

第14章 光的偏振

目录

—CONTENTS—

1

自然光和偏振光

2

起偏和检偏马吕斯定律

3

反射与折射时光的偏振

4

散射光的偏振

5

光的双折射

6

偏振光的干涉人为双折射现象

7

旋光现象



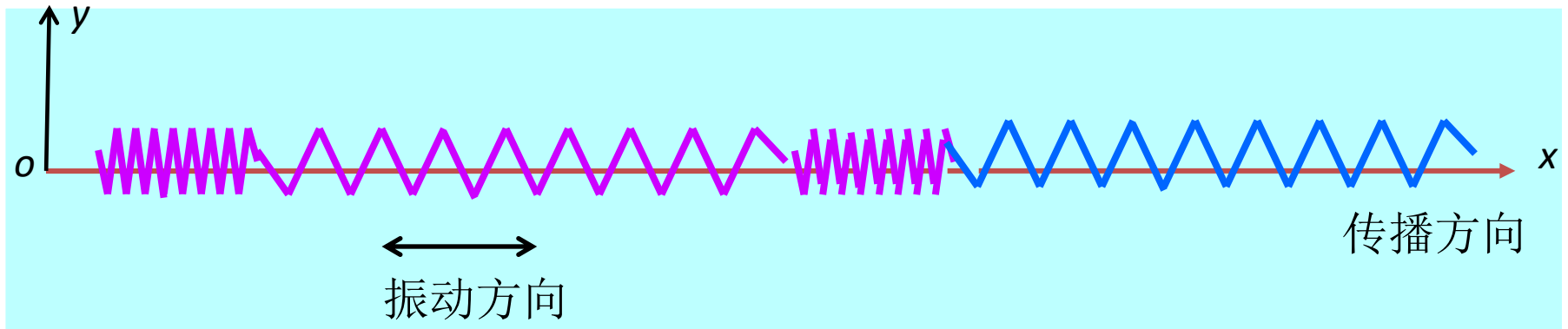
14.1

自然光和偏振光

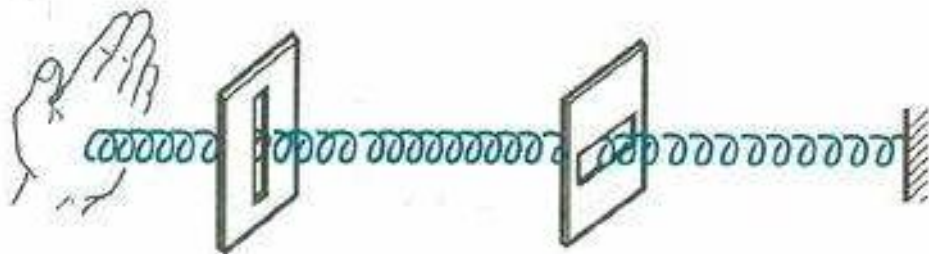
14.1.1 横波的偏振性

- 光的干涉和衍射现象不能分辨光波是横波还是纵波，因为这两种波都能产生干涉现象。
- 光的偏振现象则清楚地显示了光的横波性。
- 光的偏振也是肯定光是电磁波的根据之一。

纵波的振动方向与传播方向相同，沿纵波的传播方向作任意平面（如 xoy 面），波的振动方向都处于该平面内，即波的运动情况相同，具有对称性，即纵波的振动相对于传播方向是轴对称的。

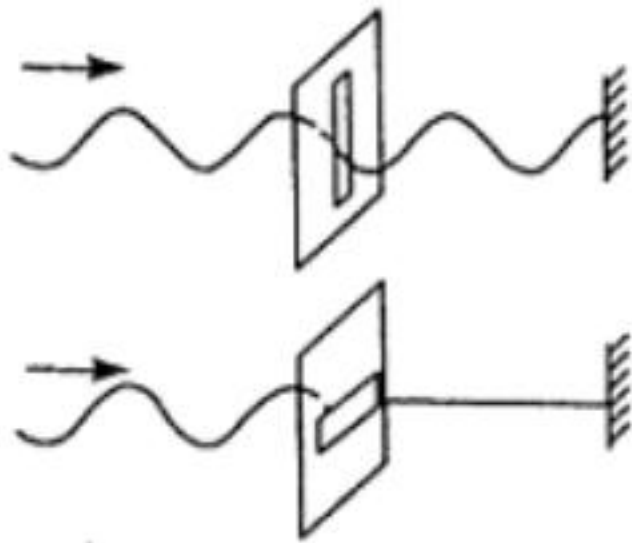


14.1.1 横波的偏振性



纵波不存在偏振

光波是横波，其电场强度矢量——光矢量的振动方向与传播方向垂直，在垂直于传播方向的平面内（如 yoz 面），包含一切可能方向的光矢量振动，即光矢量的横向振动状态一般情况下相对于传播方向不具有轴对称性。



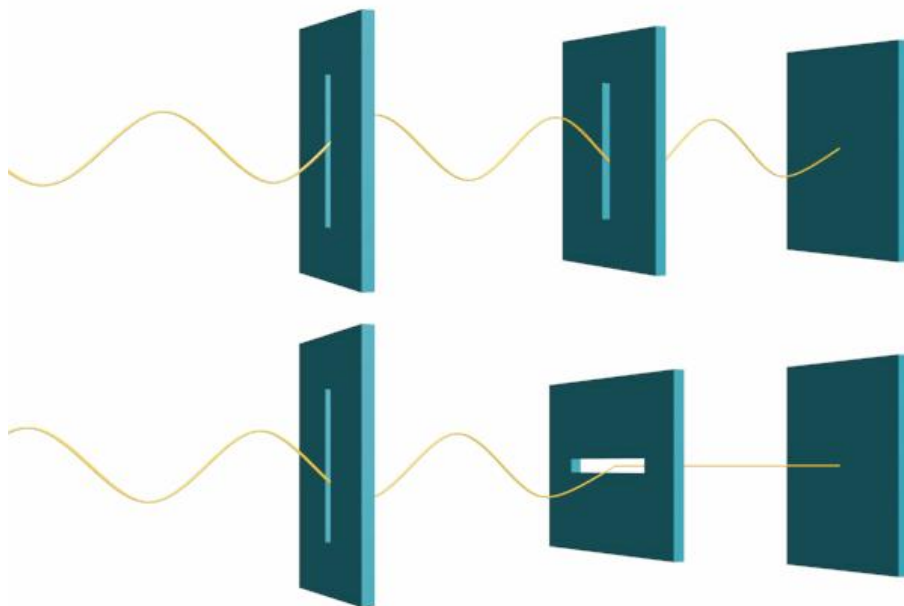
横波具有偏振

14.1.1 横波的偏振性

振动面：通过波的传播方向且包含振动矢量的平面。

偏振：波的振动方向相对传播方向的不对称性。

横波具有偏振性，而纵波振动方向与传播方向一致，不具备偏振性。
光是横波，振动方向与传播方向垂直，应该具有偏振性。



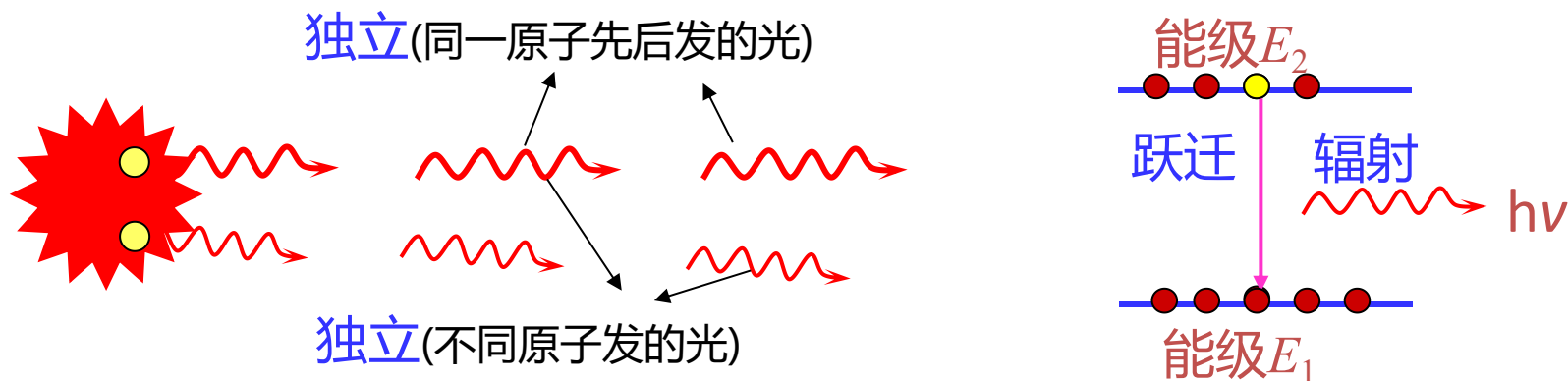
横波的偏振性

偏振态：光矢量可能具有的各种不同的振动状态。

14.1.2 自然光

自然光：天然光源和普通人造光源发出的光，光振动的振幅在垂直于光波的传播方向上，同时具有**时间分布均匀性**和**空间分布均匀性**。（或者说，具有**各个方向**的光振动，且又**无固定的相位关系**的光叫自然光）。

1.自然光是非偏振光：光波虽然是横波，但普通光源发出的光是自然光，不是偏振光。其根源在于原子发光具有**间歇性和独立性**。

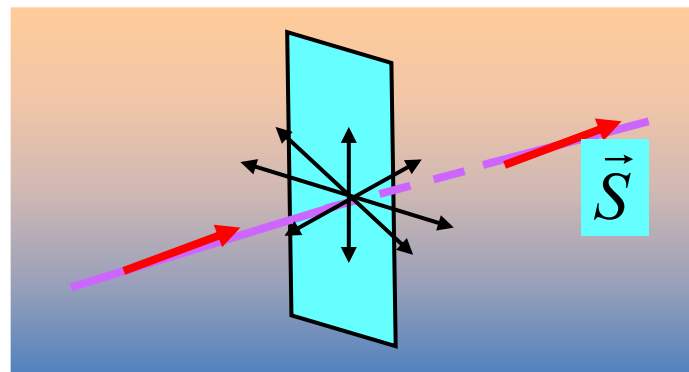
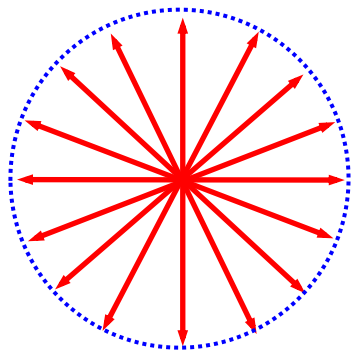


光波列相位、振动方向等具有随机性，彼此互不相干

14.1.2 自然光

一串光波列是横波，但从宏观上看，普通光源发出的光中包含了所有方向的光振动，振动面可以分布在一切可能的方位，任何方向光矢量对时间的平均值是相等的，即普通光源发出的光的光矢量在垂直于传播方向的平面内以极快的速度取 $0 \sim 360^\circ$ 内的一切可能的方向，且没有哪一个方向占有优势。

所以自然光的光振动对光的传播方向是轴对称而又均匀分布的。



自然光的偏振性被发光的随机性所破坏或掩盖。

14.1.2 自然光

2、自然光的分解

一个简谐振动总可以分解为两个相互垂直的振动。

例如，一个振幅为 A 的振动可分解为

$$A_{ix} = A_i \cos \theta \quad A_{iy} = A_i \sin \theta$$

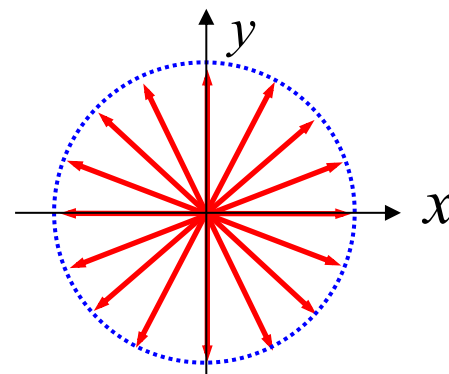
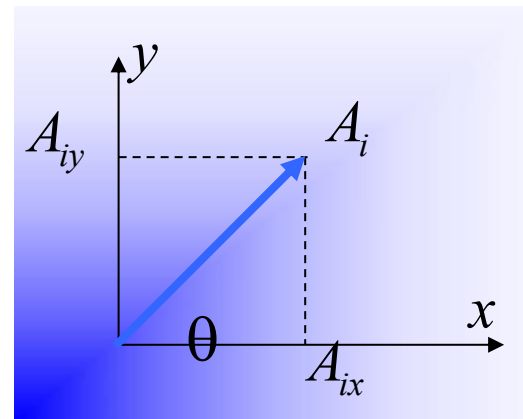
且一般 $A_{ix} \neq A_{iy}$

自然光在各个方向上都有振动，其中每个振

动都可以这样分解，即 $A_x = \sum A_{ix}$ $A_y = \sum A_{iy}$

由对称性知，有

$$A_x = A_y$$



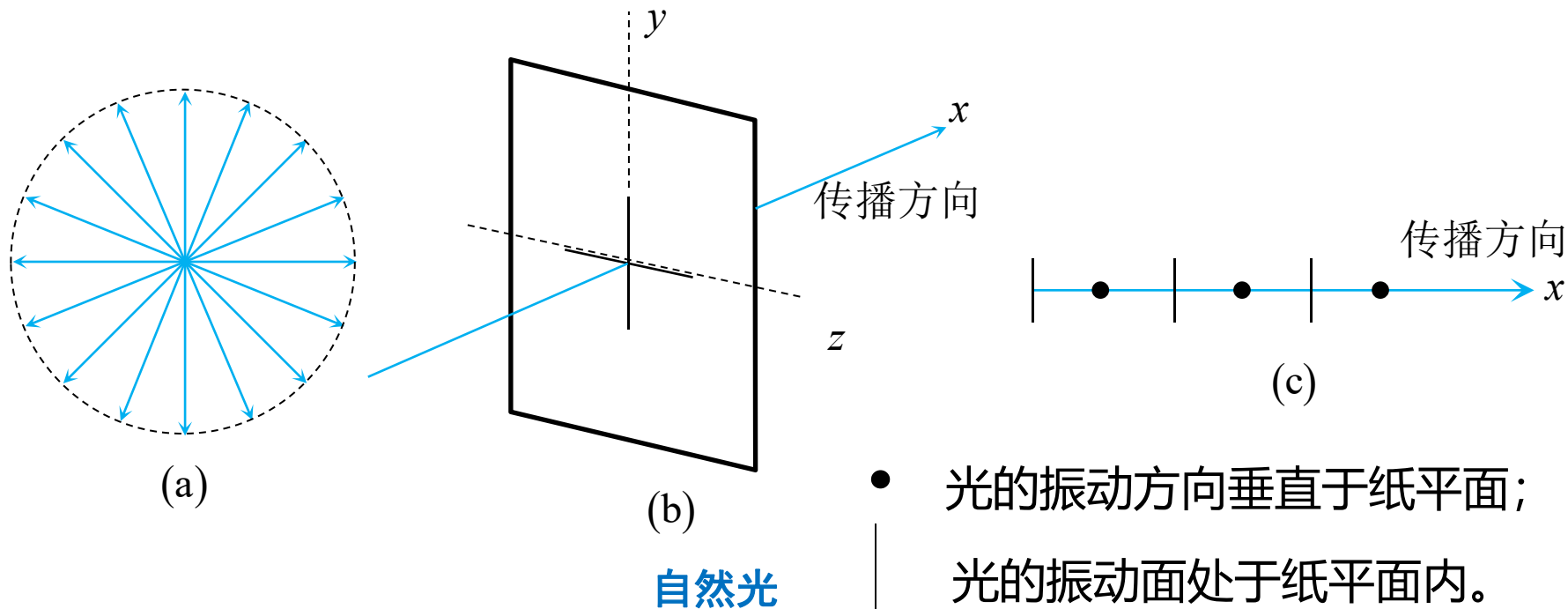
即自然光可分解为两个相互垂直的、振幅相等的、独立的光振动，且没有一个方向的振动优于其它方向。这个结果与坐标系无关。每一独立光振动

的光强都等于自然光光强的一半 $I = I_x + I_y$ $A_x = A_y$ $I_x = I_y = \frac{I}{2}$

14.1.2 自然光

3、自然光的表示

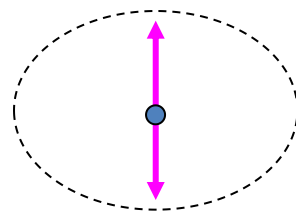
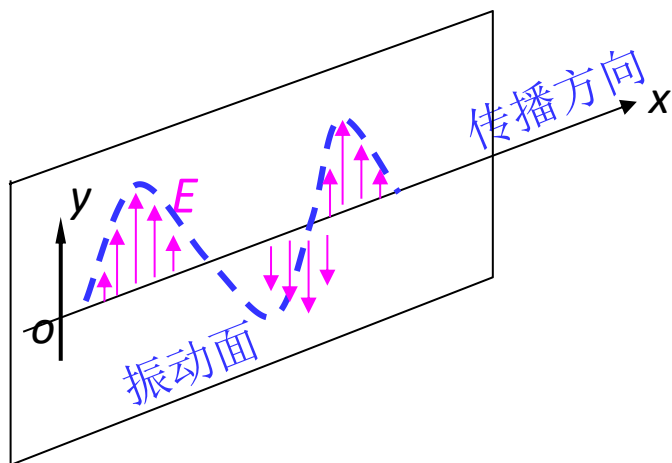
由于自然光的波振幅在垂直于传播方向的平面内，在各个方向上的分布平均相等，因此将波振幅在该平面内向任意的两个正交方向进行分解，都可以得到两个振动方向互相垂直且振幅相等的振动，故此自然光常用下图表示：



14.1.3 线偏振光

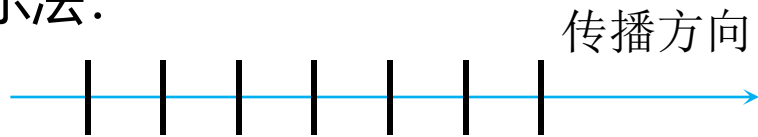
线偏振光：光矢量的方向始终不变，只沿一个固定方向振动时的光叫线偏振光，是完全偏振光。

光矢量的方向始终在一个平面中，因此又称**平面偏振光**

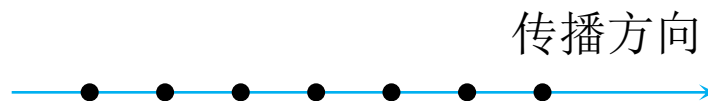


面对光的传播方向看

表示法：



光振动方向在纸面内的线偏振光

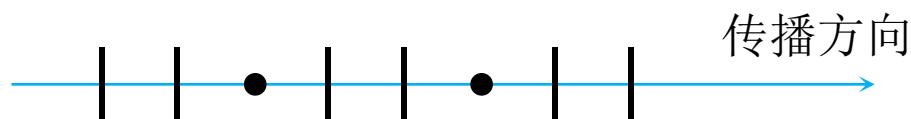


光振动方向垂直纸面的线偏振光

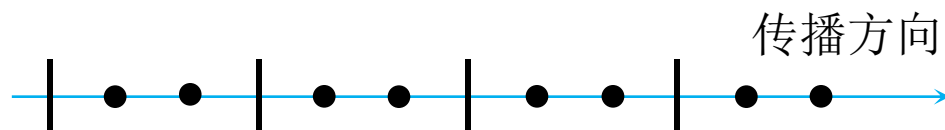
14.1.4 部分偏振光

部分偏振光：沿某一方向的光振动优于其他方向的光。

部分偏振光的表示法：



平行方向优于垂直方向的部分偏振光

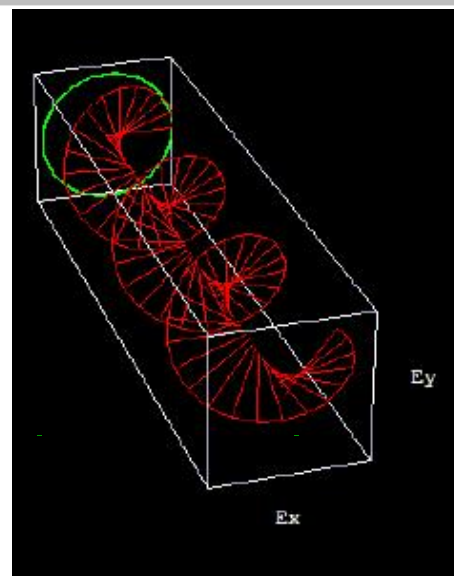


垂直方向优于平行方向的部分偏振光

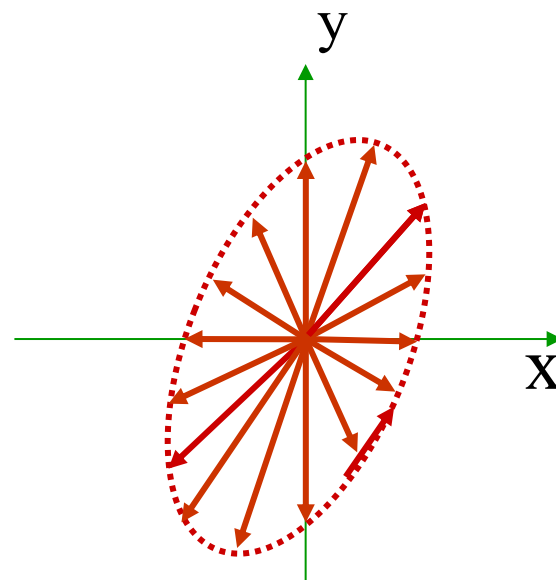
部分偏振光可分解为两束振动方向相互垂直的、不等幅的、不相干的线偏振光。

部分偏振光可通过线偏光 and 自然光的合成得到。

圆偏振光：在垂直于光传播方向的固定平面内，光矢量的大小不变，但随时间以角速度 ω 旋转，其末端的轨迹是圆。这种光叫做圆偏振光。某一固定时刻 t_0 ，在传播方向上各点对应的光矢量的端点轨迹是螺旋线。随着时间推移，螺旋线以相速前移。

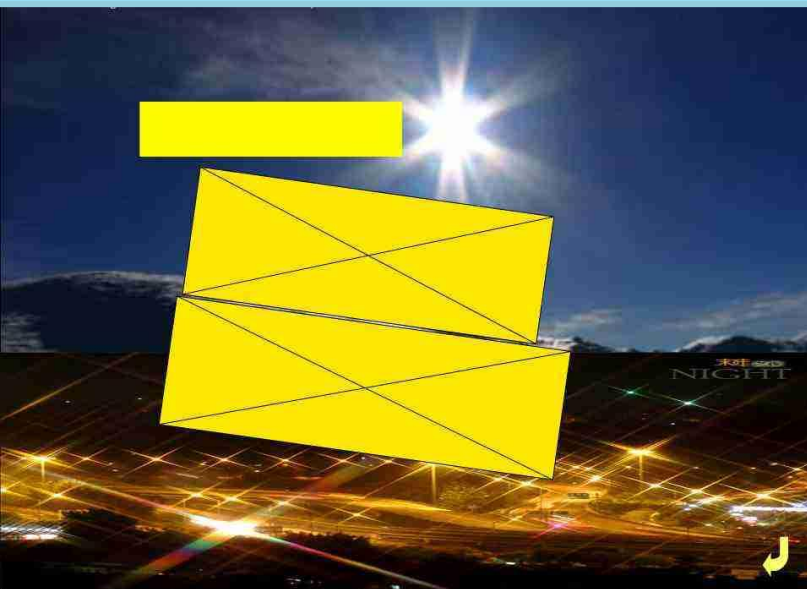


椭圆偏振光：在垂直于光传播方向的固定平面内，光矢量的方向和大小都在随时间改变，光矢量的端点描出一个椭圆，这样的偏振光叫做椭圆偏振光。



14.2

起偏和检偏 马吕斯定律



14.2 起偏和检偏 马吕斯定律

自然光是非偏振光，那么如何获得偏振光

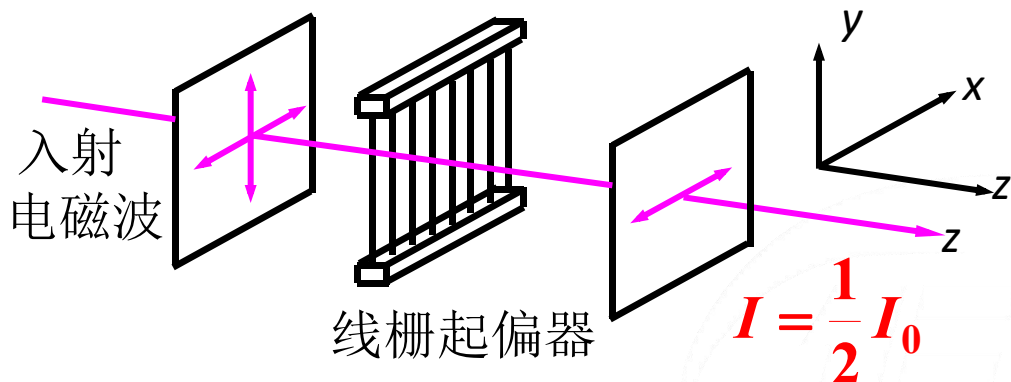
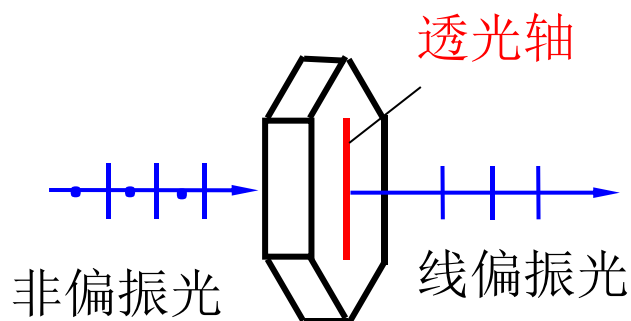


起偏： 把自然光变成偏振光。

起偏器： 从自然光中获得偏振光的装置。如偏振片

偏振片： 在透明的基片上蒸镀一层某种物质（如硫酸金鸡纳碱），利用**偏振片**从自然光获取偏振光是最简便的方法。

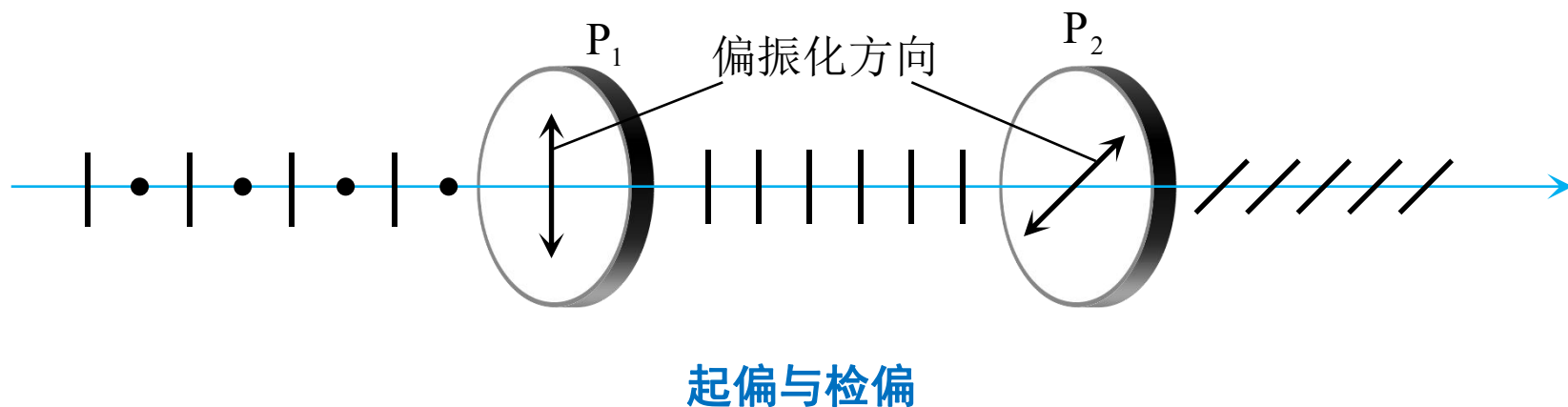
起偏的原理： 对某一方向的光振动有强烈的吸收，对与之垂直的光振动几乎不吸收。



14.2.1 偏振片的起偏和检偏

晶体（如硫酸金鸡钠碱）的**二向色性**：对互相垂直的两个分振动光矢量具有选择性吸收。

偏振片基本上只允许某一特定方向的光振动通过，这一方向称为偏振片的**偏振化方向**，也叫**透光轴**。



偏振片也可用来检验某一光束是否为线偏振光，称为**检偏**。用做检验光的偏振状态的装置称为**检偏器**。

14.2.1 偏振片的起偏和检偏

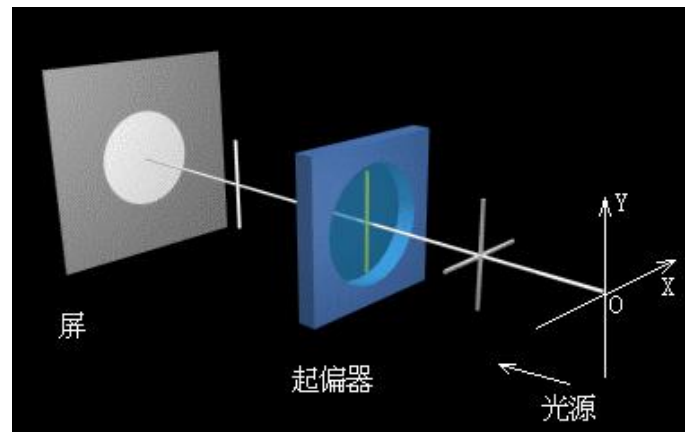
起偏器

自然光通过偏振片后成为线偏振光，线偏振光的振动方向与偏振片的偏振化方向一致。

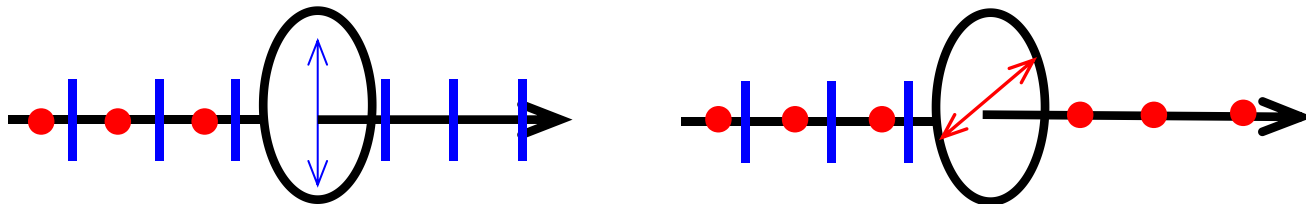
检偏器

用来检验某一束光是否为偏振光。

方法：转动偏振片，观察透射光强度的变化。

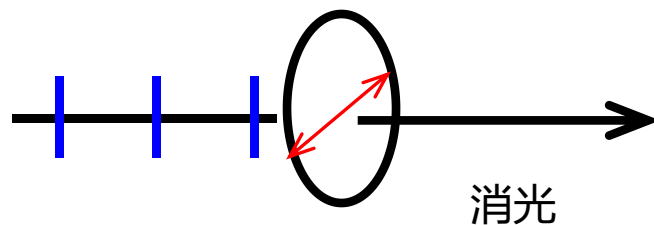
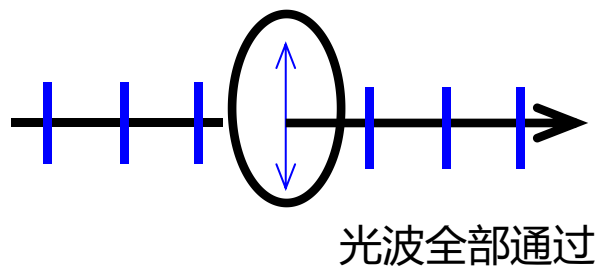


① **自然光**通过起偏器后成为偏振光，这时旋转偏振片就可得到不同方向的偏振光，透射光强度不发生变化，都为原光强的一半。

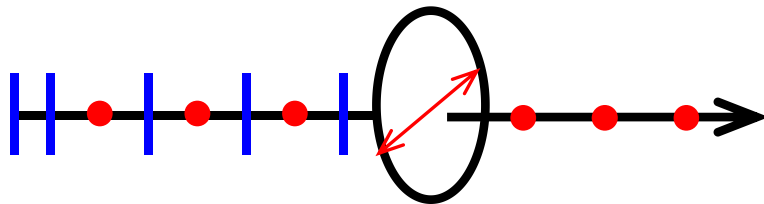
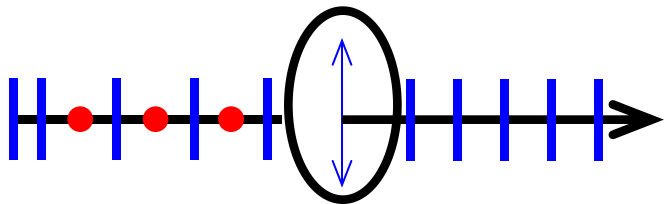


14.2.1 偏振片的起偏和检偏

② 如果入射的是**线偏振光**，若偏振化方向与线偏振光的振动方向成 90° 角，则线偏振光将完全不能通过。因此，当转动偏振片时，在视场中就可看到光强的明显变化，并有**消光**现象。



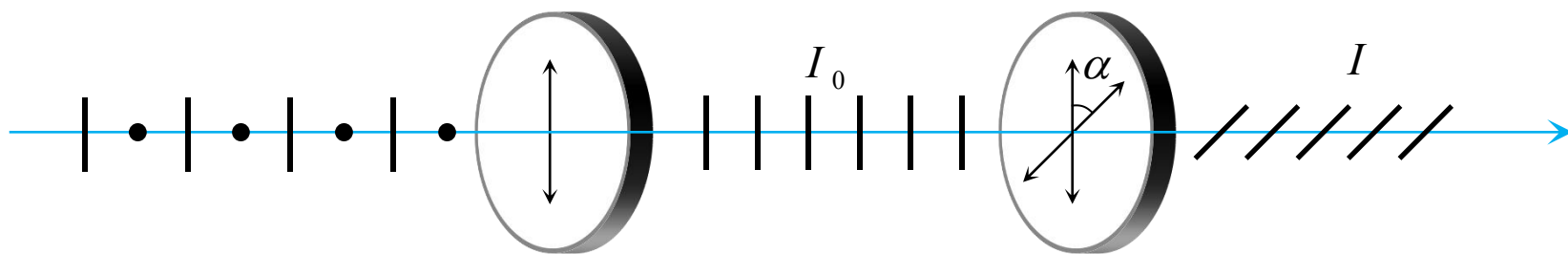
③ 如果入射的是**部分偏振光**，则转动偏振片时，视场中光强有变化，但无消光现象。



14.2.2 马吕斯定律

马吕斯定律：入射线偏振光的光强为 I_0 ，透过检偏器后，当其振动方向与偏振片的偏振化方向成 α 角时，透射光的光强 I 为

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



注意：

- (1) 入射光必须是线偏振光，不是自然光；
- (2) I 是与 $\cos^2 \alpha$ 成正比，而不是与 $\cos \alpha$ 成正比。

14.2.2 马吕斯定律

设入射线偏振光的振幅为 E_0 ，其振动方向沿 ON_1 方向，与偏振片的偏振化方向 ON_2 成 α 角。由于只有平行于偏振化方向的振动 $E_{//}$ 才能透过，由图可知：

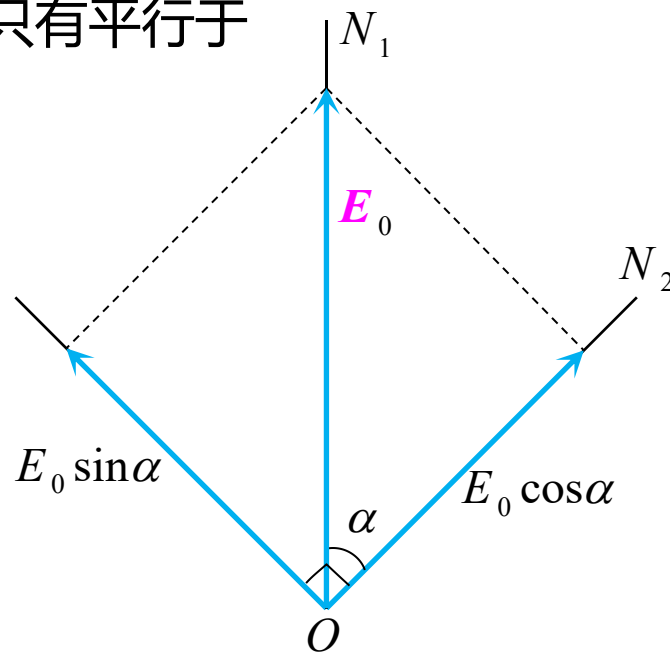
$$E_{//} = E_0 \cos \alpha \quad \text{而光强 } I \propto E^2$$

$$\frac{I}{I_0} = \frac{(E_0 \cos \alpha)^2}{E_0^2} = \cos^2 \alpha$$

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

$\alpha=0$ 时， $I=I_0$ 光强最大

$\alpha=90^\circ$ 时， $I=0$ 出现消光现象



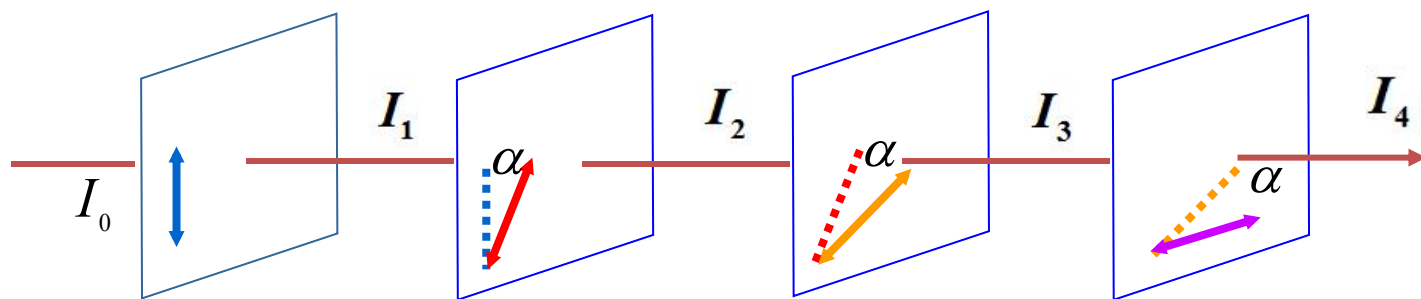
马吕斯定律的证明

例 题



【例 题】

一束自然光入射到由四个偏振片组成的偏振片组上，四个偏振片是这样放置的，每个偏振片偏振化方向相对于前面一片顺时针转过 30° 角，设入射光强为 I_0 ，则通过第二片后光强变为____，通过第四片后光强变为__.



$$I_1 = \frac{1}{2} I_0 \quad I_2 = I_1 \cos^2 \alpha \quad I_3 = I_2 \cos^2 \alpha \quad I_4 = I_3 \cos^2 \alpha$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} I_0 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2 &= \frac{3}{8} I_0 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2 &= \frac{9}{32} I_0 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2 \\ &= \frac{3}{8} I_0 &= \frac{9}{32} I_0 &= \frac{27}{128} I_0 \end{aligned}$$

例 题



【例 题】

一光束由线偏振光和自然光混合而成，当它通过偏振片时，发现透射光的光强依赖偏振片透光轴方向的取向可变化5倍。求入射光束中两种成分的光的相对强度。

解 设光束的总光强为 I ，其中线偏振光的强度为 I_1 ，自然光的光强为 I_0 ，则 $I = I_1 + I_0$

$$\text{最大光强} \quad \frac{I_0}{2} + I_1 \qquad \text{最小光强} \quad \frac{I_0}{2}$$

$$\frac{\frac{I_0}{2} + I_1}{\frac{I_0}{2}} = 5 \quad \longrightarrow \quad I_1 : I_0 = 2 : 1 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{线偏振光} \quad I_1 = \frac{2}{3} I \\ \text{自然光} \quad I_0 = \frac{1}{3} I \end{array} \right.$$

例 题



【例 题】

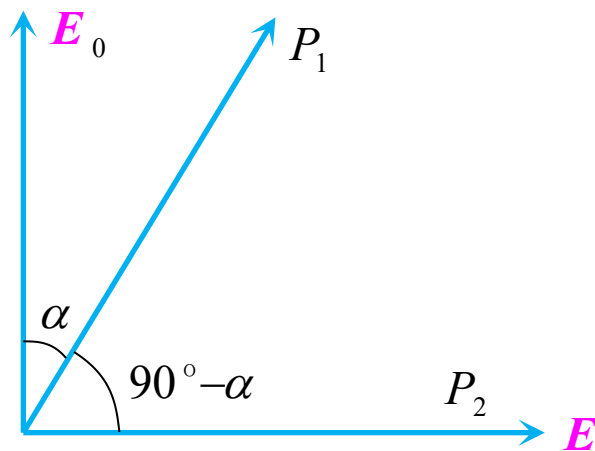
要使一束线偏振光通过偏振片后振动方向转过 90° ，至少需要让这束光通过几块理想偏振片？在此情况下，透射光强最大是原来光强的多少倍？

解 至少需要两块理想偏振片（见图）。

$$\begin{aligned} I &= I_0 \cos^2 \alpha \cos^2 (90^\circ - \alpha) \\ &= I_0 \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha = \frac{I_0}{4} \sin^2 2\alpha \end{aligned}$$

当 $2\alpha = 90^\circ$ ，即 $\alpha = 45^\circ$ 时

$$I = I_{\max} = \frac{I_0}{4}$$



例 题



补充例题

在双缝干涉实验中，用单色自然光，在屏上形成干涉条纹。若在两缝后放一个偏振片，**B** ()。

- A. 干涉条纹的间距不变，但明纹的亮度加强
- B. 干涉条纹的间距不变，但明纹的亮度减弱
- C. 干涉条纹的间距变窄，且明纹的亮度减弱
- D. 无干涉条纹

14.3

反射与折射时光的偏振



14.3 反射与折射时光的偏振

自然光入射到两种各向同性介质的界面上发生反射和折射时：

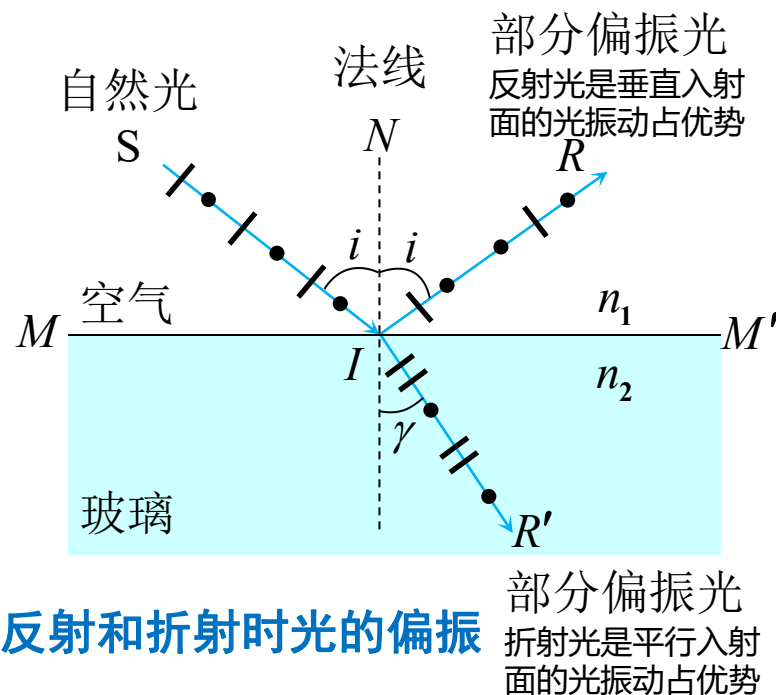
(1) 在一般情况下，反射光和折射光都是部分偏振光，在特定情况下，反射光可能成为线偏振光。

(2) 反射光中是垂直振动占优势，在折射光中平行振动占优势。

入射面：入射光线与法线组成的平面。

(3) 反射光、折射光偏振化的程度随入射角 i 而变。

光在两种介质界面上的行为比较复杂，例如传播方向可能改变，能流（即振幅）将重新分配，相位可能突变，同时在界面上可能还有偏振特性的改变。



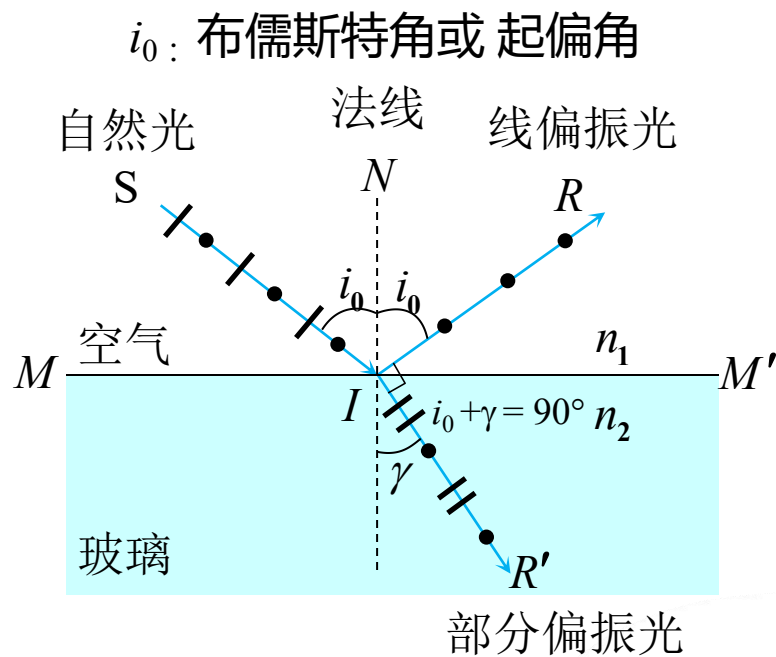
14.3 反射与折射时光的偏振

布儒斯特定律：当入射角 i 等于某一特定值 i_0 ，且满足

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

时，反射光中只有垂直入射面的分振动，成为线偏振光；而折射光仍为部分偏振光，但这时折射光的偏振化程度最强。

布儒斯特角：使反射光成为全偏振光时的入射角 i_0 。



反射和折射时光的偏振

14.3 反射与折射时光的偏振

$$\left. \begin{array}{l} \text{折射定律} \quad n_1 \sin i_0 = n_2 \sin \gamma \\ \text{布儒斯特定律} \quad \tan i_0 = \frac{\sin i_0}{\cos i_0} = \frac{n_2}{n_1} \end{array} \right\} \sin \gamma = \cos i_0 \longrightarrow i_0 + \gamma = \frac{\pi}{2}$$

若 $n_1 = 1.00$ (空气), $n_2 = 1.50$ (玻璃), 则:

$$\left. \begin{array}{l} \text{空气} \rightarrow \text{玻璃} \quad i_0 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{1.50}{1.00} = 56^\circ 3' \\ \text{玻璃} \rightarrow \text{空气} \quad i_0 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{1.00}{1.50} = 33^\circ 7' \end{array} \right\} \text{互余}$$

当入射角为起偏角时, 反射光与折射光相互垂直。

反射光光强 = 垂直振动光强的15%

折射光光强 = 垂直振动光强的85% + 平行振动光强的100%

例 题



【例 题】

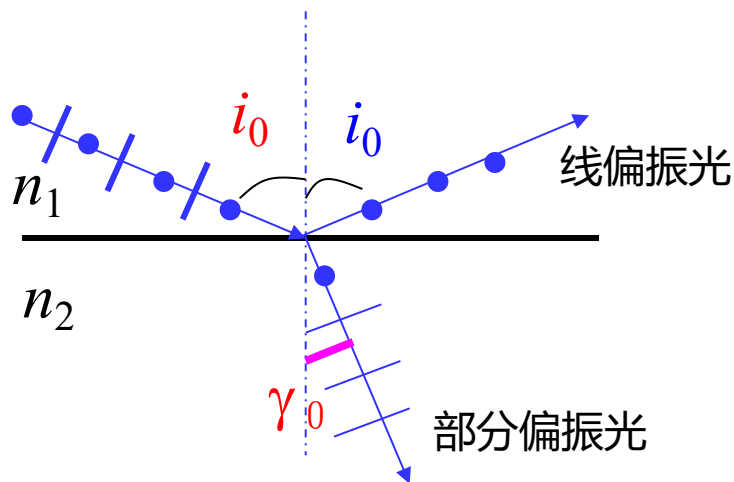
当一束自然光在两种介质分界面处发生反射和折射时，若反射光为完全偏振光，则折射光为_____光，且反射光和折射光之间的夹角为_____。

解

部分偏振光

$$\frac{1}{2}\pi$$

(或 90°)



例 题



【例 题】

一束平行的自然光，以 60° 角从空气入射到平玻璃表面上，若反射光束是完全偏振的，则透射光束的折射角是_____，玻璃的折射率为_____。

解 若反射光为完全偏振光，

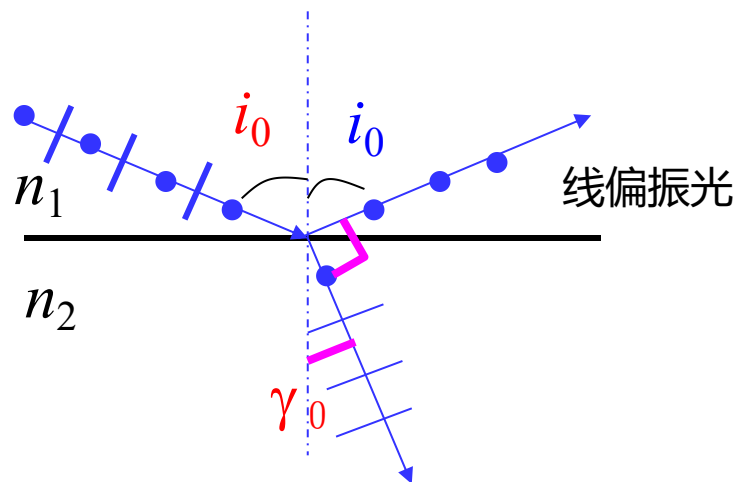
则入射角 i_0 为布儒斯特角。

折射角为： $\gamma_0 = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$

折射率为：

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin i_0}{\sin \gamma_0} = 1.73$$

$$n_2 = 1.73$$

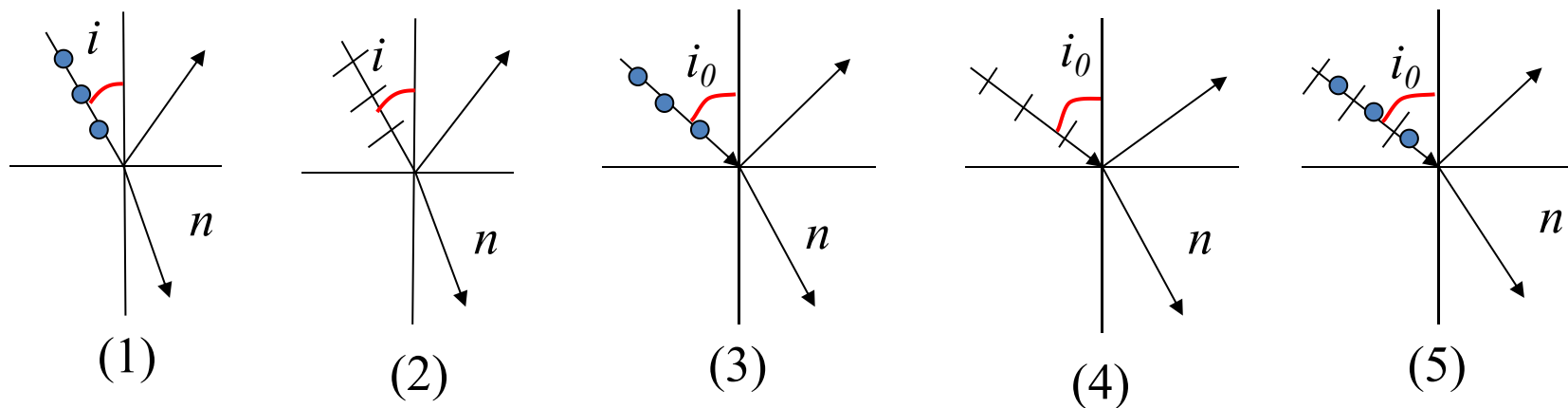


例 题



【例 题】

在下图中，以线偏振光或自然光入射于空气与介质的分界面时，问折射光和反射光各属于什么性质的光，并在图中表示出来，图中 $\tan i_0 = n$ ， $i \neq i_0$



解 (1),(2),(3)中反射光、折射光均为线偏振光

(4)的折射光为线偏振光，没有反射光。

(5)的反射光为线偏振光，折射光为部分偏振光

例 题

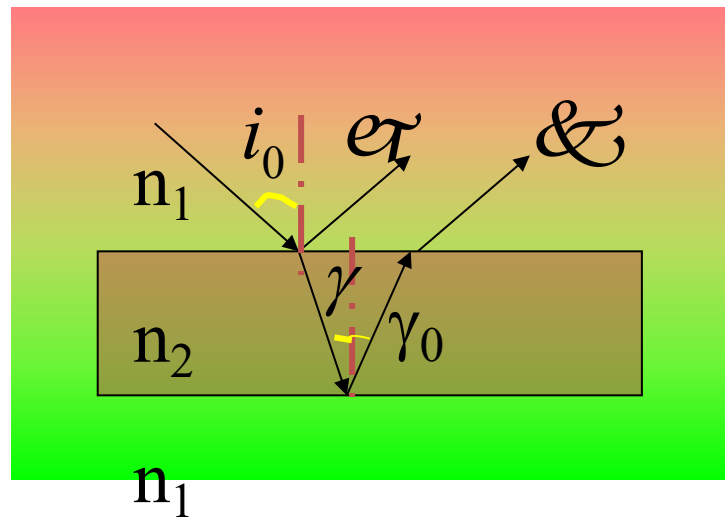
如图所示，一自然光自空气射到一块平板玻璃上，设入射角为起偏角，则在界面2处的反射光透过玻璃后的光线2中振动方向是

- (A) 垂直于纸面，
- (B) 平行于纸面，
- (C) 以上两个方向的振动均有，
- (D) 光线2不存在。

解：由布儒斯特定律 $\operatorname{tgi}_0 = \frac{n_2}{n_1}$ 而 $i_0 + \gamma_0 = \pi/2$

$$\text{故 } \operatorname{tg}\gamma_0 = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - i_0\right) = \operatorname{ctgi}_0 = \frac{n_1}{n_2}$$

这说明在界面2处的反射角 γ 是起偏角，即界面2的反射光的光振动是垂直于入射面的，从而其透射光亦为垂直于入射面的光振动。即应选 (A)。

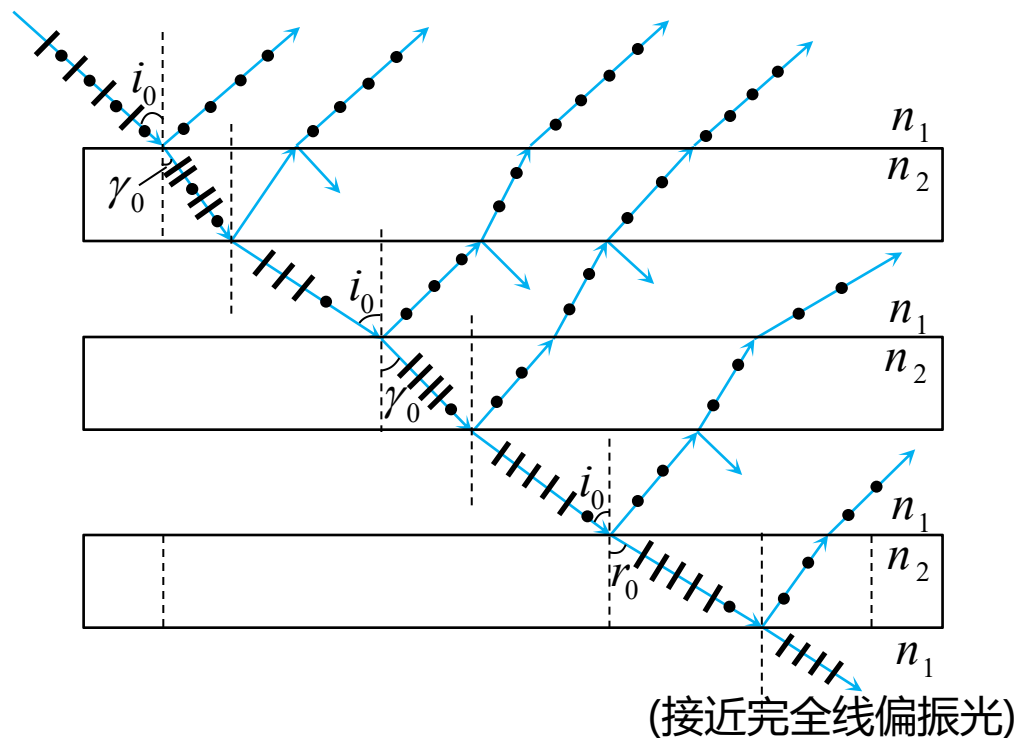
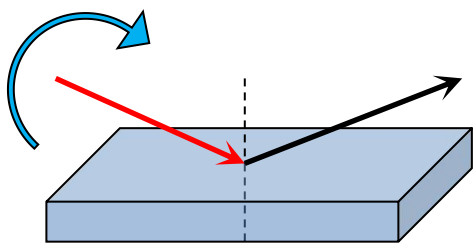


14.3 反射与折射时光的偏振

应用

(1) 用玻璃片堆获得两束振动方向相互垂直的线偏振光。

(2) 测定不透明介质的折射率。



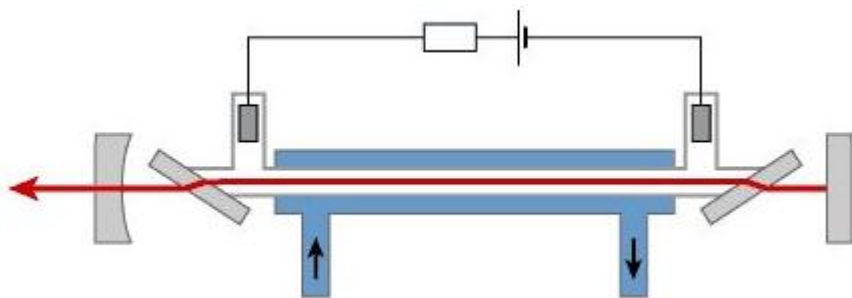
利用玻璃片堆获取线偏振光

逐渐改变入射角，检测反射光刚好为线偏振光时，不透明介质的折射率为：

$$n_2 = n_1 \tan i_0$$

14.3 反射与折射时光的偏振

(3) 在激光器的谐振腔中开有布儒斯特窗，故激光是偏振光。



(4) 在强光下摄影时，可在摄影机前头加偏振片

有反射光干扰 (左)

在镜头前加偏振片消除

了反射光的干扰 (右)




例 题



【例 题】

利用布儒斯特定律可以测定不透明介质（如珐琅等釉质）的折射率。当一束平行自然光从空气中以 58° 角入射到某介质材料表面上时，检验出反射光是线偏振光，求该介质的折射率。

解 根据布儒斯特定律

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


$$n_2 = n_1 \tan i_0 = \tan 58^\circ = 1.60$$

例 题

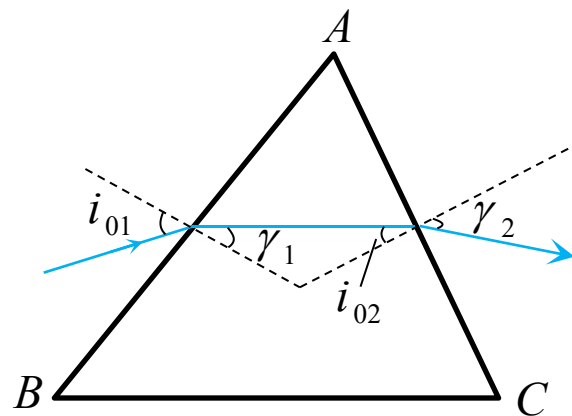


【例 题】

如图所示为一玻璃三棱镜，材料的折射率为 $n=1.50$ ，设光在棱镜中传播时能量不被吸收。

问：（1）一束光强为 I_0 的单色光，从空气入射到棱镜左侧界面折射进入棱镜。若要求入射光全部能进入棱镜，对入射光和入射角有何要求？

（2）若要求光束经棱镜从右侧折射出来，强度仍保持不变，则对棱镜顶角有何要求？



解 (1) $i_{01} = \arctan n = \arctan 1.50 = 56.3^\circ$

(2) $i_{02} = \arctan \frac{1}{n} = \arctan \frac{1}{1.5} = 33.7^\circ$ $i_{01} + \gamma_1 = \frac{\pi}{2}$, $i_{02} + \gamma_2 = \frac{\pi}{2}$

$$\angle A = \gamma_1 + i_{02} = \frac{\pi}{2} - i_{01} + i_{02} = 90^\circ - 56.3^\circ + 33.7^\circ = 67.4^\circ$$