



第 15 章

光的偏振

光的偏振态

偏振片 马吕斯定律

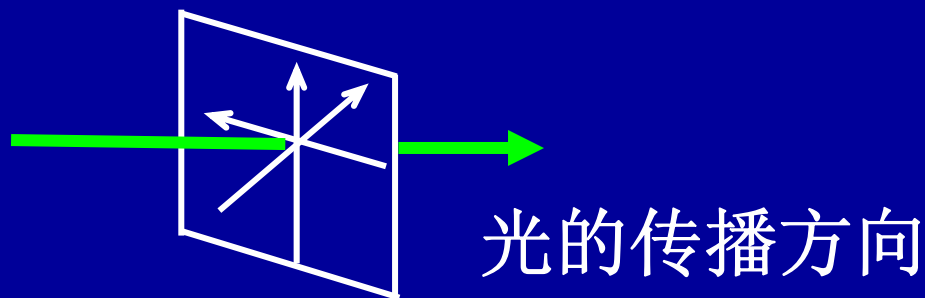
反射和折射时光的偏振

光在晶体中的双折射



§15.1 光的偏振态

光波中光矢量的振动方向与光的传播方向垂直。



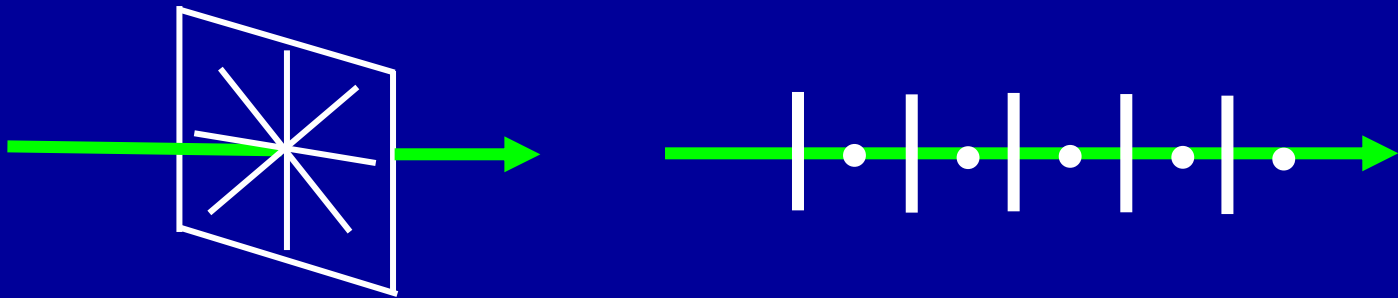
偏振—研究光矢量在垂直于传播方向的平面内的振动状态(偏振态)。

最常见的偏振光有**五种**：自然光、线偏振光、部分偏振光、*椭圆偏振光和圆偏振光。



1. 自然光 部分偏振光 线偏振光

原子发光的间歇性和无规则性，使得普通光源发出光的**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**。具有上述特性的光，称为**自然光**。

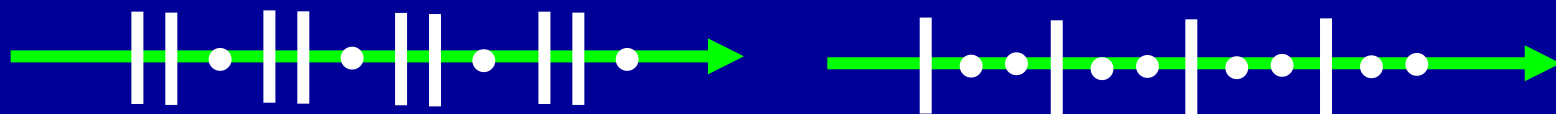


自然光表示法：用**两个独立的**(无确定相位关系)、相互垂直的、**等幅振动**来表示。圆点表示垂直于纸面的振动，短线表示平行于纸面的振动。



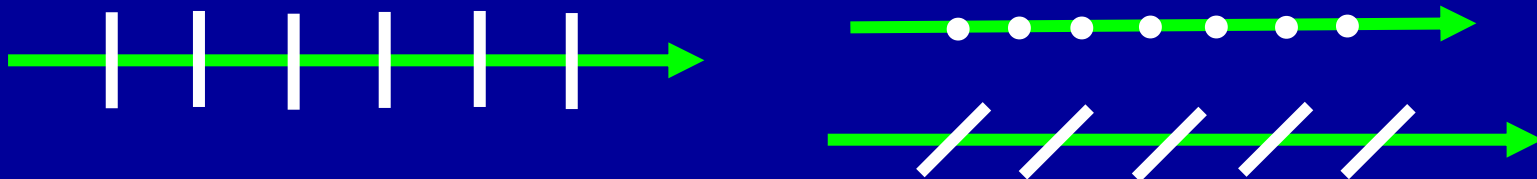
将自然光中两个相互垂直的等幅振动之一部分移去得到的光，称为部分偏振光。

部分偏振光的表示法：



将自然光中两个相互垂直的等幅振动之一完全移去得到的光，称为完全偏振光(线偏振光)。

完全偏振光(线偏振光)的表示法：



完全偏振光(线偏振光)：振动方向固定。



获得线偏振光的办法有三:

1. 利用偏振片起偏
2. 利用布儒斯特现象获得线偏振光
3. 利用双折射现象获得线偏振光



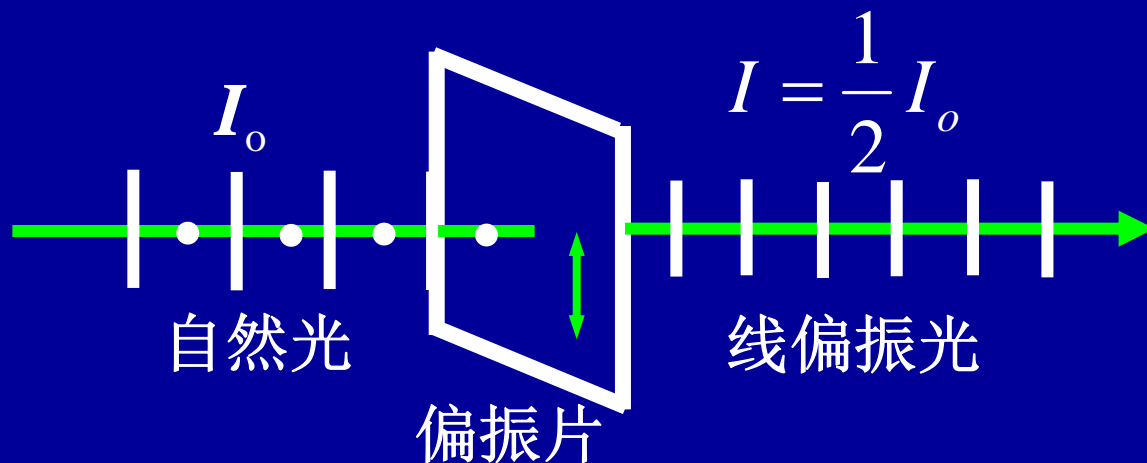
§15.2 偏振片 马吕斯定律

1. 偏振片的起偏和检偏

偏振片的构造：将硫酸碘金鸡钠霜晶粒定向排列并蒸镀在透明基片上，就制成偏振片。

偏振片的特性：仅允许某一方向的光振动通过而吸收与此方向垂直的光振动。

偏振化方向：允许通过的光振动方向。常用箭头“”表示。



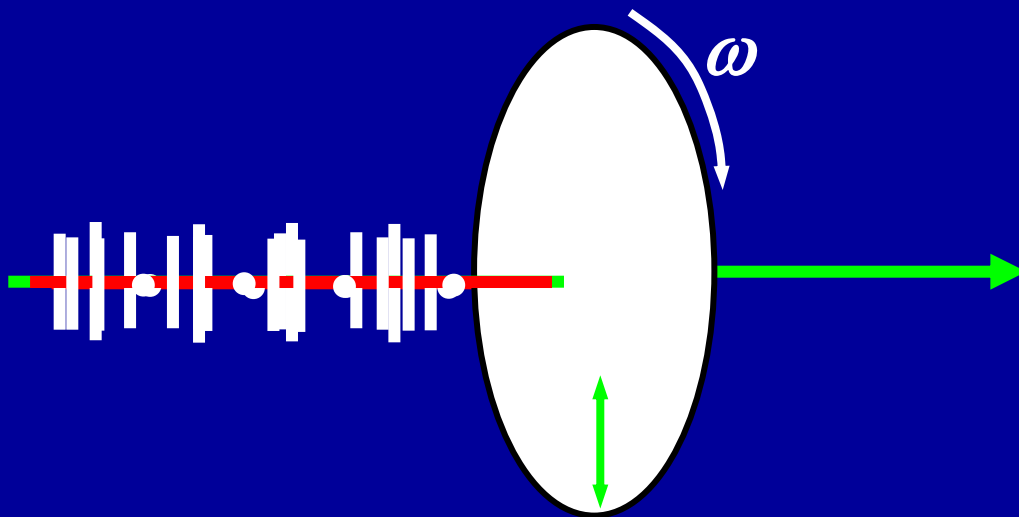


偏振片既可用作起偏器，又可用作检偏器。

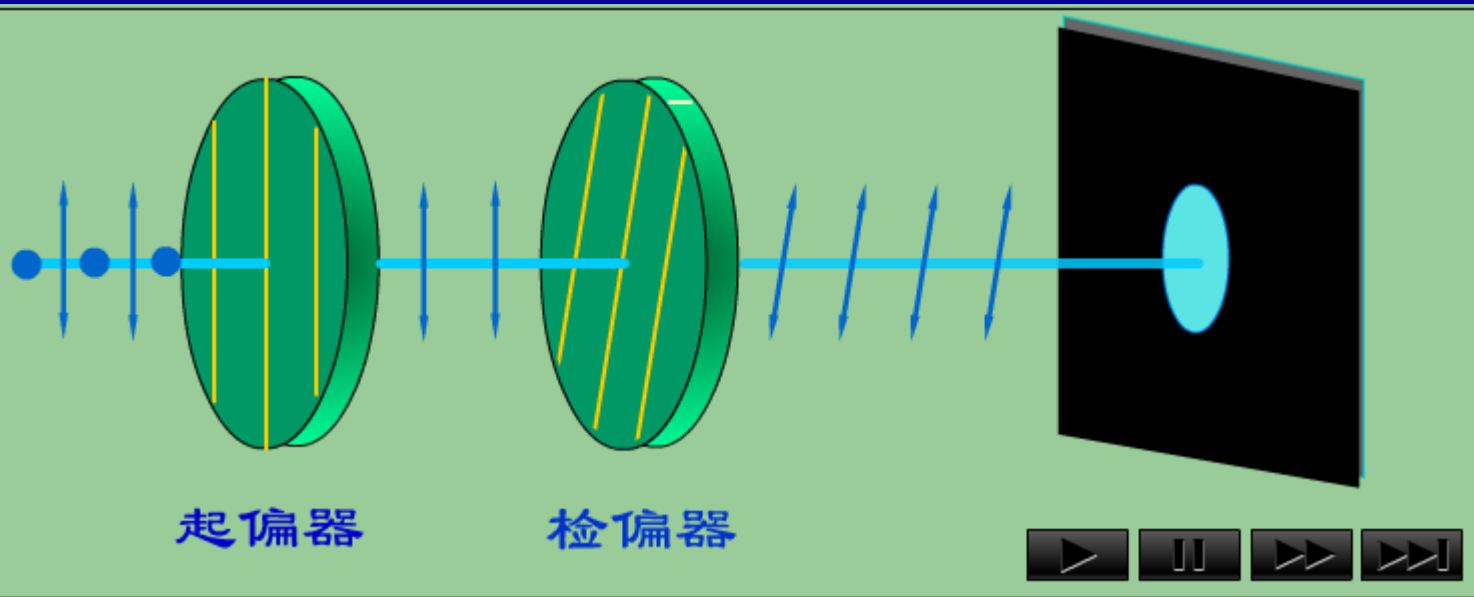
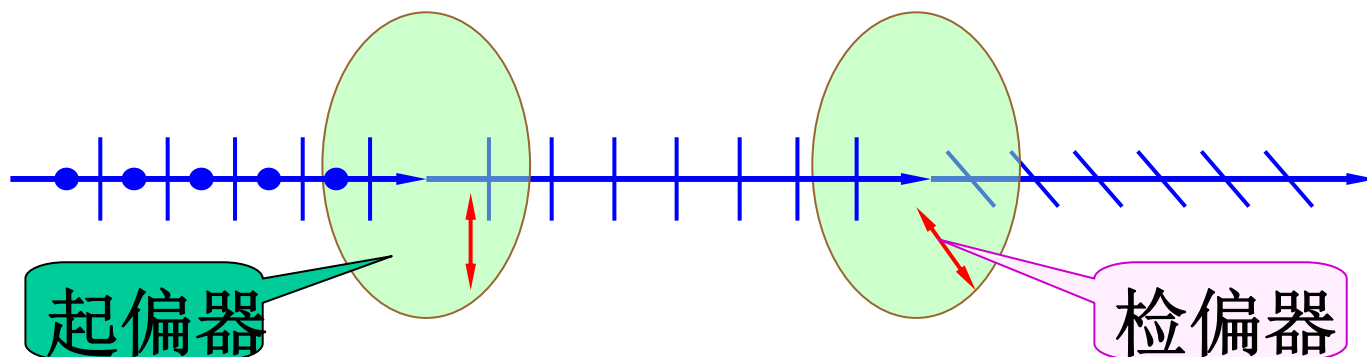
若以光传播方向为轴，慢慢旋转检偏片，观察透过偏振片的光：光强无变化的是自然光；

光强有变化，但最小值不为零的是部分偏振光；

光强有变化，但最小值为零(消光)的是线偏振光。



检偏





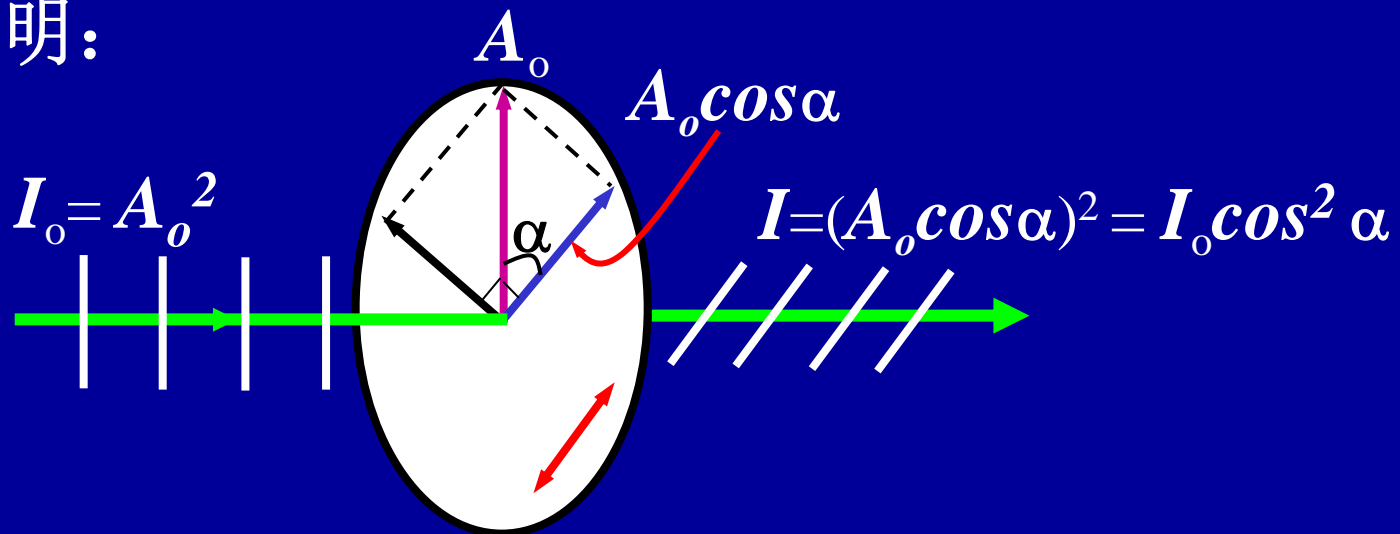
2. 马吕斯定律

马吕斯指出，强度为 I_0 的线偏振光，透过检偏片后，透射光的强度(不考虑吸收)为：

$$I = I_0 \cos^2 \alpha \quad \text{—— 马吕斯定律}$$

α 是入射线偏振光的光振动方向和偏振片偏振化方向之间的夹角。

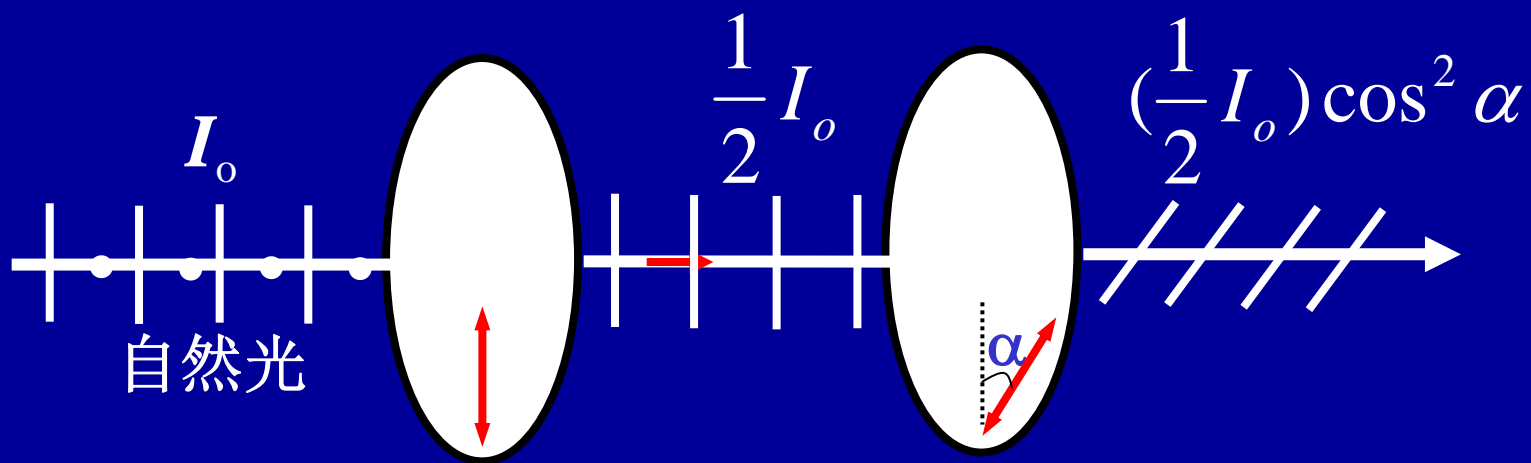
证明：





例2-1 自然光连续通过两个叠在一起的偏振片后，透射光强为入射光强的四分之一，求两个偏振片偏振化方向之间的夹角。

解： 设两偏振片偏振化方向间夹角 α ，于是

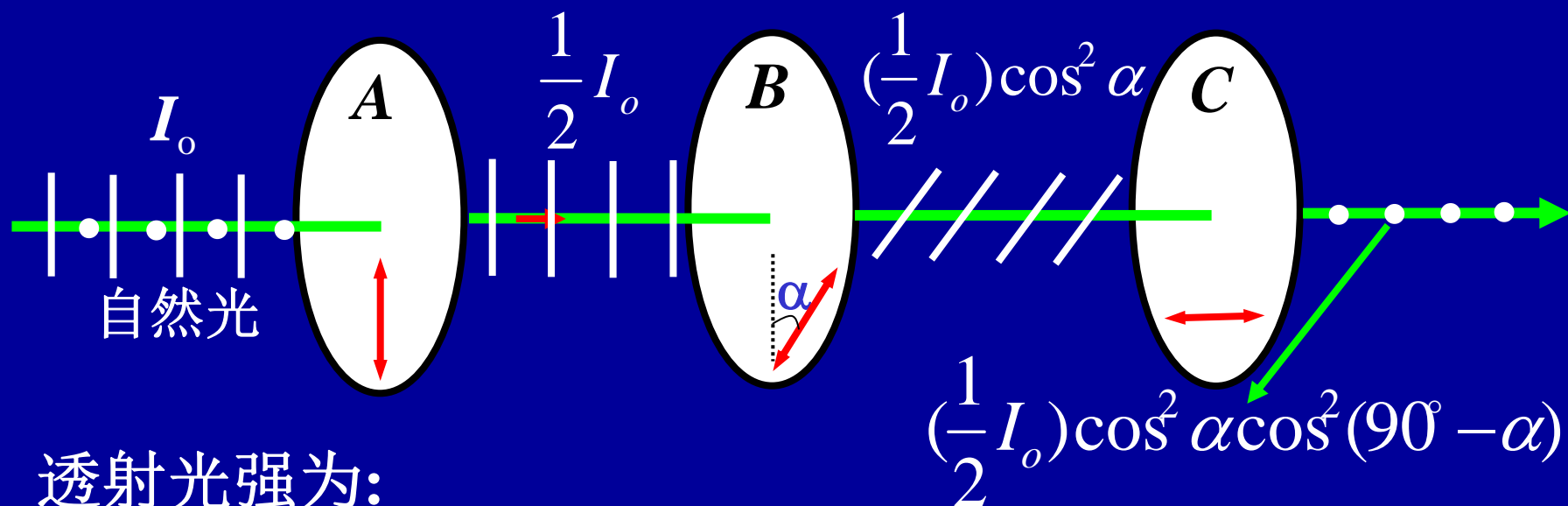


$$\text{由 } I = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \alpha = \frac{1}{4} I_0 \longrightarrow \alpha = 45^\circ \text{ (or } 135^\circ)$$



例2-2 强度为 I_0 自然光连续通过三个叠在一起的偏振片A、B、C， $A \perp C$ ，求最大透射光强。

解： 设偏振片A、B偏振化方向间夹角 α ，有



透射光强为：

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

可见最大透射光强为 $I_{\max} = \frac{1}{8}I_0$



例2-3 一束光是自然光和线偏振光的混合。当它通过一偏振片后，测得最大透射光强是最小透射光强的5倍，求入射光中自然光和线偏振光的光强之比。

解： 设入射光中自然光的光强为 I_1 ，线偏振光的光强为 I_2 ，则透射光强：

$$I_{\max} = \frac{1}{2} I_1 + I_2, \quad I_{\min} = \frac{1}{2} I_1$$

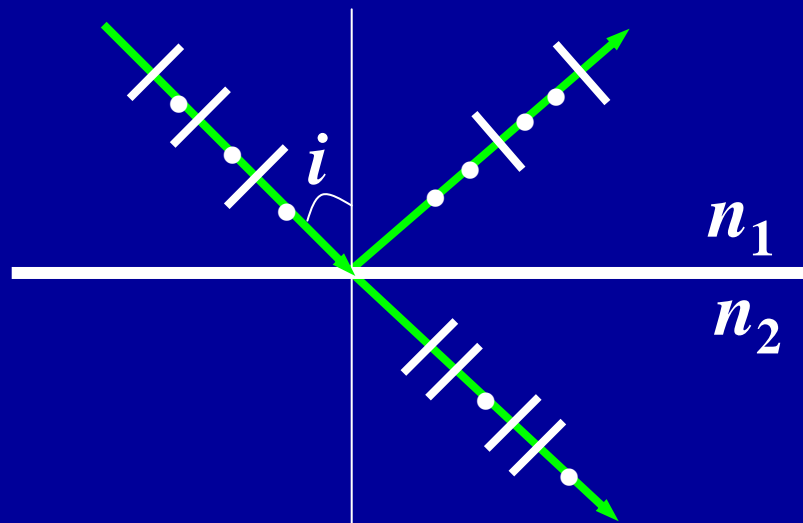
$$\therefore \frac{I_{\max}}{I_{\min}} = 5 = 1 + \frac{2I_2}{I_1}, \quad \frac{I_2}{I_1} = 2$$

即入射光中自然光和线偏振光的光强之比为**1:2**



§15.3 反射和折射时光的偏振

1. 反射和折射时光的偏振 布儒斯特定律



一般情况下，反射光和折射光都是部分偏振光：
在反射光中，垂直振动多于平行振动；
在折射光中，平行振动多于垂直振动。

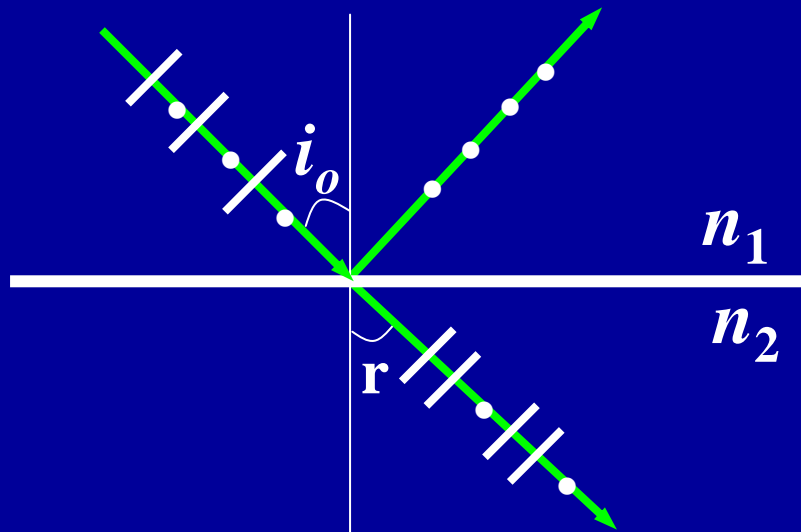
这里所说的“垂直”和“平行”是对入射面而言的。



方法二 利用布儒斯特现象获得线偏振光

1812年，布儒斯特由实验证明：当入射角 i_o 满足

$$\operatorname{tgi}_o = \frac{n_2}{n_1}$$



时，反射光成为只有垂直振动的线偏振光，这就是布儒斯特定律。角 i_o 称为布儒斯特角。

n_1 和 n_2 分别为入射媒质和折射媒质的折射率。



(1) 当以布儒斯特角入射时，反射光线 \perp 折射光线，即： $i_o + r = 90^\circ$

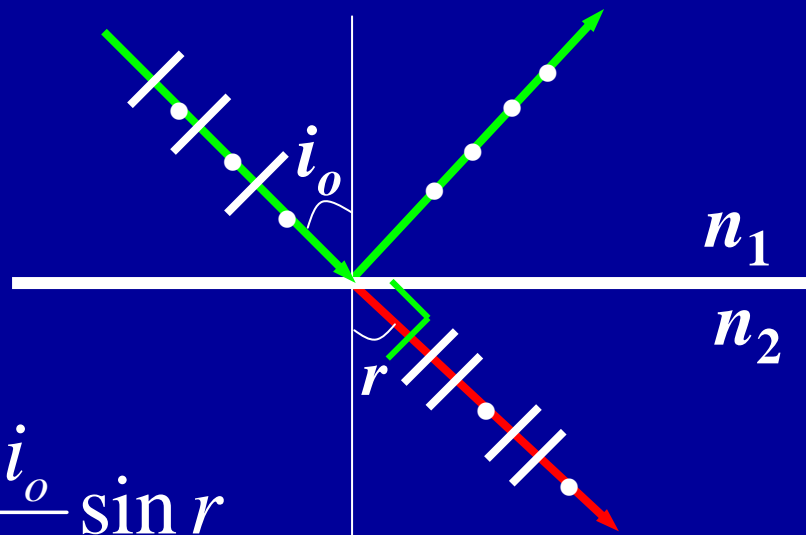
证： $n_1 \sin i_o = n_2 \sin r$

$$\operatorname{tgi}_o = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\therefore \sin i_o = \frac{n_2}{n_1} \sin r = \frac{\sin i_o}{\cos i_o} \sin r$$

所以： $\sin r = \cos i_o = \sin(90^\circ - i_o)$

于是有： $i_o + r = 90^\circ$ ，即反射光线 \perp 折射光线。

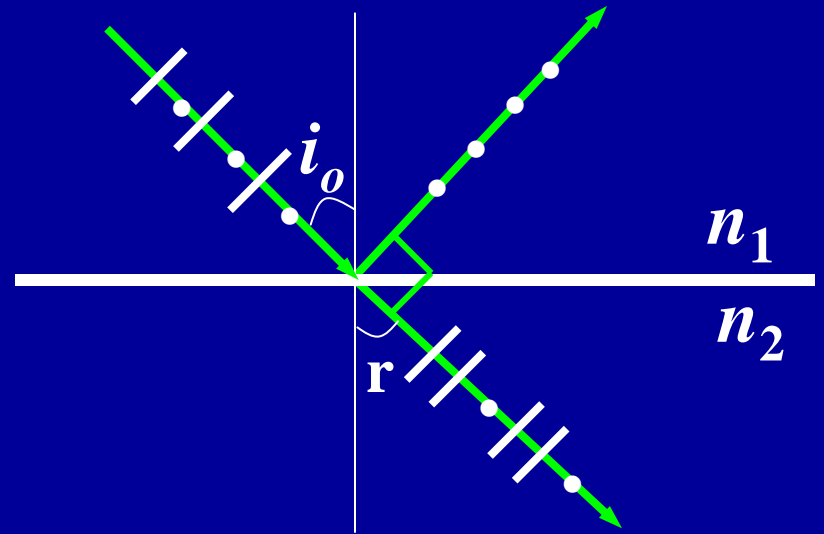




(2) 布儒斯特角不同于全反射的临界角。

当且仅当 $\operatorname{tgi}_o = \frac{n_2}{n_1}$ 时，反射光才是线偏振光，且 $n_1 > n_2$ 或 $n_1 < n_2$ 都可以。

而全反射：入射角 $i \geq i_{\text{临}}$ 都是全反射。由于 $\sin i_{\text{临}} = \frac{n_2}{n_1}$ ，故只有 $n_1 > n_2$ 才会发生全反射。





例 3-2 填空：(1) 平行光以 60° 的入射角由空气射向一平板玻璃，发现反射光是完全偏振光，则折射光的折射角为 30° ，玻璃的折射率为 $\sqrt{3} = 1.73$

解：因 $i_o + r = 90^\circ$ ，所以折射角 $r = 30^\circ$

$$\text{又} \quad \tan 60^\circ = \sqrt{3} = \frac{n_2}{n_1} = n_{\text{玻}}$$

(2) 某透明媒质对空气全反射的临界角为 45° ，则光从空气射向该媒质时的布儒斯特角为 54.7°

$$\text{解：} \sin 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{n_{\text{媒}}}, \quad \tan i_o = \frac{n_2}{n_1} = n_{\text{媒}} = \sqrt{2}$$

$$\text{所以 } i_o = \tan^{-1} \sqrt{2} = 54.7^\circ$$



方法三 利用双折射现象获得线偏振光

§15-4 光在晶体中的双折射

有些透明媒质，如玻璃、水、肥皂液等，不论光沿哪个方向，传播速度都是相同的，媒质只有一个折射率，这样的媒质称为**光学各向同性媒质**。

还存在另一类媒质，主要是透明晶体物质，如方解石(化学成分是 CaCO_3)、石英、云母、硫磺等，光在其中传播时，沿着不同方向有不同的传播速率，这样的媒质称为**光学各向异性媒质**。

光在晶体中的双折射现象就是光学各向异性的表现。



1. 双折射现象

光线进入光学各向异性媒质(如方解石)后产生两条折射光线的现象, 称为**双折射现象**。

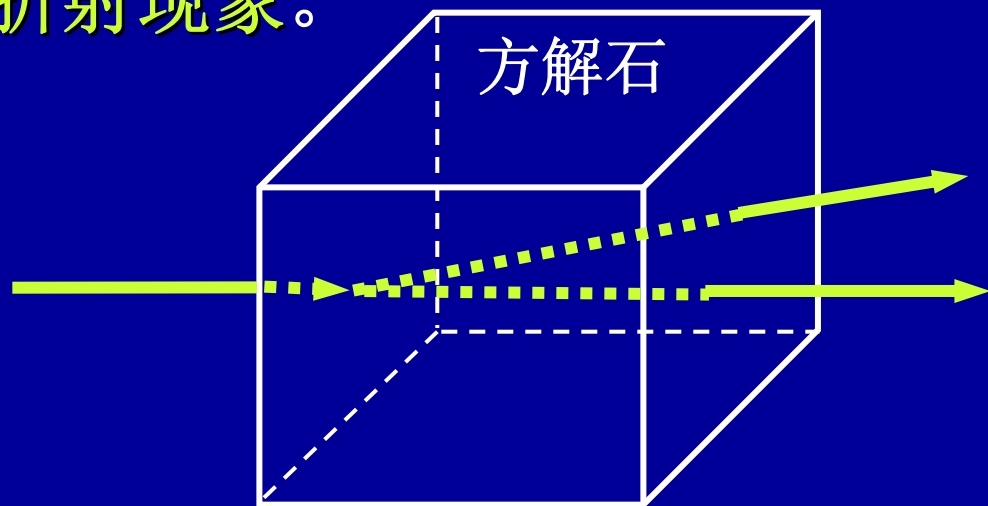
(1) o光和e光

两条折射光线中有一条遵守通常的折射定律

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

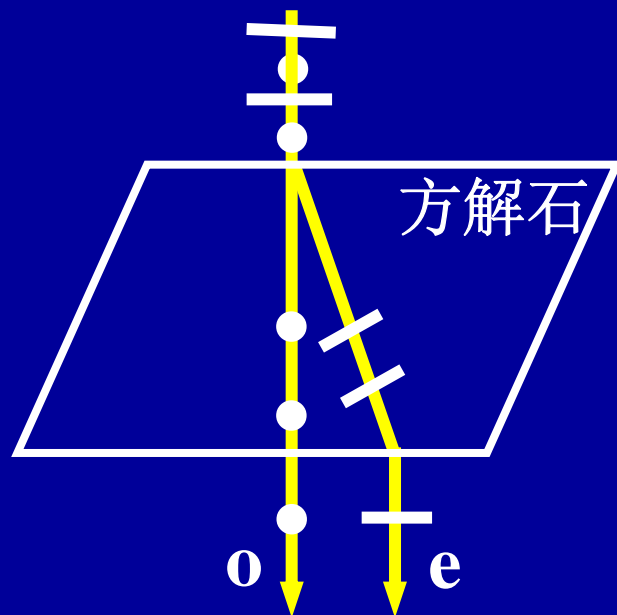
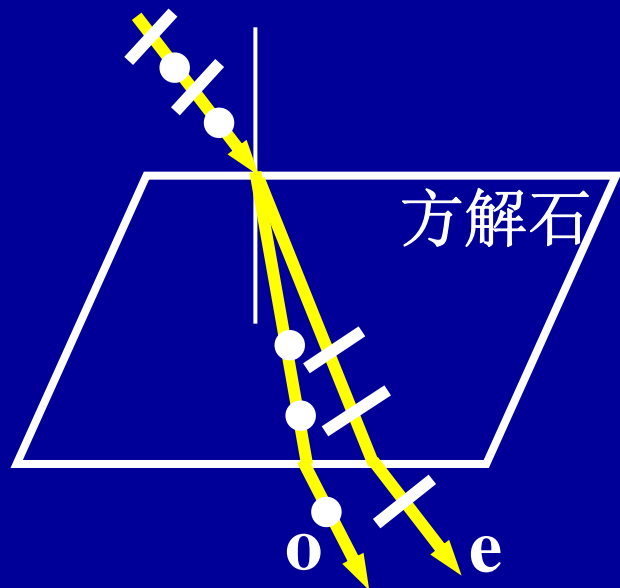
这条光线称为寻常光线(ordinary rays), 简称o光。

另一条光线不遵守通常的折射定律, 它不一定在入射面内, 称为非常光线, 简称e光。





(2) o光和e光都是线偏振光，振动方向相互垂直



(3) 产生双折射的原因：o光和e光的传播速度不同

o光在晶体中各个方向的传播速度相同，因而折射率 $n_o=c/v_o$ =恒量；e光在晶体中的传播速度 v_e 随方向变化，因而折射率 $n_e=c/v_e$ 是变量，随方向变化。

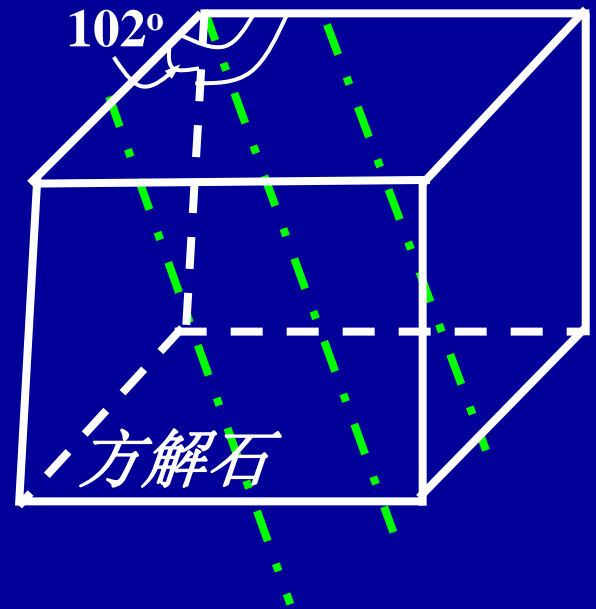
由于o光和e光的折射率不同，故产生双折射。



2. 光轴 主平面

实验发现，在晶体内部存在着某些特殊的方向，光沿着这些方向传播时，不发生双折射现象，这个特殊方向称为光轴。注意，光轴仅标志一定的方向，并不限于某一特殊的直线。

只有一个光轴的晶体为单轴晶体，如方解石、石英、红宝石等；有两个光轴的晶体为双轴晶体，如云母、硫磺、蓝宝石等。



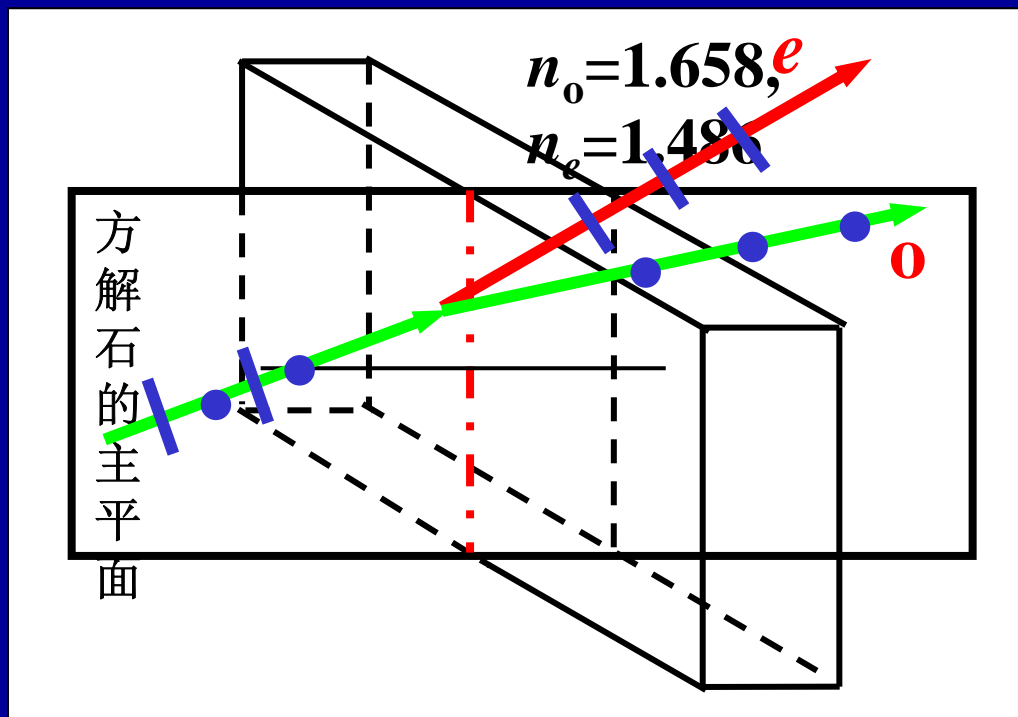


某光线的传播方向和光轴方向所组成的平面叫做该光线的主平面。

o光的光振动方向垂直于自己的主平面；

e光的光振动方向平行于自己的主平面；

o光和e光的光振动方向是相互垂直的。





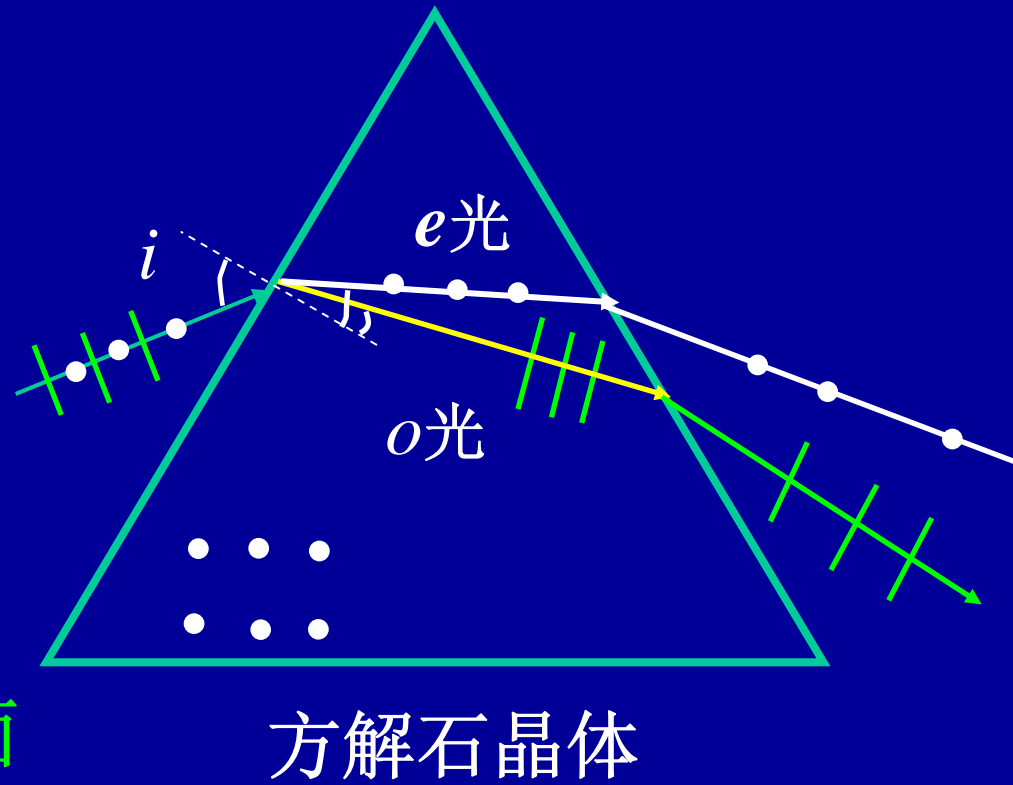
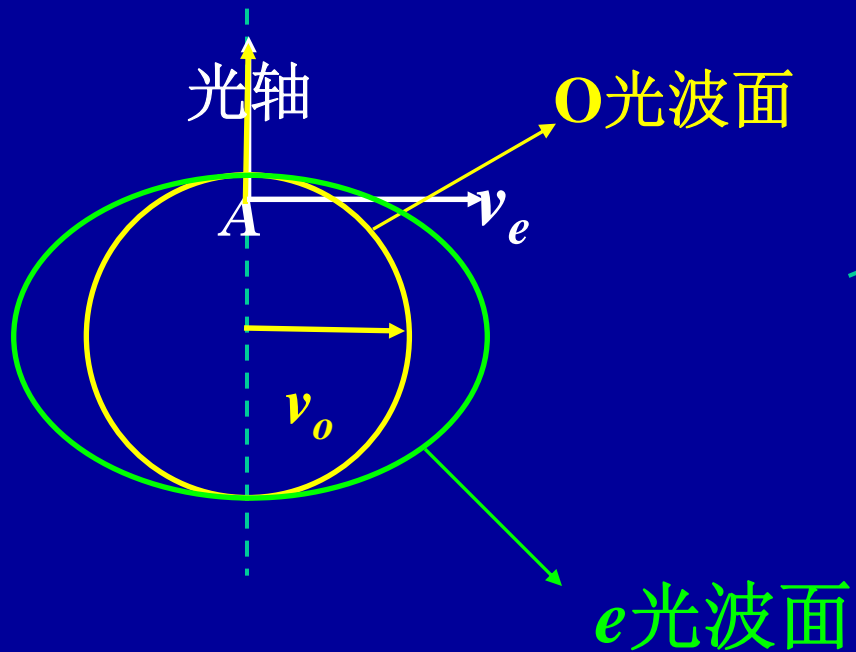
3. 惠更斯原理研究双折射现象

作图方法

1) o光在各个方向的传播速度相同，子波面应为球面；e光的传播速度随方向变化，可证明子波面为旋转椭球面。

2) o光和e光在光轴方向传播速度相同，故子波面在光轴方向相切；实验表明，在垂直于光轴的方向上速度相差最大。

3) 对负晶体(方解石)，在垂直于光轴的方向上， $v_o < v_e$ ， $n_o > n_e$ ，故e光的子波面(旋转椭球面)应包围o光的子波面(球面)。



方解石(负晶体)的子波波阵面

负晶体, o光, v_o 小于 v_e ; (折射角小)

O光的振动方向垂直于光轴