

文章编号: 1007-2934(2018)05-0070-05

透射光栅斜入射的简易测量及研究

陈继超, 向文丽*

(楚雄师范学院, 云南 楚雄 675000)

摘 要: 利用 He-Ne 激光器($\lambda = 632.8 \text{ nm}$)、可调狭缝、透射光栅和自主改装的半圆刻度盘组合、接收屏搭建简易测量光栅斜入射的系统, 精确地测量了入射光线与光栅法线夹角 α (入射角) 和 α (入射角) 变化时光栅衍射主最大和次最大的光强, 并记录了光栅衍射图样(0级、1级、2级衍射亮斑), 利用 GSP5en 软件原样描绘其衍射图样并分析了其图样和轨迹。结果显示: 光栅斜入射相比正入射其光强有一定程度的增强, GSP5en 软件描绘出的衍射图样和轨迹精确度高, 形象明了, 科学可行。无论入射角如何变化, 主最大位置(零级亮斑)几乎不偏移, 而其它次级的位置随着级数的增大, 偏移量越多, 入射角 α 增大时, 轨迹的弯曲程度在增大。

关键词: 光栅; 斜入射; 简易测量; GSP5en 软件

中图分类号: O 4-34

文献标志码: A

DOI: 10.14139/j.cnki.cn22-1228.2018.05.017

光栅是利用(多缝)衍射原理使光波发生色散的光学元件, 它由大量等宽、等距、相互平行的狭缝构成。光栅是一种重要的光学元件, 广泛应用于光谱仪、光学通讯、激光警告系统、光谱合束技术等领域, 光栅衍射规律的探究在工程领域具有重要的意义^[1-3]。光栅衍射实验同时也是大学课堂及实验的重要教学对象^[4, 5], 实验教学中针对入射光线垂直入射的情况作了大量的研究, 但对光栅在光线斜入射条件下的实验研究涉及不多。

对于光线斜入射的光栅衍射研究, 文献^[6-9]讨论了光栅围绕 z 轴旋转所导致的误差及对波长测量的影响。唐小村^[10]报道了光栅围绕 x 轴旋转, 其入射到光栅同一狭缝上的光波相位是不相同的, 导出衍射谱线偏移量和光栅倾斜角的理论关系式。张明霞, 郭小花^[11]报道了斜入射条件下的全面的光栅方程, 对衍射理论及实验原理进行进一步拓展和完善, 苏亚凤^[12]等人报道了斜入射条件下光栅衍射现象得出入射角和轨迹的变化关系。而多数研究者着重于理论上探究光栅在斜入射下的特性, 对实验论证理论的研究甚少。本文搭建了简易测量光栅斜入射的实验平台, 针

对光栅顺时针旋转情况做实验探究, 以期在相关技术领域提供一定的价值参考。

1 实验原理

根据夫琅和费衍射理论^[13]: 当光源发出的光照射到光栅上(如图1、图2所示), 光栅里的每个狭缝(刻痕)将发生衍射现象, 这些被衍射的光又将发生干涉现象。如图1、图2所示的光栅, 透光部分的宽度为 a , 不透光部分的宽度为 b , 而这些狭缝的透光部分和不透光部分的宽度为 d 即光栅常数。

当光斜垂直入射光栅时, 满足下式:

$$d \sin \theta = j \lambda \quad (1)$$

式中 λ 为单色光的波长, θ 为衍射角(衍射光与光栅平面法线之间的夹角), j 为衍射光谱的级次。

当光斜入射时, 满足方程:

$$d(\sin \theta \pm \sin \delta) = j \lambda \quad (2)$$

式中 d 是光栅常数, j 是衍射光谱的级次, δ 是入射角(入射光与光栅平面法线之间的夹角),

收稿日期: 2018-05-17

基金项目: 楚雄师范学院科研基金项目(2015kyjg008)

* 通讯联系人

θ 是衍射角。

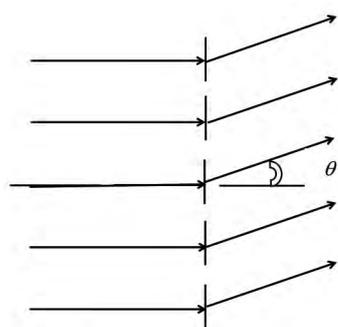
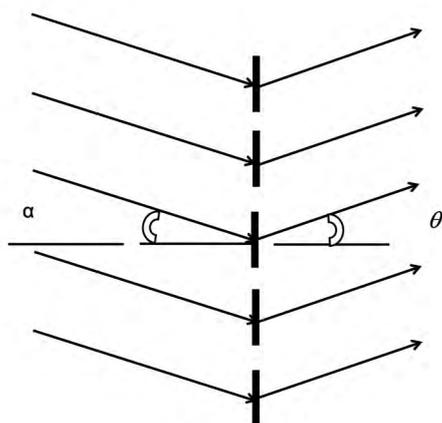
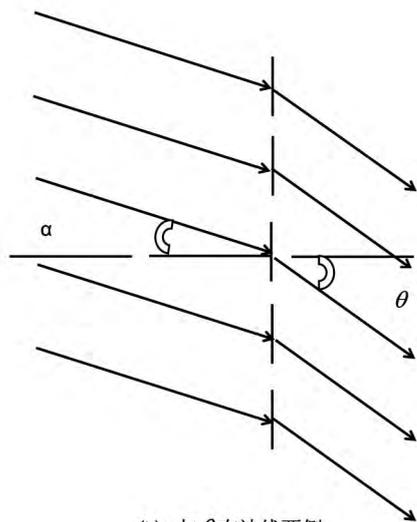


图1 光线垂直入射光栅图



(a) α 与 θ 在法线同侧



(b) α 与 θ 在法线两侧

图2 光线斜入射光栅图

2 实验部分

2.1 实验平台的搭建

搭建了简易测量光栅斜入射的实验平台(图5) 从左到右依次为 He-Ne 激光器($\lambda = 632.8 \text{ nm}$)、可调狭缝、透射光栅和半圆刻度盘(详见图3、图

4) 的组合、接收屏。为了保证实验平台光学器件的平衡,调节以上元器件在光学导轨上共轴等高。光栅底部的半圆刻度盘指针代表光栅的法线方向(指针方向始终垂直光栅),令刻度盘不动,沿顺时针方向旋转光栅 α 度(即入射角为 α),在刻度盘上读出的角度是 β 则:

$$\alpha = 190^\circ - \beta \quad (3)$$

通过半圆刻度盘即可简易并精确测量出入射角。

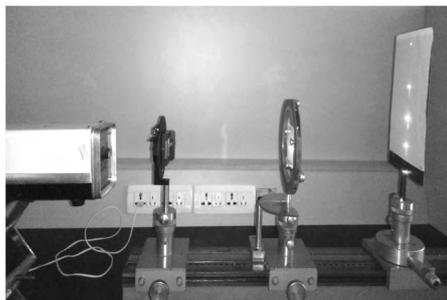


图3 透射光栅装置实物图

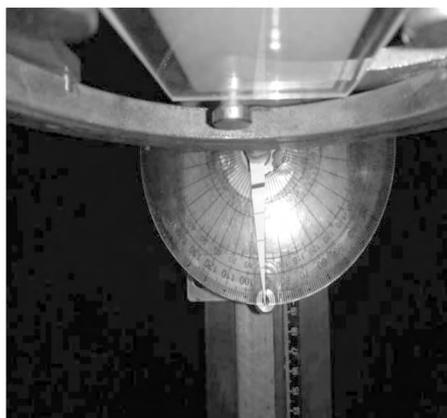


图4 半圆刻度盘

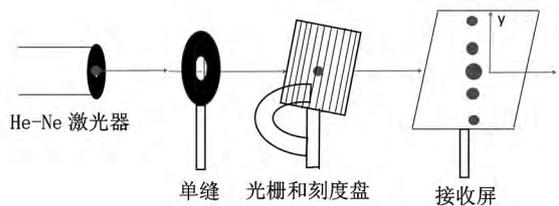


图5 实验光路简易图

2.2 实验步骤

(1) 选择较小的单缝宽度,以便调节激光垂直入射,之后选择合适的单缝宽度,保证 He-Ne 激光器的激光宽度完全不受阻挡的通过;(2) 每旋转光栅一个角度,用 Digital LUX Meter 测量光栅衍射图中主最大和次最大的光强;(3) 在白

屏图纸上记录旋转光栅时衍射图样。

3 实验记录及结果分析

3.1 光栅斜入射方程

入射光和衍射光在法线同侧(如图 1(a)所示),方程表示为:

$$d(\sin\theta + \sin\alpha) = j\lambda \quad (4)$$

入射光和衍射光在法线两侧(如图 1(b)所示),方程表示为:

$$d(\sin\theta - \sin\alpha) = j\lambda \quad (5)$$

在入射角 α 确定的情况下,同一级次的衍射角不同^[14-16]。由(4)(5)式中可看出,级次 j 由入射角、衍射角共同决定。由斜入射方程光栅可得衍射角、级次的公式:

$$\text{衍射角: } \theta = \arcsin\left(\frac{j\lambda}{d \mp \sin\alpha}\right) \quad (6)$$

从图 7 的衍射图样看到,入射角在变化时,(6)式的衍射角也在变化,并且接收屏上的光斑均变化。

$$\text{级次的位置: } j = \frac{d(\sin\theta \pm \sin\alpha)}{\lambda} \quad (7)$$

由(7)看到,级次的位置和入射角、衍射角均有关。

$$\text{光栅衍射的光强分布: } I = I_0 \frac{\sin^2 u}{u^2} \frac{\sin^2 Nv}{\sin^2 v} \quad (8)$$

式中 $v = (\pi d \sin\theta) / \lambda$, 表示单缝衍射光强。结合(6)式可知,光强也和入射角、衍射角有关。

3.2 光栅斜入射的光强变化

当激光从空气入射到透射光栅上,由于光栅的分光作用,原来 He-Ne 激光器发出的光束被分散,分散在各个级次上如图 6 所示。图 6 中的衍射图样分别是入射角 α 为 15° (图 6(a)) 和 45° (图 6(b)) 的图片。

用 Digital LUX Meter 测量光栅衍射图样中主最大和次最大的光强如表 1,从表 1 中可以看到,当光栅沿着顺时针旋转时,主最大和次最大的光强均有一定程度的增大,并且明显。 α 为 0° 时主最大的光强是 4 380 Lux,次最大的光强是 98 Lux;当旋转光栅 15° 即入射角 α 为 15° 时主最大的光强最强,是 7 920 Lux,比 0° 时的主最大的光强增加了 3 540 Lux;当入射角 α 为 30° 时,次最大的光强最强,是 128 Lux,比 0° 时的次最大的光强增加

了 30 Lux。由此可知,衍射光光强不止与衍射级次(衍射角)有关,同时也和入射角有关,这与光栅斜入射满足的公式(8)相符。

表 1 室温 $t = 12.7^\circ\text{C}$ 室内光强 1Lux

次数	入射角 $\alpha / ^\circ$	主最大光强 / LUX	次最大光强 / LUX
1	0	4 380	98
2	15	7 920	123
3	30	7 892	128
4	45	7 875	113
5	60	7 528	111
6	75	6 777	92



(a)



(b)

图 6 斜入射光栅衍射图样实物图

3.3 GSP5en 软件分析衍射图样及轨迹

图 7 为光栅斜入射时衍射图样,依照图 7 图样,用 GSP5en 软件描绘了衍射图样。如图 8 所示,由 SP5en 软件把图 8 的衍射图样作出相应轨迹图如图 9 所示。

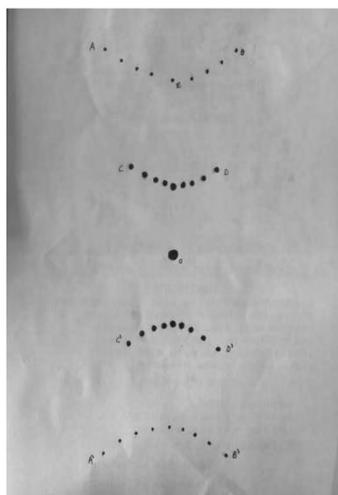


图7 衍射图样实物图

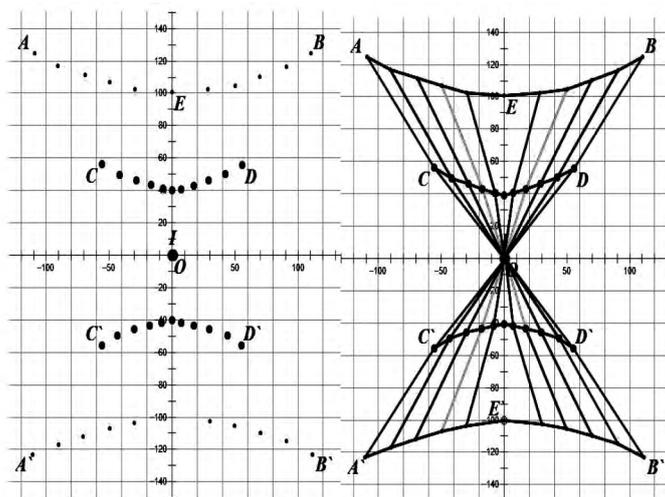


图8 衍射图样GSP5en模拟图

图9 衍射轨迹GSP5en模拟图

如图9所示,不同颜色的曲线分别代表不同入射角下,三个级次所构成的轨迹;黑色曲线表示 15° 、 105° 的轨迹,绿色曲线表示 30° 、 120° 的轨迹,蓝色曲线表示 45° 、 135° 的轨迹,紫色表示 60° 、 150° 的轨迹,灰色曲线表示 75° 、 165° 的轨迹。入射角在 $[0^\circ-90^\circ]$ 和 $[90^\circ-180^\circ]$ 上增大,+1级亮斑(次最大)在 xoy 平面内微小移动,而+2级亮斑偏移量较大。0级、1级、2级三个级次构成的轨迹的开口在闭合,即:曲线的斜率在减小。 y 轴左侧是角度在 $[0^\circ-180^\circ]$ 的轨迹,右侧是角度在 $[0^\circ-90^\circ]$ 的轨迹。从图中可以清晰的看到,主最大位置或零级亮斑(坐标原点 O 处),无论入射光线和光栅法线的夹角如何变化,主最大位置(零级亮斑)几乎不偏移;而+1级亮斑(图中 CD 所在的曲线是+1级, $C'D'$ 所在的曲线是-1级)、+2级亮斑的位置随着入射角的变化而变化(图中 AB 所在的曲线是+2级, $A'B'$ 所在的曲线是-2级),偏移

图7是在接收屏上,手工绘制的衍射图样实物图,图8用GSP5en软件中的最大圆点,较大圆点,最小圆点绘制了零级(O 处)、+1级亮斑(分别是曲线 CD 和 $C'D'$)和+2级亮斑(分别是曲线 AB 和 $A'B'$)衍射图样。+1级亮斑和+2级亮斑满足方程: $x^2=py$ (p 是抛物线焦点坐标的两倍),进一步讨论可知:

α 为 0° 时,满足的方程是: $x=0, y=y$;在水平轴两侧的圆点(+1级、+2级亮斑)构成的抛物线关于主最大(零级亮斑)所在的横轴对称,其满足的方程为: $y=+ax^2+b$,以上方程的相关系数 p, a, b 不是固定不变的,当接收屏在光具座的不同位置,在GSP5en软件设置的参数不同,对应的系数 p, a, b 的值不同,但描绘的衍射图样及轨迹变化不大。

量较大。竖轴两面的轨迹随着入射角的增大(式(2)),其轨迹的开口在闭合(曲线的斜率在减小,轨迹的弯曲程度在增大),入射角 α 为 0° 时,即:垂直入射,三个级次的轨迹是一条直线(EE')。

利用GSP5en软件便捷的轨迹绘图及计算功能,可省去许多繁琐的计算,描绘出的图样及轨迹较形象,此软件即方便又实用。

3.4 光栅斜入射实验误差分析

在接收屏上即图7光栅衍射图样测量0级和+1级的间距 d' ,GSP5en软件描绘的衍射图样(图8)为 d ,两者之间的误差为0.75%。相对误差远远小于5%,精确度非常高^[17,18]。由于GSP5en软件绘制的衍射图样较传统的手绘图样更加精确和形象,其测量的数据精确可靠,人为的操作所带来的误差较低,利用GSP5en软件代替手工衍射图样研究光栅斜入射衍射轨迹是科学可行的,这在工程领域探究光栅衍射规律具有一定参考价值。

4 结束语

本文利用 He-Ne 激光器($\lambda = 632.8 \text{ nm}$)、可调狭缝、透射光栅和自制半圆刻度盘搭建了简易测量透射光栅斜入射衍射图样的平台并测量了其在斜入射衍射图样(0级、1级、2级),

用自制半圆刻度盘测量光栅斜入射角度 α ,操作简单,精确可靠;用 Digital LUX Meter 测量透射光栅斜入射条件下的主最大和次最大的光强,得出主最大和次最大的光强相比正入射均有一定程度的增大,并且明显;用 GSP5en 软件准确地描绘了透射光栅斜入射衍射图样,和传统的手工描绘衍射图样相比,误差仅为 0.75%。这与实验结果吻合度非常高;利用 GSP5en 软件分析衍射轨迹,操作方便简单,得到的图像较形象,实验误差较小,而从衍射图样和轨迹可得出:入射角增大,主最大位置几乎不偏移,而其它次级的位置随着级数的增大,偏移量越多,衍射图样轨迹的开口在闭合,这符合实验事实。

参考文献:

- [1] 刘莉.光栅应用发展现状[J].长沙大学学报,2009,23(5):23-27.
- [2] 徐龙,何章宏,熙扬辉.双光栅衍射位移测量实验仪的研制[J].实验技术与管理,2011,28(7):85-87.
- [3] 万玲玉,张卫平,杨庆怡,等.基于双光栅衍射成像效应的光栅实验探讨[J].实验技术与管理,2009,

- 26(10):27-28,31.
- [4] 沈元华,陆申龙.基础物理实验[M].北京:高等教育出版社,2003.
- [5] 姚启钧.光学教程[J].北京:高等教育出版社,2008,97.
- [6] 张贵银,关荣华.光线斜入射对光栅常数测量的影响[J].大学物理实验,2005,18(1):11-12.
- [7] 宋超群,李国安.斜入射光栅衍射条纹的分布[J].高师理科学刊,2003,23(3):86-87.
- [8] 黄曙江.入射光斜入射光栅表面的衍射方程[J].物理通报,2004(2):7-8.
- [9] 蒋卫建,方本民,陈守川.分光计实验中光栅位置倾斜对测量谱线波长的影响[J].大学物理,2011,30(3):34-37.
- [10] 唐小村.光线斜入射对光栅衍射的影响[J].实验技术与管理,2012(7):42-44.
- [11] 张明霞,郭小花.斜入射条件下平面光栅的光栅方程研究[J].天水师范学院学报,2006(5):44-47.
- [12] 苏亚凤,李普选,徐忠锋,等.斜入射条件下光栅衍射现象的分析[J].大学物理,2001,20(7):18-21.
- [13] 叶玉堂,饶建珍,肖峻.光学教程[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [14] 徐翠艳,王辉.关于光栅斜入射问题的分析[J].渤海大学学报:自然科学版,2009,30(4):359-361.
- [15] 黄曙江.光斜入射下光栅公式与特性研究[J].杭州电子工业学院学报,2004,24(3):7-10.
- [16] 宋超群,李国安.斜入射光栅衍射条纹的分布[J].高师理科学刊,2003,23(3):86-87.
- [17] 朱江转,罗锻斌.衍射光栅实验中平行光正入射条件的讨论[J].大学物理实验,2017,30(3):85-86.
- [18] 朱江,刘丽飒,韩逸轩,等.高源数字平面全息光栅实验研究[J].大学物理实验,2017,30(3):69-71.

Simple Measurement and Study of Oblique Incidence of Transmission Grating

CHEN Ji-chao, XIANG Wen-li*

(ChuXiong Normal University, Yunnan Chuxiong 675000)

Abstract: Using He-Ne laser($\lambda = 632.8 \text{ nm}$), an adjustable slit, a transmission grating and a self modified semicircular dial combination and a receiving screen, a simple measuring system for the oblique incidence of a grating is set up. This platform is applied to measure the angle (named incident angle) of the incident ray and the grating normal line accurately. The main and secondary maximum light intensity was measured and the diffraction pattern of grating(0, 1 and 2) was recorded when the incident angle changed. The diffraction pattern was depicted by GSP5en software accurately and its patterns and trajectories are analyzed by GSP5en software. The results show that the oblique incidence of the grating is enhanced to a certain extent compared with the positive incident light intensity. The accuracy of the diffraction patterns and trajectories described by the GSP5en software is high, the image is clear and it is scientifically feasible. The main maximum position (zero level spot) almost does not shift regardless of the incident angle, and the offset of the other secondary positions increases with the increase of series. The degree of the curvature of the trajectory increases when the incident angle increases.

Key words: grating; oblique incidence; simple measurement; GSP5en software