

光学测试技术

光学基础知识

卓力特光电仪器（苏州）有限公司

几何光学

成像

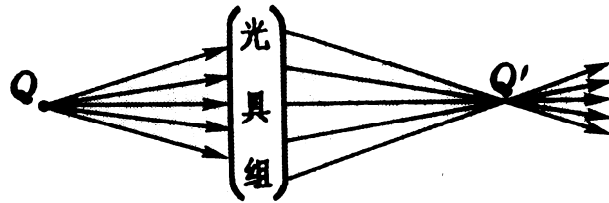
实像与虚像 实物与虚物

各光线本身或其延长线交于同一点的光束，叫**同心光束**

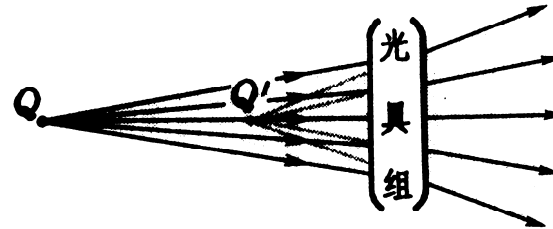
例：从一点光源发出的光束

由若干反射面或折射面组成的光学系统，叫**光具组**

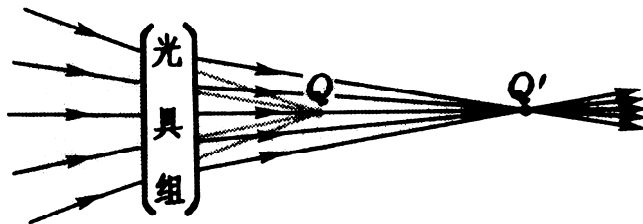
例：平面镜（一个反射面）、透镜（两个折射面）以及更复杂的光学仪器



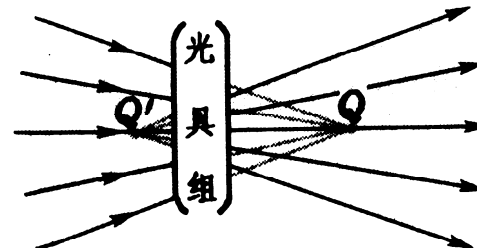
a 实物成实像



b 实物成虚像



c 虚物成实像



d 虚物成虚像

以 Q 为中心的同心光束经光具组的反射或折射后转化为另一以 Q' 点为中心的同心光束，则光具组使 Q 成像于 Q' 。 Q 称为物点， Q' 称为像点。

实像、虚像

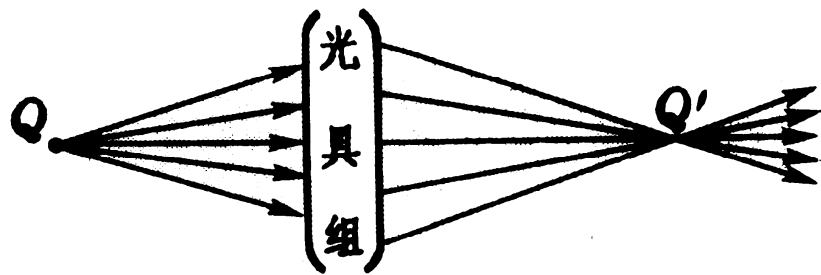
如果光束中各光线实际上确是在某点会聚,那么这个会聚点叫做实像. 如果光束中各光线是发散的,但反向延长后可以找到光束的顶点,那么这个顶点叫做虚像.

实像

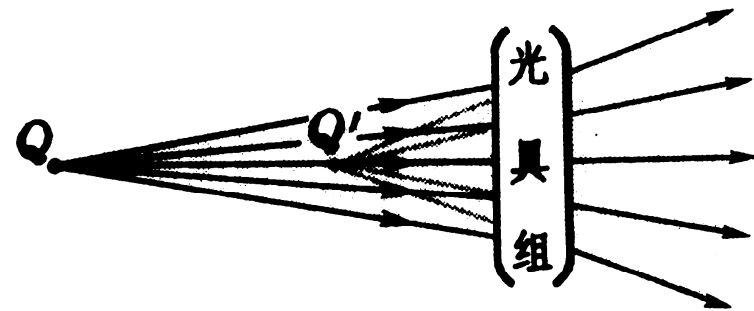
如果光束中各光线实际上确是在某点会聚,那么这个会聚点叫做实像。

虚像

如果光束中各光线是发散的,但反向延长后可以找到光束的顶点,那么这个顶点叫做虚像。



a 实物成实像

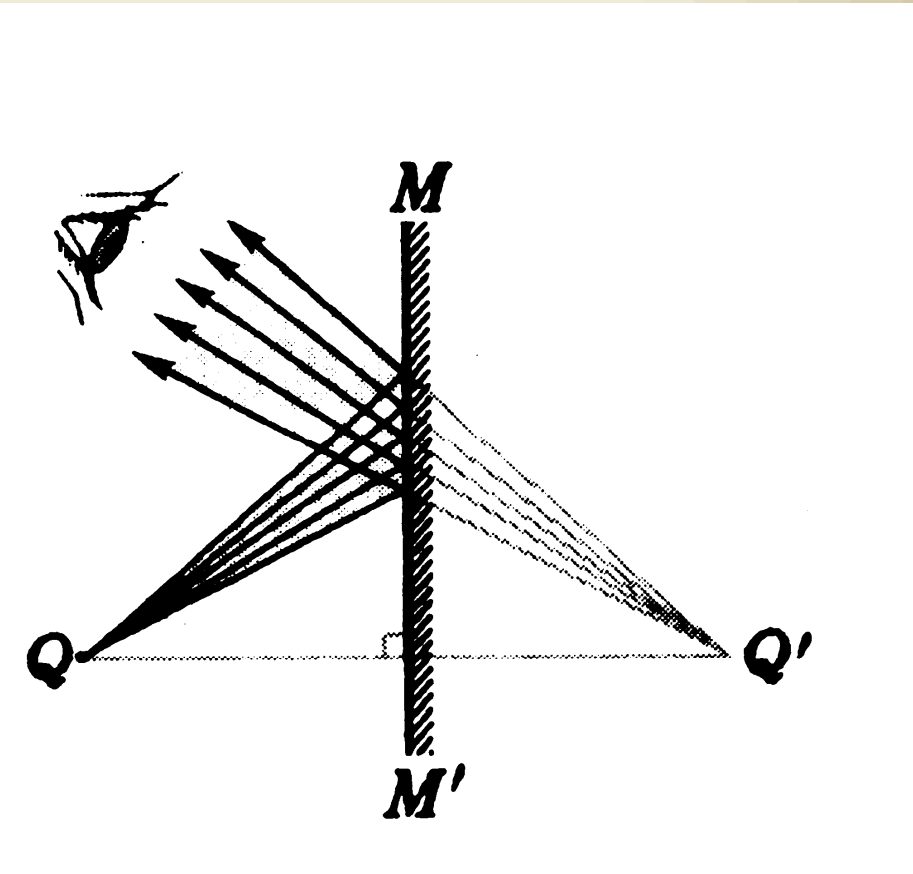


b 实物成虚像

平面镜成像原理

由镜前一发光点 Q 射出的同心光束经镜面反射后成为发散光束，由反射定理，反射线的延长线严格地交于镜面后同一点 Q' ，像点 Q' 与物点 Q 对镜面对称。

眼睛为什么能看到虚像？



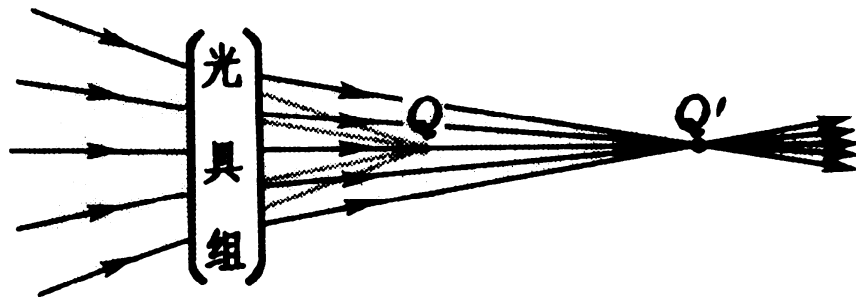
眼睛是根据射入眼睛的那部分光线的最后方向和发散程度来判断它们发光中心的位置的。所以当一束成虚像的发散光束射入眼睛后，我们的感觉是它们延长线的交点处似乎真有一个发光点。

实物

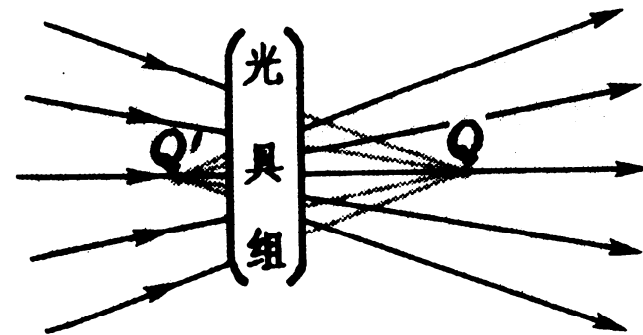
如果入射的是发散的同心光束光束，则相应的发散中心 Q 称为实物。

虚物

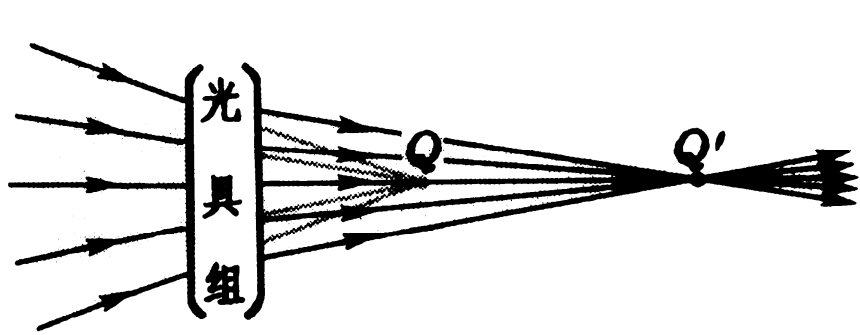
如果入射的是会聚的同心光束光束，则相应的发散中心 Q 称为虚物。



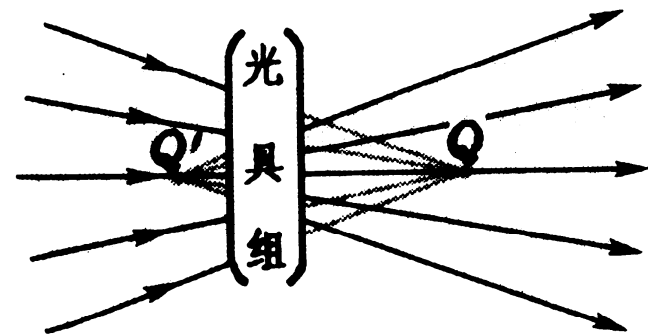
c 虚物成实像



d 虚物成虚像

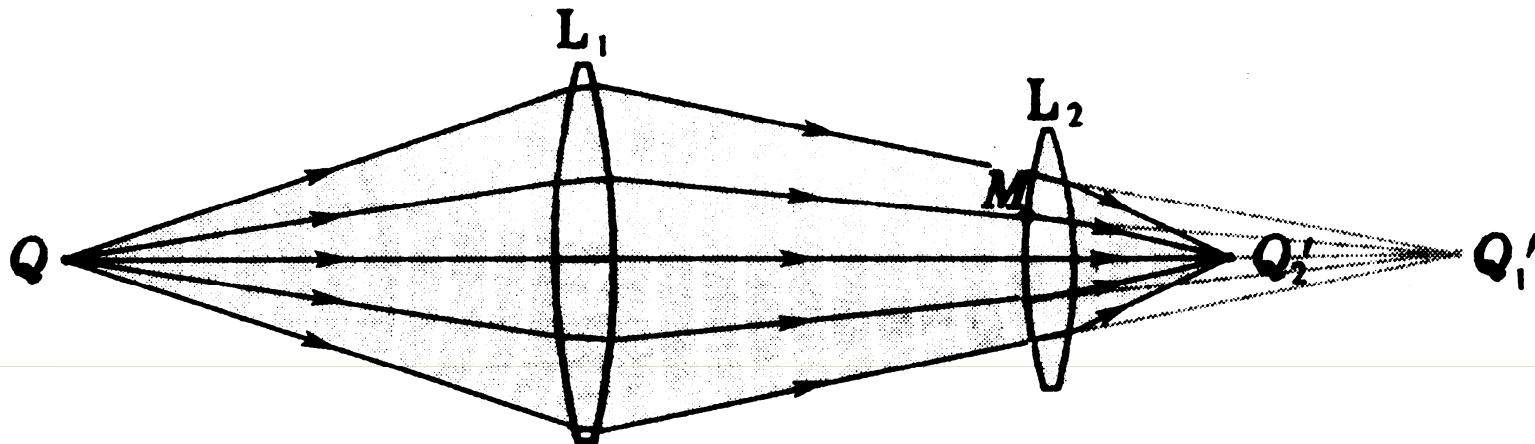


c 虚物成实像



d 虚物成虚像

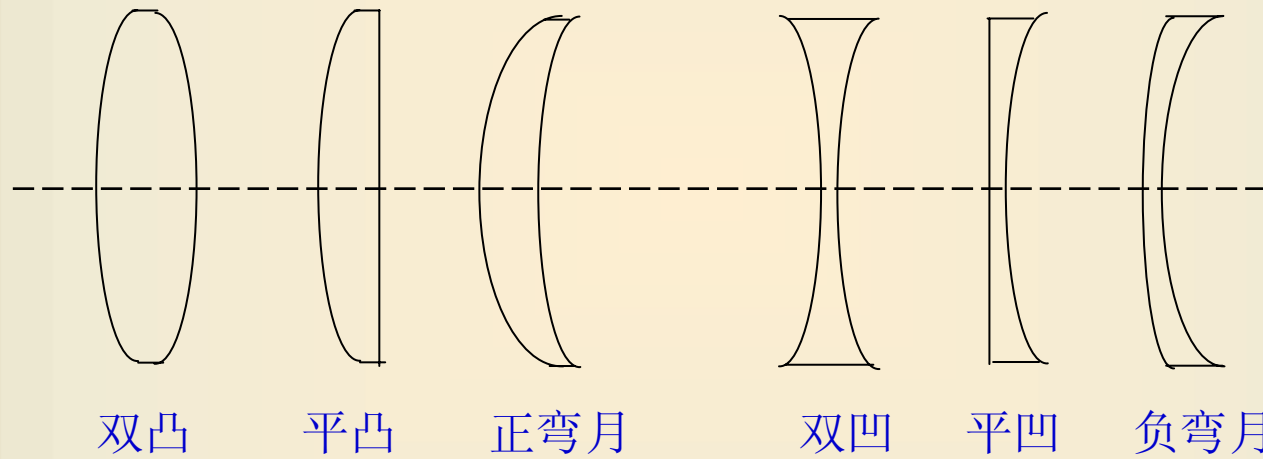
来自真实的发光点的光束当然不会是会聚的，虚物出现在几个光具组联合成像的问题中。例：



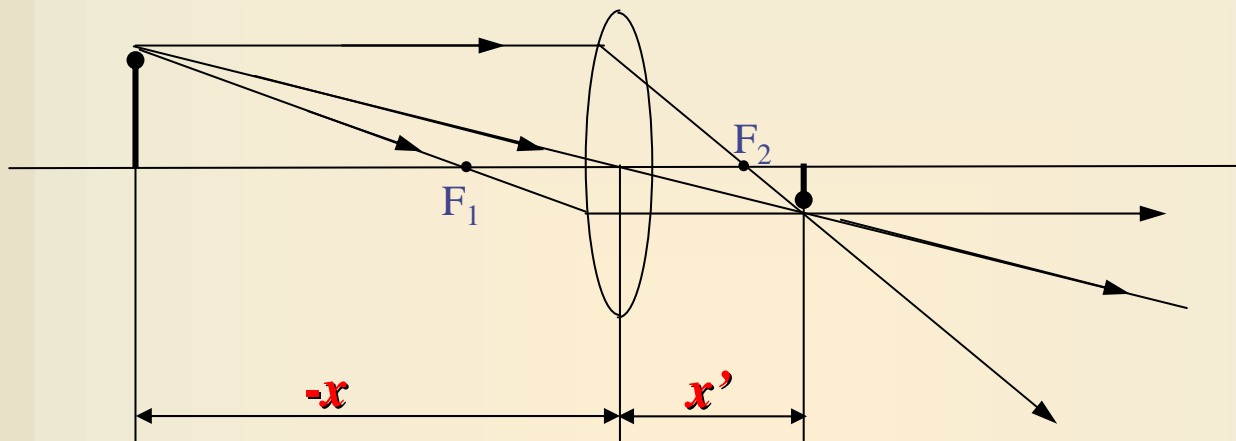
几何光学：薄透镜

会聚透镜

发散透镜



几何光学：薄透镜成像的作图法

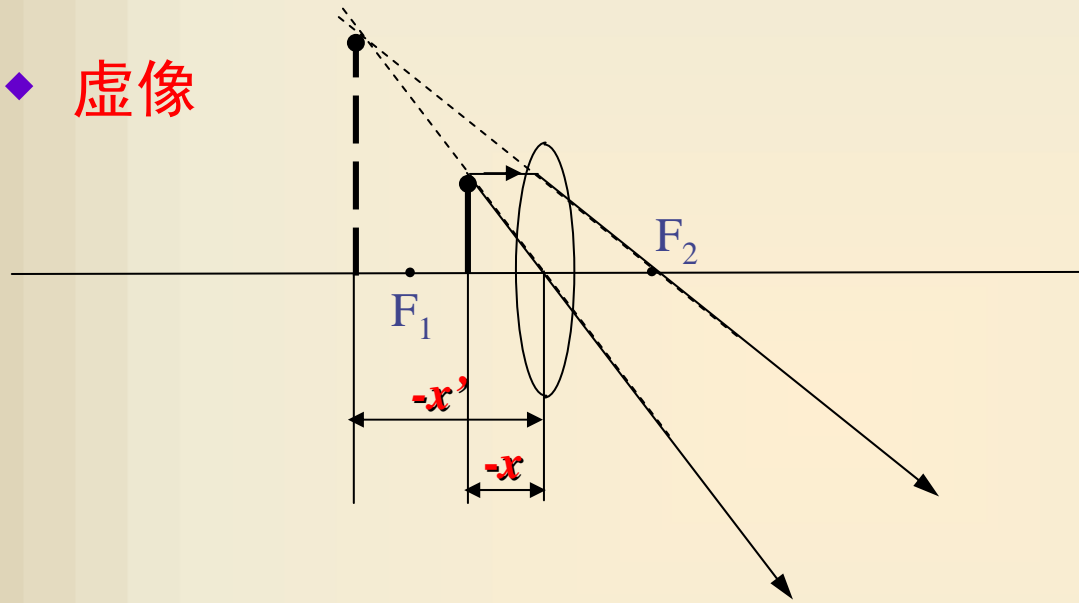


几何光学：高斯公式

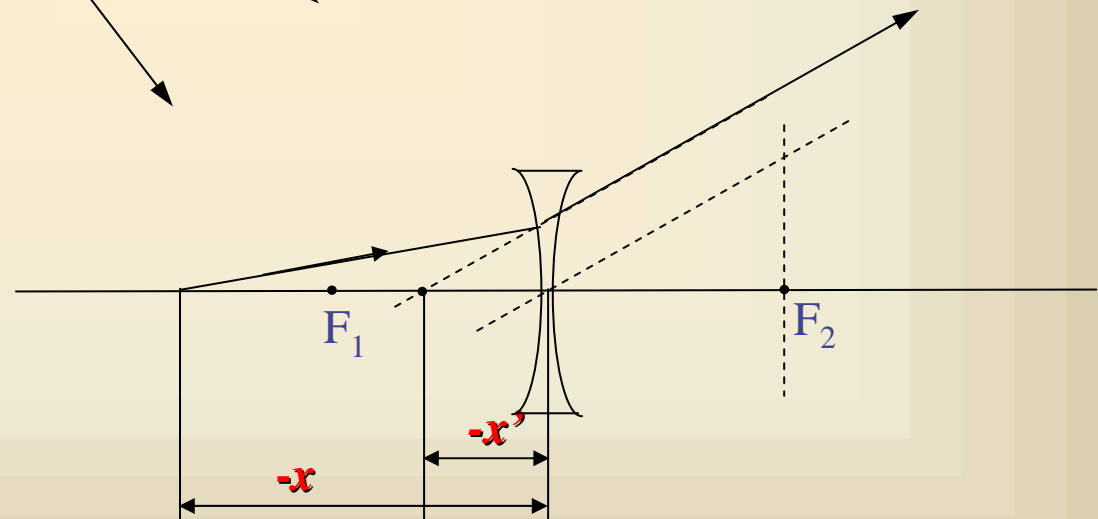
$$\frac{1}{x'} + \frac{1}{x} = \frac{1}{f}$$

几何光学：薄透镜成像的作图法

◆ 虚像



◆ 发散透镜



光的偏振

光的横波性

横波

——波的振动方向与传播方向垂直

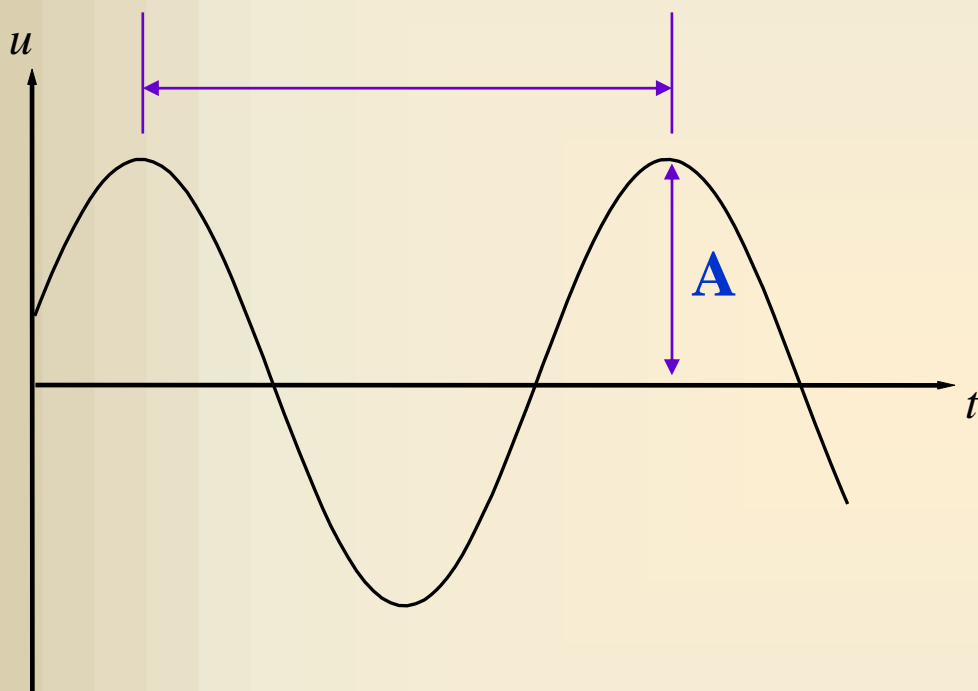
光的偏振

——光波中光矢量的振动方向总和光的传播方向垂直。光波的这一基本特性称为光的偏振。

光的偏振态

——在垂直于光的传播方向的平面内，光矢量可能有不同的振动状态通常称为光的偏振态。

光的横波性



$$u = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

A ——振幅

ω ——圆频率

t ——时间

φ_0 ——初位相

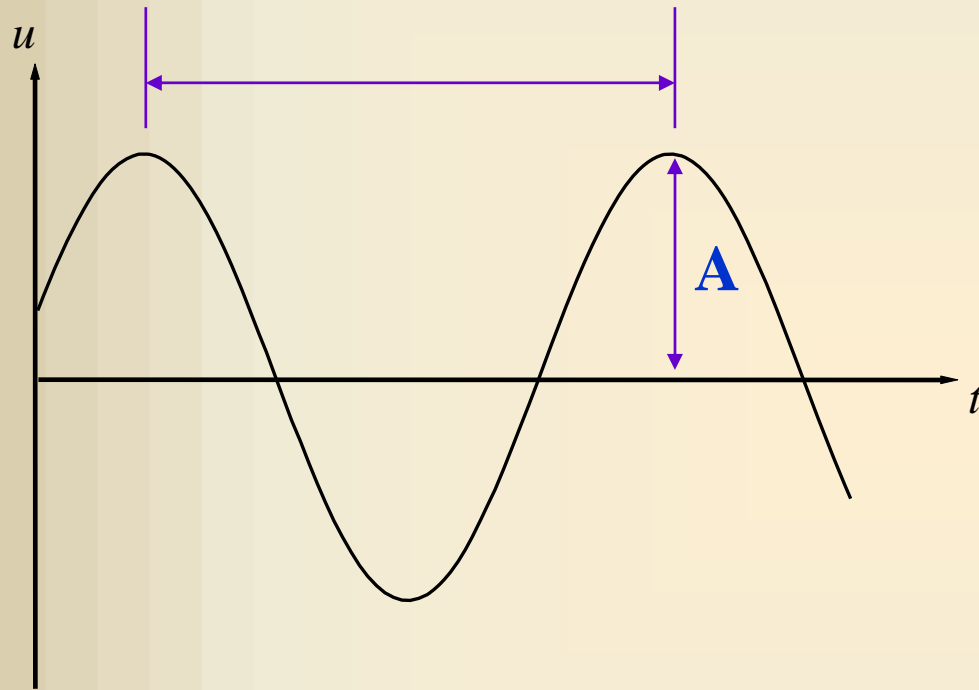
光强

$$I = k A^2$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

光的横波性与五种偏振态

光的横波性



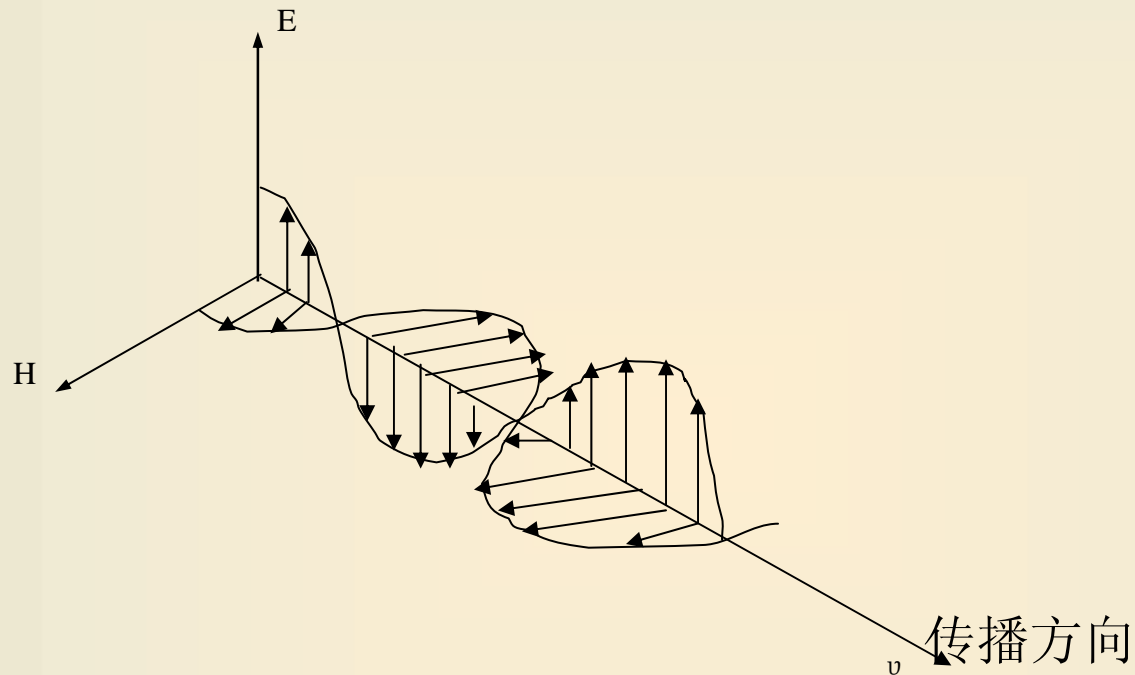
$$u = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

λ —— 光的波长

$$\lambda = v / f$$

波长范围 /nm	颜色
400 450	紫色
450 480	蓝色
480 510	蓝绿
510 550	绿色
550 570	黄绿
570 590	黄色
590 630	橙色
630 700	红色

光的偏振

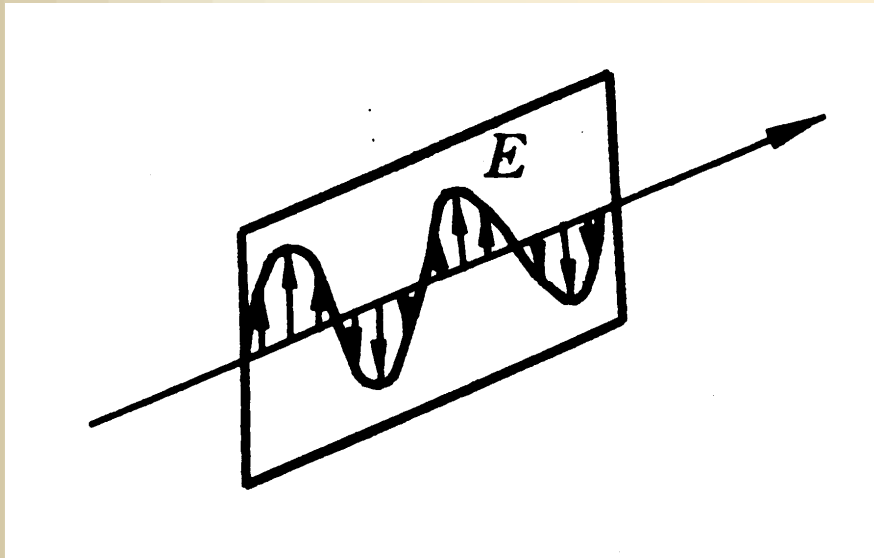


光波中光矢量的振动方向总和光的传播方向垂直。
光波的这一基本特性称为光的偏振。

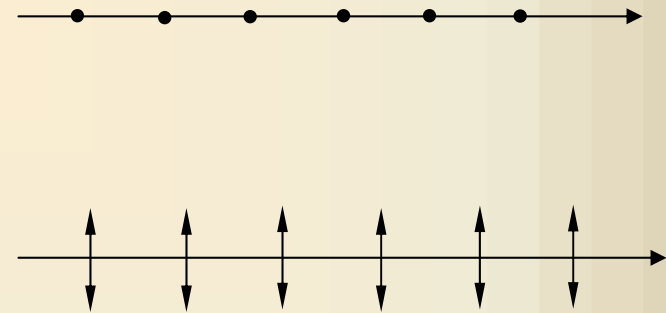
光的横波性与五种偏振态

线偏振光(平面偏振光)

透过偏振片的光线中只剩下与其透振方向平行的光叫做**线偏振光**，线偏振中振动方向与传播方向构成的平面，叫做**振动面**。

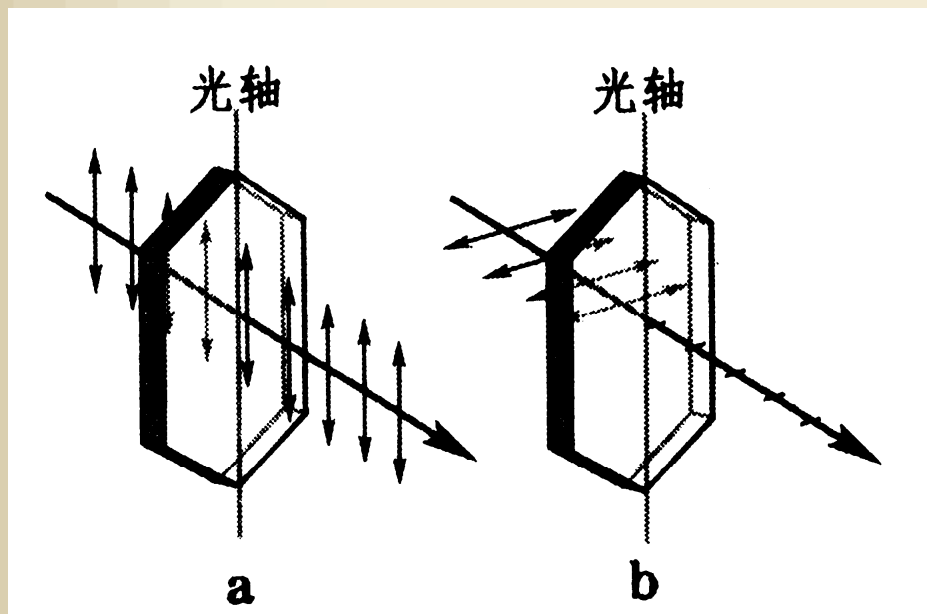


振动面



线偏振光

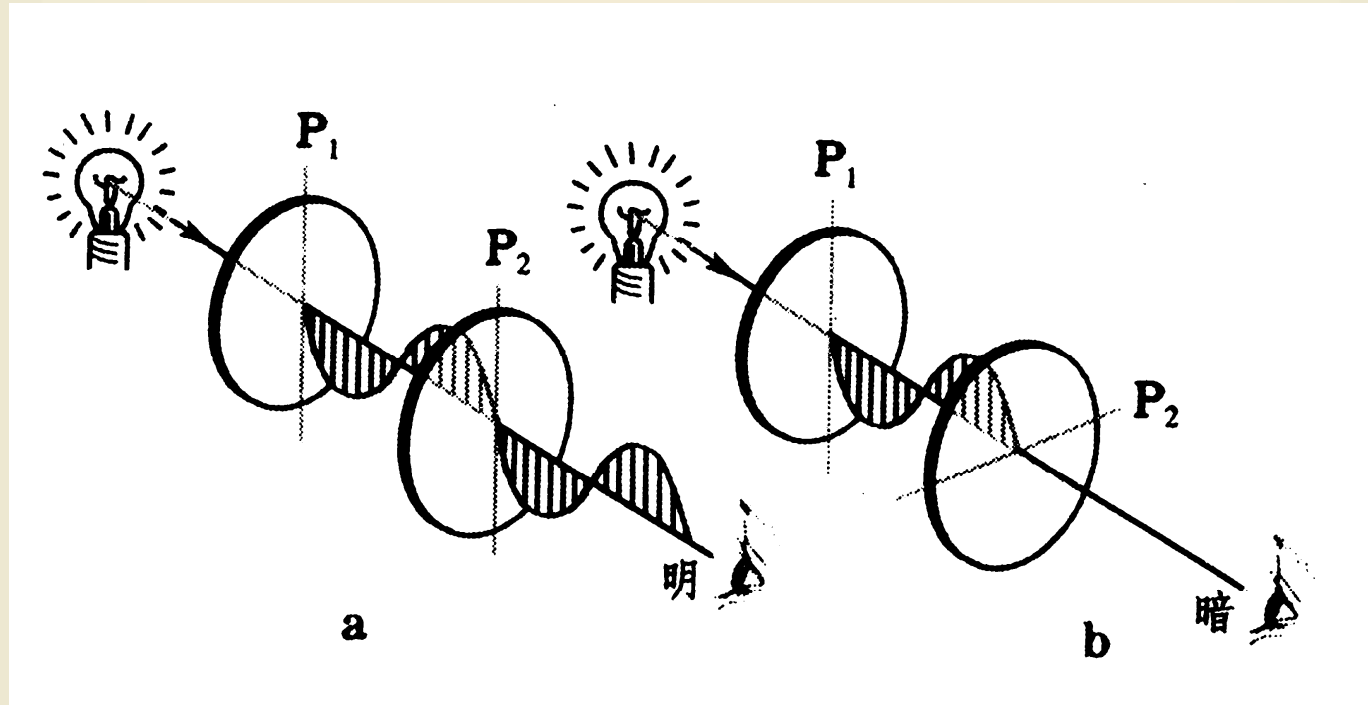
平面偏振光的实现



偏振片

当光线射在偏振片的表面上时，振动的光矢量与光轴平行时可以通过，与光轴垂直时就不能通过。因此，平行与光轴的方向称为**通光方向**或**偏振化方向**。

平面偏振光的实现

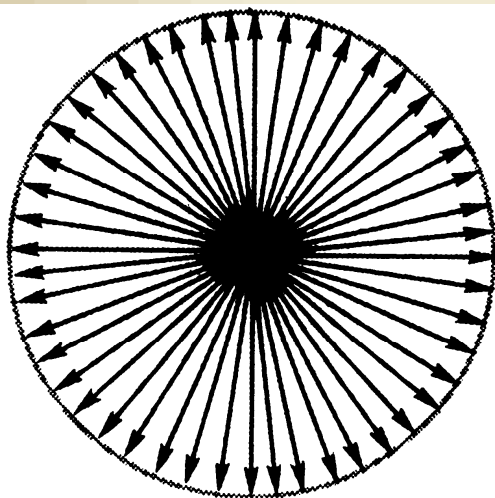


当光线射在偏振片的表面上时，振动的光矢量与光轴平行时可以通过，与光轴垂直时就不能通过。因此，平行与光轴的方向称为**通光方向**或**偏振化方向**。

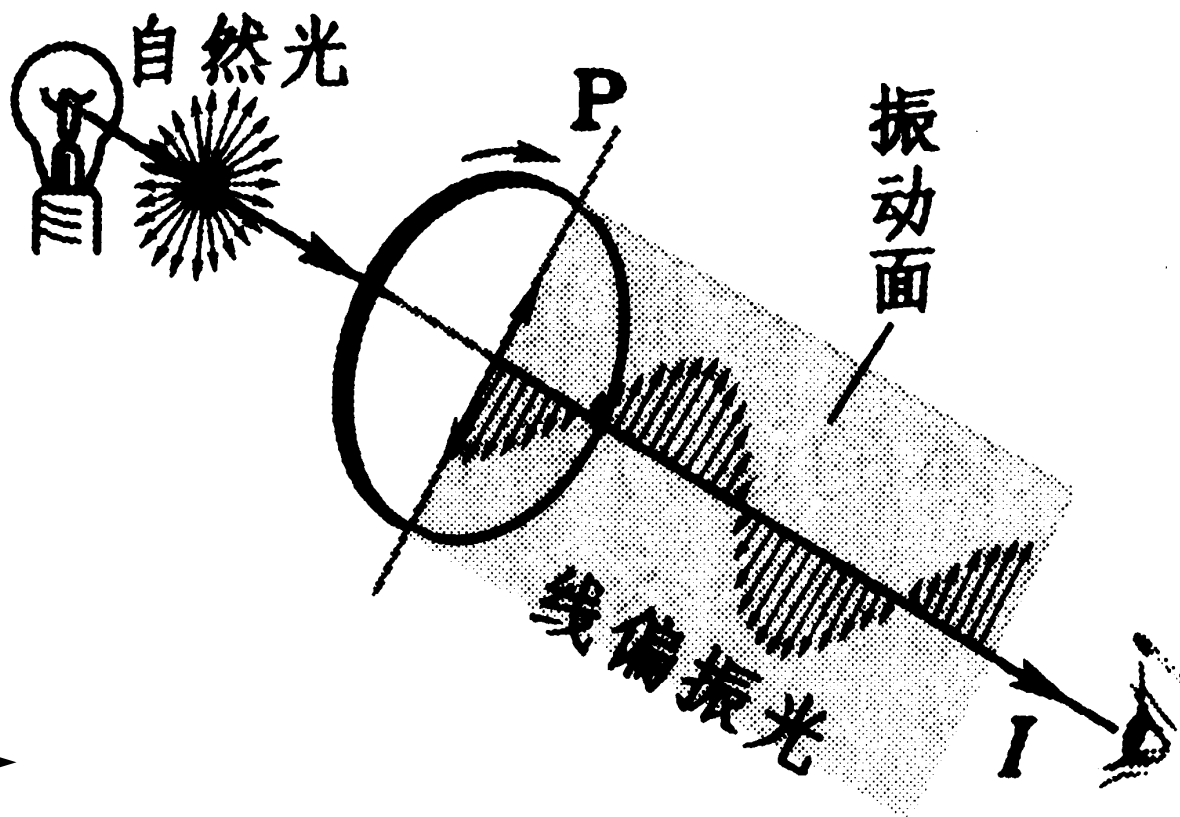
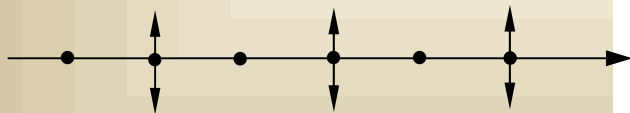
光的横波性与五种偏振态

自然光

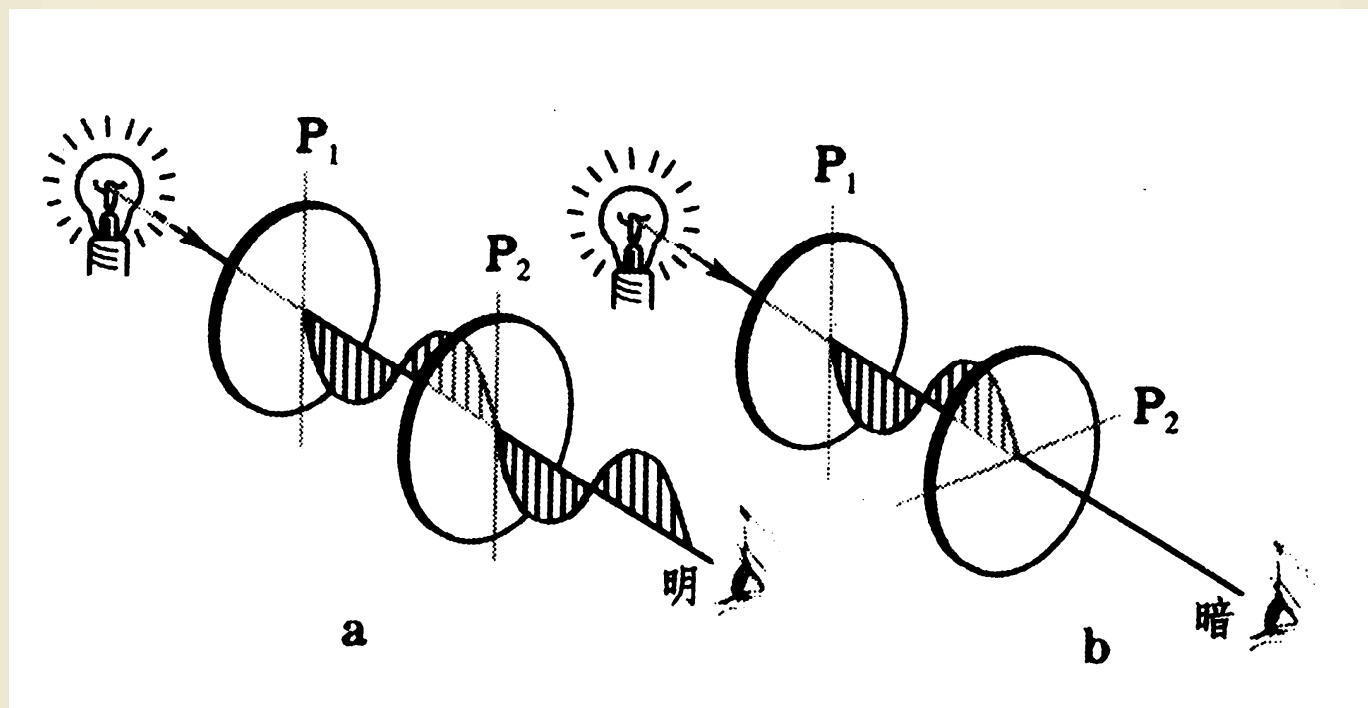
入射光中包含了所有方向的横向振动，光矢量的分布各向均匀，且各方向光振动的振幅都相同。具有这种特点的光叫做自然光。



透射光强度不随偏振片的转动而变化。但光强只有入射光强的一半。



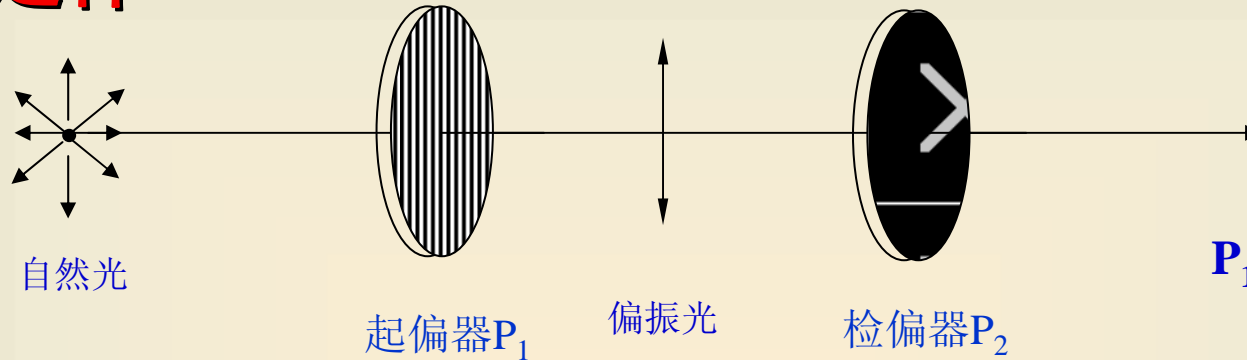
线偏振光



当光波在垂直于传播方向的平面内只在某一方向上振动，且光波沿传播方向上所有点的振动均在同一平面内，则此种光波称为线偏振光或平面偏振光。

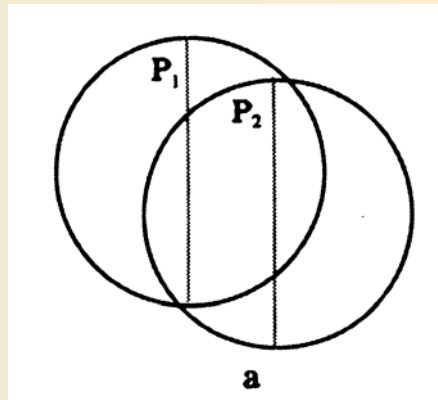
线偏振光的获得与检验

马吕斯定律

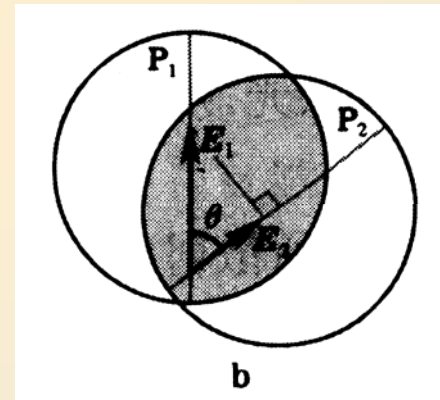


$$I_1 = A_1^2$$

$$I_2 = A_2^2$$



$\theta = 0$ 时
 $A_2 = A_1, I_2 = I_1$

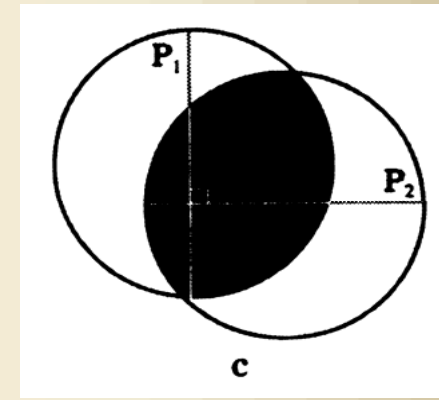


$$A_2 = A_1 \cos \theta$$

$$I_2 = A_2^2$$

$$= A_1^2 \cos^2 \theta$$

$$= I_1 \cos^2 \theta$$

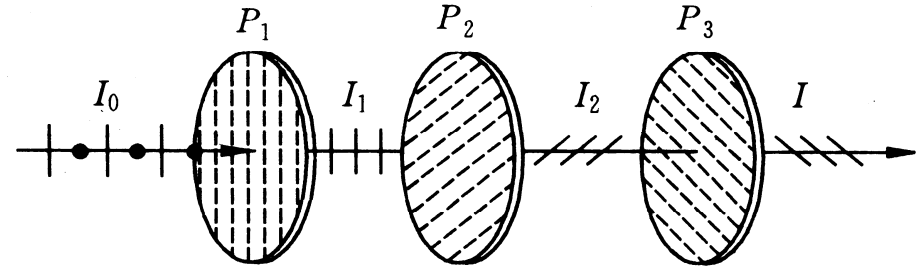


$\theta = 90$ 时
 $A_2 = 0, I_2 = 0$

线偏振光的获得与检验

例题

如图示，在两块正交偏振片(偏振化方向相互垂直) P_1 、 P_3 之间，插入另一块偏振片 P_2 ，光强为 I_0 的自然光垂直入射于偏振片 P_1 ，求转动 P_2 时，透过 P_3 的光强 I 与转角的关系。



透过各偏振片的光振幅矢量如图示，其中 α 为 P_1 和 P_2 的偏振化方向间的夹角。由于各偏振片只允许和自己的偏振化方向相同的偏振光透过，所以透过各偏振片的光振幅的关系为

$$A_2 = A_1 \cos \alpha \quad A_3 = A_2 \cos \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right)$$

因而

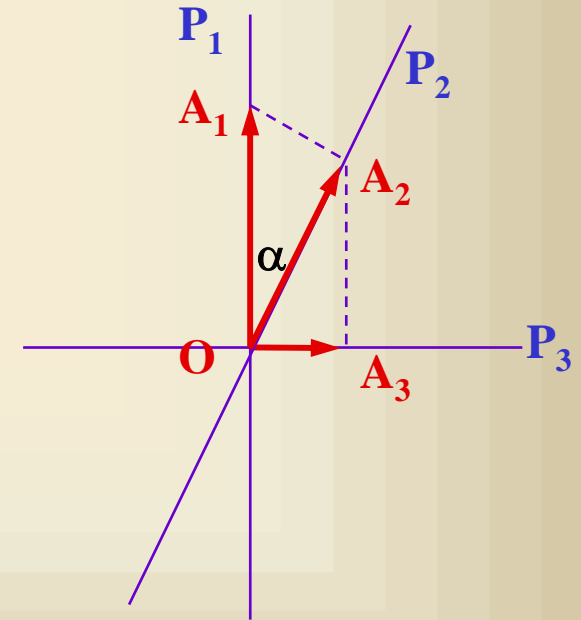
$$A_3 = A_1 \cos \alpha \cos \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right)$$
$$= A_1 \cos \alpha \sin \alpha = \frac{1}{2} A_1 \sin 2\alpha$$

于是光强

$$I_3 = \frac{1}{4} I_1 \sin^2 2\alpha$$

又由于

$$I_1 = \frac{1}{2} I_0 \quad \text{所以} \quad I_3 = \frac{1}{8} I_0 \sin^2 2\alpha$$

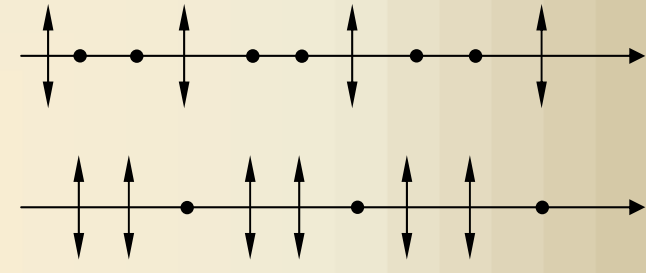


光的横波性与五种偏振态

部分偏振光

经常遇到的光，除了自然光和线偏振光外，还有一种偏振状态介于两者之间的光。

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



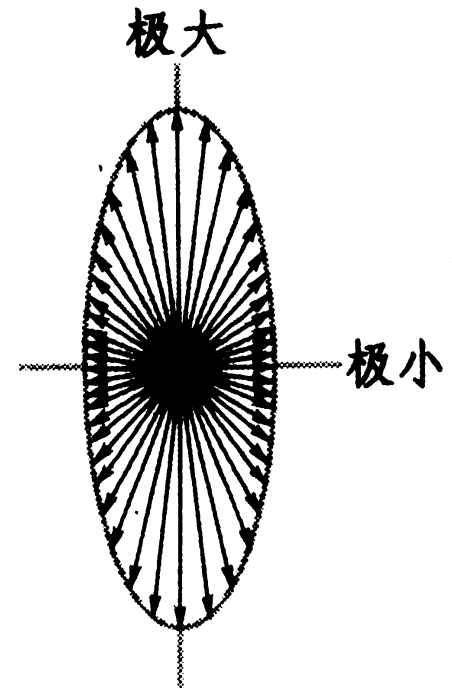
自然光

$$P=0$$

线偏振光

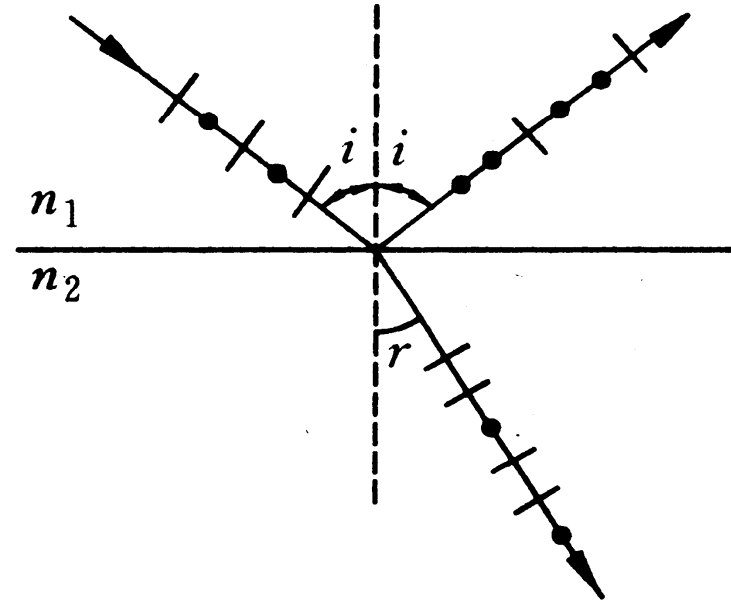
$$P=1$$

偏振度最大的光，也叫做全偏振光。



反射和折射时光的偏振

自然光在两种各向同性介质的分界面上反射和折射时，不仅光的传播方向要改变，而且偏振状态也要发生变化。一般情况下，反射光和折射光不再是自然光，而是部分偏振光。在反射光中垂直于入射面的光振动多于平行振动，而在折射光中平行于入射面的光振动多于垂直振动。“湖光山色”中的“湖光”所以是部分偏振光就是因为光在湖面上经过反射的缘故。



**自然光反射和折射后
产生部分偏振光**

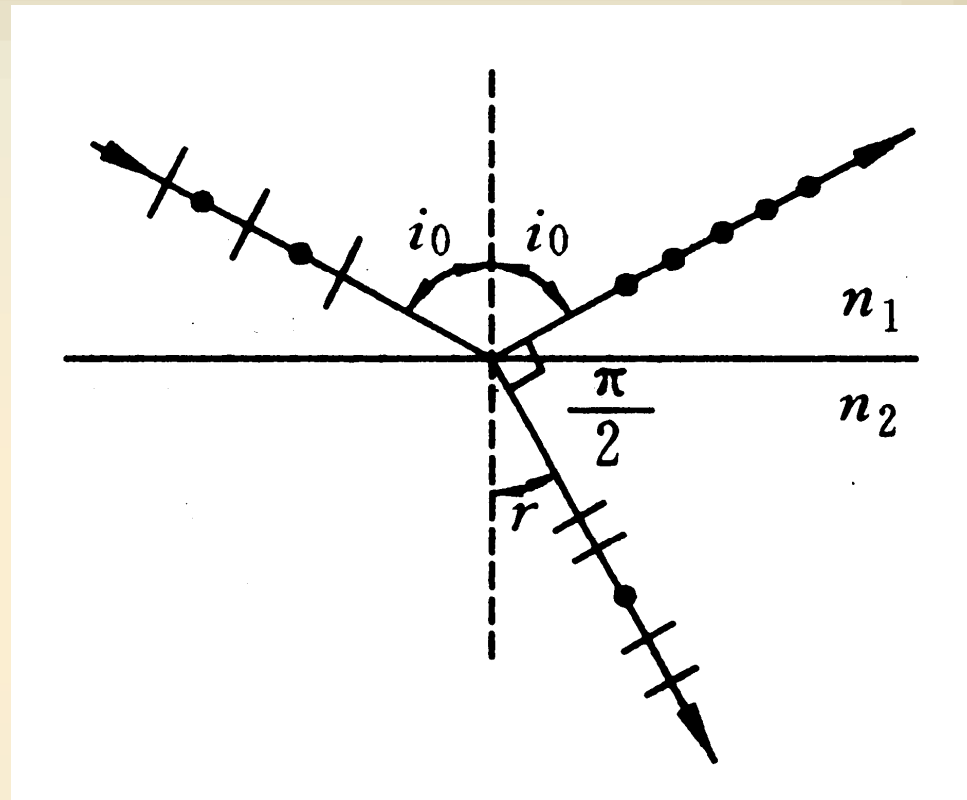
反射和折射时光的偏振

起偏振角

布儒斯特角

空气-玻璃 56°

空气-石英 $55^\circ 38'$

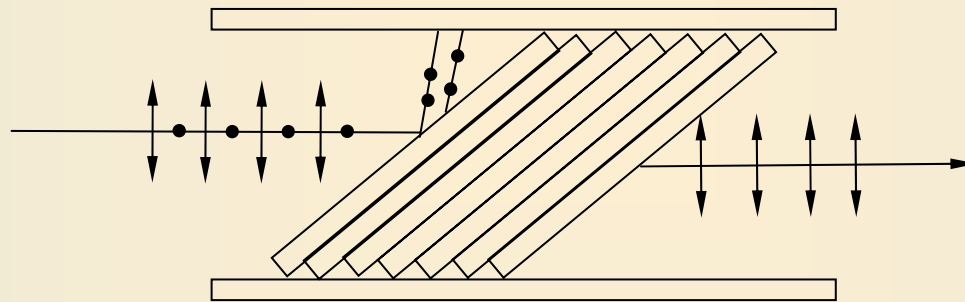


理论和实验都证明，反射光的偏振化程度和入射角有关。当入射角等于某一特定值 i_0 时，**反射光是光振动垂直于入射面的线偏振光**。这个特定的入射角 i_0 称为**起偏振角**，或称为**布儒斯特角**。

只有当自然光的入射角等于布儒斯特角时，反射光才是**平面偏振光**，对于其他任何入射角，反射光都只是**部分偏振光**。

反射和折射时光的偏振

当自然光以布儒斯特角入射时，平行于入射面的光振动全部被折射，垂直于入射面的光振动的光强约有85%也被折射，反射的只占15%。但折射光的偏振度很低，为此可以采用多次折射的方法。



一般激光器中采用布儒斯特角的装置产生偏振光。

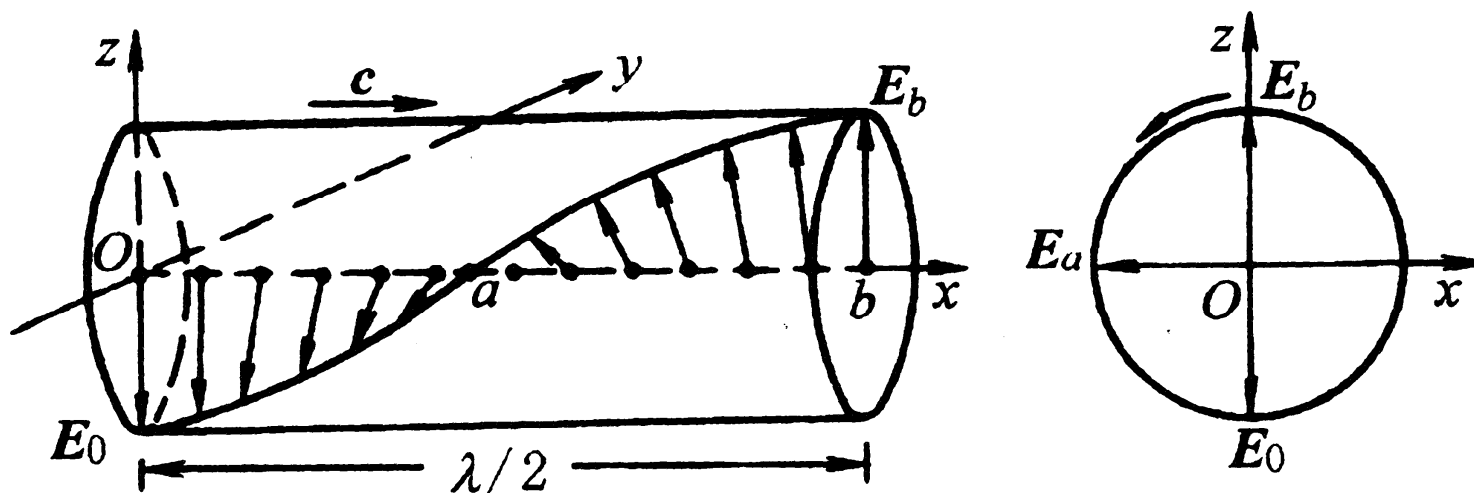
圆偏振光

$$\begin{cases} E_x = A \cos \omega t \\ E_y = A \cos \left(\omega t \pm \frac{\pi}{2} \right) \end{cases}$$

左旋偏振光(-)

右旋偏振光(+)

Look



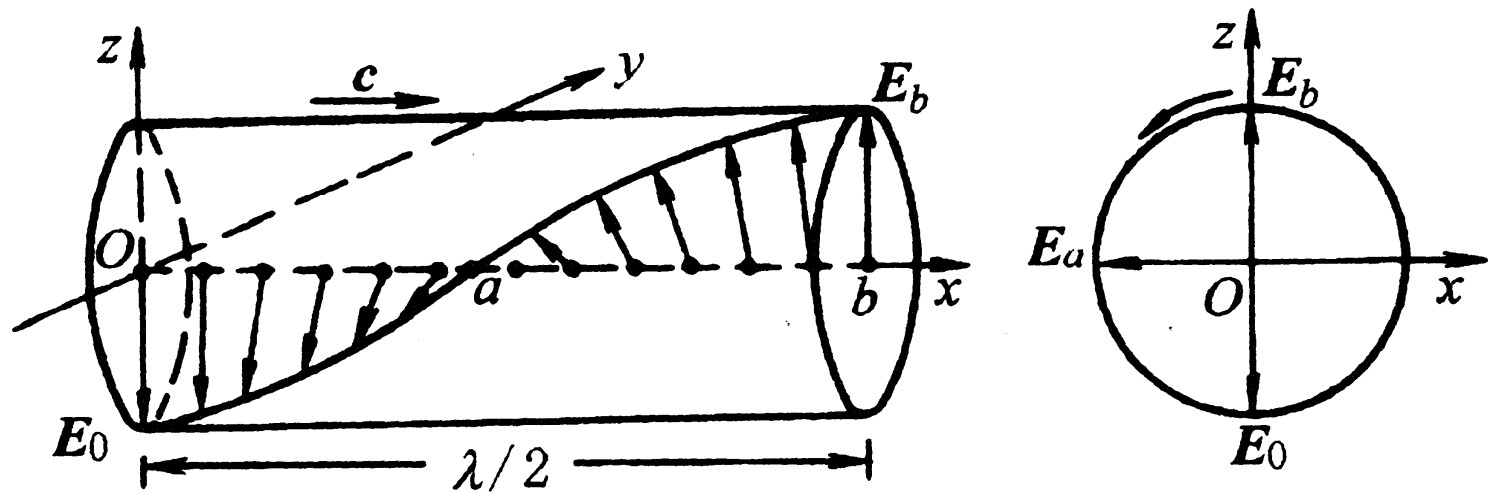
圆偏振光

$$\begin{cases} E_x = A \cos \omega t \\ E_y = A \cos \left(\omega t \pm \frac{\pi}{2} \right) \end{cases}$$

左旋偏振光(-)

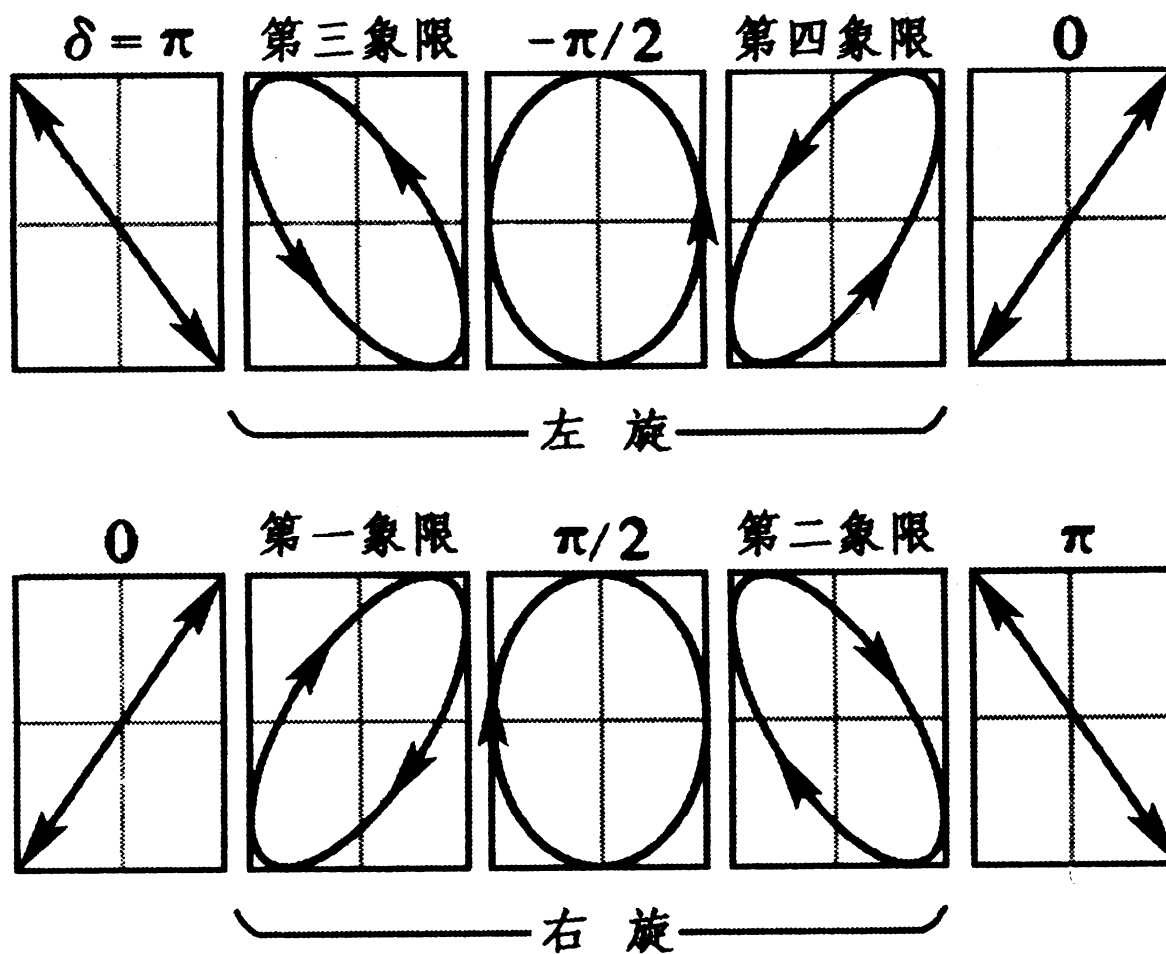
右旋偏振光(+)

Look



光的横波性与五种偏振态

椭圆偏振光 $\begin{cases} E_x = A_1 \cos \omega t \\ E_y = A_2 \cos \left(\omega t \pm \frac{\pi}{2} \right) \end{cases}$ 或 $\begin{cases} E_x = A \cos \omega t \\ E_y = A \cos (\omega t \pm \delta) \end{cases}$



双折射现象

光通过单晶体时的双折射现象

光射入各项异性介质（方解石等）中时，折射光分为两束，沿不同的方向进行。

双折射——同一束入射光折射后分成两束的现象。

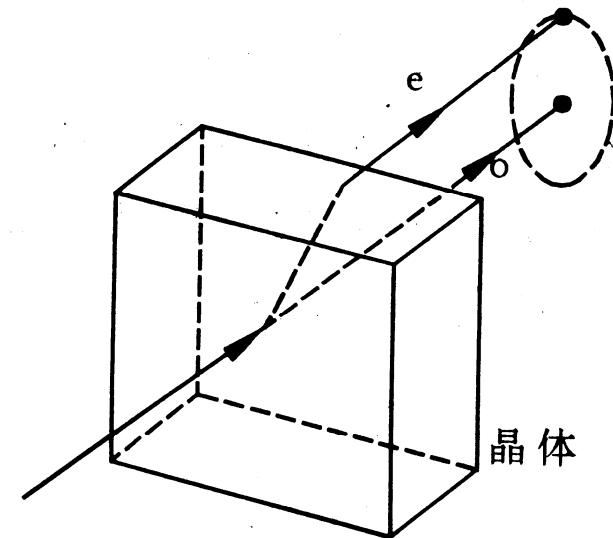
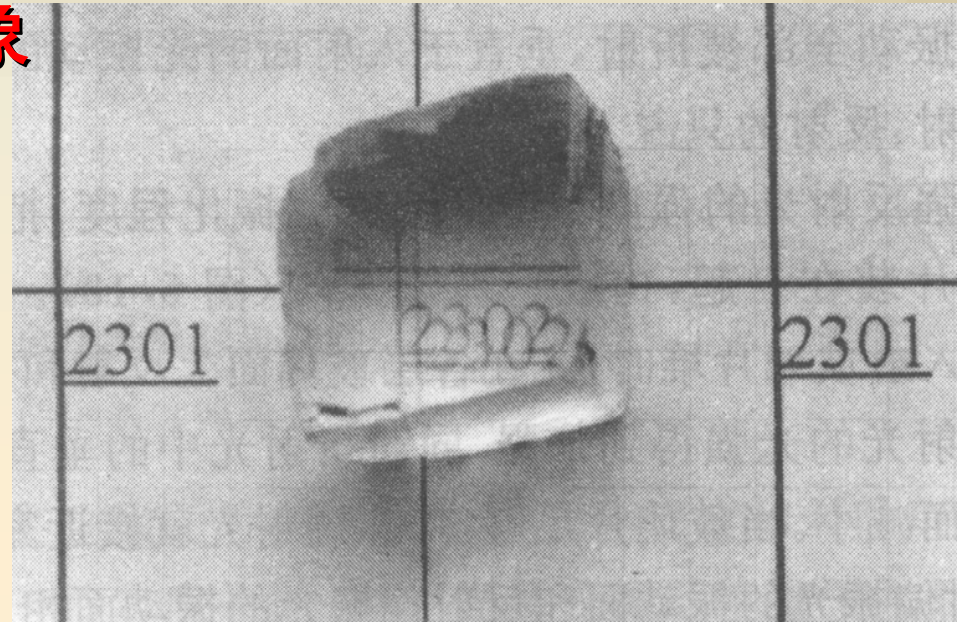
寻常光线 o光

非常光线 e光

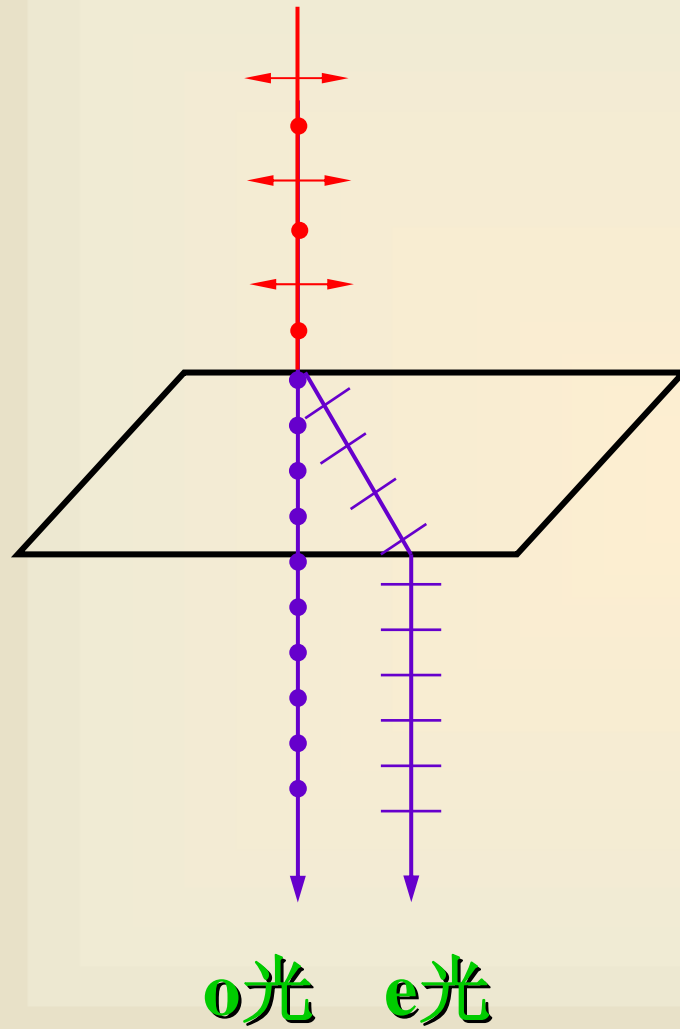
光轴

在晶体内平行于不发生双折射的方向的直线，叫做晶体的光轴。

只有一个光轴的晶体叫**单轴晶体**
两个——**双轴晶体**



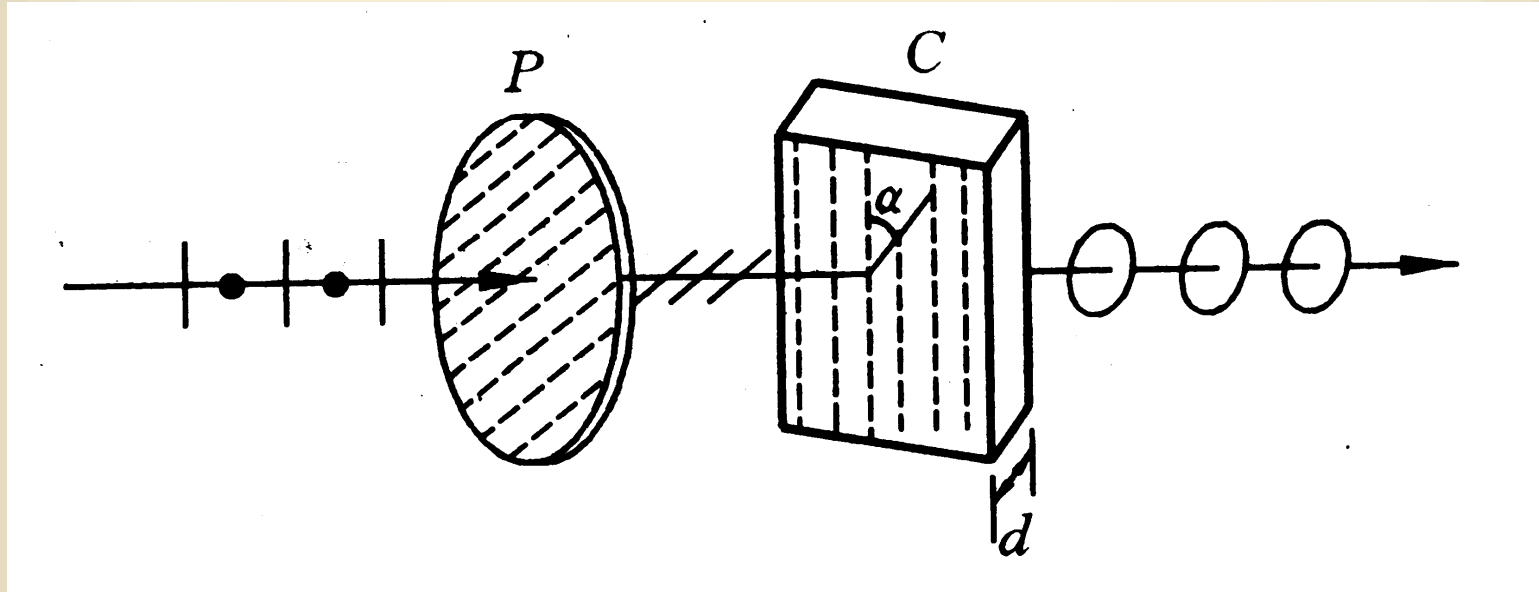
光通过单晶体时的双折射现象



均为线偏振光

椭圆偏振光和圆偏振光

图示，**P**为偏振片，**C**为单轴晶片，与**P**平行放置，其厚度为**d**，主折射率为 n_o 和 n_e ，光轴(用平行的虚线表示)平行于晶面，并与**P**的偏振化方向成夹角 α 。



椭圆偏振光和圆偏振光

产生椭圆偏振光的原理

o光 $A_o = A \sin \alpha$ **e光** $A_e = A \cos \alpha$

两束光通过晶片后的位相差为 $\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) d$

光程差为 $\delta = (n_o - n_e) d = \frac{\lambda}{4}$ $d = \frac{\lambda}{4(n_o - n_e)}$

使o光、e光的光程差等于 $\lambda/4$ 的晶片，称为1/4波片。

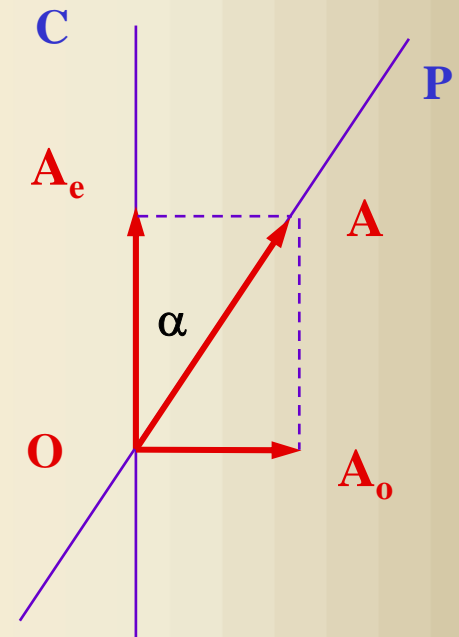
若 $\alpha = \pi/4$ ，则 $A_o = A_e$

o光、e光相差为 $\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) d = \pi$

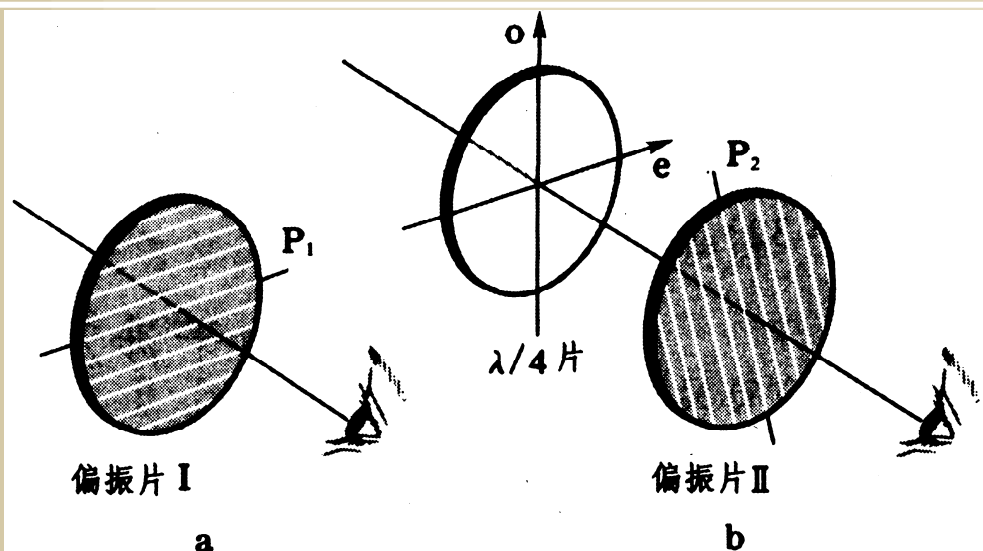
时，相应的光程差为 $\delta = (n_o - n_e) d = \frac{\lambda}{2}$

使o光、e光的光程差等于 $\lambda/2$ 的晶片，称为1/2波片。

而晶片厚度 $d = \frac{\lambda}{2(n_o - n_e)}$



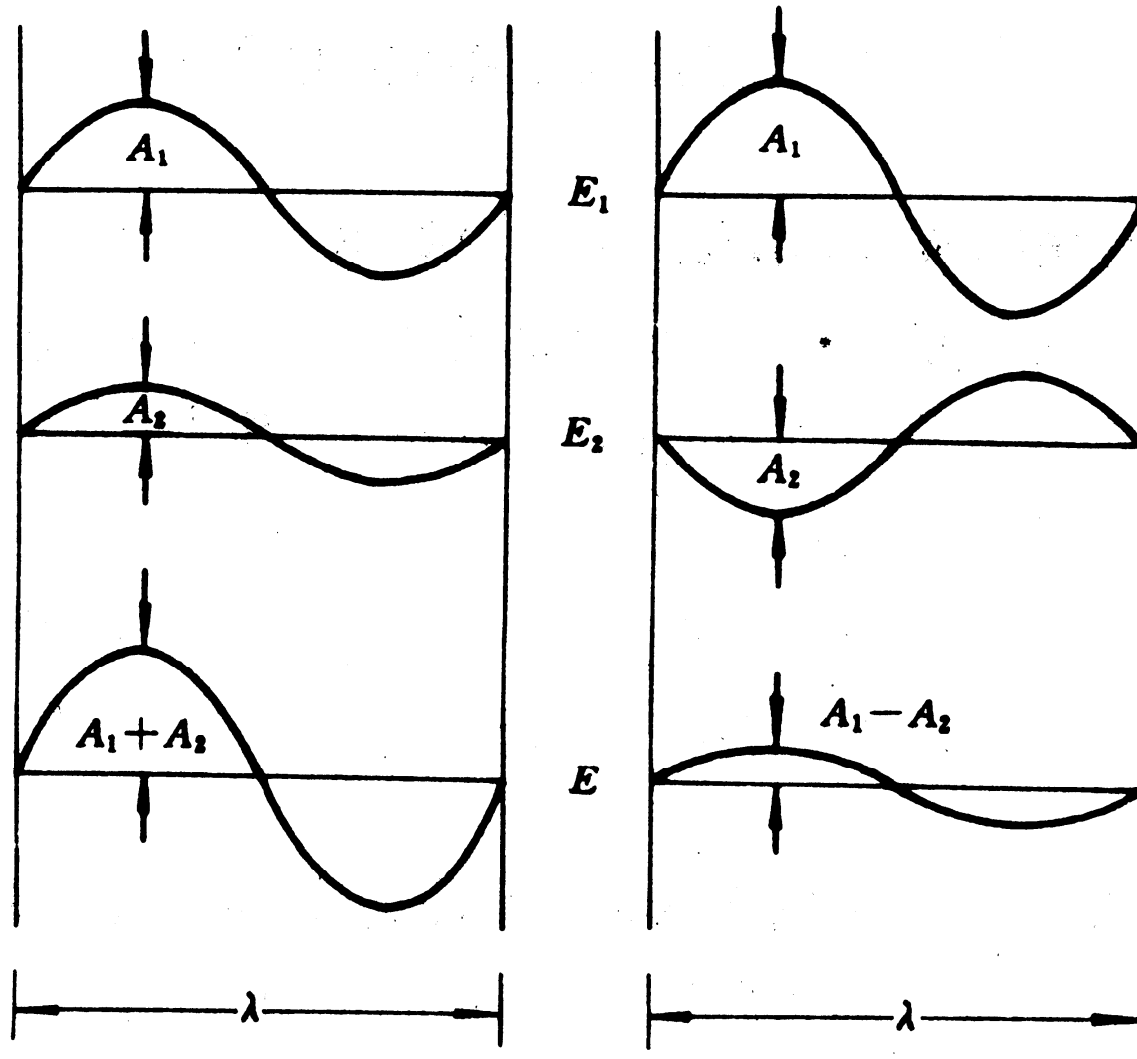
圆偏振光和椭圆偏振光的检验



第一步	令入射光通过偏振片 I, 改变偏振片 I 的透振方向 P_1 , 观察透光强度的变化				
观察到的现象	有消光	强度无变化		强度有变化, 但无消光	
结论	线偏振	自然光或圆偏振		部分偏振或椭圆偏振	
第二步		a. 令入射光依次通过 $\lambda/4$ 片和偏振片 II, 改变偏振片 II 的透振方向 P_2 , 观察透射光的强度变化		b. 同 a, 只是 $\lambda/4$ 片的光轴方向必须与第一步中偏振片 I 产生的强度极大或极小的透振方向重合	
观察到的现象		有消光	无消光	有消光	无消光
结论		圆偏振	自然光	椭圆偏振	部分偏振

满足一定条件的两束光叠加时，在叠加区域光的强度或明或暗有一稳定的分布。这种现象称为**光的干涉**。

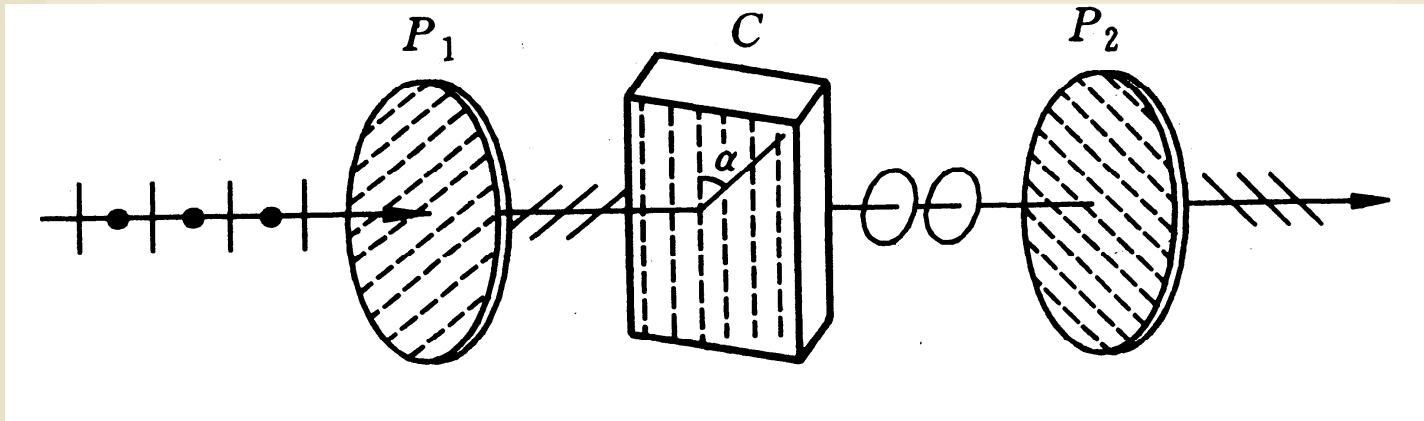
波的叠加



当光波 E_1 的波峰与光波 E_2 的波峰重叠，它们的位相相同，则合成波 E 的振幅加强。

当光波 E_1 的波峰与光波 E_2 的波谷重叠，则合成波 E 的振幅减弱。

偏振光干涉的基本装置



$$A_o = A_1 \sin \alpha$$

$$A_e = A_1 \cos \alpha$$

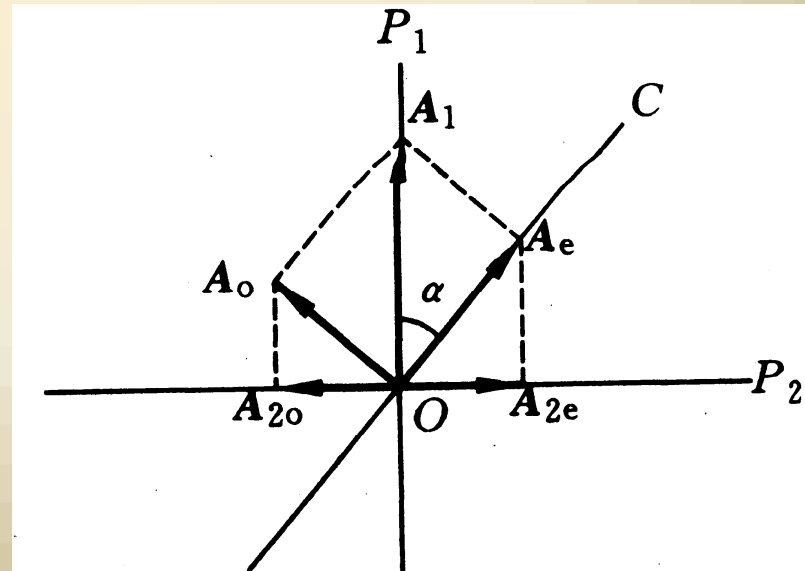
$$A_{2o} = A_o \cos \alpha = A_1 \sin \alpha \cos \alpha$$

$$A_{2e} = A_e \sin \alpha = A_1 \sin \alpha \cos \alpha$$

P_1 、 P_2 正交时： $A_{2e} = A_{2o}$

两相干偏振光总的位相差为

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) d + \pi$$



偏振光干涉（在 P_1 和 P_2 正交的情况下）

当 $\Delta\varphi = 2k\pi, k = 1, 2, \dots$

或 $(n_o - n_e)d = (2k - 1)\frac{\lambda}{2}$ 时，加强；

当 $\Delta\varphi = (2k + 1)\pi, k = 1, 2, \dots$

或 $(n_o - n_e)d = k\lambda$ 时，减弱。

当晶片厚度不均匀时，各处干涉情况不同，则视场中将出现干涉条纹。

当白光入射时，对各种波长的光来讲，干涉加强和减弱的条件因波长的不同而各不相同。所以当晶片的厚度一定时，视场将出现一定的色彩，这种现象称为**色偏振**。如果这时晶片各处厚度不同，则视场中将出现彩色条纹。

