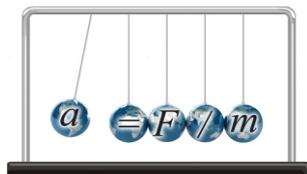


文章编号:1005-4642(2021)07-0027-05



普通物理实验

基于光栅衍射原理测量手机屏幕 光栅常量的居家实验

许军伟,田喜敏,许 坤

(郑州航空工业管理学院 材料学院,河南 郑州 450046)

摘 要:基于光栅衍射原理,利用手机屏幕作为反射光栅,设计出 2 种测量手机屏幕光栅常量的方法,并进行了实验验证.与传统测量手机屏幕光栅常量的方法相比,该方法采取正入射/掠入射方案,有效地避免了测量入射光角度等复杂步骤,具有简单、精准、易居家操作等优点.

关键词:光栅衍射;正入射/掠入射;手机屏幕;光栅常量

中图分类号:O436.1

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2021.07.004

面对新冠疫情,根据教育部“停课不停教、停课不停学”的要求,各高校积极开展的在线教学及指导学生居家实验是特殊时期应对教学困境的有效途径.光栅是利用(多缝)衍射原理使光波发生色散的光学元件,它由多个等宽、等距、相互平行的狭缝构成,广泛应用于光谱仪、光通信、光计算、光学信息处理、激光警告系统、光谱合束等领域.研究光栅的衍射规律对其在工程技术中的应用具有重要价值^[1-4].鉴于光栅的广泛应用,光栅衍射实验在大学物理实验教学中占有重要位置.然而,传统的光栅衍射实验教学中,常利用基于玻璃片的透射光栅进行操作演示^[5-8],虽有利于学生掌握常用实验仪器的基本操作和相应的数据处理方法,但在激发学生对实践类课程的兴趣、提高学生自主探究问题能力方面,效果不尽人意.缺乏设计类和创新性实验,缺少对课程以外实验知识的拓展和扩充,在一定程度上降低了学生学习的积极性不利于创新人才培养方案的实施.

手机是现代科学技术迅速发展的产物,已成为年轻人最常用和最喜爱的媒介.手机屏幕由微小的显示单元周期性排列组成,这种周期性排列在物理上类似于光栅.因此本文将手机屏幕作为

光栅衍射实验的研究对象^[9-10],进一步挖掘光栅衍射的规律及其潜在应用,使学生了解光栅的结构和衍射原理,加深对光学衍射知识的理解.目前基于光栅衍射原理测量手机屏幕光栅常量的实验都不可避免地要涉及入射角及衍射角的测量.由于入射角和衍射角差别非常微小,在实验中难以操作及分辨,因此加大了实验完成的难度,降低了实验测量的准确性.针对上述问题,本实验采用激光正入射/掠入射 2 种方案,实现手机屏幕光栅常量的精准测量.该测量方法原理和操作简单,实验现象明显,易居家操作,并能够加深学生对衍射光栅特性的理解,在衍射光栅的实验研究和应用研究中也具有较好的参考价值.

1 原理设计

1.1 实验原理

如图 1 所示,反射光栅常量为 d ,设激光入射光线与光栅平面法线成 α 角,衍射光线与光栅平面法线成 β 角. 2 个相邻刻槽的衍射光线为 1 和 2, Δ 表示平行入射光在 A 和 B 两点产生衍射光线 1 和 2 的光程差.当入射光线与衍射光线在光栅平面法线异侧时[如图 1(a)],光程差 $\Delta = AD -$

收稿日期:2020-11-09; **修改日期:**2021-04-23

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(No.12004347);河南省重点研发与推广专项(科技攻关)项目(No.202102310535);河南省高等学校重点科研项目(No.20B140017)

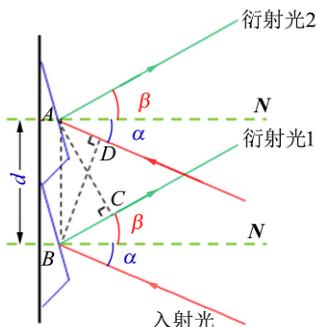
作者简介:许军伟(1988—),男,河南商丘人,郑州航空工业管理学院材料学院助理实验师,硕士,从事电磁超构材料/超表面研究. E-mail:514156130@qq.com

通讯作者:田喜敏(1987—),女,河北保定人,郑州航空工业管理学院材料学院讲师,博士,从事电磁超构材料/超表面研究. E-mail:18201523575@163.com

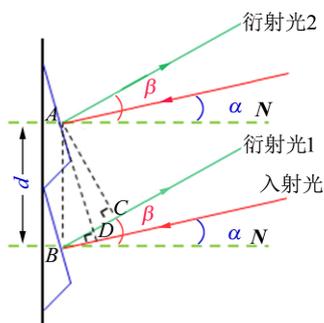


BC , 由几何知识得 $AD = d \sin \alpha$, $BC = d \sin \beta$, 此时光程差 $\Delta = d(\sin \alpha - \sin \beta)$. 当入射光线与衍射光线在光栅平面法线同侧时[如图 1(b)], 光程差 $\Delta = BD + BC$, 由几何知识得 $BD = d \sin \alpha$, $BC = d \sin \beta$, 此时光程差 $\Delta = d(\sin \alpha + \sin \beta)$. 对于衍射光栅而言, 产生明条纹的条件是光程差 Δ 为半波长的偶数倍^[11], 即:

$$d(\sin \alpha \pm \sin \beta) = m\lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$



(a) 入射光线与衍射光线在光栅平面法线异侧



(b) 入射光线与衍射光线在光栅平面法线同侧

图 1 反射光栅光路图

1.2 实验方案

方案 1: 根据上述实验原理设计实验方案如图 2(a)所示, 激光正入射手机屏幕发生衍射. 此时光栅平面法线垂直于手机屏幕, 入射角 $\alpha \approx 0^\circ$, $\sin \alpha \approx 0$, 由光栅方程(1)可得出出现明纹的条件:

$$d \sin \beta = m\lambda, \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (2)$$

由于衍射角 β 非常小, 可以假设 $\sin \beta \approx \tan \beta$, 根据三角关系有:

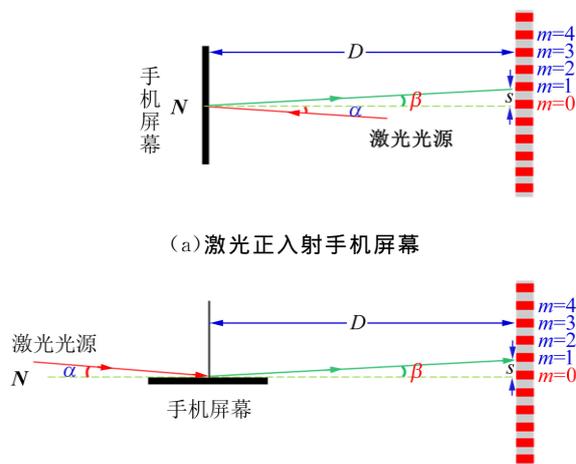
$$\sin \beta \approx \tan \beta = s/D, \quad (3)$$

取第一亮条纹 $m = 1$, 得出:

$$d = \lambda D/s. \quad (4)$$

实验中便携激光器(PPT 翻页笔)发射激光

(红、绿、蓝)的波长 λ 已知; D 为手机屏幕与接收衍射条纹光屏之间的距离, 可用米尺测量; s 为相邻 2 条亮条纹之间的距离. 由双缝衍射理论可知任意两相邻亮条纹之间的距离都相等^[8], 因此, 通过坐标纸标记不同级次亮条纹的坐标即可计算出 s . 将 λ , D 和 s 代入式(4), 可求得手机屏幕光栅常量 d .



(b) 激光掠射手机屏幕

图 2 实验方案光路示意图

方案 2: 激光掠入射手机屏幕发生衍射, 如图 2(b)所示. 此时可将手机屏幕上的光栅近似看作透射光栅, 光栅平面法线平行于手机屏幕. 入射角 $\alpha \approx 0^\circ$, $\sin \alpha \approx 0$, 光栅常量 d 测量原理同方案 1.

2 实验部分

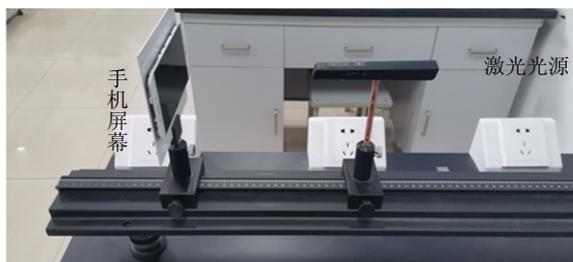
2.1 方案 1: 激光正入射测量手机屏幕的光栅常量

2.1.1 实验平台搭建

方案 1 的实验装置如图 3(a)所示, 包括便携激光器、手机、光屏(白色墙壁)及其支座等.

2.1.2 实验步骤

- 1) 将手机、便携激光器等按照图 3(a)所示安装好.
- 2) 微调激光器和手机屏幕之间的角度, 使激光器出射光正入射到手机屏幕.
- 3) 在白色墙壁上观察手机屏幕的衍射条纹.
- 4) 用坐标纸对白色墙壁上的衍射明纹进行坐标测量和记录.
- 5) 用米尺测量手机屏幕与白色墙壁之间的距离 D .



(a)激光正入射手机屏幕



(b)激光掠入射手机屏幕

图 3 实验装置图

2.1.3 数据测量、记录及结果分析

1) 手机屏幕与光屏之间距离的测量与记录

本实验采用白色墙壁作为接收衍射图样的光屏,利用钢卷尺测量手机屏幕与白色墙壁之间的距离 D ,实验测量结果如表 1 所示. 为了减小误差,实验采取多次重复测量方法,通过计算得到 $\bar{D}=118.53\text{ cm}$.

表 1 手机屏幕与白色墙壁之间的距离(正入射)

| n | D/cm | n | D/cm |
|-----|---------------|-----|---------------|
| 1 | 118.53 | 4 | 118.54 |
| 2 | 118.52 | 5 | 118.50 |
| 3 | 118.56 | | |

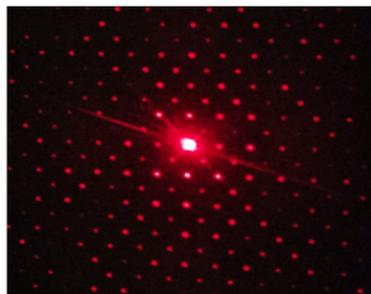
2) 衍射明纹坐标测量与记录

激光正入射手机屏幕,产生的衍射图样如图 4(a)所示. 用坐标纸对衍射图样中央一列明条纹进行坐标标记,衍射级次对应的坐标如表 2 所示. 通过逐计算得出任意相邻明条纹之间间隔 $s=1.179\text{ cm}$.

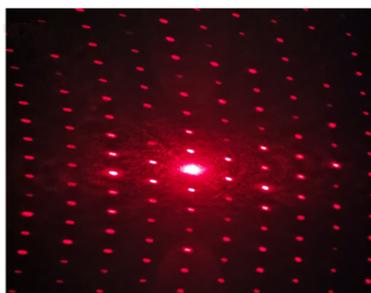
3) 计算手机屏幕的光栅常量

本实验便携激光器发射红光的波长 $\lambda=650\text{ nm}$,将实验测量的 D 和 s 分别代入式(4),即

可得到手机屏幕的光栅常量,如表 3 所示. 可知,激光正入射手机屏幕时,测量的光栅常量 $d=65.3\ \mu\text{m}$. 表 4 给出了不同型号手机屏幕光栅常量的参考值. 本实验采用的是三星 A70 手机,其手机屏幕的光栅常量参考数值 $d_{\text{参考}}=64.6\ \mu\text{m}$. 通过分析测量数值的不确定度、相对误差及绝对误差,本实验光栅常量测量结果在有效范围内,进而验证了本实验的准确性和可行性.



(a)激光正入射手机屏幕



(b)激光掠入射手机屏幕

图 4 手机屏幕衍射图样

表 2 衍射明纹坐标(正入射)

| m | x_i/cm | m | x_i/cm |
|-----|-----------------|-----|-----------------|
| 5 | 5.94 | -1 | -1.52 |
| 4 | 4.72 | -2 | -2.74 |
| 3 | 3.75 | -3 | -3.71 |
| 2 | 2.73 | -4 | -4.74 |
| 1 | 1.55 | -5 | -5.92 |
| 0 | 0 | | |

表 3 手机屏幕的光栅常量测量值

| 入射方式 | D/cm | s/cm | $d/\mu\text{m}$ | E_r | $\Delta d/\mu\text{m}$ | $u_{\Delta}/\mu\text{m}$ |
|------|---------------|---------------|-----------------|-------|------------------------|--------------------------|
| 正入射 | 118.53 | 1.179 | 65.3 | 1.08% | 0.7 | 1.0 |
| 掠入射 | 100.30 | 1.019 | 64.0 | 0.93% | 0.6 | 0.8 |

表 4 不同型号手机屏幕的光栅常量参考值

| 手机型号 | 像素密度/PPI | $d/\mu\text{m}$ |
|---------------|----------|-----------------|
| 华为 Play4T Pro | 418 | 60.7 |
| 华为 P40 | 422 | 60.1 |
| 三星 A70 | 393 | 64.6 |

2.2 方案 2:激光掠入射测量手机屏幕的光栅常量

2.2.1 实验平台搭建

方案 2 所搭建的实验装置如图 3(b)所示,包括便携激光器、手机、白屏及其支座等.

2.2.2 实验步骤

1) 将手机屏幕和便携激光器按照图 3(b)安装好.

2) 操作同方案 1,采用钢卷尺测量手机屏幕与白色墙壁之间的距离 D ,根据衍射图样[如图 4(b)]测量与记录中央一列衍射明纹级次及坐标.

2.2.3 数据测量、记录及结果分析

手机屏幕与白色墙壁之间的距离 D 及任意相邻两亮条纹之间的间隔 s 如表 5、表 6 所示. 将实验测量的 D 和 s 分别代入式(4),得到掠入射时手机屏幕的光栅常量,如表 3 所示. 测量光栅常量 $d=64.0 \mu\text{m}$,通过分析不确定度、相对误差、绝对误差,光栅常量测量结果与参考值基本吻合.

表 5 手机屏幕与白色墙壁之间的距离(掠入射)

| n | D/cm | n | D/cm |
|-----|---------------|-----|---------------|
| 1 | 100.31 | 4 | 100.28 |
| 2 | 100.32 | 5 | 100.30 |
| 3 | 100.30 | | |

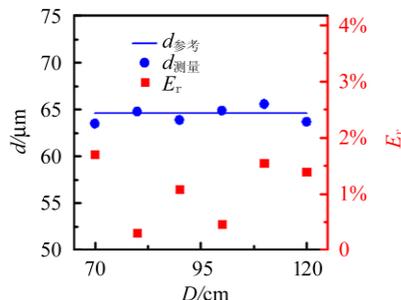
表 6 衍射明纹坐标(掠入射)

| m | x_i/cm | m | x_i/cm |
|-----|-----------------|-----|-----------------|
| 5 | 5.08 | -1 | -1.05 |
| 4 | 4.02 | -2 | -2.18 |
| 3 | 3.05 | -3 | -2.98 |
| 2 | 2.17 | -4 | -4.05 |
| 1 | 1.07 | -5 | -5.05 |
| 0 | 0 | | |

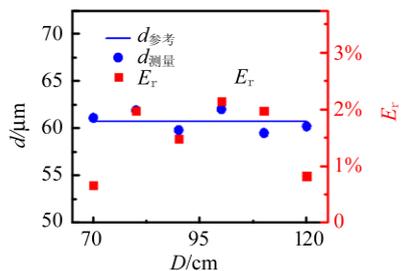
2.3 实验可行性验证

为了进一步验证实验方案的可行性及实验结果的准确性,本实验通过改变手机型号、手机屏幕与白色墙壁间距2个变量,多次重复测量手机屏

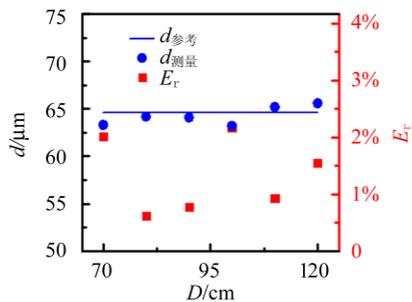
幕的光栅常量,测量结果如图 5 所示. 结果显示无论是改变手机型号或者改变手机屏幕与白色墙壁间距 D ,在正入射及掠入射方式下所测量的光栅常量与参考值均基本吻合,相对偏差都小于 3%,因此本实验方案设计可行.



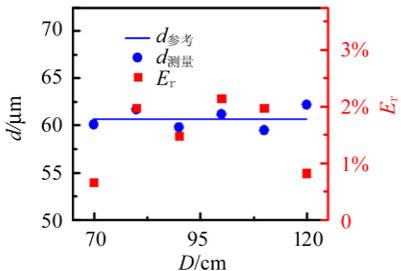
(a)三星 A70 手机采用正入射方式测量



(b)华为 Play4T Pro 手机采用正入射方式测量



(c)三星 A70 手机采用掠入射方式测量



(d)华为 Play4T Pro 手机采用掠入射方式测量

图 5 改变手机型号及手机屏幕与白色墙壁距离 D 测量光栅常量结果

3 结束语

新冠疫情打乱了物理实验教学的正常秩序,但为建设线上实验教学提供了契机。本文对大学物理实验中的光栅衍射教学内容进行拓展,在传统的验证性实验内容基础上,通过激光正入射和水平掠入射手机屏幕设计了新的实验方案,对所需实验数据进行准确测量,并获得了精准的手机屏幕光栅常量,结果真实可靠。该实验光路简单、取材方便、实验现象明显、内容充实、贴近生活、拓展性强,是一种比较实用的测量方法。

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] 姜德生,何伟. 光纤光栅传感器的应用概况[J]. 光电子·激光,2002,13(4):420-430.
- [3] 李燕青,郝德阜. 衍射光栅制造技术的发展[J]. 长春理工大学学报,2003,26(1):66-68.
- [4] 刘战存. 衍射光栅发展历史的回顾[J]. 物理实验, 1999,19(1):3-5.
- [5] 吕佩伟,马宋设,马靖. 光栅衍射实验教学中的体会[J]. 物理与工程,2014,24(4):43-46.
- [6] 郁道银,谈恒英. 工程光学[M]. 北京:机械工业出版社,2015:416-423.
- [7] 龙勇机,田毓琛,刘文军,等. 实验教学用简易光谱仪的研制[J]. 物理实验,2018,38(2):52-56.
- [8] 单会会,马书炳,张辉,等. 基于 CD/DVD 光盘的光栅衍射演示实验[J]. 物理实验,2018,38(2):34-35,46.
- [9] 赖桂琴. 智能手机在中学物理实验教学中的研究[D]. 汉中:陕西理工大学,2020.
- [10] 刘伟龙,赵海发,李俊庆,等. “真做实测,寓教于乐”的居家 DIY 物理实验教学设计与、实践与启示[J]. 物理实验,2020,40(11):28-34,40.
- [11] 姚启钧. 光学教程[M]. 6版. 北京:高等教育出版社,2019:85-94.

Measuring cellphone screen grating constant under normal/grazing incidence based on grating diffraction

XU Jun-wei, TIAN Xi-min, XU Kun

(College of Materials Science and Engineering, Zhengzhou University of Aeronautics,
Zhengzhou 450046, China)

Abstract: Utilizing the cellphone screen as the reflective grating, two unprecedented schemes based on grating diffraction principles were proposed to measure the grating constants, whose feasibility were verified by experiments. Compared with the traditional measurements of the cellphone screen grating constant, new proposals adopted the normal /grazing incidence, effectively eliminating the tanglesome steps of accurately measuring the angle of incident light. Moreover, the schemes were simple, precise, easy to operate at home.

Key words: grating diffraction; normal/grazing incidence; cellphone screen; grating constant

[责任编辑:郭伟]