

一种便捷的利用智能手机屏测量激光波长的方法

张晨晓 陈依茹 殷心潼 吴青林

(华中师范大学物理科学与技术学院 湖北 武汉 430079)

(收稿日期:2021-09-27)

摘要:测量激光波长作为大学物理实验的重要内容,要求学生通过不同的方法测出波长,但高精尖光学设备难以获得,导致学生缺乏实践经验.利用实验法介绍了一种使用智能手机屏幕快速测量激光波长的方法,该方法需用设备简单,实验操作简便,具有测量结果精度较高的优点,能够激发学生的求知欲,提升学生整体素养.

关键词:光栅衍射 波长测量 智能手机

1 引言

学生在学习物理的过程中,常常会遇到验证物理原理或测量物理量的实验.测量激光波长有多种方法,比如使用迈克尔孙干涉仪^[1],利用干涉叠加相位差^[2],利用声光效应^[3]或法拉第效应^[4],使用双棱镜干涉^[5,6]以及利用光栅衍射^[7]等.在光学课程教学中,为了充分调动学生积极性,激发学生学习物理的兴趣,也可以使用光盘^[8]、直尺等生活中常见的简易器材,让学生自行设计实验方案测量激光波长.这类实验不仅无需光谱仪、干涉仪等精密仪器设备,而且不受实验场地、环境、实验室预约管理等空间和时间限制,而且,在本科阶段学习中,在学习课本知识以外,也应该着力于培养学生进一步探索物理原理,将理论与实践相结合的能力,进而培养自主学习、探究各类物理问题的能力.

随着宽带网络和各类存储平台、服务器的飞速发展,光盘已经退出了日常生活,智能手机成为日常生活必需品,大学生每人都有智能手机.对于大学物理教学,智能手机不仅是学习工具,也是开展大学物理实验的得力工具,尤其是疫情期间,更是可以利用智能手机开展各种居家物理实验.本文提出一种基于智能手机的波长测量方法.

2 原理简介

2.1 光栅

衍射光栅是指能对入射光波的振幅或者相位进行空间周期性调制,或者对振幅和相位同时进行空间调制的光学元件.光栅具体可分为透射光栅和反

射光栅,而生活中常见的光盘和直尺用于测量波长时可等效于一维反射光栅.此实验中使用反射光栅,因此首先以一维反射光栅为例,根据惠更斯原理,波在传播时,波阵面上的每个点都可以被认为是一个单独的次波源;这些次波源再发出球面次波,则以后某一时刻的波阵面,就是该时刻这些球面次波的包络面.一个理想的一维衍射光栅可以认为由一组等间距的无限长无限窄狭缝组成,狭缝之间的间距为 d ,称为光栅常数,当波长为 λ 的平面波正入射于光栅时,每条狭缝上的点都是一个次波源,他们发出的光产生相干叠加,形成衍射条纹.

如图1所示,光栅常数

$$d = a + b$$

正入射时,光栅方程为

$$d \sin \varphi_k = \pm k\lambda \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (1)$$

测出第 k 级衍射斑的衍射角大小,代入式(1),即可算出激光器波长.

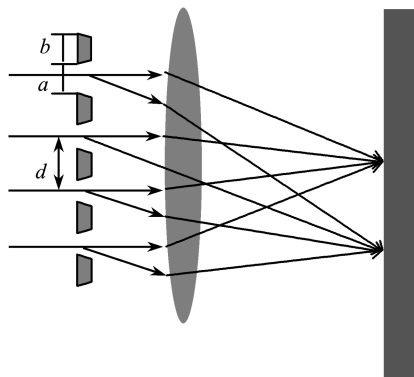


图1 一维光栅平面

2.2 二维光栅

智能手机屏可看作二维正交光栅^[9].二维光栅

即为在二维面上周期性地分割波阵面的装置. 这些分割波阵面的部件可以是小圆孔, 也可以是散射中心, 等等. 这种光栅可以看作是由两个普通平面光栅叠合在一起, 使其刻线方向交成一定角度而组成. 若交角为 90° , 即两组刻线互相垂直, 这种光栅就称为正交光栅^[2], 如图 2 所示.

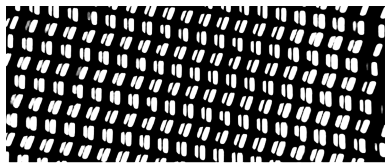


图2 手机屏幕结构示意图

(可看作二维光栅平面)

光波入射至光栅平面时, 设 d 为光栅常数, 如图 3 所示.

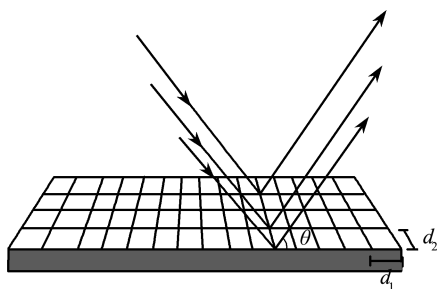


图3 光波入射光路图

由光栅方程可得

$$d = d_1 = d_2 \quad (2)$$

$$d(\sin \theta_1 + \sin \theta_0) \quad (3)$$

$$d(\sin \theta_2 + \sin \theta_0) = -\lambda \quad (4)$$

式(3)、(4) 联立得

$$d(\sin \theta_1 - \sin \theta_2) = 2\lambda \quad (5)$$

进而得到

$$\lambda = \frac{1}{2}d(\sin \theta_1 - \sin \theta_2) \approx \frac{1}{2}d\sin \theta \approx \frac{ds}{2D} \quad (6)$$

即我们已知光栅常数 d , 通过手机屏幕与光屏之间距离 D 和光斑之间距离 s 计算得出光波的反射角 θ , 即可通过计算公式得到光波波长.

理论上实验可得到的衍射图样如图 4 所示.

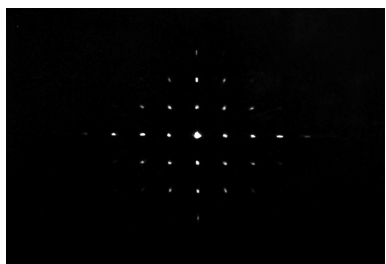


图4 理论实验衍射图样

3 实验

由上述原理分析可知, θ 的取值范围在 0 至 90° , 为方便控制角度和测量数据, 我们首先设计了如图 5 所示的实验, 即在 θ 为 90° 的情况下测量激光波长.

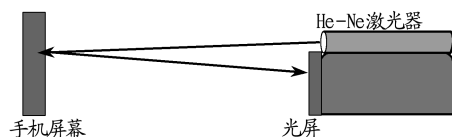
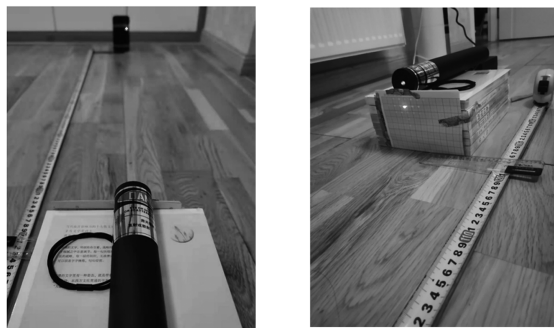


图5 实验设计示意图

在此次测量中将用到不同品牌的智能手机、He-Ne 激光器等器材. 测量过程中, 首先将接收屏、手机屏正对安装, 接着安装 He-Ne 激光器, 使激光能正入射至手机屏, 并调整手机屏与接收屏之间的距离使接收屏上出现清晰的易于测量和观察的点阵, 最后测量手机屏与接收屏之间的距离, 测量亮点之间的距离, 利用逐差法得出横向和纵向的点阵平均距离, 并将数据代入式(6), 计算得到激光波长. 改变入射角度, 进行多次测量. 实验装置如图 6 所示.



(a)

(b)

图6 实验装置

衍射图样如图 7 所示.

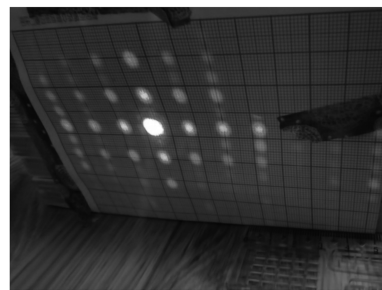


图7 实验衍射图样

在实验操作完成后, 我们进行了实验数据的处理和误差分析, 结果如下.

使用华为荣耀 20(DPI = 412, 即手机分辨率, 一英

寸内的像素点数)进行实验,测得的数据如表1所示.

光栅常数

$$d = \frac{1\text{inch}}{\text{DPI}} = \frac{254}{412} = 6.165 \times 10^{-1} \text{ mm}$$

光源到光屏距离

$$L = 62.25 \text{ cm}$$

表1 用华为手机进行实验的相关数据

| 测量编号 | 1 | 2 | 3 |
|-----------|----------------|----------------|----------------|
| 入射角 / (°) | 0 | 79.5 | 81.3 |
| 测量结果 / nm | 632.92 ± 68.63 | 627.16 ± 25.33 | 647.93 ± 34.89 |
| 相对误差 / % | 1.40 | 0.89 | 2.39 |

下面我们将进行不同分辨率手机屏测量波长的验证实验,将上述实验装置中的手机屏换为分辨率不同的另一手机屏,其余装置不变,并按照测量方法重新实验,计算得到激光波长.

测得光源到光屏距离

$$L = 124.50 \text{ cm}$$

光栅常数

$$d = \frac{1\text{inch}}{\text{DPI}} = \frac{254}{326} = 7.791 \times 10^{-1} \text{ mm}$$

使用 iPhone7 (DPI = 326) 进行实验,相关数据如表2所示.

表2 用 iPhone 手机进行实验的相关数据

| 测量编号 | 入射角 / (°) | 测量结果 / nm | 相对误差 / % |
|------|-----------|----------------|----------|
| 1 | 0 | 625.70 ± 73.21 | 1.12 |

由上述实验误差分析可知,实验所测量结果光波波长(625.70 ± 73.21) nm,相对误差 1.12%. 由实验观测结果表明,当光波正入射至手机屏幕(可视二维光栅)时,由手机屏幕反射的光波发生干涉叠加,并产生明显的衍射现象,显示在光屏上即为衍射图样,利用该衍射图样及相关原理、公式,我们可以较为精确地计算出该入射光波的波长.同时,换用不同分辨率的手机屏幕,改变入射角度也能得到清晰的衍射图样,我们依然可利用上述方法得出入射光波长.因此该实验方法具有普适性和通用性.而引起实验误差的因素主要来自光斑的大小不一影响测量以及在光屏上相邻光斑容易重合影响读数进而产生误差,可以采用多次测量多次读数计算且尽量选取光斑中心为参考点进行距离的测量,进而减小系统误差.

对迈克尔孙干涉仪而言较低,但此方法重在便捷、易于操作和测量,且在无法获得专业仪器测量波长的情况下依然保证了测量的准确性和相对较高的精度,而易于操作的特点也极大地方便了学生自主进行课外探究活动,培养对物理学科的探知欲,增强物理学习的自信心.

5 总结

本文介绍了一种利用手机屏测量激光波长的方法,进行了具体的实验设计和数据分析,精度较高,误差较小.本文介绍的方法中获得实验器材较为简单,能够利用较为简便的操作得到精度较高的实验结论,利于学生在课外自发进行探究实验并进行改良创新,同时激发了学生的求知欲,培养了学生在实际问题中发现并解决问题的能力,从而提高学生的整体能力和专业素养.

参考文献

- 1 费英. Michelson 干涉仪测光波波长原理新释[J]. 锦州师范学院学报(自然科学版), 2002(4): 38~40
- 2 严利平, 刘朋朋, 谢建东, 等. 基于单频正交线偏振光的激光波长直接测量方法[J]. 浙江理工大学学报(自然科学版), 2017, 37(5): 699~704

(下转第 147 页)

4 对比

经查阅资料后,我们发现,利用经典实验方法——双缝干涉实验以及衍射实验测量波长,实验相对误差均在 5% 以内^[10];而利用迈克尔孙干涉仪测量 He-Ne 激光器波长所得实验相对误差仅为 0.26%^[11]. 本文所介绍的利用手机屏测量激光波长的方法与之相较,误差值接近,虽然实验结果精度相

利用 GeoGebra 绘制出三维物理情境图, 类比二维斜面时的受力分析, 利用等效的原理进行力的分解是解题的关键. 在解决物理问题时, 只有正确运用科学的方法抓住问题的要害, 才能找出解决问题的途径, 类比、联想、等效、图解等都是常用的科学思维方法, 学习和运用这些科学思维方法, 进行恰当的分析思维活动, 能够有效促进问题的解决.

综上所述, 物理问题解决过程中, 表征的难点和方式有所差异, 但不同的表征过程都涉及了物理思维活动, 思维活动贯穿问题解决的全过程^[9]. 在平常的物理教学中, 提高学生物理思维能力、物理想象能力、物理运算能力、运用科学方法能力等是有效促进问题解决的关键所在.

参考文献

- 1 Simon H A. 人类的认知——思维的信息加工理论[M]. 荆其诚, 张厚粲, 译. 北京: 科学出版社, 1986. 112 ~ 123
- 2 陈裕兴. 发挥数形结合思想在数学教学中的功能[J]. 数学

(上接第 142 页)

- 3 董锡杰, 赵金博, 熊祖钊, 等. 利用声光效应测量波长的设计与研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2020, 54(2): 213 ~ 217
- 4 孙美洁, 周章洋, 何彩诗, 等. 利用法拉第效应测光波波长[J]. 大学物理实验, 2017, 30(2): 65 ~ 67
- 5 廖立新, 刘生长, 米贤武. 用双棱镜测激光波长的简单方法[J]. 物理实验, 2007(7): 34 ~ 35
- 6 方岩, 刘成森, 薛太萍, 等. 利用 LED 光源进行双棱镜干涉测光波波长[J]. 大学物理实验, 2020, 33(4): 17 ~ 19, 55

- 通讯, 1999(3): 15 ~ 17
- 3 魏萍. 高中生物理问题表征差异及其对教学的启示[D]. 南京: 南京师范大学, 2007
- 4 邓铸. 简单与复杂物理问题解决及状态元认知[J]. 心理科学, 2003(3): 479 ~ 482
- 5 殷正徐, 吴伟. Geogebra 软件在高中物理课堂教学中的应用案例分析——以简谐振动和机械波为例[J]. 物理教师, 2017, 38(10): 70 ~ 73
- 6 殷正徐. 应用 GeoGebra 软件深入研究一道高考物理题——等量同种点电荷连线中垂线上的场强研究[J]. 物理之友, 2017, 33(8): 47 ~ 49
- 7 刘健智, 程婷. GeoGebra 软件在物理可视化教学中的应用[J]. 物理教师, 2021, 42(6): 70 ~ 73
- 8 张静, 于文高. 利用 GeoGebra 让行星的逆行现象不再神秘[J]. 物理教师, 2020, 41(6): 62 ~ 64, 68
- 9 邢红军, 刘烁, 张抗抗. 核心素养视域下初中生物理能力表现研究[J]. 课程·教材·教法, 2017, 37(8): 63 ~ 68

- 7 余春明, 王祥, 司民真. 把透射光栅当做反射光栅测激光波长[J]. 物理通报, 2011(2): 57 ~ 58
- 8 王祥, 司民真, 余春明. 用 CD 光碟在光具座上测激光的波长[J]. 物理通报, 2011(9): 61 ~ 62, 77
- 9 许军伟, 田喜敏, 许坤. 基于光栅衍射原理测量手机屏幕光栅常量的居家实验[J]. 物理实验, 2021, 41(7): 27 ~ 31
- 10 王筠, 吉紫鹃, 肖鹏程. 杨氏双缝实验中的干涉与衍射现象[J]. 湖北第二师范学院学报, 2012, 29(8): 7 ~ 8
- 11 韩玉龙, 吴佩, 朱小宝, 等. 迈克尔孙干涉仪测量 He - Ne 激光波长的不确定度计算[J]. 物理通报, 2021(7): 96 ~ 99

A Convenient Method for Measuring Laser Wavelength by Using Smart Phone Screen

Zhang Chenxiao Chen Yiru Yin Xintong Wu Qinglin

(College of Physics Science and Technology, Central China Normal University, Wuhan, Hubei 430079)

Abstract: As an important part of college physics experiment, measuring laser wavelength requires students to measure it by different methods. However, it is difficult to obtain high-precision optical equipment, “resulting in students” “lack of practical experience”. This paper uses the experimental method. A method of fast measuring laser wavelength using smart phone screen is introduced. The method needs simple equipment, The experiment is easy to operate and has the advantages of high accuracy of measurement results. It can stimulate students “thirst for knowledge and improve their learning Students” overall quality.

Key words: grating diffraction; wavelength measurement; smart phone