

# 促进光学课堂教学的三类例题探讨

熊学辉, 朱春莲

江汉大学光电材料与技术学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年11月15日; 录用日期: 2022年12月13日; 发布日期: 2022年12月20日

## 摘要

课堂教学中, 如何让学生易于接受新知识点, 且能迁移应用是值得探讨的问题。本文结合光学课程中光栅衍射相关内容, 分析探讨了可以促进课堂教学效果的三类例题, 即: 巩固知识点和迁移应用型的常规例题、揭示物理规律或抽象物理概念的例题、开启后续教学内容的例题。教学实践表明, 精选例题、精讲例题有助于提高课堂效率, 帮助学生消理解并掌握新知识, 增强学生迁移引用新知识的能力。

## 关键词

课堂教学, 光学, 例题分析

# Discussion on Three Kinds of Examples to Promote Optical Classroom Teaching

Xuehui Xiong, Chunlian Zhu

School of Optoelectronic Materials and Technology, Jiangnan University, Wuhan Hubei

Received: Nov. 15<sup>th</sup>, 2022; accepted: Dec. 13<sup>th</sup>, 2022; published: Dec. 20<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

In classroom teaching, how to make students accept new knowledge easily and transfer it is worth discussing. In combination with the relevant contents of grating diffraction in the optical course, this paper analyzes and discusses three types of examples that can promote the effect of classroom teaching, namely, the regular examples that consolidate knowledge points and transfer applications, the examples that reveal physical laws or abstract physical concepts, and the examples that open up follow-up teaching contents. Teaching practice shows that selecting and elaborating examples can help improve classroom efficiency, help students digest and understand new knowledge, and enhance their ability to transfer and quote new knowledge.

## Keywords

### Classroom Teaching, Optics Course, Example Explanation

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

课堂教学中的新知识点, 对于学生来说, 会有些陌生, 有些抽象, 有些生硬。如何让学生易于接受这些新知识点, 且能迁移应用是课堂教学中值得探讨的问题。为此, 本文以光学课堂教学为例, 探讨和展示了通过精选例题, 精讲例题等手段, 促进课堂教学, 以帮助学生消理解并掌握新知识, 增强学生迁移引用新知识的能力。具体分析探讨了三类例题, 即: 巩固知识点和迁移应用型的常规例题; 揭示物理规律或抽象物理概念的例题; 开启后续教学内容的例题。

## 2. 巩固知识点和迁移应用型的常规例题

衍射光栅是一种空间周期性的衍射屏, 具有分光特性, 形成光谱, 在现代工业和科学研究方面已得到极其广泛的应用[1] [2] [3] [4]。光栅夫琅禾费衍射学习, 主要学习光栅的主要特征和掌握光栅衍射条纹分布规律。例题 1 (参见教材 3 习题) 可以作为光栅衍射条纹特性分析这个知识点的常规例题。主要是通过具体的实例来巩固倾斜入射时的光栅方程和条纹缺级现象。涉及的知识点的详细描述参见教材[1] [2] [3] [4]。

例 1:  $\lambda = 600 \text{ nm}$  的平行光斜入射到光栅上, 入射角  $i = 45^\circ$ , 光栅缝宽  $a = 1.2 \text{ um}$ , 相邻缝间不透光部分的宽度  $b = 2.4 \text{ um}$ , 最多能观察到的条纹数?

由题意可知光栅周期  $d = a + b$ , 与垂直入射的光栅方程的差异在于, 除了沿  $\theta$  衍射角出射的平行光的光程差外, 平行光入射到平面光栅时, 光栅相邻周期的狭缝已经具有光程差  $d \sin i$ , 若衍射方向与入射方向在光栅平面法线的同侧, 总光程差是两者相加,  $\Delta = d \sin i + d \sin \theta$ 。若衍射方向与入射方向在光栅平面法线的异侧, 则总光程差是两者相减  $\Delta = d \sin i - d \sin \theta$ 。主极大条纹满足光栅方程:

$$(a+b)(\sin i + \sin \theta) = k\lambda \quad (1)$$

当  $\theta = 90^\circ$ ,  $k_{\max} = 10.2$ , 光程差最大, 对应级次最高, 取整数得 10 级; 当  $\theta = -90^\circ$ ,  $k_{\min} = -1.8$ , 光程差最小, 对应级次最低, 取整数得 -1 级, 在 -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 中还要进一步判断是否有缺级现象。

尽管是倾斜入射, 也不会改变缺级的条件, 因为单缝的衍射暗纹光程差条件也变为:

$$a(\sin i + \sin \theta) = k'\lambda \quad (2)$$

所以缺级条件仍然是:

$$(a+b)/a = k/k' \quad (3)$$

和平行光垂直入射的缺级条件一样。

在本例中为  $(1.2+2.4)\text{um}/1.2\text{um} = 3$ , 即主极大级次为 3 的整数倍时, 会缺级。最终最多能看到的条纹为 -1, 0, 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10 共 9 级。

通过以上分析, 可以让学生知道决定衍射条纹分布的是单缝衍射的光程差及多缝干涉缝间光程差。

问题再发散一下, 倾斜入射不影响缺级现象, 那么光栅作为分光元件, 0 级主极大条纹在什么方向, 有色散能力吗? 这些问题可以让学生再一次体会主极大是由光栅方程决定的, 他们会发现零级移动了, 光程差为 0 的衍射角  $\theta = -i$  方向上, 即沿着入射角的方向是衍射零级条纹, 也会发现光栅方程式(1)左边等于 0, 各种波长的光的零级都仍然重合, 仍然没有色散能力。

那么和垂直入射相比, 衍射条纹到底有什么不同呢?

复色平行光垂直入射时条纹是对称分布在零级(白色亮线)两侧, 而倾斜入射时零级两侧不对称了。在做光栅衍射实验时这个特性是检测光路调节是否成功的主要标志[5] [6]。

通过本例题具体的讲解和计算结果, 一方面巩固了对应的知识点, 也可以让学生对光栅使用时可能出现的一些现象有正确的认识, 有一点理论基础可以指导后续实验课的光路调节。

这一类例题都有具体的场景, 具体的数字, 通过例题来具体化知识点, 可以帮助学生消理解新知识点直至能够应用。

### 3. 揭示物理规律或抽象物理概念的例题

光栅夫琅禾费衍射强度公式是光学课程教学的重点, 可以使用物理图像清晰的复振幅矢量叠加法, 也可使用纯粹的积分法推导得到[7]。尽管该强度公式是从平行光垂直入射到光栅推导的, 但是公式推导过程中体现的物理思想和最终的强度公式都说明了周期结构衍射的物理规律具有普适性。教材[1] [2] [3] [4]主要利用该公式说明光栅的夫琅禾费衍射条纹特性, 课堂上也应该强调这个公式更一般的物理规律, 对于任何周期性重复某种衍射单元形成多光束干涉的情形, 都满足上述光强分布式的含义, 即总的相对光强分布等于每一个衍射单元的衍射强度因子乘以多光束干涉强度因子。这样抽象的规律可以通过具体例题启发学生举一反三, 引导学生思考, 抓住问题的本质。

光栅强度公式为

$$I_p = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right)}{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2} \cdot \frac{\sin^2 N\left(\frac{\delta'}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\delta'}{2}\right)} \quad (4)$$

其中  $\delta$  为单缝沿  $\theta$  衍射角出射的平行光的相位差,  $\delta'$  为相邻缝间沿  $\theta$  衍射角出射的平行光的相位差。

通过如下所选的例题 2 (参见教材 1 习题)的分析和讲解可以帮助学生领悟周期性结构衍射光强分布公式的内涵, 以及周期结构衍射的物理规律具有普适性。

例 2: 有  $2N$  条平行狭缝, 缝宽都是  $a$ , 缝间不透光部分的宽度做周期性变化:  $a, 3a, a, 3a, \dots$ (如图 1 所示), 单色平行光正入射多缝上, 求下列各种情形中的夫琅禾费衍射光强分布: 1) 遮住偶数缝; 2) 遮住奇数缝; 3) 全开放。

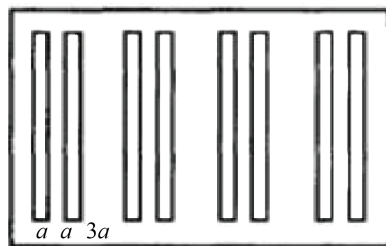


Figure 1. Grating structure diagram

图 1. 光栅结构图

通过强化上述规律性, 可以引导学生直接写出例题 2 图 1 所示周期结构的衍射光强分布。

第一步, 分析衍射单元结构, 写出单元结构的衍射强度

1) 遮住偶数缝时, 衍射的单元结构就是一个缝宽为  $a$  的单缝, 所以单缝的衍射光强为

$$I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right)}{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2}, \text{ 其中 } \delta = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta \quad (5)$$

2) 遮住奇数缝时, 衍射的单元结构仍然是一个缝宽为  $a$  的单缝, 所以单缝的衍射光强同上。

3) 全放开时, 衍射单元结构可以看成是两个间距为  $a$  的双缝, 每个缝宽为  $a$ , 那么这个单元结构的衍射光强为两个单缝衍射的干涉代入书中光栅光强公式, 取  $N = 2$

$$I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right)}{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2} \cdot \frac{\sin^2 2\left(\frac{\delta'}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\delta'}{2}\right)} = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right)}{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2} 4 \cos^2\left(\frac{\delta'}{2}\right), \text{ 其中 } \delta = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta, \delta' = \frac{2\pi}{\lambda} 2a \sin \theta \quad (6)$$

通过上述三种情形的分析, 可以明了衍射单元结构的衍射强度分布的写法。

第二步, 衍射单元结构的周期性排列形成多光束干涉, 写出多光束干涉强度因子:

1) 遮住偶数缝时, 缝间的距离为  $6a$ , 周期数为  $N$ , 多光束干涉强度因子为:

$$\frac{\sin^2 N\left(\frac{\delta'}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\delta'}{2}\right)}, \text{ 其中 } \delta' = \frac{2\pi}{\lambda} 6a \sin \theta \quad (7)$$

2) 遮住偶数缝时, 缝间的距离也为  $6a$ , 周期数也为  $N$ , 多光束干涉强度因子同(1);

3) 全开放时, 周期为  $6a$ , 周期数也为  $N$ , 也同(1)。

综上可知, 打开奇数和偶数单缝衍射因子相同, 多缝干涉因子也相同, 总的光强公式为它们的乘积:

$$I_p = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right)}{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2} \cdot \frac{\sin^2 N\left(\frac{\delta'}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\delta'}{2}\right)}, \text{ 其中 } \delta = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta, \delta' = \frac{2\pi}{\lambda} 6a \sin \theta \quad (8)$$

全部打开时

$$I_p = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right)}{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2} 4 \cos^2\left(\frac{\delta'}{2}\right) \frac{\sin^2 N\left(\frac{\delta''}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\delta''}{2}\right)}, \text{ 其中 } \delta = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta, \delta' = \frac{2\pi}{\lambda} 2a \sin \theta, \delta'' = \frac{2\pi}{\lambda} 6a \sin \theta \quad (9)$$

通过本例题的分析讲解, 学生对光栅衍射光强公式会有更深的认识, 周期性结构的夫琅禾费衍射就是衍射单元的多重干涉, 有了这个理念, 对于后面学习闪耀光栅、晶体衍射特性就不会去寻找衍射强度公式, 而应该去找各自的光程差。

#### 4. 开启后续教学内容的例题

光栅衍射强度公式体现了多缝干涉的各级主极大受到单缝衍射光强的调制, 通过强度公式画出的强

度分布图都可以说明与纯粹的多光束干涉不同, 各级主极大的相对光强不同, 对于学生来说, 认识还不具体深刻, 选取如下所述例题 3 (参见教材 4 习题), 通过具体数字的计算结果, 可以看出不同主极大的相对光强的巨大差别, 引出后续的教学内容。

例 3: 在双缝夫琅和费衍射实验中, 所用的光波波长  $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ , 透镜的焦距为  $f = 50 \text{ cm}$ , 观察到两相邻亮条纹间的距离  $e = 1.5 \text{ mm}$ , 并且第 4 级亮纹缺级。试求: 第 1, 2, 3 级亮纹的相对强度

首先可利用光栅方程计算  $m = 1, 2, 3$  级主极大的衍射角, 再代入强度公式, 由于是主极大条纹, 多缝干涉强度因子都为  $N^2$ , 单缝衍射强度因子由于衍射角的不同而不同, 具体计算见如下过程:

$$\text{当 } m = 1, \sin \theta_1 = \lambda/d;$$

$$\text{当 } m = 2, \sin \theta_2 = 2\lambda/d;$$

$$\text{当 } m = 3, \sin \theta_3 = 3\lambda/d。$$

在多缝干涉各级主极大对应的强度因子都为  $N^2$ , 将各级衍射角对应的正弦代入单缝衍射强度因子  $\sin^2 u/u^2$ ,  $u = \pi a \sin \theta/\lambda$ , 依题意可知  $d = 4a$ 。

$$\text{所以当 } m = 1 \text{ 时, } \frac{I_1}{I_0} = \frac{\sin^2\left(\frac{\pi a}{\lambda} \lambda/d\right)}{\left(\frac{\pi a}{\lambda} \lambda/d\right)^2} = \frac{1/2}{(\pi/4)^2} = 0.81。$$

$$\text{当 } m = 2 \text{ 时, } \frac{I_1}{I_0} = \frac{\sin^2\left(\frac{\pi a}{\lambda} 2\lambda/d\right)}{\left(\frac{\pi a}{\lambda} 2\lambda/d\right)^2} = \frac{1/2}{(2\pi/4)^2} = 0.405。$$

$$\text{当 } m = 3 \text{ 时, } \frac{I_1}{I_0} = \frac{\sin^2\left(\frac{\pi a}{\lambda} 3\lambda/d\right)}{\left(\frac{\pi a}{\lambda} 3\lambda/d\right)^2} = \frac{1/2}{(3\pi/4)^2} = 0.09。$$

结果表明了, 随着主极大级次的增大, 其强度与零级主极大的强度的比值越小, 而且下降特别明显。

这个例子的目的是让学生看到由于受到单缝衍射的调制, 每一级主极大条纹的相对强度不相同, 相差巨大, 与纯粹的双光束干涉亮条纹不同。另一方面, 平面透射光栅是一个分光元件, 由于单缝衍射调制作用, 零级主极大的能量最大, 但是没有色散效果, 而随着主极大级数的增加, 色散效果越明显, 但是能量却很少, 条纹会越来越不明亮, 这就是平面透射光栅作为分光元件的缺陷, 为了克服能量分布和色散能力这一对矛盾, 设计和发展了闪耀光栅这种分光元件。

通过本例题的计算, 学生会对光栅衍射的各级主极大的能量分布的巨大差别, 留下深刻印象, 同时也很直观具体的知晓了平面光栅作为分光元件的不足, 激发了想继续学习闪耀光栅这种新元件的好奇心, 这种元件是怎样能够解决矛盾的。这道例题为后续教学内容埋下了伏笔和悬念, 激发了学生学习后续内容的好奇心和兴趣。

## 5. 结论

本文以光学课程中光栅衍射重点内容的课堂教学为例, 分析探讨了可以促进课堂教学效果的三类例题。第一类巩固知识点和迁移应用型的常规例题, 通过常规例题来具体化知识点, 帮助学生消理解新知识直至能够应用。第二类揭示物理规律或抽象物理概念的例题, 有些抽象的规律需要通过具体例题启发学生举一反三, 引导学生思考, 抓住问题的本质。第三类开启后续教学内容的例题, 通过例题的具体结果引导学生发现一些事实或特性, 为后续教学内容埋下了伏笔和悬念, 激发学生学习兴趣。课堂教

学中例题的讲解是非常重要的一个环节, 精心挑选设计例题, 能有效提高课堂效率, 增强师生互动, 提高学生的理解力和思维能力。本文内容对其他课堂教学也有一定的借鉴意义。

### 参考文献

- [1] 郭永康, 朱建华. 光学[M]. 第三版. 北京: 高等教育出版社, 2017: 171-220.
- [2] 姚启钧. 光学教程[M]. 第六版. 北京: 高等教育出版社, 2019: 64-102.
- [3] 赵建林. 光学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 196-246.
- [4] 郁道银, 谈恒英. 工程光学[M]. 第三版. 北京: 机械工业出版社, 2013: 378-419.
- [5] 马雪梅, 张卫平, 黄创高, 黄宇阳, 韦文楼. 基于光栅衍射的实验分析[J]. 大学物理实验, 2010, 23(4): 34-36.
- [6] 徐美嘉, 王海林, 谭伟石. 斜入射时光栅衍射特性的理论分析及实验研究[J]. 大学物理实验, 2014, 27(4): 34-37.
- [7] 高峰, 王珩, 孙景超, 李健, 吴迪, 栾玉国. 衍射光栅教学中两种计算方法的比较[J]. 创新教育研究, 2022, 10(11): 2717-2723.