

用分光计测量 CD 及 DVD 物理参数

林斯龄

(华南师范大学物理与电信工程学院 广东 广州 510006)

(收稿日期:2018-07-30)

摘要: 主要介绍如何使用分光计测量 CD 及 DVD 光盘的光栅常量、折射率. 通过比较两者参数的不同, 验证 CD 及 DVD 的材质与功能差别. 利用光盘为研究对象, 启发对大学物理实验课教学思路的创新, 提高学生的实验兴趣及创新思维能力.

关键词: 光盘 光栅常量 大学物理实验

1 引言

光盘是一种常见的数据存储介质, 由基板、记录层、反射层、保护层、印刷层等构成, 其存储原理主要是根据光盘上的凹坑和未烧蚀区对光反射能力的差异, 利用激光读出信息^[1]. 在反射层的作用下, 光盘是一种很好的一维反射光栅. 以往对光盘道间距的测量主要使用激光及刻度尺, 粗略测得光栅常量, 而本文的改进是采用大学物理实验常用的分光计这一较为精细的仪器去测量, 得到更加精确的数据.

大学物理实验教学中对于光栅衍射现象的演示, 教师通常使用透射式光栅. 常用的透射式光栅片是在玻璃片上利用全息摄影技术制成^[2], 在操作时极易受损. 而本文采用光盘作为研究对象进行实验, 材料易得, 促进学生深刻理解光栅衍射等光学原理以及熟练掌握相关光学仪器的使用方法. 采用生活中的光盘充当教具, 有助于激发学生实验兴趣, 取得更好的教学效果.

本文主要介绍利用 CD 及 DVD 进行光栅衍射实验测量折射率的方法, 对比参数, 验证 CD 及 DVD 的材质与功能差别.

2 实验原理

2.1 光栅常量测量原理

当平行光照射到光盘表面时, 其表面的数据轨迹相当于反射光栅的刻痕, 从而使光束发生衍射^[3]. 如图 1 所示, 平行光以入射角 θ_0 入射到光栅常数为 d 的反射光栅上, 若衍射光与入射光在法线异侧, 则由

图 1(a) 可得, 衍射角为 θ 的两相邻衍射光之间的光程差为

$$\Delta = Bb - Aa = d \sin \theta_0 - d \sin \theta \quad (1)$$

若衍射光与入射光在法线同侧, 由图 1(b) 可得, 衍射角为 θ 的两相邻衍射光之间的光程差为

$$\Delta = Bb + Ba = d \sin \theta_0 + d \sin \theta \quad (2)$$

根据光栅衍射理论, 反射光栅产生主极强亮纹的位置满足

$$\Delta = k\lambda \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (3)$$

其中 λ 为光源波长, 则反射光栅方程为

$$d \sin \theta_0 \pm d \sin \theta = k\lambda \quad (4)$$

当入射光与衍射光在光栅法线同侧时, 式(4)取“+”号, 当入射光与衍射光在光栅法线异侧时, 式(4)取“-”号. 当用复色光照射时, 除零级衍射光外, 不同波长衍射光的主极强位置不同, 这就是光栅的分光原理^[4].

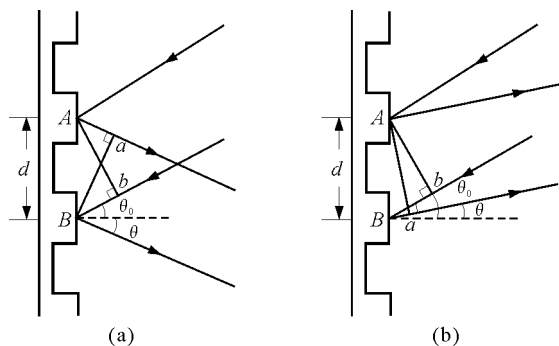


图 1 衍射原理图

2.2 折射率测量原理

光通过光盘时会发生折射现象, 如图 2 所示, 光线入射点为 A, 沿着光线同一入射方向会看到另一

个光点 C, 同时在另一边缘光线经光盘面折射后会出现光点 B^[5].

利用分光计原理, 通过目镜观察并测量 AC 和 AB 两束光线的偏转角度. 观测光线 AB, 得到折射角 i_2 , 通过观测光线 AC 测得入射角 i_1 , 则折射率为

$$n = \frac{\sin i_1}{\sin i_2} \quad (5)$$

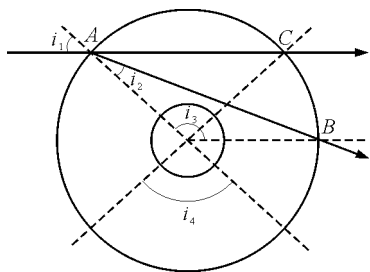


图2 光盘折射光路

3 测量系统装置及测量方法

3.1 测量系统装置搭建

光盘光栅常量实验测量装置如图3所示.

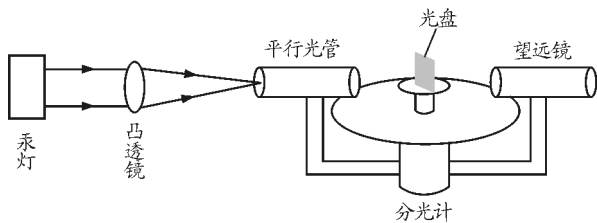


图3 光栅常量实验测量装置

光盘折射率实验测量装置如图4所示.

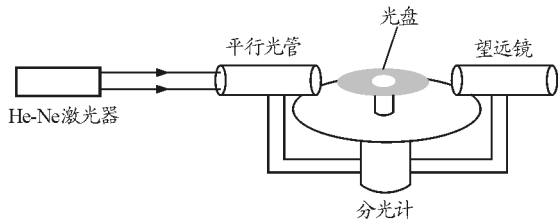


图4 折射率实验测量装置

3.2 实验测量方法

3.2.1 光栅常量测量过程

从光盘上沿半径方向取下光盘片作为反射光栅, 其光栅常数即为光盘的轨迹间距. 用分光计测量入射角和衍射角.

调节好分光计, 固定游标盘, 使望远镜和刻度盘一起转动, 如图5测出望远镜正对平行光管时的角度 α_1 , 再将望远镜转到靠近平行光管的一边, 固定望

远镜, 并测出此时的角度 α_2 , 计算出入射光与衍射光之间的夹角

$$\alpha = 180^\circ - |\alpha_1 - \alpha_2| \quad (6)$$

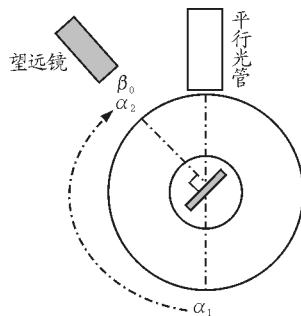


图5 分光计测量装置

将用光盘片制作的反射光栅置于载物台上(轨迹方向垂直放置), 松开游标盘, 利用自准直法测量出光栅与望远镜垂直时的角度 β_0 , 转动游标盘改变光栅方向, 可在望远镜中出现不同颜色的光谱, 如图6所示, 测出待测谱线对准望远镜叉丝时对应的角度 β , 则衍射角

$$\theta_0 = \alpha + \theta \quad (7)$$

$$\theta = \beta - \beta_0 \quad (8)$$

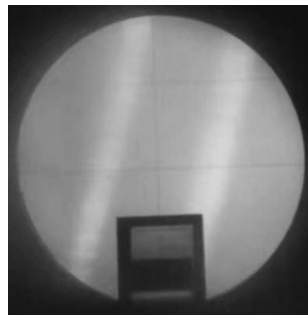


图6 衍射现象

依次记录双黄线和绿线谱线所对应的角度数据, 利用汞灯已知不同谱线波长 λ , 通过公式(4)测出光盘的轨迹间距(光栅常数) d . 重复实验3次, 求出光盘的平均光栅常量 \bar{d} .

由于光盘片的透明基底较厚, 光盘片制成的光栅角色散较大^[6]. 在操作上需利用凸透镜将汞灯光源聚焦于平行光管狭缝处, 提供足够的光强. 为有足够的分辨率看清绿线及双黄线, 应将狭缝调窄. 观测谱线时, 谱线为弧形状, 需让望远镜中叉丝与弧形谱线相切, 再读出数据.

测量光栅常数 d 时, 不考虑波长误差, 此时误差来源只有衍射角 θ 与入射角 θ_0 , 且它们的误差均为

分光计的极限误差 Δ_{ins} . 衍射角 θ 与入射角 θ_0 带“±”时,公式(4)可表示为

$$d(\sin \theta_0 + \sin \theta) = k\lambda \quad (k=0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (9)$$

则光栅常量 d 为

$$d = \frac{k\lambda}{\sin \theta_0 + \sin \theta} \quad (k=0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (10)$$

根据不确定度传递公式,可得光栅常数的 B 类不确定度为

$$\Delta d_B = \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial \theta_0}\right)^2 \Delta_{\text{ins}}^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial \theta}\right)^2 \Delta_{\text{ins}}^2} \quad (11)$$

整理得

$$\Delta d_B = \left[\frac{k\lambda}{(\sin \theta + \sin \theta_0)^2} \cdot (\cos \theta + \cos \theta_0) \Delta_{\text{ins}} \quad (\Delta_{\text{ins}} = 1') \right] \quad (12)$$

3.2.2 折射率测量过程

把光盘平行置于分光计载物台处,用 He-Ne 激光器平行入射光盘面.从光盘法线起沿同一方向(向右)转动望远镜筒,使望远镜中叉丝依次与两条出射光线形成的狭缝像重合,并记录每一条光线对应的坐标读数,游标显示 i_1 和 i_2 ,利用式(5)求得折射率 n .

转动光盘测量光盘不同位置的折射角和入射角,重复 3 次,求出光盘平均折射率 \bar{n} .

4 实验结果

实验分别测量了 3 份不同的空白 DVD 光盘及 CD 光盘.汞灯绿光波长采用标准值 546 nm,黄光 1 波长采用 576 nm,黄光 2 波长采用 579 nm,实验测量结果如表 1 所示.

表 1 实验测量结果

光盘种类	光栅常量 $d/\mu\text{m}$	平均光栅 常量 $d/\mu\text{m}$	折射率 n	平均折 射率 \bar{n}
DVD1	0.744	0.760	1.56	1.60
DVD2	0.775		1.61	
DVD3	0.761		1.64	
CD1	1.453	1.541	1.50	1.57
CD2	1.584		1.63	
CD3	1.586		1.58	

代入实验数据,利用式(12)得 DVD 光栅常量不确定度为 2.7 nm,CD 光栅常量不确定度为 12 nm.

实验表明,由 DVD 与 CD 光盘平均折射率可知,制作 DVD 与 CD 光盘的材料物理性质相近,即对 DVD 与 CD 的差异贡献并不是制作材质的差别.而在对 DVD 与 CD 光盘的平均光栅常量比较中,发现 DVD 的道间距远小于 CD,这二者的差别也验证了 DVD 的储存容量比 CD 的储存容量要大.

国家工业标准中,CD 光盘的两个相邻螺旋光道的间距约为 $1.5 \mu\text{m}$,DVD 光盘的两个相邻螺旋光道间距约为 $0.74 \mu\text{m}$ ^[2],实验测得的光栅常量与国家工业标准值在误差范围内相符.

5 结束语

本文采用日常生活中易得的光盘片作为光学元件,利用分光计测量 CD 及 DVD 光盘的物理参数,相对其他方法具有较高的测量精度,容易激发学生浓厚的学习兴趣,加之元件成本低廉,有创新性.这种利用日常生活事物作为实验研究对象的思路可用于大学物理实验课的教学之中,能更好地培养学生的动手实践能力和激发学生对日常生活事物的求知欲,开拓创新思维.

参考文献

- 唐勇,裴先登.光盘光道布局与性能.数据采集与处理,1996(01):14~16
- 单会会,马书炳,张辉,等.基于 CD/DVD 光盘的光栅衍射演示实验.物理实验,2018,38(02):34~35,46
- 张楠,李林,史庆藩.测量光盘物理参数的综合性实验设计.大学物理,2011,30(07):44~46
- 杨保东,周海涛.光盘道间距及其信道轨迹长度的测量.大学物理,2007,26(05):35~36
- 王凤鹏,岳彦芳,余小李.利用光盘片测定光波波长.赣南师范学院学报,2008,29(03):132~134
- 王文麒,乐永康.光盘结构及实验中的光学现象.物理实验,2013,33(04):44~47

(下转第 86 页)

设:在铁丝的一端手柄处用力 $F=10\text{ N}$,在该力的方向上通过的距离为 $s=10\text{ cm}$,快速弯折10次,弯折处的铁丝质量 $m=2\text{ g}$,铁的比热容 $c=0.46\times 10^3\text{ J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$,忽略热损失等其他因素的影响.则弯折处的铁丝升高的温度为

$$Q=10W=10F_s\cos 0^\circ=$$

$$10\times 10\text{ N}\times 0.1\text{ m}=10\text{ J}$$

$$\Delta t = \frac{Q}{cm} =$$

$$\frac{10\text{ J}}{0.46\times 10^3\text{ J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})\times 2\times 10^{-3}\text{ kg}} \approx 10.9^\circ\text{C}$$

此值虽比实际测量值稍大一些,但仍能说明此实验改进方案是可行的.

总之,物理实验在初中物理中占据重要的地位,新课程标准中改革的大多数内容都与实验有关,物理实验的重要性不言而喻.在教学中,教师需要根据教学目标、教学内容及教学对象灵活采用教学方式,优化实验课堂的设计,积极为学生创造良好的实验环境,培养学生科学严谨的核心素养.

参考文献

- 1 刘炳昇,李容.义务教育教科书物理九年级上册.南京:江苏科学技术出版社,2017
- 2 中华人民共和国教育部.义务教育物理课程标准.北京:北京师范大学出版社,2011
- 3 罗兰琴.创新实验设计——用铁丝点燃白磷.中学物理教学参考,2008(7):33

Discussion and Improvement on the Experiment of Work Done by Repeatedly Bending Iron Wire

Sun Hongwen

(Lishui NO.1 Middle School ,Nanjing, Jiangsu 211200)

Abstract: Chapter 12, section 4, the textbook of the ninth grade of junior high school physics in "Sujiao edition" arranges the experiment of "repeatedly bending iron wire to do work" (as shown in figure 1), which is intended to illustrate that doing work changes the internal energy of an object-transforming mechanical energy into internal energy. However, the author found some deficiencies in this experiment in teaching and put forward corresponding improvement suggestions.

Key words: experiment; explore; improve

(上接第83页)

Measure the Parameters of CD and DVD by Spectrometer

Lin Siling

(School of Physics and Telecommunications Engineering, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510006)

Abstract: The article mainly describes how to use spectrometer to measure the parameters of CD and DVD easily. By comparing the difference between the two parameters, we can result in the production of CD and DVD material differences, so as to verify the nature of CD and DVD differences. Using the CD as the research object can inspire the teaching ideas of college physics experiment course. It has a greater role in promoting the experimental interest and innovative thinking ability for students.

Key words: disc; grating constant; college physics experiment