内容目录

一 光的衍射现象Diffraction of Light

1. 衍射现象波动在前进过程中遇到障碍物，越过障碍物继续前进的现象.

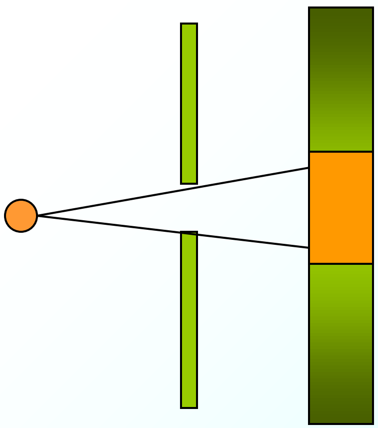
水波衍射 ← 机械波衍射 → 声波衍射

光波衍射?

2.衍射现象发生的条件

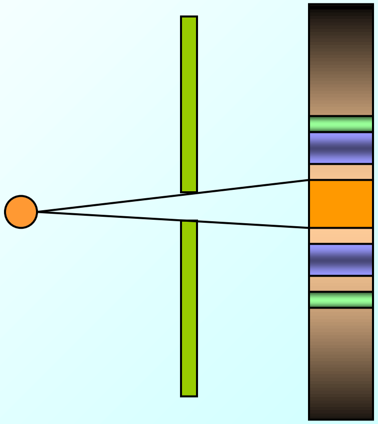
障碍物或小孔的尺寸可以和入射波波长相比拟.

如图(a)当缝宽足够大时E屏上出现一个光带;



(a)

当缝缩小到一定大小时(0.1mm以下)，光带不缩小反而增大，如图(b)，并且中央光带的旁边还有些明暗相间的条纹或彩色条纹。

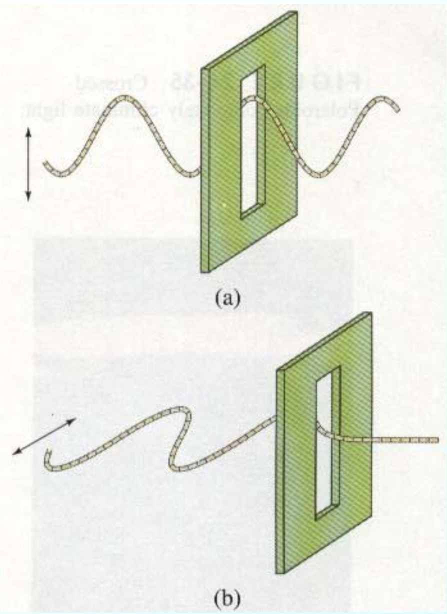


(b)

这表明光偏离了直线传播而到达了几何影内，这就是光的衍射现象。

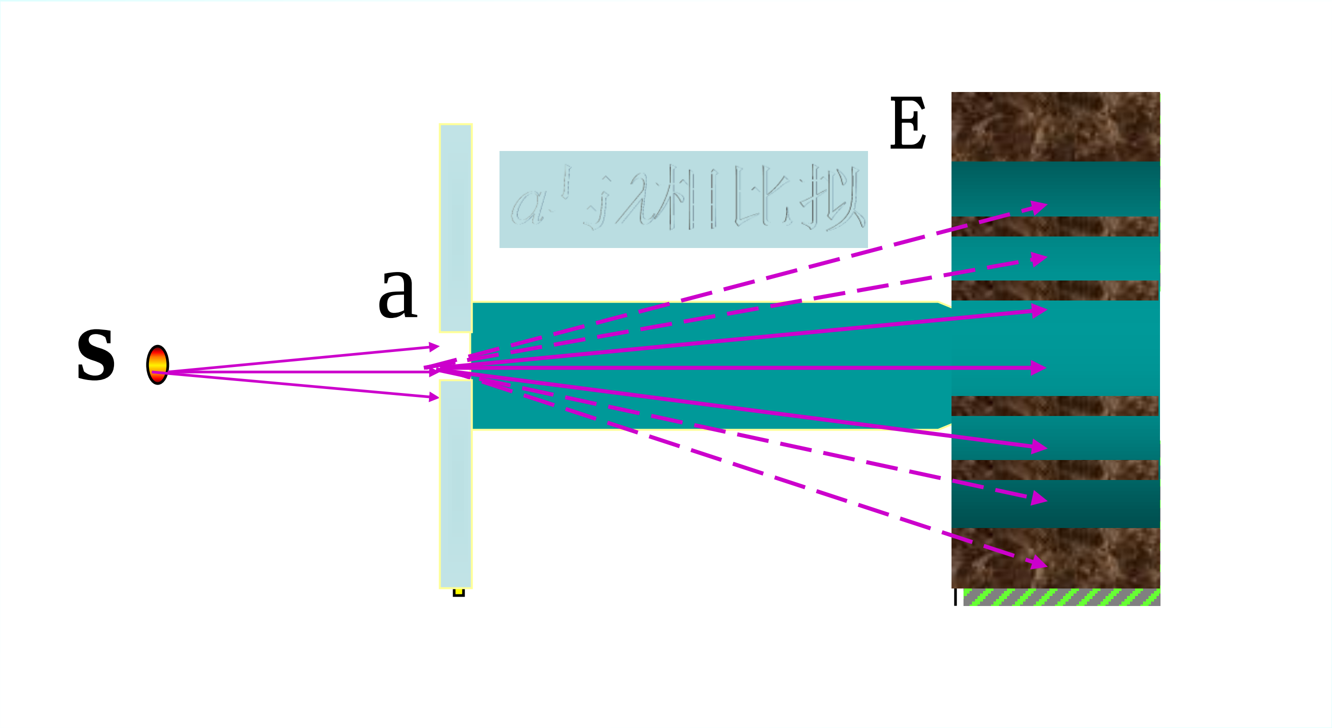
衍射和干涉现象都是波动的重要特征，光具有衍射现象这一事实进一步证实了光的波动性。

波的衍射现象比较容易看到，而光的衍射则不易被看到，这是因为一般障碍物（小孔、细缝）的线度与光波相比大得多的缘故。

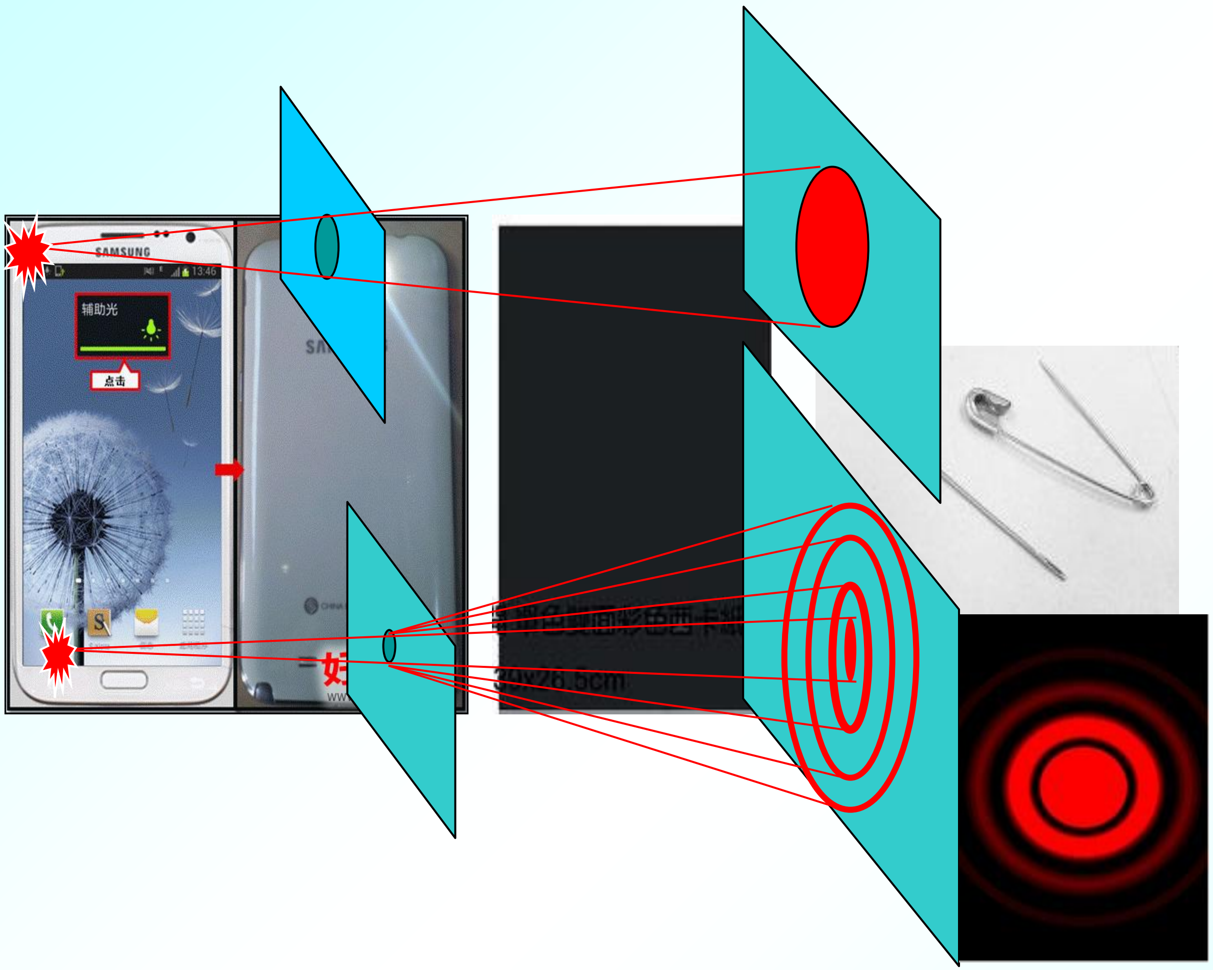


可见光: 400nm~760nm

如果（小孔、细缝）的线度与光波波长可以相比较时，则光通过小孔、细缝时就会看到衍射现象。



演示实验



现象

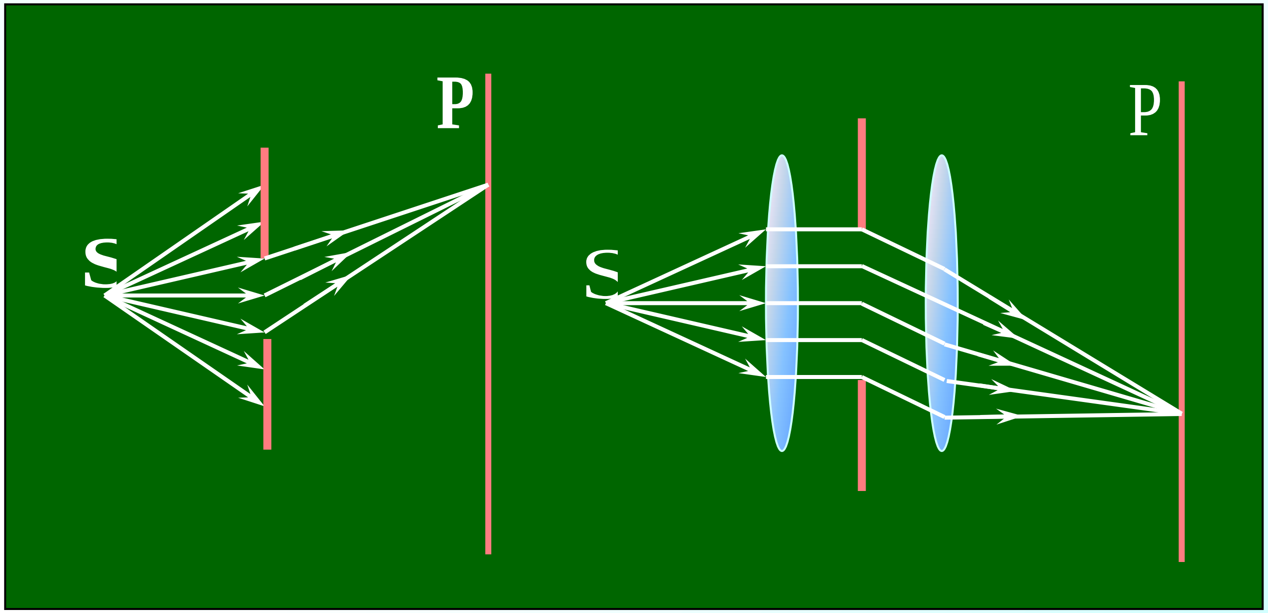
1. 随着圆孔尺度的不断减小，衍射现象越来越明显；

2. 中央明纹的亮度较大，周围次级明纹的亮度较小，并且由中心向外递减较快.

3.衍射现象分类

菲涅耳衍射: 光源或光屏相对于障碍物(小孔、狭缝或其它遮挡物)在有限远处所形成的衍射现象.

夫琅和费衍射: 光源和光屏距离障碍物都在足够远处,即认为相对于障碍物的入射光和出射光都是平行光.



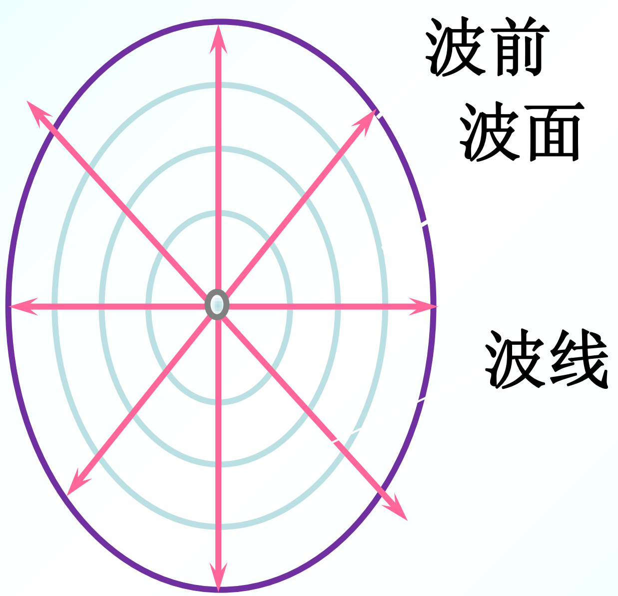
二 惠更斯-菲涅耳原理Huygens-Fresnel's Principle

1.波动过程形象描述

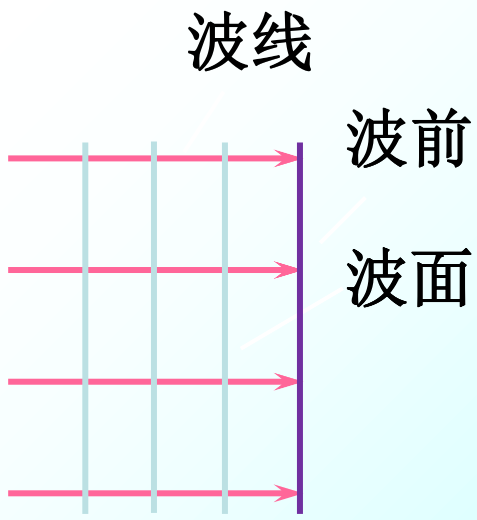
波线：沿波的传播方向画出的有向线段.

波面：振动相位相同的点所构成的面.

波阵面(波前)：在最前面的那个波面.



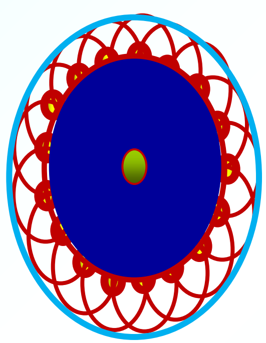
球面波



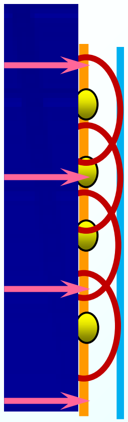
平面波

2.惠更斯原理

介质中波动传播到达的各点，都可以看做是发射子波的波源，在其后的任一时刻，这些子波波面的包络决定了原波动的新的波前。



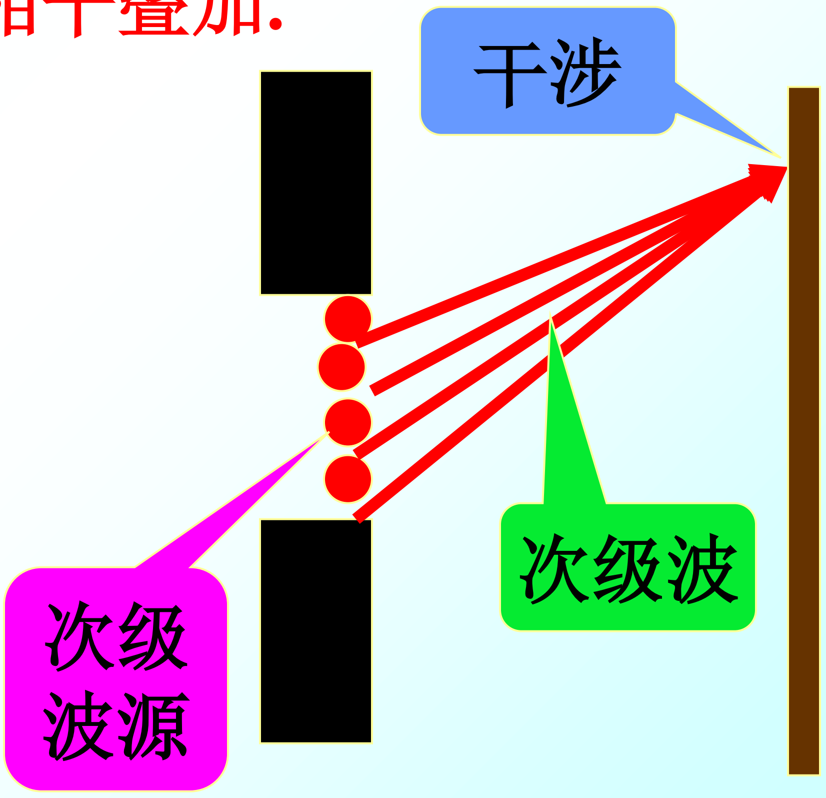
球面波



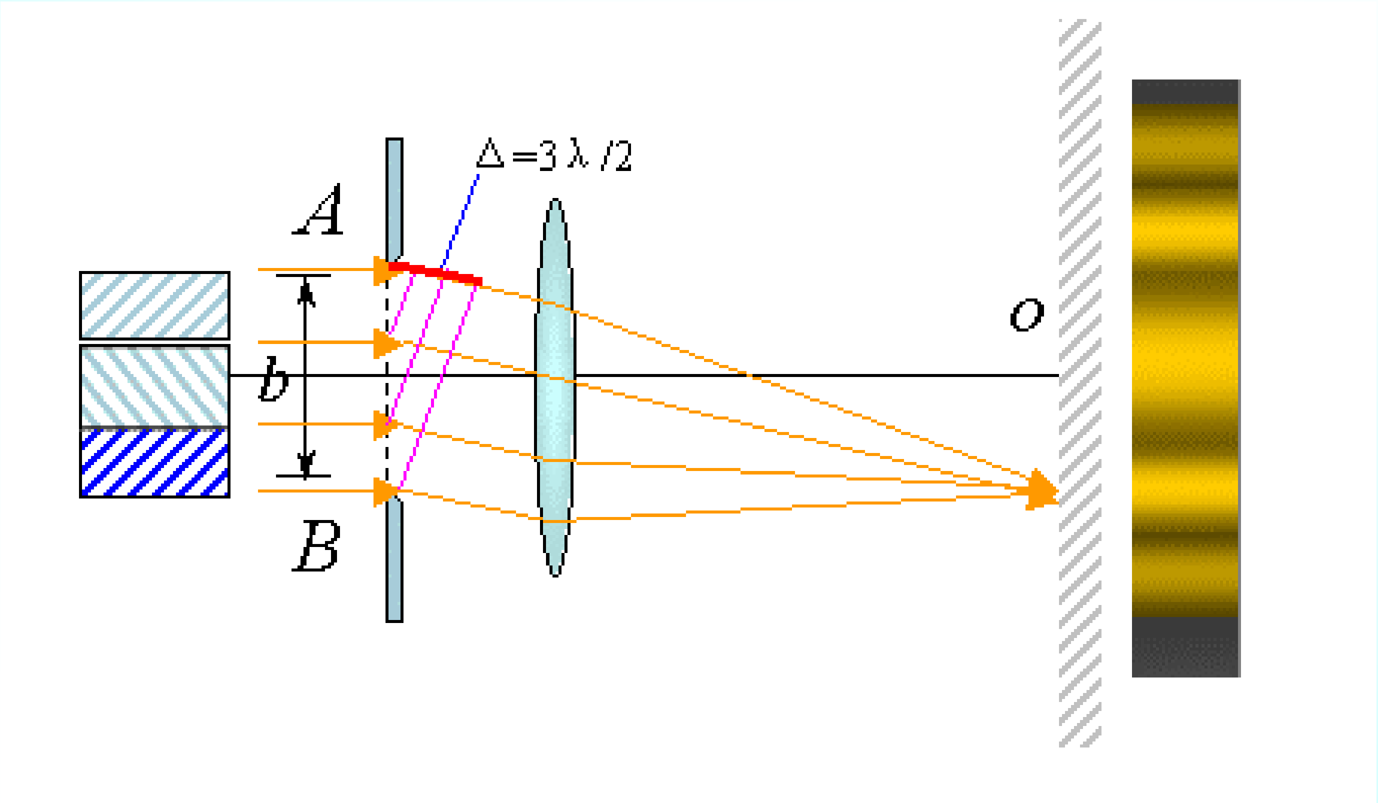
平面波

3. 惠更斯-菲涅耳原理

波前上每一面元都可看成是新的次波波源，它们发出的次波在空间相遇，空间每一点的振动是所有这些次波在该点所产生振动的叠加 --子波相干叠加.

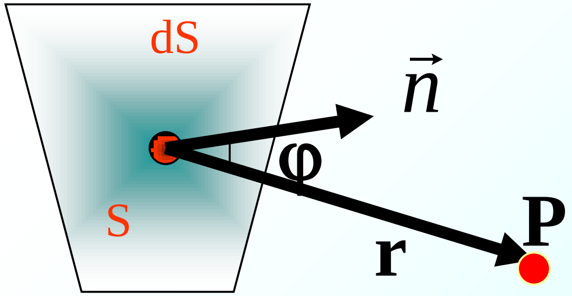


衍射现象中出现的明暗条纹正是从同一波阵面上发出各子波相互干涉的结果。



根据这一原理，如果已知光波在某一时刻的波阵面就可计算下一时刻光波到达各点**P**的振动。

设**S**为光波在某一时刻的波阵面，**dS**为**S**面的一个面积元，**P**为前方一点：



（**1**）引起的振动振幅与面积元**dS**成正比；

（2）与dS到P点的距离成反比；

（**3**）与**dS**的法线和**r**的夹角有关；

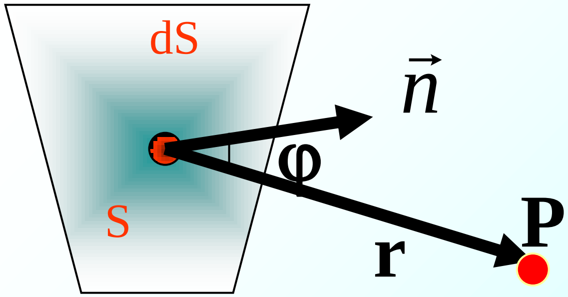
简谐波

$$dE = \frac{k(\varphi)dS}{r}\cos\left(\omega t - \frac{2\pi r}{\lambda}\right)$$

k（φ）为φ的一个函数

根据惠更斯—菲涅耳原理，P点的全振动等于S面的所有面积元所引起的振动的叠加，所以P点的合振动等于上式对整个S面的积分：

$$E=\int_S \frac{k(\varphi)}{r}\cos\left(\omega t-\frac{2\pi r}{\lambda}\right)dS$$



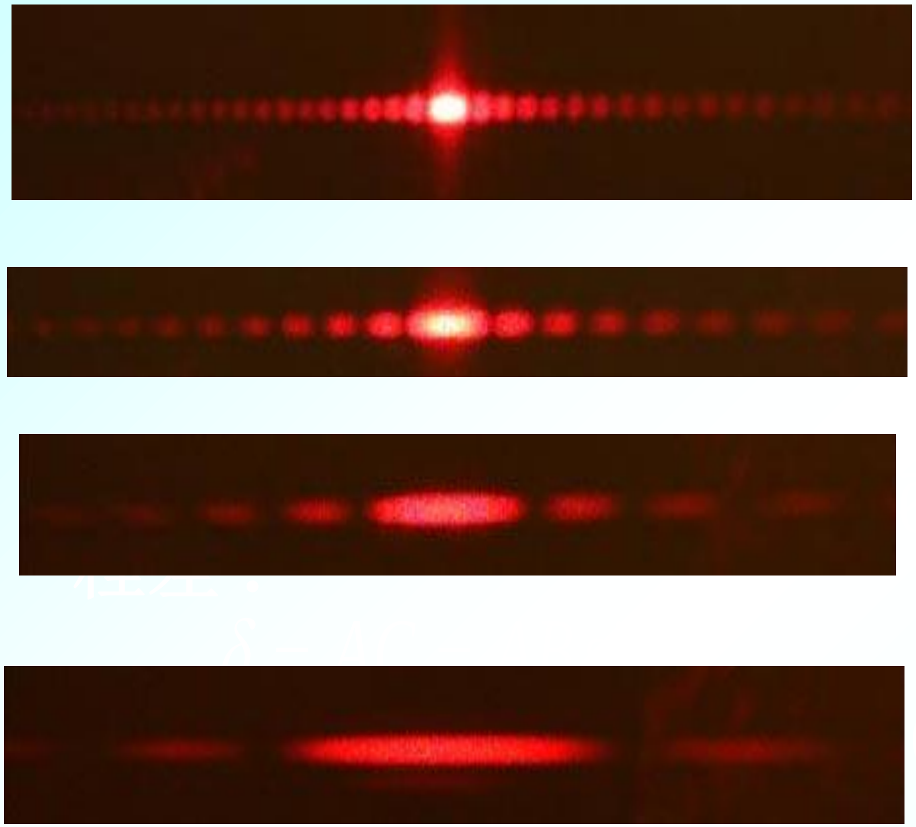
为惠更斯—菲涅耳原理的数学表达式。

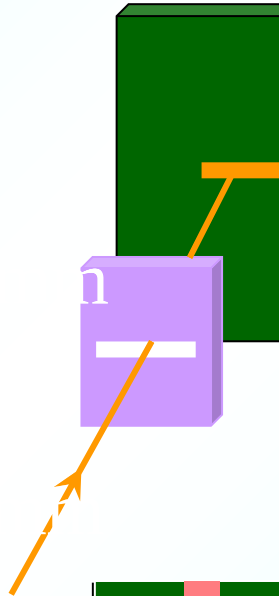
$k(\varphi)$ 方向因子，克服没有后退波，如可取为：

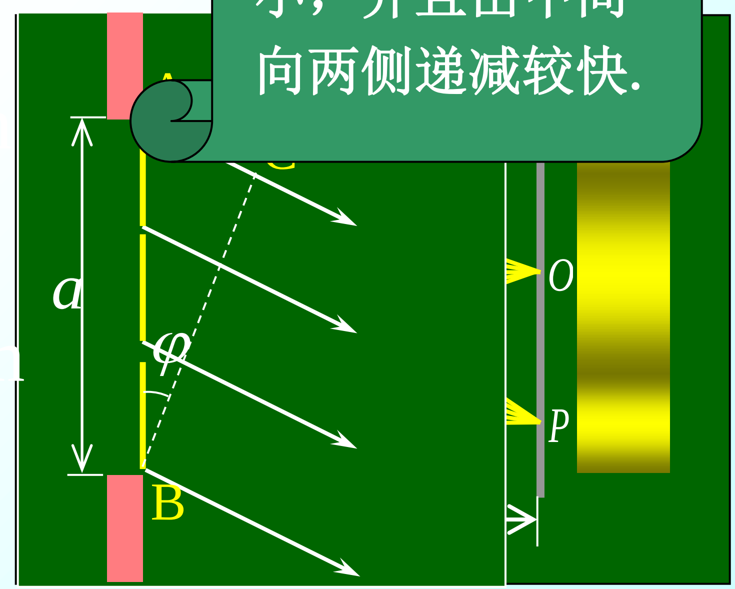
$$k(\varphi)=1+\cos\varphi$$

三 夫琅和费单缝衍射Diffraction from a Single Sli

1. 现象及装置



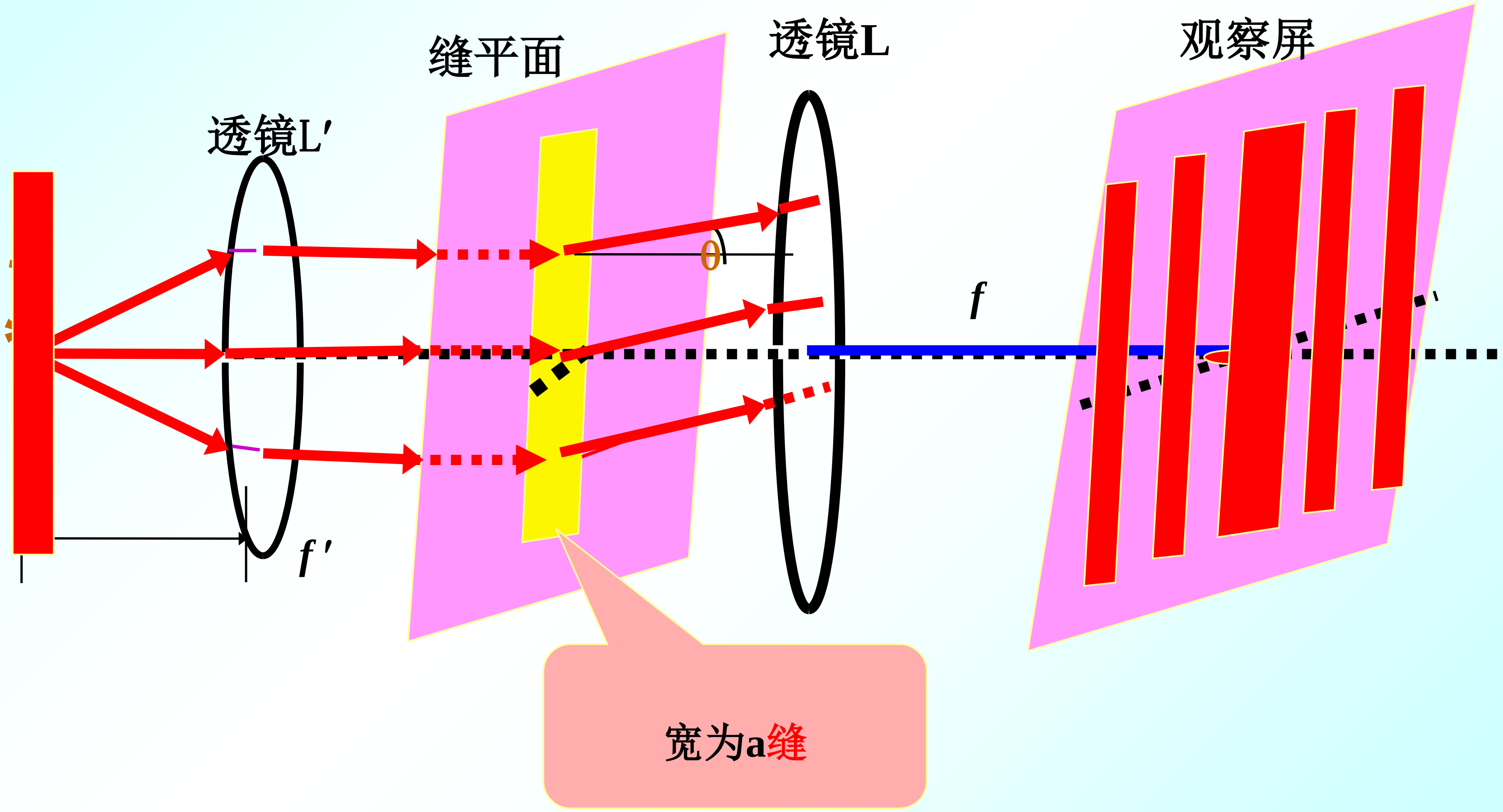


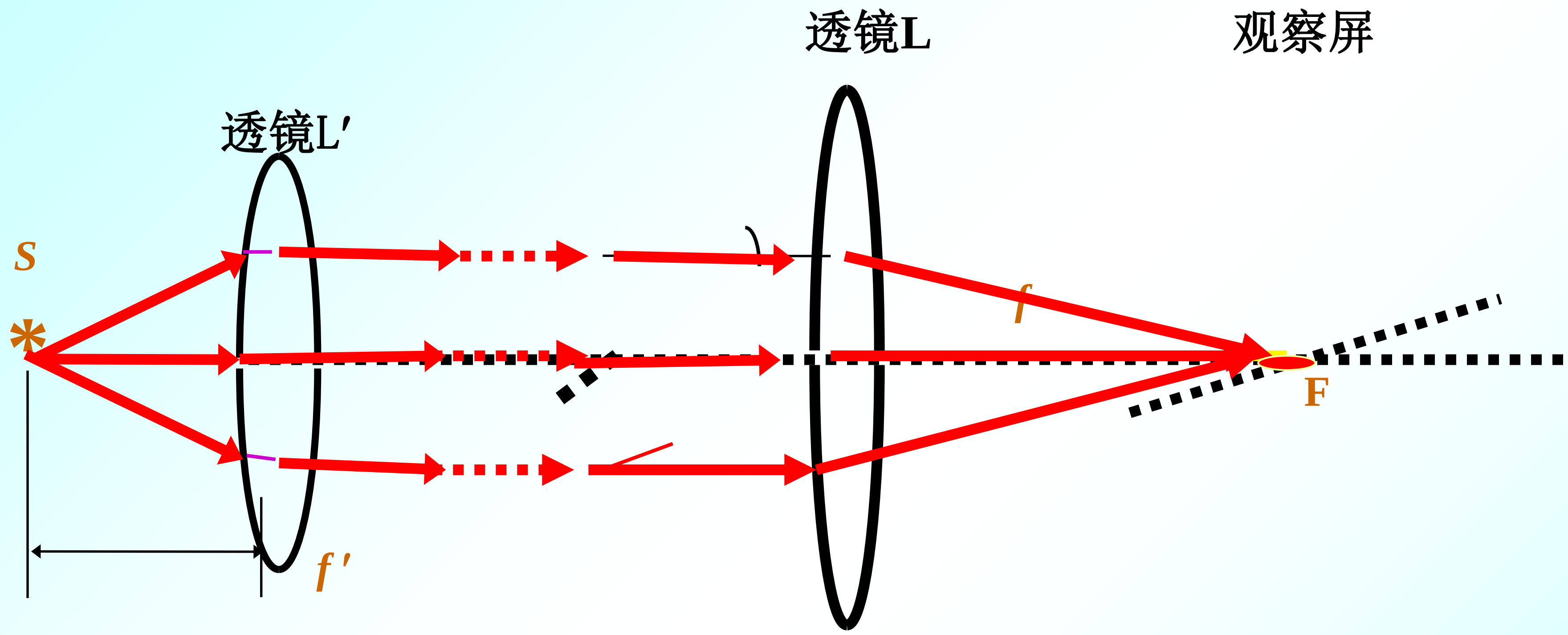


现象

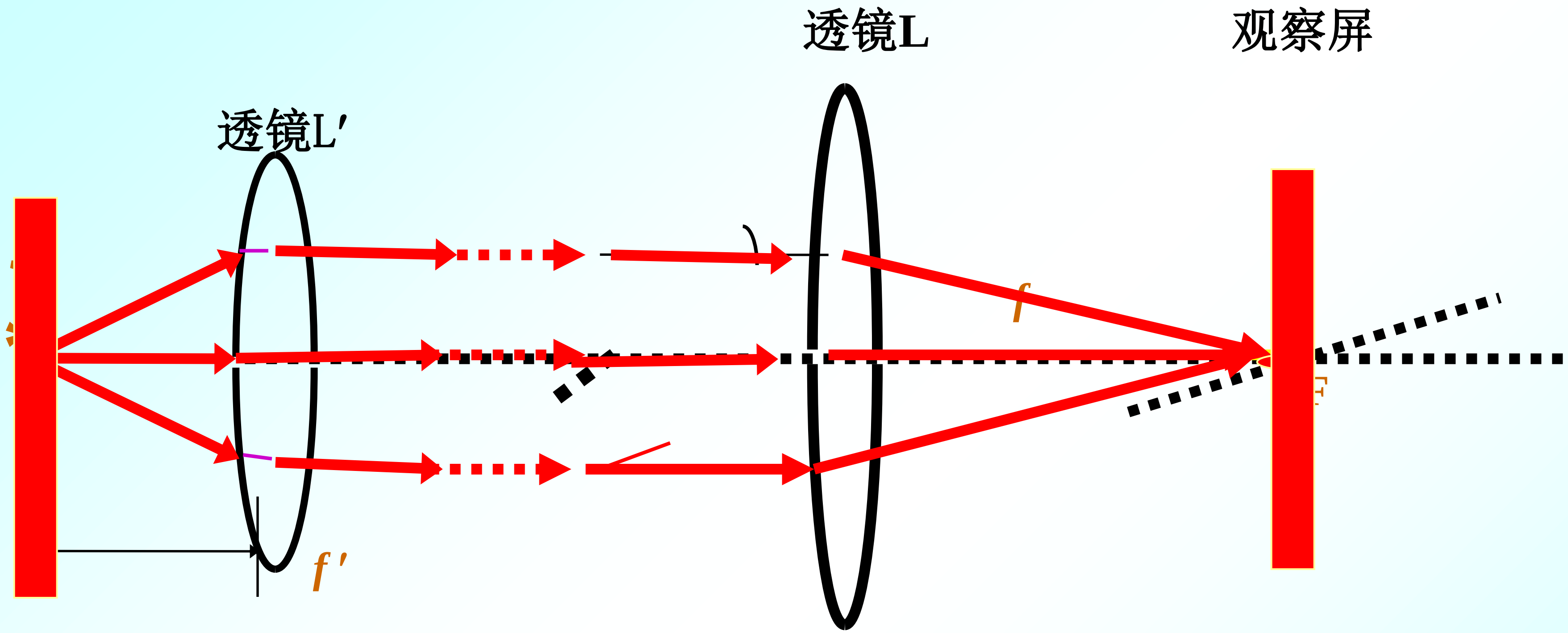
1. 随着单缝宽度的不断减小，衍射现象越来越明显；
2. 中央明纹的亮度较大，周围次级明纹的亮度较小，并且由中间向两侧递减较快.

单缝夫琅和费衍射的实验图及衍射图样：

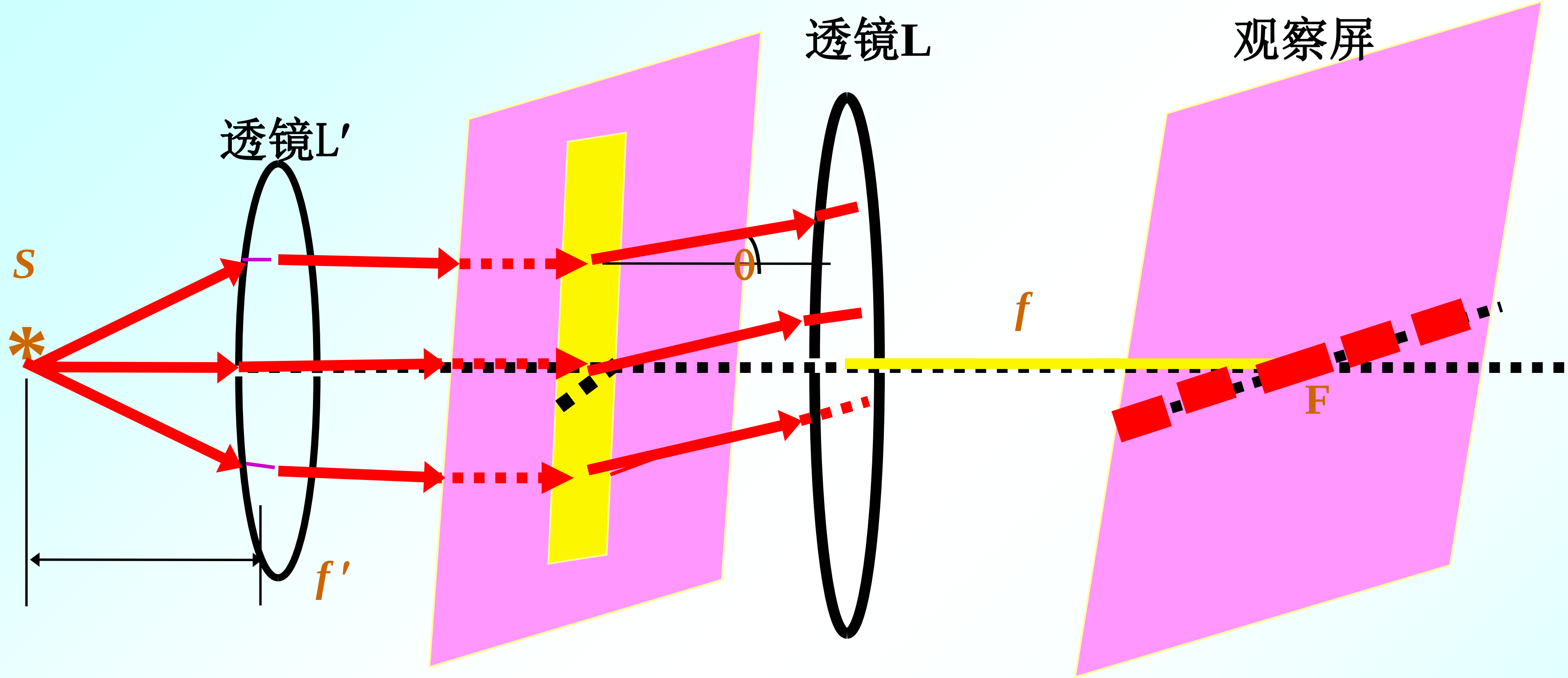




点光源，没有缝，像为点。

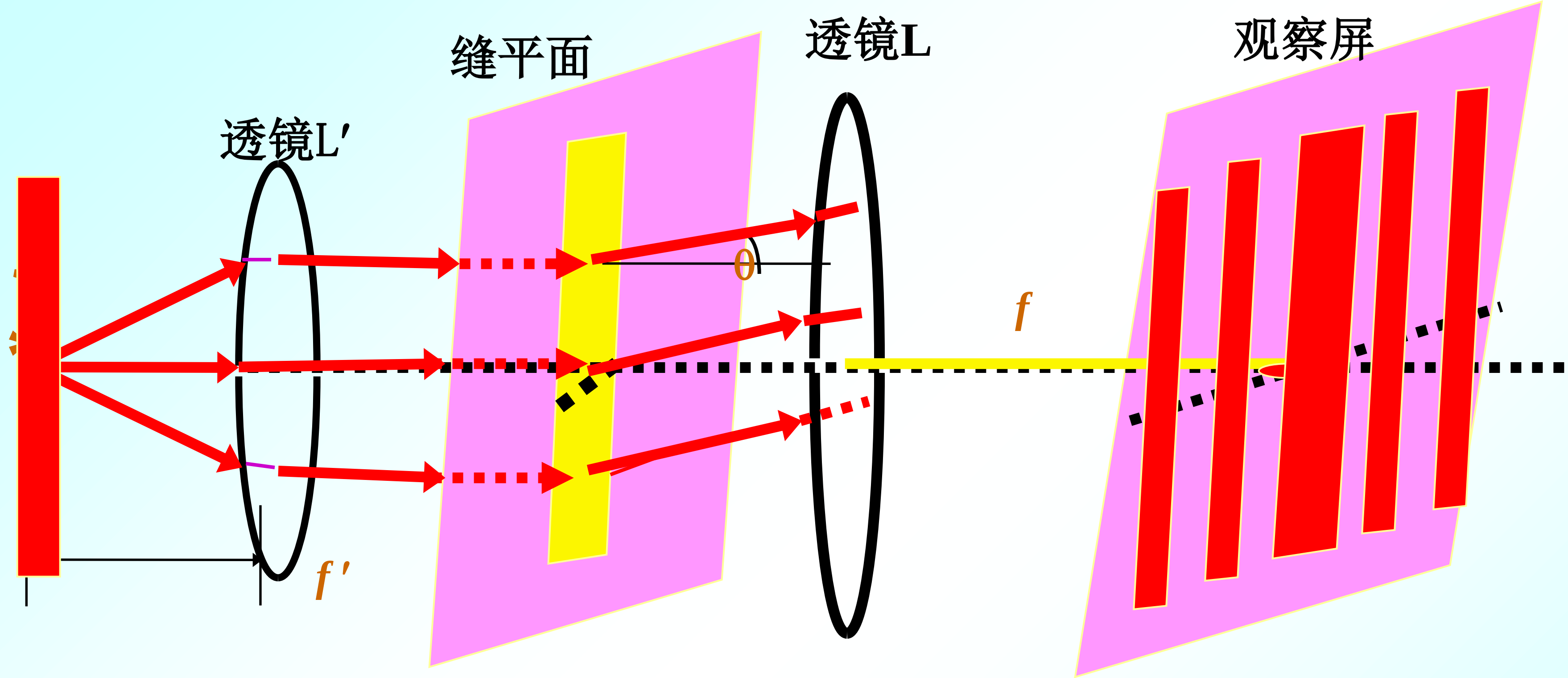


线光源，没有缝，像为线。



点光源，有缝，衍射图样为一些位于与缝垂直的一条直线上的明暗相间的段（有一定长度）。

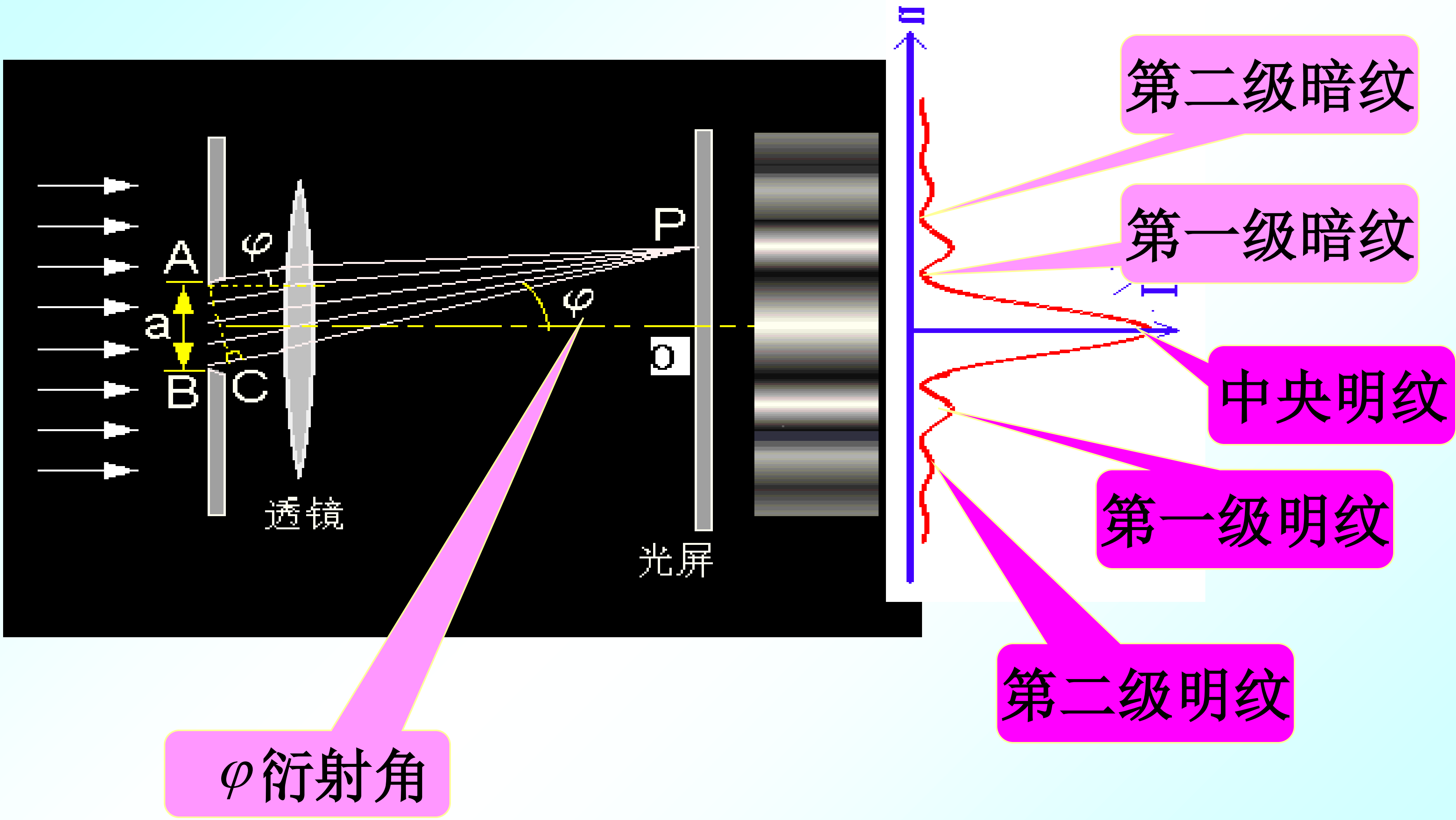
以中央明纹（段）对称分布！！



线光源，有缝，衍射图样为一些与缝平行的明暗相间的条纹（有一定宽度的线）。

以中央明纹（段）对称分布！！

2.屏上光强分布

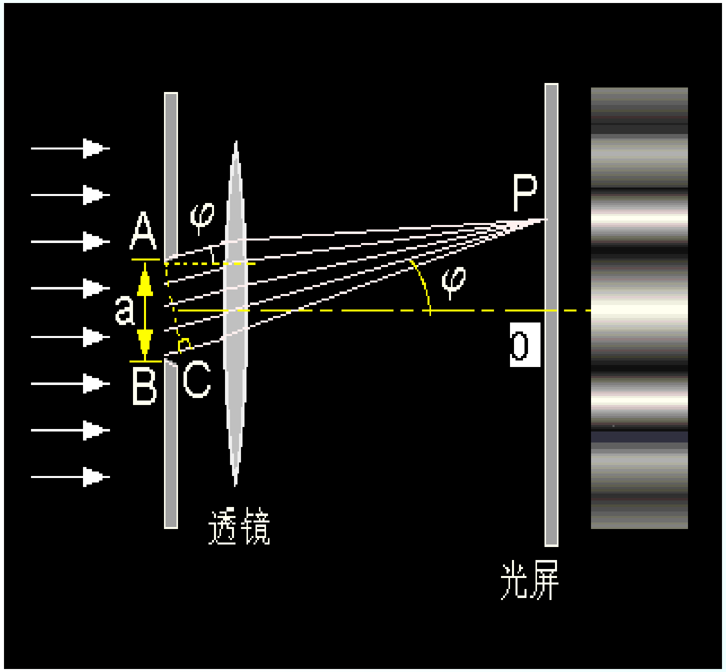


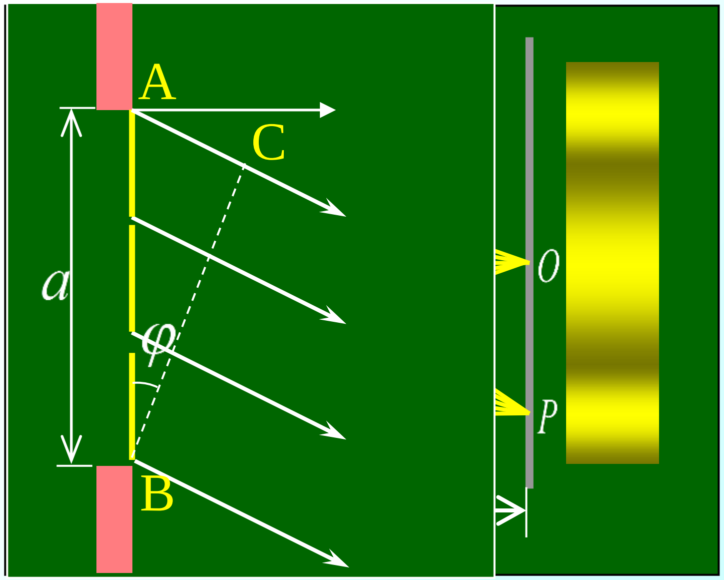
3.半波带法：

无限条光线会聚到P点，产生干涉，P点是明纹还是暗纹？

如何来研究无数条光线的干涉？当然，可以从惠更斯—菲涅耳原理出发，进行严格的数学计算。

对于单缝夫琅和费衍射，菲涅耳提出了一种简单的分析方法--半波带法。

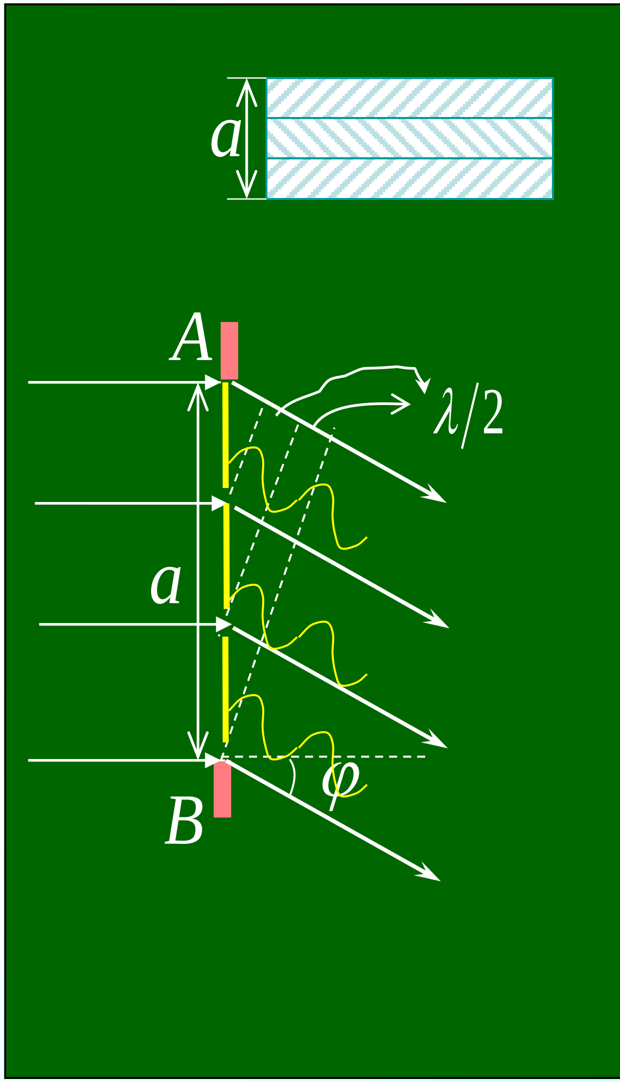




菲涅耳半波带:

间距为半个波长的两相邻平行面在单缝处截出的发光区域。

相邻两半波带发出的子光波之光程差正好是 $\lambda/2$。



半波带个数与衍射角的关系：

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

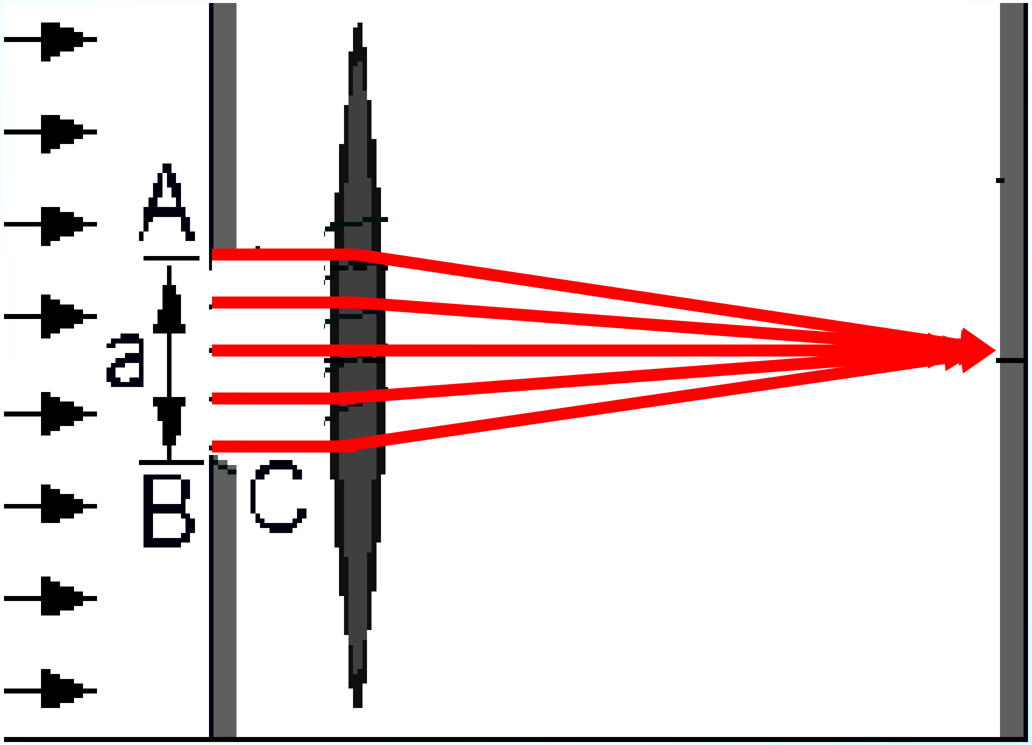
结论：衍射角越大，半波带个数越多。

1）中央明条纹：

主光轴与屏的焦点P_0：

$$\varphi = 0$$

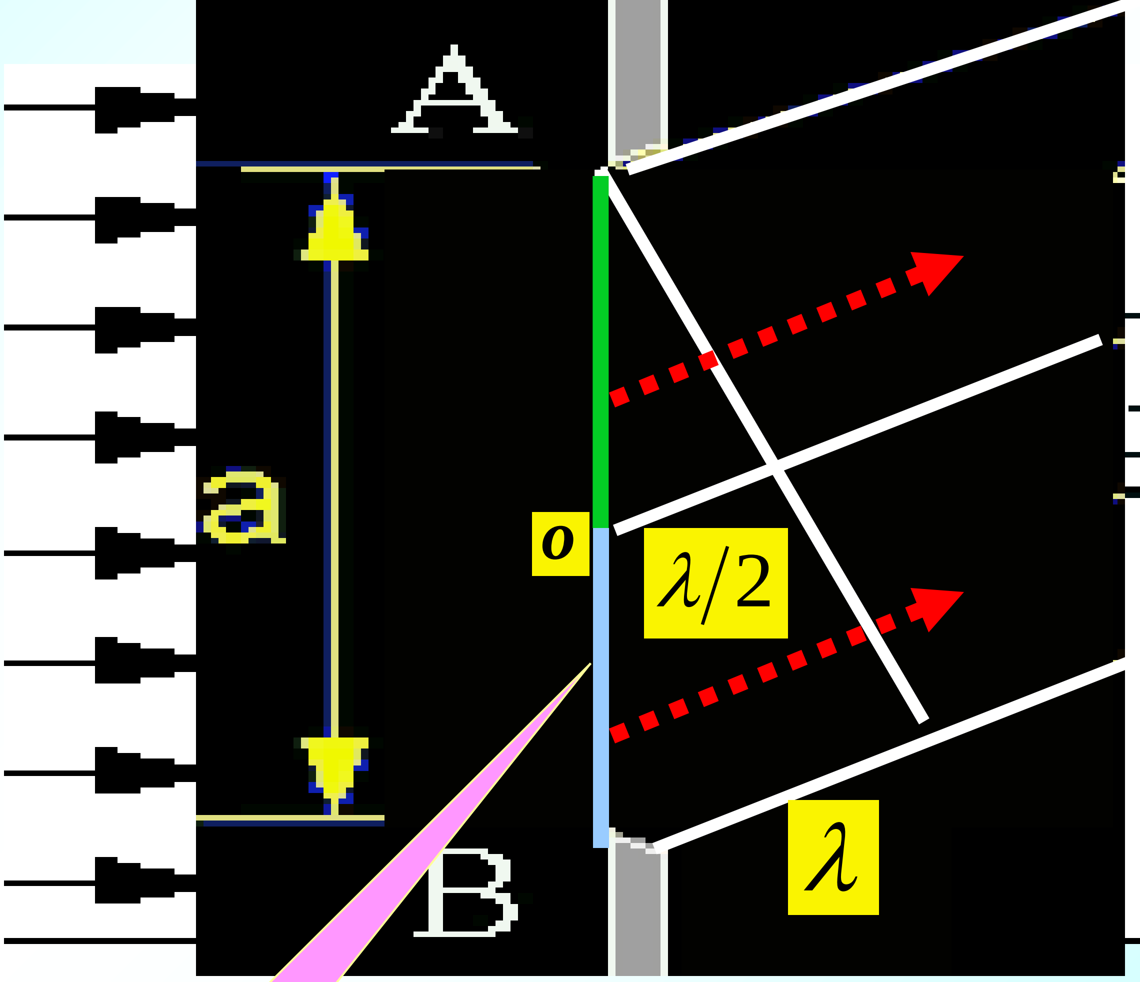
平行于主光轴的光线会集到P_0，因没有光程差，故P_0点为明纹（段），即中央明纹。



2）最大光程差：

$$\delta = a\sin\varphi = 2\times\frac{\lambda}{2}$$

对应两条光线相位差为π，会聚在P点干涉相消，则P点为暗纹。



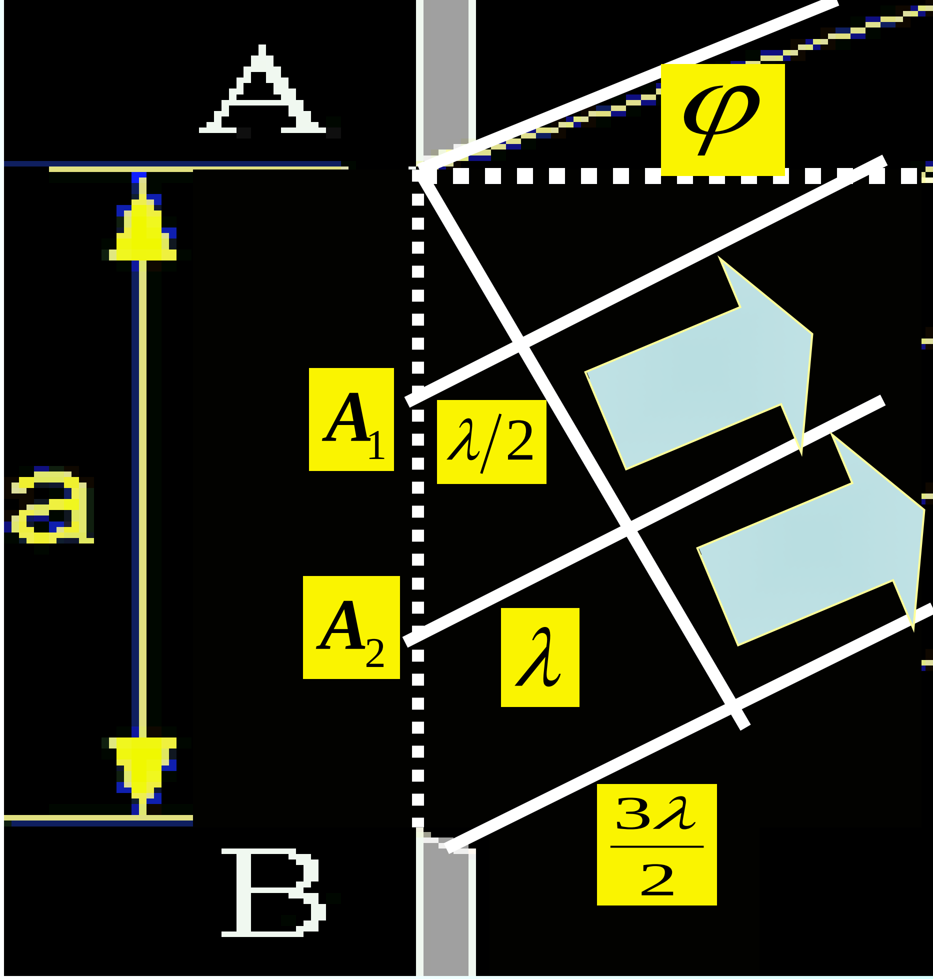
这里AO和OB称为半波带。

3）如果最大光程差：

$$\delta = a\sin\varphi = 3\times\frac{\lambda}{2}$$

此时，AB分成三个半波带：AA_1, A_1A_2和A_2B；

相邻两个半波带发出的子波的相位差为π，这两个半波带干涉相消；

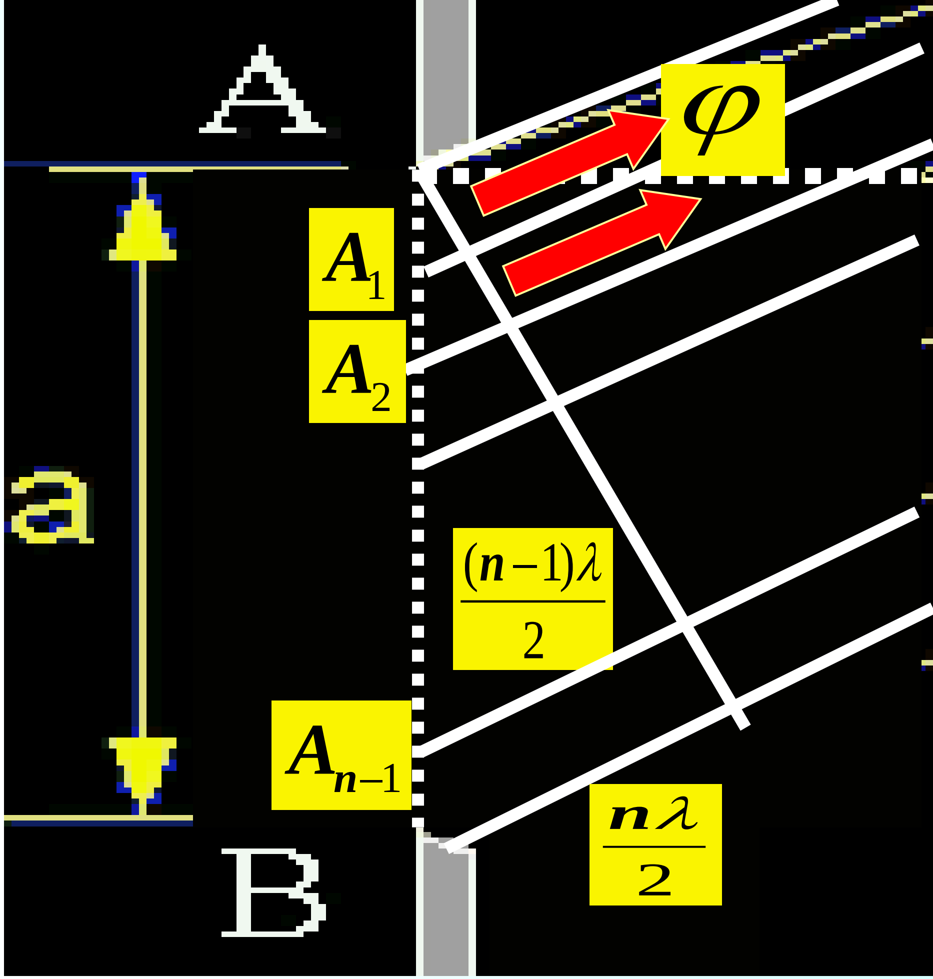


只剩一个半波带使光线会聚点P为亮点。

4）如果最大光程差：

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

此时， AB分成N个半波带：$AA_1, A_1A_2 \ldots\ldots A_{n-1}B$；



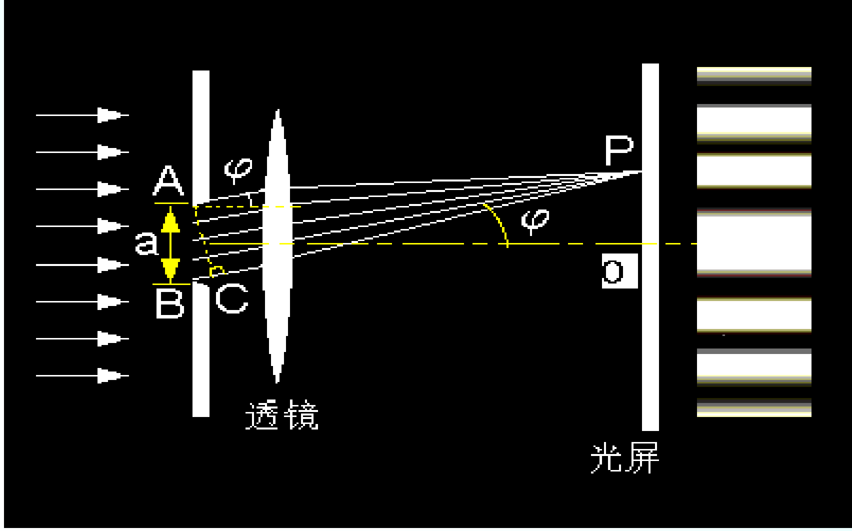
每相邻半波带发出的子波的相位差为π，成对相邻两个半波带干涉相消，

N为偶数，P为暗点；

N为奇数，P为亮点；

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

4.夫琅禾费单缝衍射明暗条纹对应的方程：



$\varphi = 0$ 中央明纹

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

$(k=1,2,3\cdots)$

$$a\sin\varphi = \pm 2k\times\frac{\lambda}{2}$$ 第k级暗纹

几个半波带

几个半波带

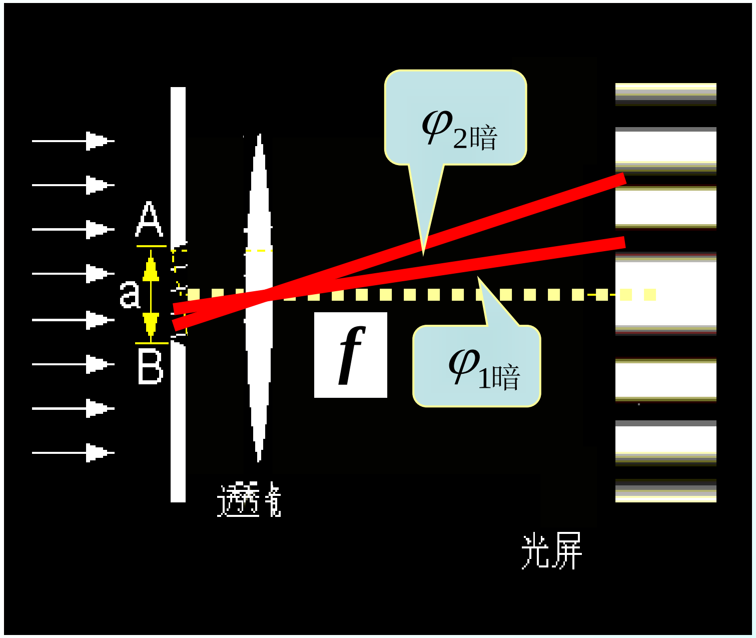
不满足上述条件的点，既不是明纹的中心，也不是暗纹的中心。

因此明纹（段）有一定的宽度。

5. 中央明纹：两个一级暗纹中心之间的区域。

一级暗纹对应的衍射角：

$$\varphi \approx \sin\varphi = \pm\frac{\lambda}{a}$$



中央明纹角宽度：$\theta_0 = 2\varphi = 2\cdot\dfrac{\lambda}{a}$

中央明纹的线宽度：

$$l_0 \approx 2\varphi\cdot f = 2f\cdot\frac{\lambda}{a}$$

•其它明条纹的角宽度：$\Delta\theta=\theta_2-\theta_1 = \sin\varphi_2 - \sin\varphi_1 = \dfrac{\lambda}{a}$

•其它明条纹的线宽度：$l = f\cdot\dfrac{\lambda}{a}$

结论：中央明条纹宽度是其它明条纹的两倍，其它明条纹的宽度都相同。

6. 现象解释

☺缝宽 a 越小，衍射角 φ 越大，衍射越显著；

☺缝宽 a 越大，衍射角 φ 越小，衍射越不明显；

☺当 a >>λ 时，φ=0，光波沿直线传播，不发生衍射现象。

结论：几何光学是波动光学在 $\lambda/a \to 0$ 时的极限情况。

♣所有衍射角为0的出射光波在屏幕中央干涉相长；

♣衍射角越大，在单缝处截出的单位半波带面积越小，对应的光强越弱。

现象

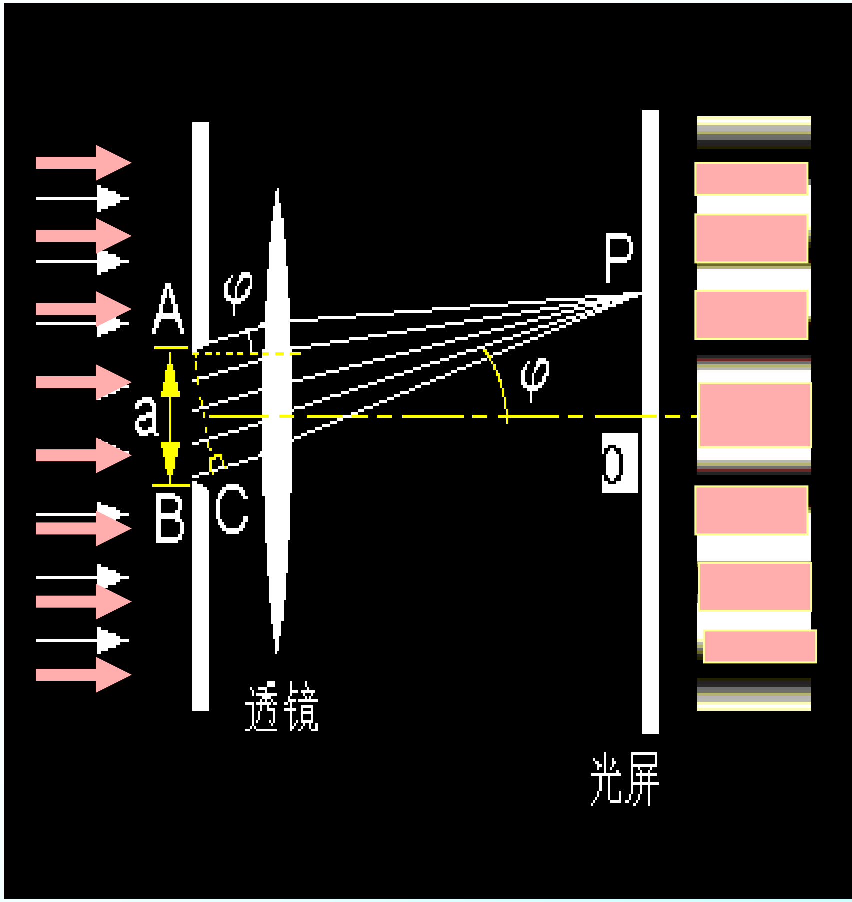
1. 随着单缝宽度的不断减小，衍射现象越来越明显；
2. 中央明纹的亮度较大，两侧次级明纹的亮度较小，并且由中间向两侧递减较快.

7. 复合光入射：

1）入射光含波长为λ_1和λ_2 的两种波，两种光各自形成各自的衍射图样；

2)如果是白光入射，

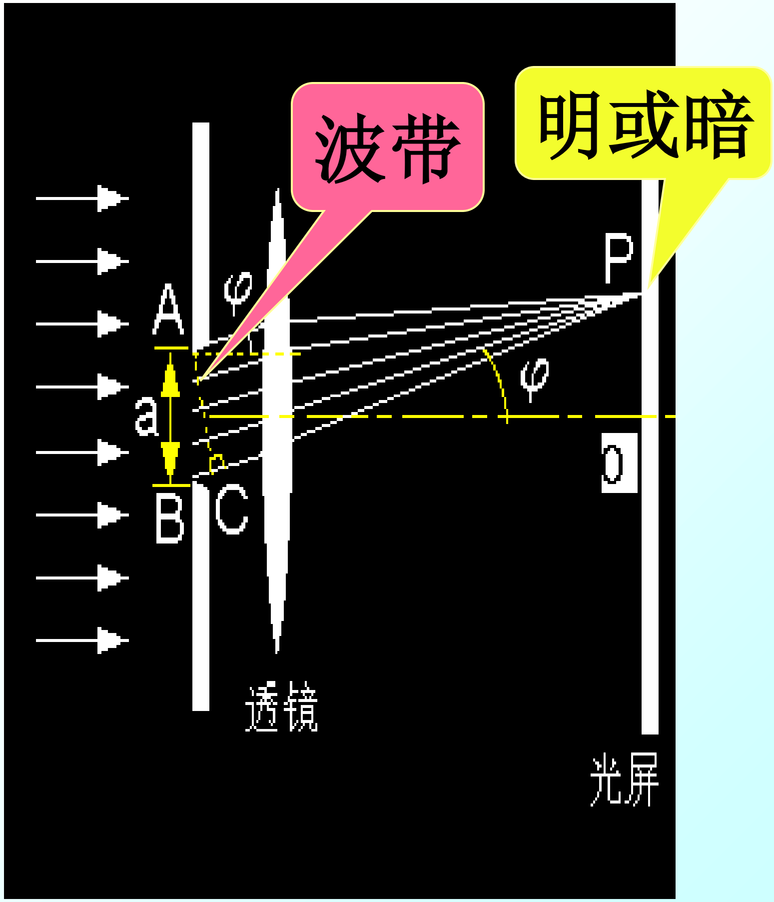
a、k 一定时： λ不同，φ就不同，除中央明纹外，其它级次的明纹按波长由短（紫）到长（红）排成‘彩虹’；但中央亮条纹中心还是白色。



例1：波长为λ的单色光垂直入射在缝宽a=4 λ的单缝上，对应于衍射角φ=30°，单缝处的波面可划分为___4___个半波带，相应的衍射为____暗____（明或暗）。

解：

$$N = \frac{a\sin\varphi}{\frac{\lambda}{2}} = 4$$



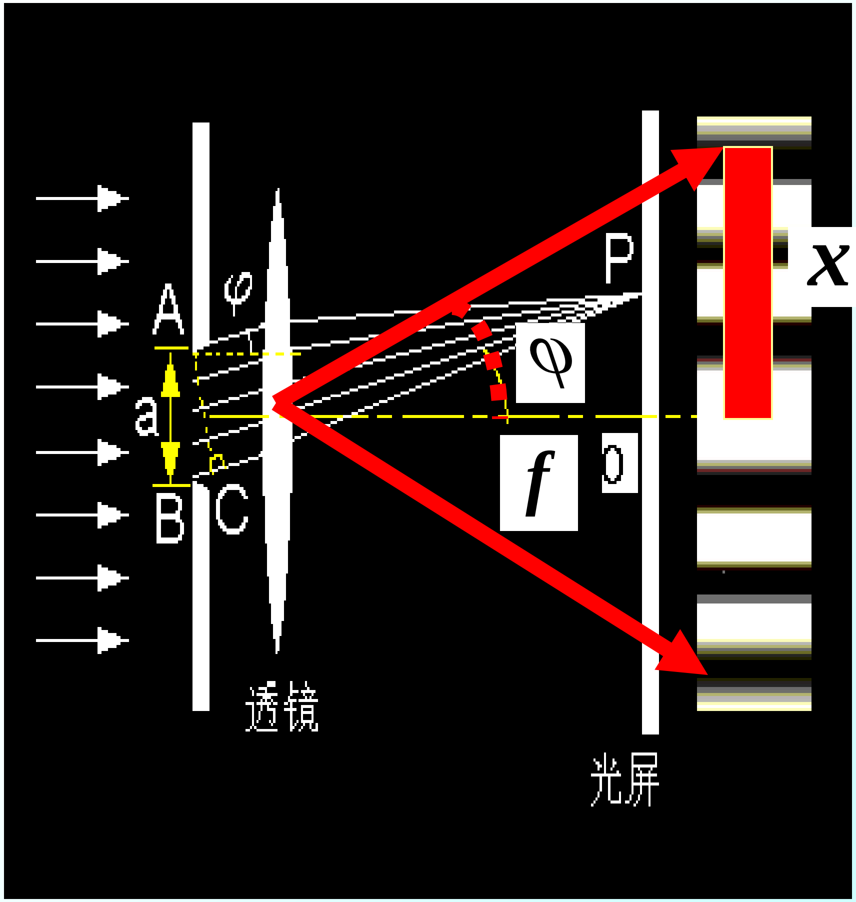
例2：波长为λ的单色光垂直入射在缝宽a=0.15mm的单缝上，缝后有焦距为f=400mm的凸透镜，在其焦平面上放置观察屏。现测得中央明纹两侧两个第三级暗纹的距离为8mm，则入射光的波长为 ______________。

解：

$$\sin\varphi \approx \tan\varphi = \frac{x}{f} = \frac{4}{400} = 0.01$$

$$a\sin\varphi = 2\times3\times\frac{\lambda}{2}$$

$$\lambda = \frac{a\sin\varphi}{3} = 5\times10^{-4}mm = 500nm$$

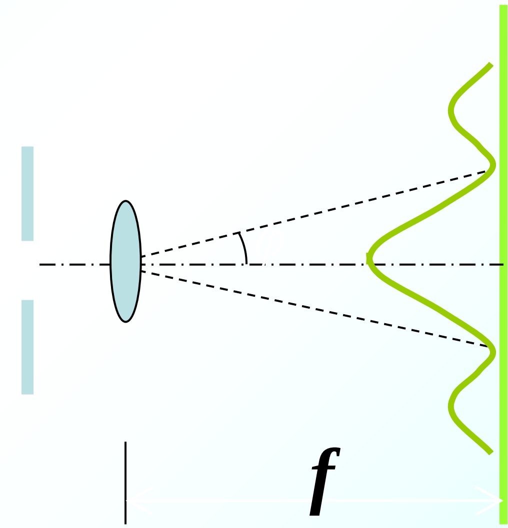


例3. 波长为546 nm的平行光垂直照射在 $b = 0.437$ mm的单缝上，缝后有焦距为40 cm的凸透镜，求透镜焦平面上出现的衍射中央明纹的宽度及第一级明纹的位置。

解：$a\sin\varphi=\lambda$ $\qquad \varphi\approx\sin\varphi=\dfrac{\lambda}{a}$

$$L=\frac{2\lambda f}{a}$$

$$=\frac{2\times5.460\times10^{-7}\times0.40}{0.437\times10^{-3}}=1.0\times10^{-3}\,\mathrm{m}$$



$$a\sin\varphi=\pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}\quad(k=1,2,3,\cdots)$$

明纹

$$a\sin\varphi=\frac{3\lambda}{2}\qquad \sin\varphi\approx\mathrm{tg}\varphi=\frac{3\lambda}{2a}$$

$$x_1=f\cdot\mathrm{tg}\varphi=f\,\frac{3\lambda}{2a}$$