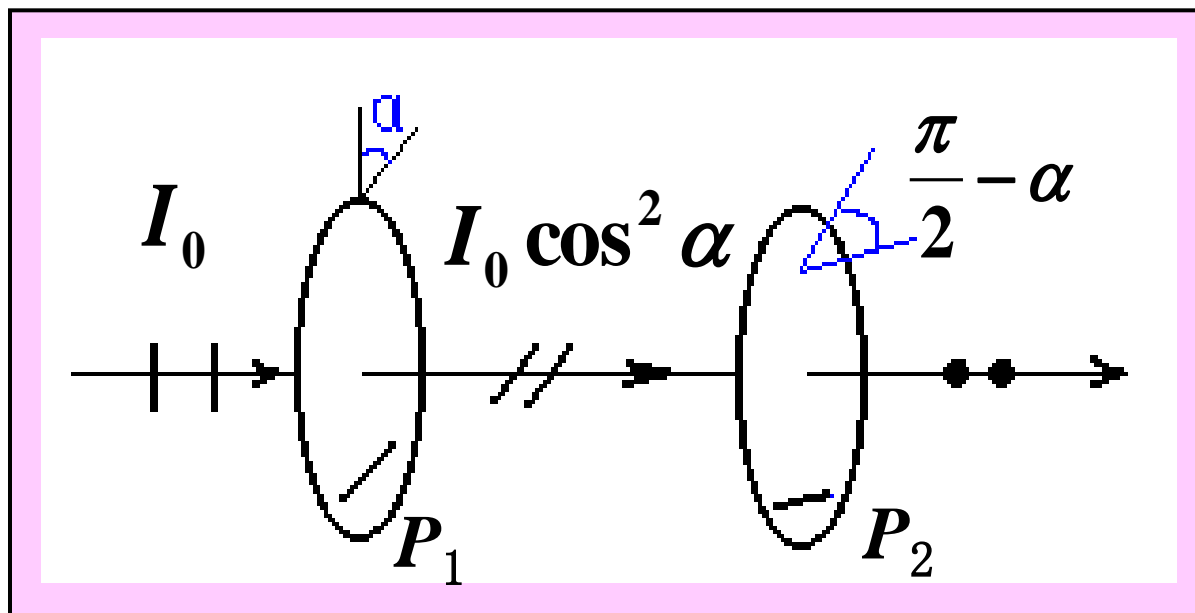
练习(1) 一束部分偏振光可视为由强度 I_1 的自然光和强度 I_2 的线偏振光组成, 让它连续通过偏振片 P_1 、 P_2 , 求出射光强?

解: 设: P_1 偏振化方向与 I_2 振动方向夹角为 α , 与 P_2 偏振化方向夹角为 θ 。



(2) 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：



P_2 偏振化方向与 I_0 振动方向垂直，

P_1 偏振化方向与 I_0 振动方向不平行，也不垂直，设为 α 。

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

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

应用举例



未加偏振片时
拍摄的橱窗



加偏振片时
拍摄的橱窗



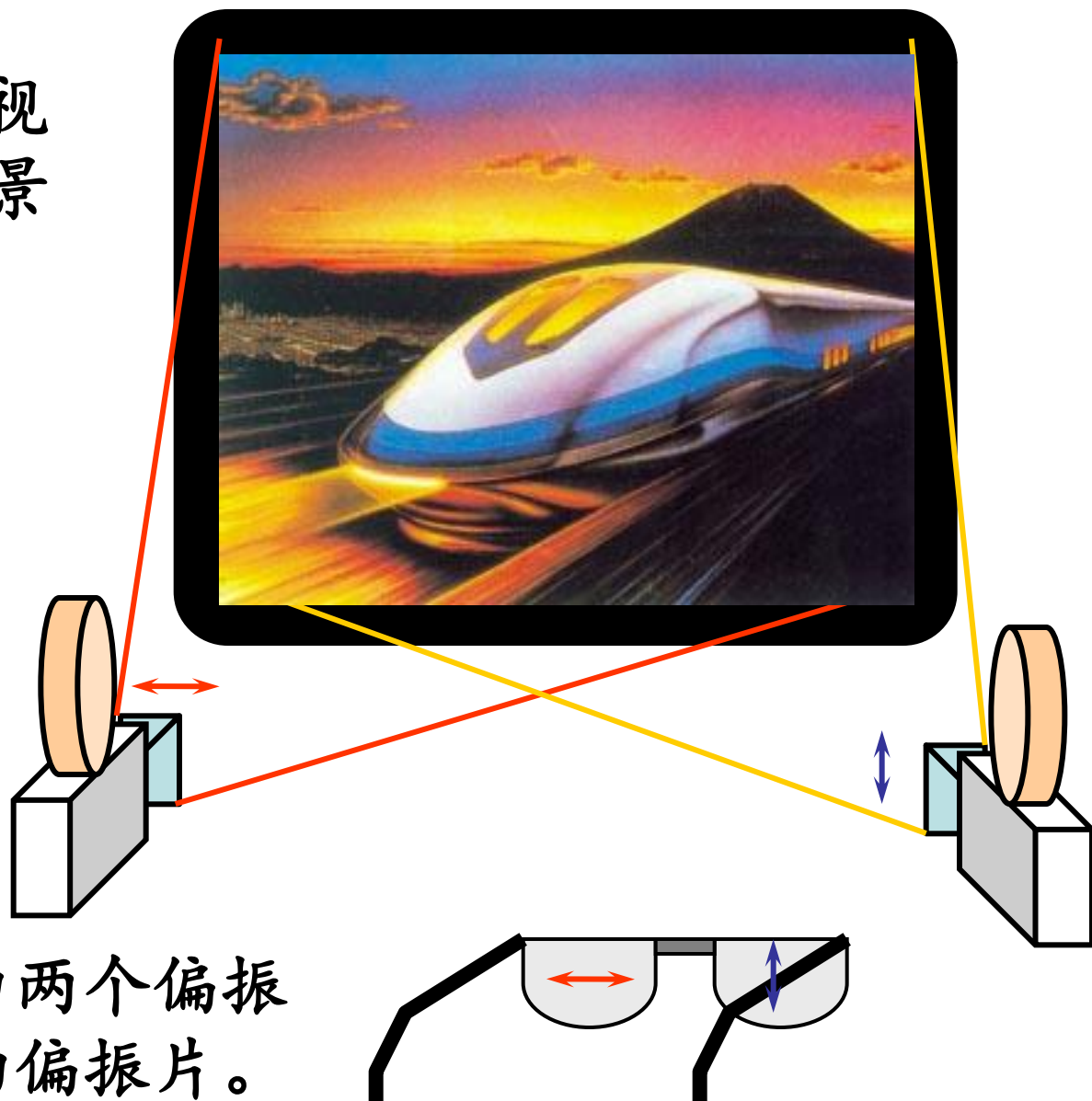
立体电影：

利用偏振形成双眼视差效应，产生立体景象视觉效果。

用并排的两台摄影机拍摄。

两放映机镜头分别放置偏振化方向互相垂直的偏振片。

观众的立体眼镜为两个偏振化方向互相垂直的偏振片。

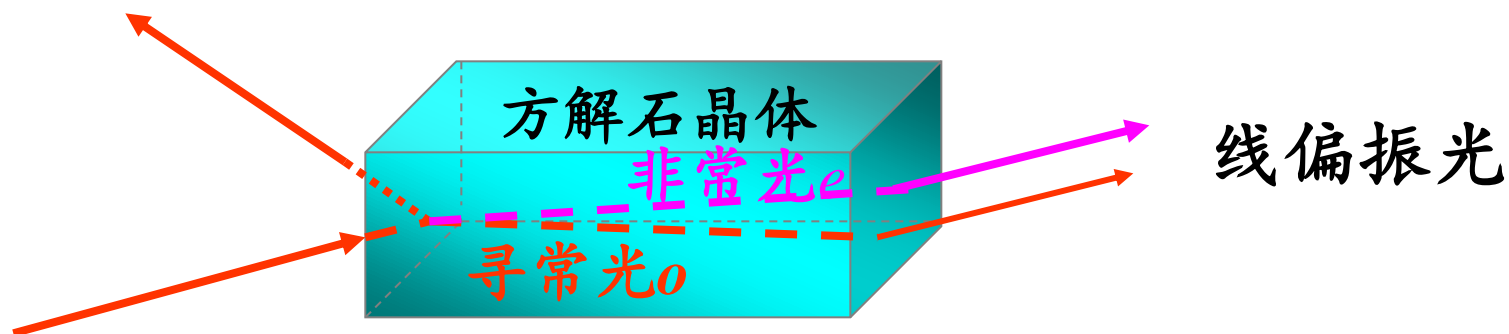


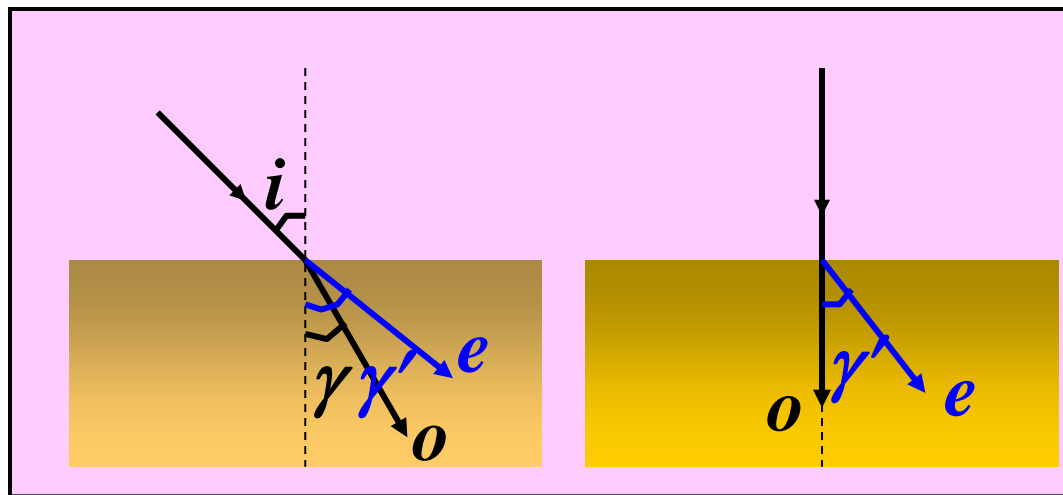
3. 双折射起偏

起偏原理：利用光在各向异性介质中的传播起偏。

(1) 偏振光的获得

双折射：光进入各向异性介质时，介质中出现两条折射光线的现象。





o 、 e 光均为
线偏振光

寻常光 (o 光) **特点**: 遵守折射定律, 在入射面内

$$\frac{\sin i}{\sin \gamma} = n_0 = \text{恒量}$$

非常光 (e 光) **特点**: 不遵守折射定律, 一般不在入射面内

$$\frac{\sin i}{\sin \gamma'} = n_e \neq \text{恒量}$$

原因：晶体各向异性

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

在不同方向上e光传播速率 u_e 不相同 $n_e = \frac{c}{u_e} \neq \text{恒量}$

(2)几个重要概念

①晶体的光轴

定义：晶体中光传播时无双折射的特殊方向。

在光轴方向上 $u_o = u_e$ ，光不发生双折射
在垂直于光轴方向上， u_o 与 u_e 差别最大
(e光主折射率 c/u_e)

晶体分类：按光轴个数分类：
单轴晶体(如方解石、石英等)
双轴晶体(如云母、硫磺等)

本课程只讨论单轴晶体

按 u_o 与 u_e 的大小分类：

非光轴方向： $u_o > u_e, n_o < n_e$

$u_o < u_e, n_o > n_e$

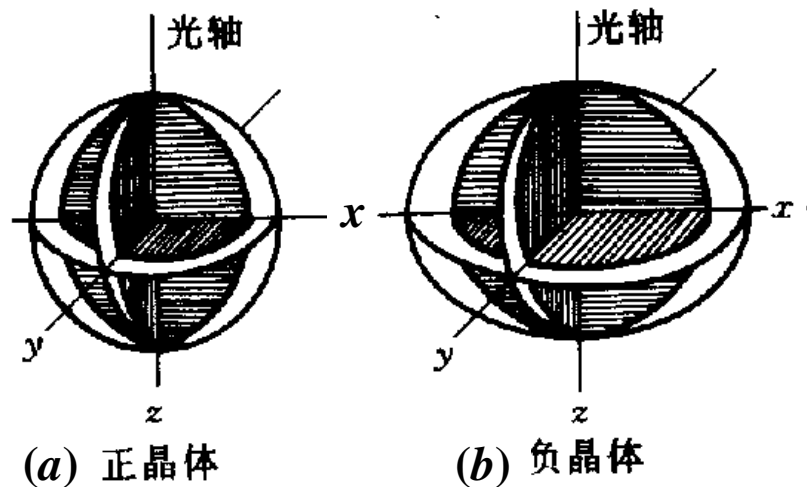
光轴方向： $u_o = u_e$

o 光波面：球面

e 光波面：旋转椭球面

在光轴方向 o 、 e 光波面相切。

在垂直于光轴方向 $|u_o - u_e|$ 最大。



在垂直于光轴的平面内， e 光遵守折射定律 $\frac{\sin i}{\sin \gamma'} = n_e = \text{恒量}$

作笔记

② 光线的主平面

定义：晶体中的折射光线与光轴构成的平面。

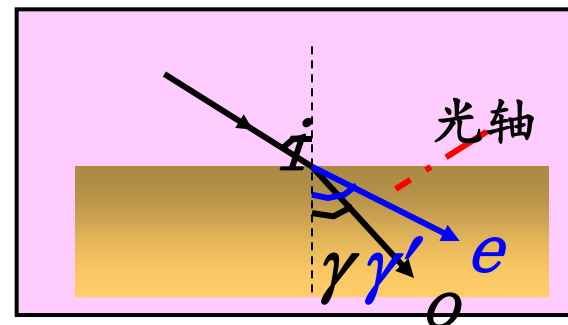
特点： o 光振动 \perp 它的主平面
 e 光振动 \parallel 它的主平面 } 一般二者主平面不重合，
 故 o 、 e 光振动不垂直

③ 晶体的主截面

定义：光轴与晶面法线组成的平面。

特点：入射线在主截面内时，两条折射线均在主截面内。

特例： 入射光在主截面内：



界面法线
 光轴
 入射线
 o光
 e光

{ 在同一平面
 (主截面)内

入射面
 主截面

{ 重合

o、e光主平面

o光 \perp 主截面
 e光 \parallel 主截面

{ 二者互相垂直

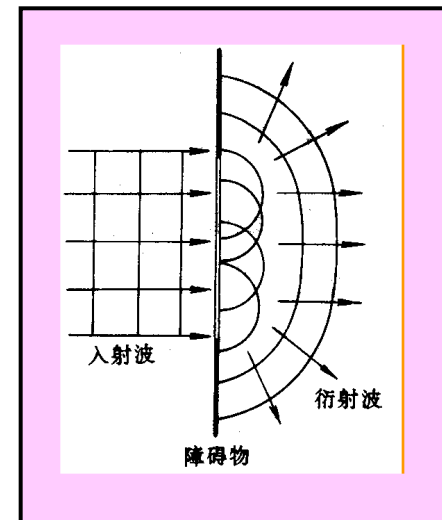
(3) 用惠更斯原理解释双折射

惠更斯原理



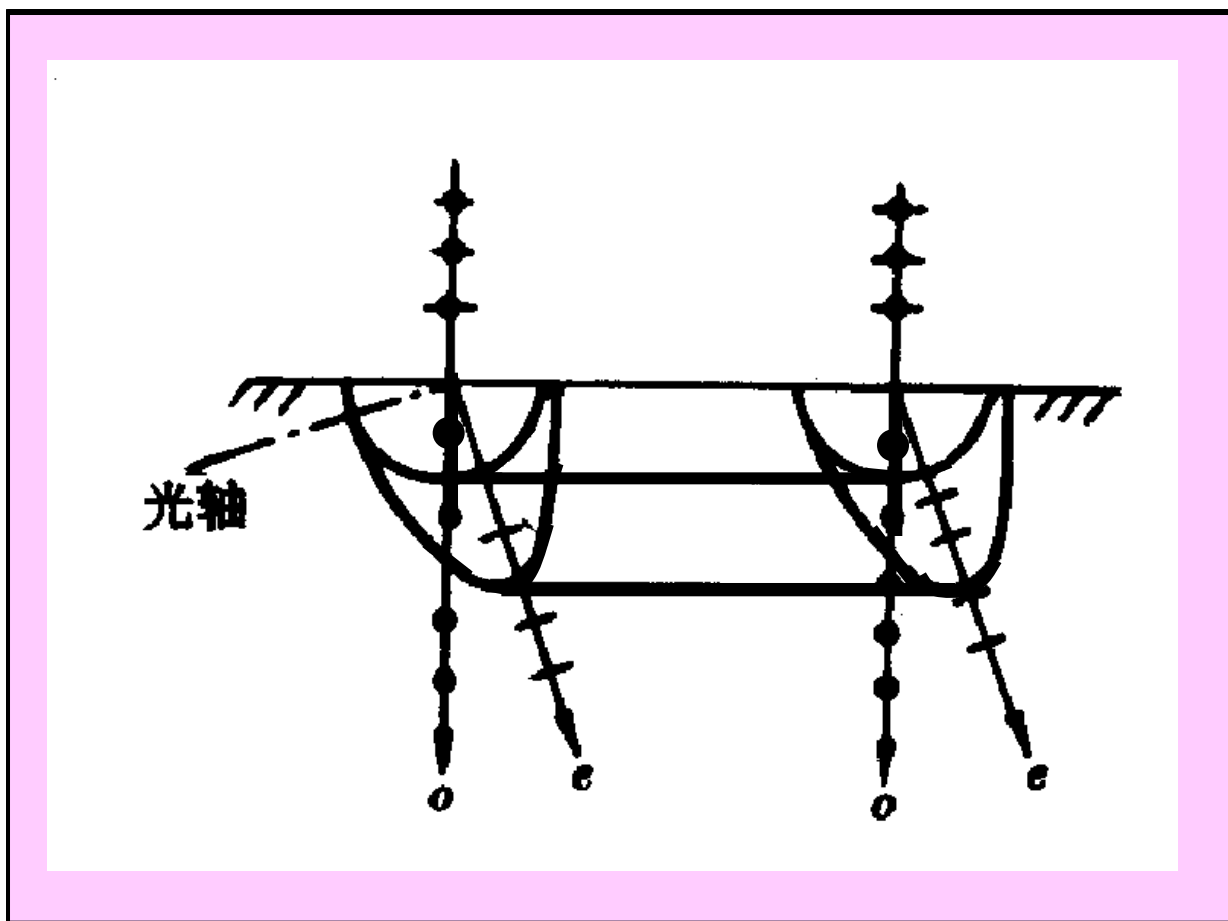
荷兰
1629—1695

原理内容：介质中任一波阵面上的各点，都可以看作是发射子波的波源，其后任一时刻，这些子波的包络面就是新的波阵面。



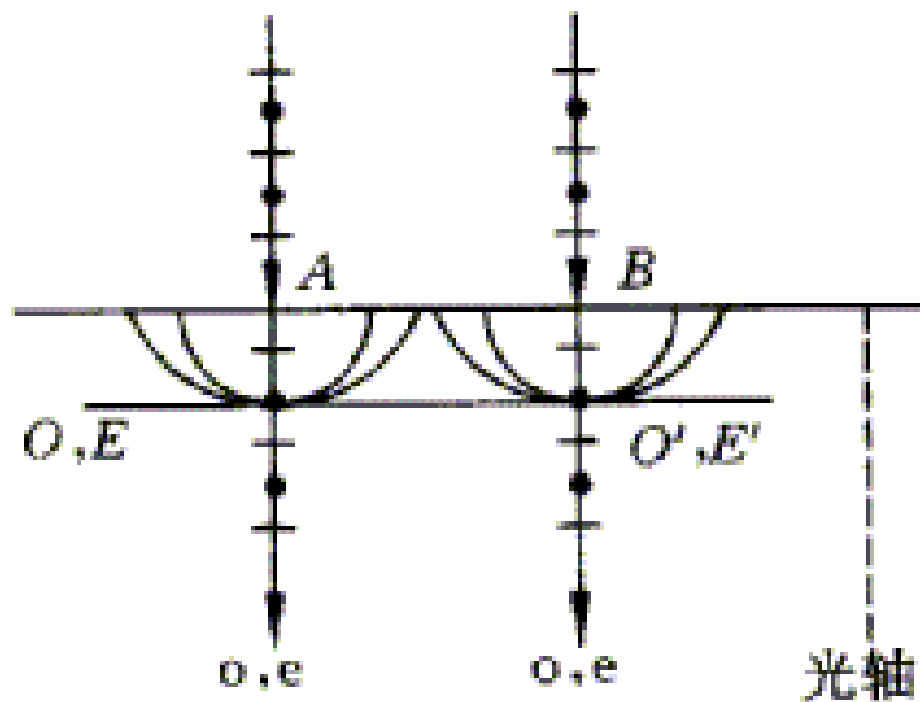
①自然光垂直入射晶面

(a)



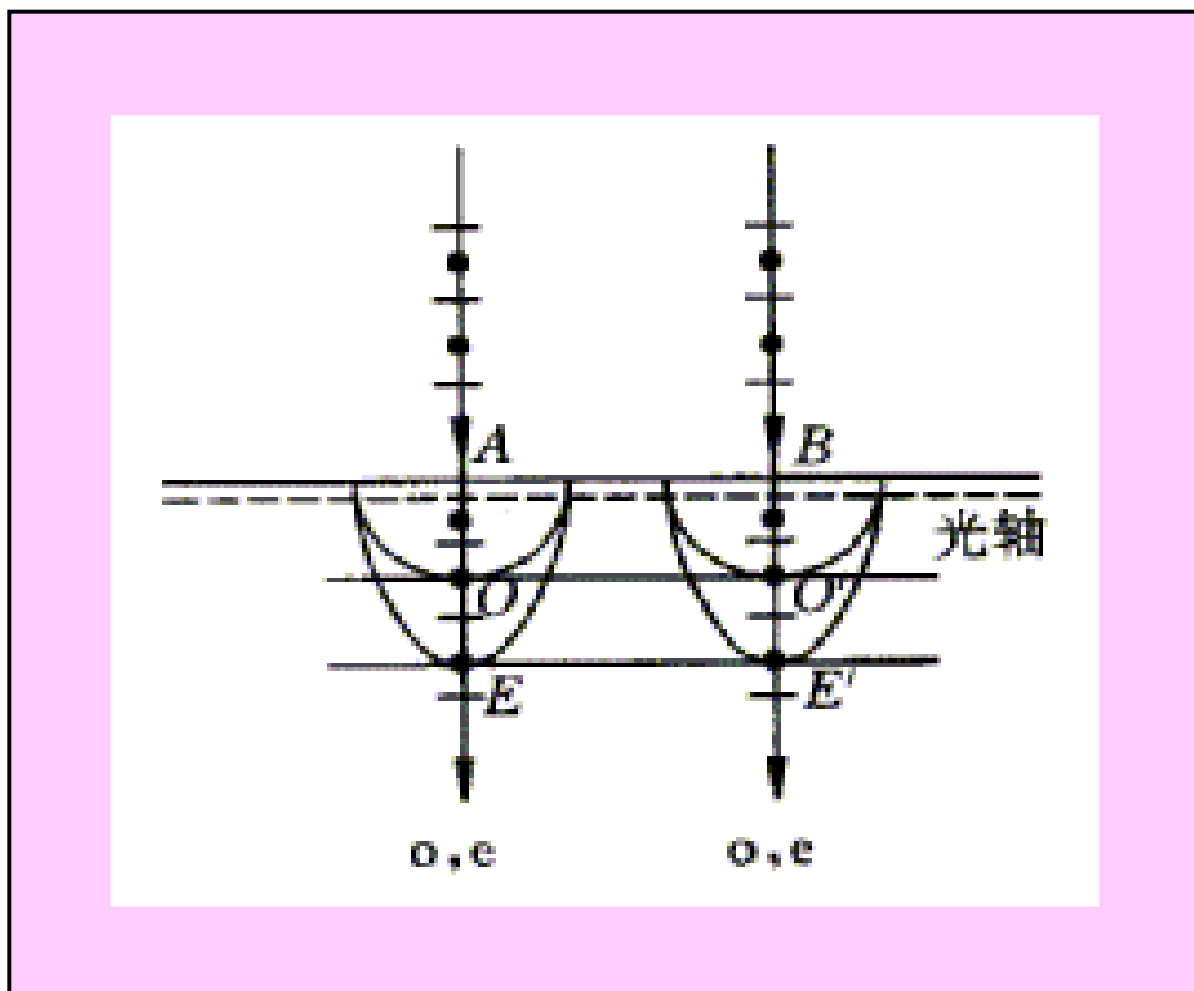
o 、 e 光不重合。

(b)



o, e 光重合无双折射。

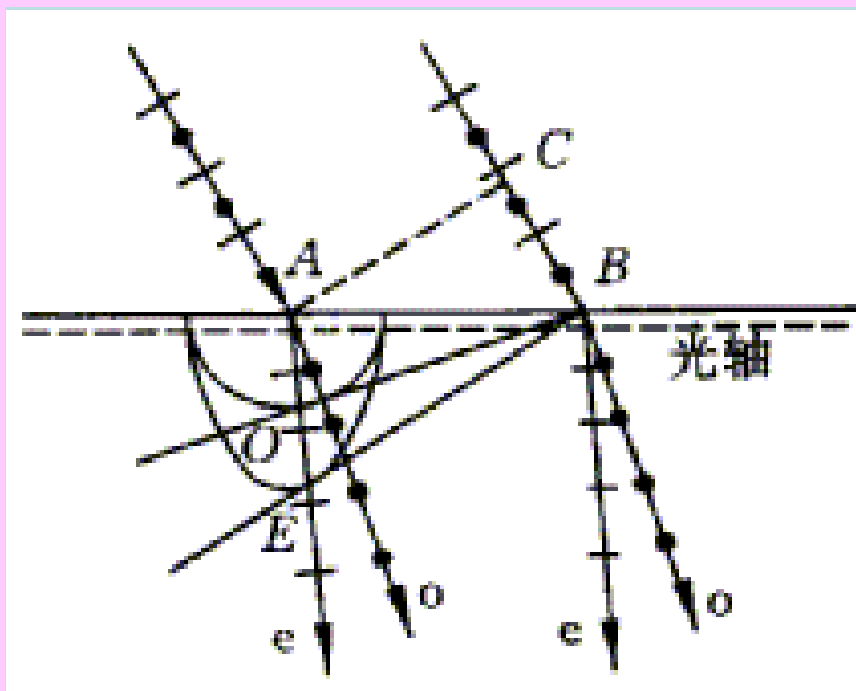
(c)



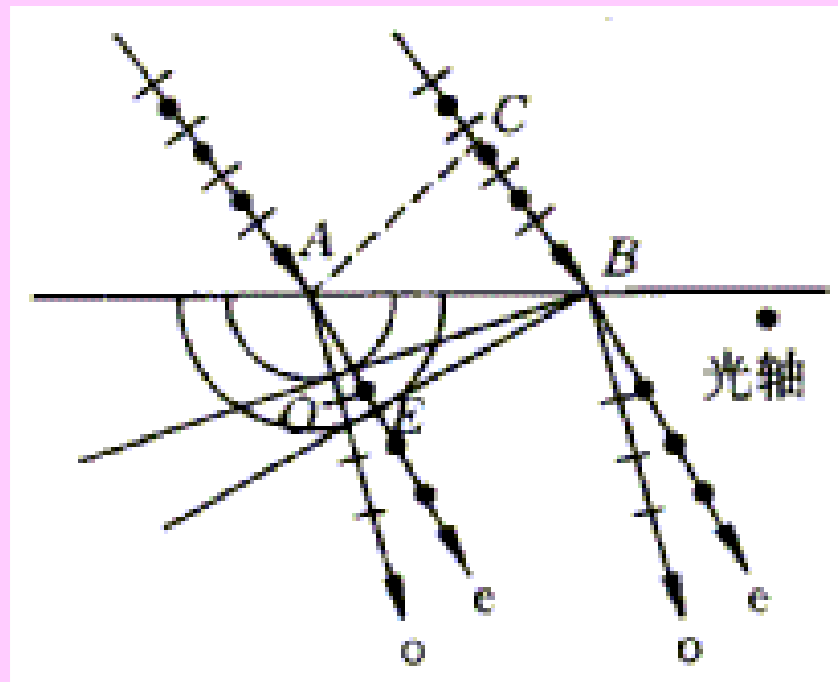
o 、 e 光同方向,但有光程差,有双折射。

② 自然光斜入射晶面

(a)



(b)



e 、 o 光不重合。

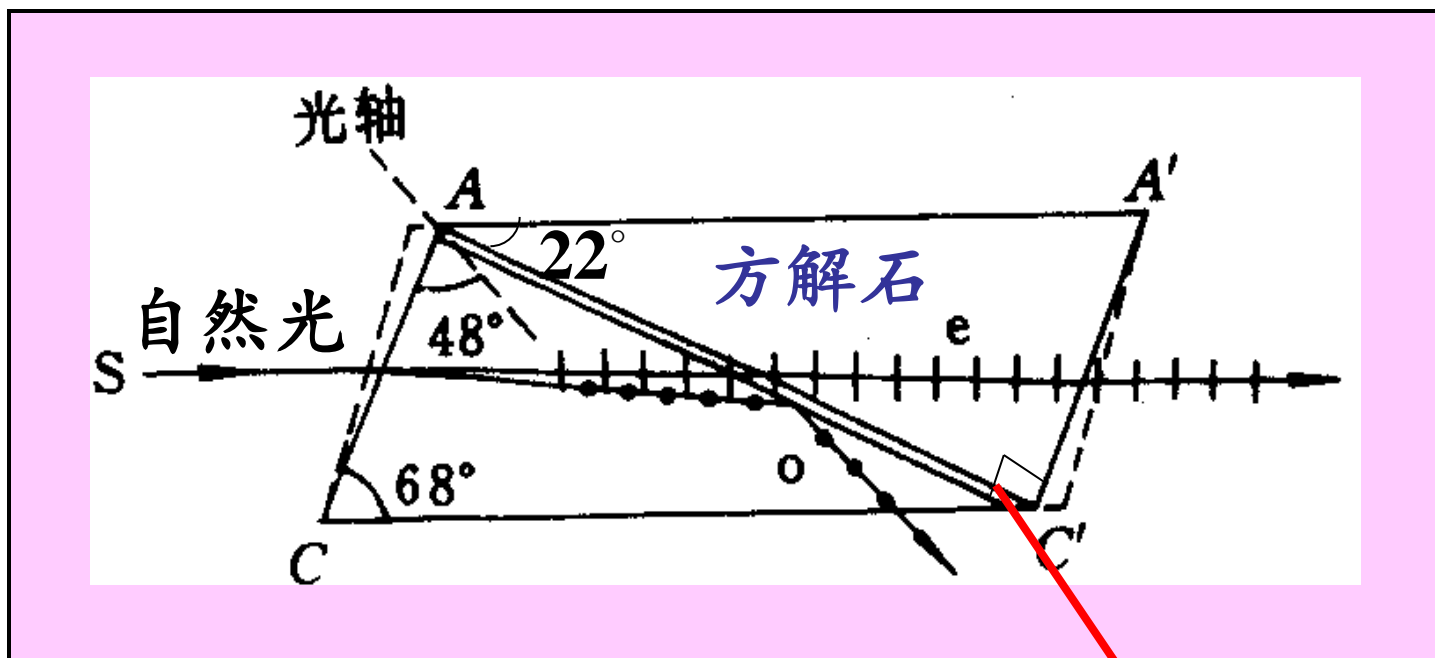
小结：

- (1) 光在晶体内沿光轴方向传播，无双折射.
- (2) $i = 0$, 并垂直于光轴入射,
o、e光有相位差，传播方向相同。
- (3) 其余情况均得两束分开的线偏振光.

该结论应该
非常熟悉

(4) 偏振棱镜

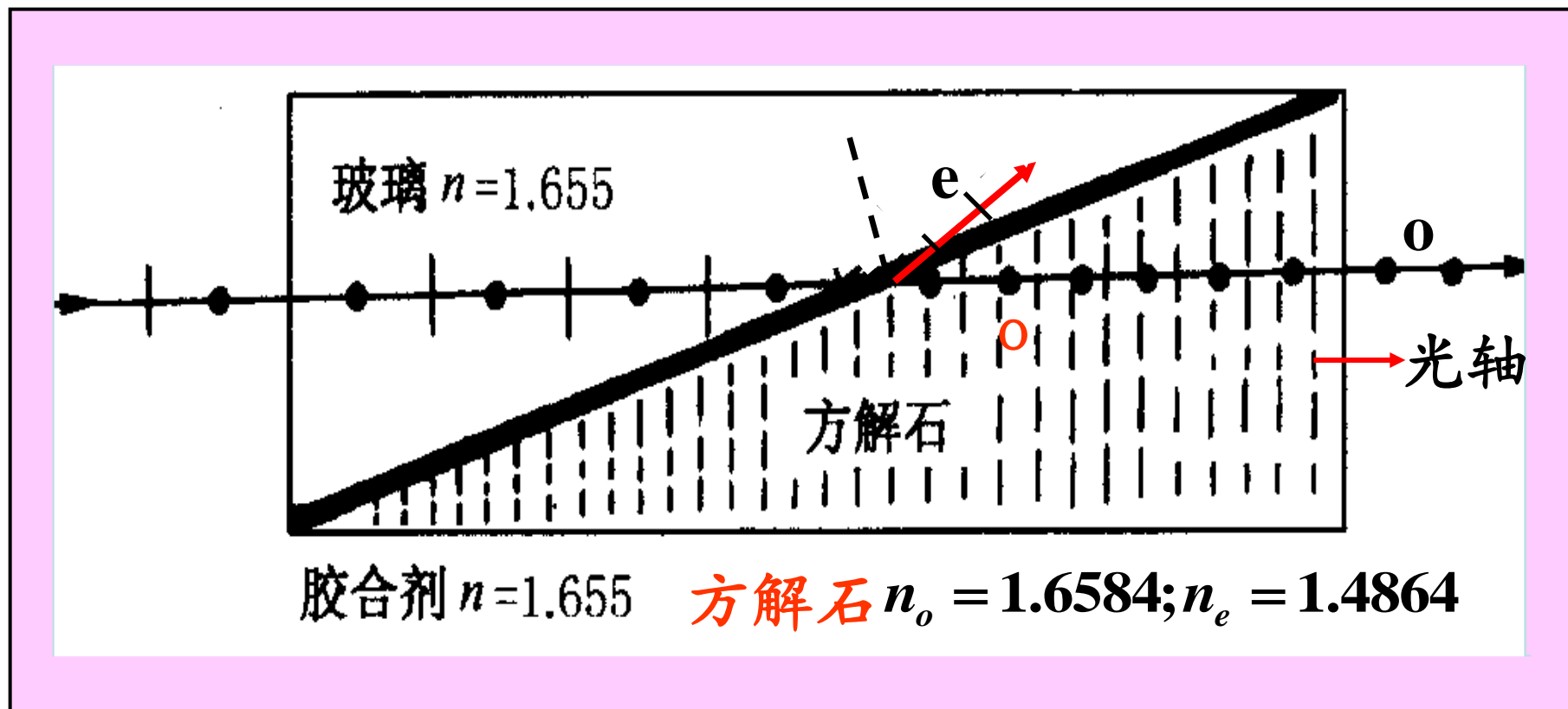
① 尼科耳棱镜



$n_o = 1.65$ $n_e = 1.48$ 加拿大树胶: $n = 1.53$

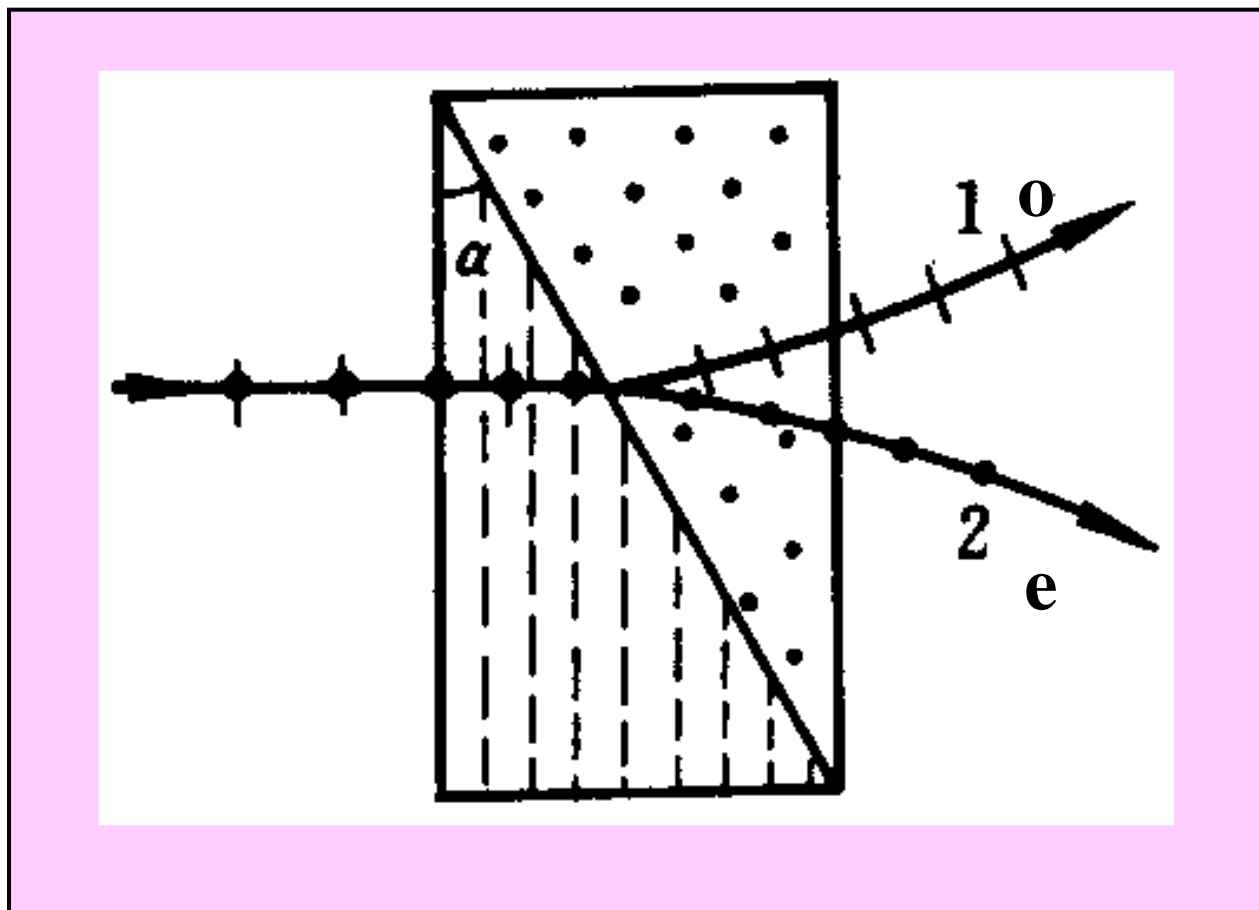
结论: 入射光在主截面内时, 只有振动方向在主截面内的光才能通过。

② 格兰——汤姆逊棱镜



结论：入射光垂直入射时， o 光（振动方向垂直于主截面）才能通过。

③ 渥拉斯顿棱镜



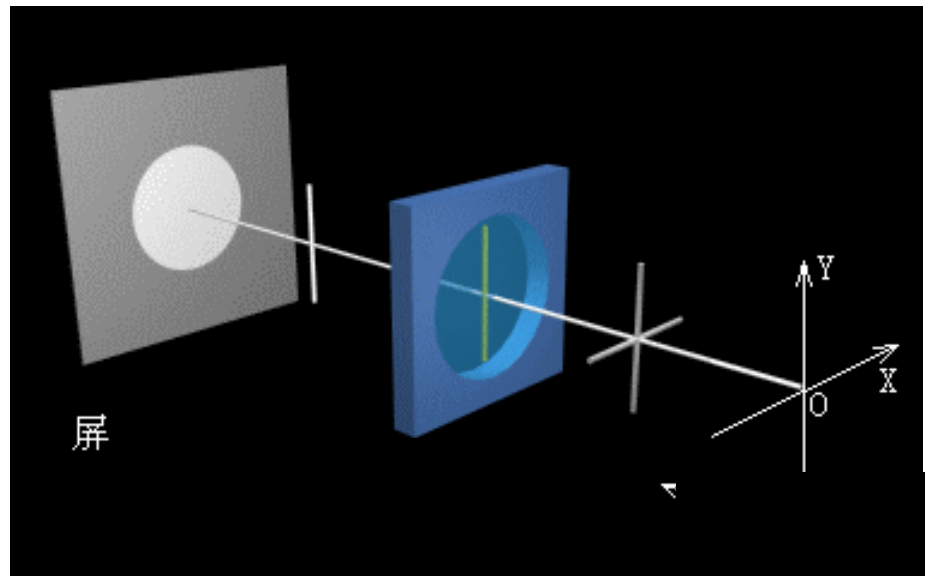
结论：入射光垂直入射时， o 光、 e 光分离。

四、检偏方法及规律

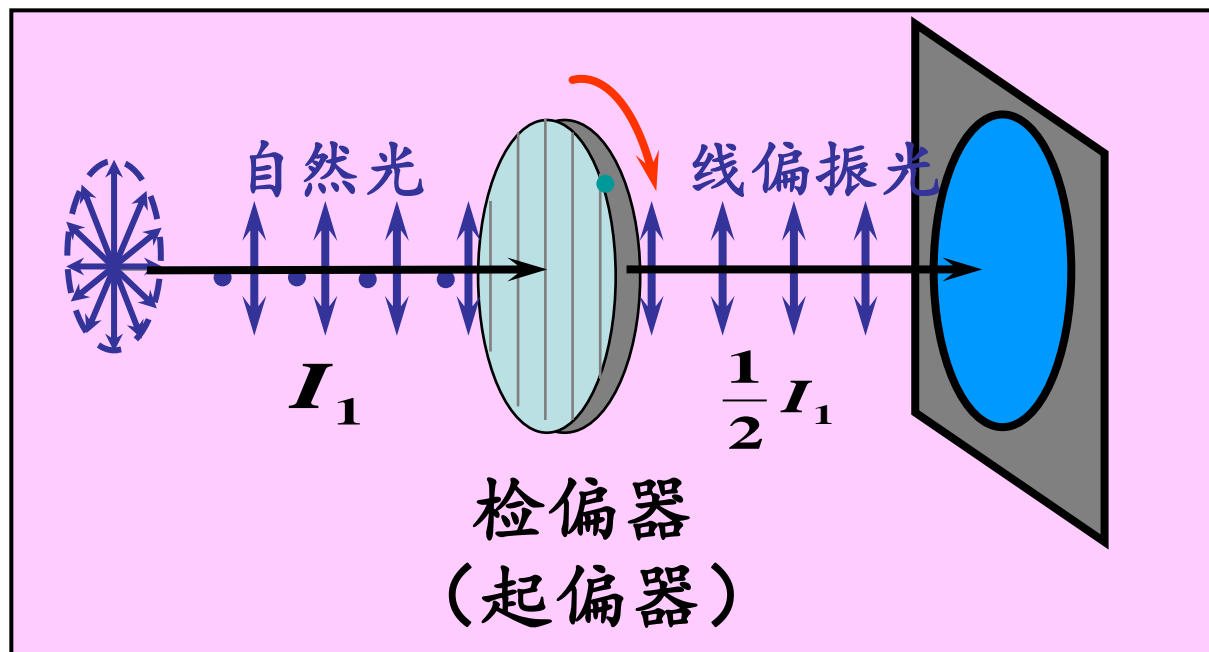
检测光的偏振态

起偏器（偏振片、尼科耳等）同时可作为检偏器

检偏方法： 旋转检偏器，观测出射光强的变化情况。

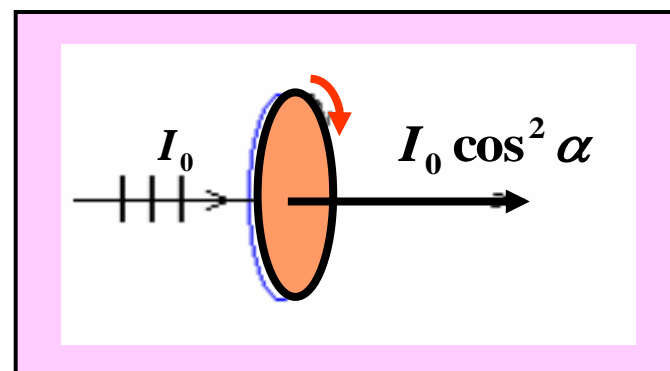
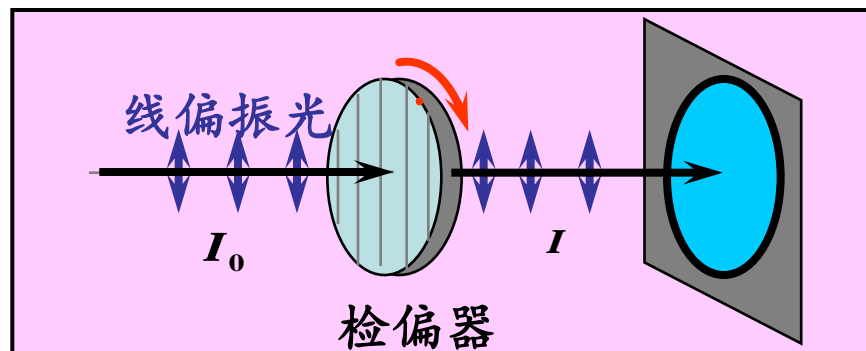


入射光为自然光：

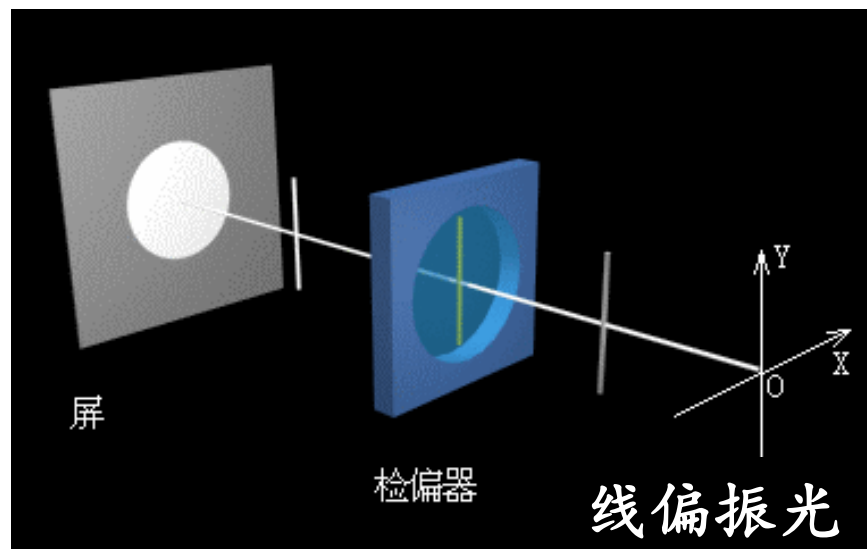


自然光入射：
旋转检偏器，
出射光强不变。

入射光为线偏振光：



$$\left\{ \begin{array}{ll} \alpha = 0, \pi & I = I_0 \\ \alpha = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2} & I = 0 \end{array} \right.$$



线偏振光入射：每旋转检偏器一周，出射光两次最强、两次消光。

思考：入射光为部分偏振光，出射光强如何变化？

两次最强、两次最弱，无消光。

小结：每旋转检偏器一周，出射光

光强不变——入射光为自然光 （或圆偏振光）

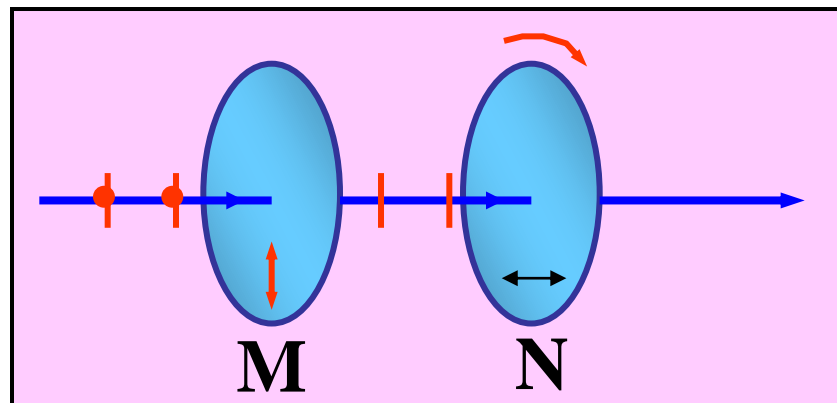
两次最强、两次消光——线偏振光

两次最强、两次最弱，无消光——部分偏振光

（或椭圆偏振光）

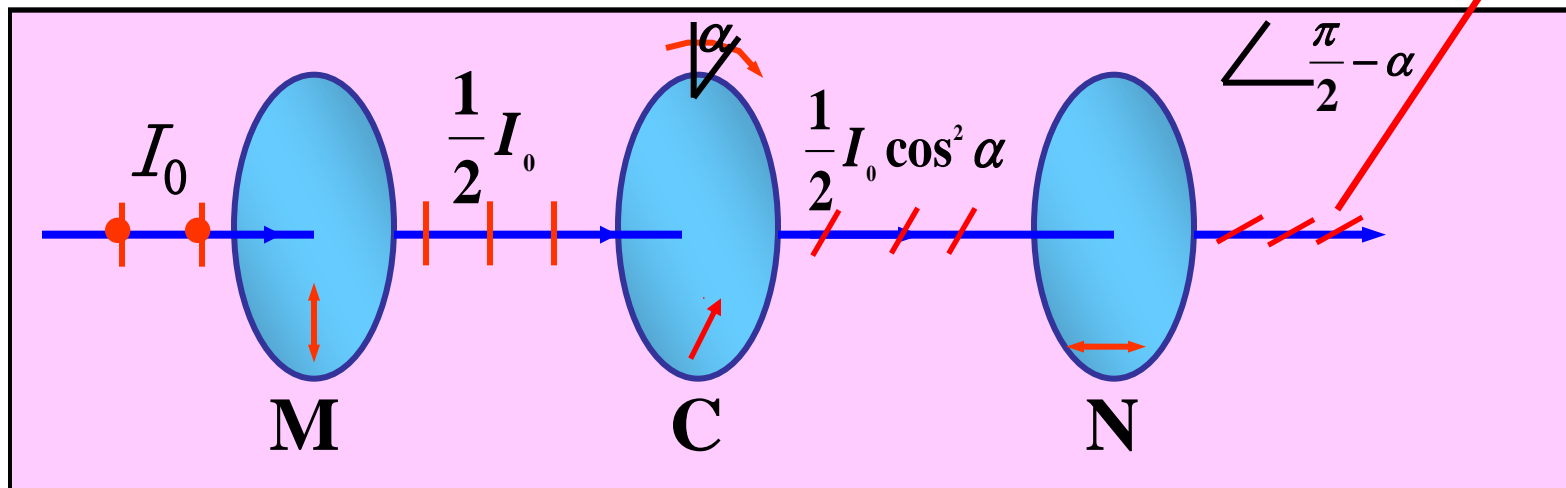
例：P₈₄ 例4

图中，M为起偏器，N为检偏器，自然光垂直入射，M、N固定，偏振化方向互相垂直。在MN间放入偏振片C，C转动360°。画出 $I-\alpha$ 曲线。



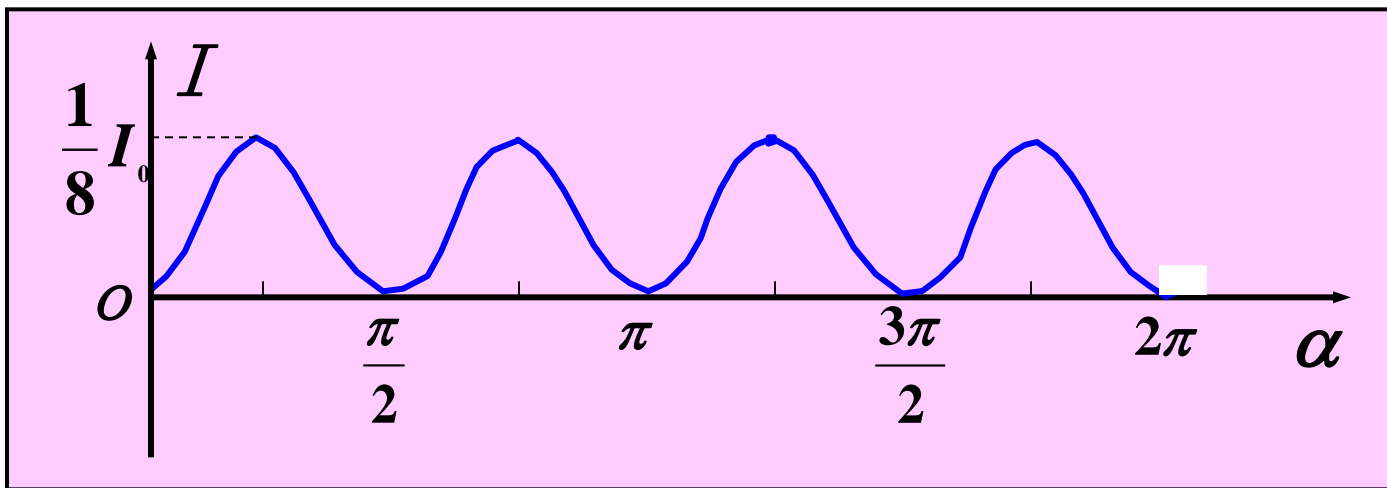
解：以M、C偏振化方向平行为初态

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



$$I = \frac{I_0}{2} \cos^2 \alpha \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) = \frac{1}{8} I_0 \sin^2 2\alpha$$

$$= \frac{I_0}{16} (1 - \cos 4\alpha)$$



作业

1.No.4;

2.自学本章各例题并完成书上的习题(对照书后的参考答案自己订正)。

第七周星期三交作业

