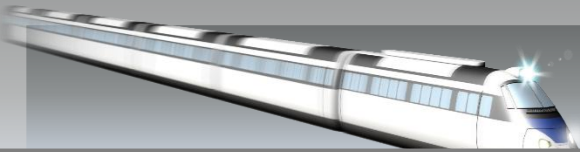
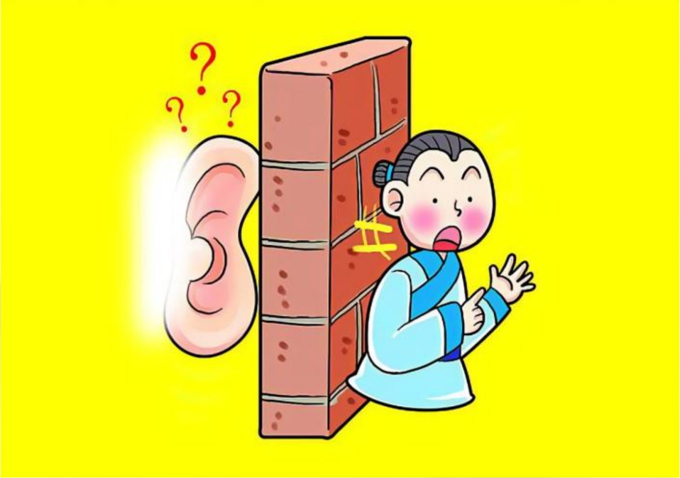
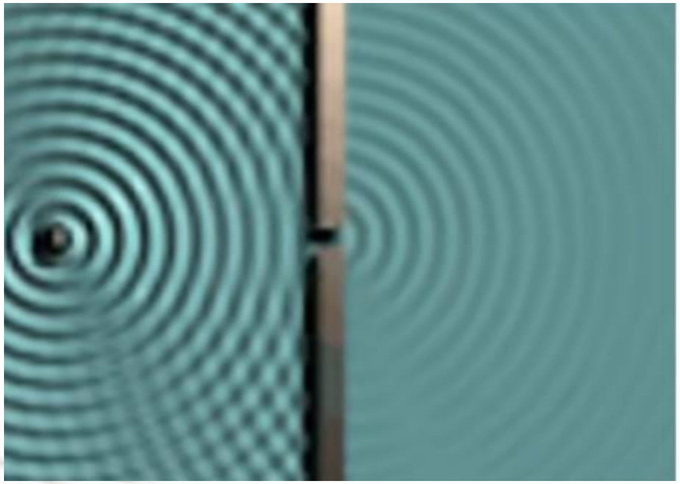


第12章 光的衍射

生活中衍射的例子

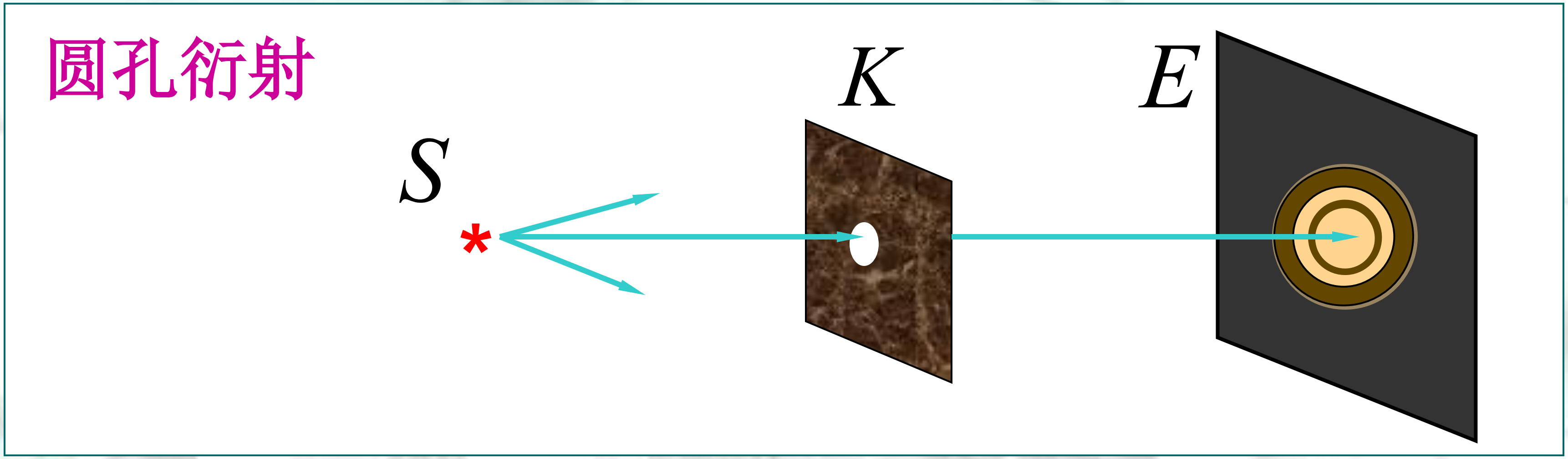




12. 1. 1 光的衍射现象及分类

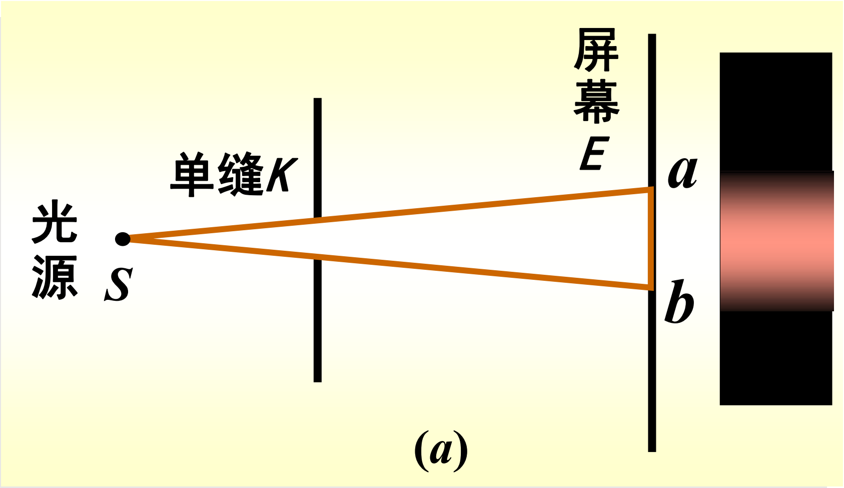
波在传播中遇到障碍物，使波面受到限制时，能够绕过障碍物继续前进的现象。

光不再是直线传播，而有光进入障碍物后的几何阴影区。光所到达的区域，其强度分布也不均匀。



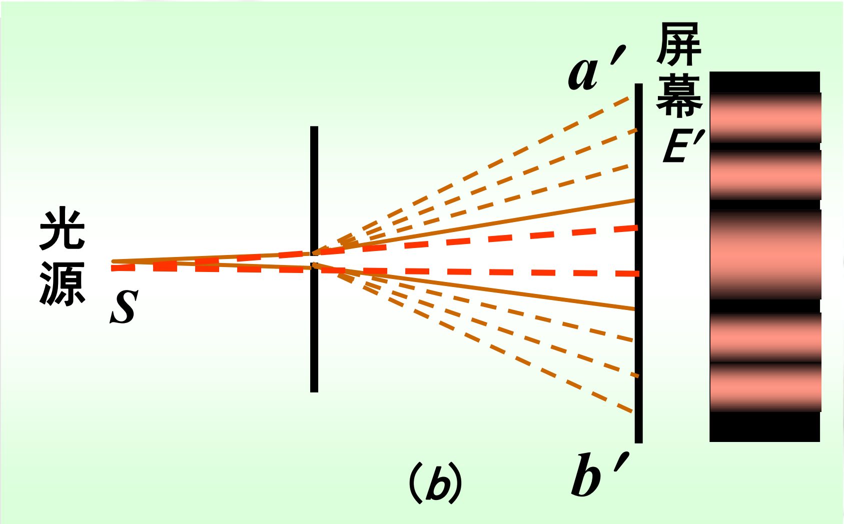
12.1.1 光的衍射现象及分类

实验发现，光通过宽缝时，是沿直线传播的，如图(*a*)所示。



(*a*)

若将缝的宽度减小到约10^{-4}m及更小时，缝后几何阴影区的光屏上将出现**明暗相间的条纹**，如图(*b*)所示，这就是**光的衍射**现象。



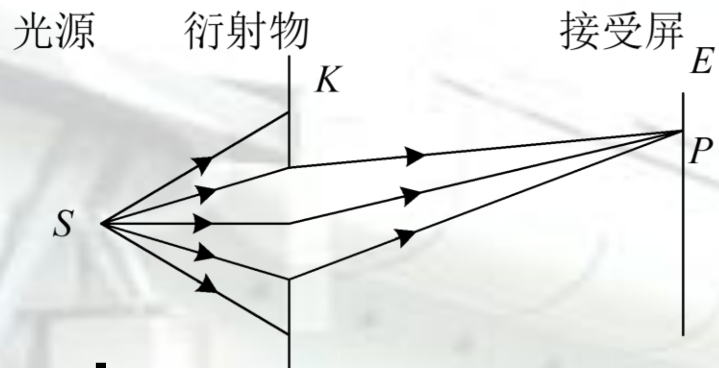
(*b*)

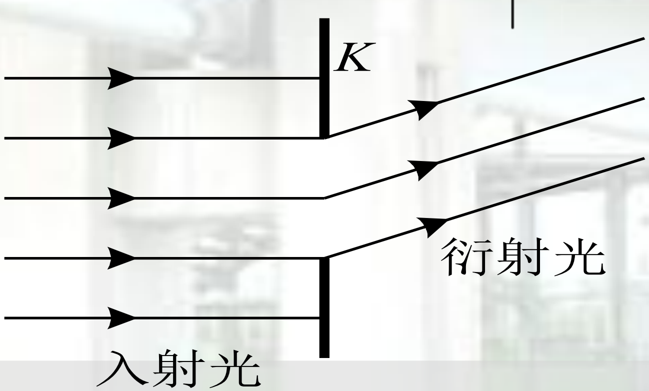
12.1.1 光的衍射现象及分类

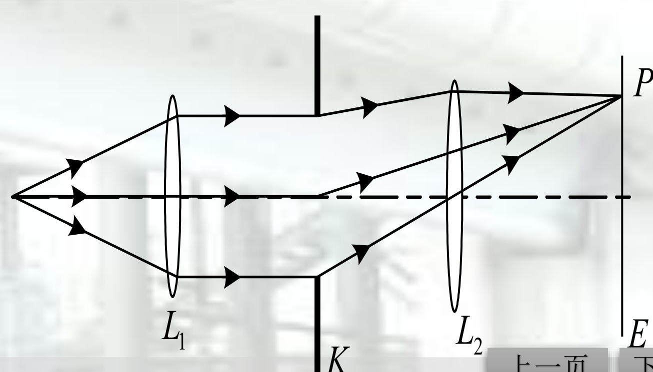
衍射系统是由光源、衍射屏（物）和接收屏组成。

(1) 光源、接收屏（或两者之一）与衍射物之间的距离有限远，称之为菲涅耳衍射（或近场衍射）。

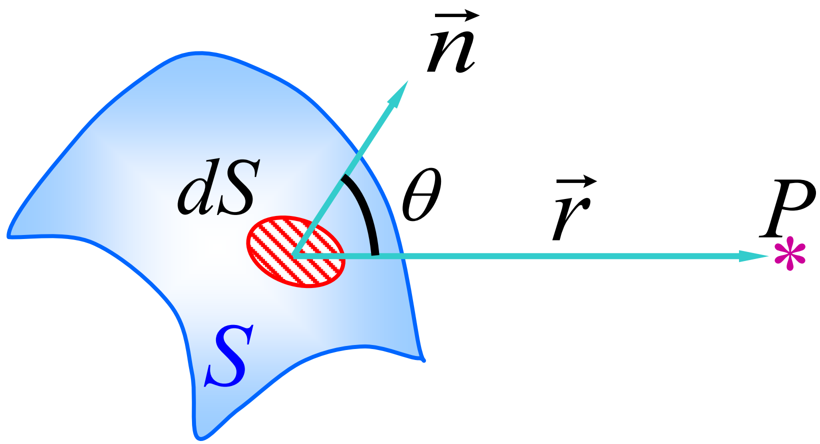
(2) 光源、接收屏与衍射物的距离都是无限远。这种衍射称为夫琅禾费衍射（或远场衍射）







12.1.2 惠更斯——菲涅耳原理



S：t时刻波阵面

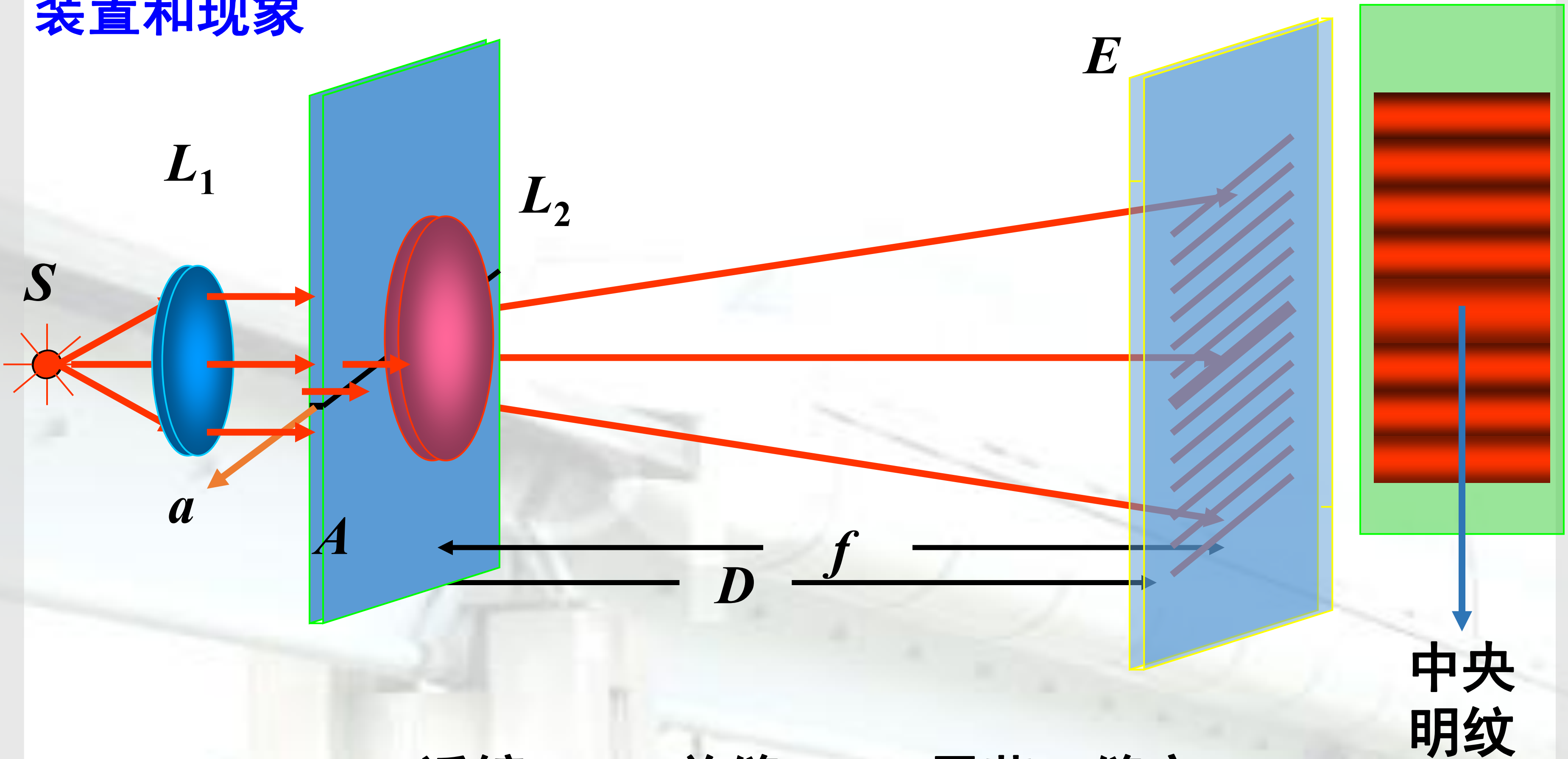
dS：波阵面上面元（子波波源）

惠更斯原理指出：波阵面上每一点都可看成发射子波的新波源。惠更斯原理可以定性解释衍射现象中光传播方向的问题。但不能解释出现的衍射条纹，及其光强分布。

惠更斯—菲涅耳原理：从同一波阵面上各点发出的子波，在传播过程中相遇时，能相互叠加产生干涉现象，空间各点波的强度，由各子波在该点的相干叠加所决定。

12.2 夫琅禾费单缝衍射

装置和现象



L_1、L_2透镜；A：单缝；E：屏幕；缝宽a；

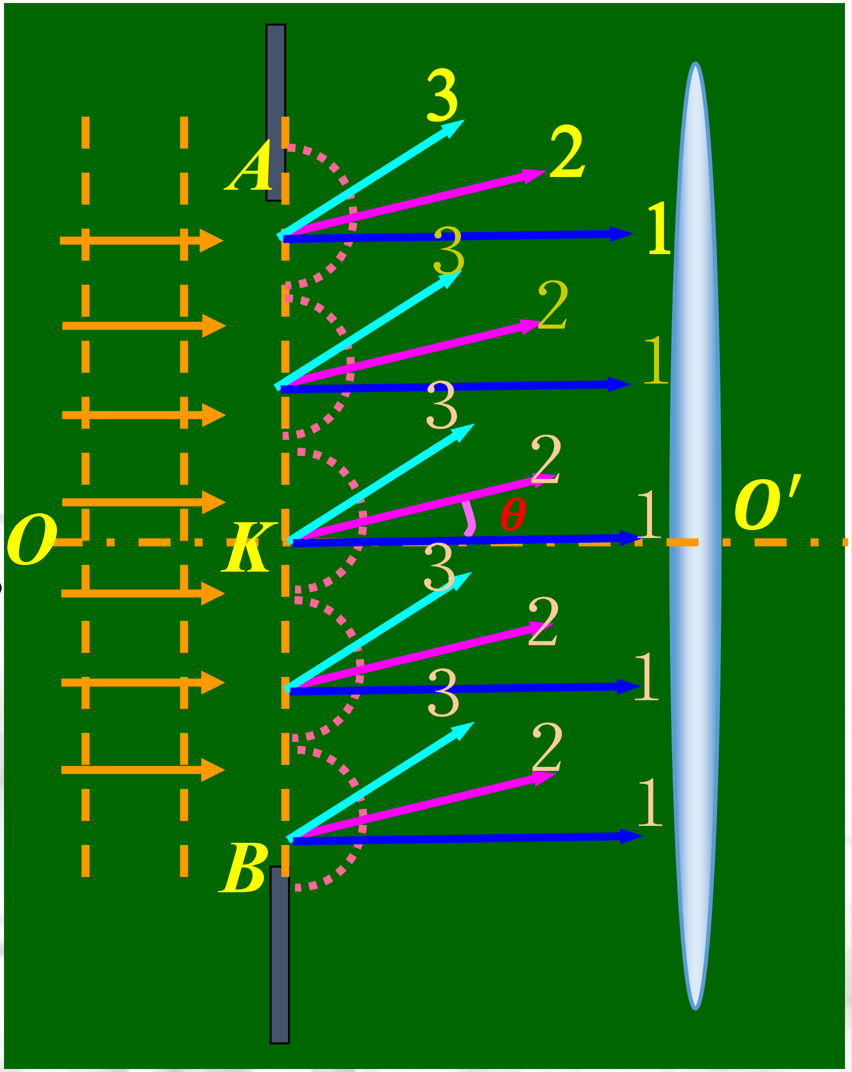
缝屏距D（L_2之焦距f）

12. 2 夫琅禾费单缝衍射

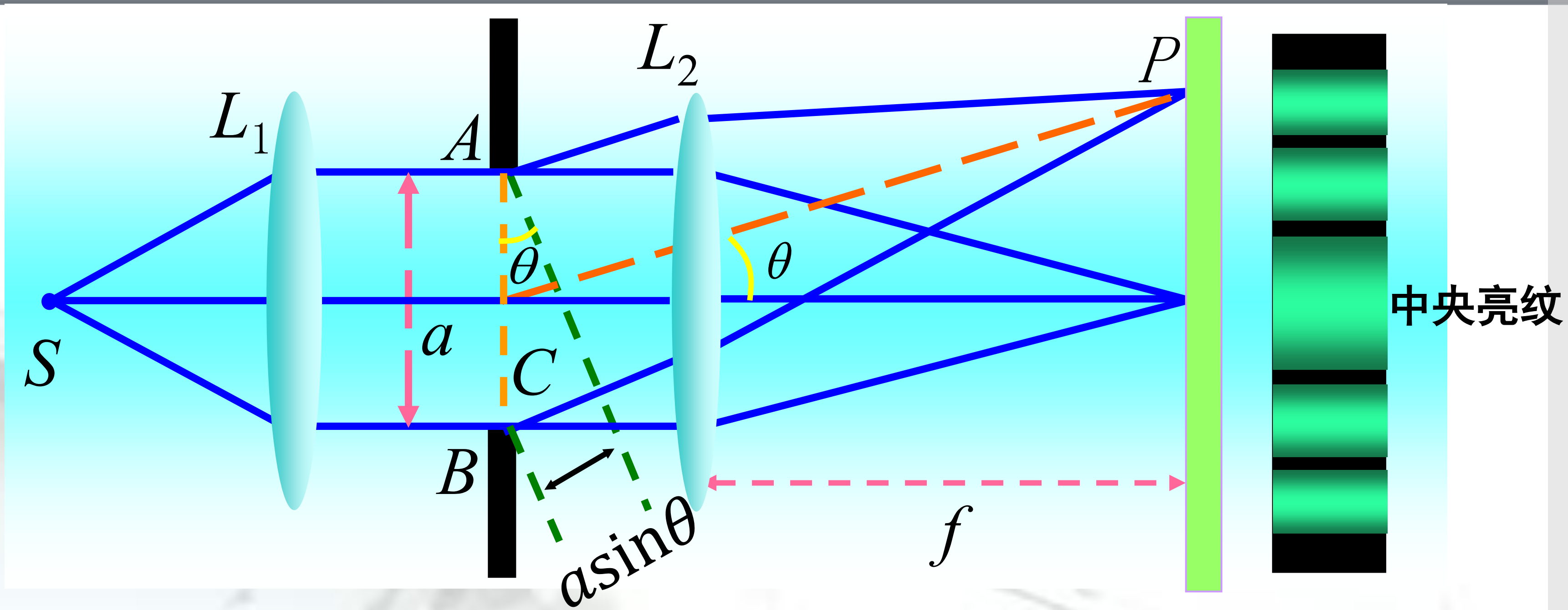
1 平行衍射光的获得

平行入射光垂直投射到缝*K*，其波前与缝平面*AB*重合。波前上每一点可看成发射球形子波的波源，每个子波源都可以向前方各方向发出无穷多束光线，统称为衍射光，如*A*点的1，2，3光线。

每个子波源发出的沿同一方向平行光构成一束平行衍射光，如光线系1，光线系2，构成无穷多束平行衍射光。衍射后沿某一方向传播的光线与平面衍射屏法线间的夹角$\theta \in [0,\pi/2]$为衍射角。



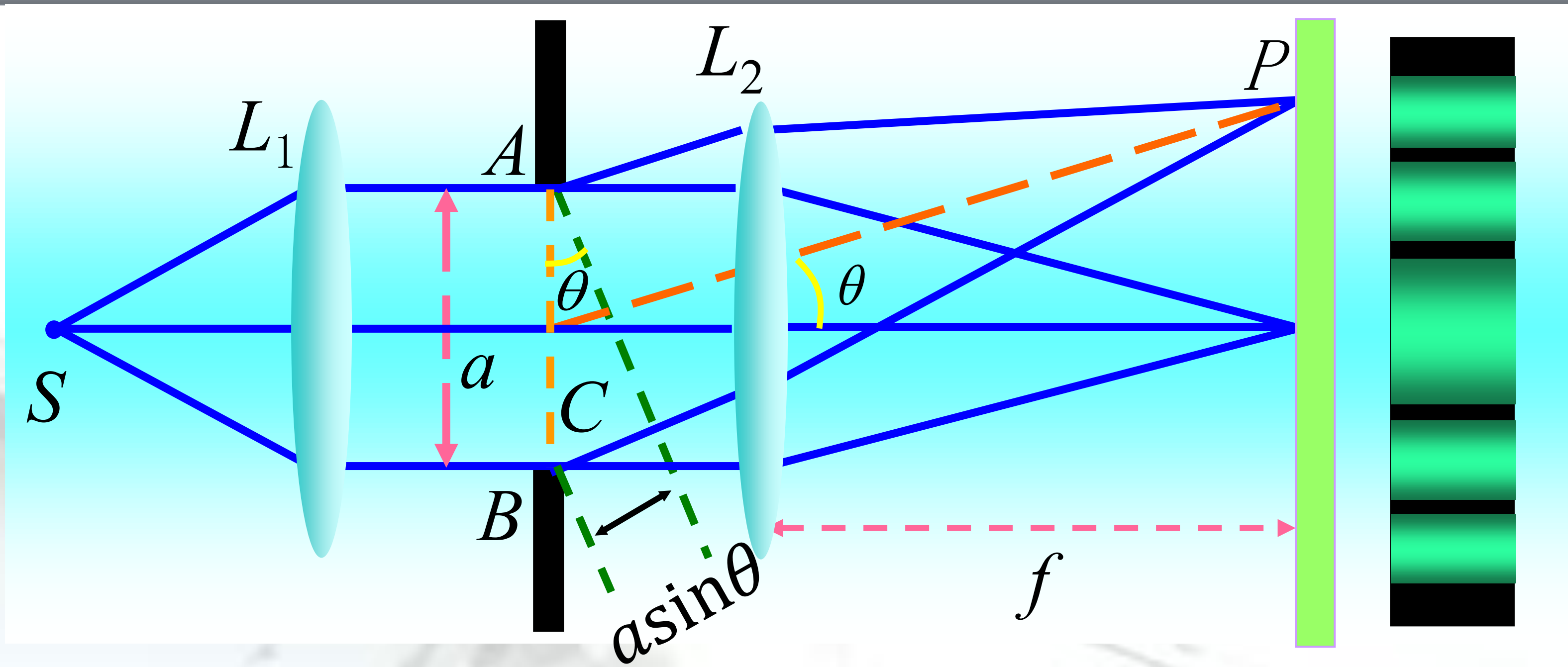
12.2 夫琅禾费单缝衍射



每一束平行光经透镜L_2汇聚后，聚焦于L_2焦平面上的一点。对同一束平行光而言，它们来自同一波前上的各个子波，因此满足相干条件。每一束平行光都在光屏上进行相干叠加，其相干叠加后的振幅，则由它们的光程差决定。对于$\theta = 0$这一束，其中每条光线的光程都相等，叠加结果相互加强，为中央亮纹。

上一页 下一页 返回目录

12.2 夫琅禾费单缝衍射

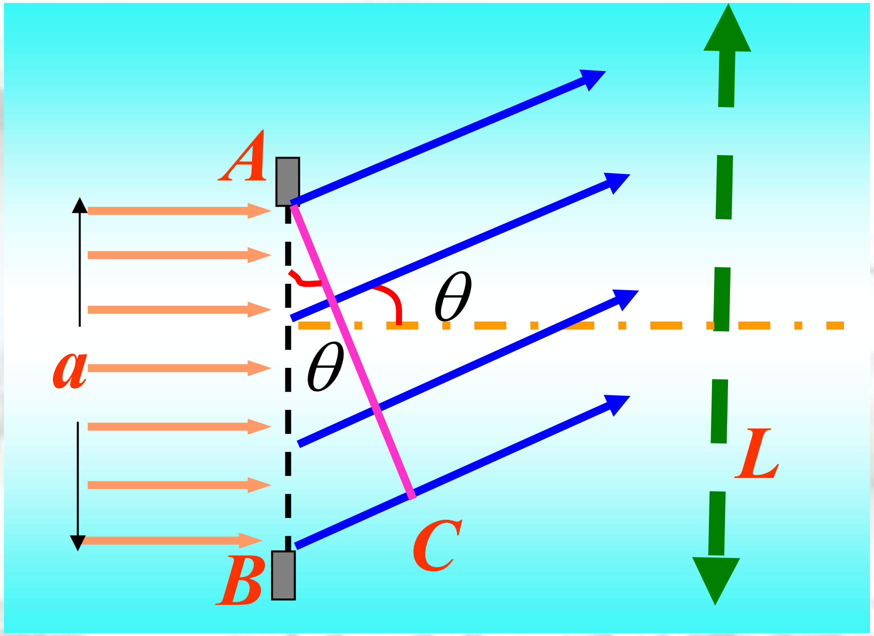


单峰两边缘$\boldsymbol{A}$和$\boldsymbol{B}$发出的光线沿$\boldsymbol{\theta}$方向到$\boldsymbol{P}$点的光程差最大，即为$\boldsymbol{\delta = BC = a\sin\theta}$，其它各衍射光的光程差连续变化，衍射角$\boldsymbol{\theta}$不同，最大光程差$\boldsymbol{BC}$也不同，$\boldsymbol{P}$点的位置也不同。由菲涅尔半波带法分析可知，屏幕上不同点强度分布，正取决于这最大光程差。

3 菲涅耳半波带法

① 衍射角为θ的一束平行衍射光的光程差

考虑一束平行衍射光，作$AC \perp BC$，则BC段即为这一束平行光的最大光程差$\delta = BC = a\sin\theta$。

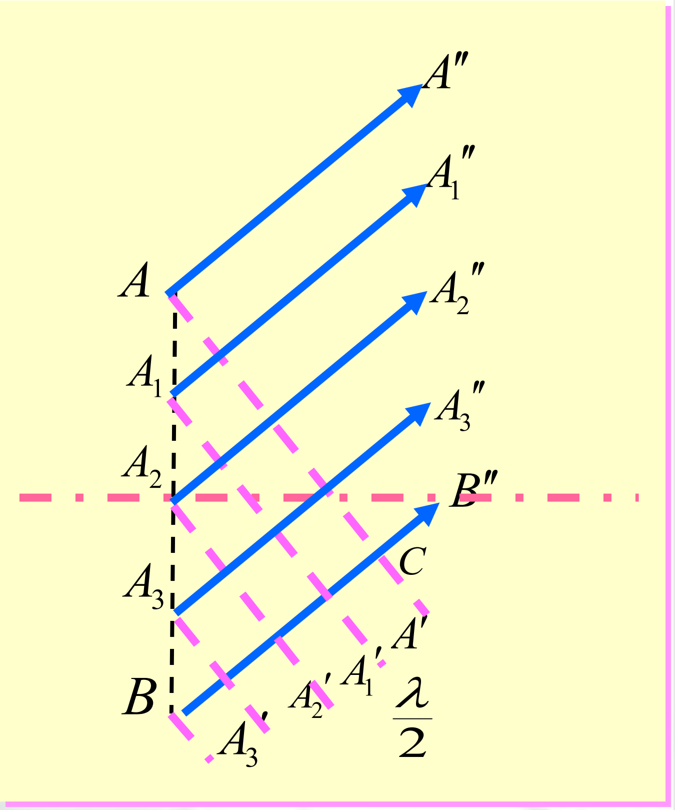


12.2 夫琅禾费单缝衍射

② 半波带方法：

按相距λ/2作平行于AC的平面A_1A_1'，A_2A_2'，…将光程差BC分割成n等分，同时这些平面也将波面AB分割成n等分AA_1，A_1A_2…，称之为波带。

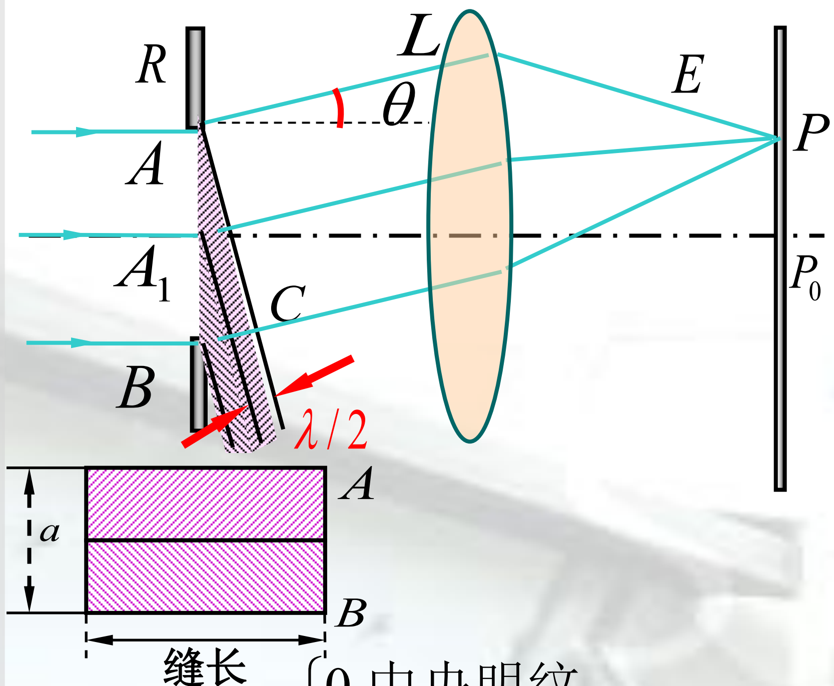
由于每相邻波带对应点如A、A_1、A_2…向θ方向发出的光波AA''，A_1A_1''，A_2A_2''…的光程差逐一相差半个波长，故称之为“半波带”。

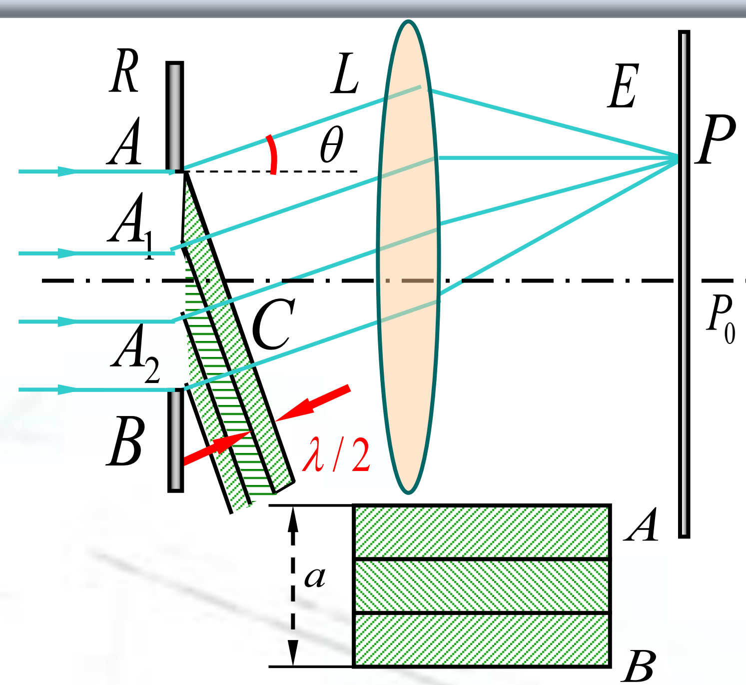


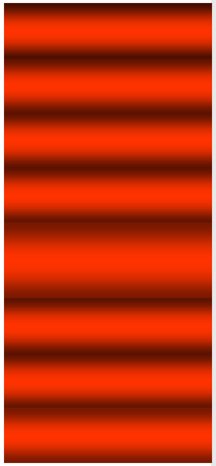
③ 用半波带方法解释衍射：两相邻波带的对应点（如边缘，中点）的相位差是π。

❖ 各半波带的面积相等，各波带上的子波源的数目也相等。所以相邻两带在观察屏上P点振动相互削弱，即为相消干涉。

12.2 夫琅禾费单缝衍射







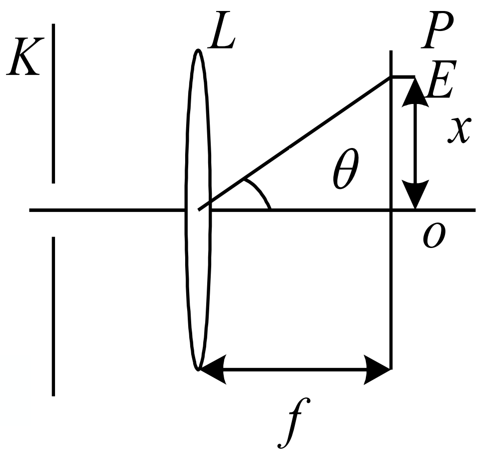
$$BC = a\sin\theta = \begin{cases} 0, \text{中央明纹} \\ (2k)\dfrac{\lambda}{2}, k=1,2,\ldots, \text{暗纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2}, k=0,1,\ldots, \text{其它明纹} \\ \text{不为}\dfrac{\lambda}{2}\text{的整数倍，介于明暗之间} \end{cases}$$

θ角越大，BC越长，半波带数目越多，每个半波带的面积减少（即每个半波带携带光的能量减少）。于是级数越高，明条纹亮度越低，最后模糊一片。

12.2 夫琅禾费单缝衍射

4 衍射条纹特征

（1）明纹与暗纹的位置



设透镜焦距为f，由透镜成像性质（经过透镜中心的光线不改变方向），则$x_k = f\tan\theta_k$，当θ_k很小时

$$x_k = f\tan\theta_k \approx f\sin\theta_k = \begin{cases} 0, & \text{中央明纹} \\ fk\dfrac{\lambda}{a},\ k=1,2,\ldots & \text{暗纹} \\ f(2k+1)\dfrac{\lambda}{2a},\ k=0,1,\ldots, & \text{其它明纹} \end{cases}$$

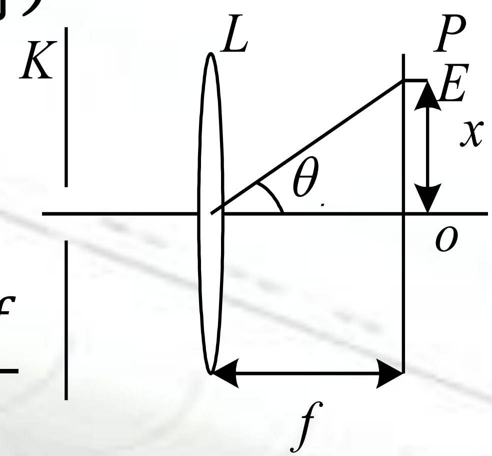
（2）明纹宽度

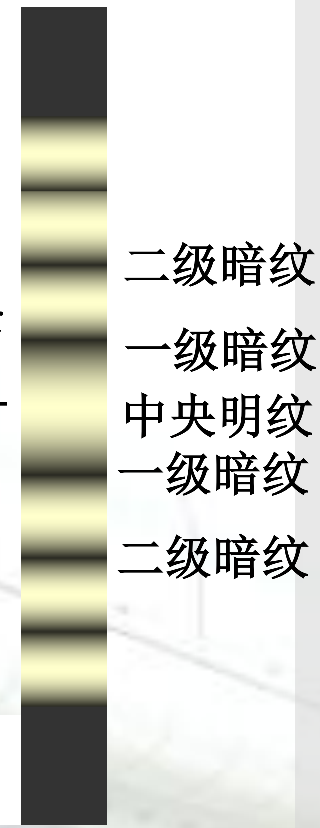
① 中央明纹宽度：

一级暗纹的角宽度为$\theta_1 = arcsin\frac{\lambda}{a}$,

中央明纹宽度（两个一级暗纹间距离）

$$l_0 = 2x_1 = 2ftan\theta_1$$





当θ_1很小时， $\theta_1 \approx \frac{\lambda}{a}$,

$$l_0 = 2ftan\theta_1 \approx 2fsin\theta_1 = \frac{2\lambda f}{a}$$

② 其它明纹宽度（相邻暗纹间距）：

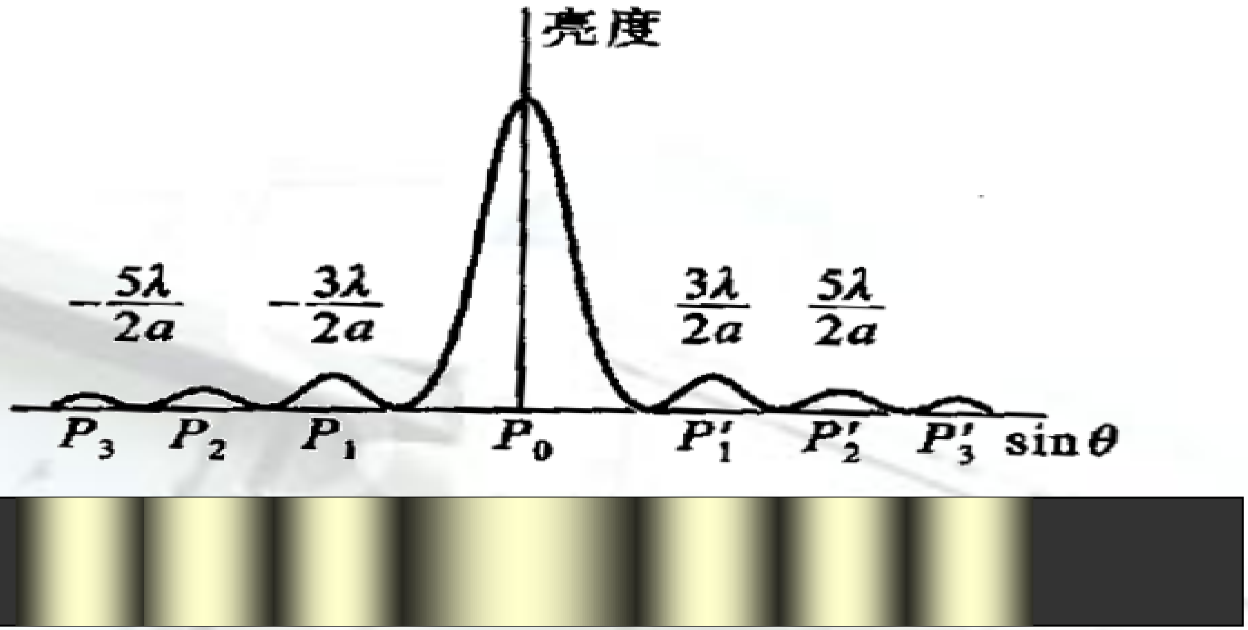
$$l = x_{k+1} - x_k = ftan\theta_{k+1} - ftan\theta_k$$

衍射角较小时$l \approx \frac{\lambda f}{a}$

中央明纹的宽度为其它级明纹宽度的2倍

上一页 下一页 返回目录

（3）单缝衍射明纹的光强分布



例 (1)在夫琅禾费单缝衍射中，用单色光垂直入射缝面，在焦距f=1.0m的透镜焦平面上观察衍射条纹，已知光的波长$\lambda=500nm$，第一级暗纹对应的衍射角$\theta_1=30^{\circ}$，问缝宽如何？中央明纹的宽度如何？对应该衍射角，单缝被分成多少个半波带？(2)如果所用单缝的宽度$a'=0.5mm$，，求中央明纹和其它各级明纹的宽度。

解 (1)第一级暗纹应有$asin\theta_1=\lambda$，得

$$缝宽a=\frac{\lambda}{sin\theta_1}=\frac{500nm}{sin30^{\circ}}=10^{-6}m$$

中央明纹宽度$l_0=2x_1=2ftan\theta_1=2\times1.0\times\frac{\sqrt{3}}{3}=1.155m$

单缝被分成半波带的数目为$\frac{asin\theta_1}{\lambda/2}=\frac{10^{-6}sin30^{\circ}}{500\times10^{-9}/2}=2$

(2) 由于

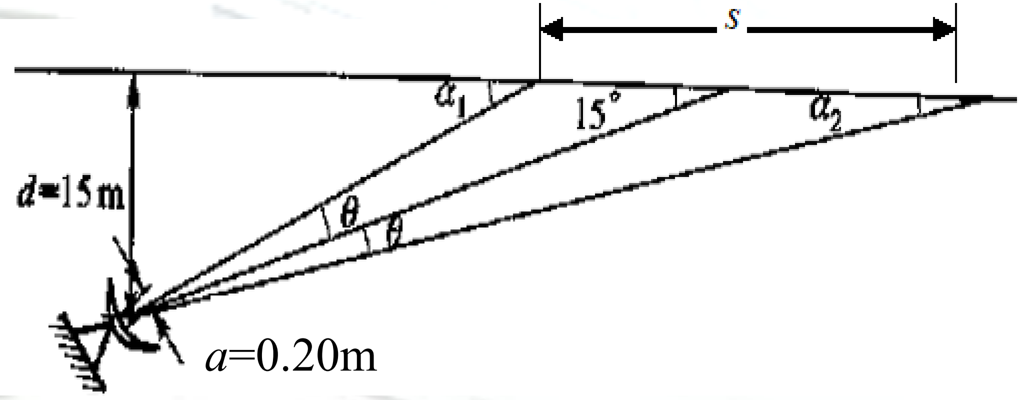
$$sin\theta_1 = \frac{\lambda}{a'} = \frac{500 \times 10^{-9}}{sin30^{\circ}} = 10^{-3}$$

所以中央明纹宽度为

$$l_0 = \frac{2\lambda f}{a'} = \frac{2 \times 500 \times 10^{-9} \times 1.0}{0.5 \times 10^{-3}} = 2 \times 10^{-3}(m)$$

其它各级明纹宽度$l = l_0/2 = 1 \times 10^{-3} m$

例 一监视雷达位于路边d=15m处，雷达波的波长为30mm，射束与公路成15°，天线宽度a=0.20m。试求雷达监视范围内公路长s



解 将雷达波束看成是单缝衍射的中央明纹，由

$$a\sin\theta = \lambda$$

$$\Rightarrow \sin\theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{30\times 10^{-3}}{0.2} = 0.15 \Rightarrow \theta \approx 8.63°$$

$$\alpha_1 = 15° + \theta = 23.63°,\quad \alpha_2 = 15° - \theta = 6.37°$$

$$s = d(\cot\alpha_2 - \cot\alpha_1) = 15(\cot 6.37° - \cot 23.63°) \approx 100(\text{m})$$

;

例 用波长为λ的单色光照射狭缝，得到单缝的夫琅禾费衍射图样，第3级暗纹位于屏上的P处，问：

(1) 若将狭缝宽度缩小一半，那么P处是明纹还是暗纹？

(2) 若用波长为1.5λ的单色光照射狭缝，P处是明纹还是暗纹？

解 利用半波带法直接求解，暗纹对应偶数$2k(k=1,2,\cdots)$倍半波带；中央明纹除外的明纹对应奇数$2k+1(k=1,2,\cdots)$倍半波带。屏上P处出现第3级暗纹，所以对于P位置，狭缝处的波面可划分为6个半波带。

(1) 缝宽减小到一半，对于P位置，狭缝处波面可分为3个半波带，则在P处出现第1级明纹。

(2) 改用波长为1.5λ的单色光照射，则狭缝处波面可划分的半波带数变为原来的1/1.5，对于P位置，半波带数变为4个，所以在P处将出现第2级暗纹。

例 波长λ＝600nm的单色光垂直入射到缝宽a＝0.2mm的单缝上，缝后用焦距f＝50cm的会聚透镜将衍射光会聚于屏幕上。求：(1)中央明条纹的角宽度、线宽度；(2)第1级明条纹的位置以及单缝处波面可分为几个半波带？(3)第1级明条纹宽度。

解 (1) 第1级暗条纹对应的衍射角θ_0为

$$\sin\theta_0 = \frac{\lambda}{a} = \frac{6\times10^{-7}}{2\times10^{-4}} = 3\times10^{-3}$$

因$sin\theta_0$很小，可知中央明条纹的角宽度为

$$2\theta_0 \approx 2\sin\theta_0 = 6\times10^{-3}\ rad$$

第1级暗条纹到中央明条纹中心O的距离为

$$x_1 = f\tan\theta_0 \approx f\theta_0 = 0.5\times3\times10^{-3} = 1.5\times10^{-3}\ m = 1.5\ mm$$

中央明条纹的线宽度为 $\Delta x_0 = 2x_1 = 2\times1.5 = 3\ mm$

下一页 返回目录

(2) 第1级明条纹对应的衍射角θ满足

$$\sin\theta=(2k+1)\frac{\lambda}{2a}=\frac{3\times6\times10^{-7}}{2\times2\times10^{-4}}=4.5\times10^{-3}$$

第1级明条纹中心到中央明条纹中心的距离为

$$x=f\tan\theta\approx f\sin\theta=0.5\times4.5\times10^{-3}=2.25\times10^{-3}\,m=2.25\,mm$$

对应于该θ值，单缝处波面可分的半波带数为$\dfrac{a\sin\theta}{\lambda/2}=2k+1=3$

(3) 设第2级暗条纹到中央明条纹中心O的距离为x_2，对应的衍射角为θ_2，故第1级明条纹的线宽度为

$$\Delta x=x_2-x_1=f\tan\theta_2-f\tan\theta_1\approx f(\frac{2\lambda}{a}-\frac{\lambda}{a})=\frac{\lambda}{a}f$$

$$=\frac{6\times10^{-7}\times0.5}{2\times10^{-4}}=1.5\times10^{-3}\,m=1.5\,mm$$

第1级明条纹的宽度约为中央明纹宽度的一半。