# 第四章 5 光的衍射

## 问题？

我们知道，波能够绕过障碍物发生衍射。例如，声音能够绕过障碍物传播。

既然光也是一种波，为什么在日常生活中我们观察不到光的衍射，而且常常说“光沿直线传播”呢？



## 光的衍射

在挡板上安装一个宽度可调的狭缝，缝后放一个光屏。用单色平行光照射狭缝，我们看到，当缝比较宽时，光沿着直线通过狭缝，在屏上产生一条与缝宽相当的亮条纹。但是，当缝调到很窄时，尽管亮条纹的亮度有所降低，但是宽度反而增大了，而且还出现了明暗相间的条纹（图4.5–1）。

单色光

图 4.5–1 单缝衍射示意图

这表明，光没有沿直线传播，它绕过了缝的边缘，传播到了相当宽的地方。这就是光的衍射现象。图4.5–2是在一次实验中拍摄的屏上亮条纹的照片，上图的狭缝较窄，衍射后在屏上产生的中央亮条纹较宽。

图 4.5–2 单缝衍射产生的图样

红光 单缝宽 0.4 mm

红光 单缝宽 0.8 mm

如果用白光做上述实验，得到的条纹是彩色的（图4.5–3）。这是因为白光中包含了各种颜色的光，衍射时不同色光的亮条纹的位置不同，于是各种色光就区分开了。

图 4.5–3 白光的单缝衍射条纹

在单缝衍射和圆孔衍射的照片中，都有一些亮条纹和暗条纹。这是由于来自单缝或圆孔上不同位置的光，通过缝或孔之后叠加时加强或者削弱的结果。各种不同形状的障碍物都能使光发生衍射，致使影的轮廓模糊不清，出现明暗相间的条纹（图 4.5-4）。

图 4.5-4 光经过大头针尖时的衍射照片

对衍射现象的研究表明，光在没有障碍物的均匀介质中是沿直线传播的，在障碍物的尺寸比光的波长大得多的情况下，衍射现象不明显，也可以近似认为光是沿直线传播的。但是，在障碍物的尺寸可以跟光的波长相比，甚至比光的波长还小的时候，衍射现象十分明显，这时就不能说光沿直线传播了。

## 衍射光栅

单缝衍射的条纹比较宽，而且距离中央亮条纹较远的条纹，亮度也很低。因此，无论从测量的精确度，还是从可分辨的程度上说，单缝衍射都不能达到实用要求。

实验表明，如果增加狭缝的个数，衍射条纹的宽度将变窄，亮度将增加。光学仪器中用的衍射光栅就是据此制成的。它是由许多等宽的狭缝等距离地排列起来形成的光学元件。在一块很平的玻璃上刻出一系列等距的平行刻痕，刻痕产生漫反射而不太透光，未刻的部分相当于透光的狭缝，这样就做成了透射光栅（图 4.5–5）。如果在高反射率的金属上刻痕，就可以做成反射光栅。

图 4.5–5 透射光栅

## 科学漫步

**一、泊松亮斑趣事**

1818 年，法国的巴黎科学院为了鼓励对衍射问题的研究，悬赏征集这方面的论文。一位年轻的物理学家菲涅耳在论文中按照波动说深入研究了光的衍射。

当时的另一位法国科学家泊松是光的波动说的反对者，他按照菲涅耳的理论计算了光在圆盘后的影的问题，发现对于一定的波长、在适当的距离上，影的中心会出现一个亮斑！泊松认为这是荒谬可笑的，并认为这样就驳倒了光的波动说。

但是，就在竞赛的关键时刻，评委阿拉果在实验中观察到了这个亮斑（图 4.5–6），这样，泊松的计算反而支持了光的波动说。后人为了纪念这个有意义的事件，把这个亮斑称为泊松亮斑，也称为阿拉果亮斑。

图 4.5–6 泊松亮斑

**二、X 射线衍射与双螺旋**

晶体中原子的排列是规则的，原子间距与 X 射线波长接近。这使得 X 射线照射在晶体上会发生明显的衍射现象。衍射图样中斑点的强度和位置包含着有关晶体的大量信息。因此，人们可以利用 X 射线衍射探测晶体的结构（图 4.5–7）。

图 4.5–7 X 射线晶体衍射实验示意图

X 射线管

X 射线束

晶体

挡板

衍射图样

1912 年，德国科学家劳厄观测到了这种衍射现象。在当时人们并不确信 X 射线是一种电磁波，也不确信晶体是由周期性排列的原子组成的。劳厄的观测，同时证实了 X 射线的波动性和晶体内部的原子点阵结构，被爱因斯坦誉为物理学中最美的实验。劳厄因此获得了1914年诺贝尔物理学奖。之后，英国物理学家布拉格父子深入研究了利用 X 射线测量和分析晶体结构的方法。他们的工作奠定了这一技术的实验和理论基础，为此，布拉格父子共同获得了 1915 年诺贝尔物理学奖。

今天，X 射线衍射已经成为人们探测晶体和大分子结构的标准技术手段之一，被广泛应用于物理学和生物学等许多领域。这一技术所带来的最重要成果之一，就是 DNA 双螺旋结构的发现。

在 20 世纪 50 年代，生物学家已经知道 DNA 是细胞中携带遗传信息的物质，下一步就是要搞清楚 DNA 的结构，从而确定它的化学作用。从 1951 年开始，英国物理学家威尔金斯和富兰克林研究了 DNA 对 X 射线的衍射，获得了一系列 DNA 纤维的X 射线衍射图样（图 4.5–8）。英国卡文迪什实验室（主任为小布拉格）的美国生物学家沃森和英国生物学家克里克则根据这些数据提出了 DNA 的双螺旋结构模型。这是生物学史上划时代的事件。它宣告了分子生物学的诞生，标志着生物学已经进入了分子水平。沃森、克里克和威尔金斯因此获得了 1962 年的诺贝尔生理学或医学奖。

图 4.5–8 富兰克林使用 X 射线拍摄的 DNA 晶体

## 练习与应用

本节共 4 道习题。第 1 题学生需要结合自己所观察到的实验现象和学习到的光的衍射的基本知识来解释这种现象的原因；第 2 题需要学生结合实验现象以及衍射知识来明确条纹宽度的变化情况，学生可以从实验中进一步体会出衍射条纹宽度与缝宽之间的关系；第 3 题利用光的直线传播、小孔成像及光的衍射知识来解释不同条件下观察到的现象；第 4 题充分发挥学生应用知识的迁移能力，引导学生基于知识进行合理推断。

1．用两支铅笔夹成一条狭缝，将眼睛紧贴着狭缝且让狭缝与日光灯管或其他线状光源平行，你会观察到怎样的现象？试解释这个现象。

**参考解答**：会观察到明暗相间的彩色条纹，因为当两支铅笔夹成的狭缝与光波波长接近时，会发生光的衍射现象。

2．在挡板上安装一个宽度可以调节的狭缝，缝后放一个光屏。用平行单色光照射狭缝，当缝的宽度较小时，我们会从光屏上看到衍射条纹。此时，如果进一步调小狭缝的宽度，所看到的衍射条纹有什么变化？做这个实验，看你的判断是否正确。

也可以用游标卡尺两个卡脚之间的缝隙做单缝，用眼睛通过这个单缝观察线状光源。

**参考解答**：衍射条纹中亮条纹的亮度有所降低，但宽度增大。

3．太阳光照射一块遮光板，遮光板上有一个大的三角形孔，太阳光透过这个孔，在光屏上形成一个三角形光斑。请说明：遮光板上三角形孔的尺寸不断减小时，光屏上的图形将怎样变化？请你说明其中的道理。

**参考解答**：起初小孔较大时，光沿直线传播，此时光斑为三角形，三角形光斑随小孔尺寸减小而减小。当小孔减小到一定程度时，光斑变成圆形。当小孔足够小时，发生衍射现象，而且小孔越小衍射效果越明显，此时光斑随小孔尺寸减小而增大。

4．可见光的波长是微米数量级的，人眼的瞳孔的直径是毫米数量级的。假想有一种眼睛的瞳孔是微米数量级的，视网膜非常灵敏，能感觉非常微弱的光线，这时所看到的外部世界将是一幅什么景象？

**参考解答**：由于微米波段的可见光通过微米数量级瞳孔时衍射较强，所有的光源都会变得模糊不清，也就无法成清晰的像，外部世界的景象大概是模糊一片。

# 第 5 节 光的衍射 教学建议

## 1．教学目标

（1）了解光的衍射概念及产生明显衍射现象的条件。

（2）知道衍射、衍射光栅在生产生活以及科学技术中的应用，了解科学、技术和社会的关系。

（3）通过光的衍射的学习，对光的直线传播现象提出质疑，会从不同角度思考物理问题。

## 2．教材分析与教学建议

光的衍射现象进一步证明了光具有波动性，对发展光的波动理论起了重要的作用。

教材讲述光的衍射的思路是：首先提出问题，让学生思考一般情况下不容易观察到光的衍射现象的原因；然后再观察衍射实验，说明光的衍射现象及发生衍射的条件。由于衍射现象产生的物理过程分析起来比较复杂，教材只进行了定性分析。

在分析产生明显衍射现象条件的教学中，教师可以通过复习机械波衍射的知识，使学生认识光发生明显衍射现象的条件：障碍物或孔的尺寸比波长小，或者跟波长差不多。在这里，教师可以安排一个讨论环节，先让学生体会“明显”“差不多”的含义，再指明由于光的波长很短，要产生明显的衍射现象，障碍物或小孔必须很小。

做好光的衍射现象实验在本节课的教学中至关重要，它是学生认识光的衍射的基础。没有条件的学校，应尽量通过录像将这些现象展示给学生，引发学生的思考。

### （1）问题引入

衍射与干涉一样，都是波的特性，但为什么我们在日常生活中看不到光的衍射现象呢？教材将这个问题放在本节的开头，一方面可以使学生对已有观点提出质疑，激发探究的兴趣，另一方面也引出了产生明显衍射现象的条件。教学中，教师可以先创设问题情境，跟学生一起交流。为了教学的完整性，我们在得出产生明显衍射现象的条件后，还要引导学生讨论解释上述问题。

### （2）光的衍射

由于衍射现象不易产生，本实验可以用激光作为光源，为了使现象更明显，我们可以将衍射图样投射到教室的白色墙壁上。实验时可让缝的宽度较大，然后使缝宽逐渐变小。提醒学生注意观察墙壁上的光斑的变化，当缝宽比较大时，光斑的边缘清晰，显示出光沿直线传播。当缝宽逐渐变小时，光斑的边缘逐渐变得不清晰了，光斑宽度也越来越大，衍射现象逐渐变得明显起来，直至出现明暗相间的衍射条纹。

物理教学要让学生知道物理研究是一项富有创造性的工作，其成果具有相对持久性、普适性，同时也具有局限性。在学生的前认知中，光是沿直线传播的，通过本节课的教学，要让学生理解，当波长比障碍物或孔的尺寸小得多时光可以看成沿直线传播，当障碍物或孔的尺寸与波长差不多，或者比波长小时就会发生明显的衍射现象。教师在教学中突出说明光的衍射现象并不是要否定光的直线传播，而是指出了光的直线传播的适用范围。

在教学中，还要让学生注意区别衍射图样与干涉图样。教师可以展示衍射图样与干涉图样，让学生讨论交流，得出：衍射条纹宽度不等，中央的亮条纹最宽，各亮条纹的亮度不同，中央亮条纹最亮，两侧亮条纹的亮度依次减弱；干涉条纹的宽度相等，且各条亮条纹亮度基本相同。

教材图 4.5–4 是光经过大头针尖时的衍射照片，一般的学校很难拍摄，建议用照片或录像进行展示。

**教学片段**

**光的衍射**

教师：我们知道光具有波动性，那么光在传播过程中也应该有衍射现象，大家讨论一下，我们平时生活中有没有见过光的衍射现象呢？能举例说明吗？

（学生讨论后，一致认为，光除了直线传播外，还应有衍射现象，但无法举出实例。）

教师：我们一起回顾一下以前学过的机械波的衍射现象，机械波发生明显衍射现象的条件是什么？

（学生交流讨论：机械波发生明显衍射现象的条件是障碍物或孔的尺寸比波长小或者跟波长相差不多。）

教师：大家思考一下，为什么平时我们不易观察到光的衍射现象呢？

学生 1：是不是不具备光发生明显衍射现象的条件？

学生 2：是不是因为光的波长很短，而平常我们遇到的障碍物或孔的尺寸比较大，所以不易观察到光的衍射现象？

教师：大家说得很有道理，我们一起来想想如何解决这一问题。

（学生讨论，设计实验方案，主要是设计能够发生明显衍射现象的实验方案，教师加以肯定和鼓励。）

教师演示实验：

在挡板上装有一个宽度可以调节的单缝，用氦氖激光器照射单缝，让光束投射到缝后适当距离的墙壁上。

从大到小调节单缝宽度，逐步进行演示，观察光的衍射现象。

### （3）衍射光栅

光栅的衍射是衍射现象在科学技术上的重要应用，但在实际中，学生对光栅并不了解，在教学中，我们可以播放光栅在科学技术上的应用视频，让学生对光栅有一定的了解，同时也可以激发学生探求科学的欲望。例如，利用光栅衍射条纹的特点，能够比较精确地测量光波的波长以及产生均匀分布的光谱。X 射线衍射光栅元件在 X 射线天文望远镜、极端远紫外光刻和实验力学等诸多领域有着广泛而重要的应用。

光通过衍射光栅产生的亮条纹随着光栅缝数的增加而变窄和变亮的特点是从实验现象中得出的，不要求从理论上加以分析，光栅的衍射图样是每个缝自身衍射和各个缝之问干涉的共同结果。当入射光中有各种波长的色光时，它们将分别在不同的方向上形成自己的亮斑，这就是光栅形成的光谱。光栅的这些特点使它成为科学实验和高新技术中常用的一种重要的光学元件。

本节后面的“科学漫步”栏目中有两个内容：“泊松亮斑趣事”和“X 射线衍射与双螺旋”。教师应重视这些素材，它们是培养学生科学态度与社会责任的重要途径。通过对泊松亮斑的讲述，让学生体会在科学研究上必须重视理论的指导作用和实践的检验作用。作为科学工作者，必须有坚定的自信心和踏实勤奋的工作态度。通过对 X 射线衍射与双螺旋的学习，让学生理解科学、技术和社会的关系。

**教学片段**

**泊松亮斑**

教师：关于光的衍射现象的研究，历史上有过一个泊松亮斑的故事，请各位同学阅读教材“科学漫步”栏目中的“泊松亮斑趣事”。

教师：大家想不想看看这个亮班？

教师演示：

用被磁化的钢针吸引一粒小钢珠，悬挂起来，使激光束与钢珠球心在同一直线上，就能在白色墙壁上观察到钢珠影子中的亮斑，即泊松亮斑。

教师：著名数学家泊松是波动学说的反对者，他根据菲涅耳提出的波动理论进行数学推算，得出圆盘后的影的中心应该有一个亮斑。泊松认为这是荒谬可笑的，想借此驳倒菲涅耳的波动理论。阿拉果通过实验，发现圆盘后的影的中心确有一个亮斑。这样，实验反而支持了光的波动理论。大家从这个故事得到什么启发？

学生 1：实验在物理研究中起着重要作用。

学生 2：对别人的质疑要冷静面对，不要轻易放弃自己的立场或观点。

学生 3：科学研究要有实事求是的精神。

（若学生的回答很全面，教师要及时肯定和鼓励。）

## 3．“练习与应用”参考答案与提示

本节共 4 道习题。第 1 题学生需要结合自己所观察到的实验现象和学习到的光的衍射的基本知识来解释这种现象的原因；第 2 题需要学生结合实验现象以及衍射知识来明确条纹宽度的变化情况，学生可以从实验中进一步体会出衍射条纹宽度与缝宽之间的关系；第 3 题利用光的直线传播、小孔成像及光的衍射知识来解释不同条件下观察到的现象；第 4 题充分发挥学生应用知识的迁移能力，引导学生基于知识进行合理推断。

1．会观察到明暗相间的彩色条纹，因为当两支铅笔夹成的狭缝与光波波长接近时，会发生光的衍射现象。

2．衍射条纹中亮条纹的亮度有所降低，但宽度增大。

3．起初小孔较大时，光沿直线传播，此时光斑为三角形，三角形光斑随小孔尺寸减小而减小。当小孔减小到一定程度时，光斑变成圆形。当小孔足够小时，发生衍射现象，而且小孔越小衍射效果越明显，此时光斑随小孔尺寸减小而增大。

4．由于微米波段的可见光通过微米数量级瞳孔时衍射较强，所有的光源都会变得模糊不清，也就无法成清晰的像，外部世界的景象大概是模糊一片。