# 大学物理知识串讲 (二)

谢悦晋

提高 2201 班
u202210333@hust.edu.cn

2024 年 1 月 2 日

# 小广告

问问题和找试卷的群


# 基本定义

- 波的分类：机械波与电磁波，横波纵波与混合波
- 波动方程：

$$y = A\cos[\omega(t - \frac{x}{u}) + \varphi] = A\cos[\omega t - 2\pi\nu/\lambda + \varphi] = A\cos[\omega t - kx + \varphi]$$

- 波长 $\lambda$
- 周期 $T$，频率 $\nu$：$T_{\text{波动}} = T_{\text{振动}}$
- 波速 $u = \dfrac{\lambda}{T}$
- 波数 $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{uT} = \frac{\omega}{u}$: 在波的传播方向上 $2\pi$ 长度内包含的波长的个数
- 波的传播方向：左行波与右行波

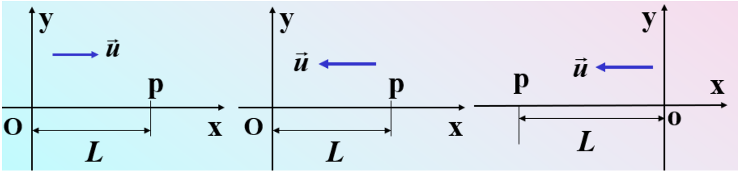
# 波动方程的求法

## 核心思想

任意点 P$t$ 时刻的位相 $=$ 参考点 $t-\Delta t$ 时刻的位相

## 例

一平面简谐波在媒质中以速度 u 传播，其传播路径上 P 点的振动方程为 $y_p = A\cos\omega t$，试按照下图中所选择的几种坐标写出波动表达式。(P 点与 O 点距离为 L)。



# 波的能量

结论: 1. 每一质元 $\Delta m$ 的总能量是时间和位置的函数! ——能量也以速度 $u$ 随波一起传播

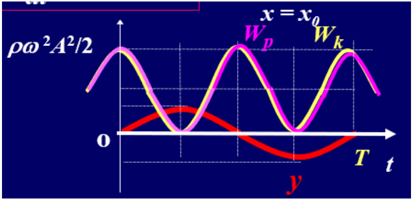
$$\Delta W_k = \frac{1}{2}\Delta m(\frac{\partial y}{\partial t})^2 = \frac{1}{2}\rho\Delta V\omega^2 A^2\sin^2(\alpha t - kx + \varphi)$$

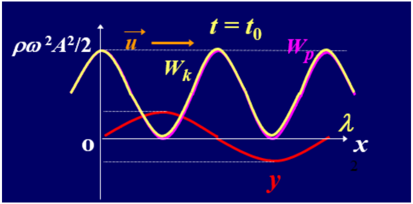
$$\Delta W_p = \frac{1}{2}\Delta V\rho\omega^2 A^2\sin^2(\omega t - kx + \varphi) = \Delta W_k$$

$$\Delta W = \Delta W_k + \Delta W_p = \rho\Delta V\omega^2 A^2\sin^2(\omega t - kx + \varphi)$$

固定 $x$: $W_k = W_p$
固定 $t$: $W_k, W_p$ 随 x 周期分布,$y = 0, W_k = W_p$ 最大, $y$ 最大 $W_k, W_p$ 为 0

# 波的能量


$x = x_0$
$W_p$
$W_k$
$\rho\omega^2 A^2/2$
0
$T$
$t$
$y$


$\rho\omega^2 A^2/2$
$\vec{u}$
$t = t_0$
$W_k$
$W_p$
$\lambda$
0
$x$
$y$

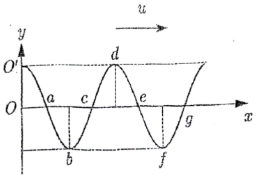
# 波的能量

2. 质元 $\Delta m$ 的动能和势能**同相变化**，而且始终具有相同数值，质元在平衡位置时，具有最大能量

## 例

4、一列机械横波在 $t$ 时刻的波形曲线如图所示，则该时刻弹性势能为最大值的介质质元的位置是

(　　)




A、$O',b,d,f$　　B、$a,c,e,g$　　C、$O',d$　　D、$b,f$

# 波的能量

几个有关波能量的公式 (应该不会考):

- 能量密度：媒质单位体积内的能量

$$w = \frac{\Delta W}{\Delta V} = \rho \boldsymbol{\omega}^2 A^2 \sin^2(ot - kx + \varphi)$$

- 能流密度: 单位时间通过垂直传播方向的单位截面上的能量

$$i = wu = \rho\omega^2 A^2 u \sin^2(\omega t - kx + \varphi)$$

- 波的强度: 平均能流密度

$$I =< i >= \frac{1}{T}\int_0^T idt = \frac{1}{2}\rho\omega^2 A^2 u \propto A^2$$

# 惠更斯原理

内容：媒质中任一波阵面上的各点，都可以看作是发射子波的波源，其后任一时刻，这些子波的包迹就是新的波阵面 (没考过，掌握课件中的几个例子应该足够了)

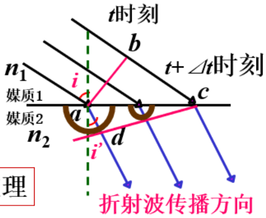
## 例

**用惠更斯证明折射定律**

$bc = c_1\Delta t,\quad ad = c_2\,\Delta t$

$bc = ac\sin i,\quad ad = ac\sin i'$

$\Rightarrow \boxed{\dfrac{\sin i}{\sin i'} = \dfrac{bc}{ad} = \dfrac{c_1}{c_2} = \dfrac{n_2}{n_1}}$ 折射定理



# 波的叠加与干涉

波的叠加原理：在几列波相遇的区域中，质元的振动是各个波单独在该点产生的振动的合成。(空间不同位置处各质元振动的叠加)

波叠加的特例：波的干涉

稳定干涉产生的条件 (相干条件)：相干波源发出的波在空间相遇时产生干涉，相干波源必满足

- **频率相同**
- **振动方向相同**
- **相位差恒定**

两波源的相同方向振动的**振幅相近或相等**时干涉现象明显。

# 波的干涉

## 重要公式

波源 $S1: y_1 = A_1\cos(\omega t + \varphi_1)$, $S2: y_2 = A_2\cos(\omega t + \varphi_2)$，任意点 P 的振动方程： $y_p = y_{1p} + y_{2p} = A\cos(\omega t + \varphi)$，其中：

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

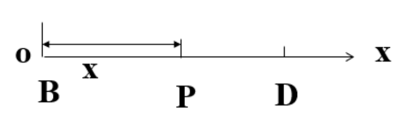
$$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 = -\frac{2\pi(r_2 - r_1)}{\lambda} + \varphi_2 - \varphi_1$$

- $\Delta\phi = \pm 2n\pi$ 振动加强
- $\Delta\phi = \pm(2n+1)\pi$ 振动减弱

# 波的干涉

## 例

两波源 B 和 D 具有相同的振动方向和振幅，$\varphi_D - \varphi_B = \pi$，其发出的两列平面简谐波沿相反方向传播。频率均为 100Hz，波速 400ms$^{-1}$。B 在坐标原点处，BD=30m。求 (1) 两波源的振动方程。(2)BD 连线上因干涉而静止的点的位置。



# 波的干涉

解:(1)设 $t=0$, B的初位相为 $\varphi_B=0$ ,则 $\varphi_D=\pi$

$$y_B=A\cos(\omega t+\varphi_B)=A\cos 200\pi t \quad y_D=A\cos(\omega t+\varphi_D)=A\cos(200\pi t+\pi)$$

(2) 设 $BP=x$ 则 $y_B=A\cos\omega(t-\frac{BP}{u})=A\cos 200\pi(t-\frac{x}{400})$

$$y_D=A\cos[\omega(t-\frac{DP}{u})+\pi]=A\cos[200\pi(t-\frac{30-x}{400})+\pi]$$

$$\Delta\varphi=[200\pi(t-\frac{30-x}{400})+\pi]-[200\pi(t-\frac{x}{400})]=(2k+1)\pi$$

化简得：$x=2k+15$ 因为： $x<30$

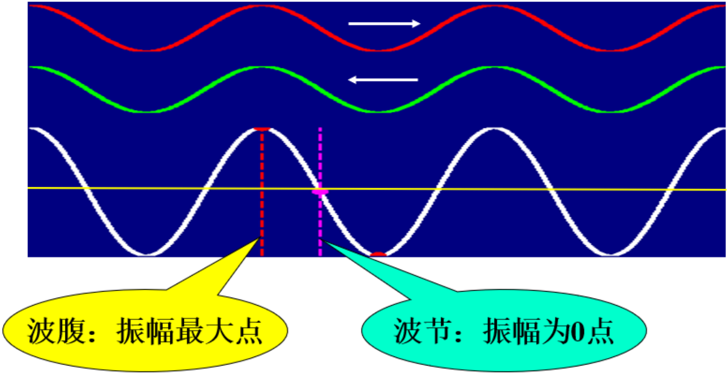
所以k的取值为 $k=0,\pm1,\pm2,\ldots,\pm7$

干涉静止的位置为 $x=1m, 3m, \ldots, 29m$

$$\Delta\phi=\Delta\varphi-\frac{2\pi}{\lambda}\Delta r=\pm(2n+1)\pi$$ **更简便**

# 驻波

定义：两列振幅相等的相干波相向而行，在相遇的区域迭加干涉，形成驻波.



# 驻波

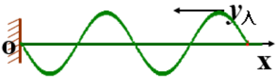
## 驻波方程

设两列波为平面余弦波 $y_1 = A\cos\omega(t-\frac{x}{u}), y_2 = A\cos\omega(t+\frac{x}{u})$,
则合成波： $y = y_1 + y_2 = 2A\cos\frac{\omega}{u}x\cdot\cos\omega t$, 其中 $A_{驻} = 2A\cos\frac{\omega}{u}x$
描述每个固定点的振幅

- 波腹位置： $A_{驻} = 2A, x = \pm(2n+1)\frac{\lambda}{4}$
- 波节位置： $A_{驻} = 0, x = \pm n\frac{\lambda}{2}$
- 驻波的位相关系: 相邻波节之间的各点同相，任一波节两侧的质点反相.

振动状态不传播, 因此驻波中没有净能量传递，能流密度为 0。
波形不动，分段振动 (故而‘驻’波)

# 驻波中的半波损失




设入射波：$y_入=A_入\cos\omega(t+\frac{x}{u})$

反射波为：$y_反=A_反\cos\omega(t-\frac{x}{u})$

固定点$o$的振动：$y_{0合}=(A_入+A_反)\cos\omega t=0$ 则：$A_入=-A_反$

$$y_反=A_反\cos\omega(t-\frac{x}{u})=-A_入\cos\omega(t-\frac{x}{u})=A_入\cos[\omega(t-\frac{x}{u})+\pi]$$

在 $x=0$处， $y_入|_{x=0}=A_入\cos\omega t$  $y_反|_{x=0}=A_入\cos(\omega t+\pi)$

入射波在界面发生反射时有$\pi$的位相突变

$$\Delta\phi=\frac{\omega\Delta r}{u}=\frac{2\pi}{\lambda}\Delta x=\pi \qquad \Delta x=\frac{\lambda}{2}$$

称为：半波损失

入射波由波疏媒质→波密媒质：有半波损失(波节,固定端)

由波密媒质→ 波疏媒质：无半波损失(波腹,自由端)

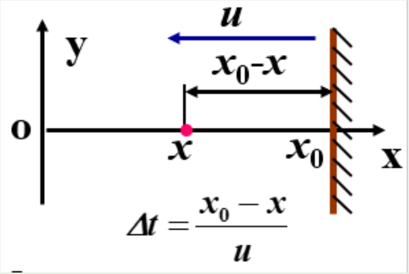
波由波疏媒质传到波密媒质，

在分界面上发生 反射时，反射点一定是波节。

# 驻波

## 例

平面简谐波 $y = A\cos(\omega t - kx)$ 在 $x_0 = 4\lambda$ 处 (固定端) 反射，求 (1) 反射波的波函数；(2) 驻波的波函数；(3)0 与 $x_0$ 处之间的各个波节和波腹的位置。



# 多普勒效应

$$\boxed{\nu' = \frac{u \pm v_o}{u \mp v_s}\nu}$$

$v_o$ 观察者向波源运动 $+$，远离 $-$.

$v_s$ 波源向观察者运动 $-$，远离 $+$.

**例**

A、B 为两个汽笛，其频率皆为 500Hz，A 静止，B 以 60m/s 的速率向右运动. 在两个汽笛之间有一观察者 O，以 30m/s 的速度也向右运动. 已知空气中的声速为 330m/s，求：(1) 观察者听到来自 A 的频率 (2) 观察者听到来自 B 的频率 (3) 观察者听到的拍频

# 电磁波与电磁振荡

给定电场波动方程会求磁场方程，反之一样
$\vec{E}, \vec{H}$ 的变化是同步的，位相相同，数量（幅值）关系为：

$$\sqrt{\varepsilon}E = \sqrt{\mu}H$$

$\vec{E}\perp\vec{H}\perp\vec{u}$, $\vec{E}\times\vec{H}$ 的方向就是 $u$ 的方向 $\vec{E}$ $\vec{H}$ 在各自的平面上振动，是横波

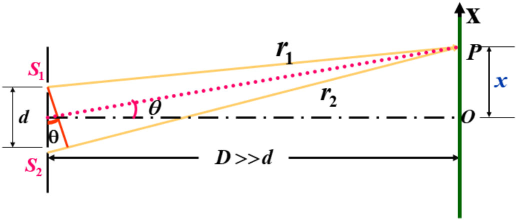
**例**

已知 $H_x = -H_0 \cos\omega(t + \frac{Z}{c}), H_y = H_z = 0$ 写出 $\vec{E}$ 的波动方程
已知 $E_y = 800 \cos\omega(t + \frac{x}{c}), E_x = E_Z = 0$ 写出 $\vec{H}$ 的波动方程

# 基本概念

- 光程: $r = \sum n_i L_i$
- 光程差: $\Delta r = n_2 L_2 - n_1 L_1$
- 透镜或透镜组在光路中不会带来附加的光程差。
- 光的相干条件
- 半波损失：光疏介质到光密介质的反射存在半波损失，光密介质到光疏介质的反射无半波损失
- **出题角度：光强分布，明暗纹条件和位置，动态变化，斜入射**

# 杨氏双缝干涉




## 结论

$$\Delta r = d\sin\theta = d\frac{X}{D} = \begin{cases} k\lambda & \text{，明纹} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & \text{，暗纹} \end{cases} \qquad k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$$

相邻两条明 (暗) 纹的间距: $\Delta x = \frac{D}{d}\lambda$

光强分布：$I_\alpha = I_0 \cos^2\alpha \quad , \quad \alpha = \dfrac{\pi d \sin\theta}{\lambda}$

# 杨氏双缝干涉

动态变化的分析

- $D, \lambda$ 一定, $\Delta x \propto \frac{1}{d}, d\downarrow, \Delta x\uparrow$ 条纹越清晰
- $D$、$d$ 一定,$x_k \propto \lambda$, 同一级上 $\lambda\uparrow, x_k\uparrow$(中央极大除外)

**例**

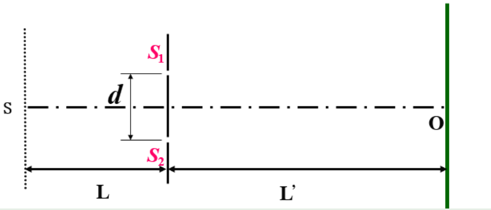
缝间距 d=1.00mm 的杨氏实验中，缝屏到屏幕间的距离为 D=10.00m。屏幕上条纹间隔为 $4.73\times10^{-3}$m。问入射光的频率为多少？实验在水中进行 $n_w = 1.333$

**例**

杨氏实验中，入射光的波长为 6000 埃，当把一个厚度为 t=1mm 的薄膜放在光源 S1 处，发现中央条纹移到第七个亮纹的位置，求薄膜的折射率。

# 杨氏双缝干涉

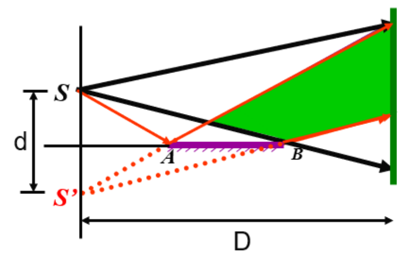
## 例




(1) 光源 S 向上移动 $l$，干涉图案向何方移动多少？
(2) 光源 S 逐渐变为较长波长的单色光，干涉图样怎么变化？
(3) 两狭缝距离 2d，干涉图样中相邻极大之间的距离怎么变化？
(4) 两光源的光分别通过各自的狭缝，干涉图样是什么样的？
(5) 两狭缝自身宽度加倍，干涉图样相邻极大间距如何变化？

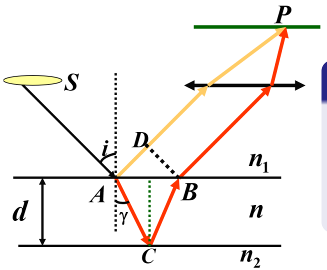
# 杨氏双缝干涉

## 例




洛埃镜实验中，等效缝间距 d=2.00mm，缝屏与屏幕间距为 D=5.00m，入射光频率 $6.522 \times 10^{14}$Hz，实验在空气中进行，求第一级极大的位置。

# 等倾干涉



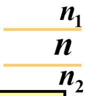

## 结论

$n_1 < n < n_2$

$$2d\sqrt{n^2 - n_1^2 \sin^2 i} = \begin{cases} k\lambda, & \text{明} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2}, & \text{暗} \end{cases}$$

明暗条件中是否考虑半波损失，要看 $n_1, n, n_2$ 的关系

$\left.\begin{array}{l} n_1 > n > n_2 \\ n_1 < n < n_2 \end{array}\right\}$ 不考虑！ $\left.\begin{array}{l} n_1 > n < n_2 \\ n_1 < n > n_2 \end{array}\right\}$ 要加 $\lambda/2$ !!!




$$2d\sqrt{n^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \boxed{\frac{\lambda}{2}} = \begin{cases} k\lambda & (k = 1,2,\cdots)\cdots\text{明条纹} \\ (2k+1)\lambda/2 & (k = 0,1,2\cdots)\cdots\text{暗条纹} \end{cases}$$

# 条纹特征以及动态变化

(1)倾角$i$ 相同的光线对应同一条干涉圆环条纹 —等倾干涉

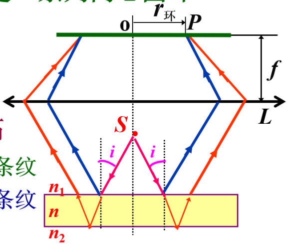
(2)不同倾角$i$ 构成的等倾条纹是一系列同心圆环

(3)愈往中心，条纹级别愈高

$$2d\sqrt{n^2-n_1^2\sin^2 i}=k\lambda$$

d 一定时， $k\uparrow\rightarrow i\downarrow\rightarrow r_k\downarrow$

即：中心o点处的干涉级最高




*若改变$d$
- d变大 中心向外冒条纹
- d 变小 中心向内吞条纹

(4)条纹间隔分布： 内疏外密

$$\left.\begin{aligned}2nd\cos\gamma_k&=k\lambda\\2nd\cos\gamma_{k+1}&=(k+1)\lambda\end{aligned}\right\}\Longrightarrow \Delta\gamma_k\approx-\frac{\lambda}{2nd\sin\gamma_k}\qquad \gamma_k\Uparrow\quad \Delta\gamma_k\downarrow$$

(5)光源是白光

$k,d$一定 $\lambda$ $\rightarrow i\downarrow$ $\rightarrow r_k\downarrow$

——彩色干涉条纹

# 等倾干涉的几点说明

- 平行光垂直入射的干涉现象：单色光垂直入射时，薄膜表面或全亮、或全暗、或全居中。复色光垂直入射时，薄膜表面有的颜色亮，有的消失
- 透射光也有干涉现象

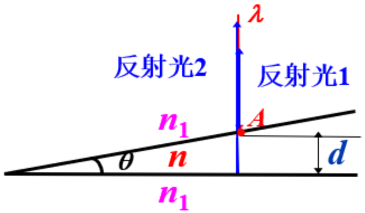
**例**

折射率 n=1.50 的玻璃表面涂一层 $MgF_2$(n=1.38)，为使它在 5500Å 波长处产生极小反射，这层膜应多厚?

**例**

空气中有一透明薄膜 $d = 0.4\mu m, n = 1.5$ 白光垂直照射。求反射光呈什么颜色?

# 等厚干涉/劈尖



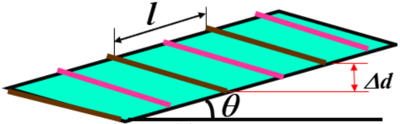

## 结论

$$\delta = 2nd + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda, k = 1, 2\dots\ ,\ \text{明纹} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2}, k = 0, 1\dots,\ \text{暗纹} \end{cases}$$

相邻两明（暗）纹之间的厚度差：$\Delta d = \frac{\lambda}{2n}$ 条纹间距：$L = \frac{\lambda}{2n\sin\theta}$

# 等厚干涉/劈尖的动态变化

(4) 明（暗）纹间距 $l$:



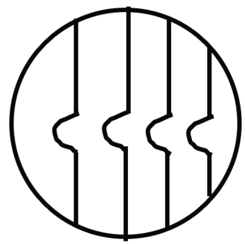

$$l\sin\theta = \Delta d = \frac{\lambda}{2n}$$

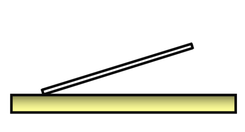
$$l = \frac{\lambda}{2n\sin\theta}$$

- $\theta$、$\lambda$ 一定，$l$ 确定，条纹等间距
- $\theta$ 一定，$\lambda\uparrow$、$l\uparrow$；$\lambda\downarrow$、$l\downarrow$
- $\theta\uparrow$ $l\downarrow$(条纹变密)，$\theta\downarrow$ $l\uparrow$ (条纹疏远)

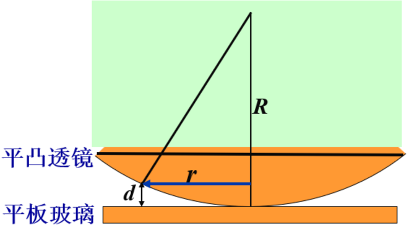
## 例

下图是检测精密加工后的工件表面光洁度的装置示意图。下面是待测工件，上面是标准平板玻璃，其间形成空气劈，用单色光垂直入射，若在反射光中观察到图示的条纹，试对工件表面的光洁度进行分析。





# 牛顿环




## 结论 (考虑半波损失)

干涉环半径 $r_k \approx \begin{cases} \sqrt{\dfrac{(2k-1)R\lambda}{2n}} \; (\mathrm{k}=1,2\cdots) & \text{max} \\ \sqrt{kR\lambda/n} \; (\mathrm{k}=0,1\cdots) & \text{min} \end{cases}$

# 牛顿环条纹特征及动态变化

考虑半波损失的情况下

（1） $2nd+\frac{\lambda}{2}=k\lambda \Longrightarrow d\uparrow,\ k\uparrow$

**愈往边缘，条纹级别愈高。**

（2） **牛顿环的中心一定是暗点。**

与等倾干涉的本质区别

（3） 相邻两暗环的间隔 $\Delta r=r_{k+1}-r_k\approx\sqrt{\frac{R\lambda}{4nk}}\quad(k>1)$

**可见：干涉环中心疏、两边密。**

（4） 已知$\lambda$可求出 $R$： $R=\frac{r_{k+m}^2-r_k^2}{m\lambda/n}$

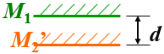
（5） 已知$R$可求$\lambda$

（6） 透射光与之互补

# 迈克尔逊干涉仪

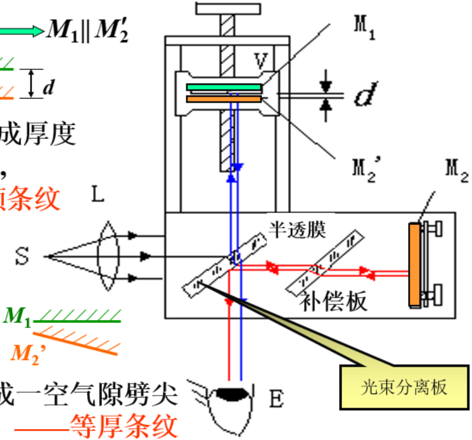
## ——迈克尔逊干涉仪

当 $M_1 \perp M_2 \longrightarrow M_1 \parallel M_2'$




$M_1$与$M_2'$形成厚度均匀的薄膜，

——等倾条纹




当 $M_1 \not\perp M_2$

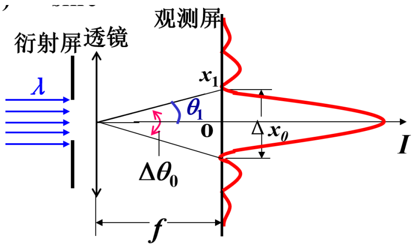
$M_1 \not\parallel M_2'$

$M_1$与 $M_2'$形成一空气隙劈尖

——等厚条纹

# 弗朗和费衍射

惠更斯——菲涅耳原理：波传到的任何一点都是子波的波源，各子波在空间某点的相干叠加，就决定了该点波的强度。




## 结论

$$I_\theta = I_0 \left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2 \text{ 其中 } \alpha = \frac{\pi a \sin\theta}{\lambda}$$

## 结论

衍射极小: $a\sin\theta = \pm k\lambda$
衍射次极大:

$$a\sin\theta = \pm 1.43\lambda, \pm 2.46\lambda, \pm 3.47\lambda, \cdots \Rightarrow a\sin\theta \approx \pm (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

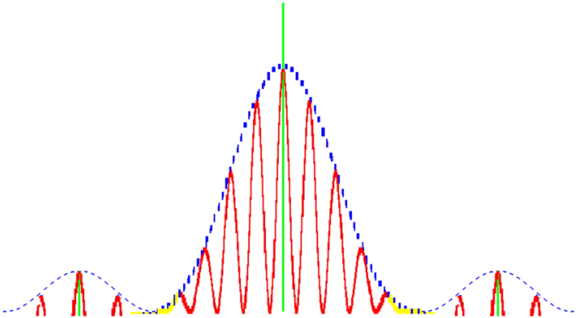
中央明纹的线宽度: $\Delta x \approx 2f\frac{\lambda}{a}$ 半角宽度: $\theta_1 \approx \frac{\lambda}{a}$

了解半波带法: $a\sin\theta = k\frac{\lambda}{2}$,k 为波带数，每两个波带会相消

## 例

一束单色光垂直投射到宽度为 $a = 6.00 \times 10^{-1} mm$ 射在距缝 $D = 4.00 \times 10 cm$ 的屏上。距中央明纹中心距离为 $y = 1.40 mm$ 处是明条纹。求 (1) 入射光的波长; (2)$y = 1.40 mm$ 处的条纹级数 $k$ ; (3) 根据所求得的级数 $k$ , 计算此光波在狭缝处波阵面可作半波带的数目

# 双缝衍射



$$I_\theta = I_0 \left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2 \cos^2\beta, \alpha = \frac{\pi a \sin\theta}{\lambda}, \beta = \frac{\pi d \sin\theta}{\lambda}$$

# 双缝衍射

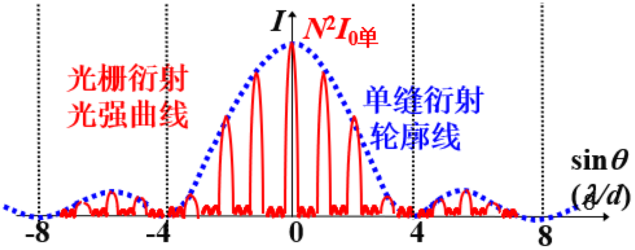
## 双缝衍射光强度的分布规律

衍射极小 $a\sin\theta = \pm k\lambda \quad k = 1, 2, \cdots$
干涉极小: $d\sin\theta = \pm(2k' + 1)\frac{\lambda}{2}$
干涉极大: $d\sin\theta = \pm k'\lambda \quad k' = 0, 1, 2, \cdots$
若干涉极大同时衍射极小: $k' = k\frac{d}{a}$ = 整数—缺级

## 例

对于 $d = 0.15mm, a = 0.030mm$ 的双缝，波长 $\lambda = 5.5 \times 10^{-7}m$ 的光入射。包络线的两个第一极小间有多少条完整条纹出现?

# 光栅




亮线光栅强度分布: $I_\theta = I_0 \left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2 \left(\frac{\sin N\beta}{\sin\beta}\right)^2$

主极大/明纹： $d\sin\theta = k\lambda, k = 0, \pm1, \pm2, \ldots$

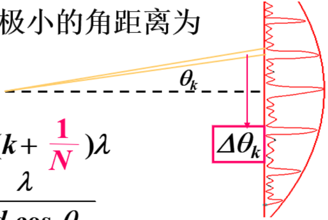
暗纹： $d\sin\theta = \pm\frac{k'}{N}\lambda = \pm(k+\frac{m}{N})\lambda, k = 0, 1, ..., m = 1, 2...N-1$

存在缺项，与双缝衍射同理：衍射极小，干涉极大

# 光栅主极大的半角宽

**定义：** 主极大的中心到邻近极小的角距离为它的半角宽。

$k$ 主极大： $d\sin\theta_k = k\lambda$




邻近极小： $d\sin(\theta_k+\Delta\theta_k)=(k+\dfrac{1}{N})\lambda$

两式相减可得： $\downarrow\Delta\theta_k \approx \dfrac{\lambda}{N\uparrow d\cos\theta_k}$

| $N$为缝数, $d$ 为缝间距, $\boxed{\Delta\theta_k}$ 为 $k$ 级主极大的半角宽度 |
|---|

- $d$一定时，缝数越多，条纹越尖细、越亮
- 中央主极大： $\Delta\theta_0=\dfrac{\lambda}{Nd}$

# X 射线衍射与布喇格公式

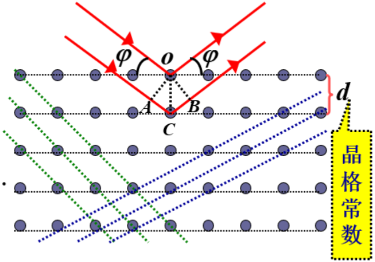
三、 布喇格公式

亮斑的位置：

$$\Delta r = AC + CB$$
$$= 2d\sin\varphi$$

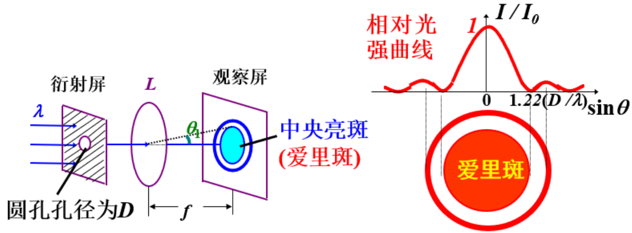
$$\boxed{2d\sin\varphi = k\lambda}\quad k=1,2,\cdots$$

**布喇格公式**




考的可能性不大

# 圆孔衍射与光学仪器的分辨本领



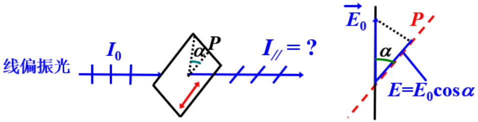

$$x=\frac{\pi D}{\lambda}\sin\theta=1.22\pi \quad \boxed{D\cdot\sin\theta_1=1.22\lambda} \quad \left.\begin{matrix}D\uparrow\\ \lambda\downarrow\end{matrix}\right\}\text{爱里斑变小}$$

光学仪器分辨率: $\theta_{\text{lim}}=\sin^{-1}\left(1.22\frac{\lambda}{D}\right)\approx 1.22\frac{\lambda}{D}$

光栅光谱, 光栅的色散本领、分辨本领略

# 马吕斯定律

了解五种偏振光的分类




$$I_0 \propto E_0^2, \qquad I_{/\!/} \propto E^2 = E_0^2 \cos^2\alpha$$

$$\boxed{I_{/\!/} = I_0 \cos^2\alpha}$$ ——马吕斯定律

$$\alpha = 0,\ I_{/\!/} = I_{\max} = I_0 \qquad \alpha = \frac{\pi}{2},\ I = 0$$ ——消光

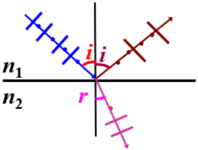
## 例

一束光由线偏振光和自然光混合而成，当它通过理想偏振片时，光强随偏振片偏振化方向旋转出现 5 倍变化，求这两种光比例?

# 布儒斯特定律

布儒斯特定律：自然光以布儒斯特角入射到界面时，反射光为线偏振光

自然光经界面反射和折射后，光的偏振态发生改变。

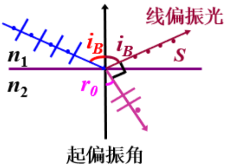



**反射光和折射光均为部分偏振光**

$i = i_B$ 时，反射光只有 $\perp$ 分量

$i_B$ — 布儒斯特角或 起偏角

$$i_B + r_0 = 90^\circ$$




由：$n_1 \sin i_B = n_2 \sin r_0 = n_2 \cos i_B$

有：$\mathrm{tg}\, i_B = \dfrac{n_2}{n_1} = n_{21}$ —布儒斯特定律

# 双折射

一条入射光线产生两条折射光线 (o 光和 e 光) 的现象

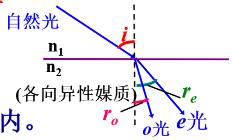
O (ordinary)光：遵从折射定律

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r_o$$

e (extraordinary)光：

一般不遵从折射定律

e光折射线也不一定在入射面内。




*o 光和 e 光都是线偏振光，一定条件下其偏振方向相互垂直.*

波晶片（波片）：o 光和 e 光通过时，获得额外位相差获得椭圆偏振光：线偏振光通过 $\lambda/4$ 波片
会通过偏振片和波晶片检验光的类型，结合偏振知识，处理光的干涉问题。

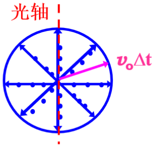
# 双折射的惠更斯解释

1）解释：o光、e光在晶体中不同方向传播速度不同。

$o$光:各方向速度相同： $n_o = \dfrac{c}{v_o}$

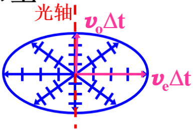
任意一点子波源的波面

——球面




$e$光:各方向速度不相同：$n_e = \dfrac{c}{v_e} \neq$ 常量

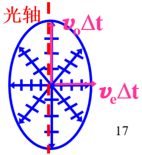
平行光轴的方向上：$n'_e = n_o$，$v'_e = v_o$




垂直光轴的方向上：$n_e \neq n_o$，$v_e \neq v_o$

任意一点子波源的波面

——旋转椭球球面



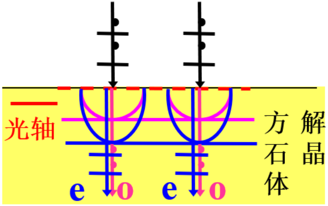

$n_0$，$n_e$称为晶体的主折射率

17

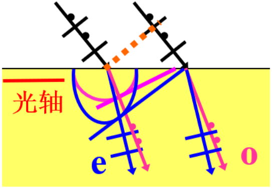
# 双折射的惠更斯解释

**2）惠更斯作图法($\upsilon_e>\upsilon_o$)**

例: 光轴平行晶体表面和入射面,自然光入射




速度上是分开的



# 波晶片/相位延迟片

波晶片是光轴平行表面的晶体薄片。
通过厚为 d 的晶片，o、e 光不可分开，但产生光程差：

$$\Delta r = l_o - l_e = d(n_o - n_e) \Rightarrow \Delta\varphi = \frac{\Delta r}{\lambda}2\pi = (n_o - n_e)\cdot d\cdot\frac{2\pi}{\lambda}$$

可见：$\lambda$ 一定，适当选择 $d$ 可使两分振动产生任意数值的位相差。

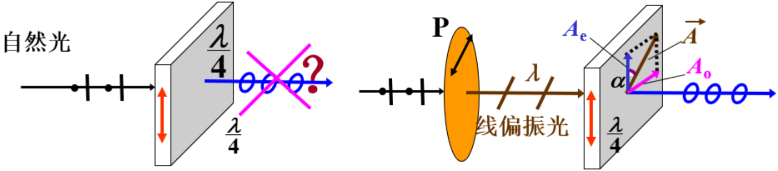
$$\text{常用波片:}\begin{cases}\text{四分之一波片} & \Rightarrow |n_e - n_o|d = \frac{\lambda}{4}, |\Delta\phi| = \frac{\pi}{2}\\ \text{二分之一波片} & \Rightarrow |n_e - n_o|d = \frac{\lambda}{2}, |\Delta\phi| = \pi\\ \text{全波片} & \Rightarrow |n_e - n_o|d = \lambda, |\Delta\phi| = 2\pi\end{cases}$$

# 圆偏振光 (椭圆偏振光) 的获得

由振动合成可知，当两互相垂直振动的位相差为：

$\varphi_2 - \varphi_1 = \frac{\pi}{2}$ 时合成为一正椭圆 $\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1$

若$A_1 = A_2$，就是一个圆。




即：一束线偏振光经1/4晶片后出射的是两束传播方向相同、振动方向相互垂直、频率相等、相位差为π/2的线偏振光，它们合成为一束椭圆偏振光。

不太理解的话原因的话可以看这个视频

# 祝大家取得满意的成绩！