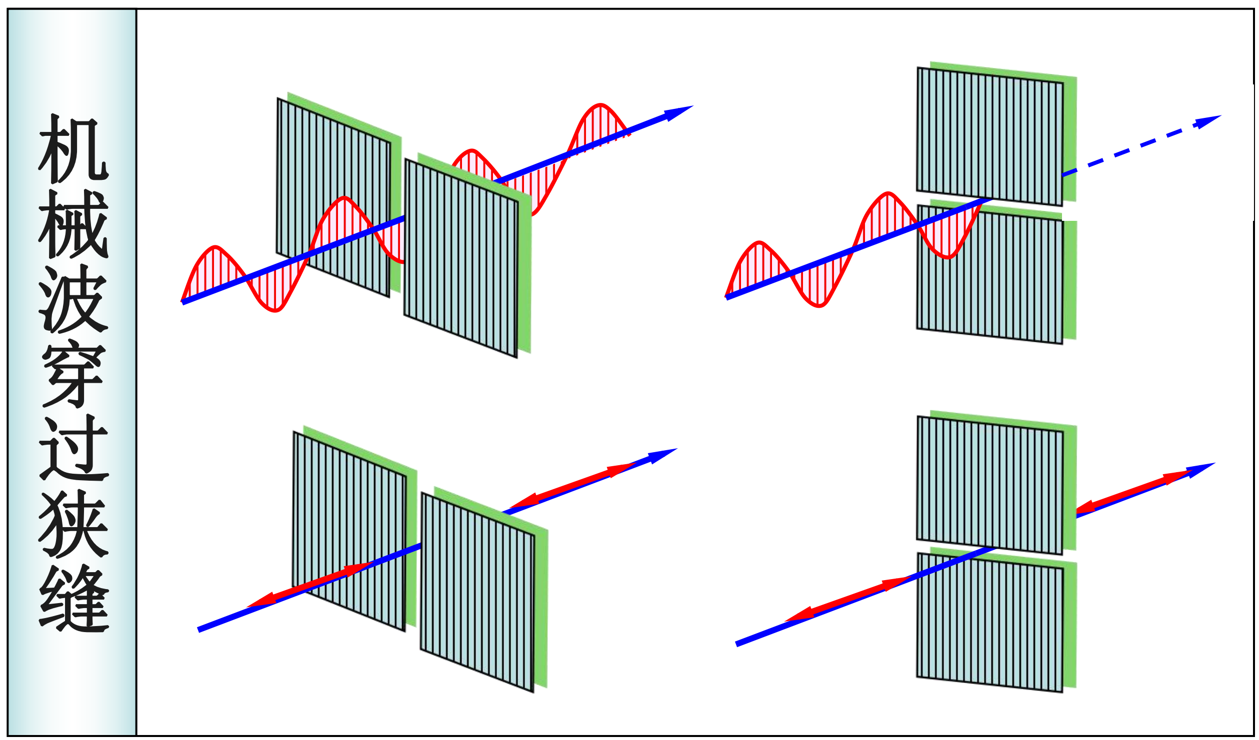
§5 光的偏振

光的干涉、衍射 ⟶ 光的波动性

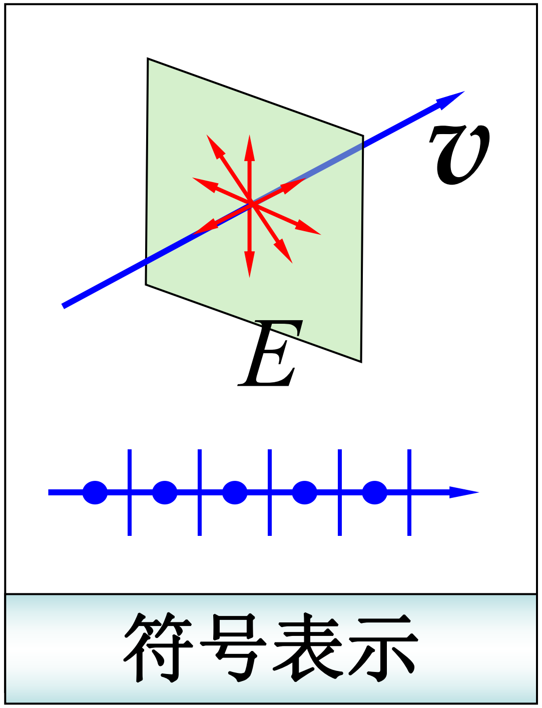
光的偏振 ⟶ 光波是横波

横波与纵波的区别



一、自然光和线偏振光

◈ 自然光：一般光源发出的光，包含各个方向的光矢量在所有可能的方向上的振幅都相等 .

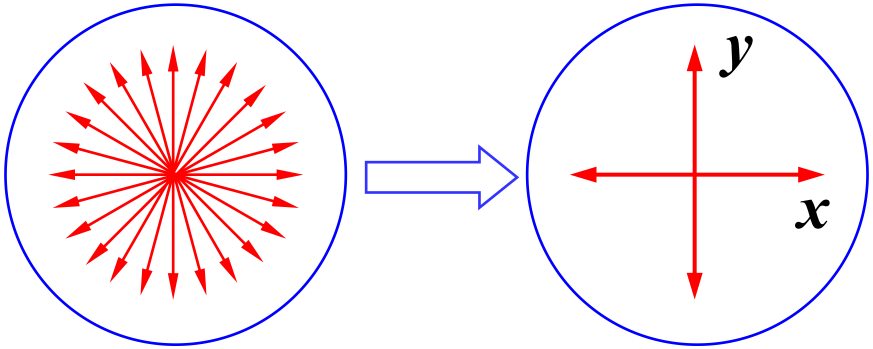


可以把光矢量分解为互相垂直的两个光矢量分量.

注意　1. 二互相垂直方向是任选的 .

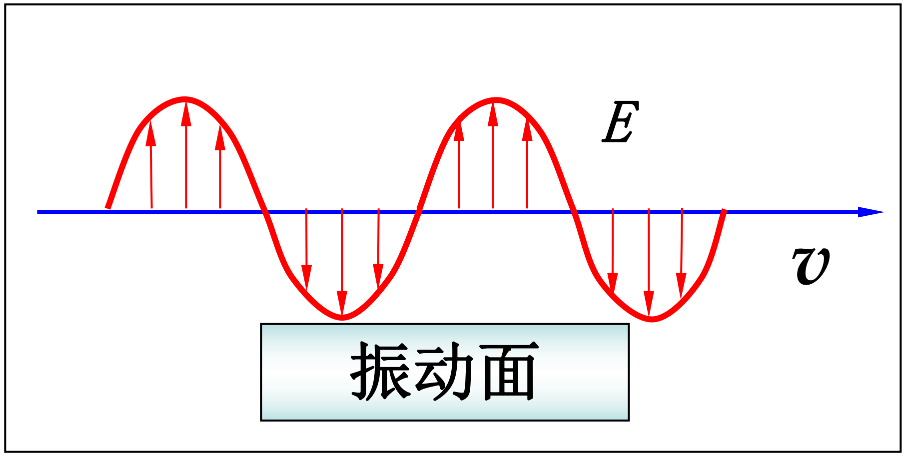
2. 各光矢量间无固定的相位关系 .

$$I_x = I_y = \frac{1}{2} I_0$$

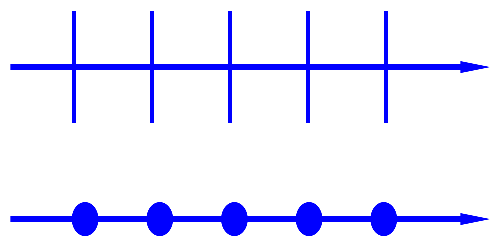


◈ **偏振光**（线偏振光或完全偏振光）

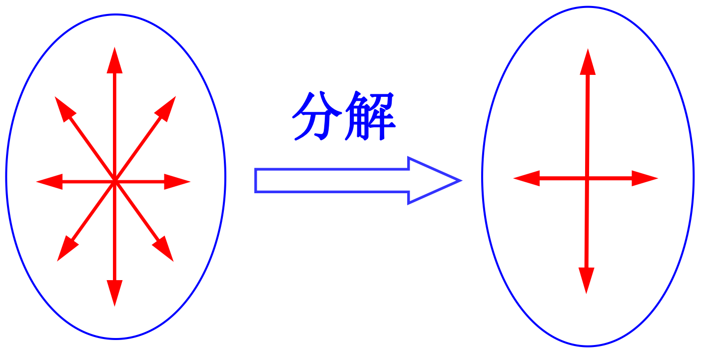
光振动只沿某一固定方向的光．



符号表示

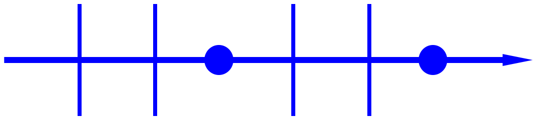


◈ **部分偏振光**：某一方向的光振动比与之垂直方向上的光振动占优势的光为部分偏振光．

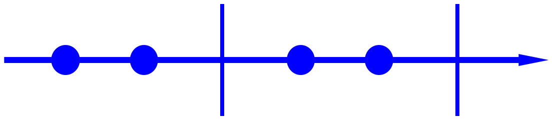


符号表示

//分量占优



⊥分量占优

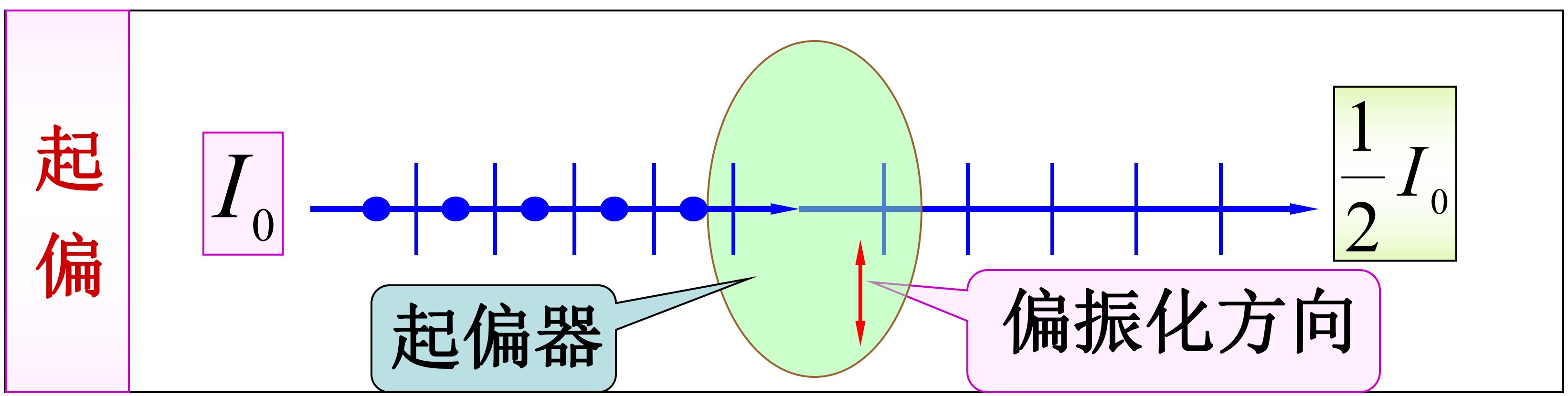


二、起偏和检偏

◈ **二向色性：某些物质能吸收某一方向的光振动， 而只让与这个方向垂直的光振动通过，这种性质称二向色性 .

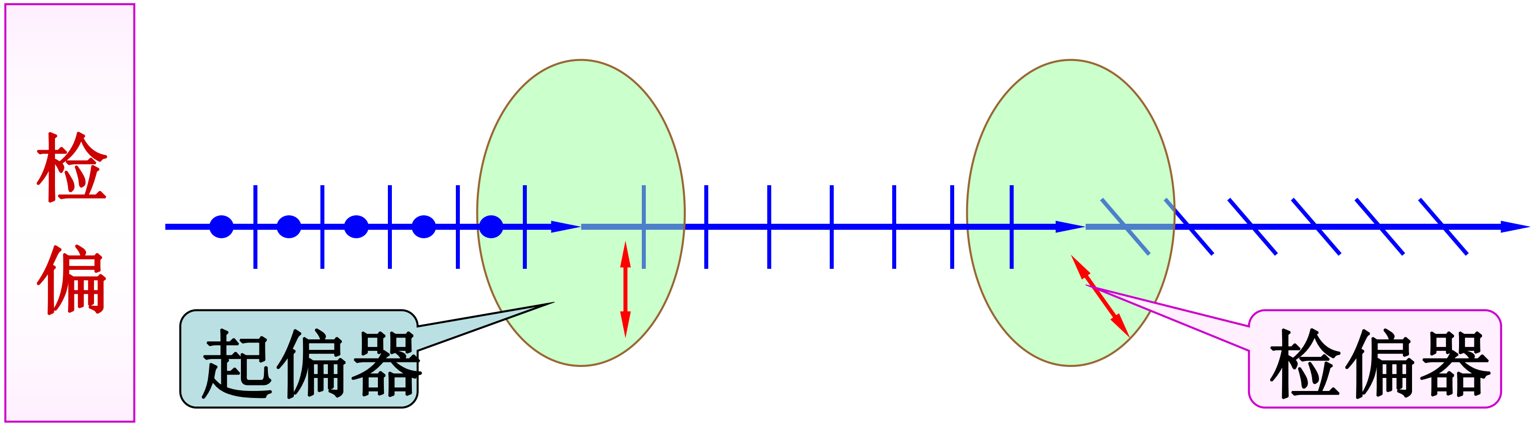
◈ 偏振片：涂有二向色性材料的透明薄片 .

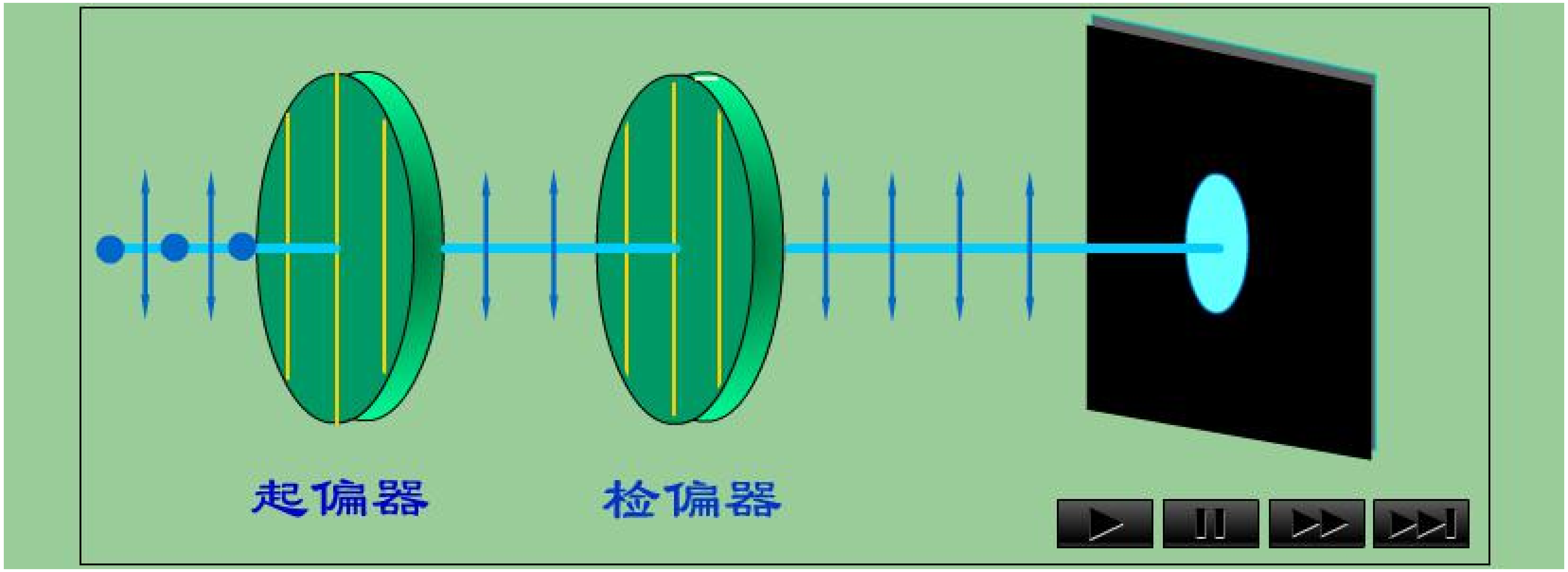
◈ 偏振化方向 ： 当自然光照射在偏振片上时，它只让某一特定方向的光通过，这个方向叫此偏振片的偏振化方向 .



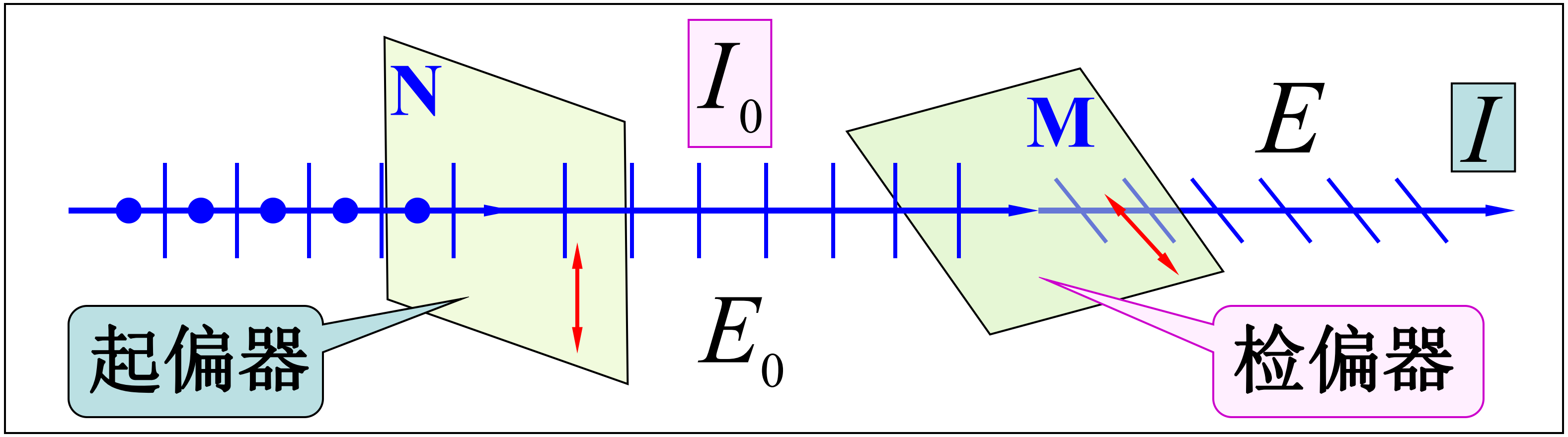
◈ **起偏器**：使自然光成为线偏振光的装置.

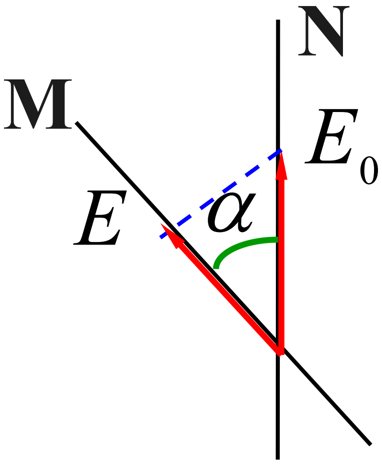
检偏器：检查某一光是否为偏振光的装置.





三、马吕斯定律（1808 年）





$$E = E_0 \cos\alpha$$

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

马吕斯定律

$$\boxed{I = I_0 \cos^2 \alpha}$$

例 有两个偏振片，一个用作起偏器，一个用作检偏器．当它们偏振化方向间的夹角为 30°时，一束单色自然光穿过它们，出射光强为 I_1；当它们偏振化方向间的夹角为60°时，另一束单色自然光穿过它们，出射光强为 I_2，且 $I_1 = I_2$．求两束单色自然光的强度之比．

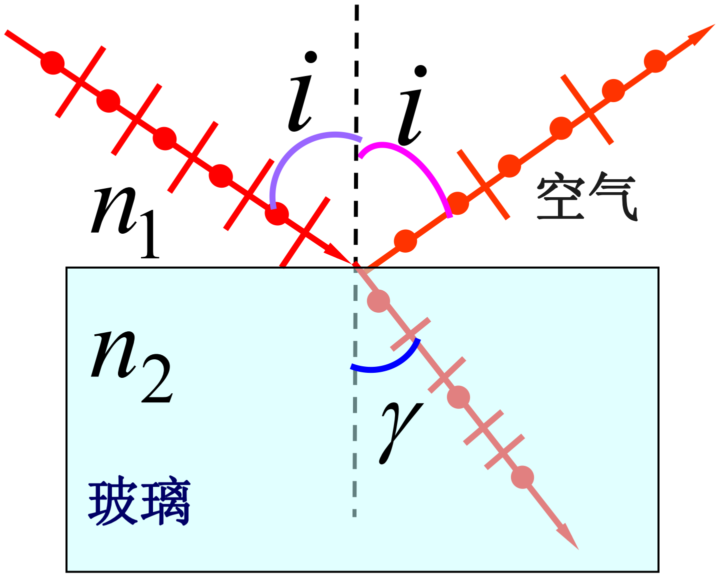
解 设两束单色自然光的强度分别为 I_{10} 和 I_{20}．

经过起偏器后光强分别为 $\dfrac{I_{10}}{2}$ 和 $\dfrac{I_{20}}{2}$

经过检偏器后 $I_1 = \dfrac{I_{10}}{2}\cos^2 30^\circ$　　$I_2 = \dfrac{I_{20}}{2}\cos^2 60^\circ$

$$\because I_1 = I_2 \quad \therefore \frac{I_{10}}{I_{20}} = \frac{\cos^2 60^\circ}{\cos^2 30^\circ} = \frac{1}{3}$$

四、布儒斯特定律



光反射与折射时的偏振

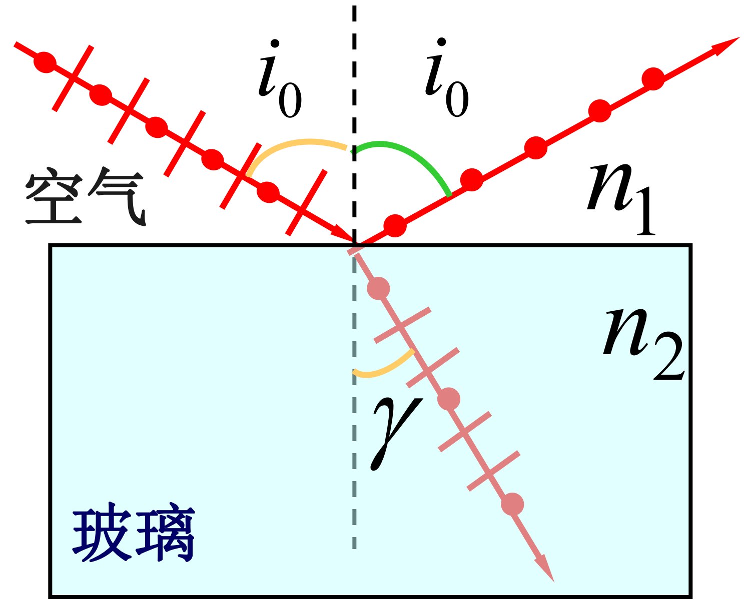
入射面：入射光线和法线所成的平面 .

- **反射光** 部分偏振光，垂直于入射面的振动大于平行于入射面的振动 .
- **折射光** 部分偏振光，平行于入射面的振动大于垂直于入射面的振动 .

理论和实验证明：反射光的偏振化程度与入射角有关 .

布儒斯特定律（1815年）

当 $\boxed{\tan i_0 = \dfrac{n_2}{n_1}}$ 时，



反射光为完全偏振光，且振动面垂直入射面，折射光为部分偏振光.

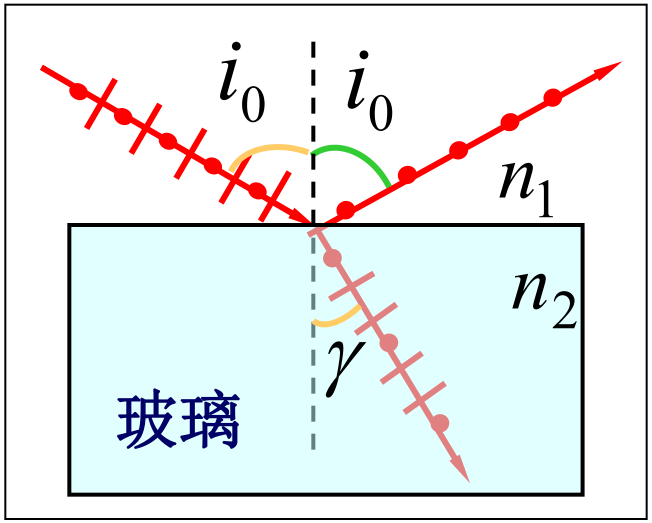
讨论：（1）反射光和折射光互相垂直 .

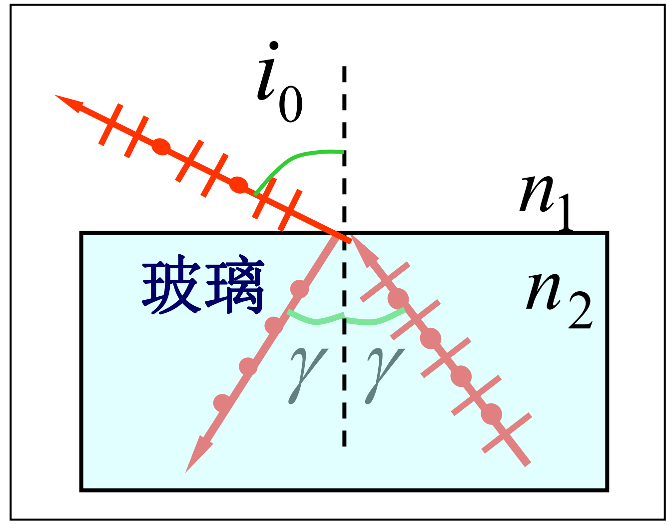
$$\frac{\sin i_0}{\boxed{\sin\gamma}} = \frac{n_2}{n_1} \qquad \tan i_0 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin i_0}{\boxed{\cos i_0}}$$

$$\cos i_0 = \sin\gamma = \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)$$

$$\boxed{i_0 + \gamma = \frac{\pi}{2}}$$

i_0 ：布儒斯特角，或起偏角

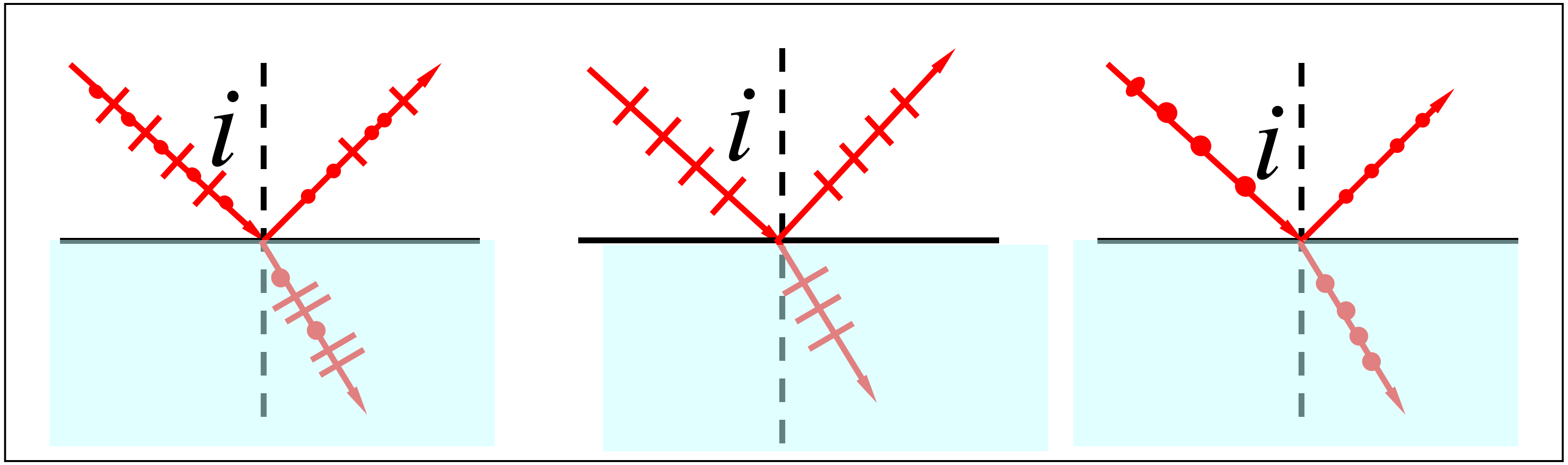




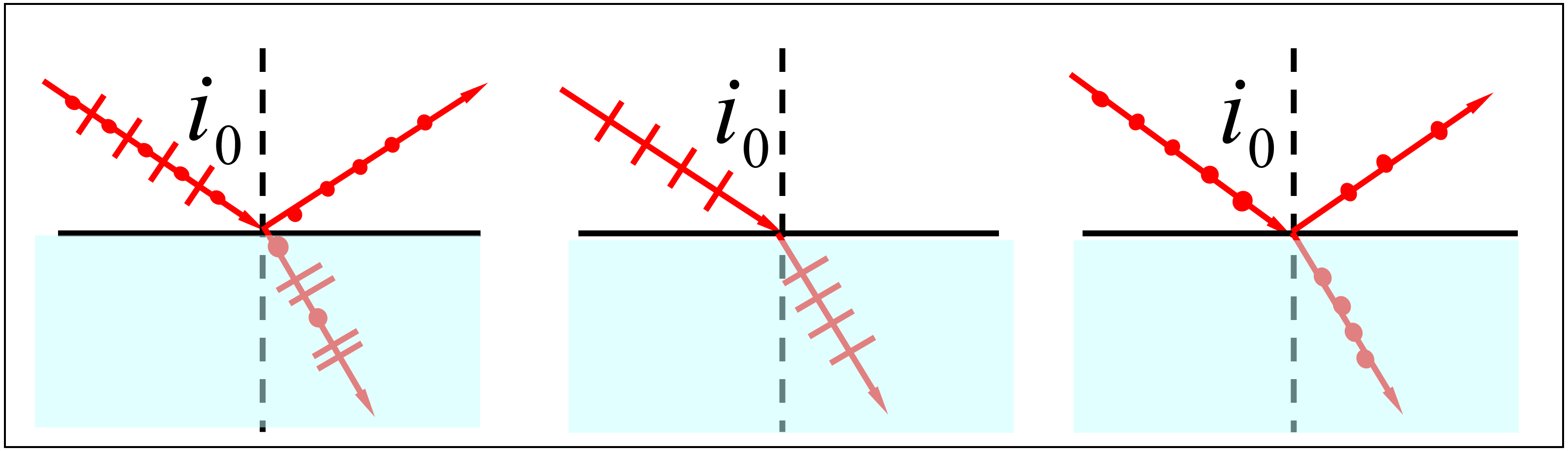
(2) 根据光的可逆性，当入射光以 γ 角从 n_2 介质入射于界面时，此 γ 角即为布儒斯特角 .

$$\cot i_0 = \boxed{\frac{n_1}{n_2}} = \tan\left(\frac{\pi}{2} - i_0\right) = \boxed{\tan\gamma}$$

讨论：反射和折射光的偏振态



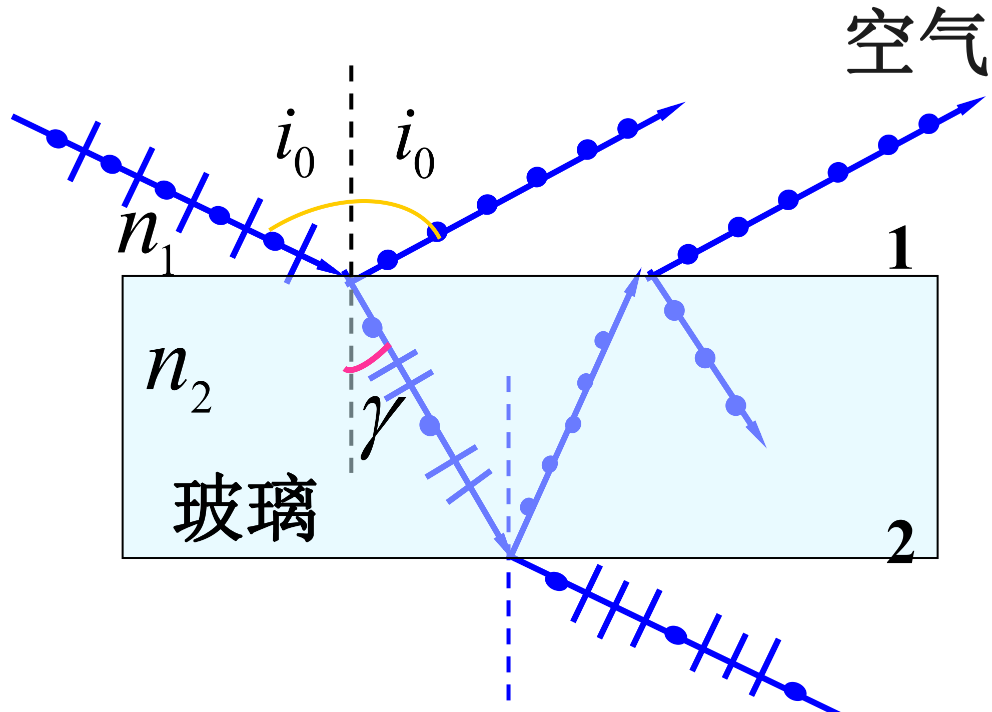
(起偏角 i_0)



例　一自然光自空气射向一块平板玻璃，入射角为布儒斯特角 i_0 ，问在界面 2 的反射光是什么光？

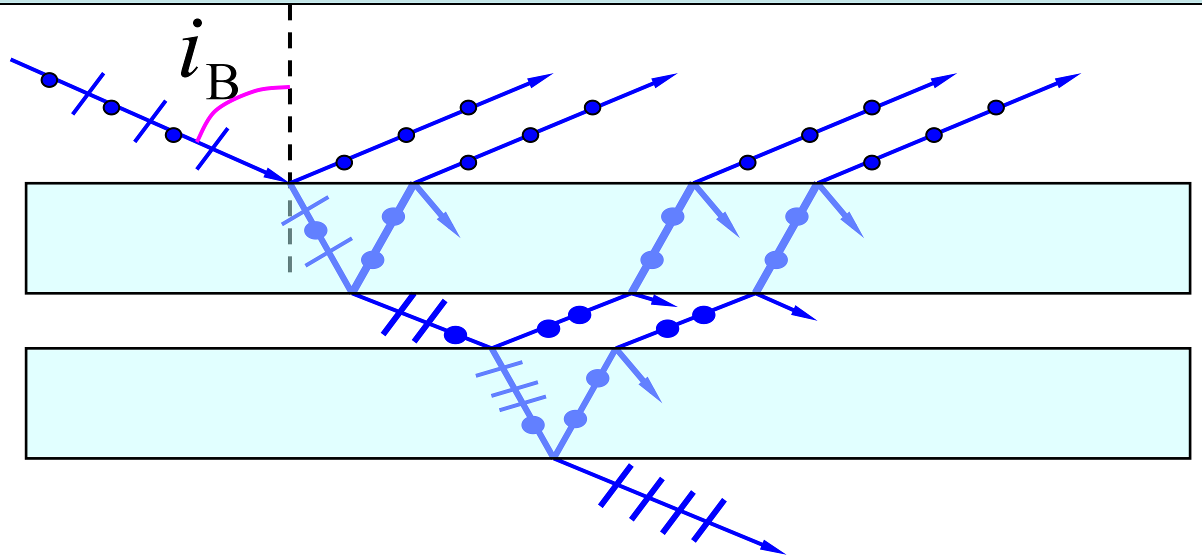
注意：一次起偏垂直入射面的振动仅很小部分被反射，所以反射偏振光很弱．

一般应用玻璃片堆产生偏振光.



对于一般的光学玻璃，反射光的强度约占入射光强度的7.5%，大部分光将透过玻璃.

利用玻璃片堆产生线偏振光



（A）

玻璃门表面的
反光很强

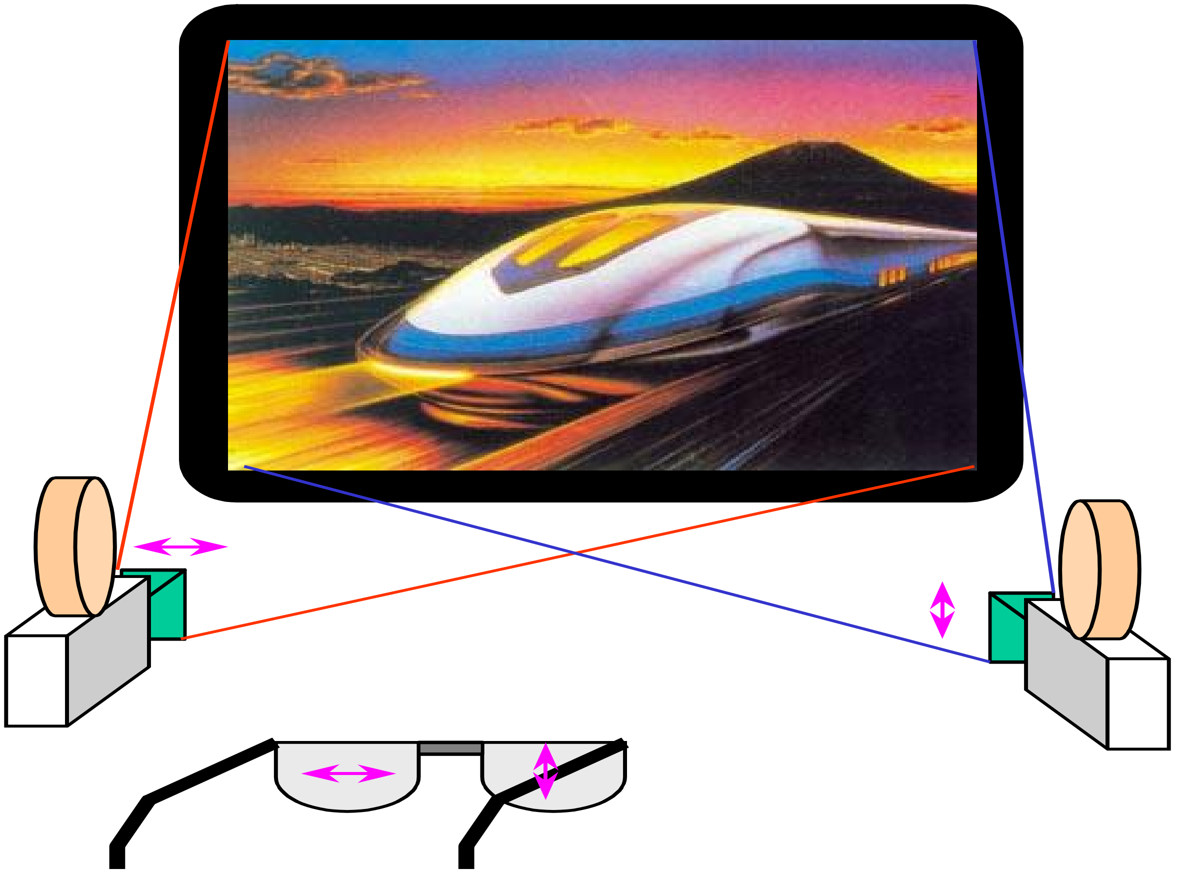
（B）

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


3D电影



振动、波动、波动光学内容总结

第九章 机械振动

1. 动力学方程

$$\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}+\omega^2x=0$$

2.运动学表达式

$$x=A\cos(\omega t+\varphi_0)$$

3. 简谐振动的解析描述

$$x=A\cos(\omega t+\varphi_0)$$

$$\upsilon=A\omega\cos\left(\omega t+\varphi_0+\frac{\pi}{2}\right)$$

$$a=A\omega^2\cos(\omega t+\varphi_0+\pi)$$

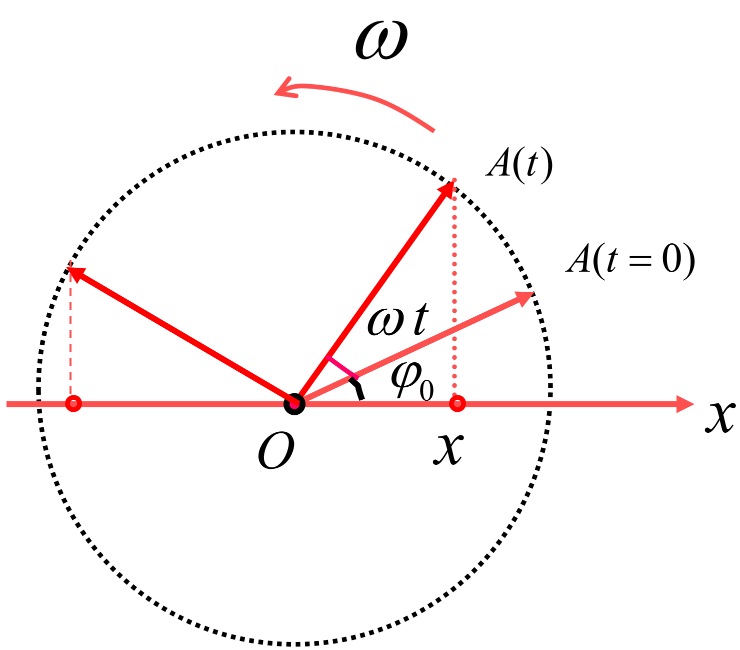
$$\upsilon=\frac{dx}{dt}=-A\omega\sin(\omega t+\varphi_0)$$

$$a=\frac{d\upsilon}{dt}=-A\omega^2\cos(\omega t+\varphi_0)$$

$$=-\omega^2x$$

4. 旋转矢量描述

$$x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$$



旋转矢量的运动图像：

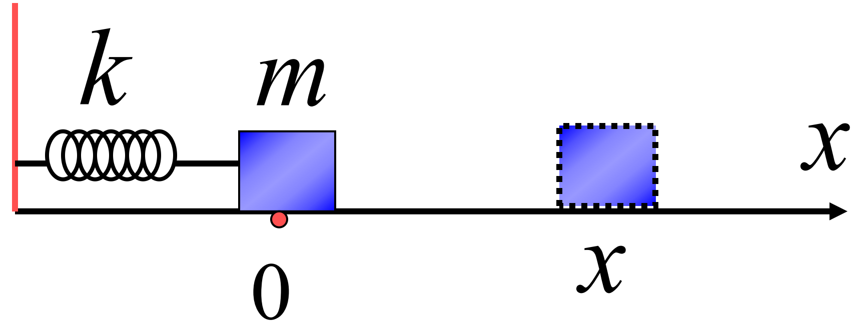
径矢的半径为：A

角速度为：ω

初角度为：φ_0

在x轴的投影为cos形式

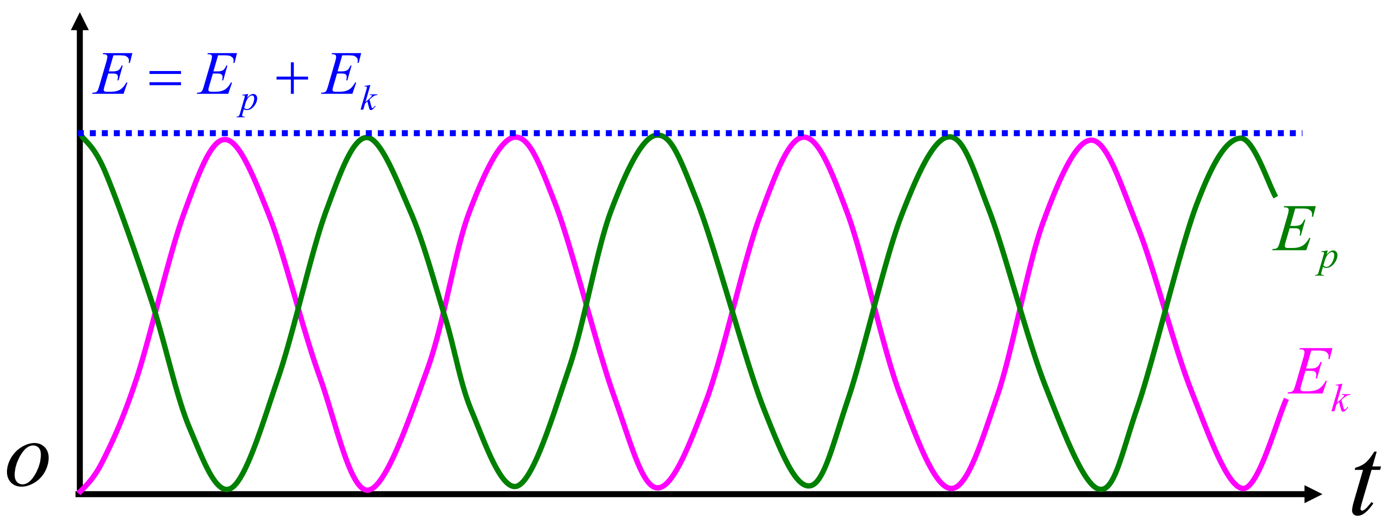
5. 简谐振动的能量



$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mA^2\omega^2\sin^2(\omega t + \varphi_0) = \frac{1}{2}kA^2\sin^2(\omega t + \varphi_0)$$

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2\cos^2(\omega t + \varphi_0) \qquad m\omega^2 = k$$

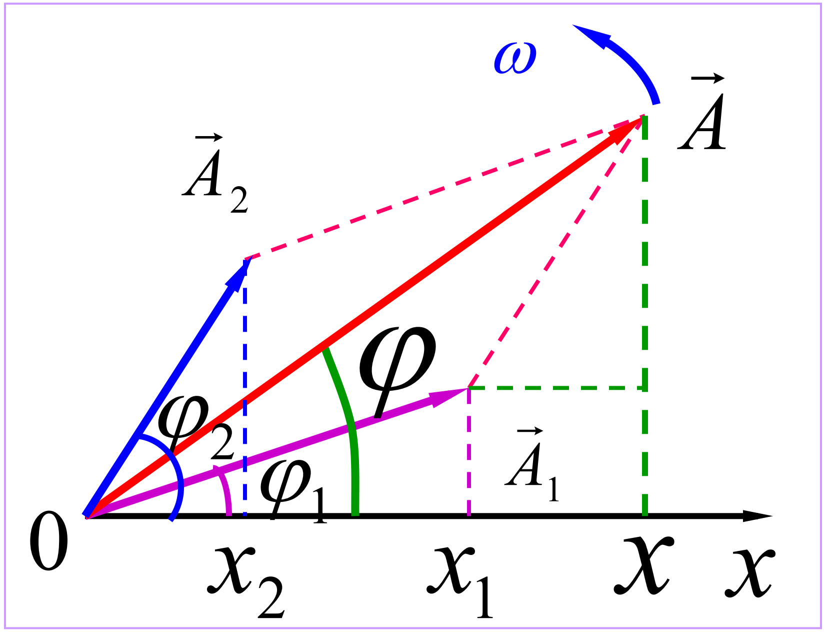
$$E_k + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mA^2\omega^2$$



6. 同方向、同振动频率简谐振动的合成

$$\begin{cases} x_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \\ x_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2) \end{cases}$$

$$x = x_1 + x_2$$



在t =0 时刻：

在任意t 时刻：

$$x = A\cos(\omega t + \varphi)$$

$$\begin{cases} A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)} \\ \mathrm{tg}\,\varphi = \dfrac{A_1 \sin\varphi_1 + A_2 \sin\varphi_2}{A_1 \cos\varphi_1 + A_2 \cos\varphi_2} \end{cases}$$

第十章 机械波

1.平面简谐波波函数

$$y = A\cos\left[\omega\left(t + \frac{x}{u}\right) + \varphi_0\right]$$

$$= A\cos\left[2\pi\left(\nu t \mp \frac{x}{\lambda}\right) + \varphi_0\right]$$

$$= A\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{T} \mp \frac{x}{\lambda}\right) + \varphi_0\right]$$

$$= A\cos\left[\omega t \mp \frac{2\pi}{\lambda}x + \varphi_0\right]$$

3. 波的能量

平面谐波的能量密度 $w=\rho\omega^2A^2\sin^2(\omega t-kx)$

平均能量密度 $\bar{w}=\frac{2}{T}\int_0^{T/2}w\mathrm{d}t=\frac{1}{2}\rho A^2\omega^2$

能流 $P=wuS$

平均能流 $\bar{P}=\bar{w}Su$ $\bar{P}=\bar{w}Su=\frac{1}{2}\rho A^2\omega^2Su$

能流密度 $I=\frac{\bar{P}}{S}=\bar{w}u=\frac{1}{2}\rho uA^2\omega^2$

4.惠更斯原理

波动传播到的任一点都可以看成是产生次级子波的波源，在其后的某一时刻，这些次级子波的包迹（包络线）就决定了新的波阵面。

5.波的干涉

$$y_1 = A_1 \cos\left(\omega t + \varphi_{10} - \frac{2\pi}{\lambda} r_1\right) \qquad y_2 = A_2 \cos\left(\omega t + \varphi_{20} - \frac{2\pi}{\lambda} r_2\right)$$

$$\therefore y = y_1 + y_2 = A\cos(\omega t + \varphi)$$

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\Delta\varphi}$$

$$\Delta\varphi = \varphi_{20} - \varphi_{10} - \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1)$$

$$\begin{cases} \Delta\varphi = \pm 2n\pi & A = A_1 + A_2 \quad \text{干涉加强} \\ \qquad (n = 0 \quad 1 \quad 2 \ldots\ldots) & \\ \Delta\varphi = \pm(2n+1)\pi & A = |A_1 - A_2| \quad \text{干涉减弱} \end{cases}$$

6. 驻波

$$y_1 = A\cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right) \qquad y_2 = A\cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

$$y = y_1 + y_2 = \left(2A\cos\frac{2\pi}{\lambda}x\right)\cos\omega t$$

$$A' = \left|2A\cos\frac{2\pi}{\lambda}x\right| \qquad x_{腹} = \pm k\cdot\frac{\lambda}{2} \qquad k = 0,\ 1,\ 2,\ \cdots$$

$$x_{节} = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{4}$$

7. 半波损失

——入射波在两种介质分界面处反射时，反射波相对入射波在分界面处有位相**π**的突变，相当于波程差了半个波长，把这种入射波在界面反射时发生的现象称为半波损失。

波动光学内容总结：

一、光的干涉

1.光的干涉：满足相干条件的两束光在空间相遇时，形成光强的非均匀的稳定分布。

2.获得相干光的方法

- 分波阵面法
  - 杨氏双缝
  - 劳埃德镜
- 分振幅法(薄膜干涉)
  - 等厚干涉
    - 劈尖干涉
    - 牛顿环
  - 等倾干涉

3.干涉条件

$$\delta=\begin{cases}\pm k\lambda & \text{相干加强}\\ \pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{相干减弱}\end{cases}\qquad (k=0,\ 1,\ 2,\ .\ .\ .\ )$$

$$\Delta\varphi=\frac{2\pi}{\lambda}\delta=\begin{cases}\pm 2k\pi & \text{相干加强}\\ \pm(2k+1)\pi & \text{相干减弱}\end{cases}\quad (k=0,\ 1,\ 2,\ .\ .\ .\ )$$

（1）双缝干涉：明暗相间的等间距的平行直条纹。

$$\delta=r_2-r_1=d\sin\theta=d\frac{x}{D}=\begin{cases}\pm k\lambda,\ k=0,1,2,\ldots & \text{明纹}\\ \pm(2k-1)\dfrac{\lambda}{2},\ k=1,2,\ldots & \text{暗纹}\end{cases}$$

明纹中心：$x=\pm k\dfrac{D}{nd}\lambda$

暗纹中心：$x=\pm(2k-1)\dfrac{D}{d}\lambda$

条纹间距：$\Delta x=\dfrac{D}{d}\lambda$

（2）等倾干涉

$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}\begin{cases}\text{明纹条件：} & \delta = k\lambda, (k = 1, 2, 3, \ldots) \\ \text{暗纹条件：} & \delta = (2k+1)\dfrac{\lambda}{2}, (k = 0, 1, 2, , \ldots)\end{cases}$$

（3）等厚干涉

➤劈尖干涉：条纹为与劈尖棱边平行的等间距条纹。

$$\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}\begin{cases}\text{明纹条件：} & \delta = k\lambda, \quad (k = 1, 2, 3, \ldots) \\ \text{暗纹条件：} & \delta = (2k+1)\dfrac{\lambda}{2}, \quad (k = 0, 1, 2, , \ldots)\end{cases}$$

条纹间距：$l \sin\theta = \dfrac{\lambda}{2n} = \Delta e_k$

- **牛顿环：**为同心圆形图样

$$\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2} \begin{cases} \text{明环条件：} \delta = k\lambda, \quad (k = 1, 2, 3, \ldots) \\ \text{暗环条件：} \delta = (2k+1)\dfrac{\lambda}{2}, \quad (k = 0, 1, 2, , \ldots) \end{cases}$$

明环半径：$r = \sqrt{\dfrac{(2k-1)R\lambda}{2n}} \quad (k = 1, 2, 3, \ldots)$ 暗环半径：$r = \sqrt{\dfrac{kR\lambda}{n}} \quad (k = 0, 1, 2, \ldots)$

二、光的衍射

1.惠更斯--菲涅耳原理：子波相干叠加

2.单缝衍射：

$$a\sin\theta=\begin{cases}\pm 2k\cdot\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗纹}\\ \pm(2k+1)\cdot\dfrac{\lambda}{2} & \text{明纹}\end{cases}\qquad (k=1,2,\ldots)$$

近似公式——

➢中央明纹的角宽度

中央明纹介于两侧第一级暗纹之间，即 $-\lambda < a\sin\theta < \lambda$

$$\because \sin\theta\approx\theta \qquad \therefore \Delta\theta_{中}=\theta_{+1暗}-\theta_{-1暗}=\frac{2\lambda}{a}$$

➢中央明纹的线宽度 $\Delta x\approx\Delta\theta_{中}\cdot f=\dfrac{2\lambda}{a}f$

➢其它级次明纹的角宽度 $\Delta\theta=|\theta_1|\approx\dfrac{\lambda}{a}\quad \Delta x\approx\dfrac{\lambda}{a}f$

3.光栅衍射：多缝干涉受单缝衍射调制的结果

光栅方程

$$(a+b)\sin\theta = k\lambda$$ 主极大明纹

$$k = \frac{a+b}{a}k'(k' = \pm1,\pm2,\ldots)$$ ——缺级条件

三、光的偏振

1.自然光与偏振光

自然光、线偏振光、部分偏振光

2. 获得线偏振光的方法：偏振片起偏；反射折射起偏

3.马吕斯定律： $I = I_0 \cos^2 \theta$

4. 布儒斯特定律： $\tan i_0 = \dfrac{n_2}{n_1}$ $\quad i_0 + \gamma = \dfrac{\pi}{2}$