第四篇 振动与波动小结

一、复习要点

第12章： 简谐振动判据，简谐振动的特征量 (A,ω,φ)
(解析法、旋转矢量法确定)运动方程，能量，
同一直线上、同频率简谐振动的合成

第13章： 平面简谐行波的特征量 (ν,λ,u)， 波函数
能流密度，波的干涉、驻波， 多普勒效应。

第14章： 光程、光的干涉(杨氏双缝， 薄膜等厚干涉)
光的衍射(单缝、光栅夫琅和费衍射、瑞利准则)
光的偏振(起偏、检偏、马吕斯定律、布儒斯特定律)

二、难点辨析

第12章：对振动周期性特征深刻理解，特别是对描述运动状态的特征量相位的理解，及它们的确定是本章的难点。灵活运用旋转矢量法，由振动曲线确定初相，并建立运动方程是本章的重点。

第13章：平面简谐波波动方程的建立和波动的能量特征是本章的两大难点。

波是沿波线传播的，其重要特征是波线上沿波的传播方向质点的振动相位依次落后，即同一时刻，波线上各质元的振动相位各不相同。振动相位落后因子 $2\pi\frac{r}{\lambda}$

如何由已知的某一时刻的波形曲线确定波动方程是本章的常见问题，其中初相位的确定是关键。

波动中传播出去的是介质质元的振动状态和能量，而不是质量元。由于质量元之间的弹性相互作用，质元振动状态和能量才能传播出去。也正是由于介质元之间的相互作用使它们不是孤立系统，因而其振动能量特征与孤立谐振子的振动能量不同。

1. 特征量

周期： 描述波的时间周期性，由波源决定 $T=\dfrac{1}{\nu}$

波速 u： 由介质决定，传播的是相位和能量

波长： 描述波的空间周期性，与波源、介质均有关

$$\lambda = uT$$

2. 波函数（波动方程的积分形式）

参考点振动方程 $y_o = A\cos(\omega t+\varphi)$

波动方程（以原点为参考点）

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

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

注意

(1) x: 离参考点的距离

(2) $\pm$: 由传播方向决定 $\begin{cases} \text{比参考点相位滞后 “-”} \\ \text{比参考点相位超前 “+”} \end{cases}$

(3) $y = y(x,t)$ 跑动的波形

x一定 $y = y(t)$ 振动曲线方程

t一定 $y = y(x)$ 波形曲线方程

3. 波的能量

能流密度 $\vec{I}=\dfrac{1}{2}\rho A^{2}\omega^{2}\vec{u}$

媒质元
- 非孤立系统，E不守恒
- E_{p}， E_{k} 同步调变化

第14章：波(光)的相干条件和干涉相长与相消的条件。其难点为

(1) 对驻波形成过程的理解。半波损失, 理解驻波的特征。

(2) 干涉及衍射条纹的动态变化。

(3) 对条纹特征、特别是复色光入射光谱重叠问题的理解。

(4) 对光栅衍射中的缺级的判断。

(5) 区分单缝衍射、双缝干涉及光栅衍射的公式。

典型装置

用于具体问题得出不同计算式，弄清道理、掌握特点

一. 波的干涉

相干条件 $\begin{cases} \text{振动方向相同} \\ \text{频率相同} \\ \text{相位差恒定} \end{cases}$

强度分布 $$I = I_1 + I_2 + \underline{2\sqrt{I_1\ I_2}\cos\Delta\varphi}$$ 干涉项

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 - 2\pi\frac{(r_2 - r_1)}{\lambda}$$

强弱条件 $$\Delta\varphi = \begin{cases} \pm 2\pi k & \text{相长} \\ \pm(2k+1)\pi & \text{相消} \end{cases} \quad k = 0,\ 1\ ,2\cdots$$

二. 驻波

形成驻波的条件； 驻波特点； 半波损失；

求驻波方程； 波腹 、波节位置

三. 光的干涉、衍射和偏振

1. 干涉和衍射

1) 共同本质

满足相干条件的波的叠加

有限个分立的相干波的叠加 — 干涉

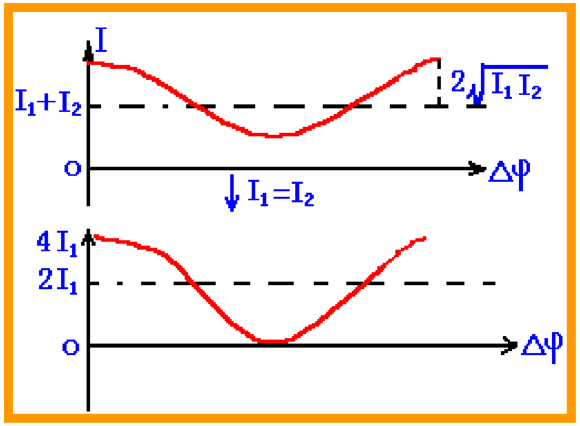
无限个子波相干叠加 — 衍射

2) 共同现象

光强在空间非均匀、稳定分布

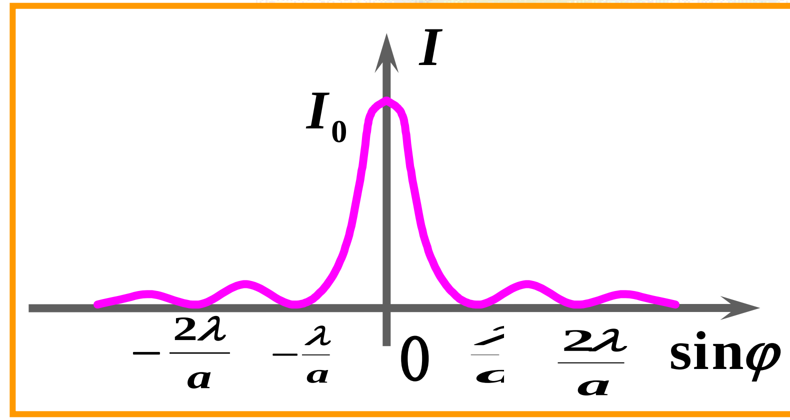
双光束干涉

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1\ I_2}\cos\Delta\varphi$$



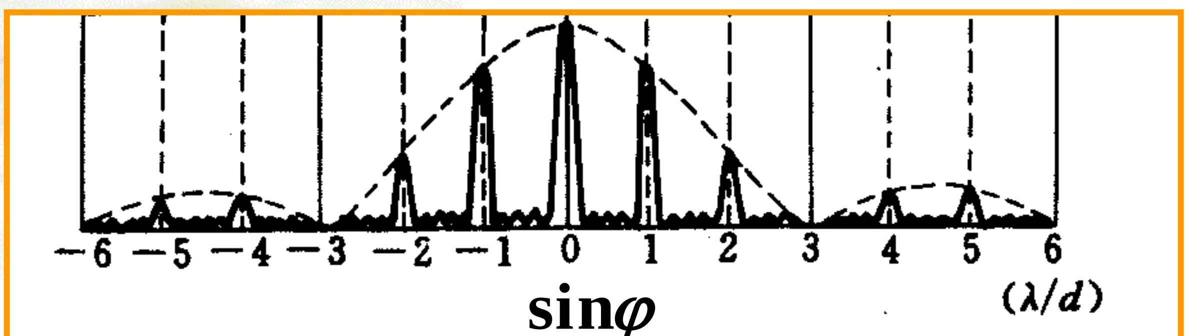
单缝衍射

$$I = I_o\left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2 \qquad \alpha = \frac{\pi a\sin\varphi}{\lambda}$$



光栅衍射

$$I = I_o\left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2\left(\frac{\sin N\beta}{\sin\beta}\right)^2$$



$$\alpha = \frac{\pi a\sin\varphi}{\lambda},$$

$$\beta = \frac{\pi d\sin\varphi}{\lambda}$$

3）明暗纹条件

光程（等效真空程）= 几何路程 x 折射率

$$\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1+2\pi\frac{\Delta}{\lambda}=\begin{cases}2k\pi & \text{明}\\ (2k+1)\pi & \text{暗}\end{cases}\qquad k=0,\pm1,\pm2\cdots$$

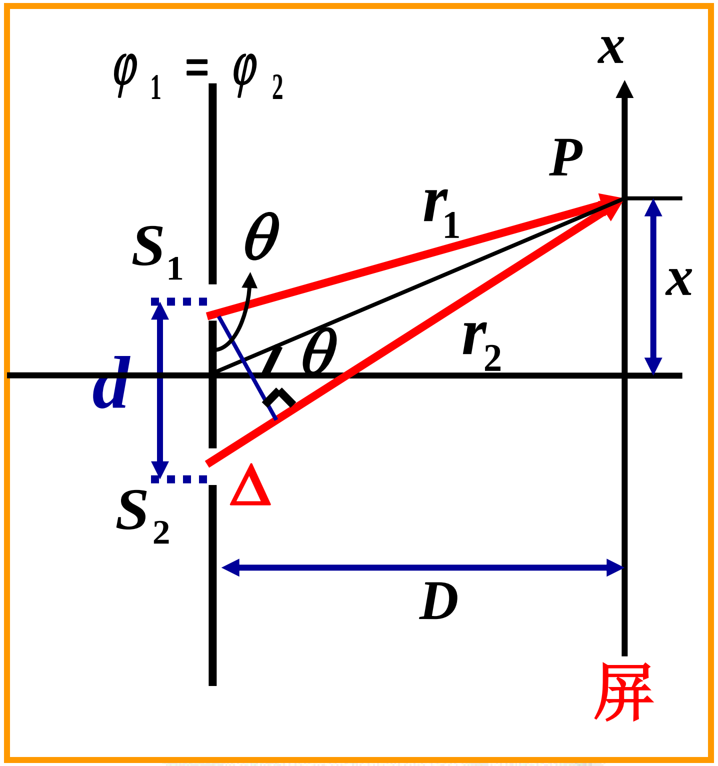
若 $\varphi_1=\varphi_2$

$$\Delta=\begin{cases}k\lambda & \text{明}\\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗}\end{cases}\qquad k=0,\pm1,\pm2\cdots$$

4）典型装置

用于具体问题得出不同计算式，弄清道理、掌握特点

杨氏双缝干涉



$$\Delta = d\frac{x}{D}$$

$$x = \begin{cases} \pm \dfrac{kD}{d}\lambda & \text{明} \\ \pm(2k-1)\dfrac{D}{d}\cdot\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗} \end{cases}$$

明　$k = 0,1,2,\cdots$

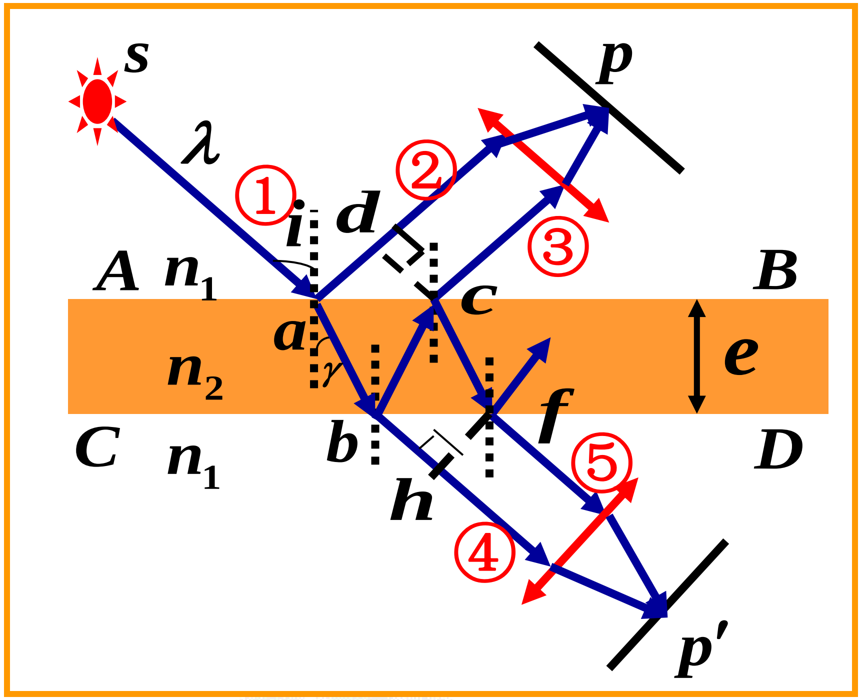
暗　$k = 1,2,\cdots$

k 取值与条纹级次一致

条纹间距：　$\Delta x = \dfrac{D\lambda}{d}$

注意条纹的变化和演变

薄膜等厚干涉



$$\Delta_{反} = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i} + \boxed{\frac{\lambda}{2}}$$

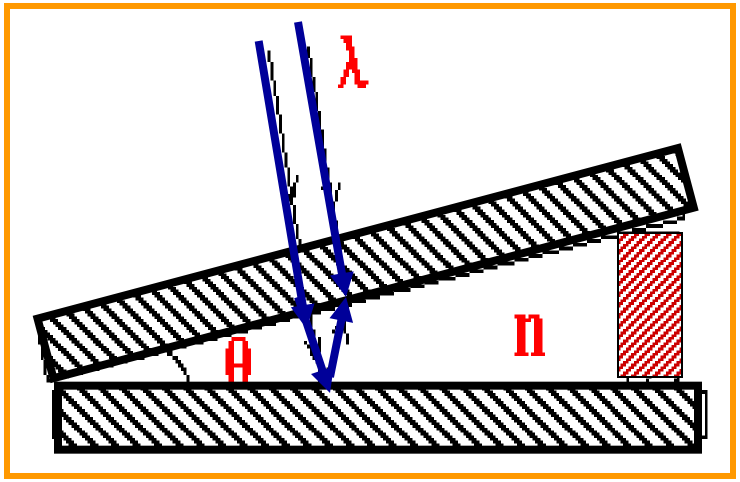
$$\Delta_{透} = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i}$$

$\boxed{\frac{\lambda}{2}}$ 项：是否存在由具体情况决定

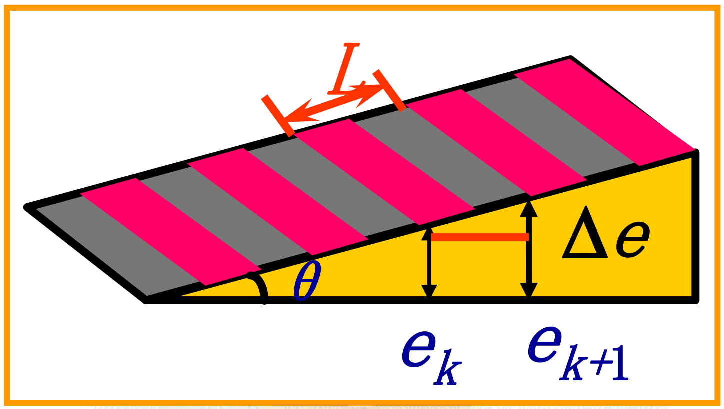
反射光和透射光明暗互补。

条纹形状和薄膜等厚线形状相同。

劈尖　单色、平行光垂直入射



$$\Delta = 2ne + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & \text{明}\quad k = 1、2\cdots \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗}\quad k = 0、1、2\cdots \end{cases}$$



平行于棱边，明、暗相间条纹

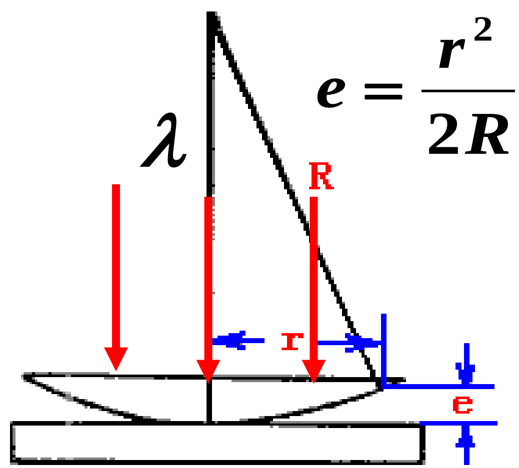
楞边处 $e = 0$　$\Delta = \dfrac{\lambda}{2}$,为暗纹

相邻明（暗）纹对应薄膜厚度差：　$\Delta e = \dfrac{\lambda}{2n}$

条纹宽度　$L = \dfrac{\Delta e}{\sin\theta} = \dfrac{\lambda}{2n\sin\theta} \approx \dfrac{\lambda}{2n\theta}$

牛顿环

单色平行光垂直入射

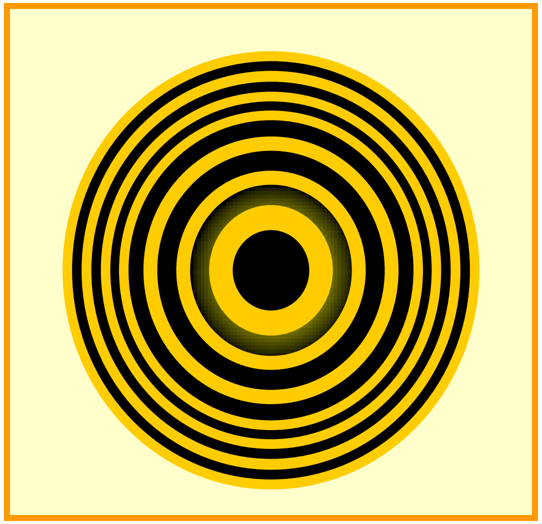


$$e=\frac{r^2}{2R}$$

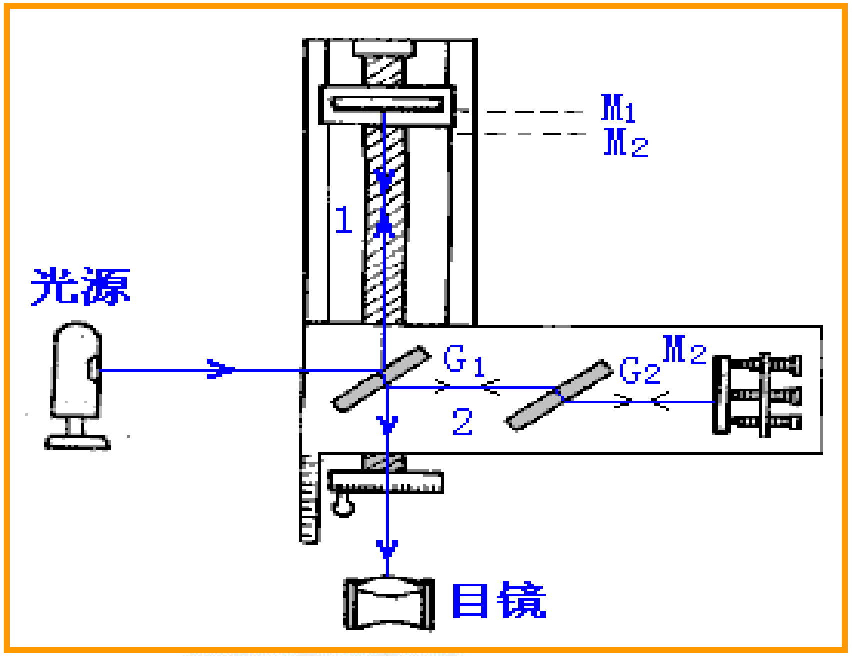
$$\Delta=2ne+\frac{\lambda}{2}=\begin{cases}k\lambda & 明 \quad k=1、2、3\cdots\\(2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & 暗 \quad k=0、1、2\cdots\end{cases}$$

条纹为以接触点为中心的明暗相间的同心圆环，条纹内疏外密

$$r=\begin{cases}\sqrt{\dfrac{(2k-1)R\lambda}{2n}} & 明 \quad k=1、2、3\cdots\\\sqrt{\dfrac{kR\lambda}{n}} & 暗 \quad k=0、1、2\cdots\end{cases}$$



迈克尔孙干涉仪



M_1垂直于M_2

$M_1 \, // \, M_2'$

等倾干涉

M_2不严格垂直于M_1

M_1不平行于M_2'

等厚干涉

$$\Delta d = \Delta N \cdot \frac{\lambda}{2}$$

单缝夫琅禾费衍射 （半波带概念）

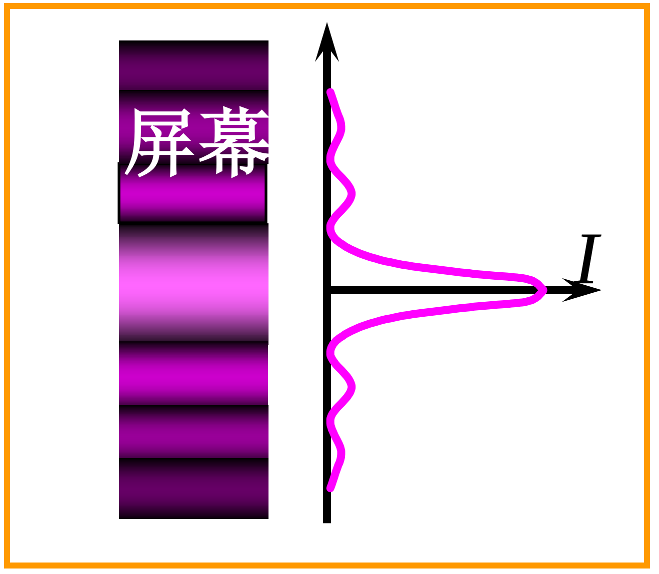
平行光垂直入射

$$\Delta = a\sin\varphi = \begin{cases} 0 & \text{中央明纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{明} \\ k\lambda & \text{暗} \end{cases} \qquad k = \pm 1, \pm 2 \cdots$$

衍射条纹角宽度

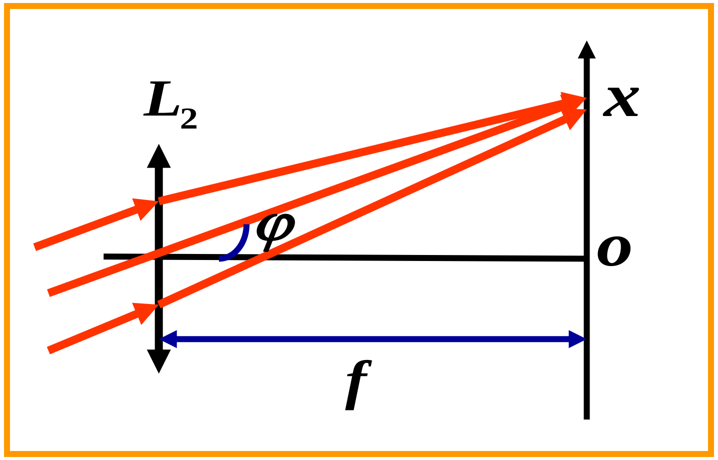
中央明纹 $\Delta\varphi = \dfrac{2\lambda}{a}$

其余明纹 $\Delta\varphi = \dfrac{\lambda}{a}$



中央明纹集中大部分能量，明条纹级次越高亮度越弱.

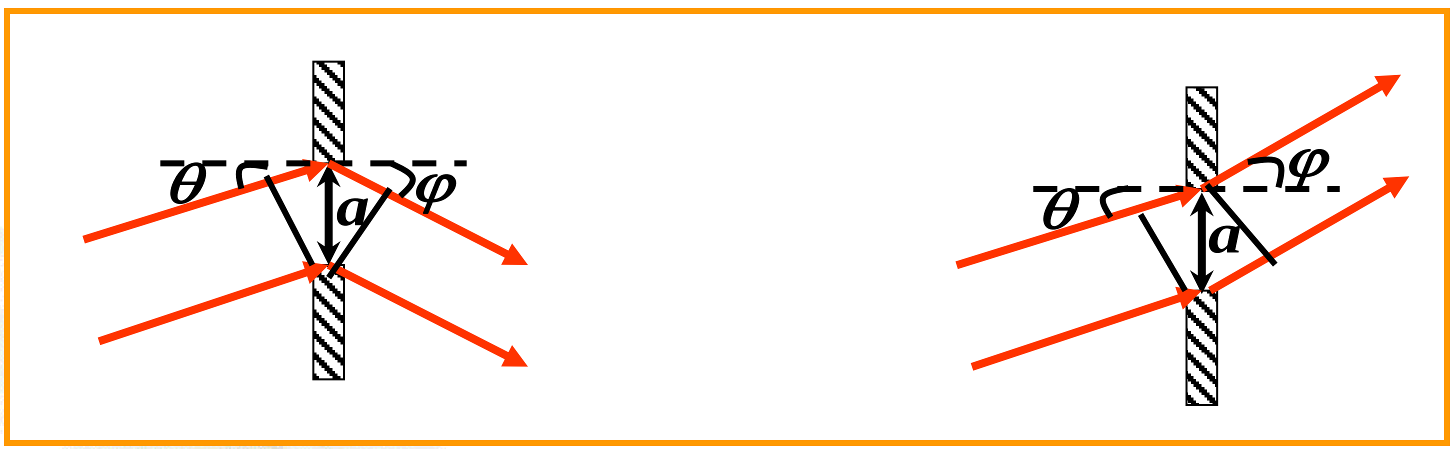
衍射条纹线宽度



中央明纹 $\Delta x = \dfrac{2\lambda}{a} \cdot f$

其余明纹 $\Delta x = \dfrac{\lambda}{a} \cdot f$

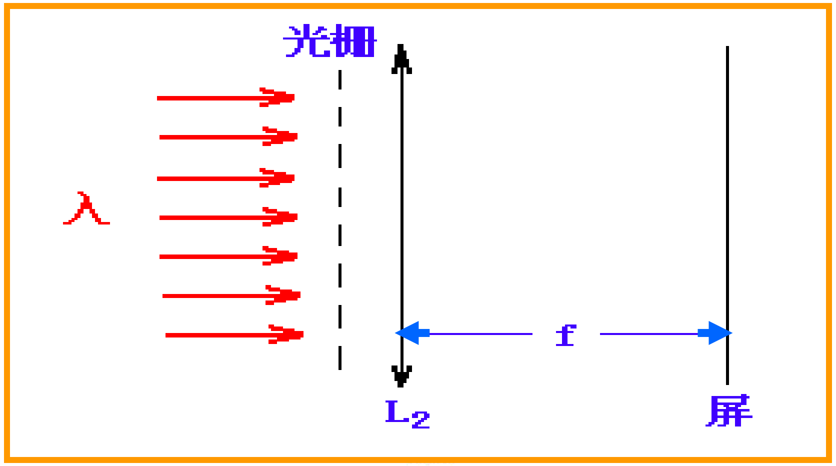
平行光非垂直入射



$\Delta = a\sin\theta + a\sin\varphi$ $\Delta = a\sin\theta - a\sin\varphi$

光栅夫琅禾费衍射

光栅衍射是N缝干涉和N个单缝衍射的总效果



- 光栅常数 d
- 光栅公式

$$d\sin\varphi = \pm k\lambda$$

$$(k = 0, 1, 2\cdots)$$

- 缺级 $\begin{cases} d\sin\varphi = k\lambda \\ a\sin\varphi = k'\lambda \end{cases}$

$$k = \frac{d}{a}k' \quad (k' = \pm 1, \pm 2\cdots)$$

- 最高级次 $k_m < \dfrac{d}{\lambda}$

•单缝中央明纹区主明纹条数：$2(\frac{d}{a})_{进整}-1$

•细窄明亮的主明纹

• 相邻主明纹间较宽暗区（N-1条暗纹，N-2条次极大）

•白光入射中央零级主明纹为白色，其余各级为彩色光谱，高级次重叠

5）光学仪器分辨率

$$\Delta\varphi = 1.22\frac{\lambda}{D} \qquad \frac{1}{\Delta\varphi} = \frac{1}{1.22}\frac{D}{\lambda}$$

6） 空间相干性 时间相干性

2. 光的偏振

1） 光的五种偏振态

2） 起偏方法和规律

马吕斯定律

$$I = \begin{cases} I_o/2 & \text{入射光为自然光} \\ I_0\cos^2\alpha & \text{入射光为线偏振光} \end{cases}$$

布儒斯特定律 $i_o = \mathrm{arctg}\dfrac{n_2}{n_1}$ $\qquad i + \gamma = \dfrac{\pi}{2}$

3）检偏方法和规律