大学物理

张磊 （13072919527）

B824，Cyrus Tang Building

本学期大学物理期中考试时间

2023-10-28 15:00-17:00 (星期六)

考试内容

机械振动、机械波、波动光学

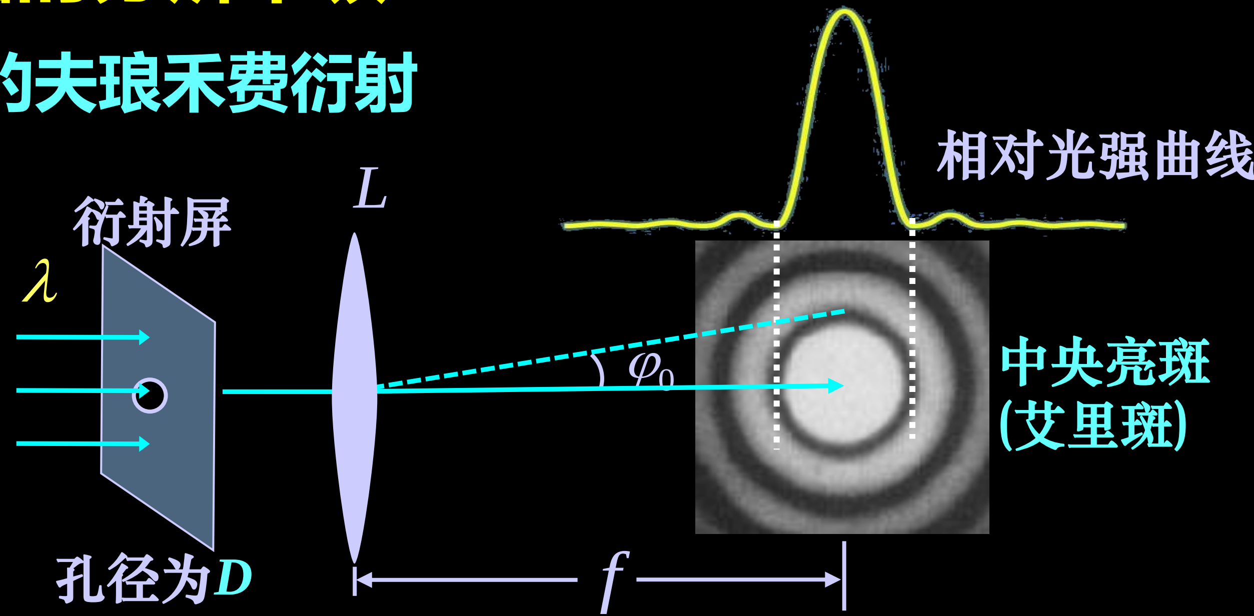
大家做好复习和考试准备

预计在考试前一周左右，考试会在系统发布，

大家关注系统

光学仪器的分辨本领

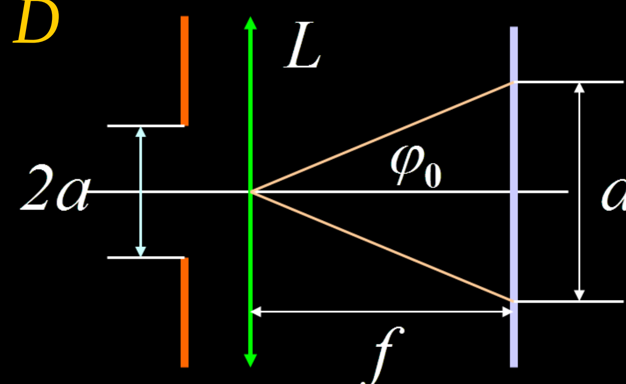
◆ 圆孔的夫琅禾费衍射



经圆孔衍射后，一个**点光源**对应一个**艾里斑**

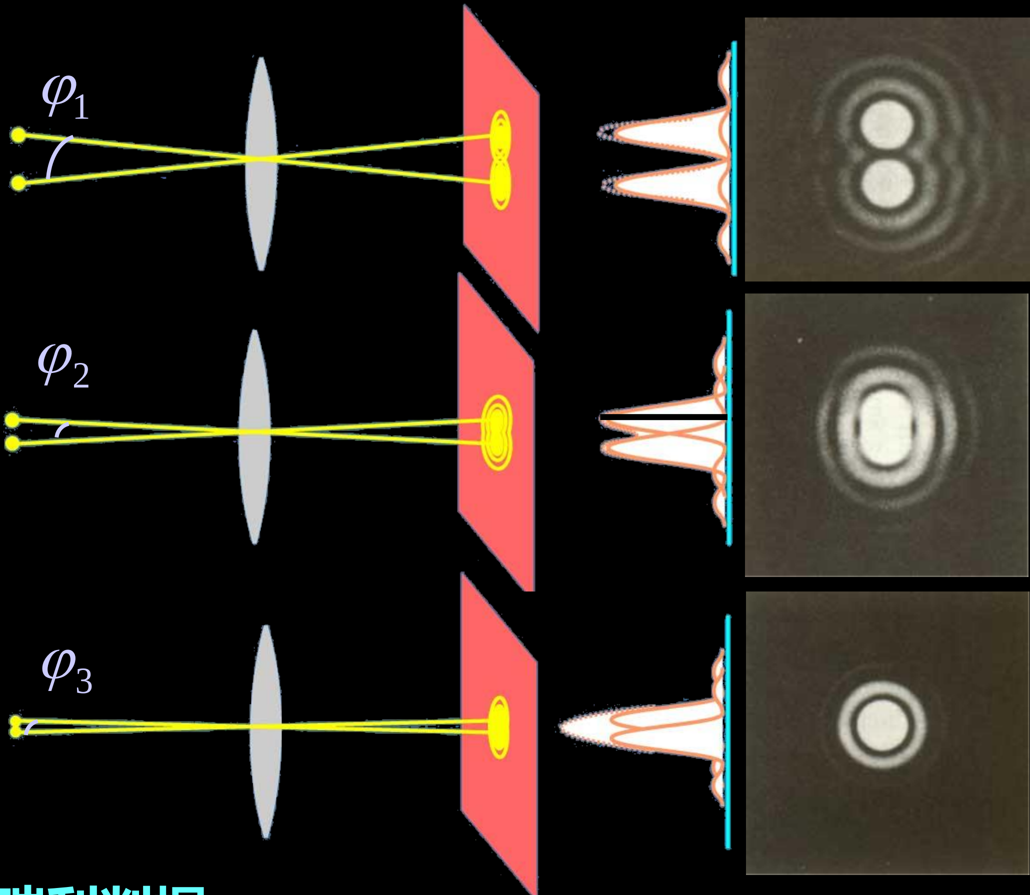
艾里斑的半角宽度为 $\varphi_0 \approx 1.22\dfrac{\lambda}{D}$

◆ 透镜的分辨本领



几何光学 物点 $\xrightarrow{\text{一一对应}}$ 像点

波动光学 物点 $\xrightarrow{\text{一一对应}}$ 像斑



可分辨 $\varphi_1 > \delta_\varphi$

刚可分辨 $\varphi_2 = \delta_\varphi$

不可分辨 $\varphi_3 < \delta_\varphi$

瑞利判据

对于两个等光强的**非相干物点**：如果一个像斑中心恰好落在另一像斑的边缘(第一暗纹处)，则此两像被认为是刚好能分辨。此时两像斑中心角距离为**最小分辨角**

$$\boxed{\delta_\varphi = \varphi_0 \approx 1.22\frac{\lambda}{D}}$$

最小分辨角

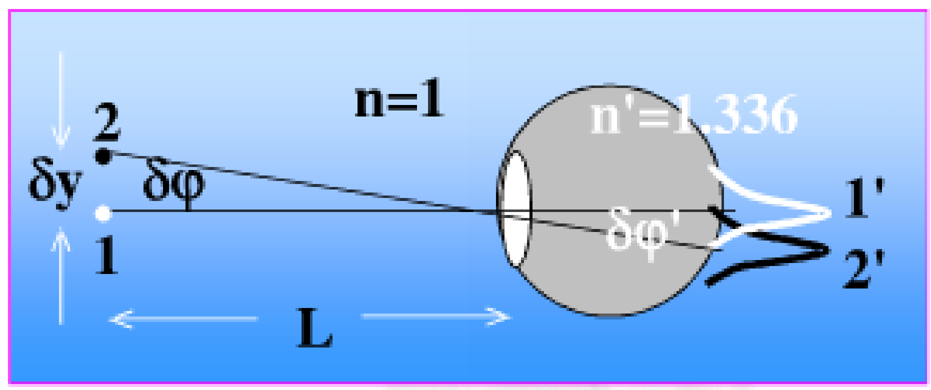
$$\delta\varphi = \varphi_0 \approx 1.22\frac{\lambda}{D}$$

分辨本领

$$R \equiv \frac{1}{\delta\varphi} = \frac{D}{1.22\lambda}$$

• 人眼的分辨本领

设人眼瞳孔直径为D，可把人眼看成一枚凸透镜，焦距只有20毫米，其成象为夫琅和费衍射的图样。



例 在迎面驶来的汽车上，两盏前灯相距 120 cm ，设夜间人眼瞳孔直径为 5.0 mm ， 入射光波为 550 nm。

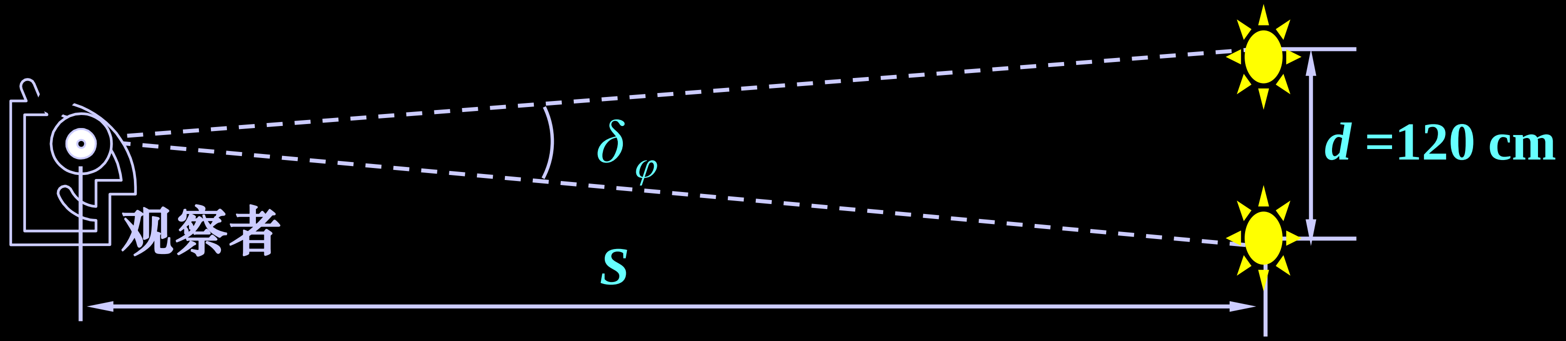
求 人在离汽车多远的地方，眼睛恰能分辨这两盏灯?

解 设人离车的距离为 S 时，恰能分辨这两盏灯

由题意有 $d = 120\ \text{cm}$　　$D = 5.0\ \text{mm}$　　$\lambda = 550\ \text{nm}$

眼睛的最小分辨角为 $\delta_\varphi = 1.22\dfrac{\lambda}{D}$　　取 $d \approx S \cdot \delta_\varphi$

$$S \approx \frac{d}{\delta_\varphi} = \frac{Dd}{1.22\lambda} = \frac{5.0\times10^{-3}\times1.20}{1.22\times550\times10^{-9}} = 8.94\times10^{3}\ \text{m}$$



例 载人宇宙飞船在距地面 **160km**的轨道上运行时，宇航员恰好能分辨地面上的两点光源，设波长为**550nm**、瞳孔直径取**5mm** .

求 两点光源之间的距离

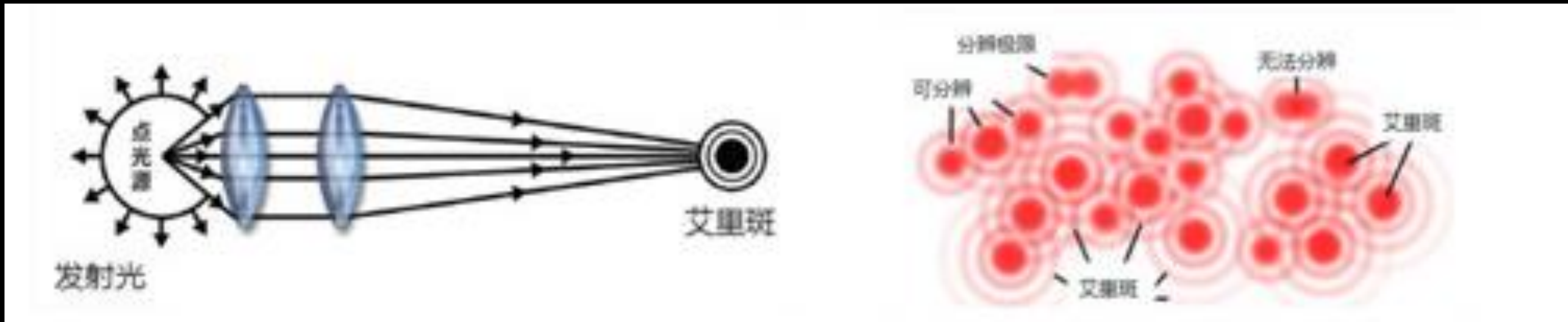
解 设两点光源之间的距离为x、飞船距地面的距离为L

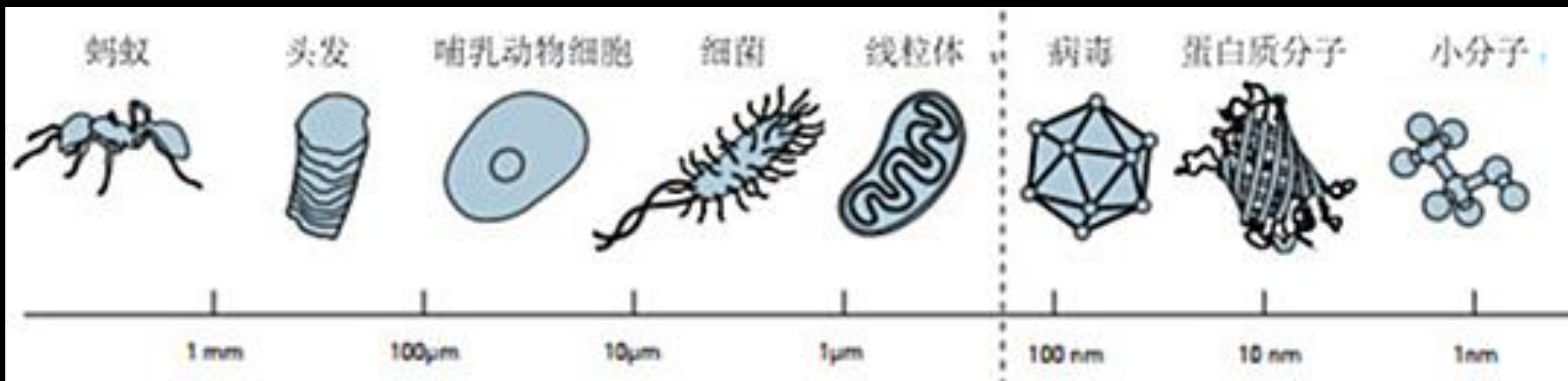
眼睛的最小分辨角 $$\delta_\varphi = 1.22\frac{\lambda}{D}$$

两点光源对人眼睛的张角 $$\delta = \frac{x}{L}$$

恰能分辨条件 $$\delta_\varphi = \delta \longrightarrow 1.22\frac{\lambda}{D} = \frac{x}{L}$$

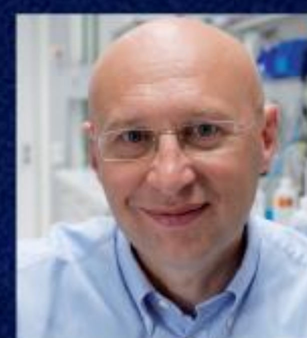
$$x = \frac{1.22\lambda L}{\mathrm{D}} = \frac{1.22\times 550\times 10^{-9}\times 160\times 10^{3}}{5\times 10^{-3}} = 21\mathrm{m}$$





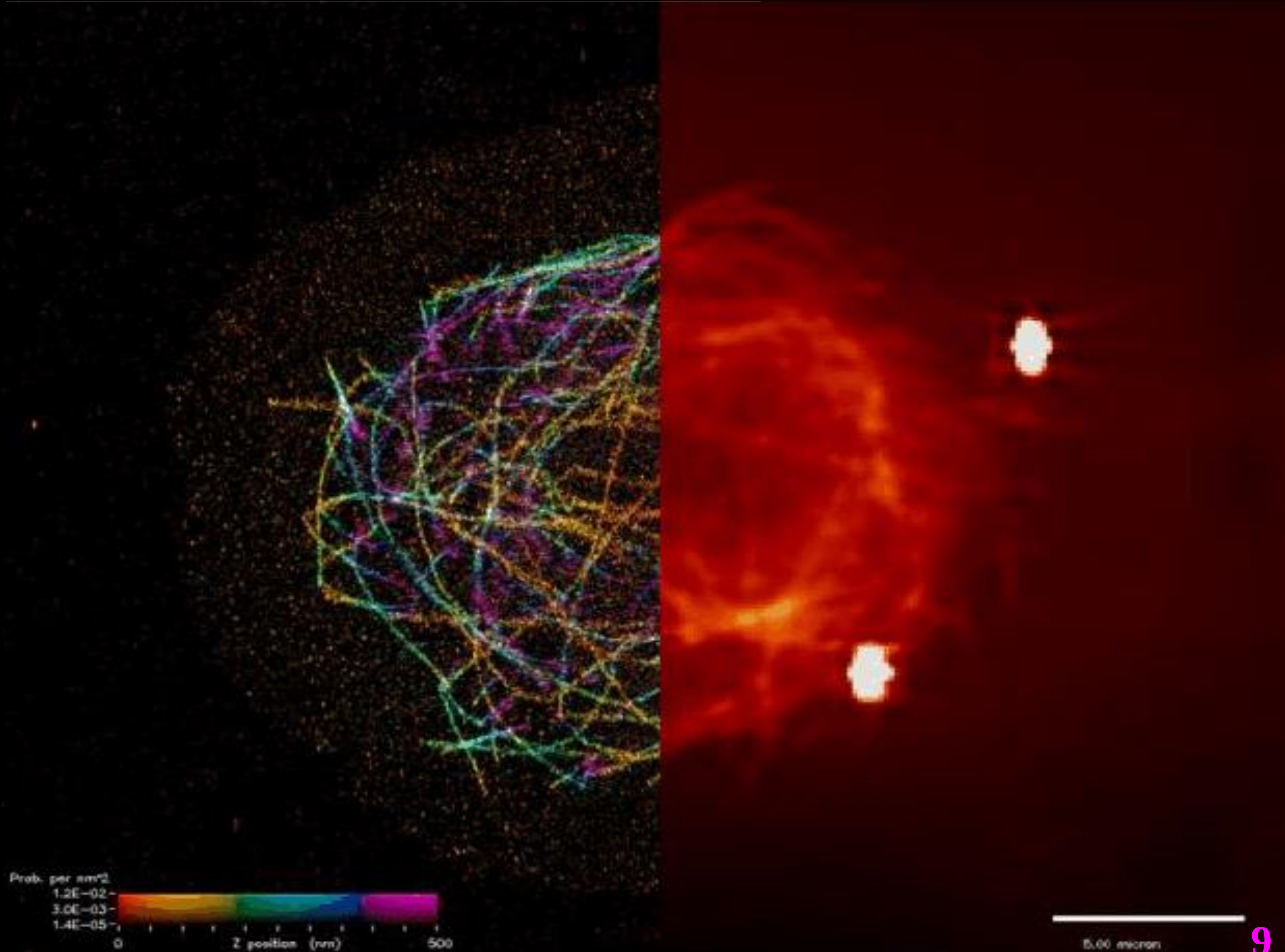
2014诺贝尔化学奖

埃里克 · 白兹格
（Eric Betzig）



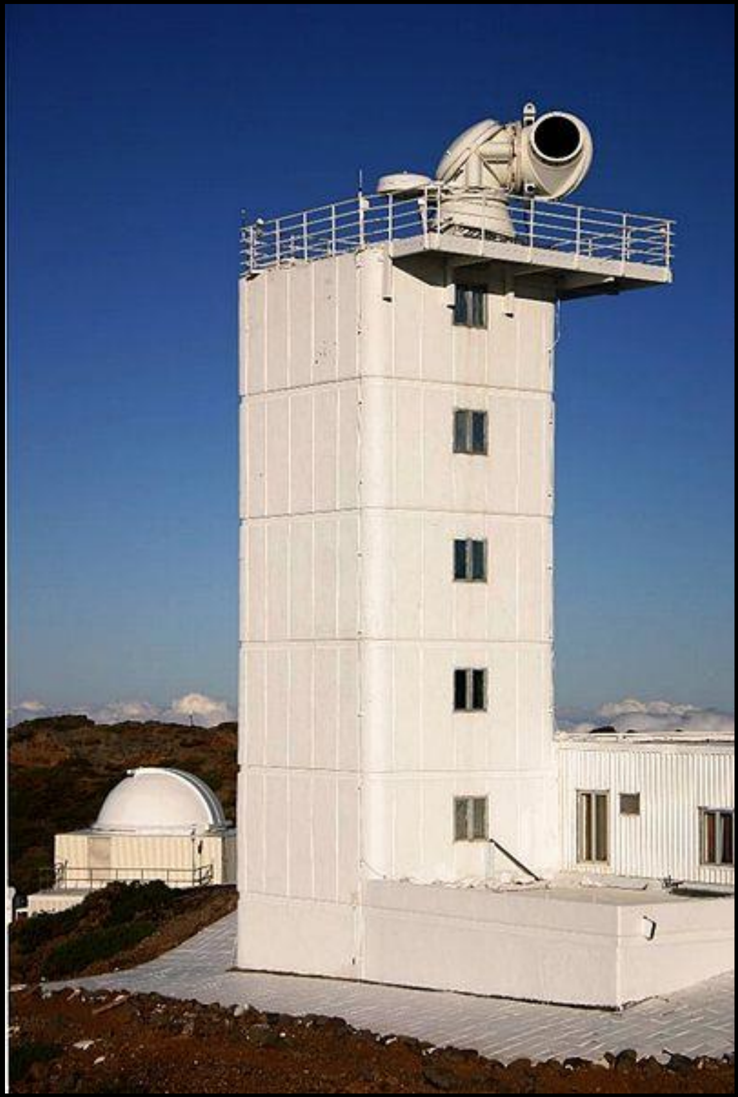
斯蒂芬 · 黑尔
（Stefan W. Hell）

威廉 · 莫尔纳
（William E. Moerner）


Prob. per nm^2
1.2E−02
3.0E−03
1.4E−05
0
Z position (nm)
500
5.00 micron

太阳望远镜

- 麦克梅斯 - 皮尔斯太阳望远镜
  1.6m, 1961年–
- McMath-Hulbert Observatory
  61cm，1941年 – 1979年
- 瑞典真空太阳望远镜
  47.5cm，1985年 – 2000年
- 瑞典太阳望远镜
  1m，2002年 –
- Richard B. Dunn Solar Telescope
  1.63m，1969年 –
- Dutch Open Telescope
  45cm, 1997年 –
- 先进技术太阳望远镜（ATST）
  4m
- 中国的巨型太阳望远镜
  8m，设计选址中



欧洲极大望远镜(E-ELT) – 39m

美国“三十米望远镜”(TMT)

射电望远镜

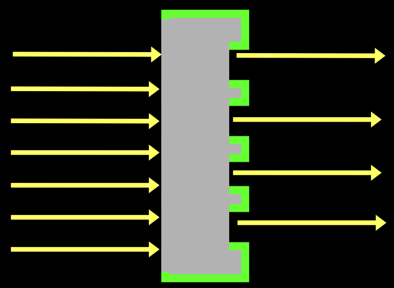
波多黎各境内的阿雷西博(Arecibo)天文台 —— 305→350米口径
贵州省平塘县-利用喀斯特地貌建筑的FAST (Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope)
—— 500m口径

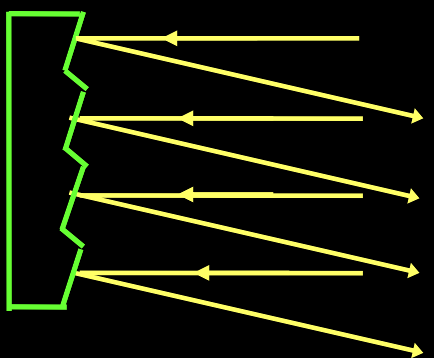
§14.9 衍射光栅及光栅光谱

一. 衍射光栅

1. 光栅 — 大量等宽等间距的平行狭缝(或反射面)构成的光学元件

透射光栅





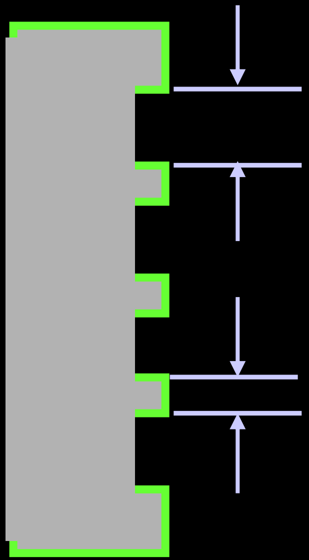
反射光栅

2. 光栅常数 *d*

$$d = a + b = \frac{1}{m}$$

光栅宽度为 l 毫米，每毫米缝数为 m，则总缝数

$$N = l/d = m \times l$$

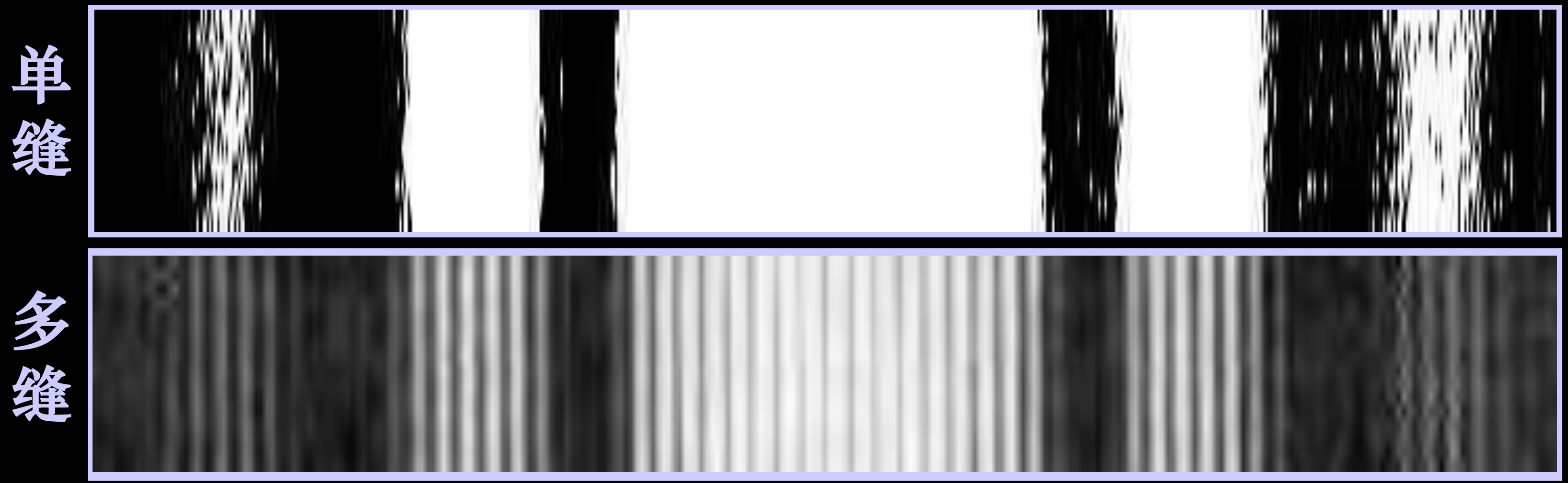


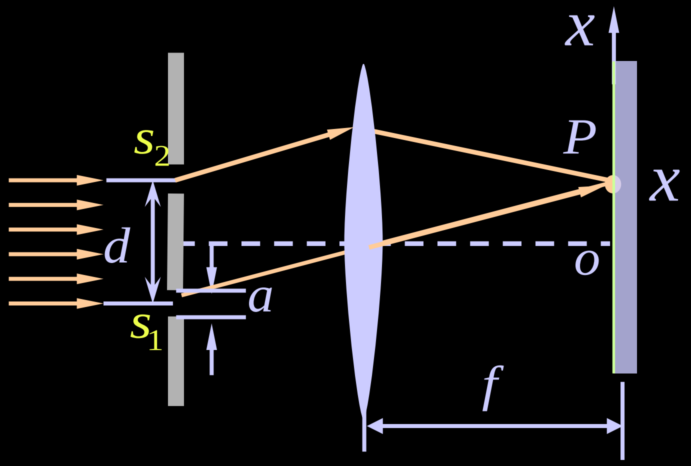
a 透光宽度

b 不透光宽度

3. 光栅衍射的基本特点

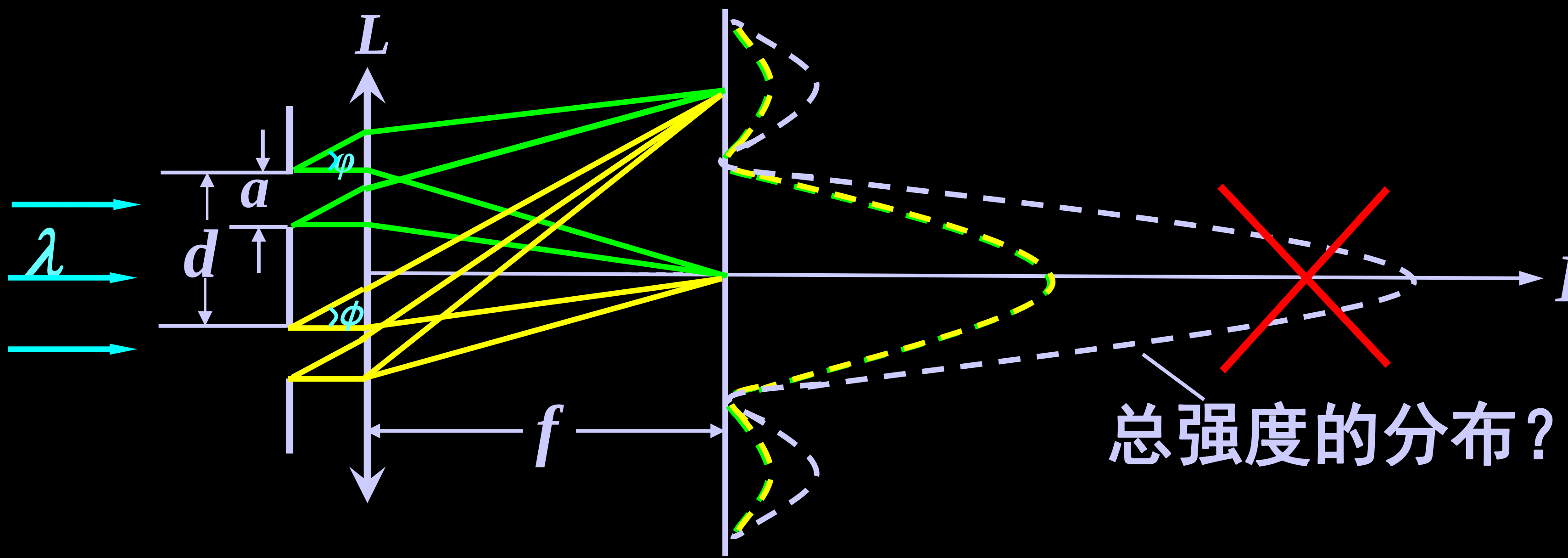
单缝衍射和多缝衍射干涉的对比 （d =10a）





每缝自身的夫琅禾费衍射和各缝之间的干涉，决定了光通过光栅后的光强分布——单缝衍射和缝间干涉联合作用的结果

单缝衍射：$I = I_0\left(\dfrac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2 \qquad \alpha = \dfrac{\pi a \sin\varphi}{\lambda}$

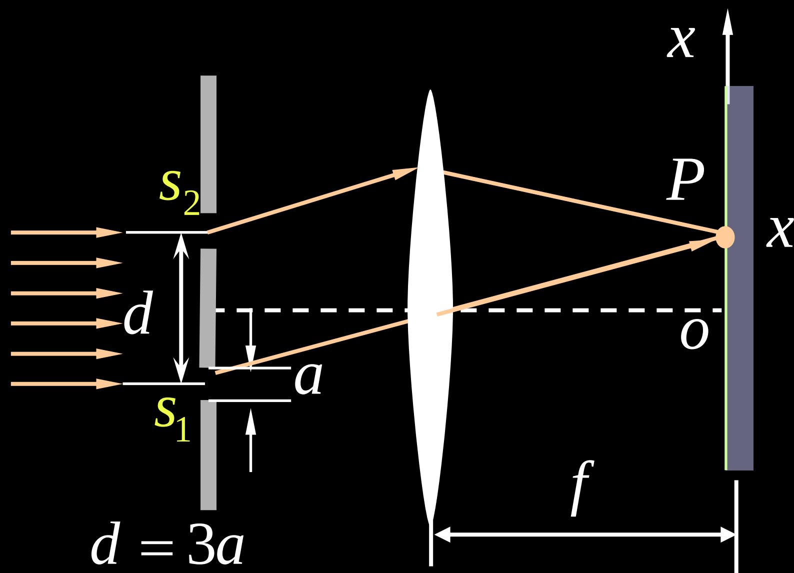


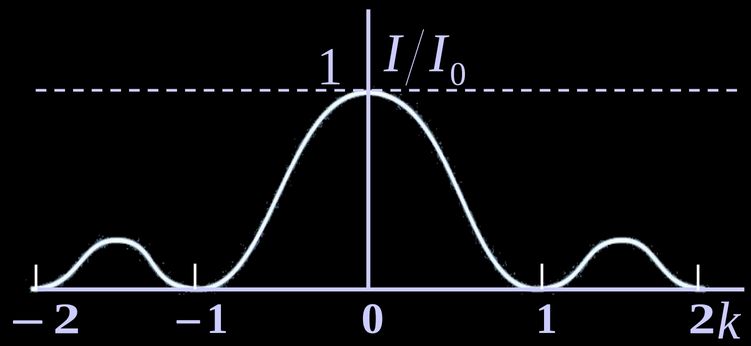
单个缝衍射光强极大值的位置，在屏上重叠

总强度的分布，是两束光的相干叠加

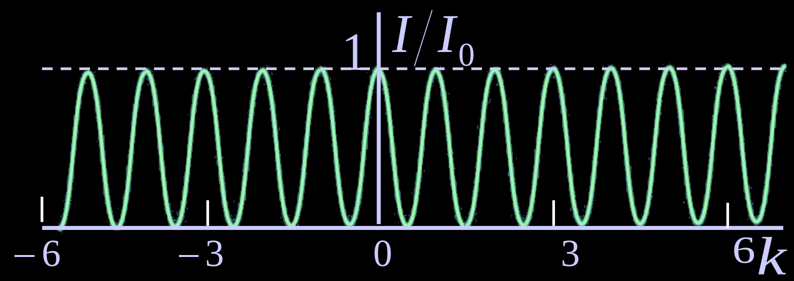
3光栅衍射的基本特点

以二缝光栅为例

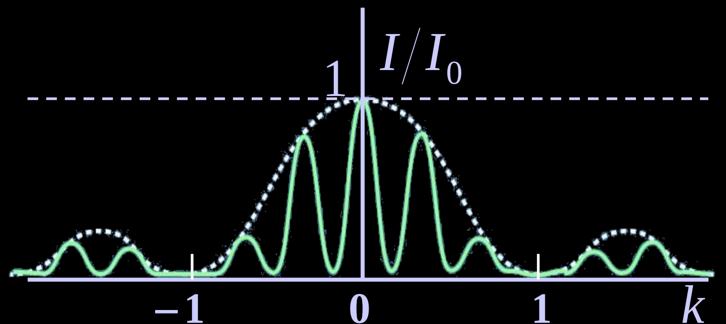




只考虑单缝衍射强度分布



只考虑双缝干涉强度分布



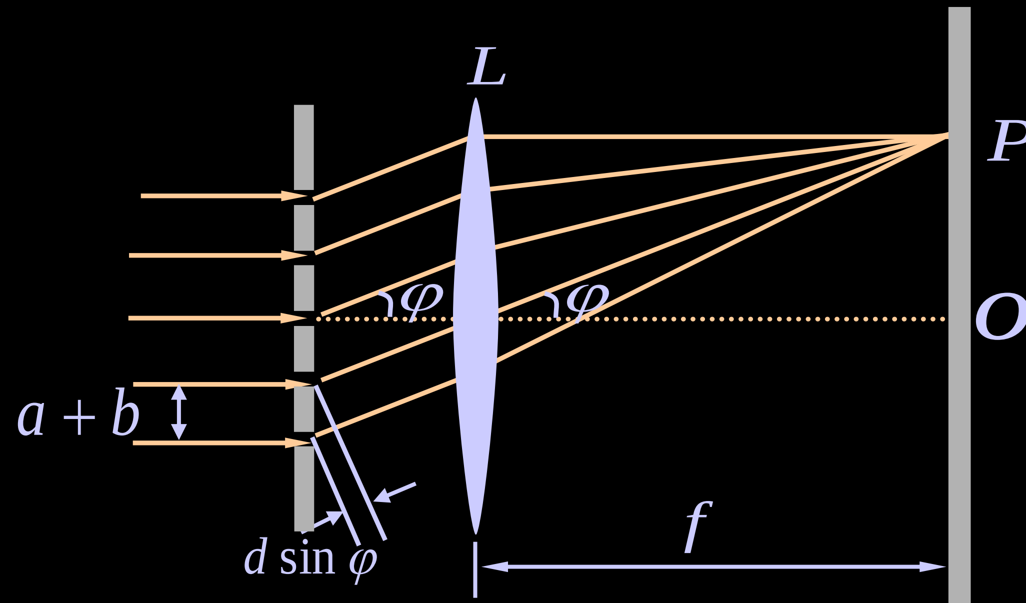
双缝光栅强度分布

结论：

屏上的强度为单缝衍射和缝间干涉的共同结果。

二. 多缝干涉

1. 五缝干涉例子



- **主极大角位置条件**

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

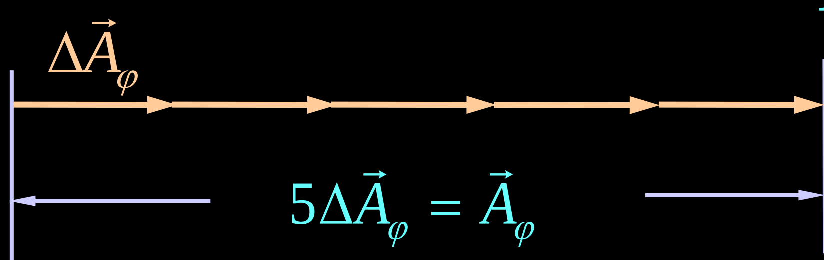
$$k=0,1,2,\cdots\cdots$$

***k* 称为主极大级数**

相邻两缝在 *P* 点引起的光振动相位差为

$$\delta=2\pi\frac{d\sin\varphi}{\lambda}=2k\pi$$

- **主极大强度**



ΔA_{φ}**为主极大条件下每个单缝在 *P* 点引起光振动矢量的振幅**

$$I_{\phi}\left(\propto A_{\phi}^{2}\right)=5^{2}\Delta I_{\phi}$$

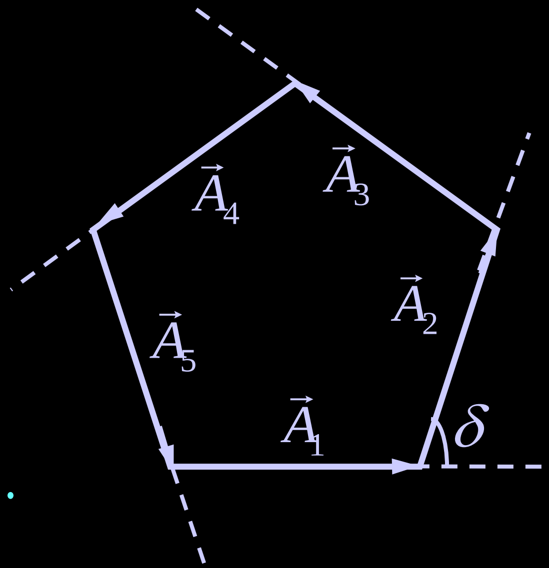
- **暗纹条件**

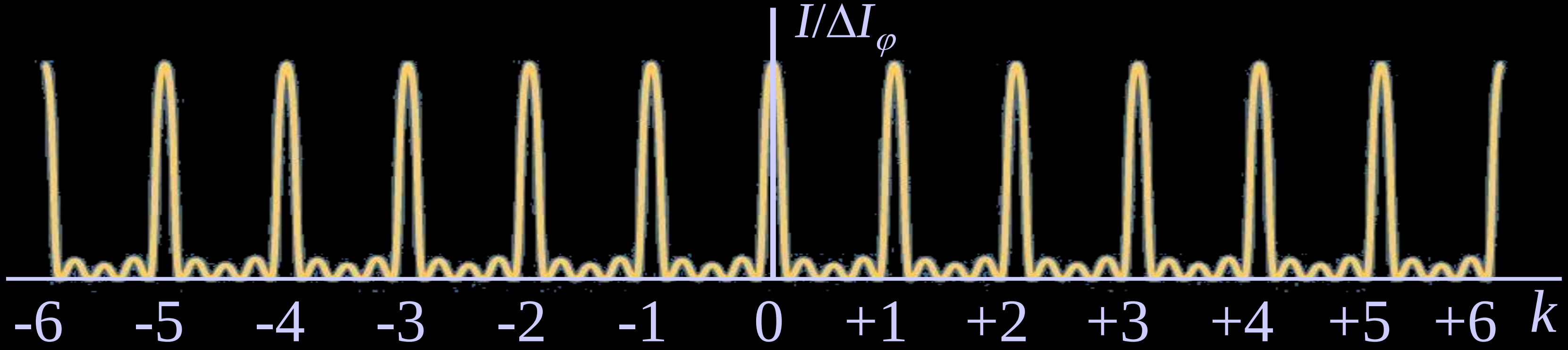
各缝光振幅矢量: $\vec{A}_1, \vec{A}_2, \vec{A}_3 \ldots, \vec{A}_5$

相邻矢量相位差: $\delta = \dfrac{2\pi}{\lambda} d \sin\varphi$

暗纹条件 $5\delta = \pm 2m\pi$

$5d\sin\varphi = \pm m\lambda \qquad m = 1,2,\cdots,4,6,\cdots,9,11,\cdots$





结论

(1) 对五缝干涉，相邻两主极大间有**4**个极小，**3**个次极大。

(2)主极大光强是相应位置处单缝引起光强的 **5^2** 倍。

2. N 缝干涉

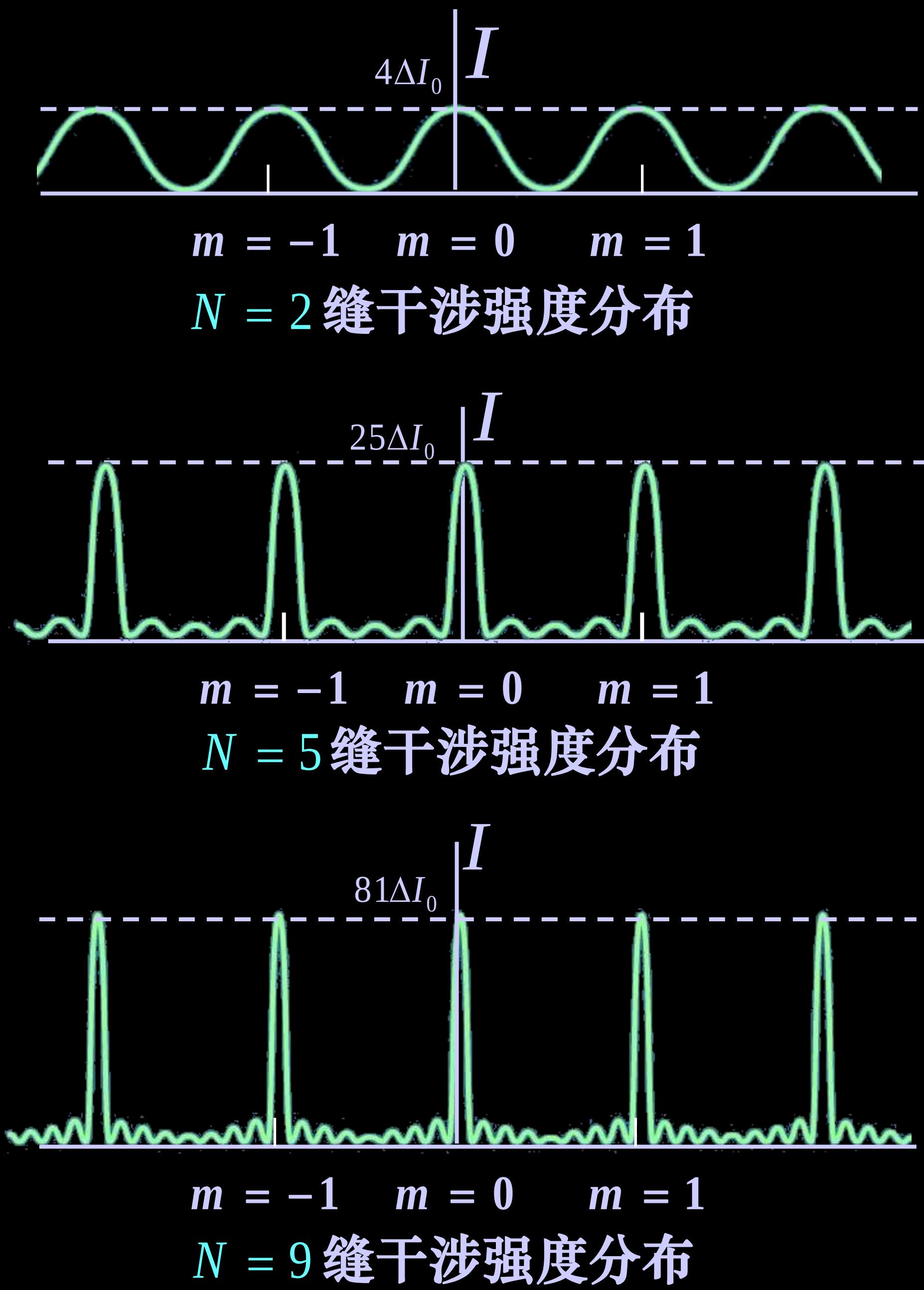
对N 缝干涉两主极大间有N - 1个极小， N - 2 个次极大。

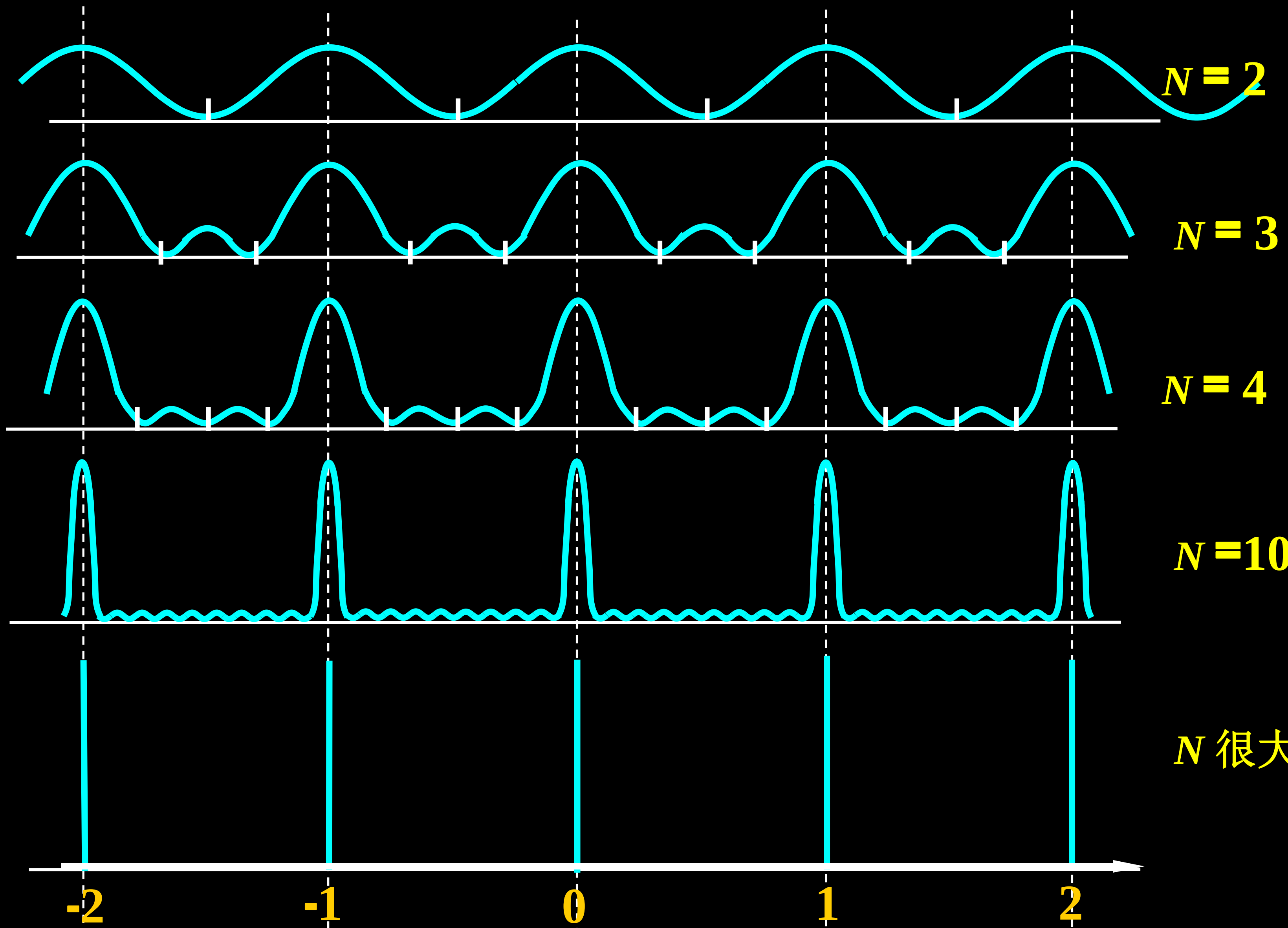
衍射屏上总能量 $E \propto N$

主极大的强度 $I \propto N^2$

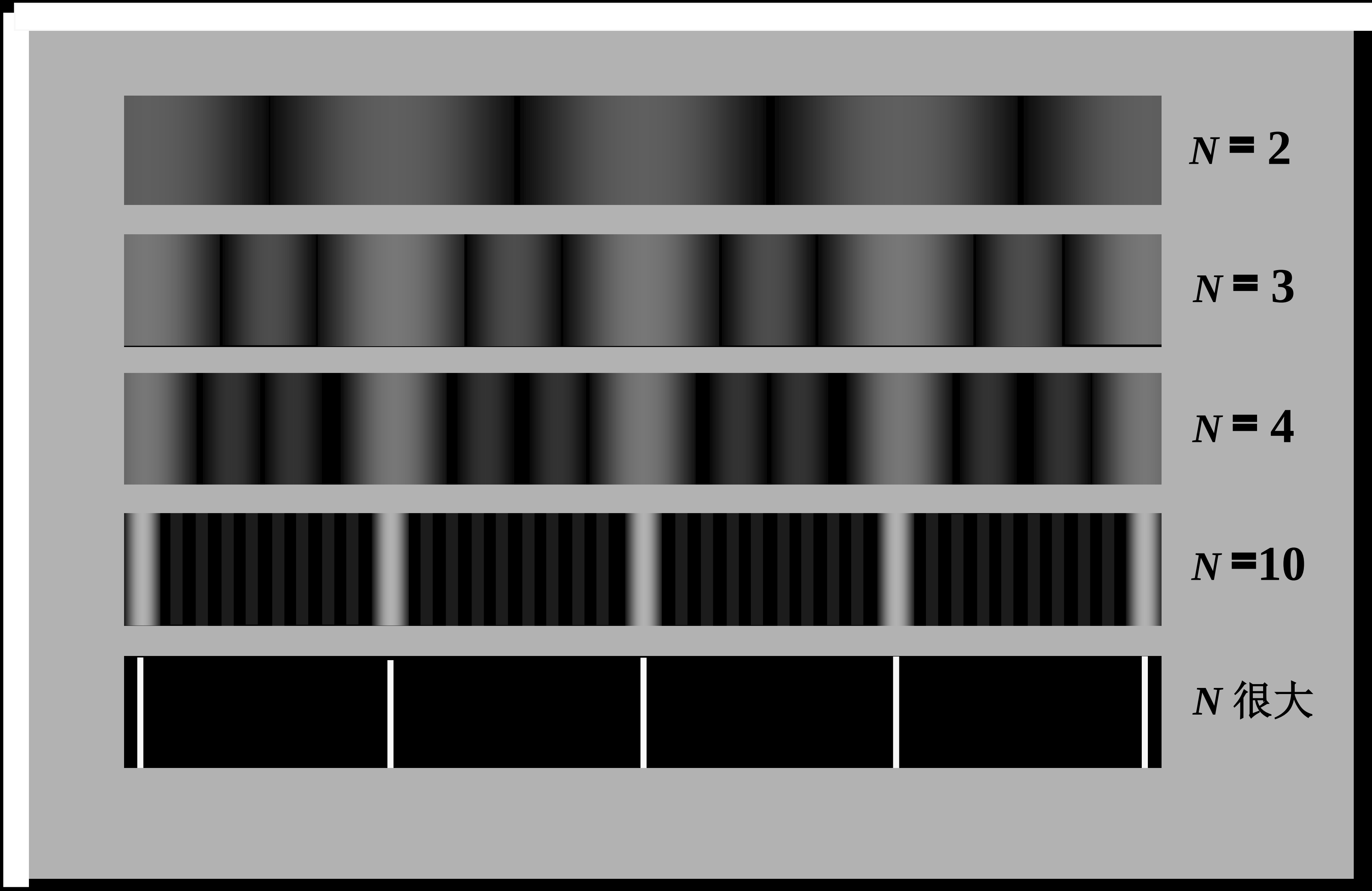
由能量守恒，主极大的宽度 $\propto 1/N$

随着 N 的增大，主极大变得更为尖锐，且主极大间为暗背景





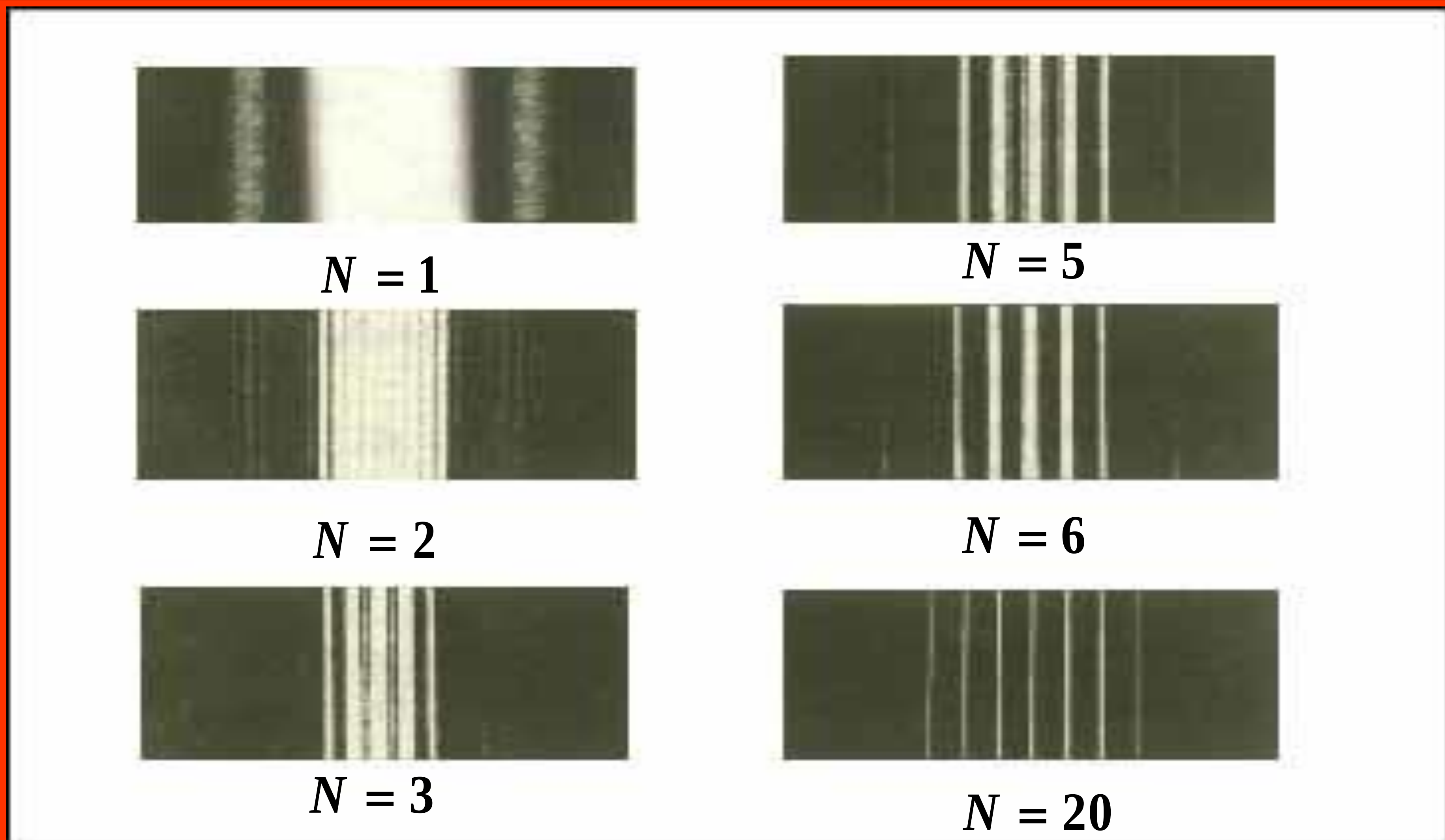
N 增大，主极大条纹变亮变窄，次极大数目变多而相对强度变小。



N个相干线光源干涉条纹示意图

光栅的夫琅禾费衍射 —— 单缝衍射 + 缝间干涉

1. 单缝衍射和缝间干涉的共同结果



2. 光栅方程

缝间干涉主极大就是光栅衍射主极大，其位置满足

$$\boxed{d\sin\varphi = \pm k\lambda \qquad k = 0,1,2,3,\cdots \qquad \text{—— 光栅方程}}$$

3. 缺级条件分析

多缝干涉主极大光强受单缝衍射光强调制，使得主极大光强大小不同，在**单缝衍射光强极小处**的主极大**缺级**。

$$\left.\begin{aligned} d\sin\varphi &= \pm k\lambda \\ a\sin\varphi &= \pm k'\lambda \end{aligned}\right\} \Rightarrow \sin\varphi = k'\lambda/a = k\lambda/d$$

$$\boxed{k = \pm k'\frac{d}{a} \qquad k' = 1,2,3,\cdots} \quad \text{缺级条件}$$

如 $\begin{cases} d/a = 2 & k = \pm 2, \pm 4, \pm 6\cdots \quad \text{缺级} \\ d/a = 3/2 & k = \pm 3, \pm 6, \pm 9\cdots \quad \text{缺级} \end{cases}$

4. 暗纹条件

光栅衍射中，两主极大条纹之间分布着一些暗纹，这是**缝间干涉相消**而成。

设光栅总缝数为 N，各缝在观察屏上某点 P 引起的光振动矢量为

$$\vec{A}_1\,,\ \vec{A}_2\,,\ \cdots,\ \vec{A}_i\,,\cdots\ ,\ \vec{A}_N$$

当这些振动矢量组成的多边形封闭时，合矢量为零，对应点为暗纹，则

暗纹条件　$N\delta = \pm 2m\pi$

其中 $\delta = \dfrac{2\pi}{\lambda} d\sin\varphi$ 为相邻缝光振动矢量夹角

$$\boxed{Nd\sin\varphi = \pm m\lambda \qquad m = 1,2,\cdots, N-2, N-1, N+1, N+2\cdots}$$

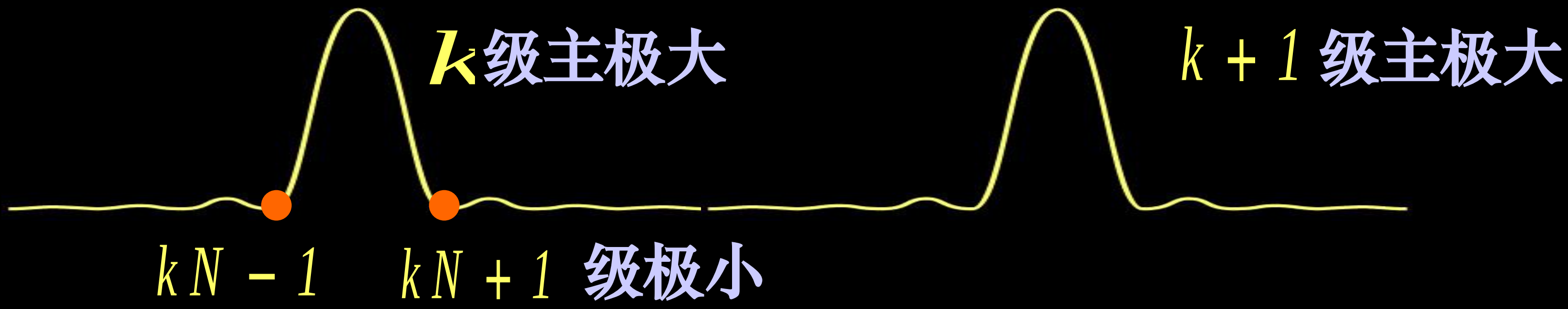
$$(a+b)\sin\varphi = \pm m\frac{\lambda}{N}$$ 暗纹条件

$m = \quad 1, 2, 3, \quad N-1, \; N+1, N+2, \quad 2N-1, \; 2N+1,$

两个明纹之间有 $N-1$ 条暗纹，相邻暗纹之间有 1 条次级明纹，两个明纹之间共有 $N-2$ 条次级明纹。

结果：缝数 N 增大 $\Longrightarrow$ 明纹变细 暗纹增多 $\Longrightarrow$ 暗区扩大

强调： m 的取值及与主极大级次 k 的关系

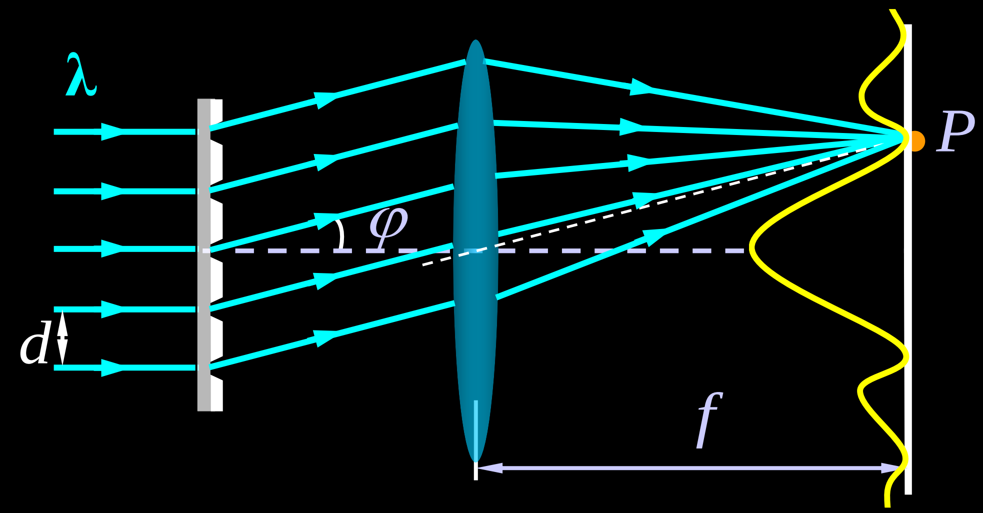


5. 光栅衍射光强分布公式

单缝衍射的振幅分布和强度分布为

$$E_\varphi = E_m \cdot \frac{\sin\alpha}{\alpha}$$

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



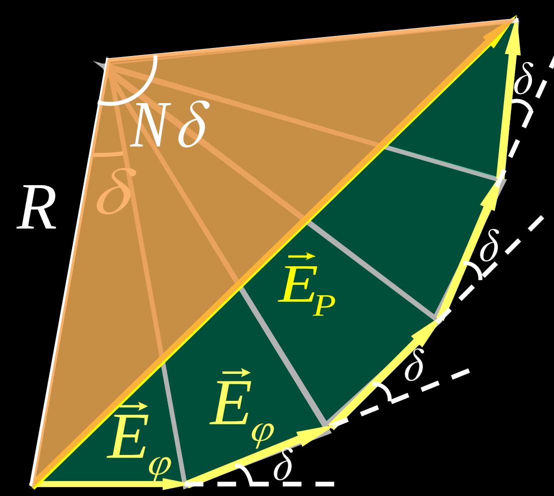
单缝衍射振幅曲线

相邻两缝发出的光在 P 点引起的光振动相位差为

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d \sin\varphi$$

取 $\beta = \frac{\delta}{2} = \frac{\pi d \sin\varphi}{\lambda}$ 由几何关系可得:

$$E_\varphi = 2R\sin\beta \qquad E_P = 2R \cdot \sin N\beta$$



$$E_P = E_\varphi \cdot \frac{\sin N\beta}{\sin\beta} \longrightarrow \boxed{I_0 = I_m \left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2 \cdot \left(\frac{\sin N\beta}{\sin\beta}\right)^2}$$

讨论

$\left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2$ 单缝衍射因子　　$\left(\frac{\sin N\beta}{\sin\beta}\right)^2$ 缝间干涉因子

- 主极大位置及光强

若 $\delta = 2\beta = 2k\pi \longrightarrow \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d\sin\varphi = 2k\pi \longrightarrow d\sin\varphi = \pm k\lambda$

$\sin(N\beta) = 0 \quad \sin(\beta) = 0 \longrightarrow I = I_m \left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2 \cdot N^2$

- 暗纹公式

若 $\left(\frac{\sin N\beta}{\sin\beta}\right)^2 = 0 \longrightarrow N\delta = \pm m \cdot 2\pi \longrightarrow d\sin\varphi = \pm\frac{m\lambda}{N}$

$(m \neq 0, \pm N, 2N, \cdots)$

- **缺级条件 → 单缝衍射极小，缝间干涉极大**

若 $\dfrac{\sin\alpha}{\alpha}=0 \longrightarrow \sin\alpha=0 \longrightarrow \alpha=\dfrac{\pi a\sin\varphi}{\lambda}=\pm k\pi$

即 $a\sin\varphi=\pm k'\lambda \quad k'=1,2,3,\cdots$ **(1)**

同时 $\dfrac{\sin(N\beta)}{\sin(\beta)}=N \longrightarrow \delta=2k\pi \longrightarrow \delta=\dfrac{2\pi}{\lambda}\cdot d\sin\varphi$

即 $d\sin\varphi=k\lambda \quad k=0,1,2,3\cdots$ **(2)**

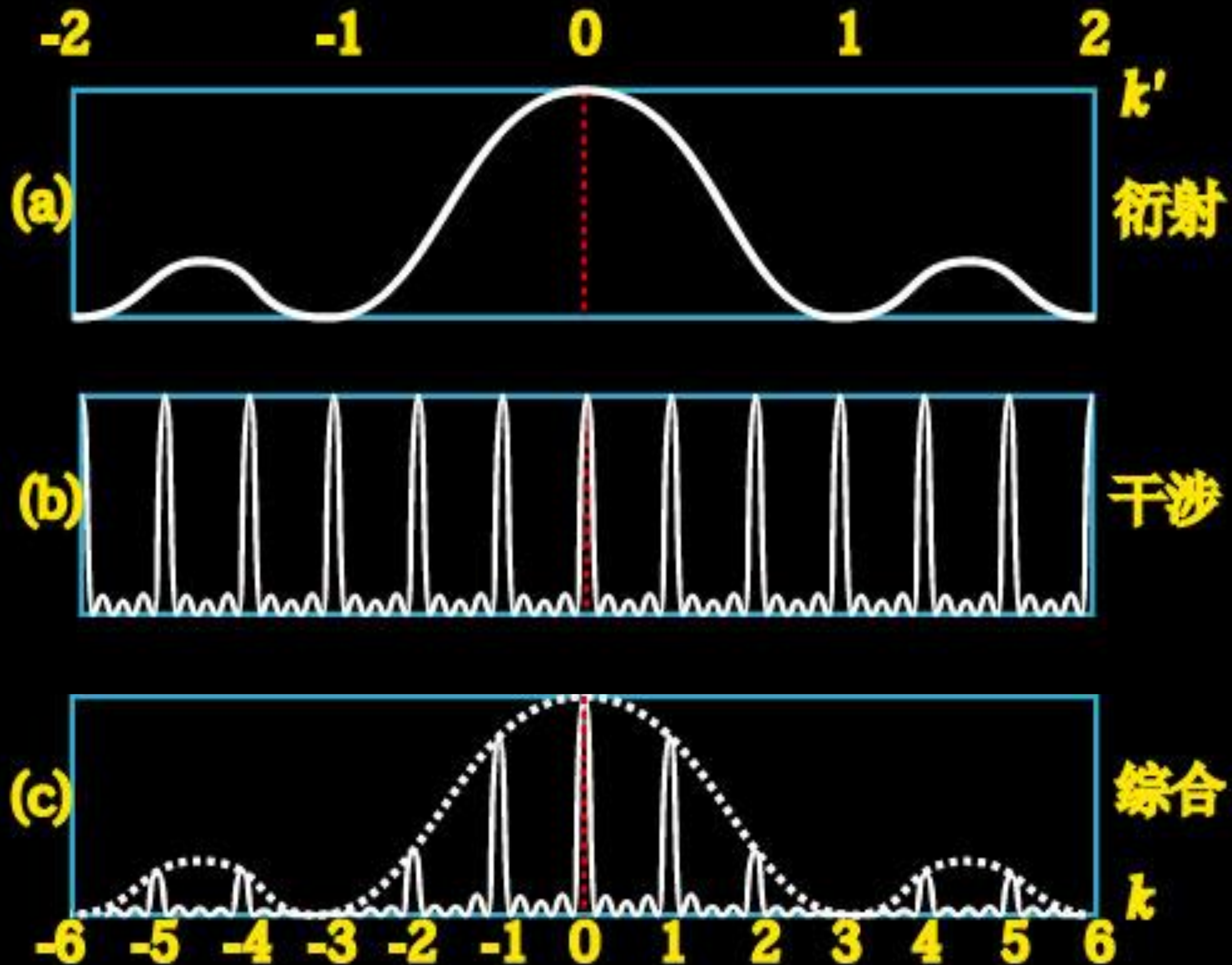
(1)、(2)联立得 $k=\dfrac{d}{a}\cdot k'$ （k' 取非零整数）

例如： $a+b=4a$

$4a\sin\varphi=k\lambda \Longrightarrow k=\pm4,\pm8,\pm12\cdots$ **出现缺级**

$$I_p = I_{m单}\left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2 \cdot \left(\frac{\sin N\beta}{\sin\beta}\right)^2$$

各级主极大光强不同，特别是刚好遇上单缝衍射因子零点的那几级主极大消失了——**missing order**



单缝衍射强度分布

多缝干涉强度分布

光栅衍射强度分布

- **主极大的半角宽度**

$(a+b)\sin\varphi = \pm m\dfrac{\lambda}{N}$ 暗纹条件

$$d\sin\varphi_k = k\lambda \qquad d\sin(\varphi_k+\Delta\varphi) = \frac{kN+1}{N}\lambda$$

$$\sin(\varphi_k+\Delta\varphi) - \sin\varphi_k \approx \left(\frac{d\sin\varphi}{d\varphi}\right)_{\varphi=\varphi_k}\cdot\Delta\varphi = \cos\varphi_k\Delta\varphi$$

$$= \lambda / Nd$$

$$\boxed{\Delta\varphi = \frac{\lambda}{Nd\cos\varphi_k}}$$

主极大的半角宽度与 Nd 成反比，Nd 越大，$\Delta\varphi_k$ 越小，这意味着主极大的锐度越大（条纹越细）

- 在给定光栅常数之后，主极大的位置就被确定
- 单缝衍射因子不改变主极大的位置和半角宽度

  其作用仅在于影响强度在各级主极大间的分配

例 波长为600nm的平行光垂直照射在一光栅上，有两个相邻主极大明纹分别出现在$\sin\varphi_1=0.20$和$\sin\varphi_2=0.30$处，且第四级缺级.

求 (1) 光栅常数；

(2) 光栅狭缝的最小宽度；

(3) 实际可观察到的明纹级数和条数.

解 (1) 由光栅方程，得

$$\left.\begin{aligned} d\sin\varphi_1 &= k\lambda \\ d\sin\varphi_2 &= (k+1)\lambda \end{aligned}\right\} \Longrightarrow d(\sin\varphi_2-\sin\varphi_1)=\lambda$$

$$d=\frac{\lambda}{\sin\varphi_2-\sin\varphi_1}=\frac{600\times10^{-9}}{0.30-0.20}\text{m}=6.0\times10^{-6}\text{m}$$

(2) 第四级主极大缺级，有

$$4=\frac{d}{a}k'$$

k'取1 得最小缝宽

$$a=\frac{d}{4}=1.5\times10^{-6}\,\mathrm{m}$$

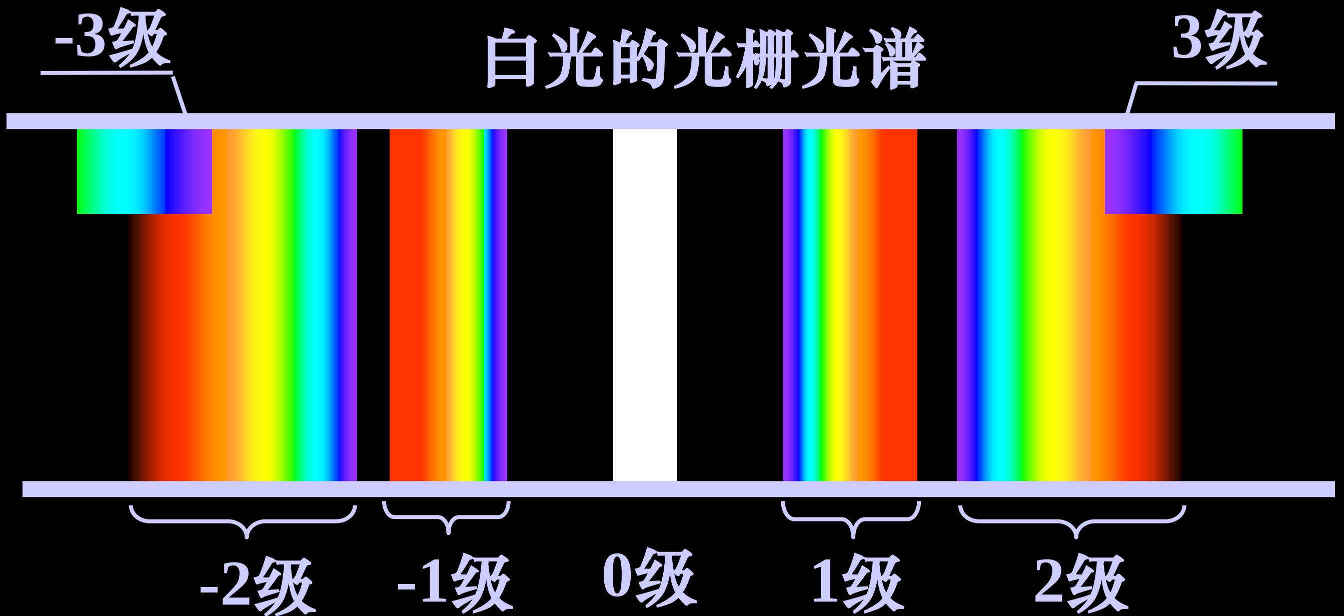
(3) 当$\varphi=(\pi/2)$时，由光栅方程得最高级数

$$k_{\max}=\frac{d}{\lambda}=\frac{6\times10^{-6}}{600\times10^{-9}}=10$$

实际可以观察到0, ±1, ±2, ±3, ±5, ±6, ±7, ±9级共15条谱线.

四. 光栅光谱及分辨本领

1. 光栅光谱



2. 光栅的色分辨本领

（将波长相差很小的两个波长 λ 和 λ+Δλ 分开的能力）

色谱仪的色分辨率 $R = \dfrac{\lambda}{\Delta\lambda}$

光栅的色分辨率

设两波长 λ_1 和 $\lambda_2=\lambda_1+\Delta\lambda$ 在第 k 级能被光栅分辨，则有

$$\left.\begin{aligned} d\sin\varphi_{1,k} &= k\lambda_1 \\ d\sin\varphi_{2,k} &= k\lambda_2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow d\cos\varphi_{1,k}\Delta\varphi_{1,2,k}=k\Delta\lambda$$

其中 $\Delta\varphi_{1,2,k}=\varphi_{2,k}-\varphi_{1,k}=\dfrac{k\Delta\lambda}{d\cos\varphi_{1,k}}$ ...(1)

波长 λ_1 第 k 级主极大半角宽度 $\Delta\varphi_{1,k}=\dfrac{\lambda}{Nd\cos\varphi_{1,k}}$ ...(2)

根据瑞利判据：当 $\Delta\varphi_{1,2,k}=\Delta\varphi_{1,k}$ 时刚好能分辨

由(1)、(2) 得 $\boxed{R=\dfrac{\lambda}{\Delta\lambda}=kN}$ （光栅的色分辨本领）

讨论

增大主极大级次 k 和总缝数 N，可提高光栅的分辨率。

五. 斜入射的光栅方程

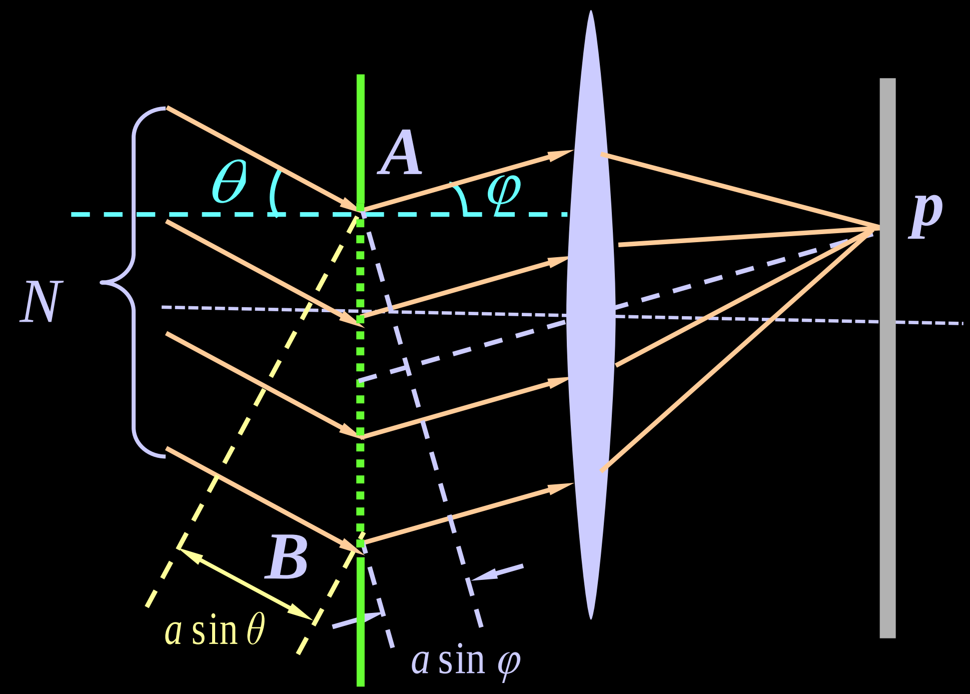
主极大条件

$$d(\sin\varphi + \sin\theta) = \pm k\lambda$$

$$k = 0, 1, 2, 3\ldots$$

缺级条件

$$\boxed{\begin{aligned} a(\sin\varphi + \sin\theta) &= \pm k'\lambda \\ d(\sin\varphi + \sin\theta) &= \pm k\lambda \end{aligned}}$$



最多明条纹数 $(-\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2})$

$$k_{+\max} = \left[\frac{d}{\lambda}(\sin\frac{\pi}{2} + \sin\theta)\right] \qquad k_{-\max} = \left[\frac{d}{\lambda}\left(\sin\left(-\frac{\pi}{2}\right) + \sin\theta\right)\right]$$

$$\Delta N = k_{+\max} - k_{-\max} + 1$$

例 一束波长为 480 nm 的单色平行光，照射在每毫米内有600条刻痕的平面透射光栅上。

求 (1) 光线垂直入射时，最多能看到第几级光谱?

(2) 光线以 30° 入射角入射时，最多能看到第几级光谱?

解 (1) $d\sin\varphi = \pm k\lambda$

$$d = \frac{1}{600\times10^3} = \frac{1}{6}\times10^{-5}\ \text{m}$$

$$k_{\max} = [d/\lambda] = \left[\frac{10^{-5}}{6\times4.8\times10^{-7}}\right] = 3$$

(2) $d(\sin\varphi + \sin30^{\circ}) = \pm k\lambda$

当 $\varphi = 90^{\circ}$ 时 $k_{+\max} = 5$

当 $\varphi = -90^{\circ}$ 时 $k_{-\max} = -1$

说明

(1) 斜入射级次分布不对称

(2) 斜入射时，可得到更高级次的光谱，提高分辨率。

(3) 垂直入射和斜入射相比，完整级次数不变。

上题中垂直入射级数 $k = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$

斜入射级数 $k = -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5$

(4) 垂直入射和斜入射相比，缺级级次相同。

$$\left.\begin{array}{l} d(\sin\varphi + \sin\theta) = \pm k\lambda \\ a(\sin\varphi + \sin\theta) = \pm k'\lambda \end{array}\right\} \Longrightarrow k = k'\frac{d}{a} \quad k' = 1, 2, 3, \cdots$$

例 每毫米均匀刻有100条线的光栅，宽度为 D =10 mm，当波长为500 nm的平行光垂直入射时，第四级主极大谱线刚好消失，第二级主极大的光强不为 0 。

求 (1) 光栅狭缝可能的宽度； (2) 第二级主极大的半角宽度。

解 (1) 光栅常数 $a+b=\dfrac{1}{100}=1\times10^{-2}\ \text{mm}$

第四级主极大缺级，故有 $4=k'\dfrac{a+b}{a}$ $\quad 1\le k'<4$

$k'=1$ 时 $a=\dfrac{a+b}{4}=\dfrac{1\times10^{-2}}{4}=2.5\times10^{-3}\ \text{mm}$

$k'=2$ 时，第二级主极大也发生缺级，不符题意，舍去。

$k'=3$ 时， $a=\dfrac{a+b}{4}\times3=\dfrac{1\times10^{-2}}{4}\times3=7.5\times10^{-3}\ \text{mm}$

符合题意的缝宽有两个，分别是 2.5×10^{-3} mm 或 7.5×10^{-3} mm

(2) 光栅总的狭缝数 $N=\dfrac{D}{a+b}=\dfrac{10}{10^{-2}}=10^{3}$

设第二级主极大的衍射角为 φ_{2N}，与该主极大相邻的暗纹(第 $2N+1$ 级或第 $2N-1$ 级)衍射角为 φ_{2N+1}，由光栅方程及暗纹公式有

$$N(a+b)\sin\varphi_{2N}=2N\lambda$$

$$N(a+b)\sin\varphi_{2N+1}=(2N+1)\lambda$$

代入数据后，得 $\varphi_{2N}=5.739^{\circ}$ $\varphi_{2N+1}=5.742^{\circ}$

第二级主极大的半角宽度

$$\Delta\varphi=\varphi_{2N+1}-\varphi_{2N}=0.003^{\circ}$$

例 用白光垂直照射一光栅，能在30^0衍射方向观察到$6000\,\mathring{A}$的第二级主极大干涉，并能在该处分辨$\Delta\lambda = 0.05\,\mathring{A}$的两条光谱线；可是在$30^0$衍射方向却很难测到$4000\,\mathring{A}$的主极大干涉

求 (1) 光栅相邻两缝的间距；

(2) 光栅的总宽度；

(3) 光栅上狭缝的宽度；

(4) 若以此光栅观察钠光谱($\lambda = 5900\,\mathring{A}$)，当光线垂直入射和以$30^0$斜入射时，屏上各呈现的全部干涉条纹的级数。

解 (1) $d\sin\varphi = \pm k\lambda \quad \varphi = 30^0 \quad k = 2 \quad \lambda = 6000\,\mathring{A}$

$$d = 2.4\times10^{-3}(\mathrm{mm})$$

(2) $R=\dfrac{\lambda}{\Delta\lambda}=kN$

$\Delta\lambda = 0.05\,\overset{\circ}{\mathrm{A}} \quad k=2 \quad \lambda = 6000\,\overset{\circ}{\mathrm{A}} \longrightarrow N = 6\times 10^{4}$

光栅的总宽度为 $Nd = 144\,\mathrm{mm}$

(3) 相应的缺级级次

$d\sin\varphi = \pm k\lambda \qquad \varphi = 30^{0} \qquad d = 2.4\times 10^{-3} \qquad \lambda = 4000\,\overset{\circ}{\mathrm{A}}$

$k=3$ 因此，在±3，±6，±9……缺级

$a=\dfrac{1}{3}d = 8\times 10^{-4}$ **mm or** $a=\dfrac{2}{3}d = 16\times 10^{-4}$ **mm**

(4) 当垂直入射时，可以观察到的最大级次为

$$d\sin\varphi = k\lambda \longrightarrow k_{\max} = \frac{d\sin(\pm\frac{\pi}{2})}{\lambda}$$

$d = 2.4\times10^{-3}$ $\lambda = 5900\,\overset{\circ}{\mathrm{A}}$ $k_{max} \approx 4.04$ $k_{max} = 4$

所以呈现于屏上应有 $0,\pm1,\pm2,\pm4$ 这7条干涉条纹。

当斜入射时，可以观察到的最大级次为

$$d(\sin\varphi + \sin\theta) = \pm k\lambda$$

$$d = 2.4\times10^{-3} \quad \lambda = 5900\,\overset{\circ}{\mathrm{A}} \quad \varphi = \pm\frac{\pi}{2} \quad \theta = \pm 30^0$$

$$k_{\max} = \frac{d[\sin(\pm\frac{\pi}{2}) - \sin 30^0]}{\lambda} = \begin{cases} 2.03 \\ -6.1 \end{cases}$$

$$k_{\max} = \frac{d[\sin(\pm\frac{\pi}{2}) + \sin 30^0]}{\lambda} = \begin{cases} -2.03 \\ 6.1 \end{cases}$$

所以呈现于屏上应有 $0,\pm1,\pm2,4,5(0,\pm1,\pm2,-4,-5)$ 这7条干涉条纹。