

# 两种波的衍射条件初探

谢黎忠

(培元中学 福建 泉州 362000)

(收稿日期:2017-12-14)

**摘要:**在“波的衍射”教学中,利用水波的衍射实验得到发生明显衍射的条件:只有缝、孔的宽度或障碍物的尺寸跟波长相差不多或者比波长更小时,才能观察到明显的衍射现象.而在“光的衍射”实验中用红光照射单缝时,在缝宽为 $0.1\text{ mm}$ 时就可以看到明显的衍射条纹,远大于红光的波长(约 $0.7\ \mu\text{m}$ ),并不满足机械波的衍射条件.本文利用惠更斯原理和菲涅耳半波带法定性的分析为什么会产生这两种差别.

**关键词:**惠更斯原理 惠更斯-菲涅耳原理 菲涅耳半波带法

在高中《物理·选修3-4》的教学中,学生学到光的衍射时提出,都是波的衍射,为什么光的衍射条件对缝宽的要求不像水波的衍射要求那么高,笔者通过衍射的原理,解释这两点差别.

## 1 机械波的衍射

**惠更斯原理:**介质中波传到的各点,都可看作重新形成一个子波源.在以后的任一时刻,这些子波面的包络面就是实际的波在该时刻的波前(波源最初振动状态传到最远的点连成的面).波面上的每一点都是一个次级球面波的子波源.

(1) 如果平面波传到大孔径时(图1),大孔上各点都可看作大量新的子波源,大量新的子波源的包络面形成的波还是一个平面波,继续向前传播,而边缘的子波源(球面波)传递过来的振动能量比较少,所以衍射现象不明显.如果是小孔径时(图2),小孔处形成一个次级球面波,波前就由原来的平面波变成球面波,于是就出现了波线偏离原波线传播方向的衍射现象.但由于能量的分散和衰减,实验观察时,在传递几十个波面后水面就基本平静下来.通过实验发现,当孔的尺寸远小于波长时(当孔的宽度为波长的三分之一),由于能量减弱,衍射现象不容易观察,因为振动的能量会在传播过程中转化为内能等其他形式的能量.

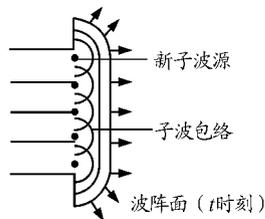


图1 平面波传到大孔径

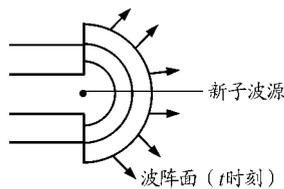


图2 平面波传到小孔径

(2) 波传到小障碍物处时(图3),两侧的波看作大量新的子波源,大量子波源的包络面还是一个平面波,继续向前传播,好像没有遇到障碍物一样.如果是大的障碍物(图4),在障碍物后会形成阴影区域(介质不动),但是经过较长的距离,两侧的子波源形成新的子波源会向阴影区域传递振动的形式和能量,不动的水面仍将会振动起来.

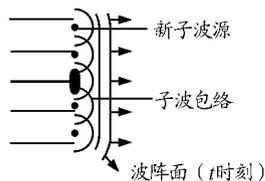


图3 波传到小障碍物



图4 波传到大障碍物

(3) 机械波的衍射现象是否明显还与波的种类、振动强弱、介质的材料、阻尼系数等很多方面有关,这里就不一一论述。

## 2 光波的衍射

惠更斯原理是比较粗糙的,虽然能解释机械波的衍射现象,但实际上光的衍射现象比机械波要细微得多,例如明暗相间的条纹出现表明各点的振幅大小不等,对此惠更斯原理就无能为力了.因此必须能够定量计算光所到达的空间范围内任何一点的振幅,才能更精确地解释衍射现象.菲涅耳对惠更斯原理作了补充——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。

一束平行单色光垂直入射在单缝  $AB$  上,波长为  $\lambda$ ,缝宽  $a$ ,在单缝后十分靠近的位置放置一个凸透镜,且到屏的距离刚好等于焦距  $f$ ,各子波源的光汇聚与光屏上任意点  $P$ ,如图5所示。

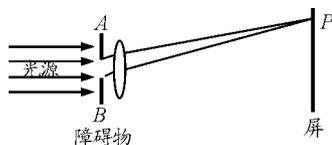


图5 平行单色光垂直入射在单缝上

如图6所示,把  $AB$  波面看成多个子波源。

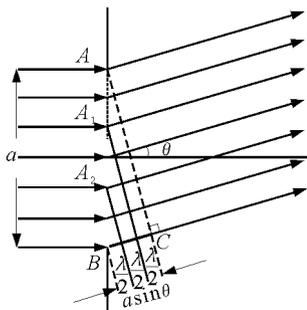


图6 菲涅耳半波带法

每个子波源到无限远光屏上某点  $P$  的射线(即  $BC$ )与入射方向的夹角  $\theta$  称为衍射角。 $AC$  垂直  $BC$ ,

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,得到  $AA_1, A_1A_2, A_2B$  波带.两相邻波带发出的光线到达  $P$  点的相位差为  $\pi$ ,光程差为  $\frac{\lambda}{2}$ .任何两个相邻波带所发出的光线在  $P$  点相互抵消.这就是“菲涅耳半波带法”.利用“半波带法”定性解释单缝衍射。

$A$  到  $P$  和  $B$  到  $P$  的光程差  $\delta = BC = a \sin \theta$ .当  $\theta = 0$  时,  $\delta = 0$ ,在屏正中央形成中央亮纹,光强、宽度最大,也称为0级亮纹.当  $BC$  是半波长的偶数倍,所有波带成对抵消, $P$  点形成暗条纹,即  $a \sin \theta = \pm k\lambda$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ).当  $BC$  是半波长的奇数倍,所有波带成对抵消后剩下一个波带, $P$  点形成亮条纹.即  $a \sin \theta = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ).若不能将单缝分成整数个“半波带”, $P$  点光强介于最明与最暗之间。

这是光屏上的各点光强随位置变化情况(图7)。

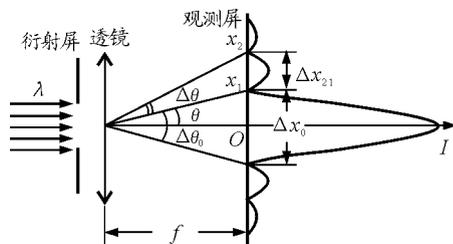


图7 观测屏上的光强分布

人类肉眼的分辨率为  $0.1 \text{ mm}$ ,干涉现象是否明显取决于中央亮条纹的宽度和两侧的第一级亮条纹的宽度(第一级暗纹和第二级暗纹的间距)是否大于  $0.1 \text{ mm}$ .中央亮条纹的角宽度为中央两侧第一级暗条纹之间的区域, $a \sin \theta = \pm \lambda$ ,因为  $\lambda$  远小于  $a$ ,所以  $\theta \approx \frac{\lambda}{a}$ ,中央亮条纹的角宽度为

$$\Delta\theta_0 = \frac{2\lambda}{a}$$

中央亮纹的线宽度

$$\Delta x_0 = 2f \sin \theta = \frac{2f\lambda}{a}$$

相邻两暗纹角宽度

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 \approx \frac{\lambda}{a}$$

(下转第121页)

# Brief Talking about the Application on Ancient Poetry in Physics Teaching

Feng Xiaoming Guo Wanqian

(Physics School of Physics & Telecommunication Engineering  
South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510006)

**Abstract:** With the development of The Times and the innovation of education, the traditional physics teaching mode has attracted more and more people's attention and made active exploration and innovation. It is one of the important research branches to strengthen the integration of different disciplines, and the introduction of ancient poetry in physics class is the hot topic. Some poetry contains the wisdom of the ancients in science exploration research, teacher as long as the proper interpretation, it can be associated with the physical, attract the attention of students and make the class more interesting. Because the poems are catchy and easy to read, they also help to deepen students' memory. How to apply poetry to physics teaching requires teachers to combine teaching materials, thinking and designing carefully.

**Key words:** ancient poetry; physics teaching; application

(上接第 114 页)

一级亮纹宽度

$$\Delta x_{21} = x_2 - x_1 = \frac{f \lambda}{a}$$

如果

$$\Delta x_{21} = 0.1 \text{ mm}$$

$$f = 20 \text{ cm}$$

$$\lambda = 7 \times 10^{-7} \text{ m}$$

则单缝的宽度

$$a = 0.14 \text{ mm}$$

也就是单缝的宽度小于 0.14 mm 就能看到明显的红光的衍射现象。

在高中教材上的演示实验是不加凸透镜的,得到的衍射图像和加透镜基本相同一样。这是因为:激光的平行度高,光线可以向各个方向前进,加不加凸透镜都可以成像。凸透镜的作用是方便理论计算,就像杨氏双缝实验,书上介绍的时候并没有凸透镜,但是双缝是最简单的光栅,是应该加凸透镜的。没有凸透镜,在计算条纹间距的时候就要用到多处近似,比如条纹相对于双缝中心的张角近似等于衍射角。但是有了凸透镜,就不是近似相等了,而是严格相等。其次凸透镜的作用是把很远的图像拉到近处。我们可以想象这种情形,将凸透镜的两个曲面的曲率半径慢慢变大,凸透镜的焦距将变大,这时凸透镜的后焦点(光屏)将慢慢远离透镜,当凸透镜的曲率半径增加到无穷大(远大于波长和缝宽),这时焦距也变

成了无穷大,凸透镜就变成了一个透明空气砖,这样衍射要在无穷远才能看见,而此时单缝离光屏(墙壁)很远,这个距离可看成是假想凸透镜的焦距,若  $f = 4 \text{ m}$ ,则暗纹间距  $\Delta x_{21} = 2 \text{ cm}$ ,可以直接用墙壁上的光斑进行教学。这在教学上也得到验证。

### 3 小结

机械波和光波在衍射出现的两种不同结果,究其根本还是产生机制和传播方式不同。机械波是介质中的质元在自身平衡位置的附近的一个振动,带动下一个质点向外传播。它是一种实物波,它的传播过程依赖于波源和介质。观察它的衍射时,对环境要求不高,但容易受到其他干扰。电磁波是因为交替变化的电场和磁场形成电磁场,向外传播,形成电磁波。它的传播过程不依赖介质,在传播过程中是传播电磁场信号,所以在观察它的衍射时,对环境要求较高,反而在光屏上更容易呈现。以上就是笔者对两种衍射的粗浅的看法,至于光的衍射的定量计算这边就不详细展开,请大家批评指正。

### 参考文献

- 1 漆安慎,杜婵英.普通物理学教程.北京:高等教育出版社,1996
- 2 姚启钧(原著).光学教程.北京:高等教育出版社,2001