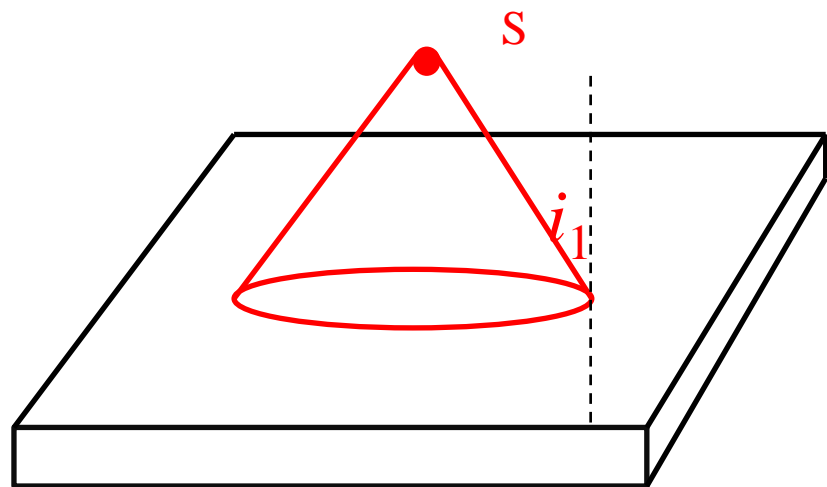
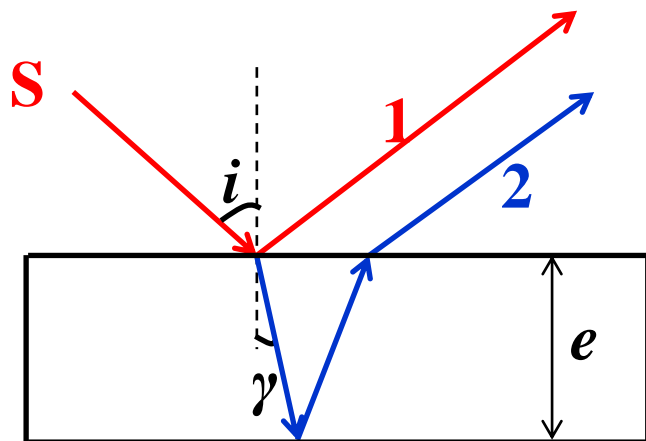


四、波动说对光的薄膜干涉现象的理论描述

1、厚度均匀的薄膜干涉——等倾条纹

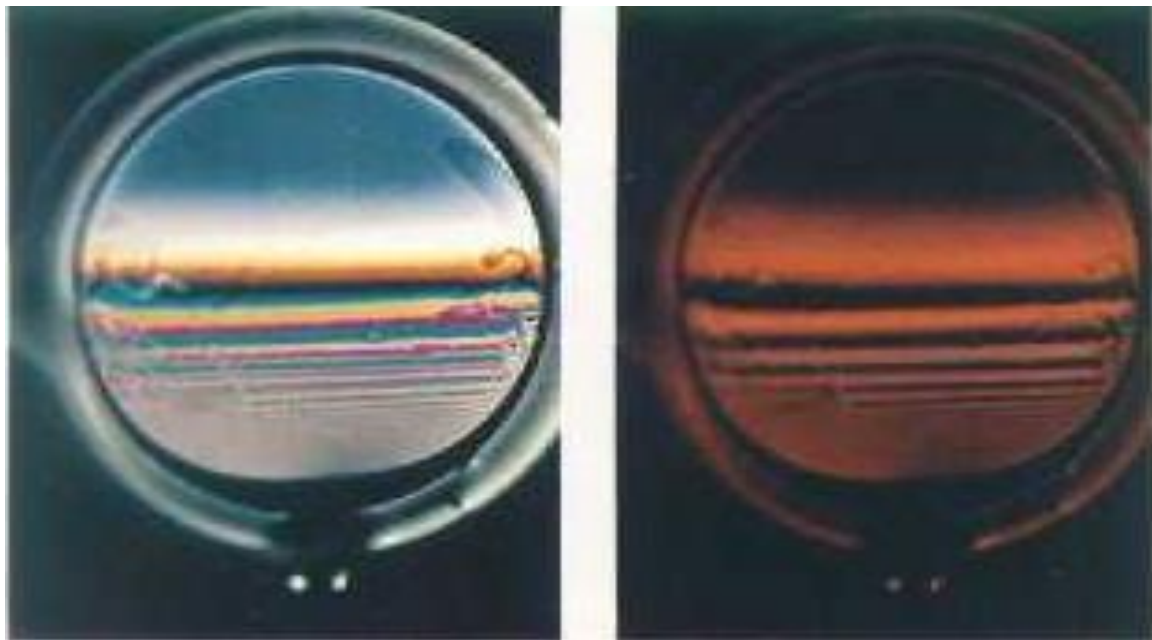


光程差
$$\delta = 2e\sqrt{n^2 - n'^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$$

光强度
$$I = 2I_0 + 2I_0 \cos \Delta\varphi \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1) = \frac{2\pi}{\lambda}\delta$$

四、波动说对光的薄膜干涉现象的理论描述

2、厚度不均匀的薄膜干涉——等厚干涉



白光入射

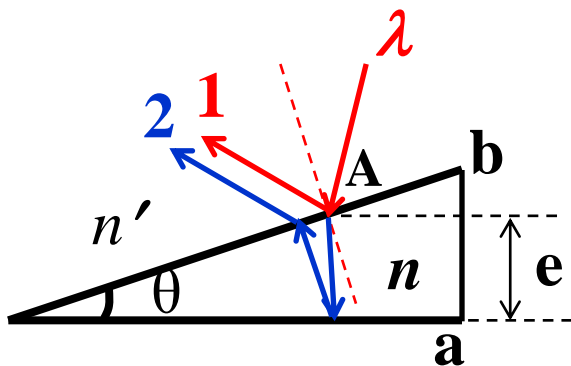
单色光入射

肥皂膜的干涉条纹

日常中见到的薄膜干涉：肥皂泡，雨天地上的油膜，昆虫翅膀，…。

劈尖(劈形膜)

劈尖——夹角很小的两个平面所构成的薄膜。

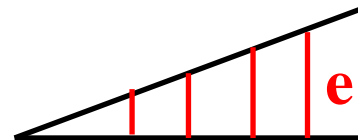


1, 2两束光来自同一束入射光, 它们可以干涉——等厚干涉.

设单色平行光入射, 在入射点A处, 膜厚为 e ,

当 θ 很小时, 1、2光程差

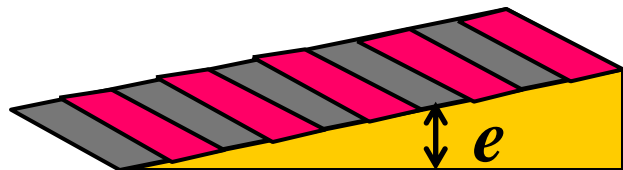
$$\delta \approx 2ne + \frac{\lambda}{2} = \delta(e)$$



在 n, λ 定了以后, δ 只是厚度 e 的函数.

劈尖干涉在膜表面附近形成明、暗相间的条纹。

$$\delta \approx 2ne + \frac{\lambda}{2} = \delta(e)$$



明纹 $\delta(e) = k\lambda, k = 1, 2, 3 \dots$

暗纹 $\delta(e) = (2k - 1)\frac{\lambda}{2}, k = 1, 2, \dots$

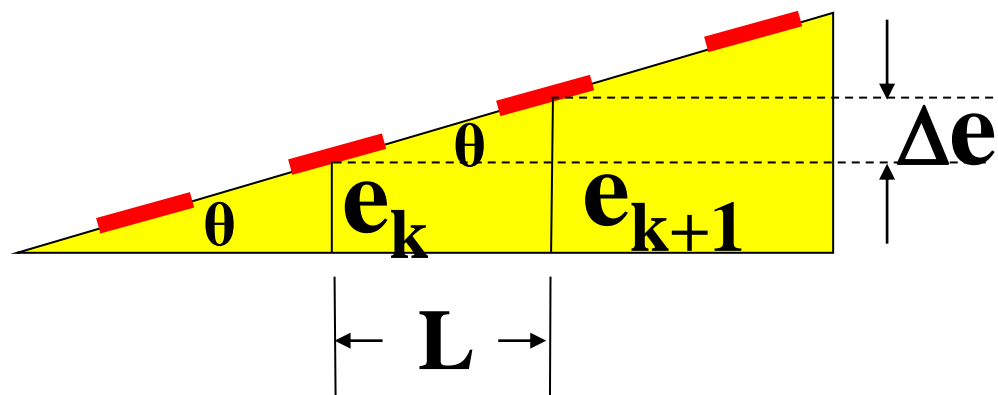
同一厚度e对应同一级条纹——等厚条纹

在棱边处 $e=0$ ，由于半波损失而形成暗纹。

光强度 $I = 2I_0 + 2I_0 \cos \Delta\varphi$ $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1) = \frac{2\pi}{\lambda}\delta$

相邻两条亮纹（或暗纹）对应的厚度差 Δe :

$$\Delta e = e_{k+1} - e_k = \frac{\lambda}{2n}$$



$$\delta_k = 2ne_k + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

$$\delta_{k+1} = 2ne_{k+1} + \frac{\lambda}{2} = (k+1)\lambda$$

$$\tan \theta = \frac{\Delta e}{L}$$

条纹间距 L

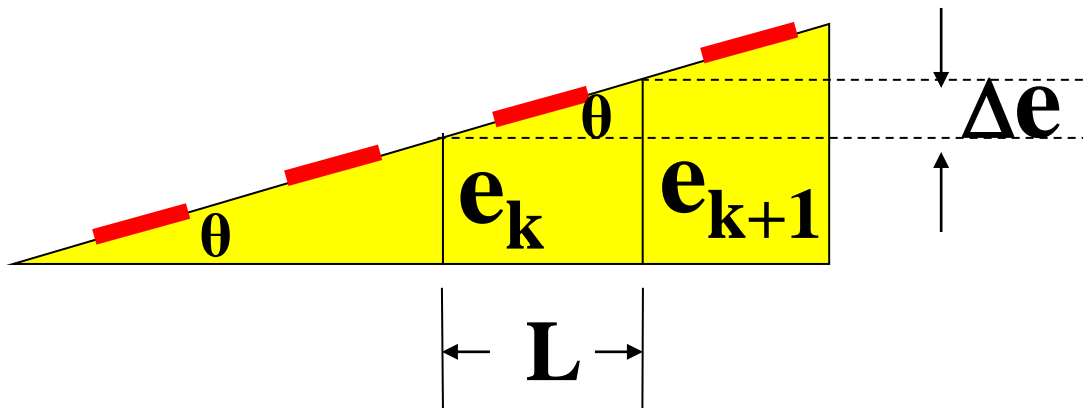
$$L = \frac{\lambda}{2n\theta}$$

$$L = \frac{\lambda}{2n \tan \theta}$$

$\theta \downarrow \rightarrow L \uparrow$ 条纹分得更开，更好测量。

条纹间距L

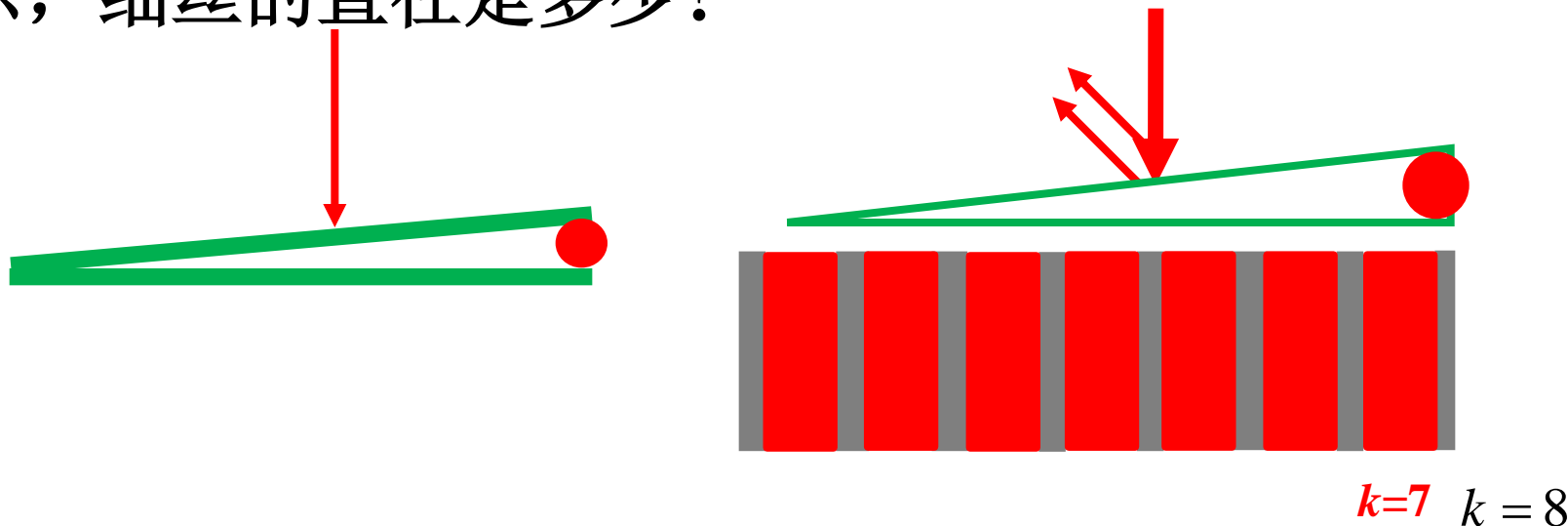
$$L = \frac{\lambda}{2n\theta}$$



应用举例：

1. 测波长 λ .
2. 测微小直径、厚度（或镀膜厚度）、长度变化。
3. 检测表面质量。

例：已知波长为590 nm,在玻片上出现7条明纹，如图所示，细丝的直径是多少？

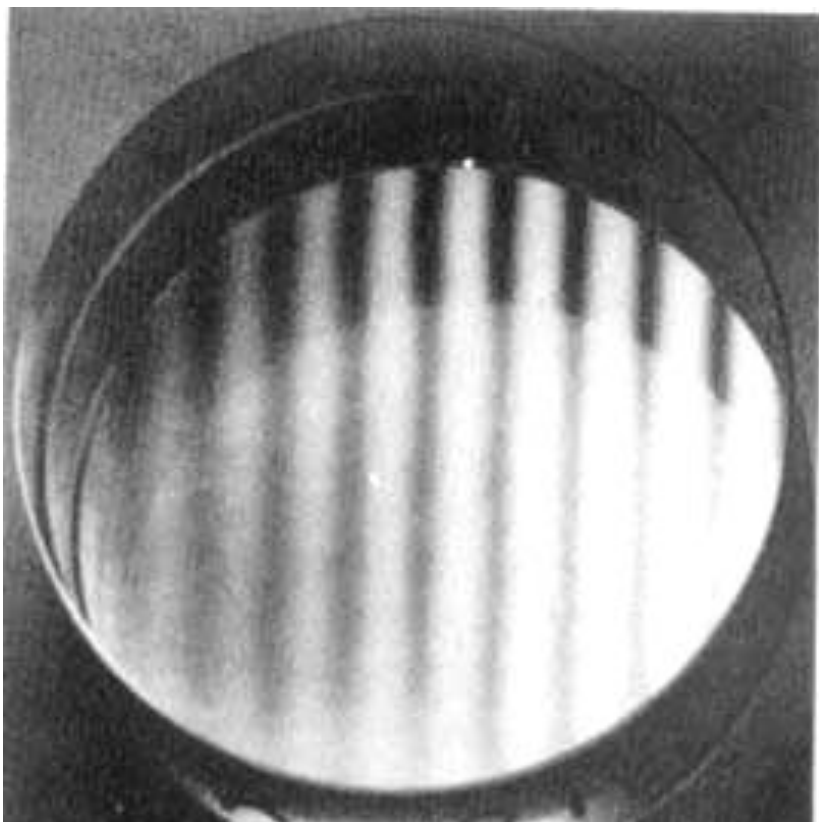


明纹 $2ne + \lambda / 2 = k\lambda \quad (k = 1, 2, \dots)$

暗纹 $2ne + \lambda / 2 = (2k - 1)\lambda / 2 \quad (k = 1, 2, \dots)$

细丝的直径 $d = \frac{(k-1)\lambda}{2n} = \frac{7 \times 590}{2 \times 1} = 2.07 \times 10^3 \text{ nm} = 2.07 \mu\text{m}$

等厚干涉条纹



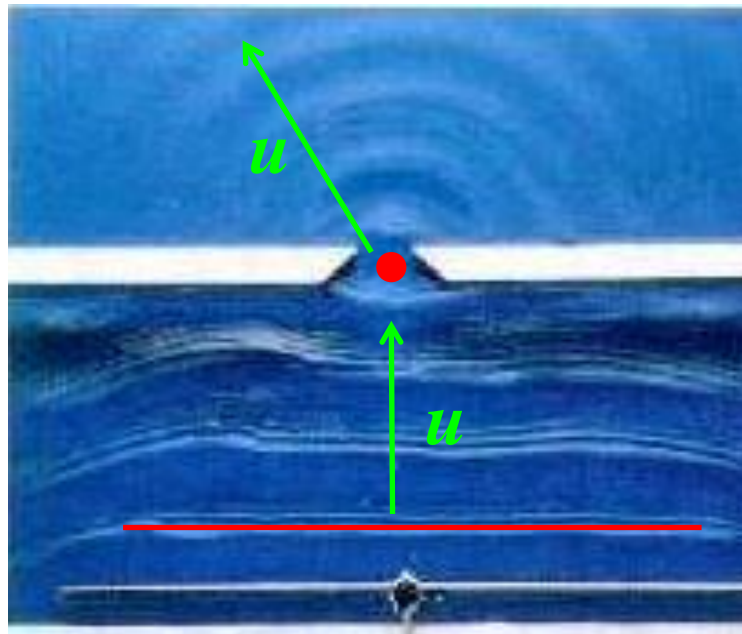
劈尖



不规则表面

15.3 光的波动说对光的衍射现象的理论描述

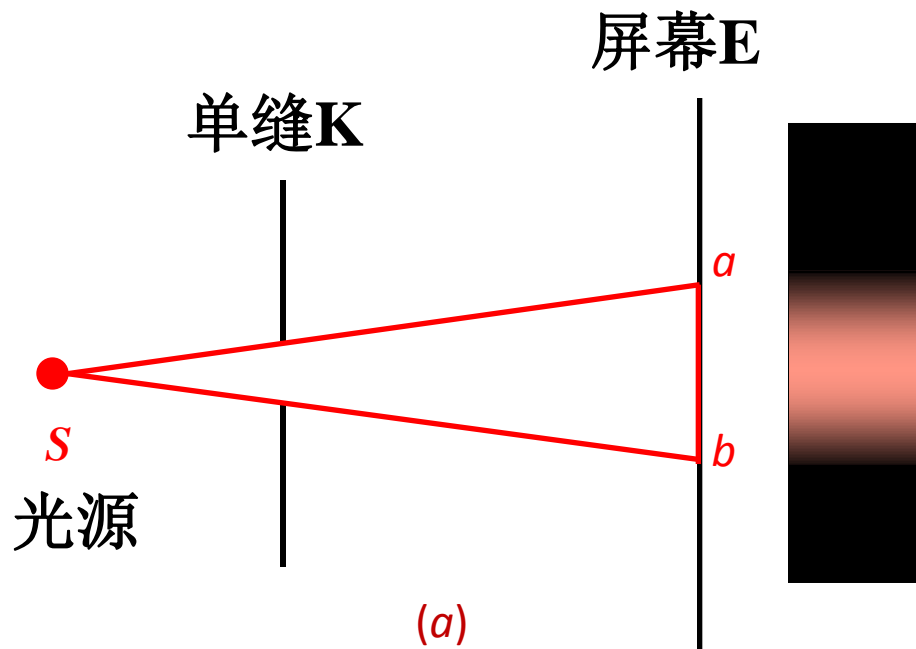
衍射： 波传播过程中，当遇到障碍物时，
能**绕过障碍物边缘而偏离直线传播**的现象。



水波通过窄缝时的衍射

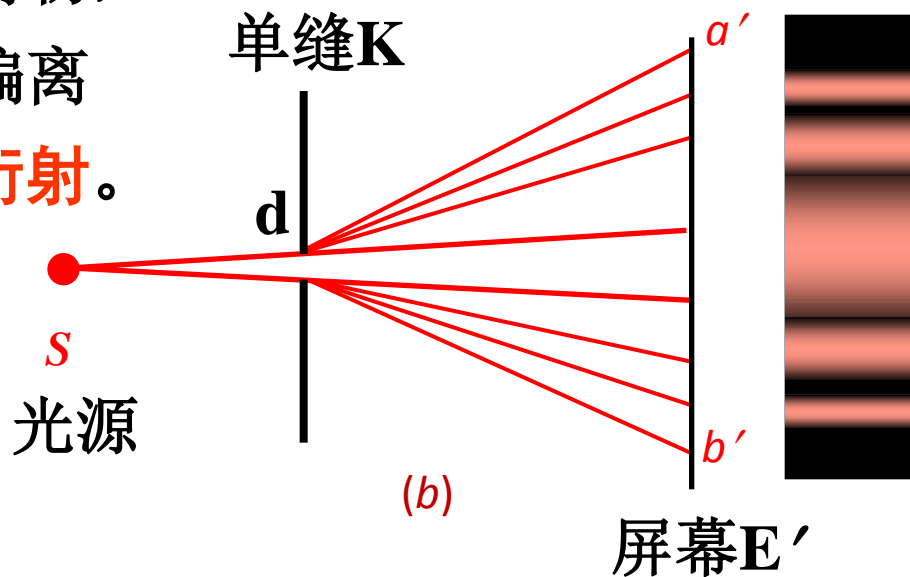
1、光的衍射现象

(1)实验现象：



(2)光的衍射现象：

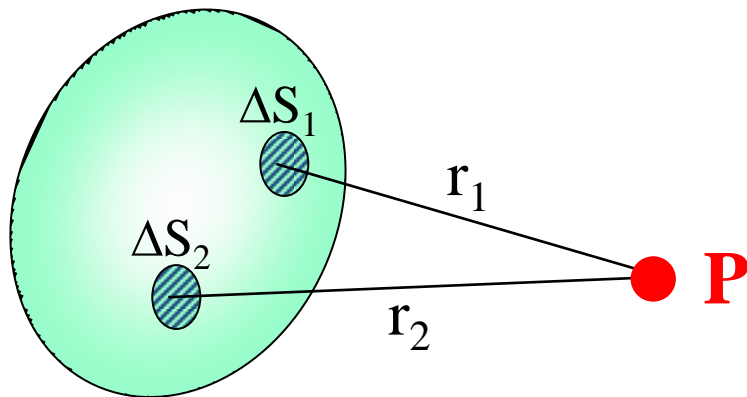
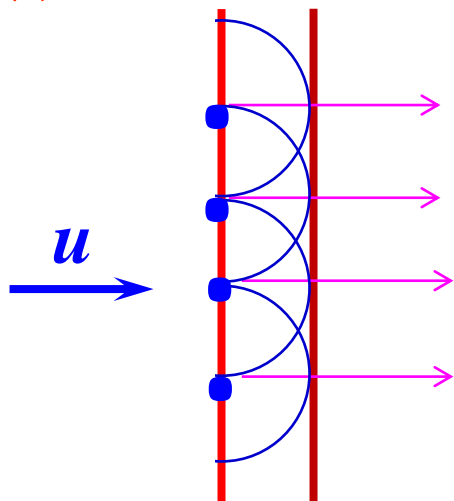
光波在传播过程中遇到障碍物，能够绕过障碍物的边缘而偏离直线传播的现象称为**光的衍射**。



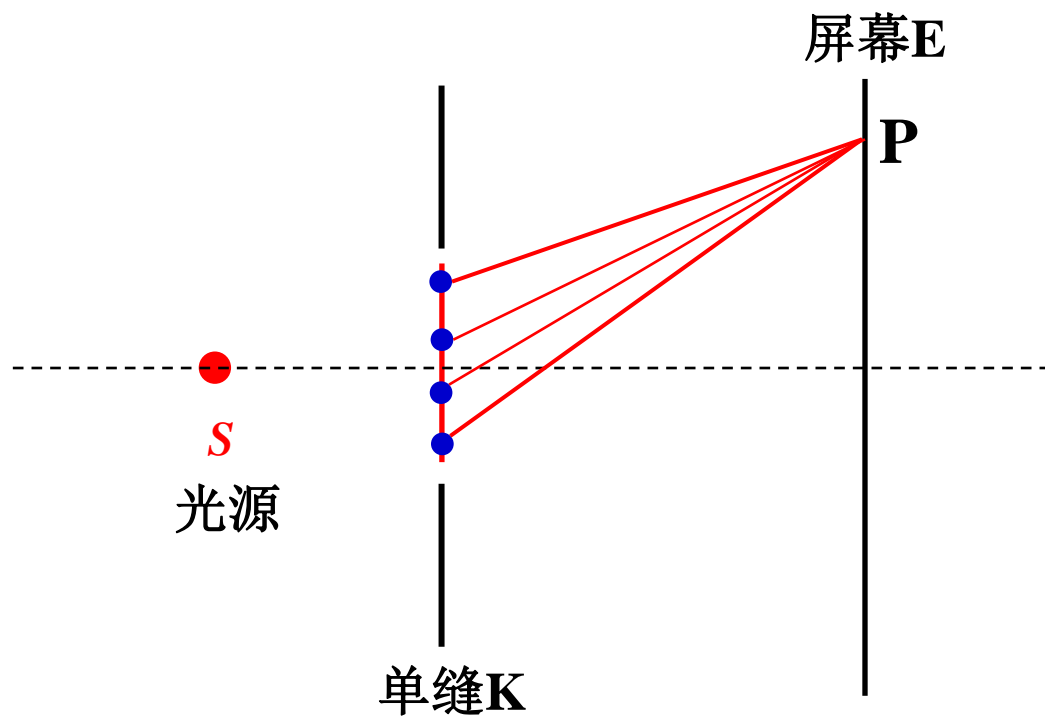
(3)判据： $d \sim \lambda$

2、惠更斯-菲涅耳原理

- 1690年，惠更斯提出**惠更斯原理**：任一波阵面上的点都可以看作是发射子波的新波源，其后任一时刻子波的包络面就是新的波阵面。
- 1818年，菲涅耳运用子波可以**相干叠加**的思想对惠更斯原理作了补充。他认为：
从同一波面上各点发出的子波，在传播到空间某一点时，各个子波之间也可以相互叠加而产生干涉现象。这就是**惠更斯-菲涅耳原理**。



单缝衍射实验



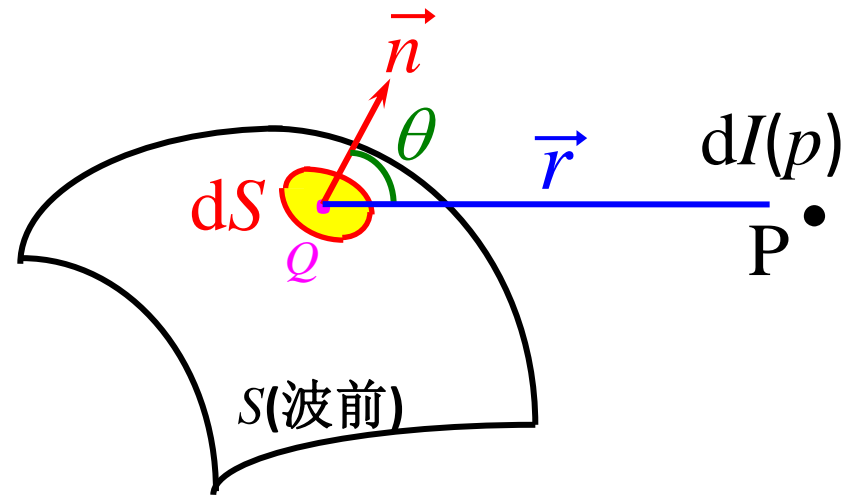
惠更斯-菲涅耳原理的数学表达式

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。

$$dI(p) \propto \frac{a(Q)K(\theta)}{r} dS$$

$a(Q)$: 波前上Q处波的强度

$K(\theta)$: 方向因子



$$K(\theta) \begin{cases} \theta = 0, & K = K_{\max} \\ \theta \uparrow \rightarrow K(\theta) \downarrow \\ \theta \geq 90^\circ, & K = 0 \end{cases}$$

波为何不向后面传播？

$$dI(P) = \frac{a(Q) \cdot K(\theta)}{r} dS \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi r}{\lambda}\right)$$

$$I(P) = \iint_S \frac{a(Q) \cdot K(\theta)}{r} \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi r}{\lambda}\right) \cdot dS$$

$$= I_0(P) \cdot \cos[\omega t + \varphi(P)]$$

P处波的强度 $I_P \propto I_0^2(P)$

1882年以后，**基尔霍夫 (Kirchhoff)** 解电磁波动方程，也得到了 $I(P)$ 的表示式，惠更斯—菲涅耳原理有了波动理论的根据。

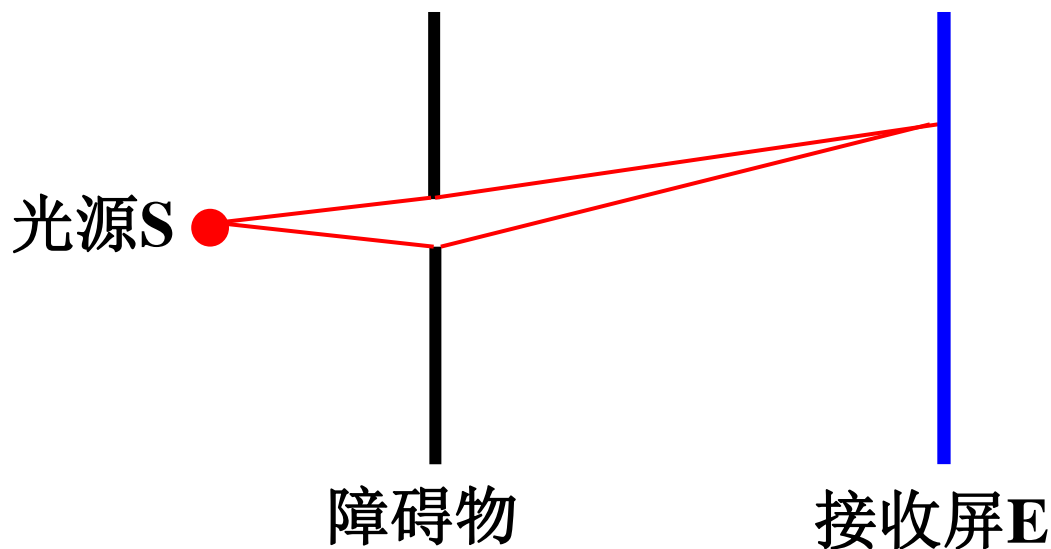
3、衍射的分类

衍射系统一般由**光源**、**障碍物** (单缝) 和**接收屏**组成的。

按它们相互距离的关系，光的衍射分为两大类：

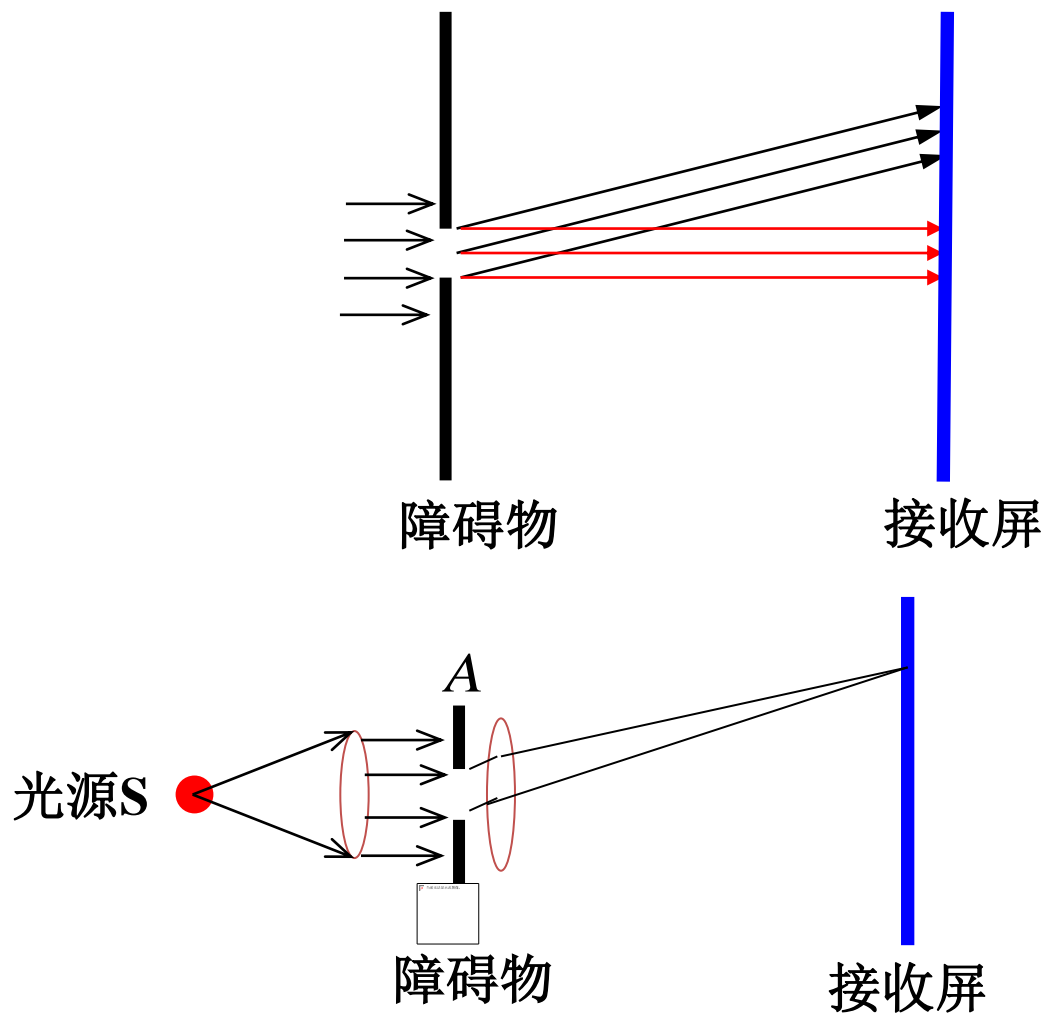
(1) 菲涅耳衍射

光源—障碍物—接收屏距离为有限远。



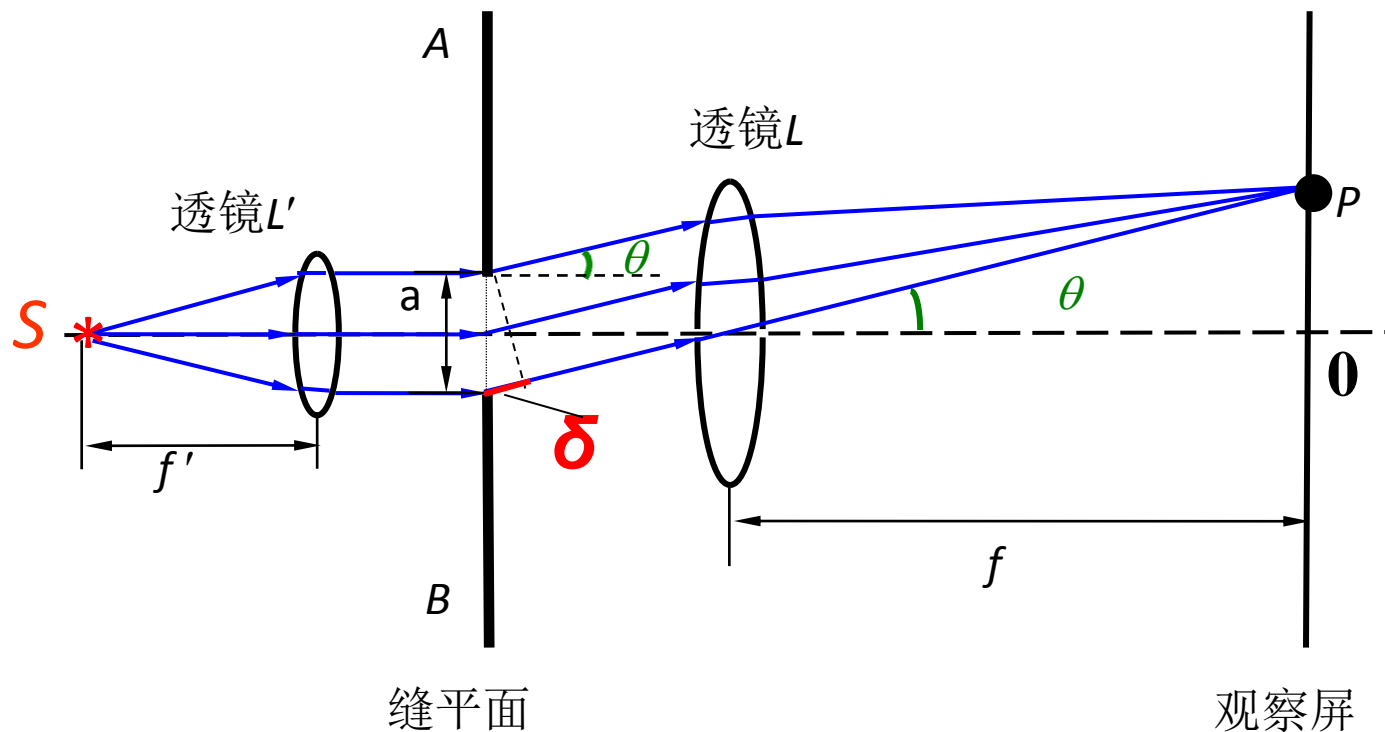
(2) 夫琅和费衍射

光源—障碍物—接收屏距离为无限远。



4、单缝夫琅和费衍射

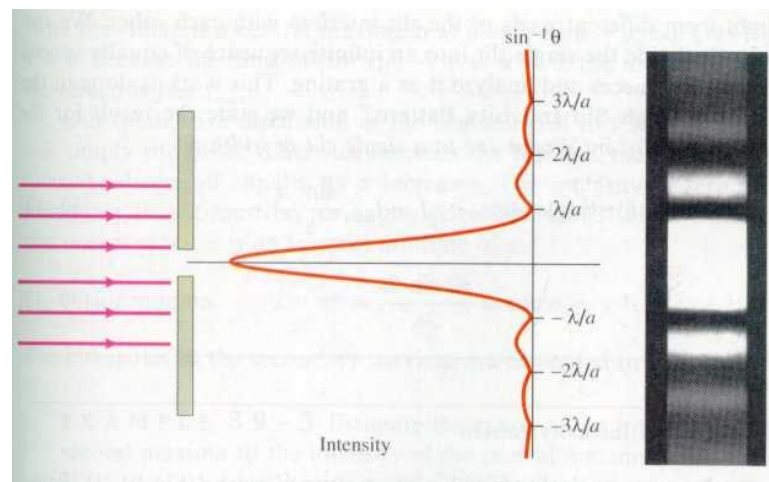
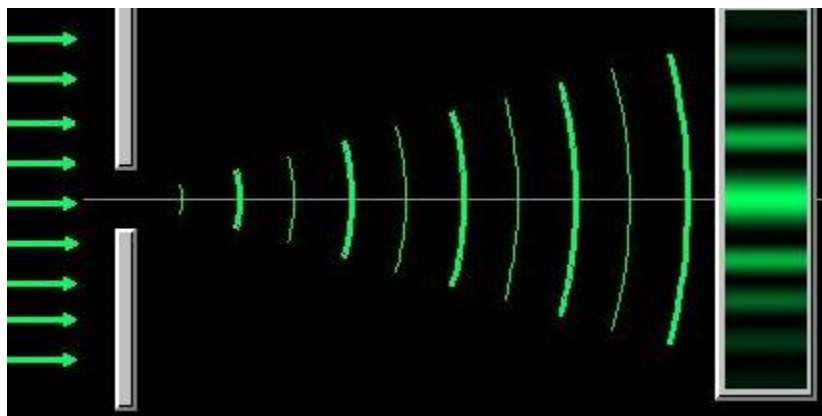
(1) 实验装置



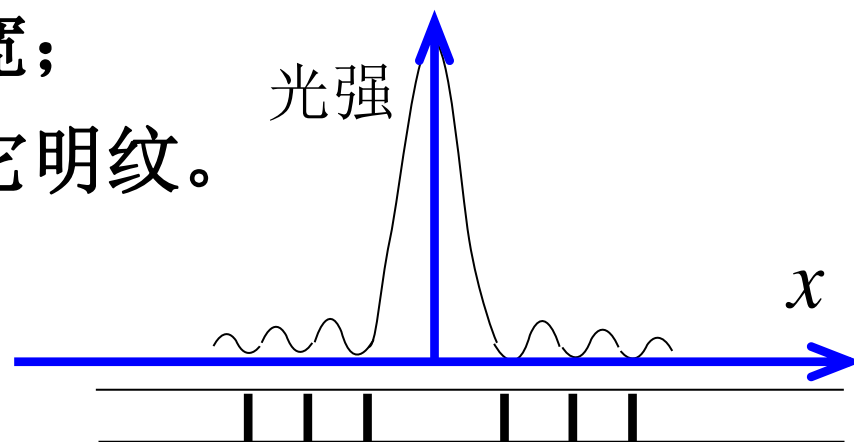
光源在透镜 L_1 的物方焦平面

接收屏在 L_2 象方焦平面

(2) 现象



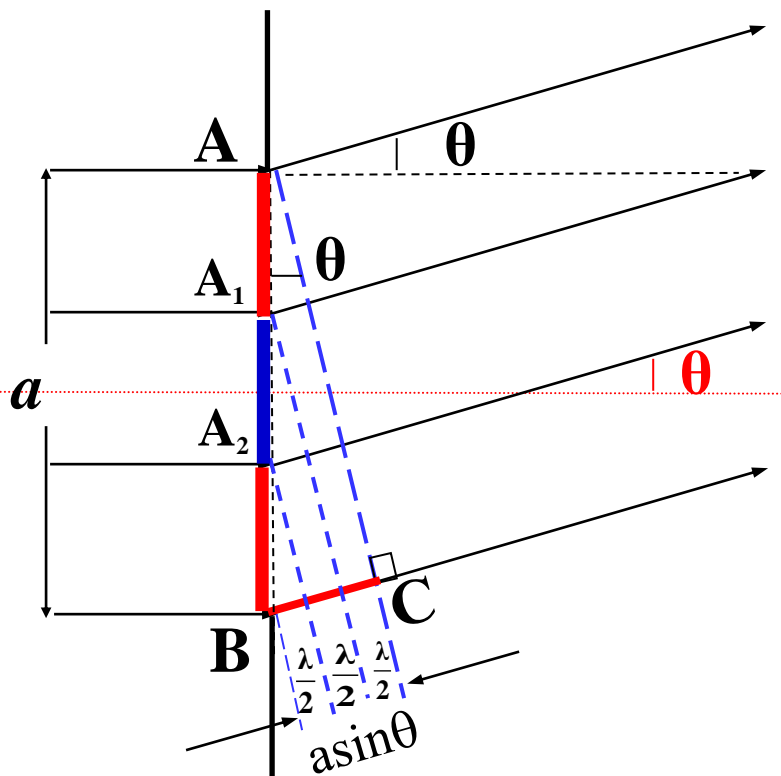
现象：明暗相间的平行于单缝衍射条纹；
中央明纹明亮且较宽；
两侧对称分布着其它明纹。



(3) 菲涅耳半波带法解释单缝衍射

a. 菲涅耳半波带

A, B两条平行光线之间的光程差 $BC = a \sin \theta$.



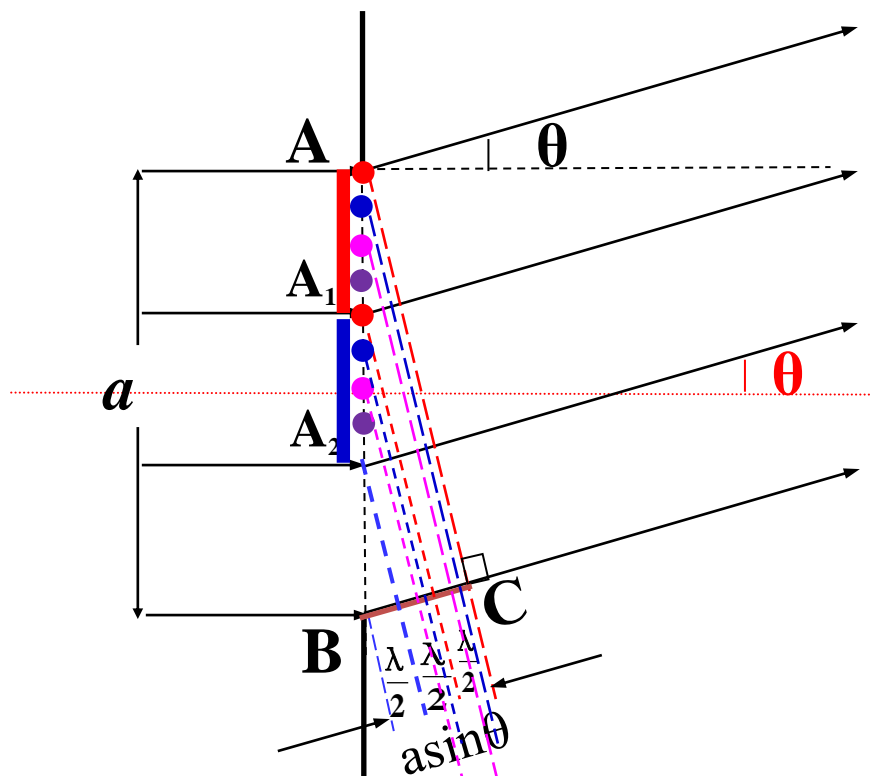
作平行于AC的平面,使相邻平面之间的距离等于入射光的半波长。(位相差 π)

把AB波阵面分成 AA_1 , A_1A_2 , A_2B 波带.

两相邻波带对应点 AA_1 中 A_1 和 AA_2 中 A_2 , 到达P点位相差为 π , 光程差为 $\lambda/2$ 。这样的波带就是菲涅耳半波带。

(3) 菲涅耳半波带法解释单缝衍射

a. 菲涅耳半波带



任何两个相邻波带所发出的光线在P点相互抵消.

当BC是 $\lambda/2$ 的偶数倍, 所有波带成对抵消, P点暗;

当BC是 $\lambda/2$ 的奇数倍, 所有波带成对抵消后留下一个波带, P点明。

b.明暗条纹条件

$$a \sin \theta = 0$$

中央明纹(中心)

$$a \sin \theta = \pm 2k\lambda / 2$$

暗纹中心

$$a \sin \theta = \pm (2k - 1)\lambda / 2$$

明纹中心

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

条纹在接收屏上的位置

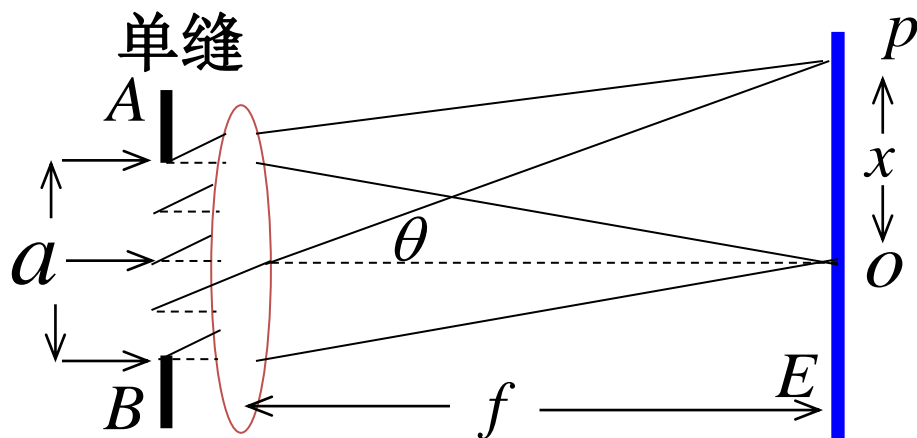
$$x = \pm k\lambda \cdot f / a$$

暗纹中心

$$x = \pm (2k - 1)\lambda \cdot f / 2a$$

明纹中心

$$k = 1, 2, 3, \dots$$



$$(\tan \theta = \frac{x}{f} \sim \sin \theta)$$

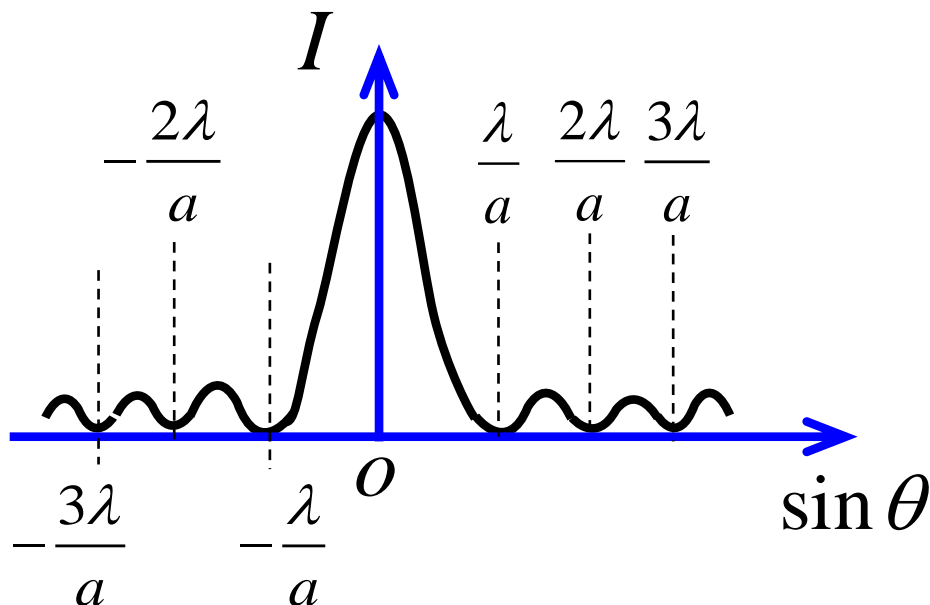
c、条纹宽度

中央明条纹的角宽度：

$$\theta = \frac{2\lambda}{a}$$

其他明条纹的角宽度：

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$



$$a \sin \theta = 0$$

中央明纹(中心)

$$a \sin \theta = \pm 2k\lambda / 2$$

暗纹中心

$$a \sin \theta = \pm (2k - 1)\lambda / 2$$

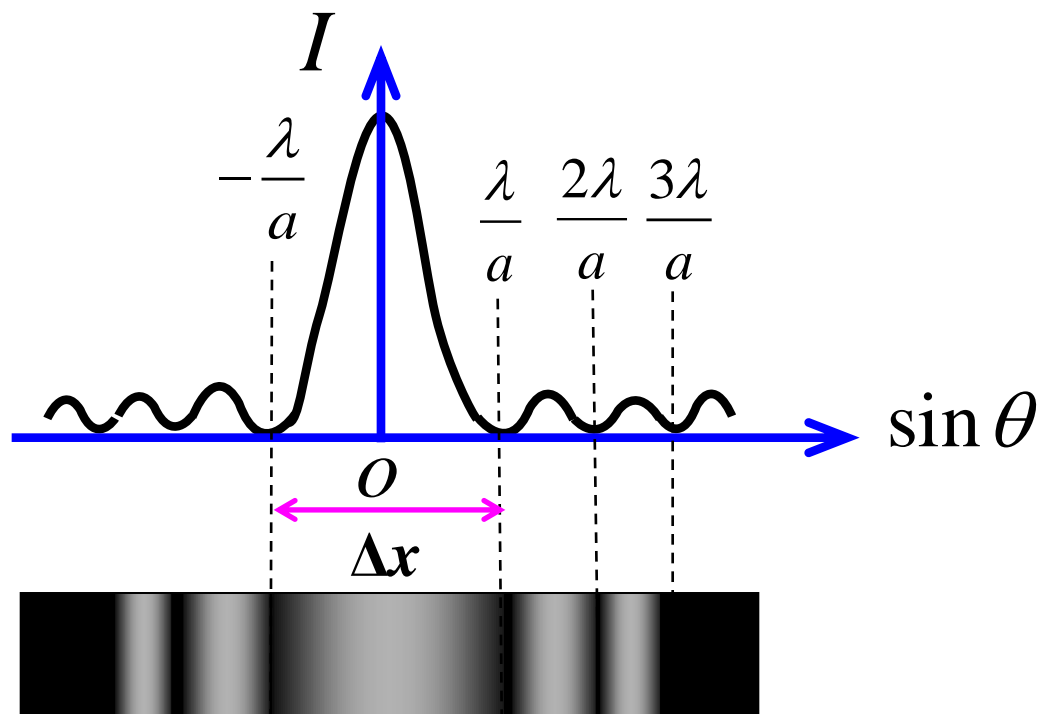
明纹中心

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

c、条纹宽度

屏幕上中央明条纹的线宽度为：

$$\Delta x = 2\lambda \cdot f / a$$



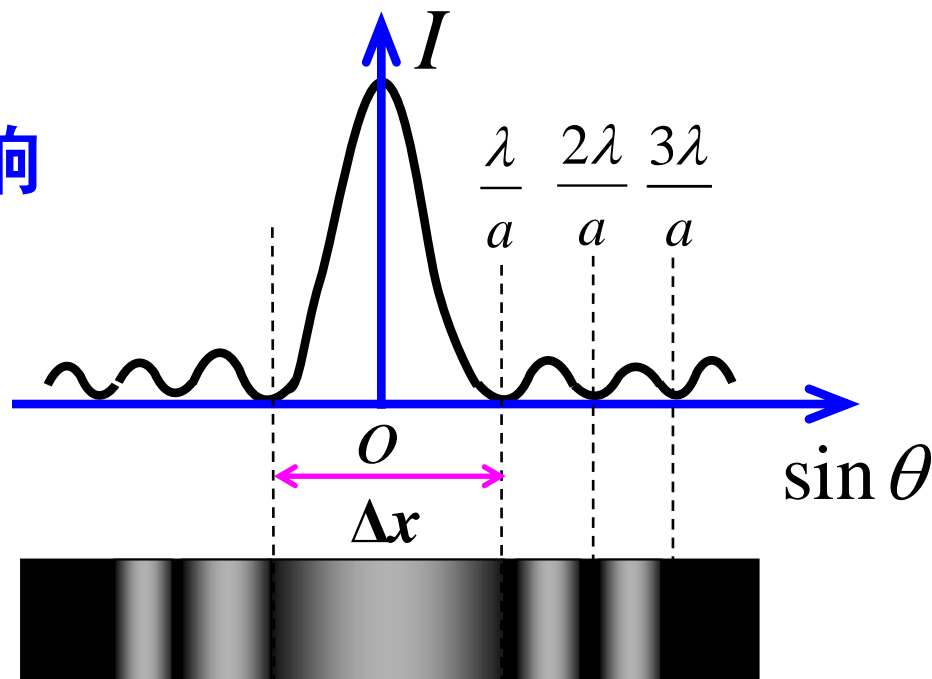
其它明条纹的宽度为中央明条纹宽度的一半，即

$$\Delta x_i = \lambda \cdot f / a$$

中央明条纹的角宽度： $\theta = \frac{2\lambda}{a}$ ($\tan \theta = \frac{x}{f} \sim \sin \theta$)

d、缝宽变化对条纹的影响

$$\Delta x = f \frac{\lambda}{a}$$



缝宽越小，条纹间隔越宽.

由条纹宽度看出：

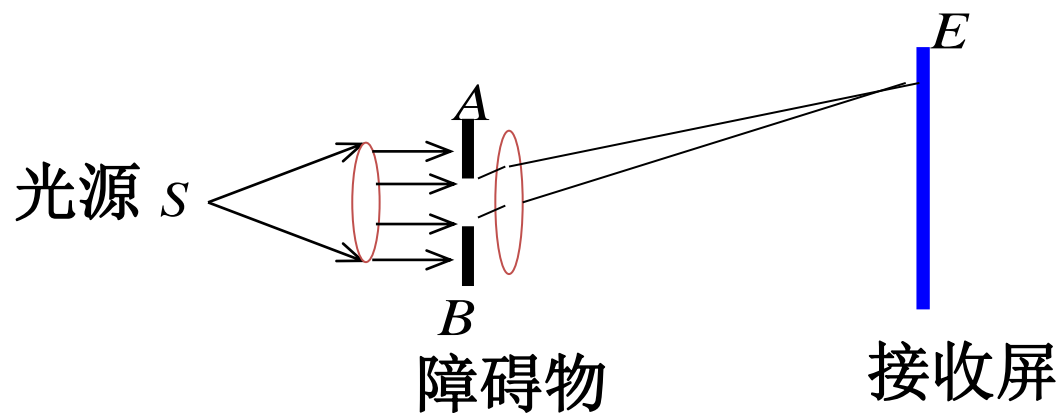
缝越窄（ a 越小），条纹分散的越开，衍射现象越明显；

缝越宽（ a 越大），条纹向中央靠拢；

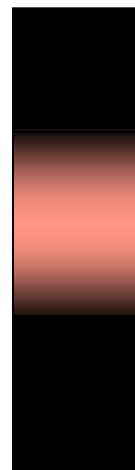
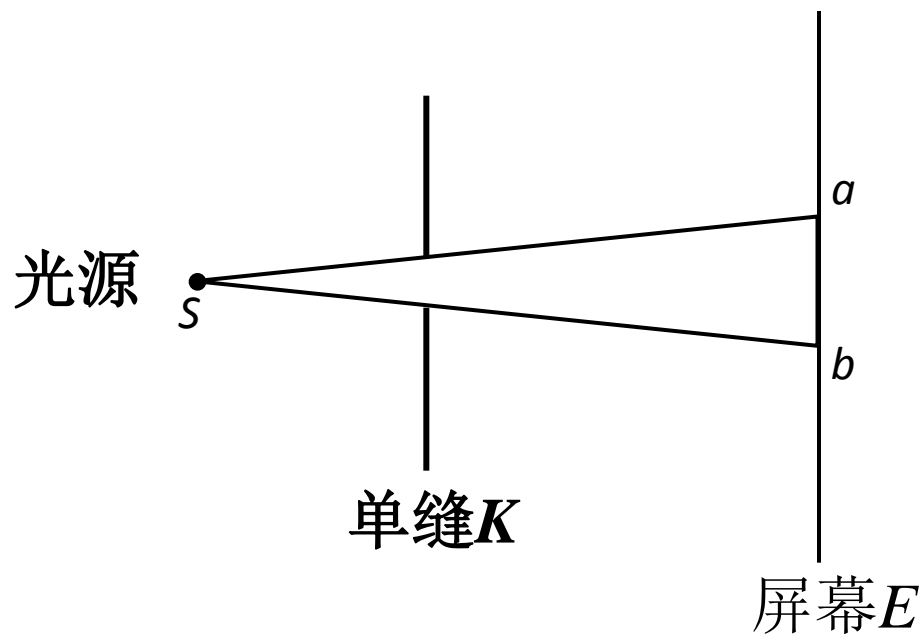
当缝宽比波长大很多时，形成单一的明条纹，这就是透镜所形成线光源的象，显示了光的直线传播的性质。

几何光学是波动光学在 $a \gg \lambda$ 时的极限情形。

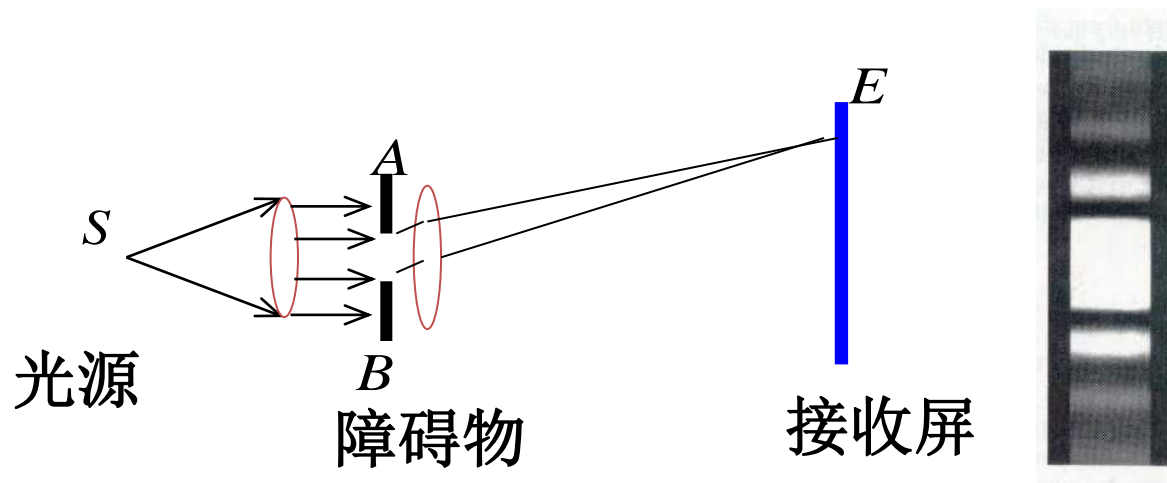
衍射与几何光学的关系:



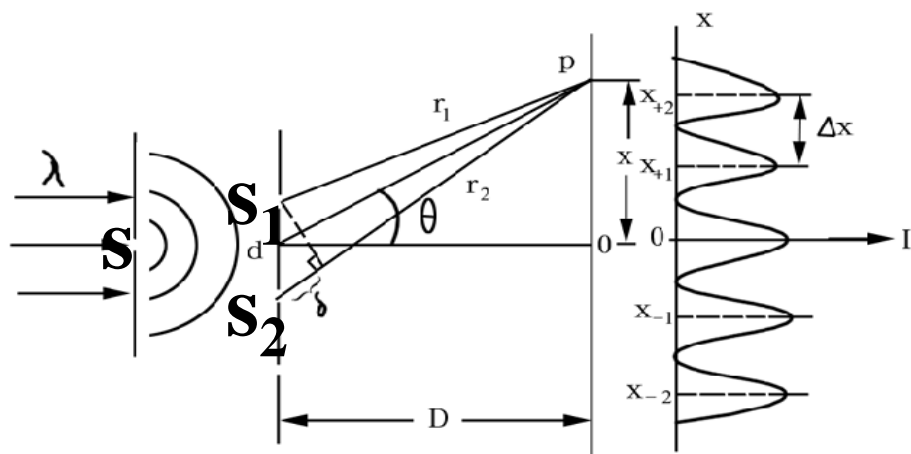
夫琅禾费衍射



e、干涉与衍射的本质



夫琅禾费衍射



杨氏双缝干涉

干涉与衍射的本质：

从本质上讲, 干涉和衍射都是**波的相干叠加**。

干涉指的是**有限多的子波**的相干叠加,

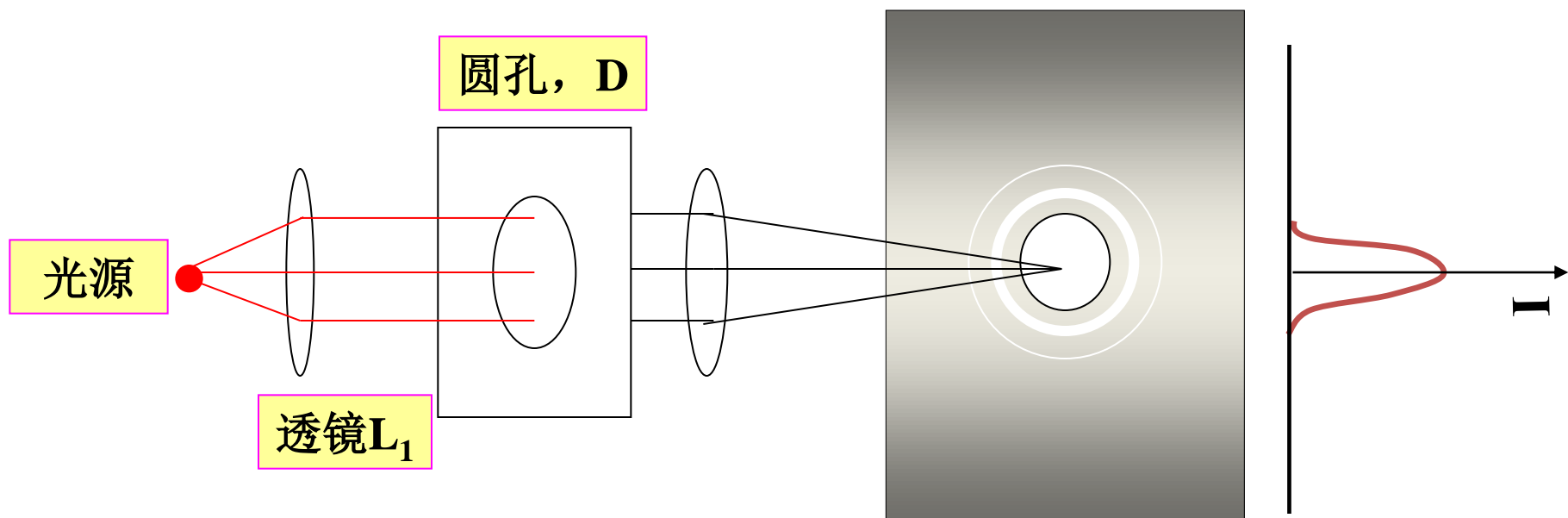
衍射指的是**无限多的子波**的相干叠加,

干涉强调的是**不同光束**相互影响而形成**相长或相消**的现象;

衍射强调的是**光线偏离直线**而进入阴影区域。

5、圆孔夫琅和费衍射

(1) 实验装置及衍射图样

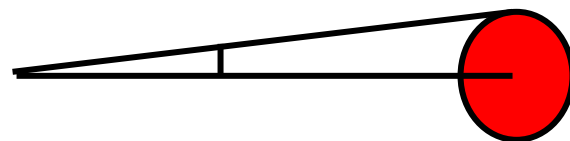
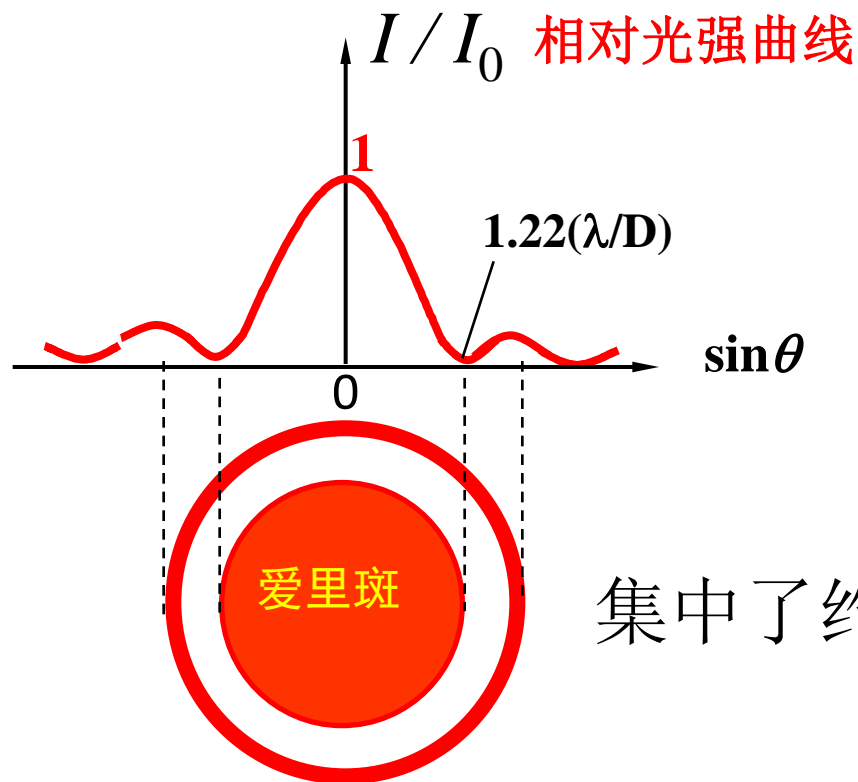


中央亮斑 (爱里斑)

(2) 爱里斑：

第一暗环对应的衍射角 θ_0 称为爱里斑的半角宽，
理论计算得：

$$\theta_0 \approx \sin \theta_0 = 0.61\lambda / R = 1.22\lambda / D$$

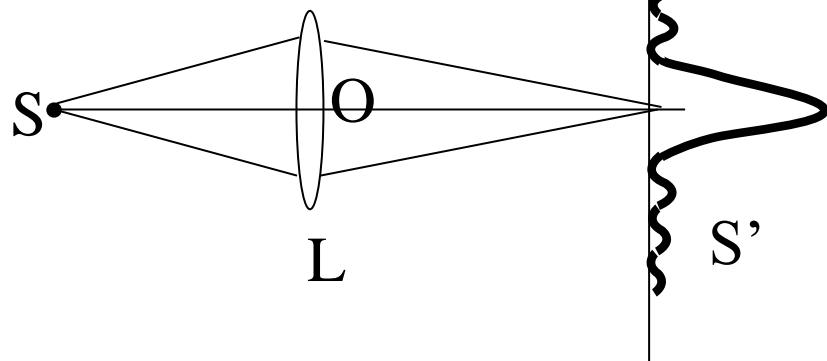
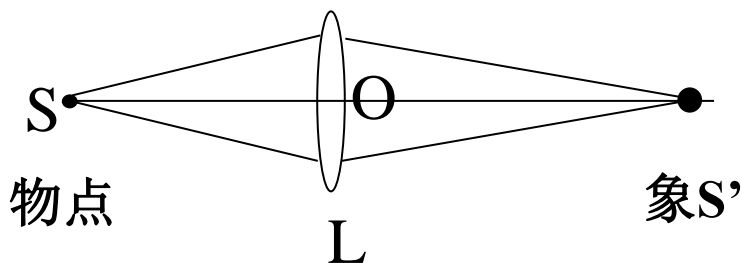


集中了约84%的衍射光能。

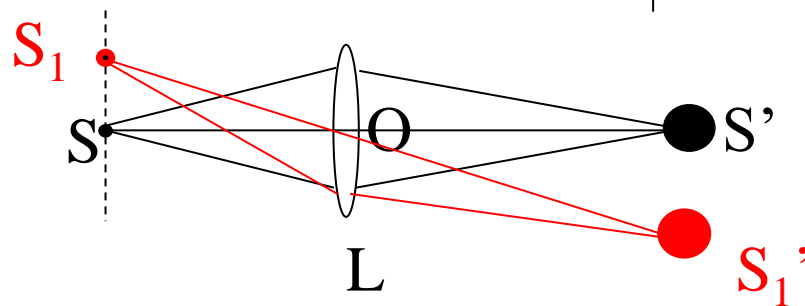
(3)、光学仪器的分辨本领

a、物与像的关系

几何光学：物像一一对应，象点是几何点



物理光学：象点不再是几何点，而是具有一定大小的爱里斑。



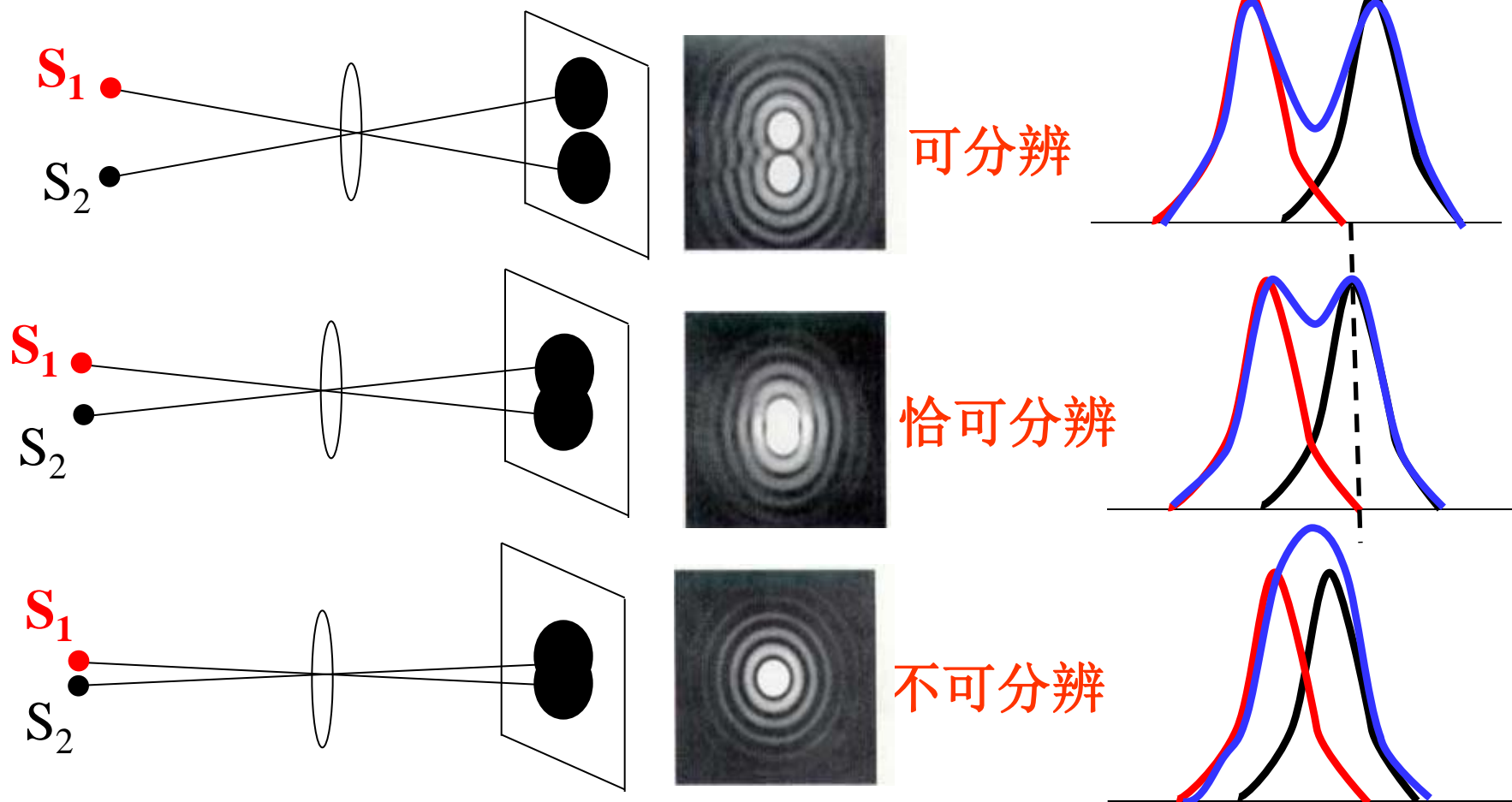
点物 S 和 S_1 在透镜的焦平面上呈现两个爱里斑，屏上总光强为两衍射光斑的非相干迭加。

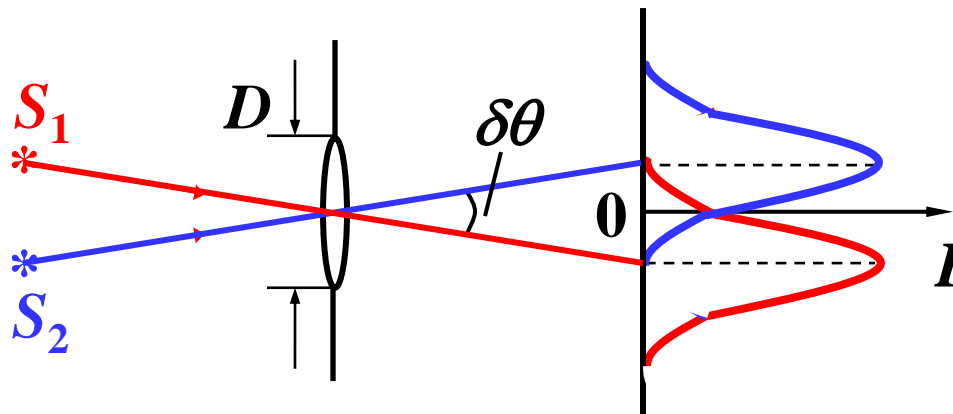
当两个物点距离足够小时，就有能否分辨的问题。

b、瑞利判据

瑞利给出**恰可分辨两个物点**的判据：

点物 S_1 的爱里斑中心恰好与另一个点物 S_2 的爱里斑边缘（第一衍射极小）相重合时，恰可分辨两物点。





最小分辨角 (角分辨率)

$$\delta\theta = \theta_1 \approx 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

分辨本领

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

讨论:

- 分辨本领与D成正比，与波长成反比：
D大，分辨本领大； 波长小，分辨本领大；
- 圆孔衍射公式对抛物面式的天线，雷达均成立。

望远镜: λ 不可选择, 可 $\uparrow D \rightarrow \uparrow R$

▲ 世界上最大的**光学**望远镜: $D = 8\text{ m}$ 建在了夏威夷山顶。

▲ 世界上最大的**射电**望远镜: $D = 500\text{ m}$

建在了贵州省喀斯特洼坑

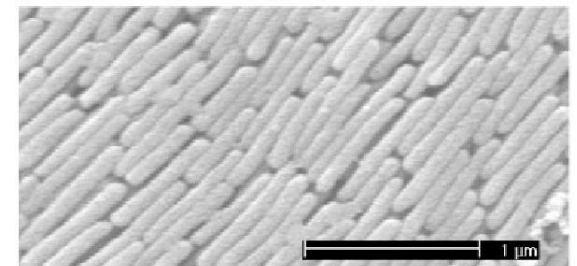
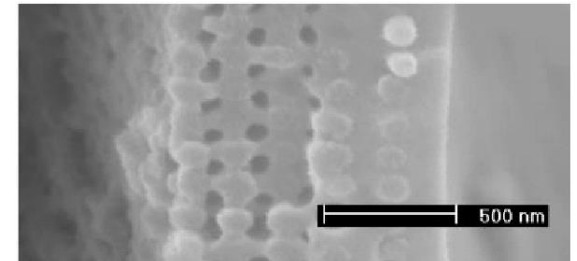
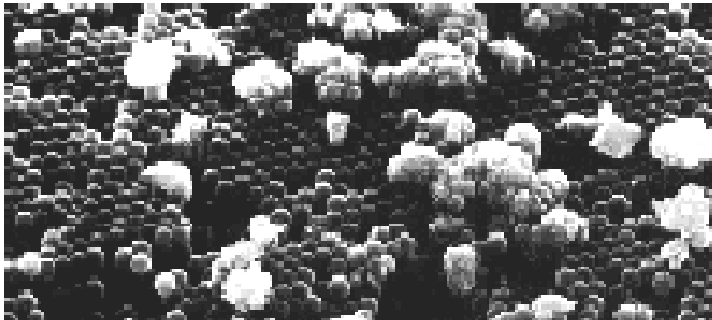


显微镜： D 不会很大，可 $\downarrow \lambda \rightarrow \uparrow R$

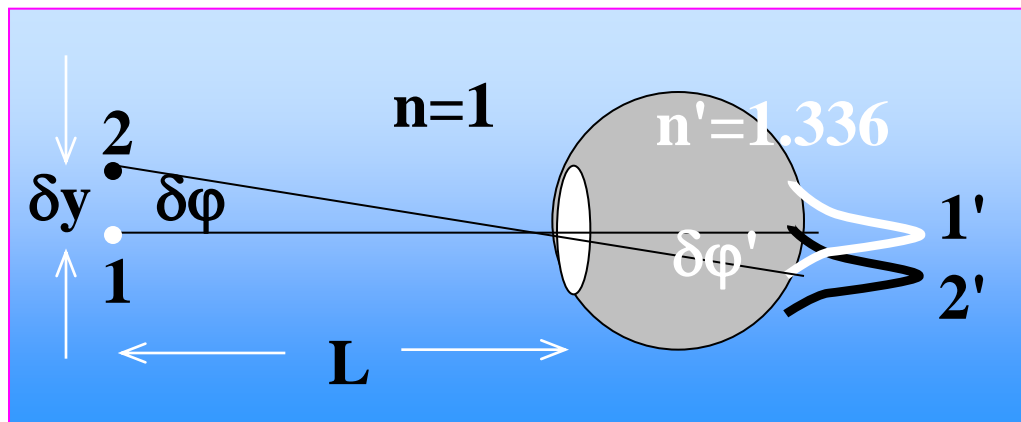
紫光 400 nm，最小分辨距离是200 nm

电子 λ ： $0.1\text{\AA} \sim 1\text{\AA}$ ($10^{-2} \sim 10^{-1} \text{ nm}$)

电子显微镜分辨本领很高，
可观察物质的细微结构。



• 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：假设汽车两盏灯相距 **$r=1.5\text{m}$** ，人的眼睛瞳孔直径 **$D=4\text{mm}$** ，问最远在多少米的地方，人眼恰好能分辨出这两盏灯？

这里假设所求距离只取决于眼睛瞳孔的衍射效应，并以对视觉最敏感的黄绿光 **$\lambda=550\text{nm}$** ，进行讨论。