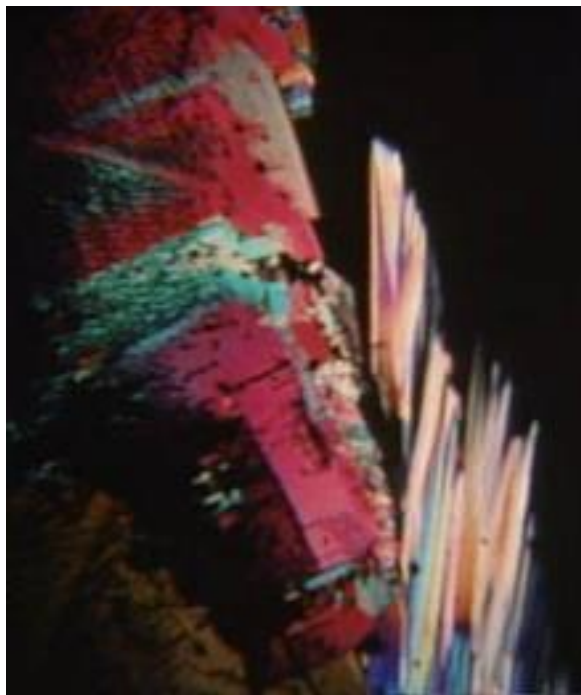
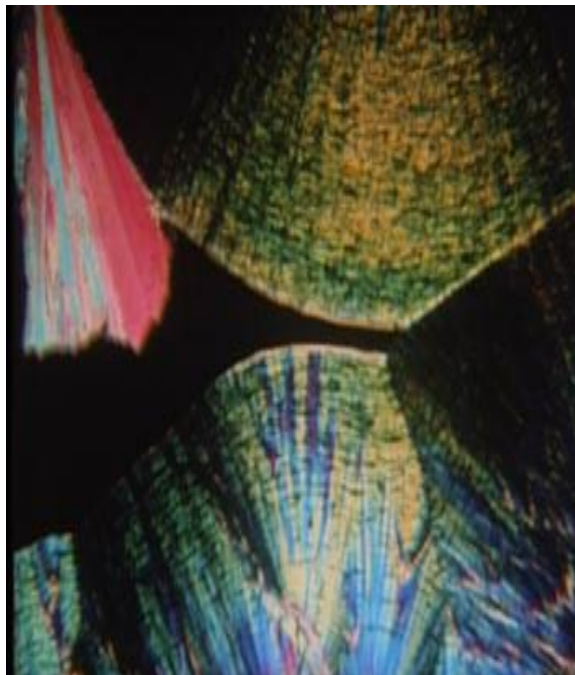
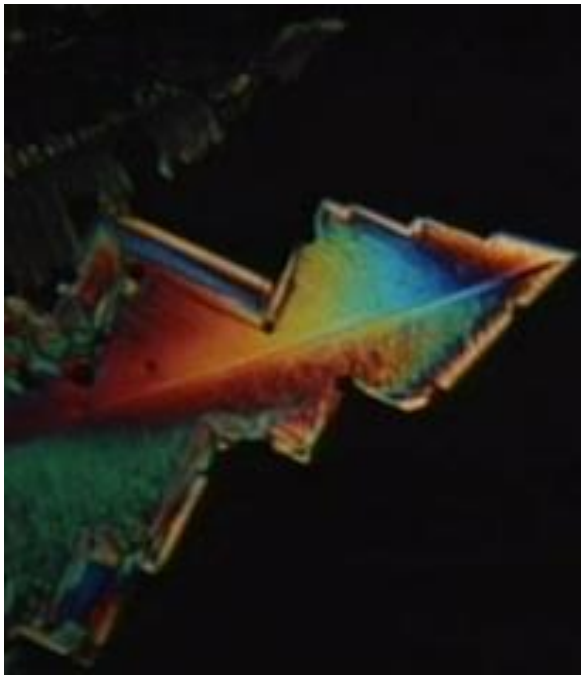


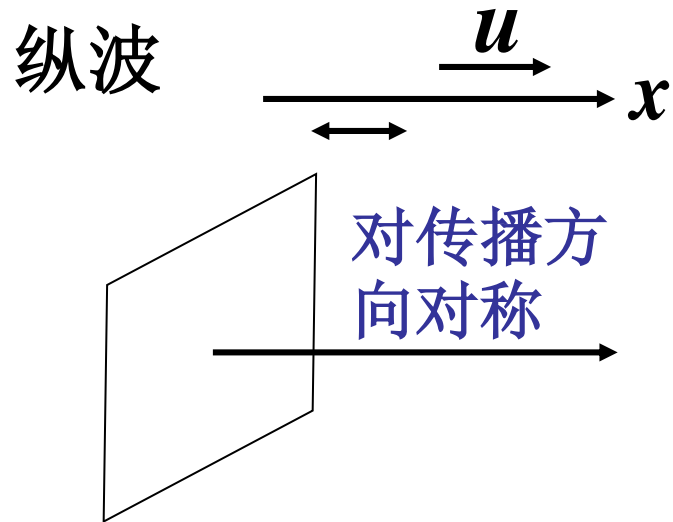
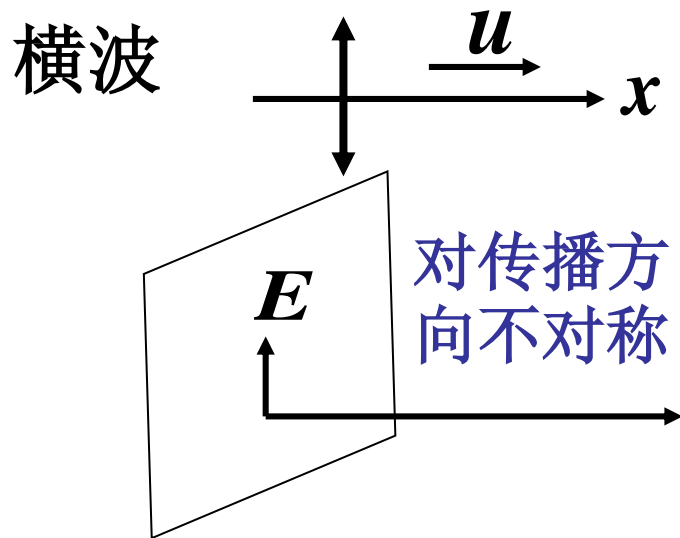
第 23 章

光的偏振

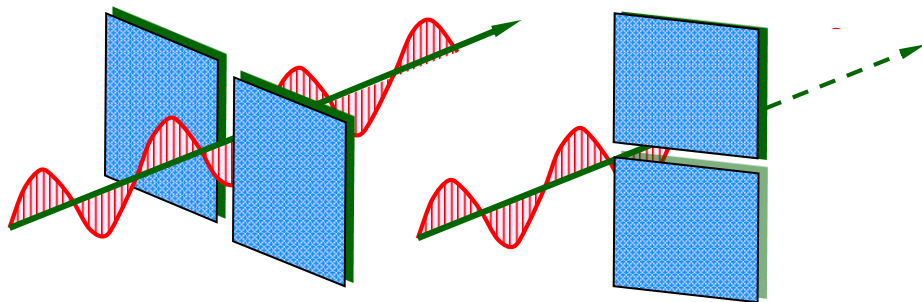


§ 1 光的偏振性

一、横波与偏振现象

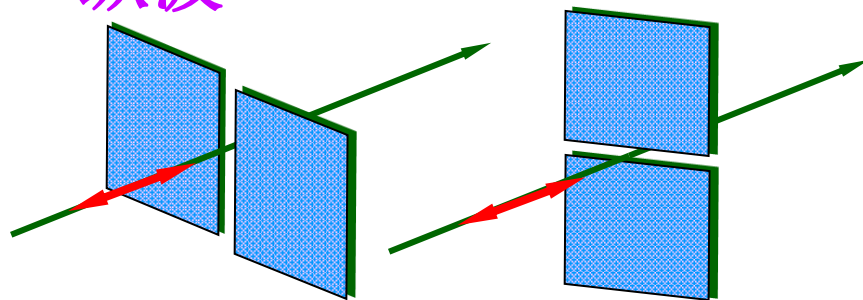


机械横波的检验



只有横波有偏振现象

纵波



而纵波无偏振问题

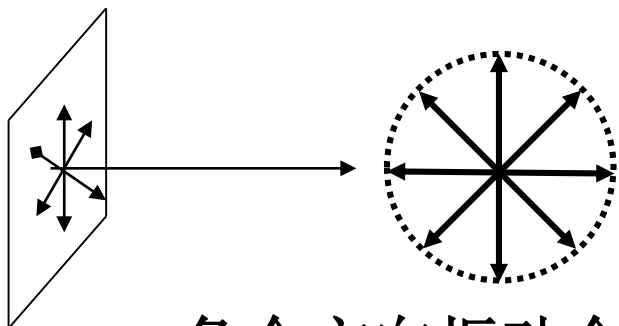
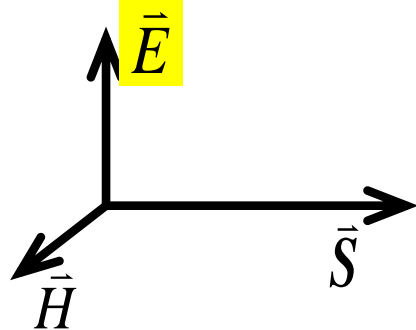
二、光的偏振状态

1. 自然光

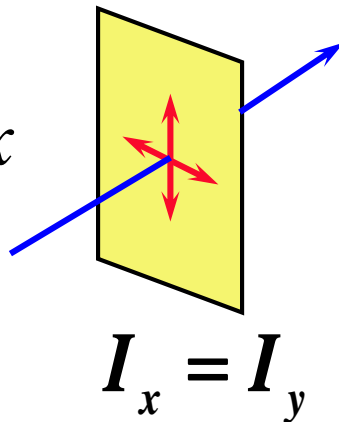
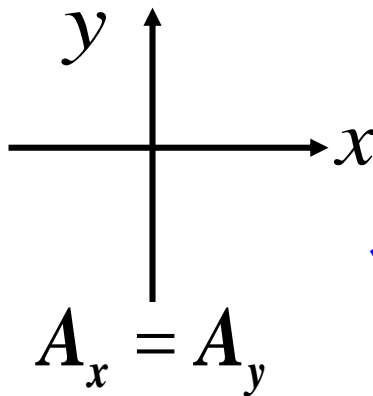
在垂直传播方向的平面内

各个方向的光矢量全有、各个方向振动的强度相等，各光矢量之间没有固定的相位关系，这种光称为自然光。

光波是横波，
具有偏振性



各个方向振动全有



$$\overline{E}_x = \overline{E}_y$$

$$I = I_x + I_y$$

$$I_x = I_y$$

➤ 可用两个振幅相等、振动方向相互垂直的分矢量。

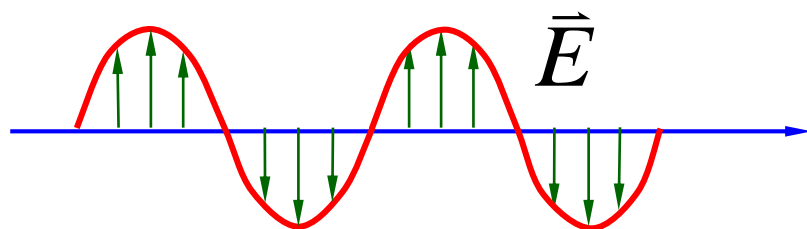


自然光图示：

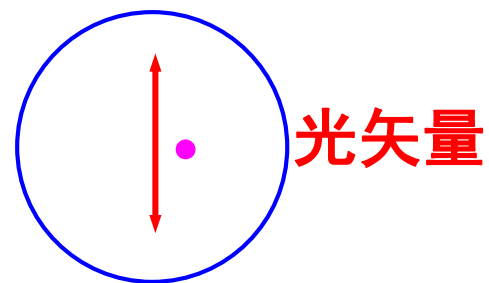
圆点与短线等距离地
交错、均匀地画出

2. 线偏振光 也叫面偏振光 完全偏振光 偏振光

光矢量只在某一固定方向上振动，有确定的振动面



振动面

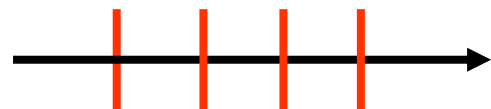


面对光的传播方向看

线偏振光图示:

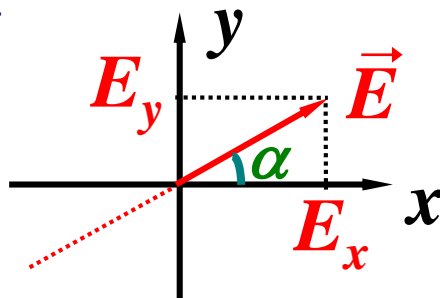


光振动垂直板面



光振动平行板面

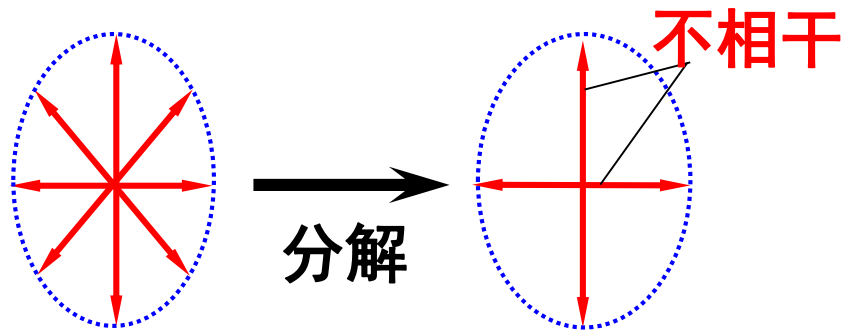
也可沿两个相互垂直的方向分解:



$$\begin{cases} E_x = E \cos \alpha \\ E_y = E \sin \alpha \end{cases}$$

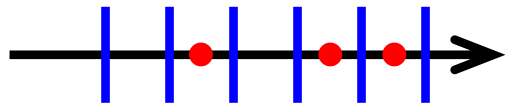
3. 部分偏振光

本质上同自然光----各个方向的光振动全有
但显示出某个方向的振动较强些。可看成
是自然光和线偏振光的混合

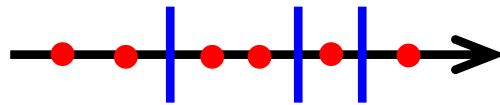


可分解为振向相互
垂直、不等幅、不
相干的两线偏振光

部分偏振光图示：



平行板面的光振动较强



垂直板面的光振动较强

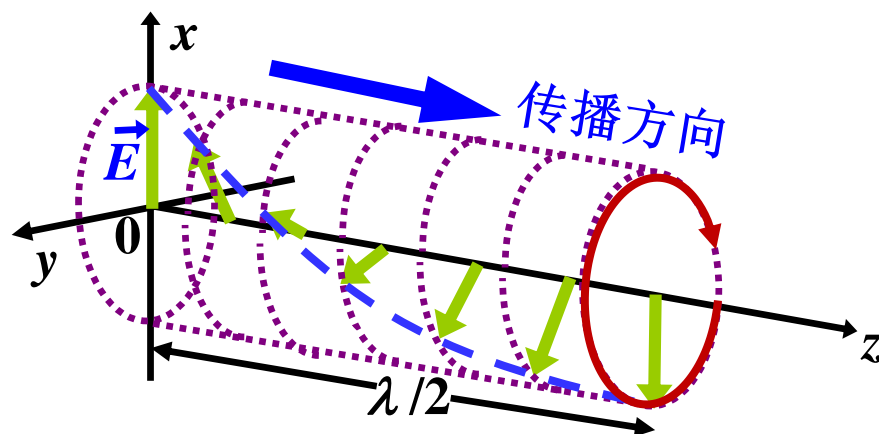
4. 椭圆偏振光和圆偏振光

\vec{E} 传播同时绕传播方向**旋转**，端点轨迹是**椭圆**或**圆**。

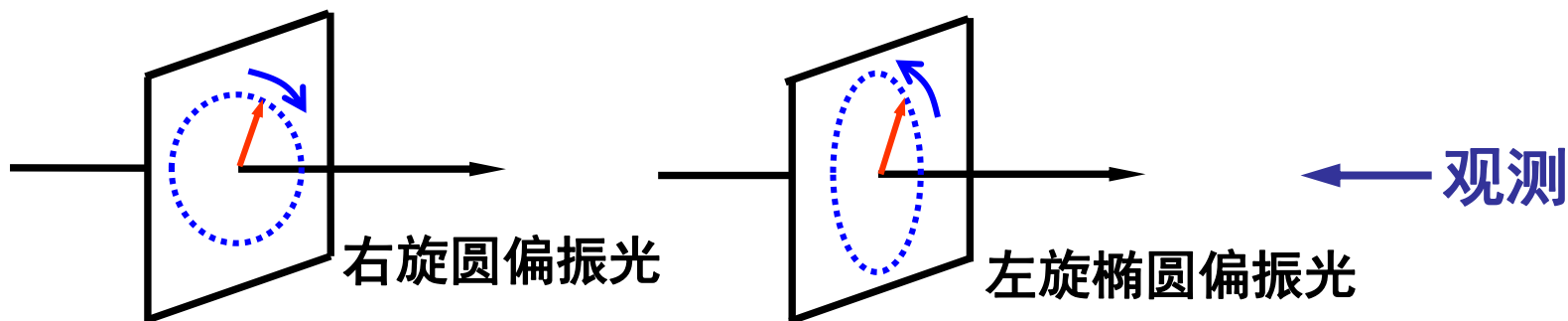
右旋偏振光：迎光观察，光矢量沿顺时针旋转；
左旋偏振光：光矢量沿逆时针旋转。

某时刻右旋圆偏振光
 \vec{E} 随 z 的变化

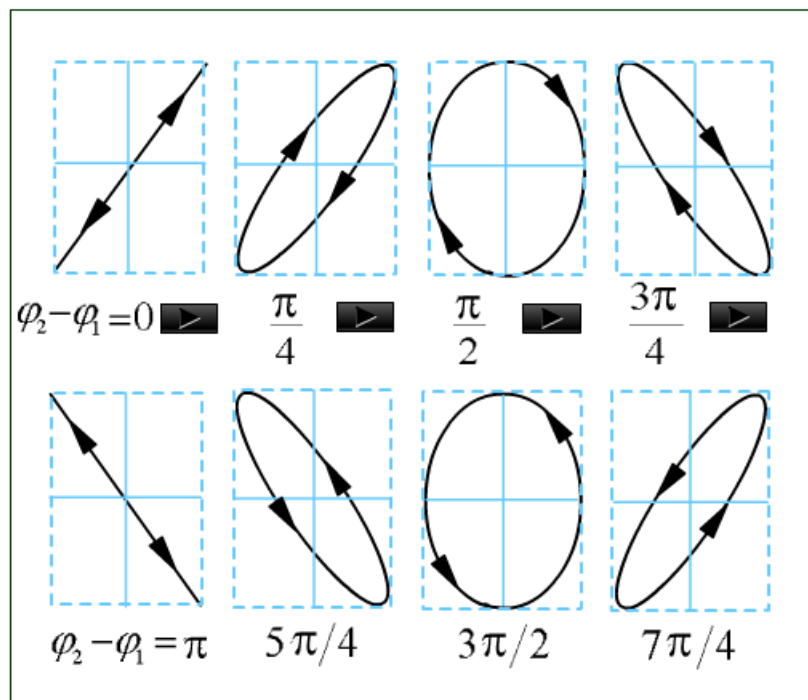
迎着光观察时，随着时间的推移，宛如整个螺线按**顺时针方向旋转**着向我们而来。



某 z 值处， \vec{E} 随 t 的变化顺时针旋转

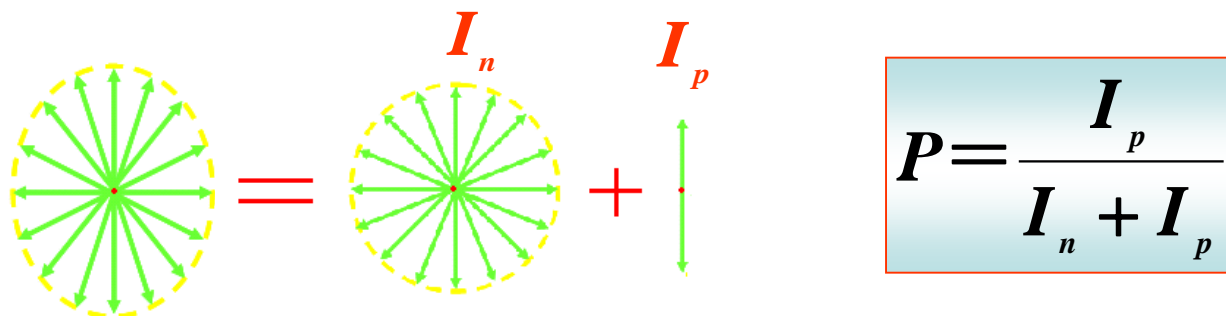


● **圆或椭圆偏振光**可看成是传播方向一致的两束频率相同、振动方向相互垂直、相位差为某个确定值的**线偏振光的合成**。



两个线偏振光 $\xrightleftharpoons[\text{分解}]{\text{合成}}$ **圆或椭圆偏振光**

二、偏振度 ——描述光的偏振程度



I_n ——部分偏振光中包含的自然光的强度

I_p ——部分偏振光中包含的完全偏振光的强度

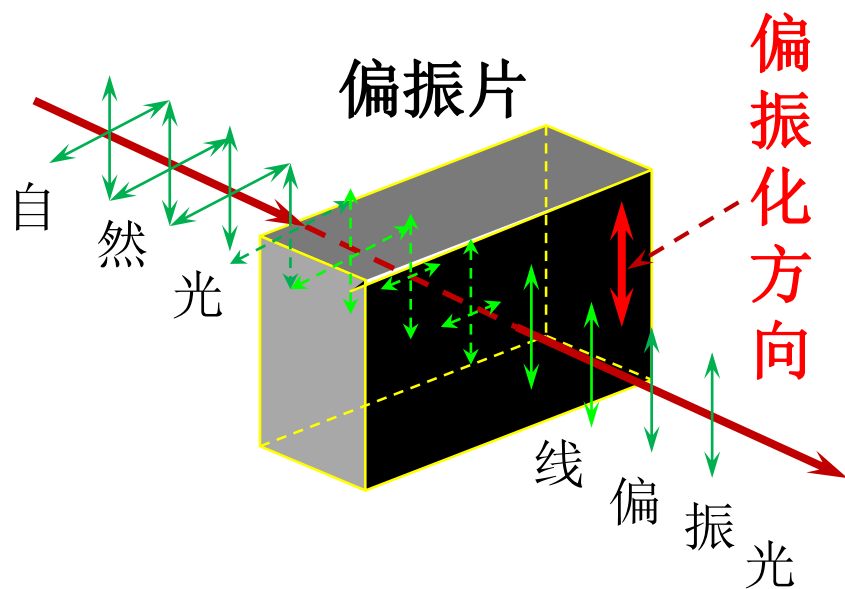
- 非偏振光（自然光）： $P=0$
- 完全偏振光（线、圆、椭圆）： $P=1$
- 部分偏振光： $0 < P < 1$

问题：1、如何从自然光获得偏振光？ 三种方法
2、怎么检测判断检测偏振光？

§ 2 线偏振光的获得与检验

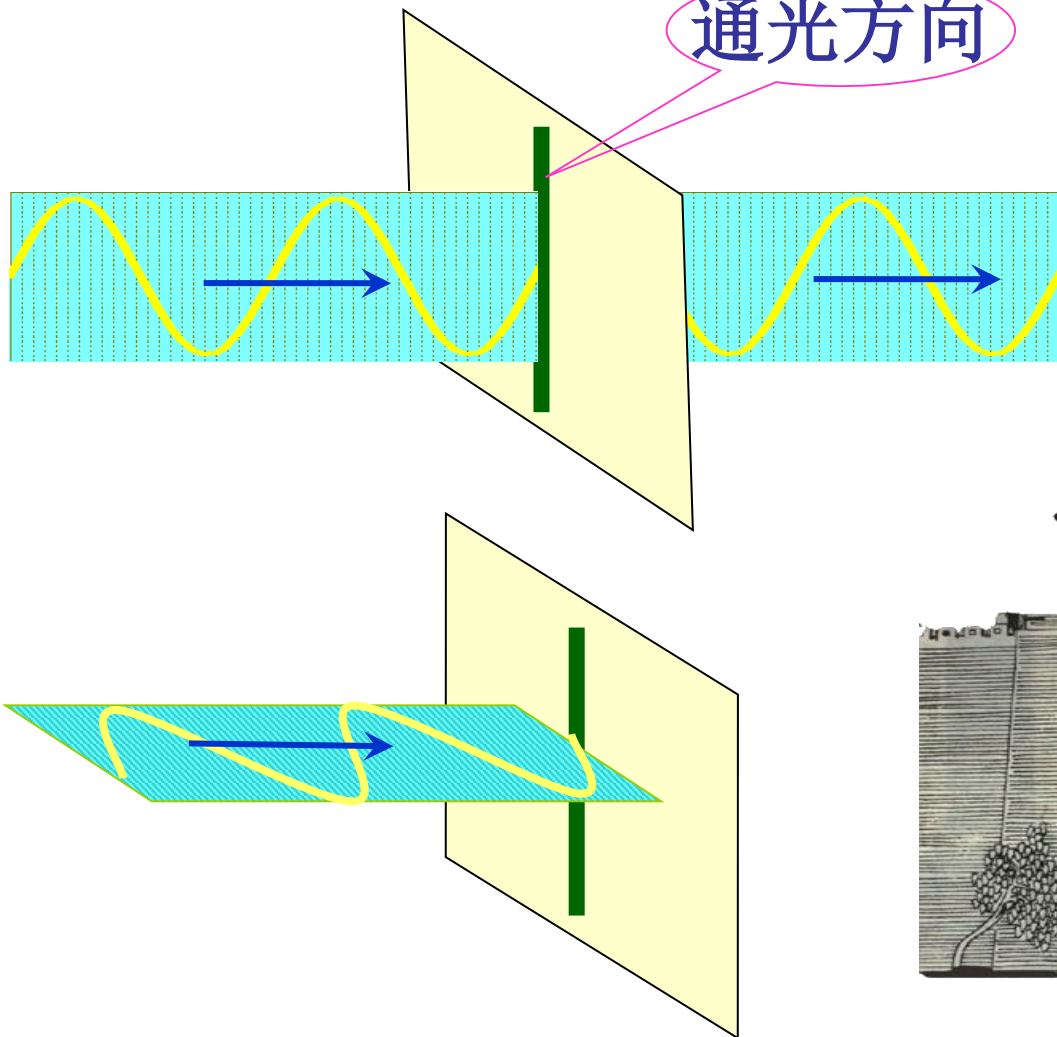
第一种从普通光源中获取线偏振光的方法

利用某些物质能吸收某一方向的光振动,而让与这个方向垂直的光振动通过的性质（二向色性）制成**偏振片**可以获取偏振光



允许通过光矢量的方向称为**偏振片的通光方向**或**偏振化方向**

通光方向

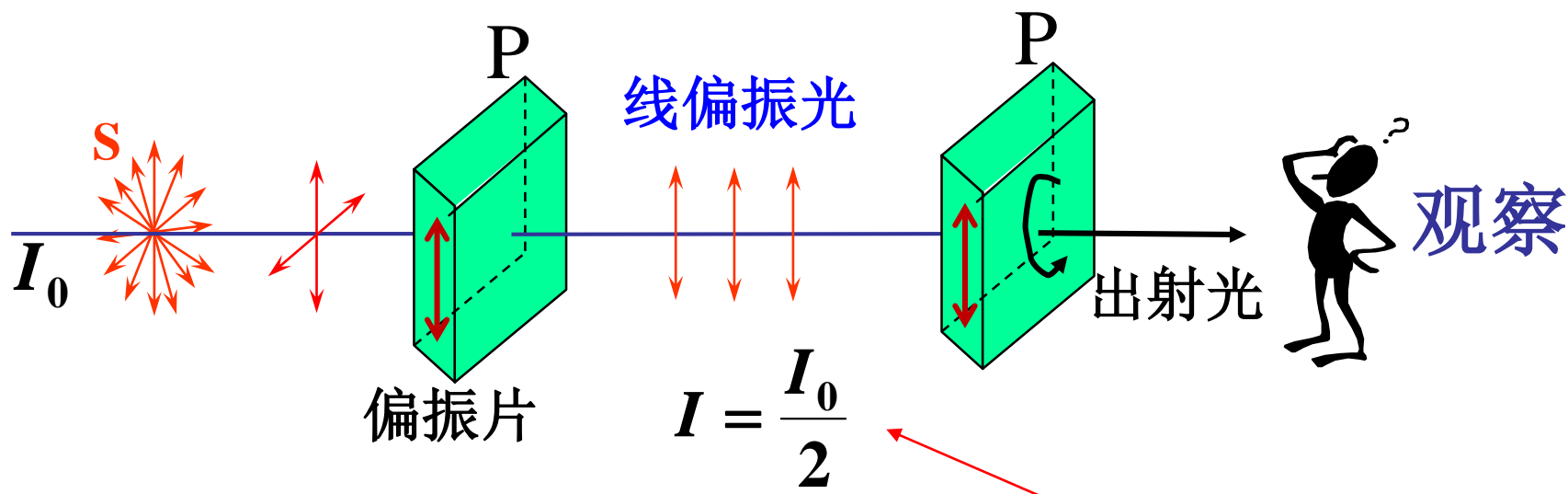


形象说明偏振片的原理



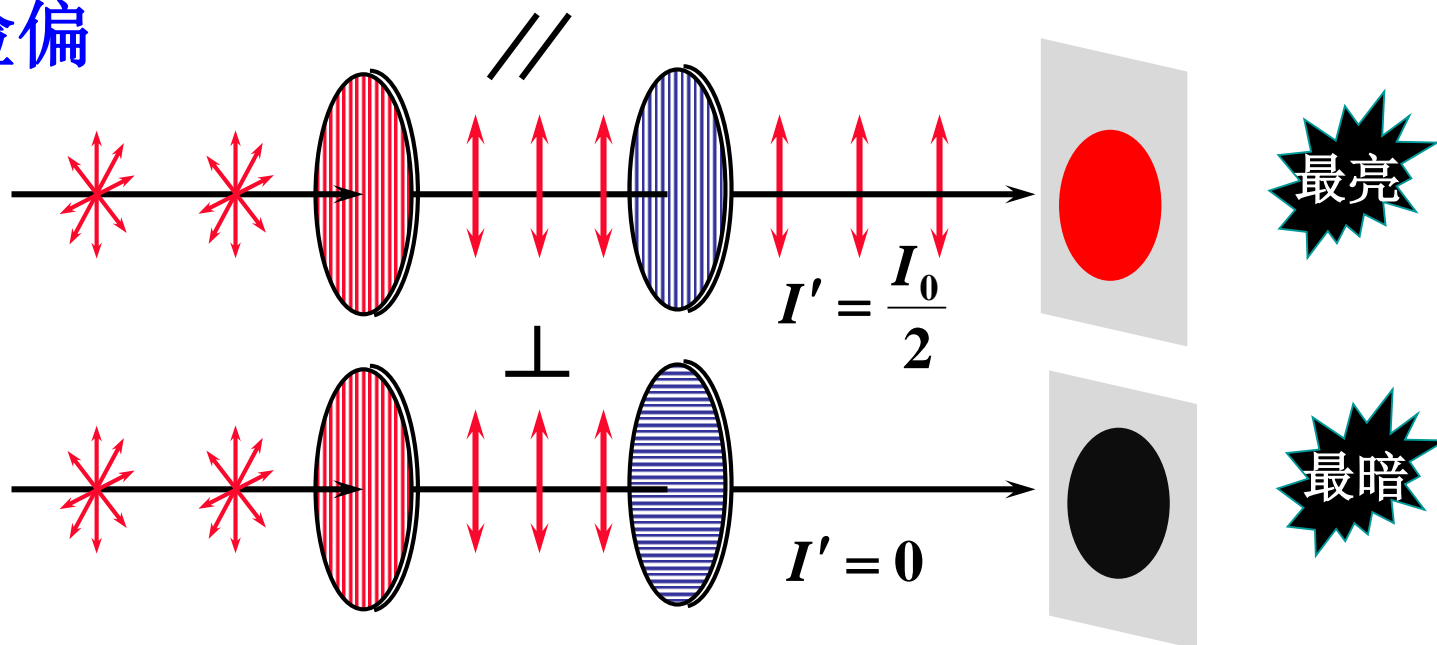
腰里横别扁担进不了城门

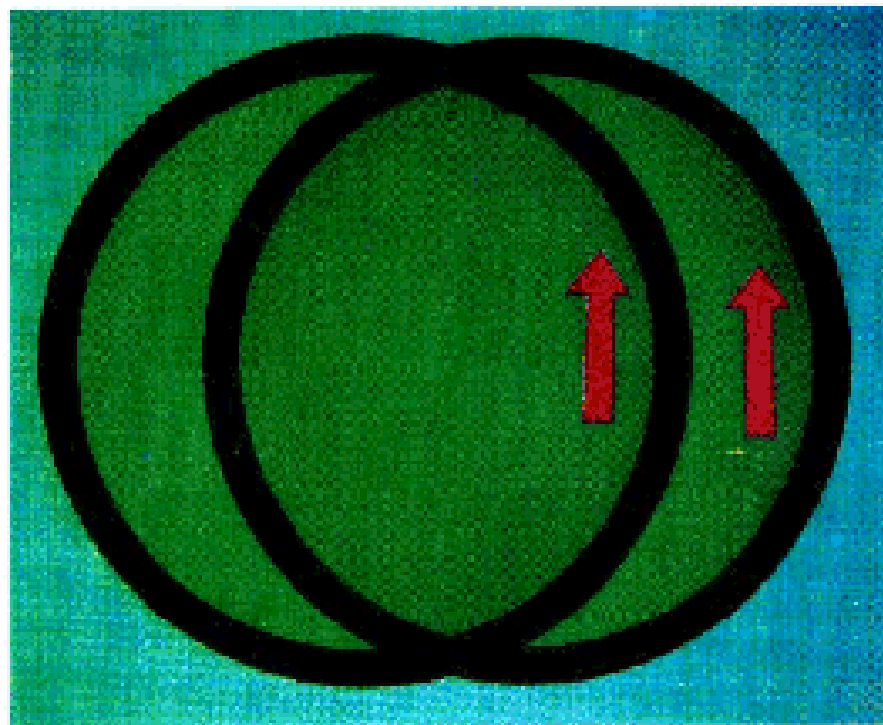
一、起偏



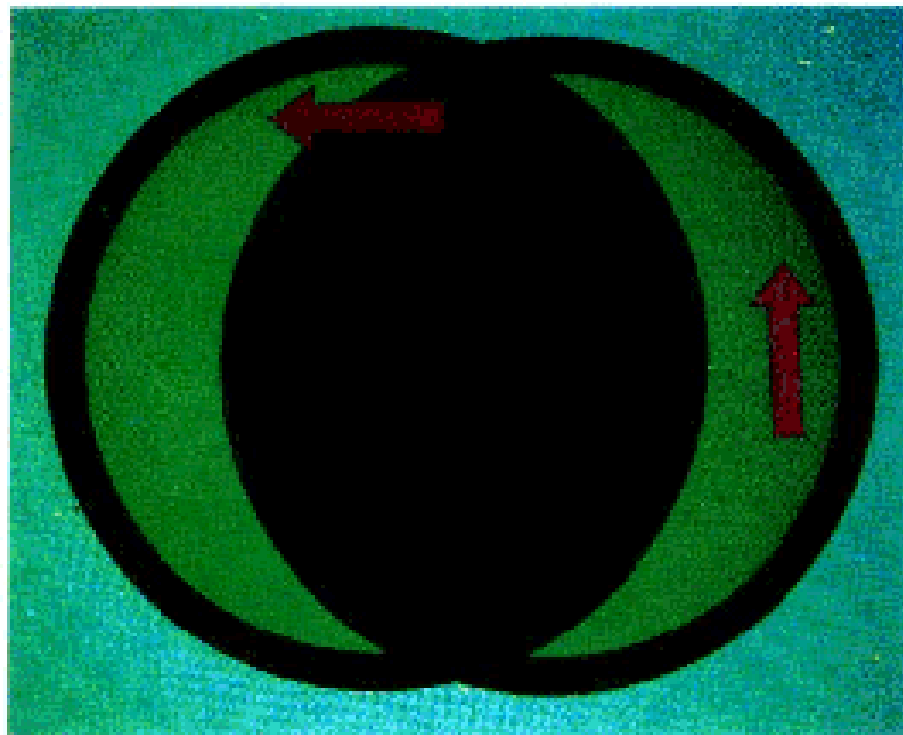
光强 I_0 的自然光通过偏振片后光强变为多少？

二、检偏

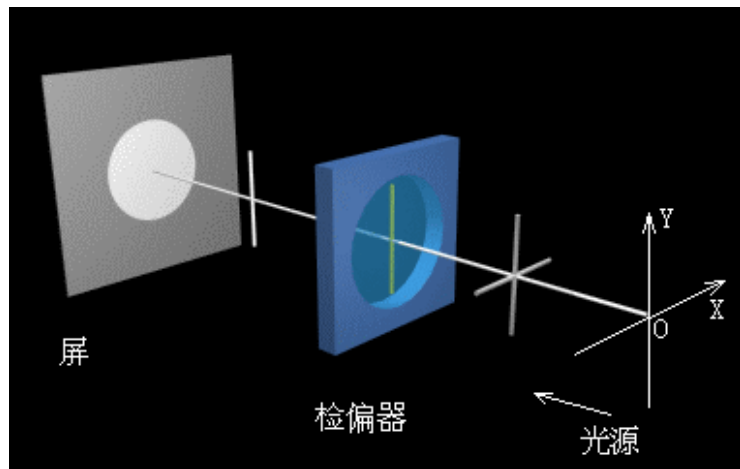
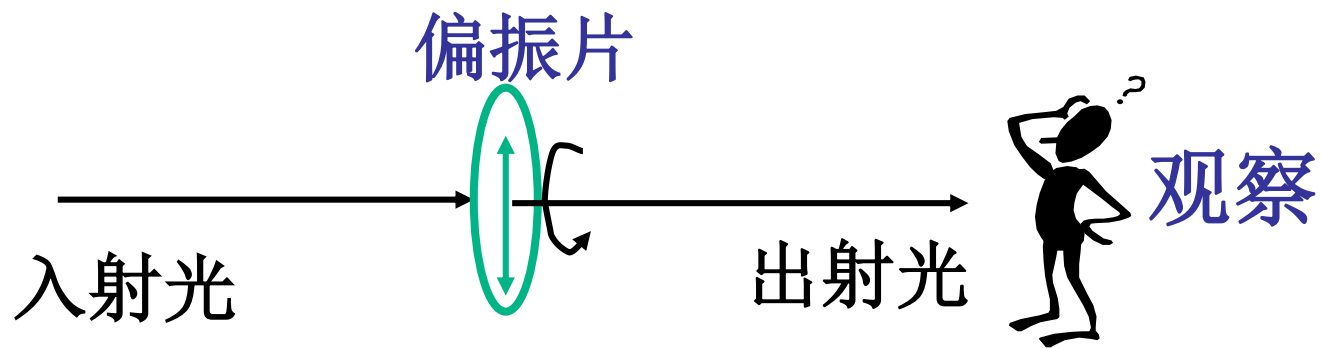




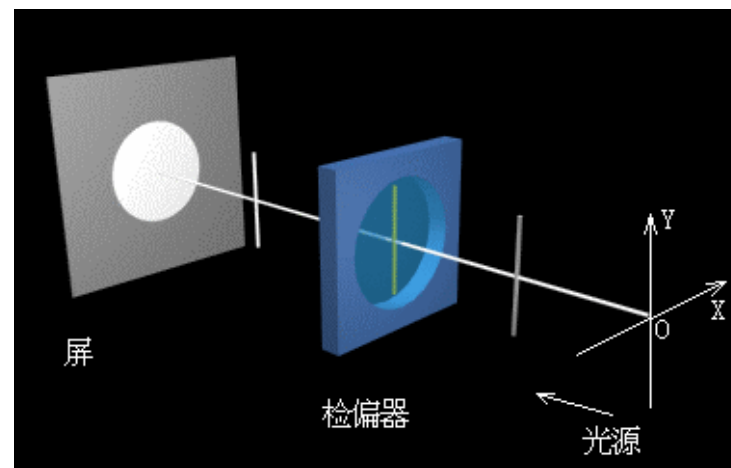
偏振化方向平行的偏振片叠在一起，重叠部分透光：



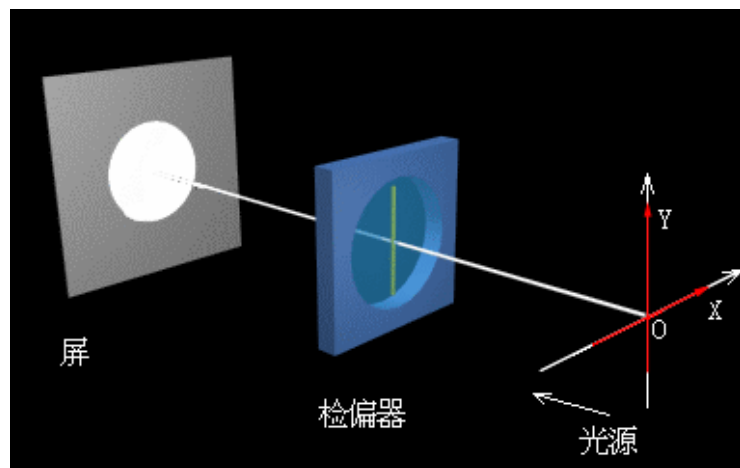
当偏振化方向互相垂直，重叠部分不透光。



I 不变 \rightarrow 自然光(或圆偏振光)



I 变, 有消光 \rightarrow 线偏振光



I 变, 无消光
 \rightarrow 部分偏振光(或椭圆偏振光)

偏振状态的 检验(初步)

入射光

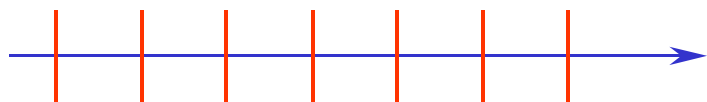
偏振片

出射光

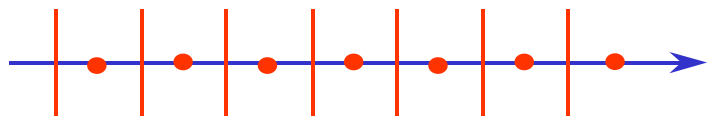
观察



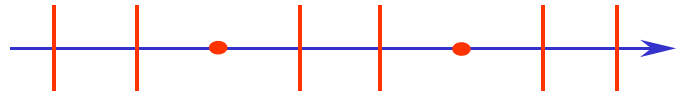
线偏振光



自然光 或圆偏振光



部分偏振光 或椭圆偏振光



出射光强变化

I_{\max} , $I_{\min} = 0$ 两次消光

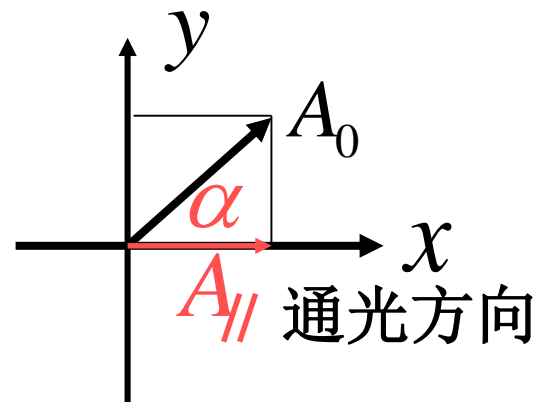
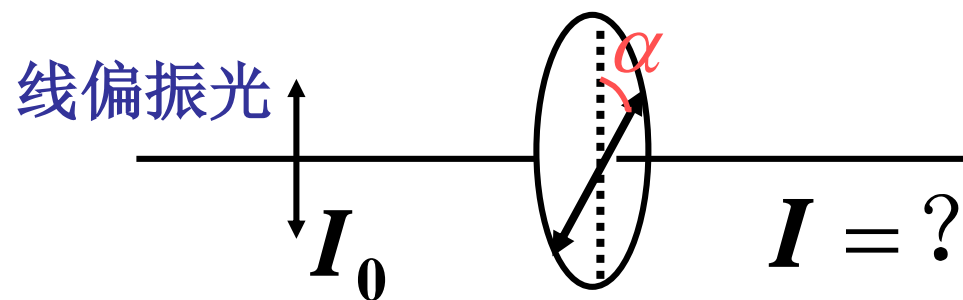
I 不变; 为 $\frac{I_0}{2}$ 无消光

I_{\max} , $I_{\min} \neq 0$ 无消光

问题：线偏振光通过起偏器后光强？

三、马吕斯定律

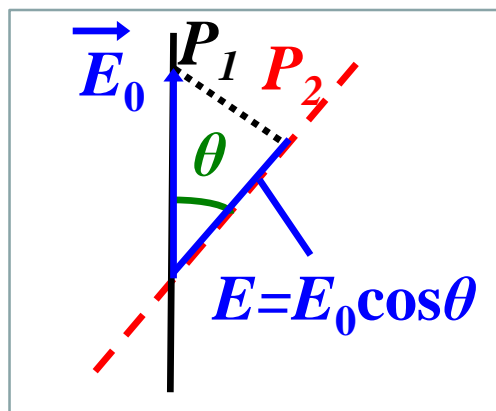
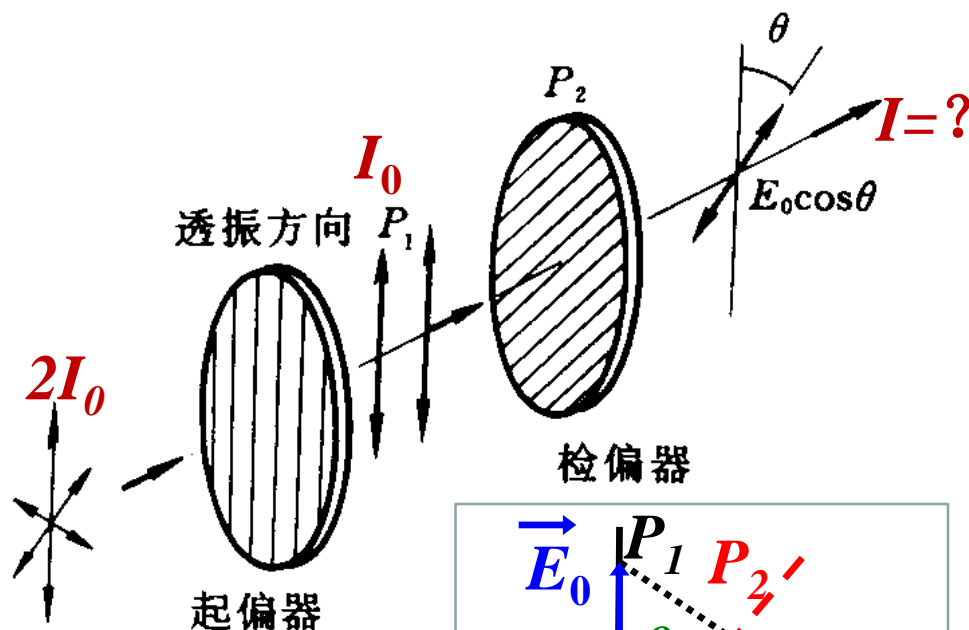
线偏振光通过偏振片后的光强



$$A_{//} = A_0 \cos \alpha$$

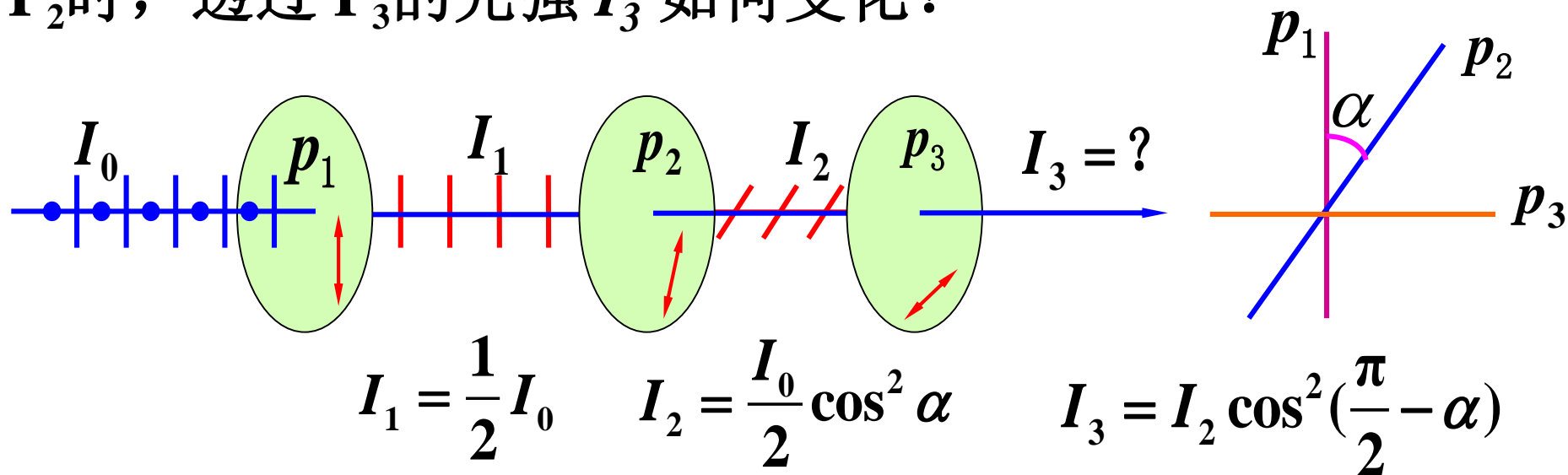
$$I = A_0^2 \cos^2 \alpha$$

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



$$I = E^2 = E_0^2 \cos^2 \theta = I_0 \cos^2 \theta$$

讨论：在两块正交偏振片 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 ，转动 P_2 时，透过 P_3 的光强 I_3 如何变化？



$$I_3 = I_2 \sin^2 \alpha = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha = \frac{1}{8} I_0 \sin^2 2\alpha$$

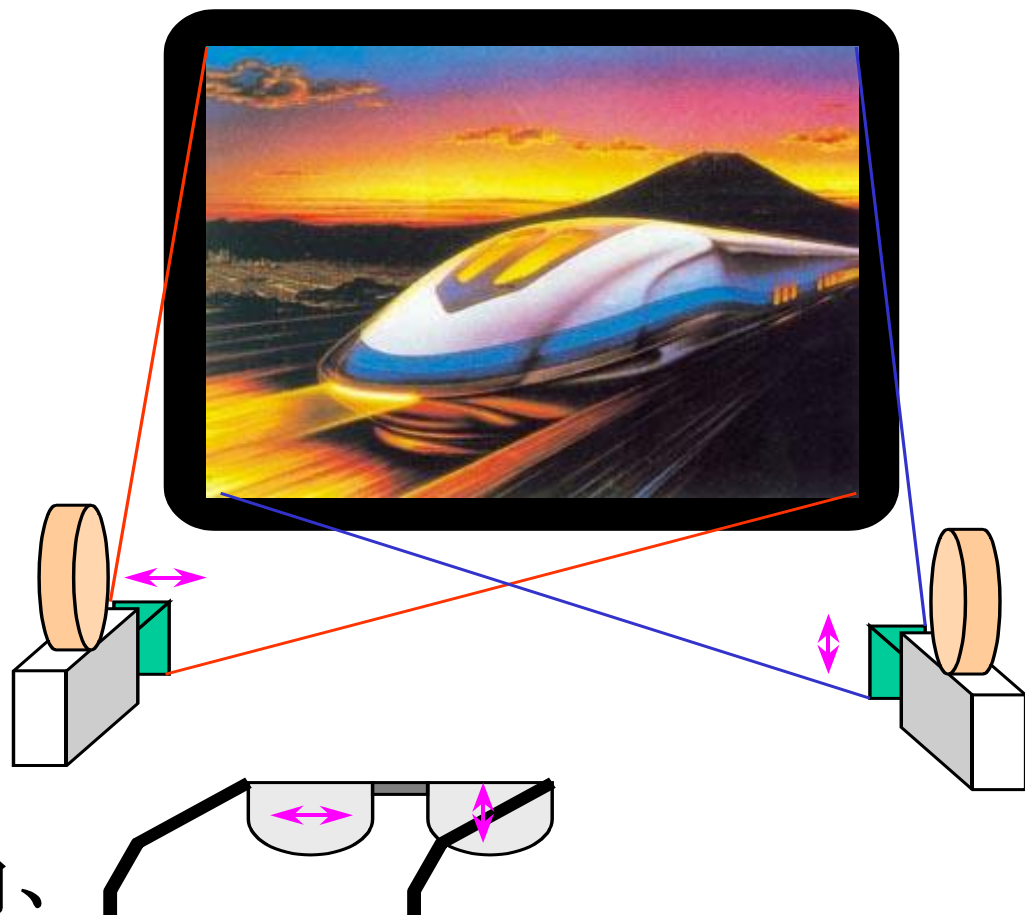
当 $\alpha = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}, \quad I_3 = 0$ $\alpha = \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4}, \quad I_3 = \frac{I_0}{8}$

偏振片的应用:

◎作为光学仪器中的起偏和检偏装置。

◎制成偏光眼镜，可观看立体电影。

◎汽车前窗玻璃和车灯前都装上与地面成 45° 角、同向倾斜的偏振片，可避免会车时灯光晃眼。



◎橱窗设计



(A)

玻璃门表面的
反光很强



(B)

用偏光镜减弱
了反射偏振光



(C)

用偏光镜消除了
反射偏振光 使
玻璃门内的人物
清晰可见

◎摄影中的应用（在摄影、照相机镜头前加偏振片作为照相机的滤光镜，消除了**反射光**的干扰）



没加偏振滤镜



加偏振滤镜(45°)



加偏振滤镜后，使相机与玻璃面法线的夹角大约在55°

§ 3 反射光、折射光的偏振 布儒斯特定律

一、反射光和折射光的偏振状态

1. 一般入射角的情况

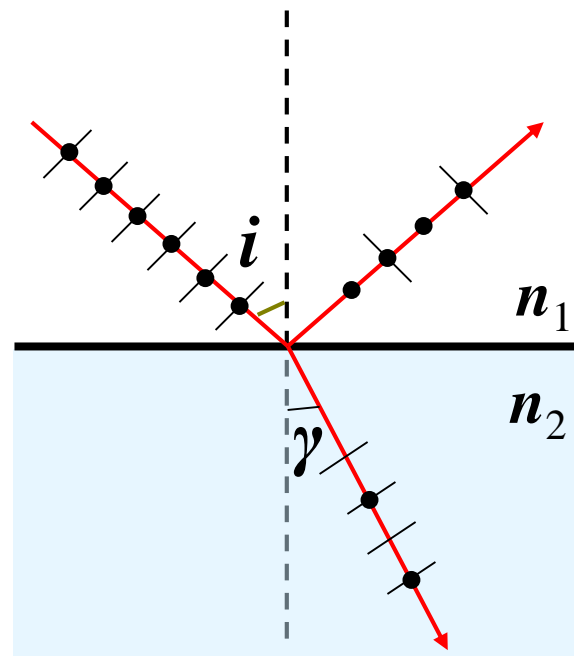
反射光 折射光都是部分偏振光

反射光中垂直入射面振动占
折射光中平行入射面振动占优

2. 特殊入射角的情况

入射角满足 $i_0 = \tan^{-1} \frac{n_2}{n_1}$

自然光射在两种各向同性介质分界面



2. 特殊入射角的情况

入射角满足 $i_0 = \tan^{-1} \frac{n_2}{n_1}$ (起偏角或布儒斯特角)

1) 两光偏振状态

反射光----完全偏振光,
且光振动垂直于入射面。

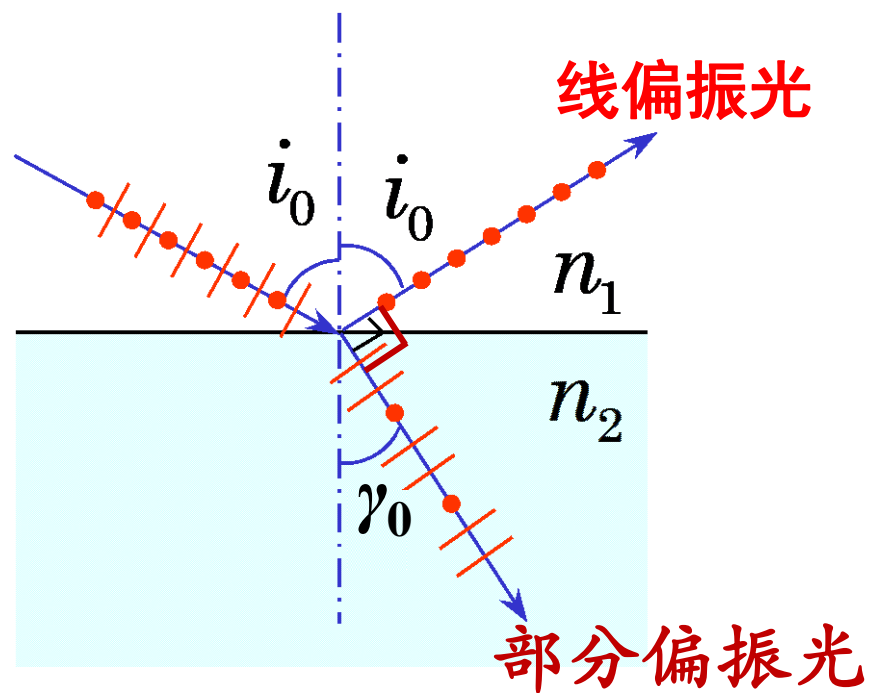
折射光---- 部分偏振光,
入射面内的光振动强

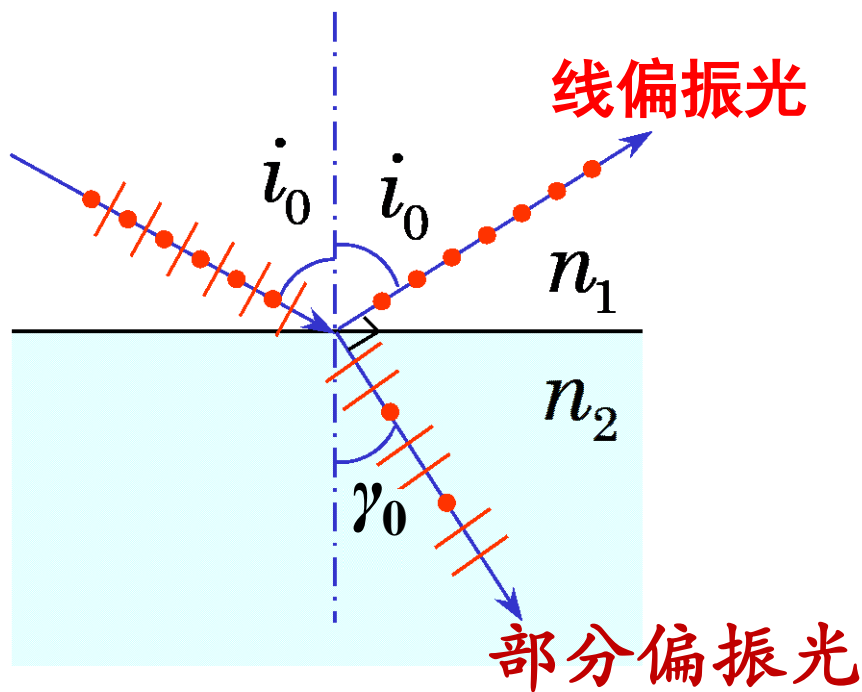
2) 反射光线垂直于折射光线

$$i_0 + \gamma_0 = 90^\circ \quad n_1 \sin i_0 = n_2 \cos i_0 = n_2 \sin \gamma_0$$

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

这就是布儒斯特定律 (1812年)





当入射角为 i_0 时, 反射光是光振动垂直于入射面的**完全偏振光**, 但**光强很弱**, 只有垂直振动能量的**15%被反射**; **85%的垂直振动能量及全部平行振动能量都被折射**。

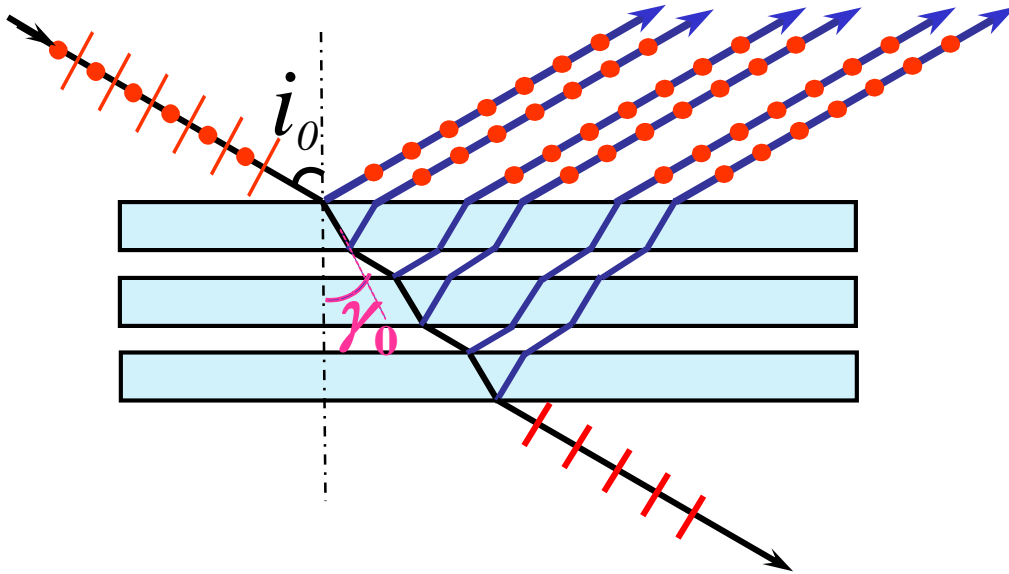
问题: 反射光能量较弱, 透射光较强。

1. 如何利用反射获得高强度的偏振光?
2. 如何提高折射光的偏振化程度?

——**玻片堆**进行光的多次折射和反射

二、 玻璃片堆 ----可获得两束相互垂直的线偏振光

反射光都是光振动垂直于入射面的完全偏振光



折射光:

$n=10$, 垂直分量 $\approx 3.9\%$,
平行分量 $\approx 96\%$;

$n=15$, 垂直分量 $\approx 0.76\%$,
平行分量 $\approx 99\%$

近似线偏振光

玻片堆: 增大反射光的强度和折射光的偏振化程度

讨论： $n_1=1.00$ (空气), $n_2=1.50$ (玻璃)

空气→玻璃：布儒斯特角

$$i_{01} = \tan^{-1} \frac{1.50}{1.00} = 56^\circ 18'$$

玻璃→空气：布儒斯特角

$$i_{02} = \tan^{-1} \frac{1.00}{1.50} = 33^\circ 42'$$

互余

利用布儒斯特角的特性，可以提高摄像摄影的影像质量



没加偏振滤镜

加偏振滤镜(45°)

加偏振滤镜后，使相机与玻璃面法线的夹角约55°

例:一束自然光以布儒斯特角入射到平玻璃板上,就偏振状态来说,则反射光为线偏振光,反射光 \vec{E} 矢量的振动方向垂直于入射面,折射光为部分偏振光,反射光线与折射光线之间的夹角为 90° 。

