第10章 光的衍射

10.1 衍射理论

01 光的衍射现象

02 惠更斯—菲涅耳原理

03 衍射的分类

1 菲涅耳衍射

2 夫琅禾费衍射

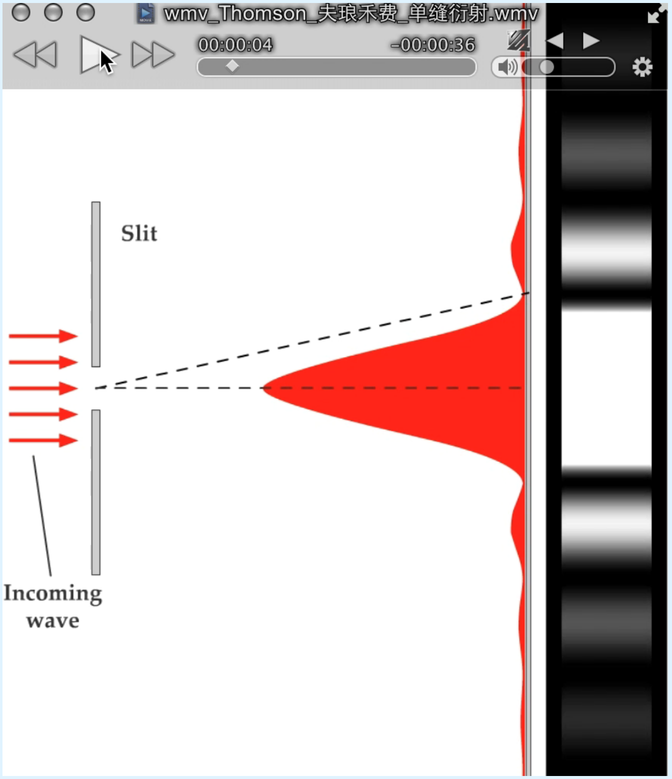
10.2 单缝衍射法测量金属膨胀系数

夫琅禾费单缝衍射 ★

01 光的衍射现象

光的衍射—— 光通过障碍物，偏离原来传播方向

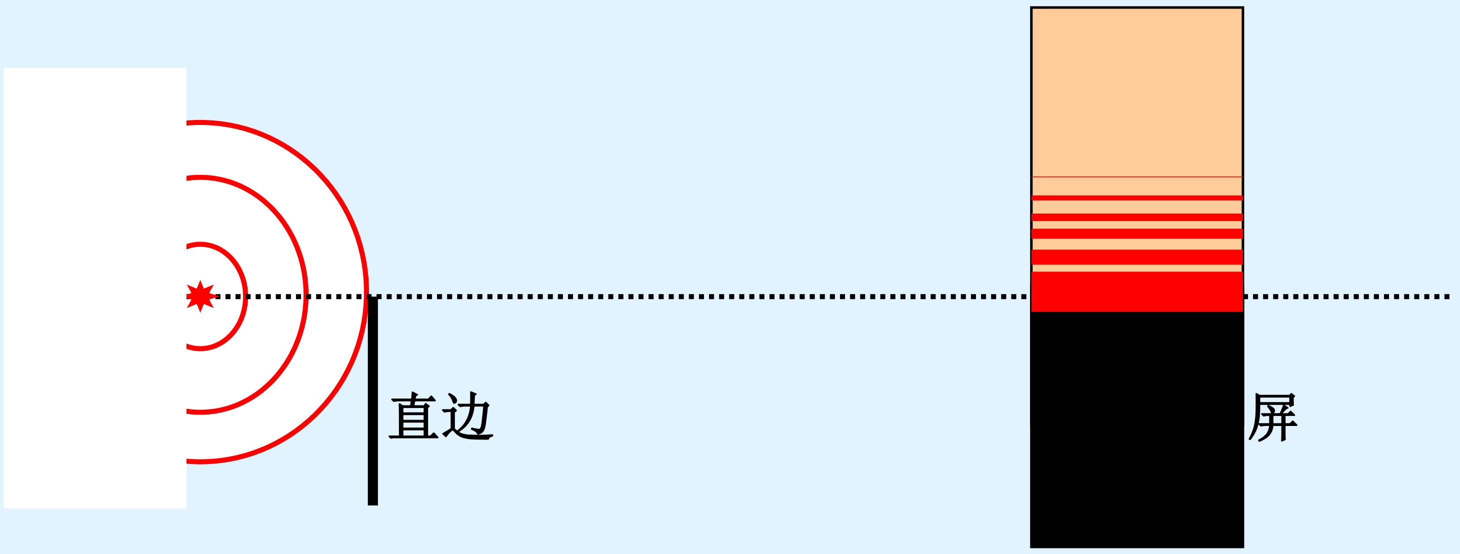
光强重新分布，形成明暗相间的条纹

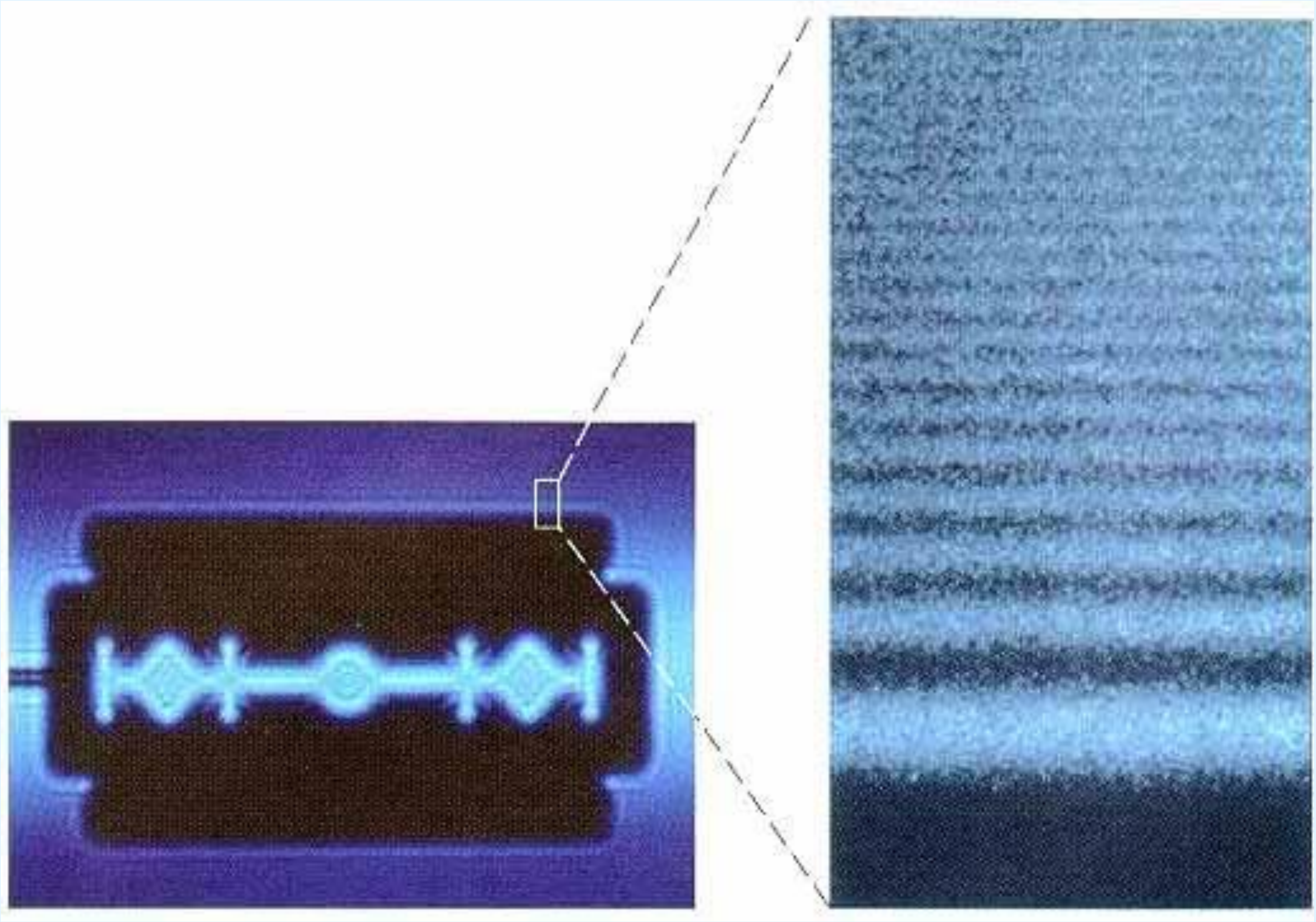


光的衍射——许许多多条光束的干涉

（声、水波等也有衍射现象，如隔墙闻莺等）

例：直边衍射（刃刃衍射）





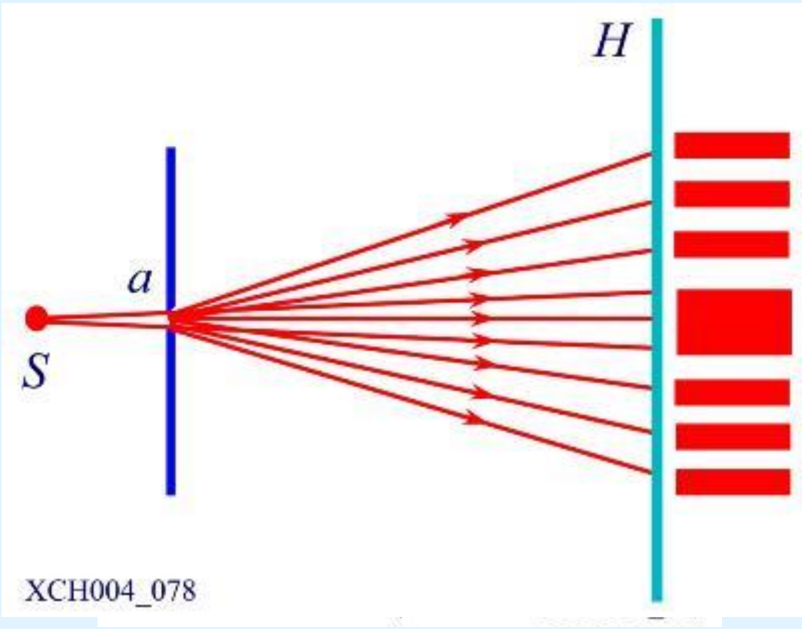
02 惠更斯—菲涅耳原理

1 惠更斯原理

—— 波面上每一点发出球面子波

任一时刻的波面

是所有子波波面的包络面

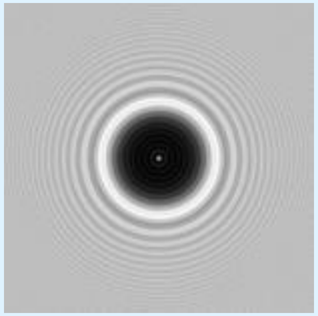


解释了光的直线传播

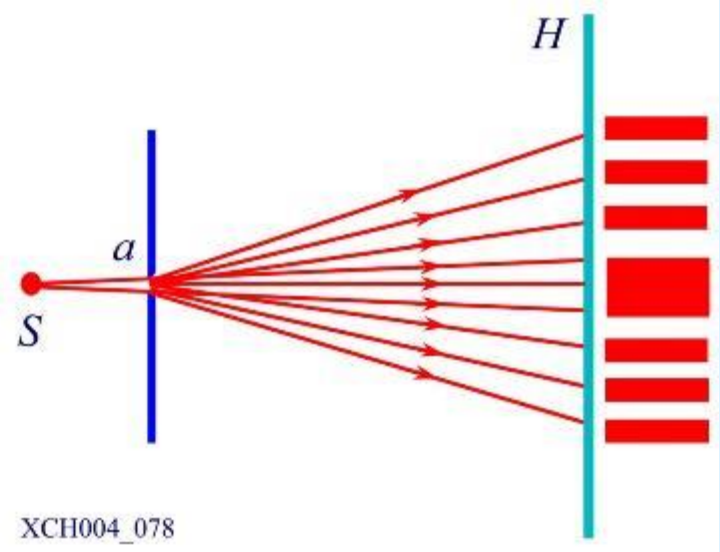
反射、折射和双折射现象

原理未涉及强度和波长概念 —— 不能解决衍射问题

2 惠更斯 — 菲涅耳原理



1815年法国土木工程师、物理学家菲涅尔弥补了惠更斯原理的不足之处



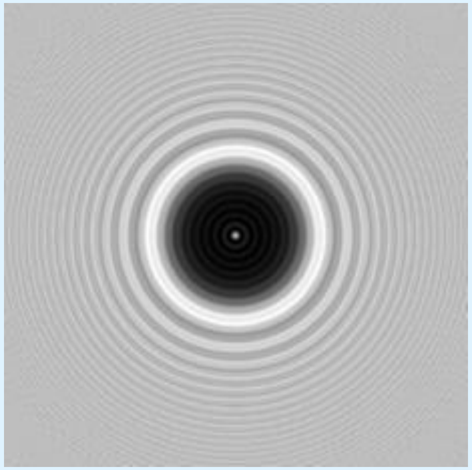
补充了子波相干叠加的概念

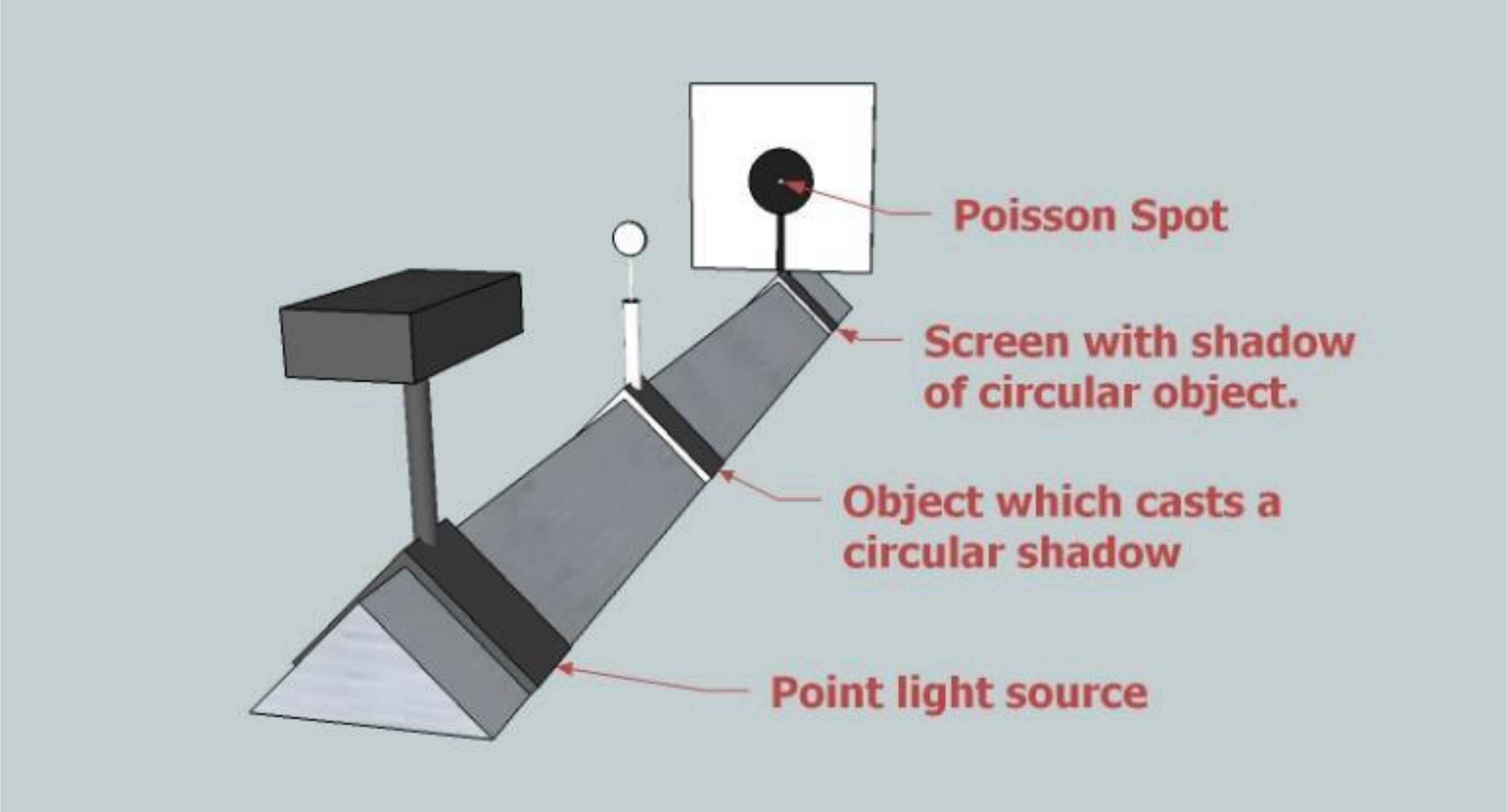
提出了波面上

各子波源发出的子波是相干波

空间一点光的强度由子波相干叠加决定

惠更斯 — 菲涅耳原理： 解决了光波衍射光强分布




Poisson Spot
Screen with shadow of circular object.
Object which casts a circular shadow
Point light source

惠更斯 — 菲涅耳原理的数学表达式

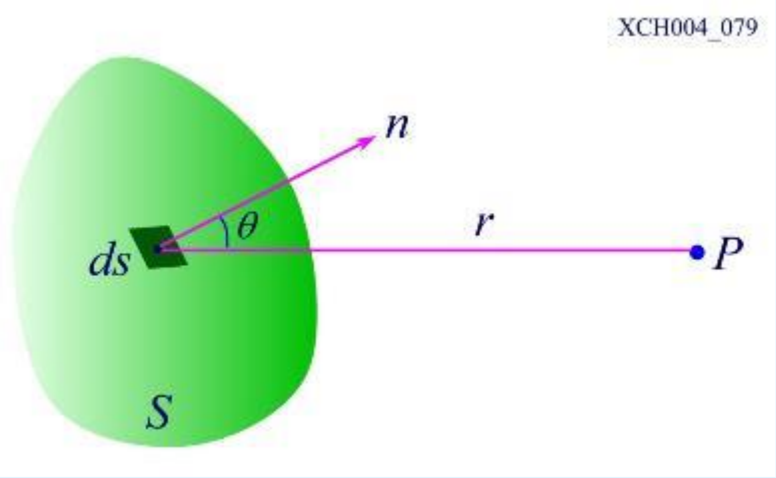
t 时刻 —— 波面上任一面元**ds** 在空间**P**点的振动

$$dE = C\frac{A(Q)K(\theta)}{r}\cos(\omega t - \frac{2\pi r}{\lambda})ds$$

***A*(*Q*)** —— 光强分布因子

***K*(*θ*)** —— 光强方向分布因子

C —— 常数

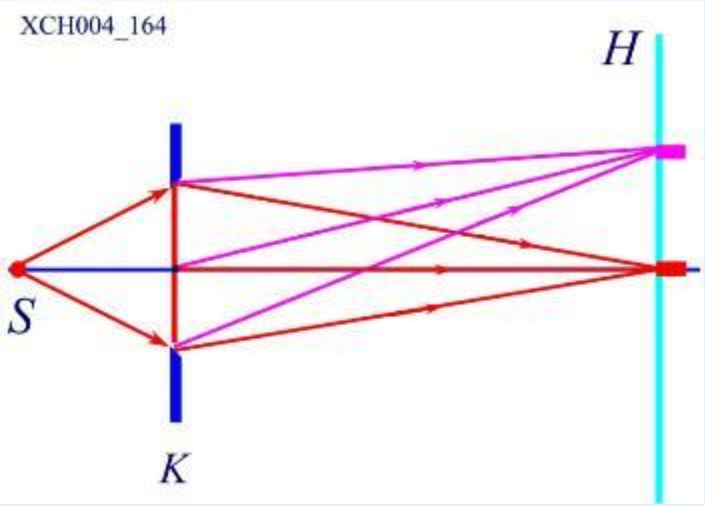


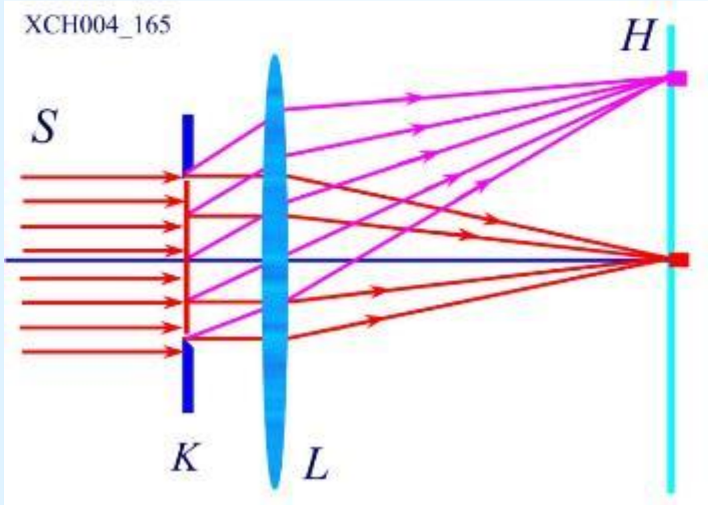
波面*S* 在 *P* 点的振动 $E = \int_S C\frac{A(Q)K(\theta)}{r}\cos(\omega t - \frac{2\pi r}{\lambda})ds$

3 衍射的分类

观察衍射的方式不同 → 菲涅耳衍射 / 夫琅禾费衍射

菲涅耳衍射 —— 光源和光屏距障碍物为有限距离





夫琅禾费衍射 —— 光源和光屏距障碍物为无限距离

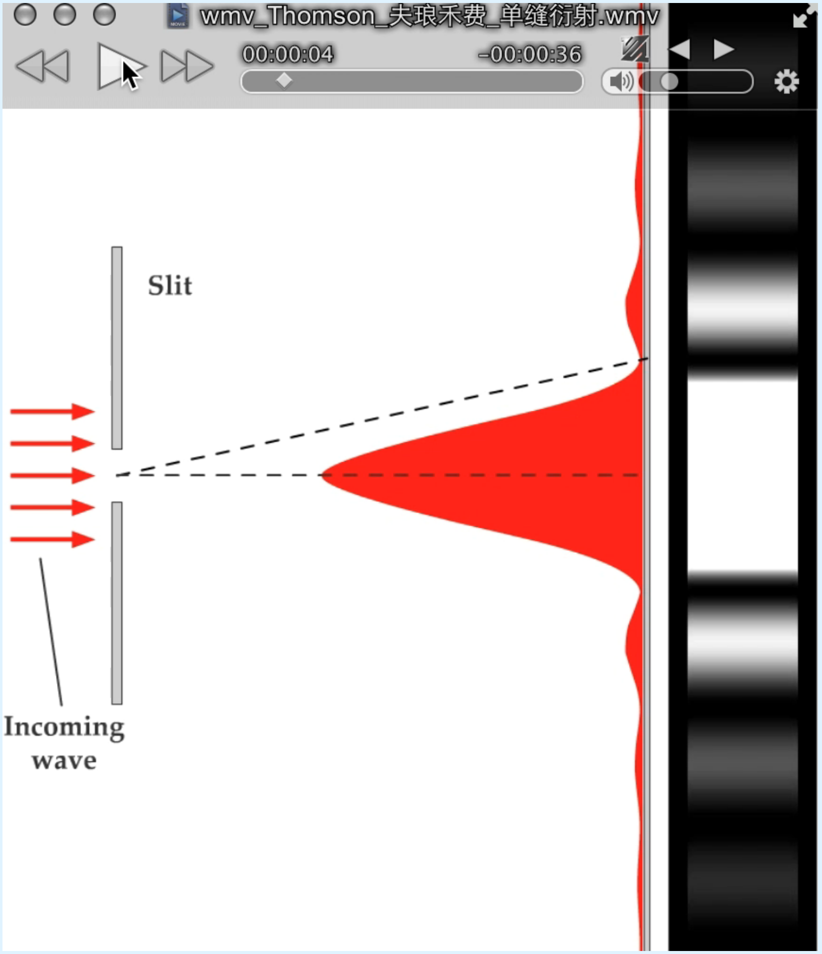
夫琅禾费衍射和菲涅耳衍射中衍射条纹的强度

—— 根据惠更斯—菲涅耳原理

对衍射条纹进行定量分析

—— 用菲涅耳半波带法

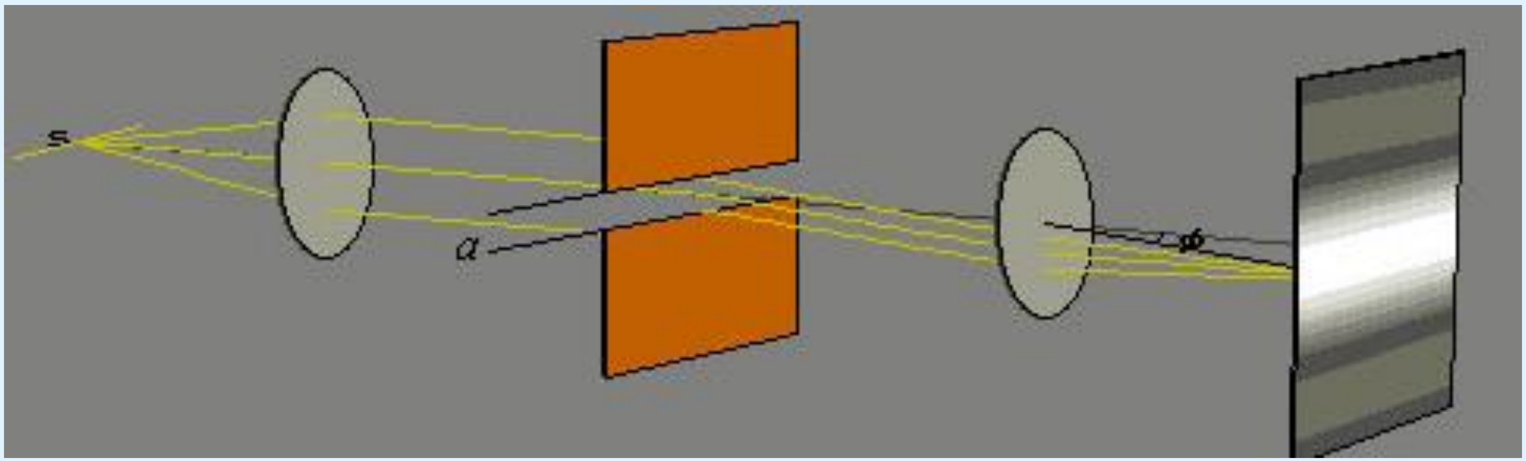
对条纹强度做定性分析

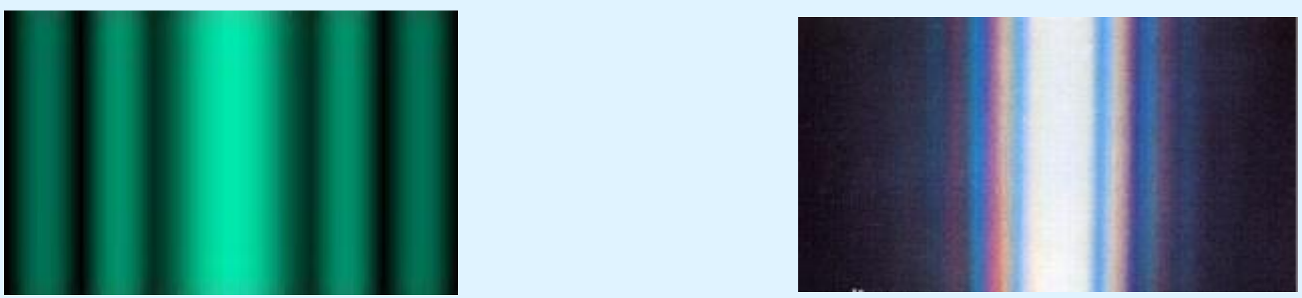


10.2 单缝衍射法测量金属膨胀系数

01 夫琅禾费单缝衍射

1 实验装置及实验结果

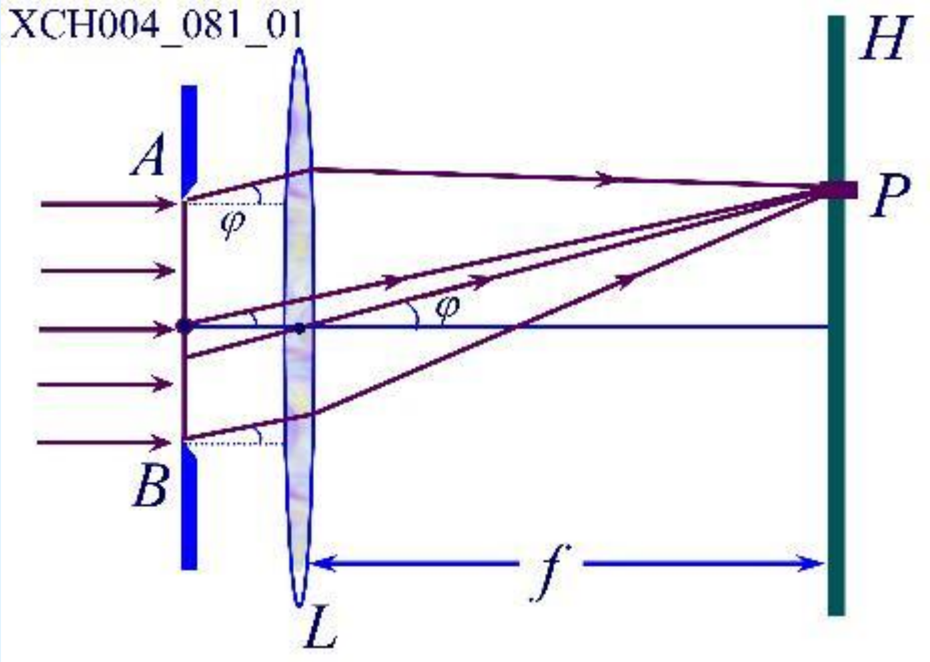




(a) 单色绿光衍射结果，(b)白光照射出现的衍射结果

2 单缝衍射原理

—— 平行单色光入射狭缝(宽度a)



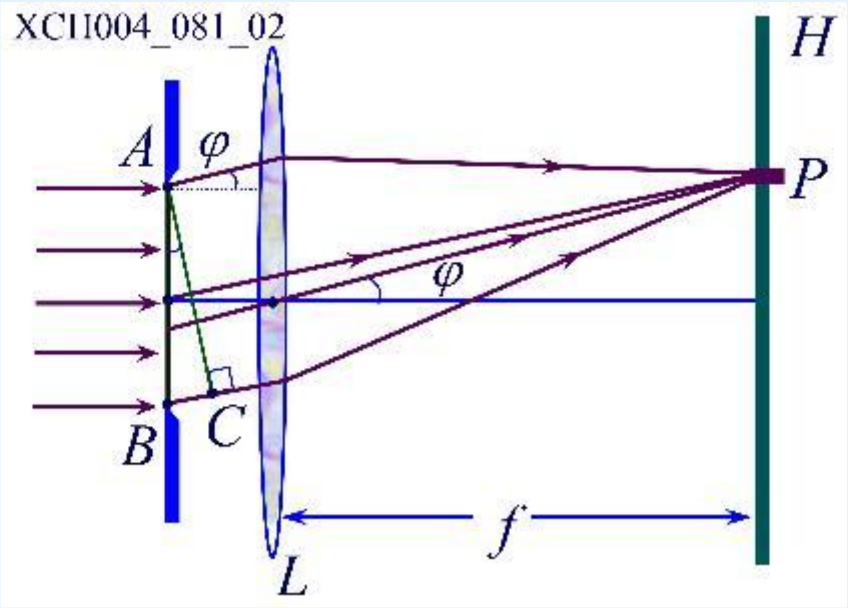
不同方向传播的子波

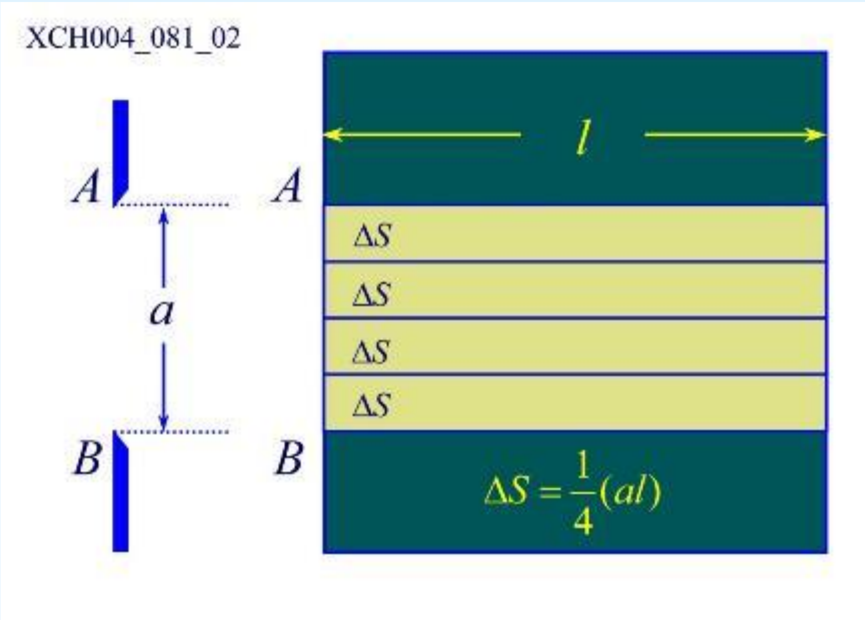
经透镜后

会聚在焦平面上不同点

菲涅耳半波带法 —— 分析夫琅禾费单缝衍射

3 衍射光强分布 —— 菲涅耳半波带





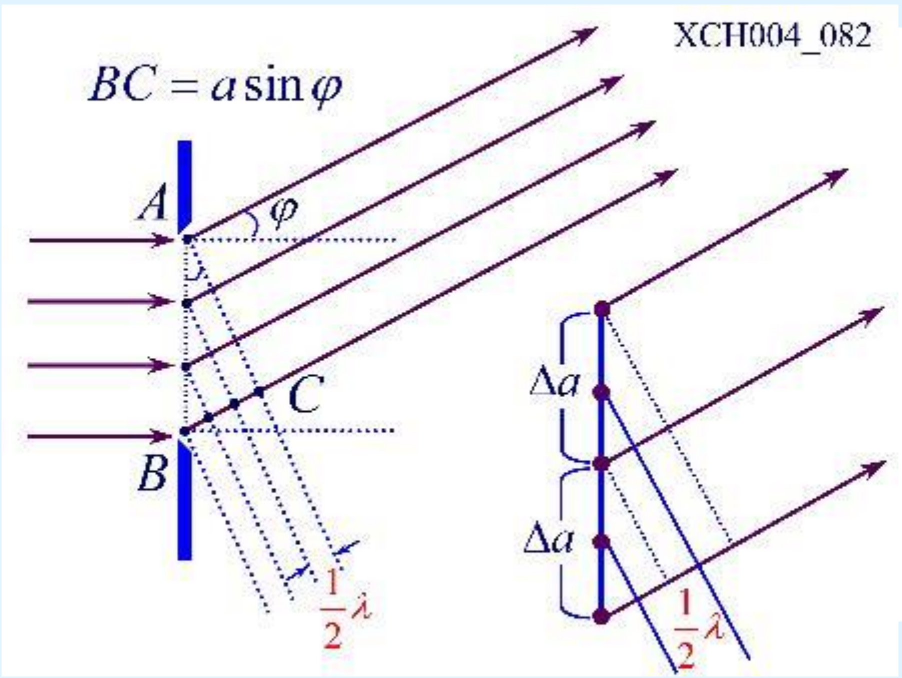
衍射角φ一定, **A**点和**B**点发出的子波到**P**点 $\delta = BC$

将单缝上的波面分成宽度为Δs的带

相邻带上对应点发出光到**P**点的光程差 $\dfrac{\lambda}{2}$

Δs —— 半波带

—— 半波带平行于单缝



AB两点到P点的光程差

$$d = BC = a\sin j$$

半波带的数目

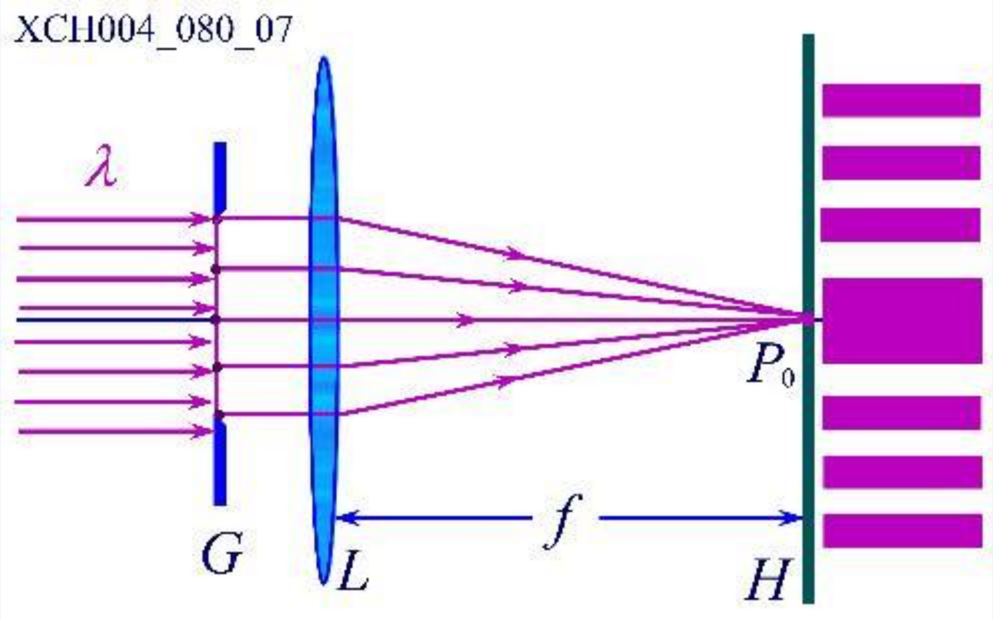
$$N = \frac{a\sin\varphi}{\lambda/2}$$

偶数 —— P点的光强极小

奇数 —— P点的光强最大

衍射角φ方向上，P点光强取决单缝半波带的数目

4 衍射条纹特点



半波带的数目

$$N = \frac{a\sin\varphi}{\lambda/2}$$

$$a\sin\varphi = N(\frac{\lambda}{2})$$

1) 中央亮条纹

—— 在 $\varphi = 0$ 方向上

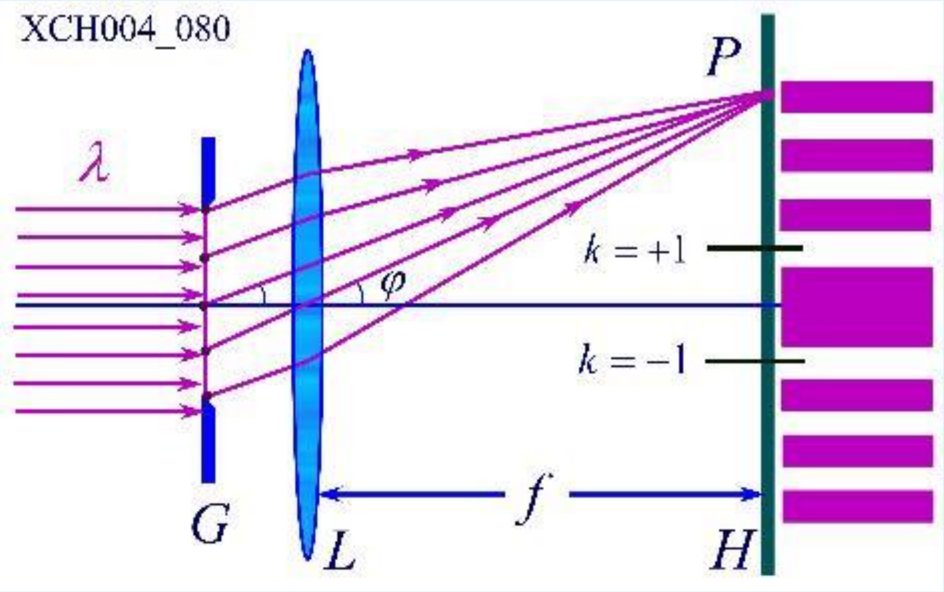
波面各点发出的子波到P_0点的光程相等

半波带的数目 $N = \dfrac{a\sin\varphi}{\lambda/2}$

2) 暗条纹 —— N为偶数 $N = 2k$ $k = 1, 2, 3, \cdots$

$$a\sin\varphi = N(\frac{\lambda}{2})$$

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



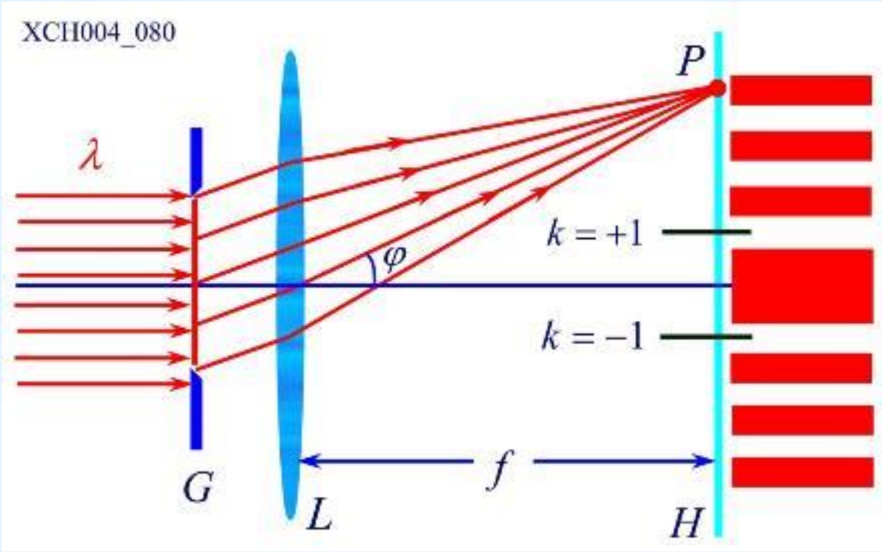
3) 亮条纹 —— N为奇数

$$a\sin\varphi = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

4) 条纹宽度

暗条纹 $a\sin\varphi = \pm k\lambda$

中央亮条纹的宽度

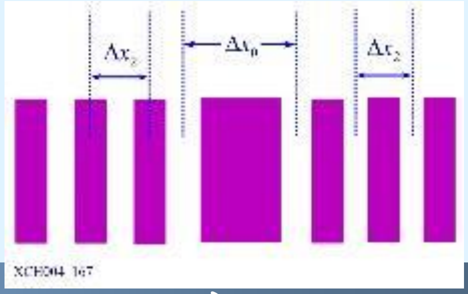


$$\begin{cases} a\sin\varphi_{+1} = \lambda \\ a\sin\varphi_{-1} = -\lambda \end{cases} \qquad \begin{cases} \tan\varphi_{+1} = \dfrac{x_{+1}}{f} \\ \tan\varphi_{-1} = \dfrac{x_{-1}}{f} \end{cases}$$

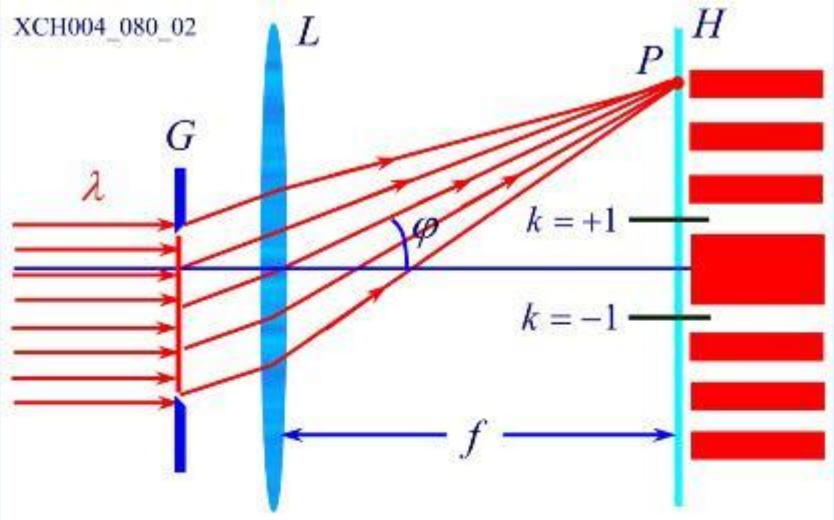
$$\rightarrow \begin{cases} x_{+1} \approx f\sin\varphi_{+1} \\ x_{-1} \approx f\sin\varphi_{-1} \end{cases} \qquad \Delta x_0 = 2x_1 \approx 2f\frac{\lambda}{a}$$

—— 是其它条纹宽度的2倍

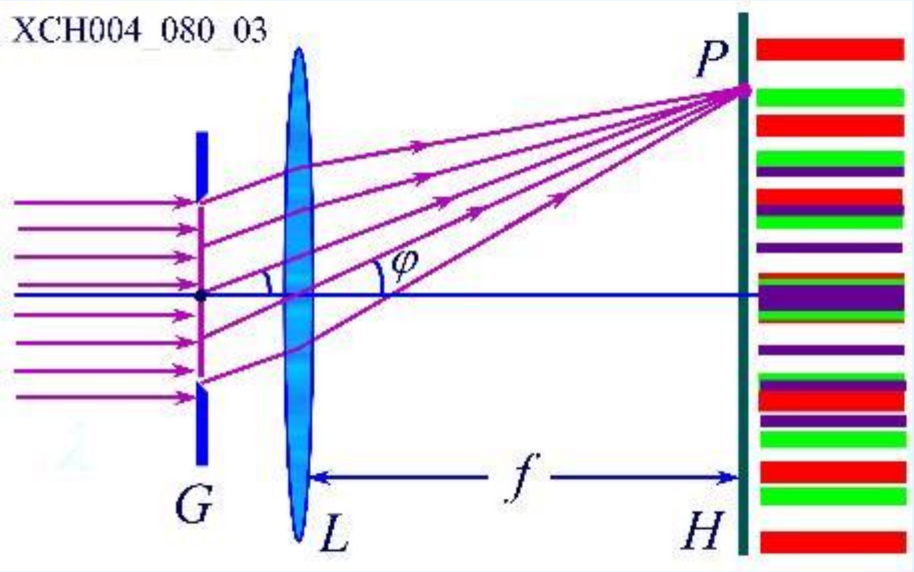
亮条纹和暗条纹宽度 $\Delta x = f\dfrac{\lambda}{a}$



5) 单缝上下移动不影响衍射条纹的分布



6) 复色光照射单缝



中央为复色光颜色条纹

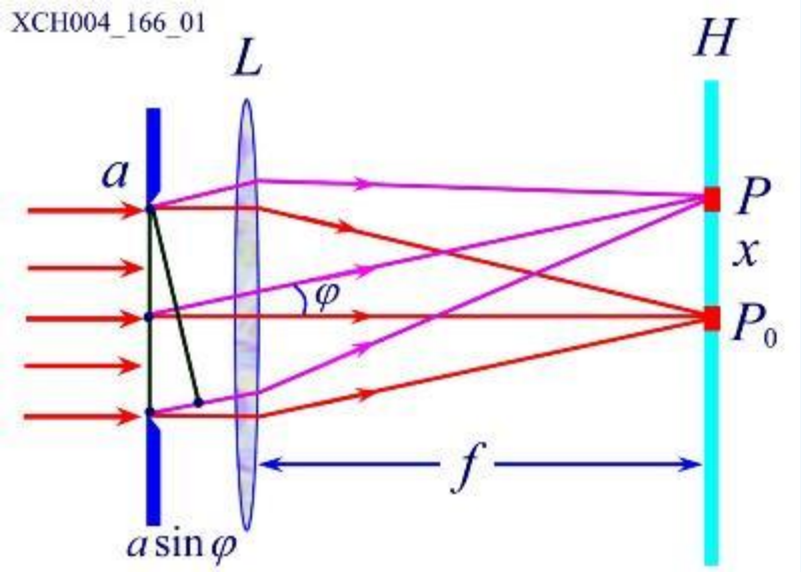
两侧分布着彩色条纹

✌ 波长 λ = 0.5 μm的单色光照射宽 a = 0.5 mm的单缝上在缝后放一个焦距 f = 0.5 m的凸透镜，求

1) 中央亮条纹的宽度

2) 第一级亮条纹的宽度

3) 如将此装置放入 n = 1.33 水中，问上述条纹有何变化？



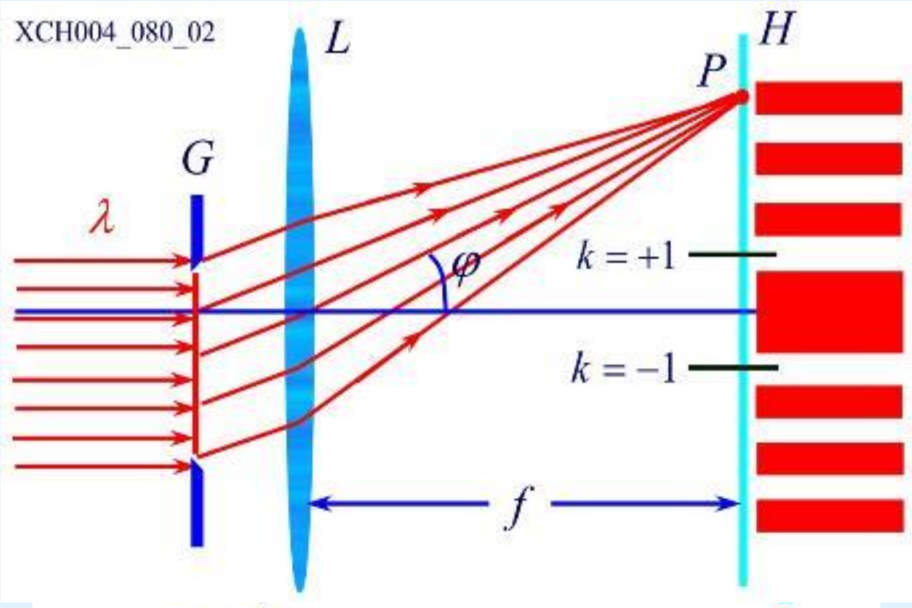
☞ 1) 中央亮条纹宽度

$$\Delta x_0 = 2f\frac{\lambda}{a} = 1.0\times10^{-3}m$$

2) 第一级亮条纹的宽度

一级和二级暗纹的位置

$$a\sin\varphi = \pm k\lambda \longrightarrow \begin{cases} \sin\varphi_1 = \dfrac{\lambda}{a} \\ \sin\varphi_2 = \dfrac{2\lambda}{a} \end{cases}$$



第一级亮条纹的宽度

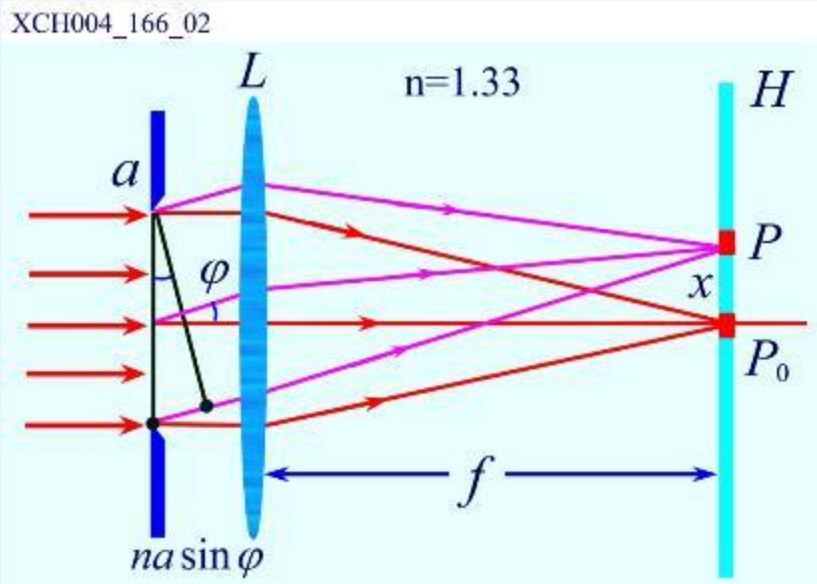
$$\Delta x \approx f(\sin\varphi_2 - \sin\varphi_1)$$

$$\Delta x = f\frac{\lambda}{a} = 0.5\times10^{-3}m$$

3) 如果将此装置放入 $n = 1.33$ 的水中

暗条纹 $na\sin\varphi = k\lambda$

$$\delta = n\overline{BC} = na\sin\varphi$$



中央亮条纹的位置

$$na\sin\varphi = 0 \quad x = 0$$

暗条纹衍射角 $\sin\varphi = \dfrac{k\lambda}{na}$

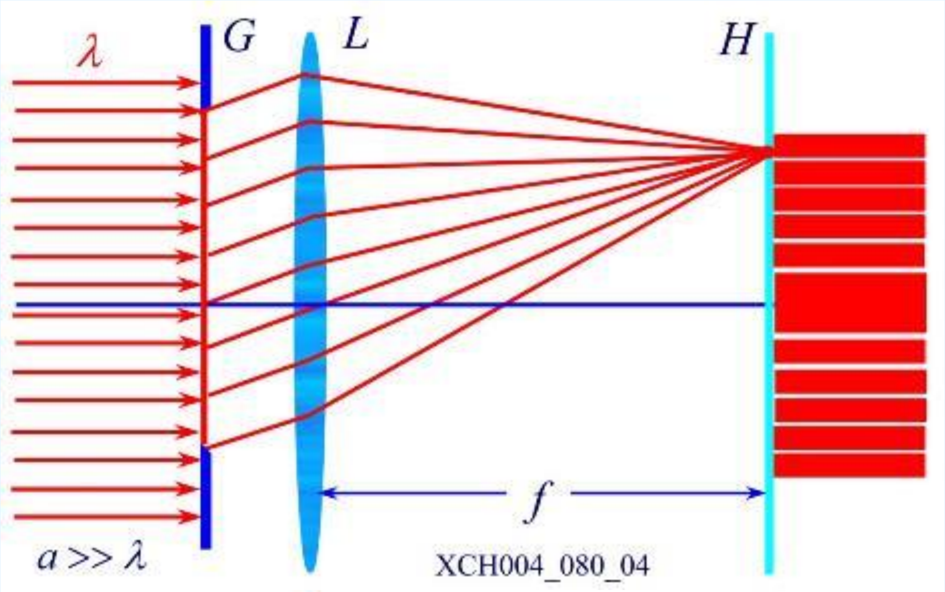
—— 同一级条纹的衍射角变小

衍射条纹向中心收缩，条纹间距变小。

5 几何光学与波动光学

暗条纹和条纹宽度

$$\begin{cases} a\sin\varphi = \pm k\lambda \\ \Delta x = f\dfrac{\lambda}{a} \end{cases}$$

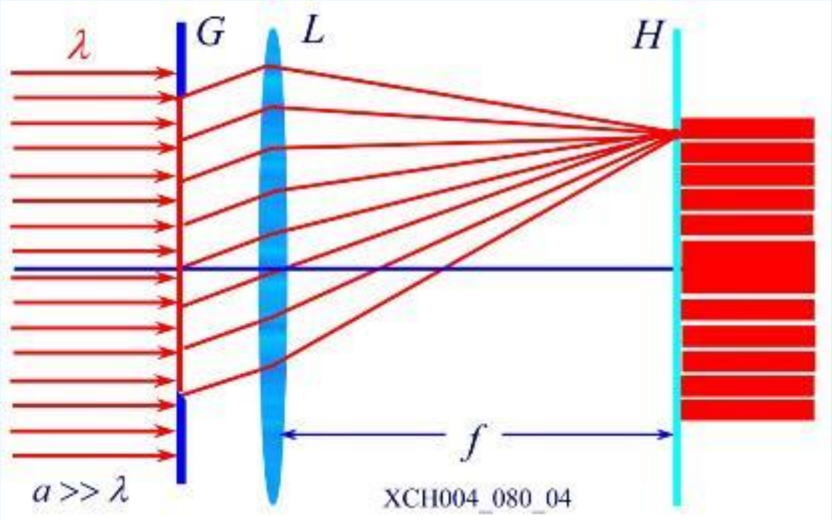


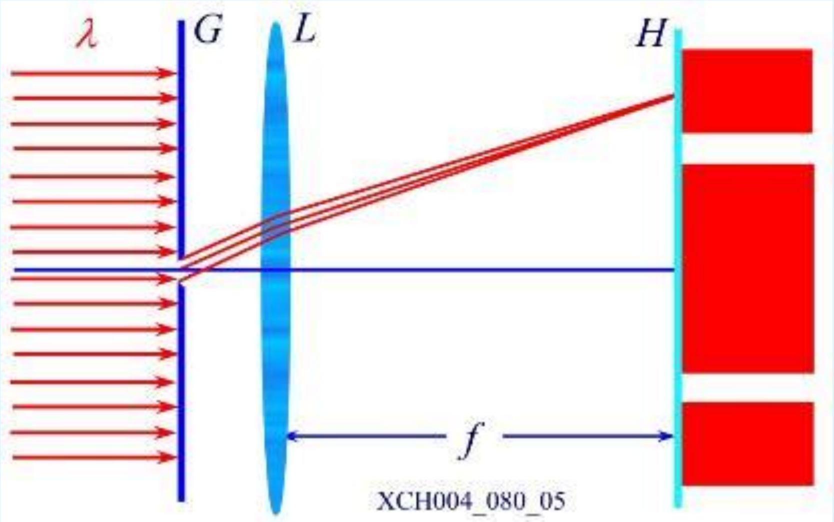
单缝宽度很大 $\dfrac{\lambda}{a} \to 0$

—— 衍射条纹趋于中心，条纹间距趋于零

衍射现象消失

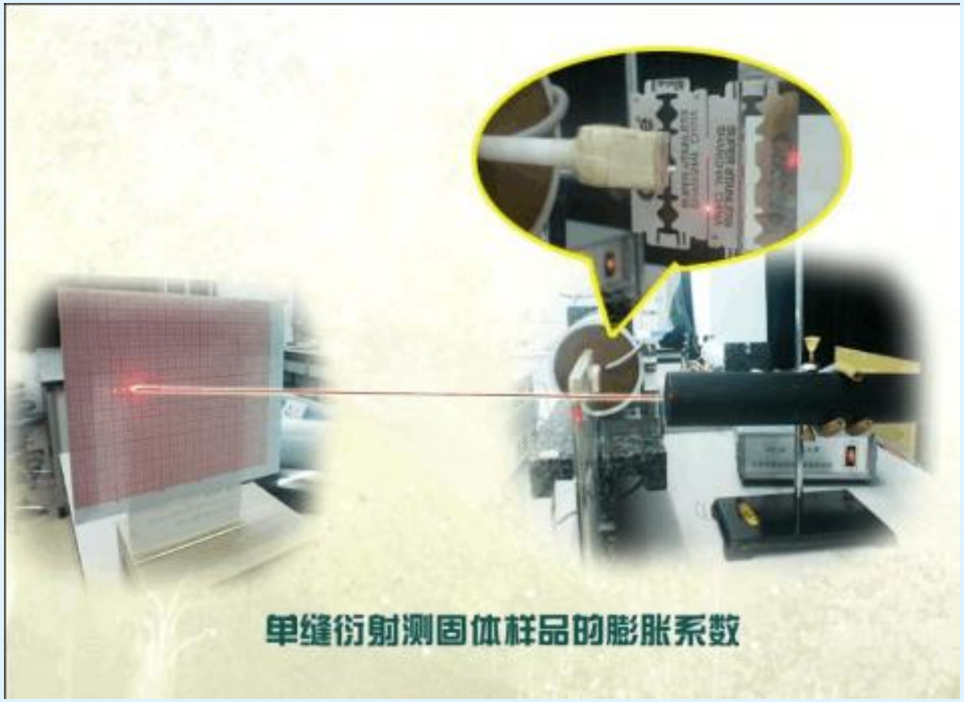
—— 单缝宽度很大和较小时的衍射图样





—— 几何光学是波动光学在 $\frac{\lambda}{a} \to 0$ 时极限情形

02 单缝衍射法测量金属膨胀系数



实验装置：

氦氖激光器（632.8nm）

金属膨胀系数测量仪

两个刀片

接收屏

待测样品（铜棒或铝棒）

……

作业：W6 单缝衍射 圆孔衍射