

光的偏振

Polarized Light

1.普通光和偏振光(Nature Light & Polarized Light)

光的干涉和衍射说明了光的波动性。

光是横波还是纵波？

光的偏振现象：光波是横波。

光波是一种电磁波，电磁波是变化的电场和变化的磁场的传播过程： $P(\vec{E}, \vec{H})$

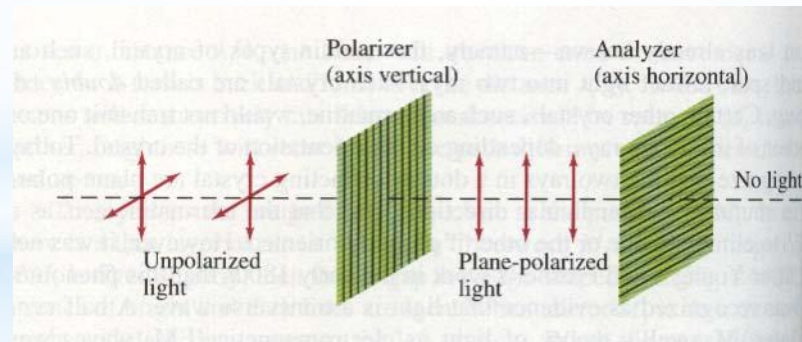
\vec{E} 矢量称为光矢量，它能引起感光作用和生理作用，其振动称为光振动。



光波是横波，是指光矢量的振动方向总是与光的传播方向垂直。

光的偏振性：光矢量的振动对于传播方向的不对称性。

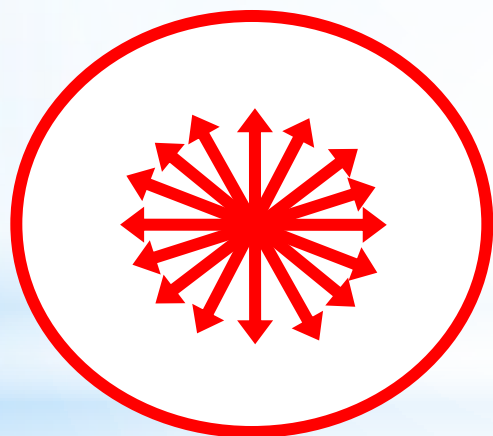
实验上能不能证明光是一种横波？



1) 自然光Nature Light:

各方向光振动振幅相同的光。

即自然光在各方向的振动机会均等，没有哪一个方向的振动更占优势。



没有优势方向

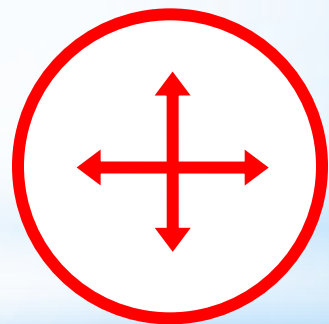


为什么？

普通光源发射的光在一切可能方向的振动几率都均等，没有那个方向比其它方向更占优势，即自然光包含一切可能方向的光振动，且在一切可能方向上光矢量 E 的振幅都相等。

在一切可能方向上都有光振动而各个方向的光矢量的振幅又相等的光——自然光。

若把自然光所有方向的光振动都分解到相互垂直的两个方向上在，则在这两个方向上的振动振幅和能量都相等。

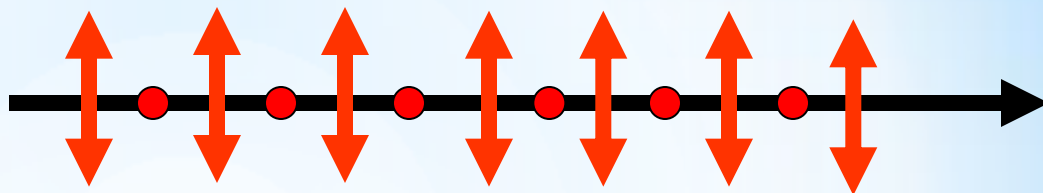


自然光的分解



自然光的分解

表示为

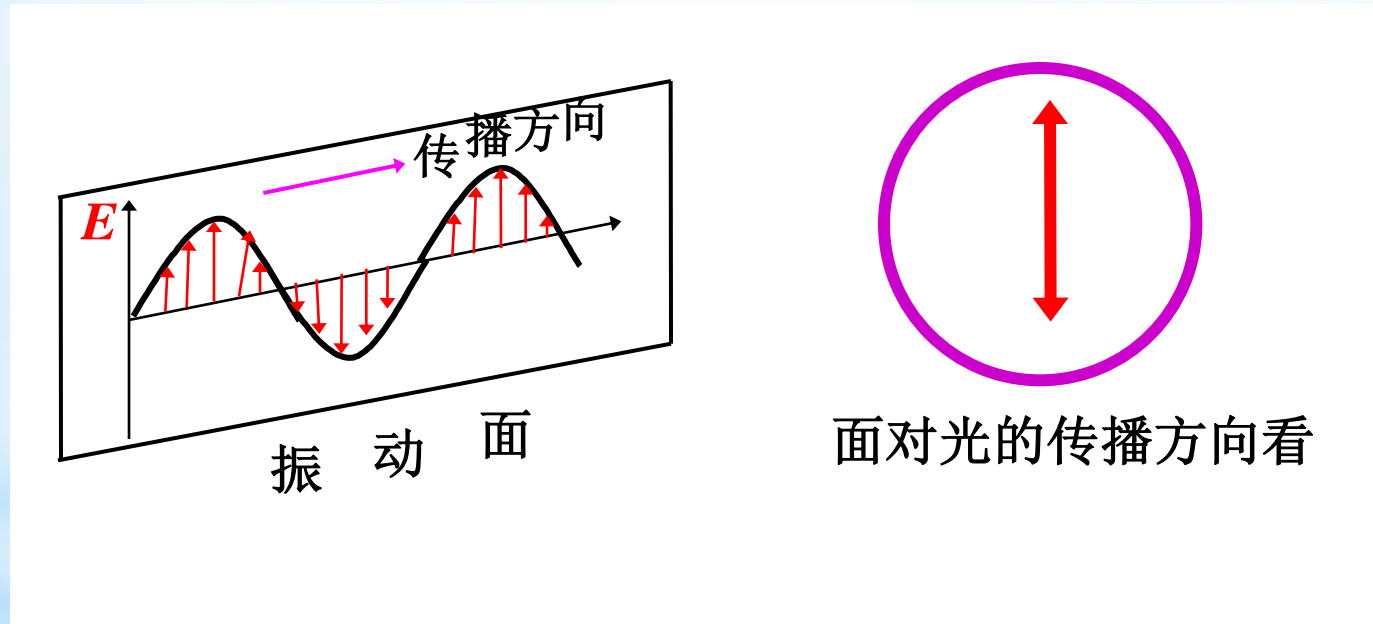


注：两个垂直方向上的 \vec{E} 矢量“无关”，不能合成为一个矢量，是自然光的一种等价表示。

2) 偏振光 Polarized Light

(1) 线偏振光 Linearly Polarized Light :

在垂直于传播方向的平面内，光矢量只沿一个固定方向振动。

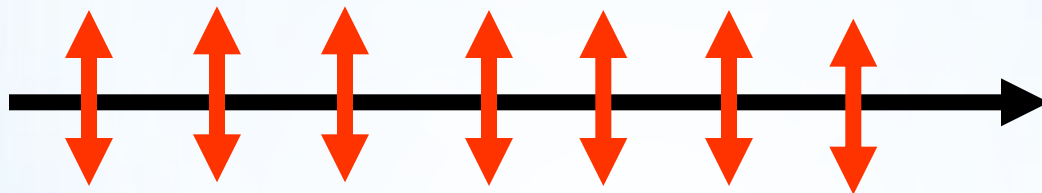


振动面：偏振光的光振动方向和传播方向所决定的平面。

线偏振光的表示法:



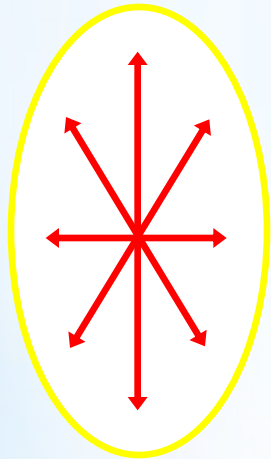
光振动垂直板面



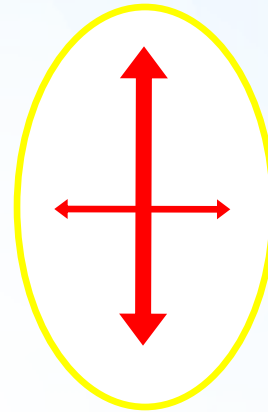
光振动平行板面

(2) 部分偏振光Partially Polarized Light :

光波包括一切方向的振动，但不同方向上的振幅不等，分解在两个垂直的方向上，一个方向上的振幅大于另一个方向上的振幅。

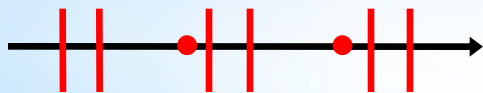


部分偏振光

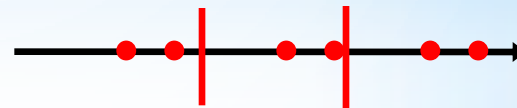


部分偏振光的分解

部分偏振光的表示法:



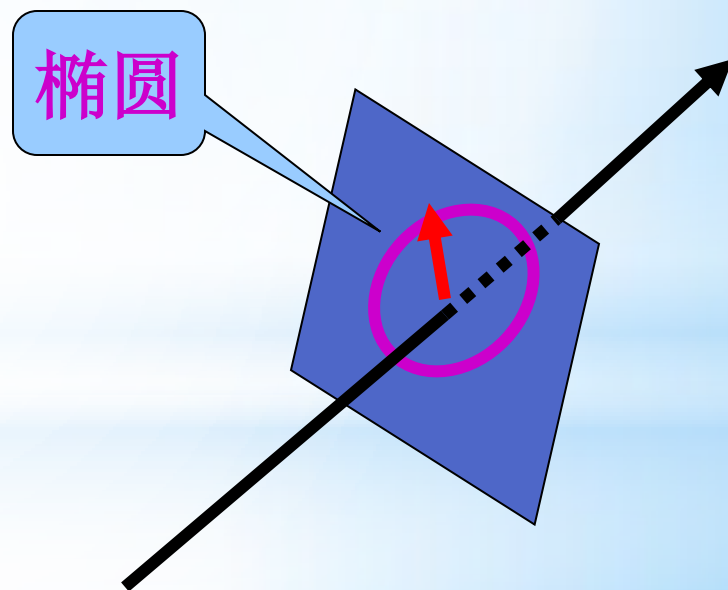
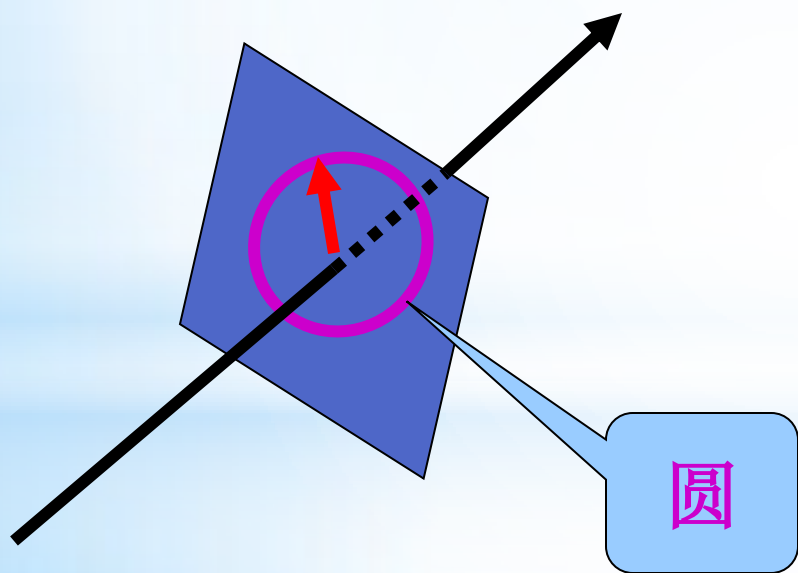
平行板面的光振动较强



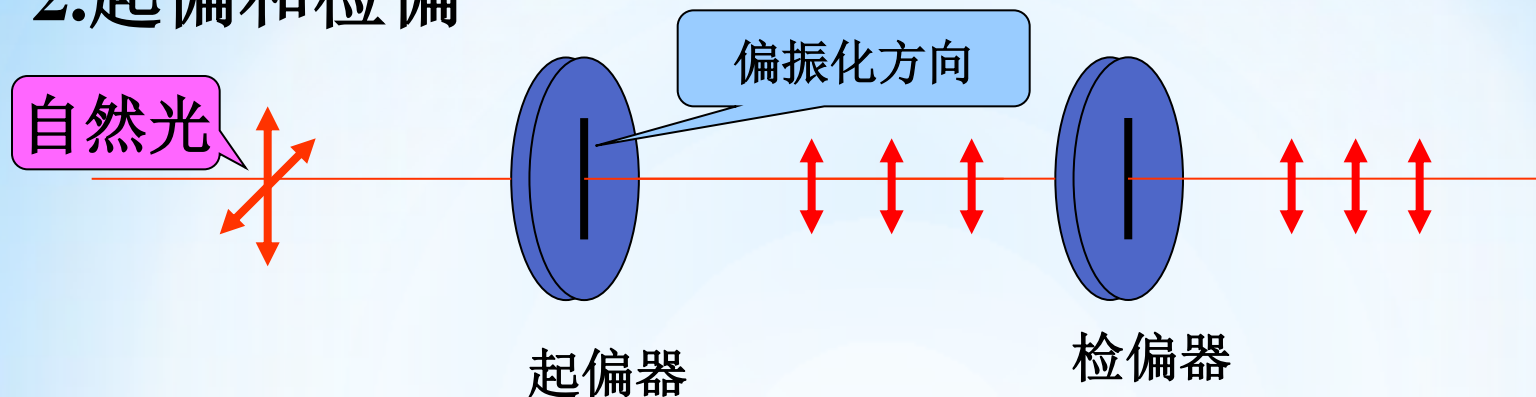
垂直板面的光振动较强

(3) 圆偏振光和椭圆偏振光:

在垂直于光的传播方向的平面内，光矢量按一定的频率旋转（左或右旋），如光矢量的端点轨迹是圆，这种光叫圆偏振光；如光矢量的端点轨迹是一个椭圆，这种光叫椭圆偏振光：



2.起偏和检偏



把自然光变为偏振光的过程称为**起偏**；

检验（观察）偏振光的过程称为**检偏**。

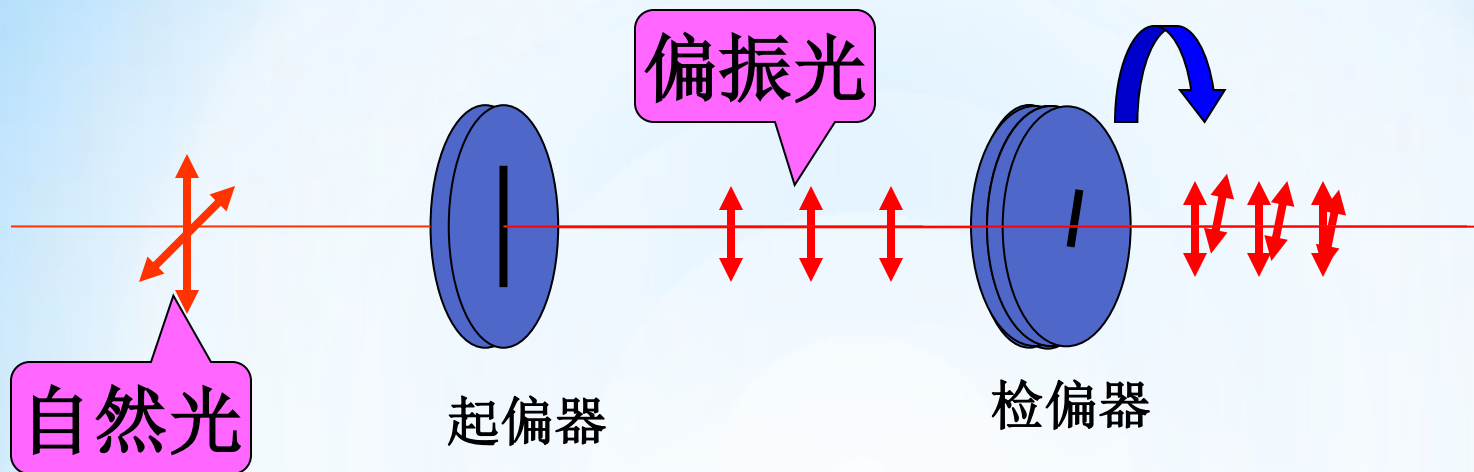
起偏器：从自然光获得线偏振光的器件；

检偏器：用于鉴别光的偏振状态的器件。

偏振片：能吸收某一方向的光振动，而只让与之垂直方向上的光振动通过的一种透明薄片。 是一种获得线偏振光的偏振器件。

偏振化方向：允许通过的光振动方向。

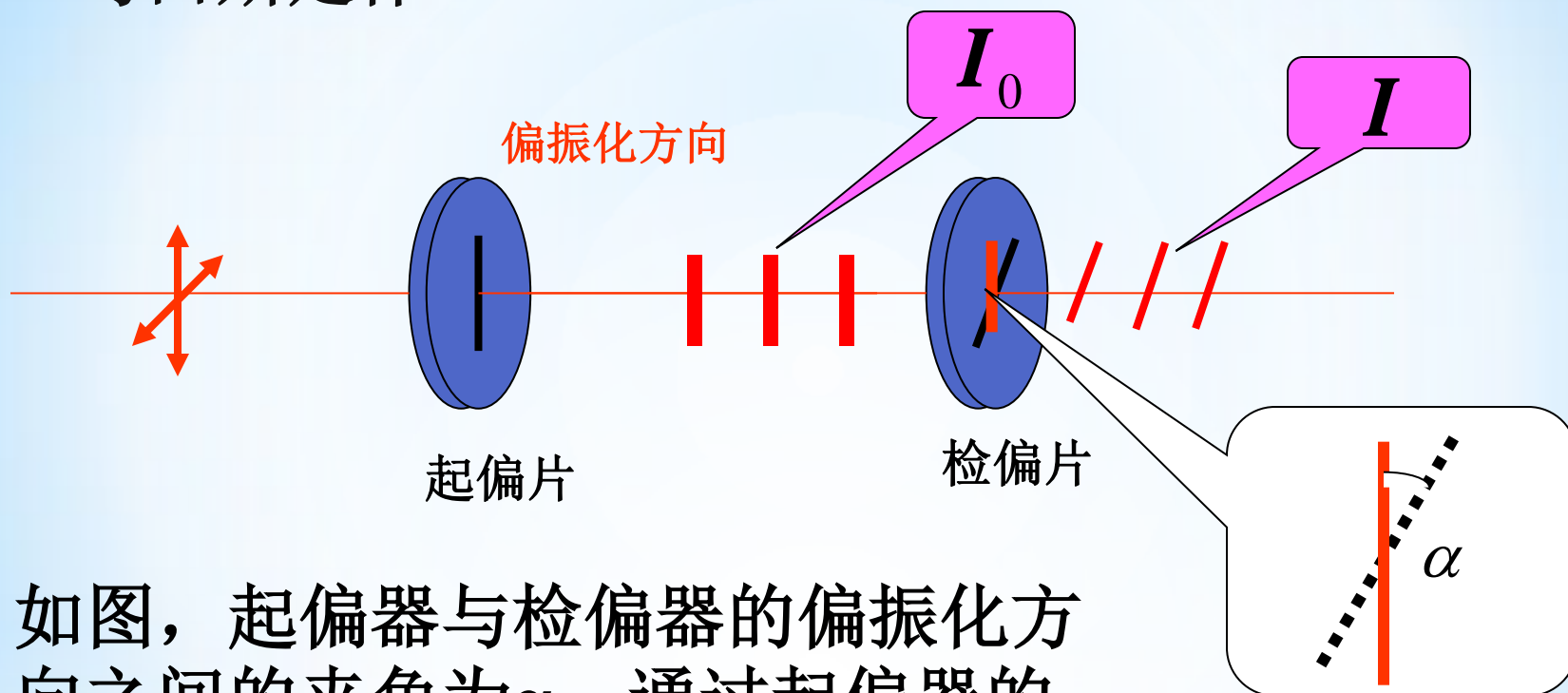
偏振片的用途：“起偏”和“检偏”



自然光通过起偏器，变为偏振光，用检偏器来检测。旋转检偏器，光强度会变化，由强变弱。

这充分说明光为横波！

3. 马吕斯定律 Law of Malus



如图，起偏器与检偏器的偏振化方向之间的夹角为 α ，通过起偏器的光的强度为 I_0 ，继续通过检偏器后光强为 I ，有：

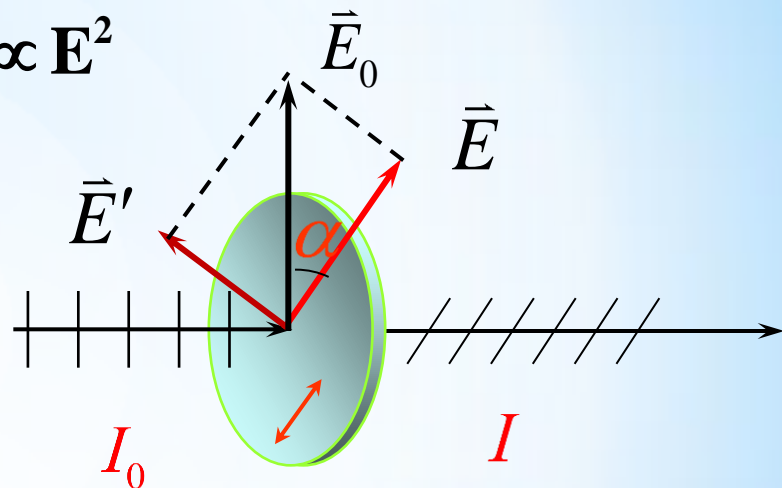
马吕斯定律：
$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

α : 偏振片的透振方向与入射光的振动方向的夹角。

$$E = E_0 \cos \alpha \quad \because I_0 \propto E_0^2, \quad I \propto E^2$$

$$\therefore \frac{I}{I_0} = \frac{E^2}{E_0^2} = \cos^2 \alpha$$

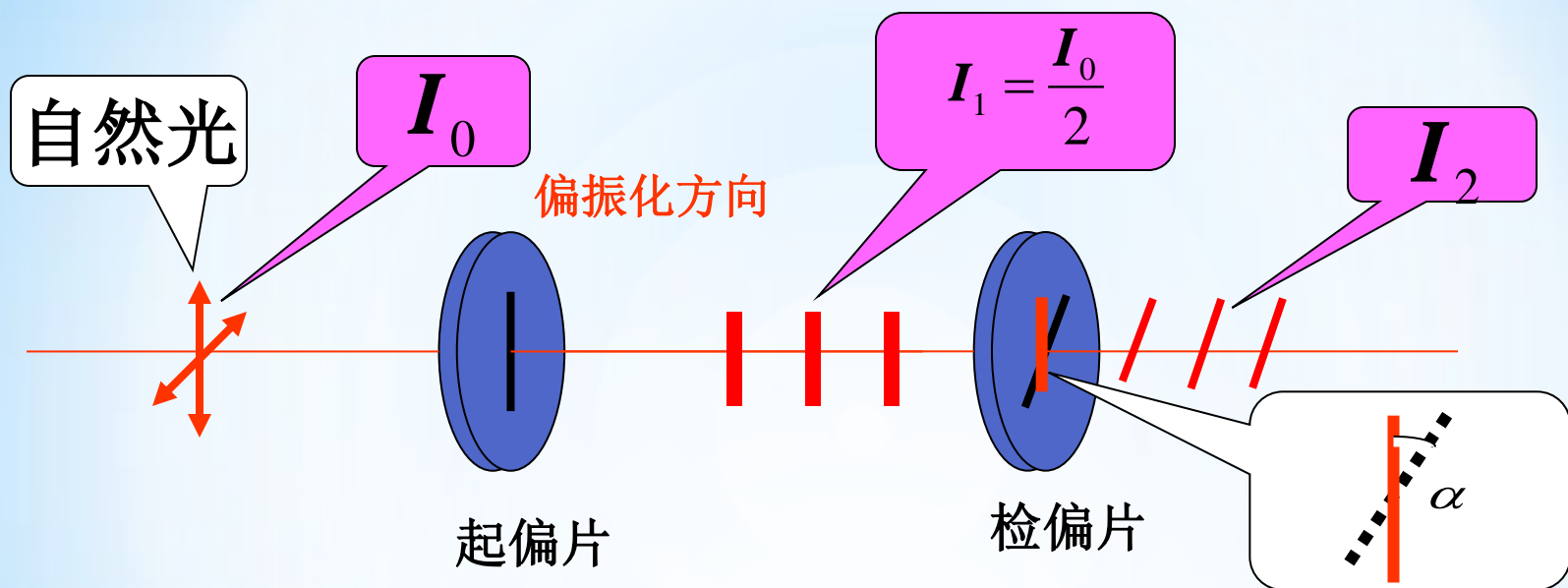
$$\therefore I = I_0 \cos^2 \alpha$$



当: $\alpha = 0, \pi \rightarrow I_2 = I_1$ 最强

当: $\alpha = \pi/2, 3\pi/2 \rightarrow I_2 = 0$ 消光

偏振片转动一周, 有消光现象则入射光一定是线偏振光。

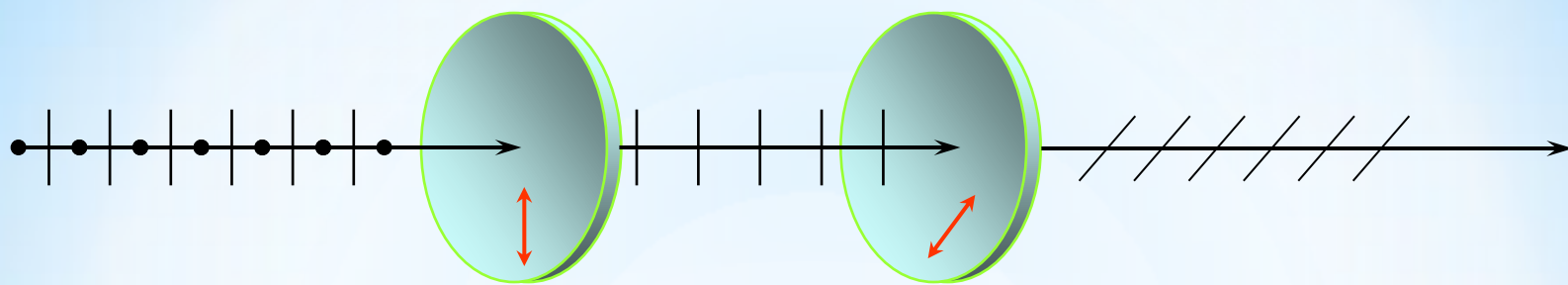


自然光通过起偏器强度变为原来的一半！

偏振片转动一个角度后，透过的强度及偏振态均不变，只是振动的方向变化。（自然光可以任意分解！）

偏振片的透光方向就是线偏振光的振动方向。

$$I_0 \rightarrow I_1 = \frac{I_0}{2} \rightarrow I_2 = I_1 \cos^2 \alpha = \frac{I_0}{2} \cos^2 \alpha$$



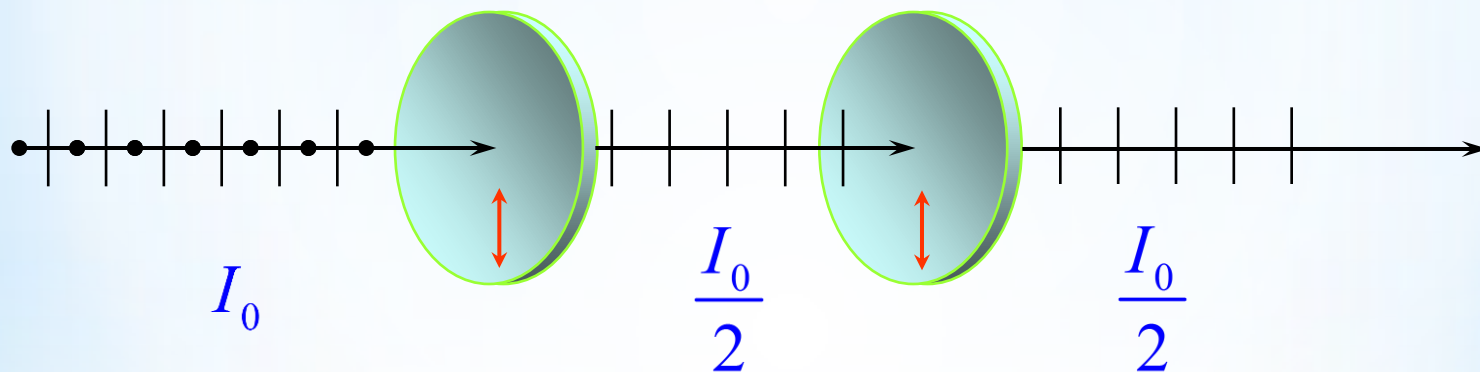
自然光

起偏

偏振光

检偏

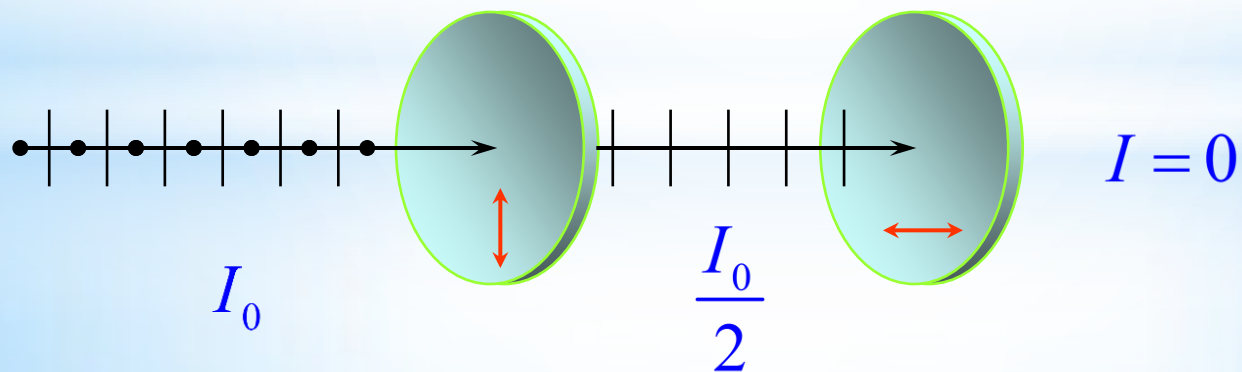
偏振光



I_0

$\frac{I_0}{2}$

$\frac{I_0}{2}$



I_0

$\frac{I_0}{2}$

$I = 0$

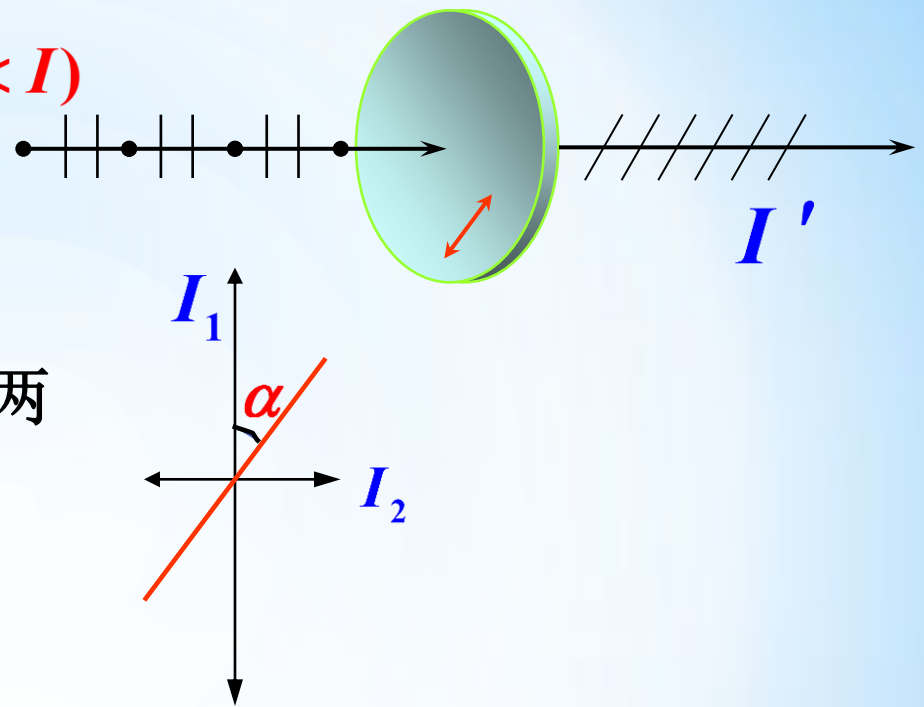
部分偏振光: $I = I_1 + I_2 (I_1 \neq I_2 < I)$

$$I' = I_1 \cos^2 \alpha + I_2 \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right)$$

转动一周出现两次强度最强，两次最弱，无消光现象。

结论:

1. 偏振片转动一个角度后，透过的强度及偏振态均不变，则入射光一定是自然光。
2. 偏振片转动一周，有消光现象，则入射光一定是线偏振光。
3. 偏振片转动一周无消光现象，都有强度的强弱之分，则入射光是部分偏振光。



例题1： 如果两偏振片堆叠在一起，且两偏振化方向之间的夹角为 60° ，假设二者对光无吸收，光强为 I_0 的自然光垂直入射在偏振片上，则出射光光强为：

(A) $\frac{I_0}{8}$ (B) $\frac{3I_0}{8}$ (C) $\frac{I_0}{4}$ (D) $\frac{3I_0}{4}$

解：

$$I_0 \rightarrow I_1 = \frac{I_0}{2} \rightarrow I_{\text{出}} = \frac{I_0}{2} \cos^2 60^\circ = \frac{I_0}{8}$$

例2. 一束光由自然光和线偏振光混合组成，当它通过一偏振片时，发现透射光的强度随偏振片的转动可以变化到五倍。求入射光中自然光和线偏振光的强度各占入射光强度的几分之几？

解： 设入射光强度： I_0 ； 自然光强度： I_{10} ；

偏振光强度： I_{20} $I_0 = I_{10} + I_{20}$

设通过偏振片后的光强分别为： I ， I_1 ， I_2

$$I_1 = \frac{1}{2} I_{10} \quad I_2 = I_{20} \cos^2 \alpha \quad I = I_1 + I_2 = \frac{1}{2} I_{10} + I_{20} \cos^2 \alpha$$

$$\alpha = 0 \text{ 时} \rightarrow I = I_{\max} = \frac{1}{2} I_{10} + I_{20} \quad \alpha = 90^\circ \text{ 时} \rightarrow I = I_{\min} = \frac{1}{2} I_{10}$$

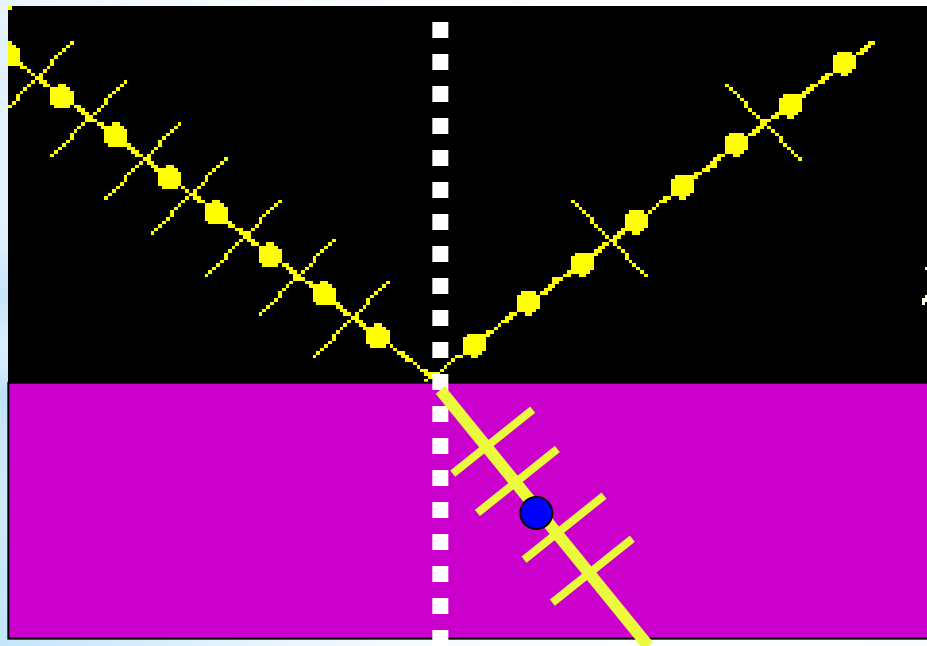
$$\because I_{\max} = 5I_{\min} \rightarrow \frac{1}{2} I_{10} + I_{20} = 5 \times \frac{1}{2} I_{10} \quad \therefore I_{20} = 2I_{10}$$

$$\frac{I_{10}}{I_0} = \frac{I_{10}}{I_{10} + I_{20}} = \frac{1}{3} \quad \frac{I_{20}}{I_0} = \frac{2}{3}$$

§ 17-12 Polarization by Reflection 反射 和折射时光的偏振

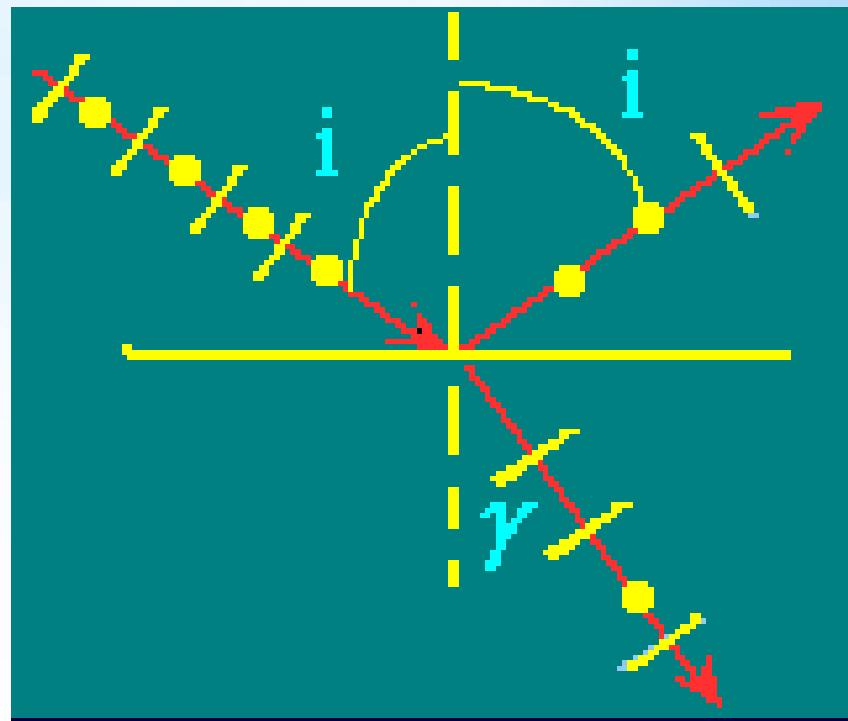
1.现象

自然光经界面反射和折射，**反射光和折射光变为部分偏振光**，反射光中以振动方向垂直于入射面的为主，折射光中以振动方向平行于入射面的为主。（在入射面内）



这一现象是马吕斯于1808年发现的。

自然光的光矢量可分解为两个振幅相等、相互垂直的分振动，一个垂直入射面用点表示，一个平行入射面用短线表示。



- 对入射光垂直振动（点）的能量反射得多，折射的少。
- 对入射光平行振动（短线）的能量反射得少，折射的多。

所以，反射光和折射光都是部分偏振光。反射光和折射光偏振化程度与入射角有关。

2. 布儒斯特定律

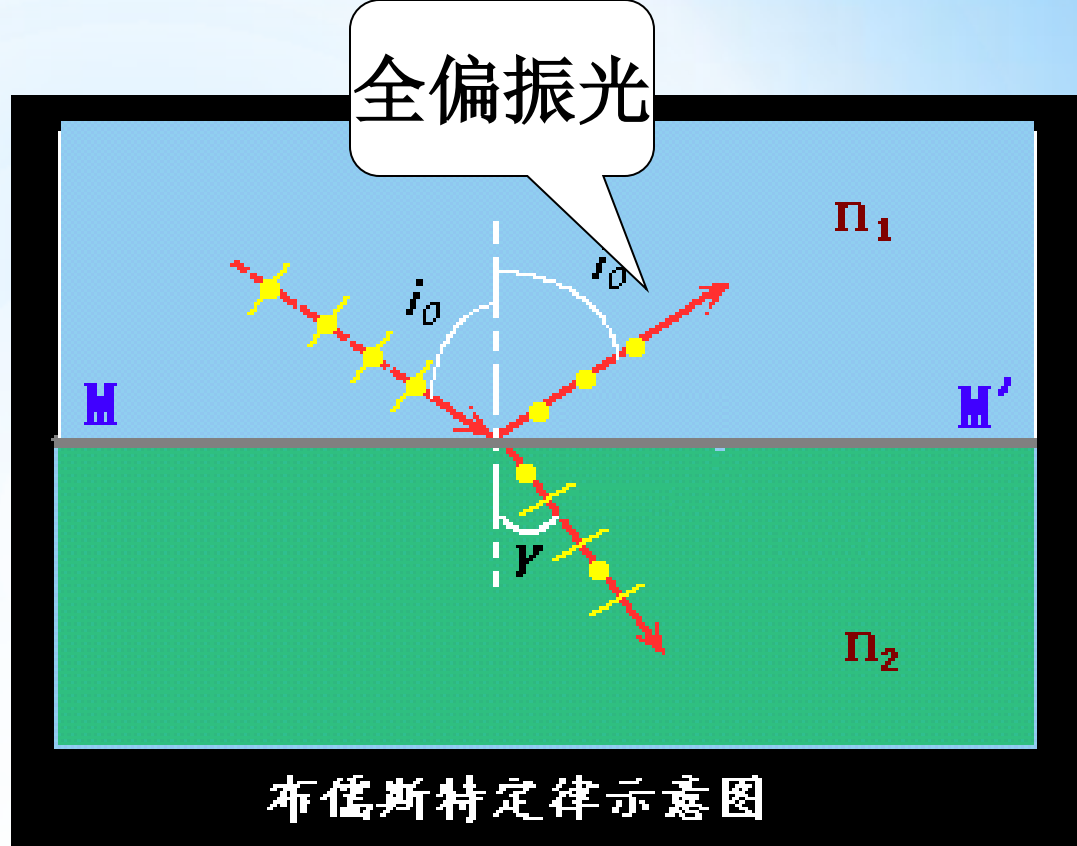
实验表明：当入射角 i 等于某一特定值 i_0 时，即满足下式：

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

则反射光为**全偏振光**， i_0 称为**全偏振角**。

布儒斯特定律：当入射角等于全偏振角（又称布儒斯特角）时，反射光为全偏振光。

这时折射光仍为部分偏振光，但折射光此时的偏振化程度最大。

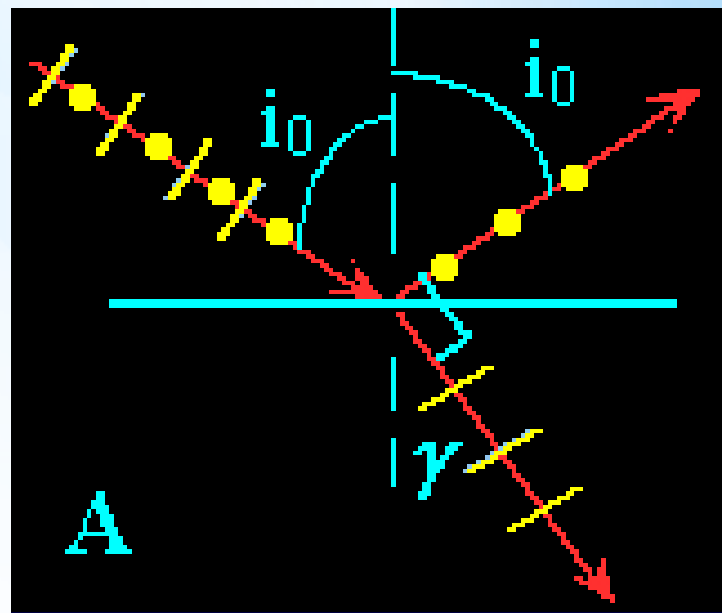


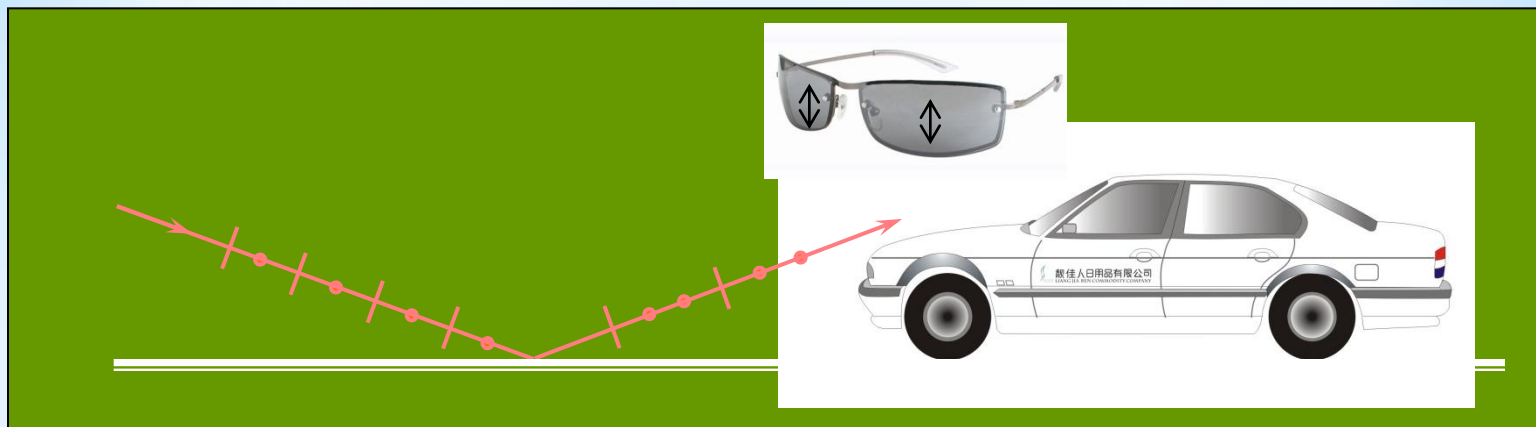
而且，当入射角等于全偏振角 i_0 时，反射光线与折射光线垂直：

$$\gamma + i = 90^\circ$$

此时：

- 1) 反射光是全偏振光，其振动方向垂直于入射面；
- 2) 折射光和反射光的传播方向相互垂直，
- 3) 折射光是部分偏振光。





驾驶员戴上偏振太阳镜可以防止马路反射光的炫目。



照相机按上偏振镜可以产生不同的效果，看出来了吗？

例题3：自然光从空气射到玻璃的界面上，当入射角为 60° 时，反射光是完全偏振光，则玻璃的折射率是：

- (A) $\frac{1}{\sqrt{3}}$ (B) $\frac{2}{\sqrt{3}}$ (C) $\frac{3}{2}$ (D) $\sqrt{3}$

例题4：如果从一池静止的水 ($n=1.33$) 的表面反射来的太阳光是完全偏振光，那么太阳的仰角（如图）大致等于_____，在这反射光中 \vec{E} 矢量的方向应_____。

