

用光具组测定光栅 1 级角色散的研究*

宋元军 牛振风

(河北北方学院理学院 河北 张家口 075000)

(收稿日期:2020-08-13)

摘要:对用分光计测定光栅常数为 $\frac{1}{300}$ mm 透射光栅 1 级角色散的方法进行了改进,给出了引入自组光具组进行测量的方法.改进后的方法充分利用自组光具组基本特性参数在较大范围内连续可调的优点,克服传统的用分光计测量方法中光路的关键参数不可调节的不足,从而提高了测量精度.自组光具组的引入,也起到使光路参数选取具有多样性和丰富光路调整内容的拓展功能.

关键词:透射光栅 角色散 自组光具组

光栅是光学实验中常用的一种分光器件.基于良好的色散功能,光栅在光谱分析和光谱仪中有重要的应用^[1~4].角色散是反映光栅色散特性的一个关键技术指标.光栅角色散基于分光计的实验研究已是令人感兴趣的教研课题^[5].

分光计作为光学实验中一种重要的测角仪器,不仅可用于测量棱镜玻璃的折射率、光波的波长,而且还用来测量透射光栅的光栅常数和角色散^[6~8].透射光栅的角色散是波长和衍射级数的函数,通常选用 1 级汞谱中的黄光进行测量,其中主要的测量环节是测双黄线分开的角度(衍射角之差).用分光计和光栅常数为 $\frac{1}{300}$ mm 透射光栅(以下简称 300 线透射光栅)观测汞谱时,1 级双黄线分开角度的理论值为 $2.21'$,而教学实验中常用的 JJY 型分光计的游标分度值为 $1'$,显然教学实验中用分光计是不能较好完成 300 线透射光栅 1 级角色散的测量任务的.本文在基于分光计的基础上,引入光具组,利用自组光具组参数易调的优点来精确测量 300 线透射光栅的 1 级角色散.

1 实验原理

1.1 基本原理

光栅的角色散是光栅的一项重要技术指标,根据文献^[6],光栅角色散为

$$D = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\lambda} \quad (1)$$

其中, $\Delta\varphi$ 为波长非常接近的两谱线的衍射角之差, $\Delta\lambda$ 为相应的波长差.

光栅角色散的理论基础是光栅方程

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

由上式可得

$$\frac{d\varphi_k}{d\lambda} = \frac{k}{l \cos \varphi_k} \quad (3)$$

根据式(1)~(3),有

$$D_k = \frac{k}{\sqrt{l^2 - k^2 \lambda^2}} \quad (4)$$

式(4)表明,当光栅常数 l 取定值时,光栅角色散与衍射级数和光波波长有关.

1.2 测量原理

当入射光栅面的光为平行光时,这时的衍射为远场衍射.要想方便地观测这种衍射,需用具有汇聚功能的光学器件.考虑到要观测的双黄线的衍射角之差很小,大焦距凸透镜实验室一般又比较缺乏,我们选用自组光具组来完成实验.

设 s, f'_1 和 f'_2 分别为两片透镜的间距和像方焦距.根据参考文献^[6],相应光具组的像方焦距为

$$f' = -\frac{f'_1 f'_2}{s - (f'_1 + f'_2)} \quad (5)$$

图 1 中, H 和 H' 分别为光具组的物方主点和像

* 河北北方学院 2020 年教改项目资助,项目编号:GJ2020316

作者简介:宋元军(1971-),男,高级实验师,主要从事光学实验和近代物理实验教学及研究工作.

方主点, AD 和 $A'D'$ 分别为物方主面和像方主面, f' 为光具组的像方焦距. 由于光具组的物方和像方处于同一种介质空气中, 物方节点 N 和像方节点 N' 分别与 H 和 H' 重合^[6]. ab, cd 为汞谱 1 级双黄线对应的两束平行光, $\Delta\varphi$ 为汞谱 1 级双黄线的衍射角之差.

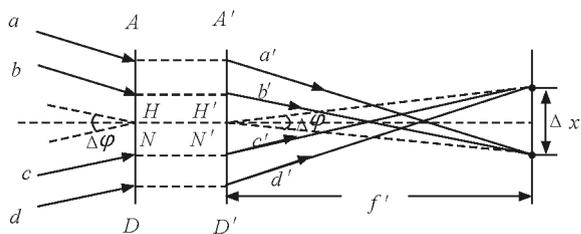


图 1 测量原理图

由于

$$\Delta\varphi \ll 1^\circ \quad (6)$$

在光具组的像方焦面上, 汞谱 1 级双黄线的间距为

$$\Delta x = f' \Delta\varphi \quad (7)$$

利用式(1)和式(7), 可得透射光栅 1 级角色散的测量公式

$$D = \frac{\Delta x}{f' \Delta\lambda} \quad (8)$$

2 实验方法

2.1 实验仪器与用具

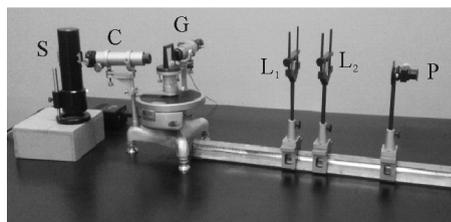
JJY 型分光计, 凸透镜, 凹透镜, 测微目镜, 光具座, 300 线透射光栅, 汞灯.

2.2 测量方法

首先, 让汞灯照亮分光计的准直管狭缝, 调节准直管使其狭缝的宽度和空间取向合适并出射平行光, 使准直管光轴水平. 然后, 把光栅放在载物台上,

调节光栅使光栅面与准直管光轴垂直, 并使光栅透光单元与分光计中心转轴平行.

把光具座沿 1 级黄线的衍射方向水平放置. 在光具座上依次放置光具组(凸透镜、凹透镜)、测微目镜支架(支架的位置大致应处于光具组的像方焦面处). 光具组的两片透镜间距要适当, 像方焦距应为正值. 调节各器件的共轴状况, 并微调光具座放置方向, 使眼睛通过支架上方的圆孔能看到 1 级黄线. 在支架上固定好测微目镜. 实验装置如图 2 所示. 把测微目镜的叉丝调节清楚, 瞄准线调竖直. 用测微目镜测量汞谱 1 级双黄线的间距.



S—钠灯; C—准直管; G—透射光栅;
L₁—凸透镜; L₂—凹透镜; P—测微目镜

图 2 实验装置图

2.3 数据与分析

为了得到较大的放大率, 同时考虑到实验室现有透镜参数情况, 选取 $f'_1 = 155 \text{ mm}$ 和 $f'_2 = -100 \text{ mm}$ 两片透镜组成光具组. 两片透镜间距的取值情况见表 1 中的第 2 列, 相应的 5 种光具组像方焦距的取值由表 1 中的第 3 列给出. 在用测微目镜测量双黄线的间距时, 为了减小偶然误差, 针对每种光具组测 3 次, 取平均后得到表 1 第 6 列所示数据. 利用式(1), 容易得出表 1 的最后 1 列数据.

表 1 实验数据表

$f'_1 = 155 \text{ mm}$, $f'_2 = -100 \text{ mm}$

次序	s/mm	f'/mm	x_1/mm	x_2/mm	$\Delta x/\text{mm}$	$D/(\text{'} / \text{nm})$
1	85	516.7	3.904	4.216	0.319	1.03
			3.894	4.215		
			3.885	4.210		
2	90	442.9	3.958	4.248	0.283	1.07
			3.958	4.230		
			3.950	4.238		
3	95	387.5	3.122	3.377	0.248	1.07
			3.125	3.384		
			3.128	3.359		

续表 1

次序	s/mm	f'/mm	x_1/mm	x_2/mm	$\Delta x/\text{mm}$	$D/(\prime/\text{nm})$
4	100	344.4	3.274	3.487	0.220	1.06
			3.273	3.497		
			3.272	3.494		
5	105	310.0	3.785	3.987	0.203	1.10
			3.771	3.980		
			3.791	3.990		

利用上面表格中的 5 个角色散值,取平均后得到光栅 1 级角色散的测量值

$$D' = 1.07' / \text{nm} \quad (9)$$

由文献[6]知汞谱双黄线的波长分别为 576.96 nm 和 579.07 nm,把平均波长代入式(4),并考虑到

$$k = 1$$

$$l = \frac{1}{300} \text{ mm}$$

得到光栅 1 级角色散理论值为

$$D' = 1.05' / \text{nm} \quad (10)$$

比较式(9)和式(10),可知测量值的相对误差为 2%.这个较小的相对误差值,在教学实验中是完全可以接受的.

3 实验的几点分析

选取构成光具组的两片透镜的焦距以及它们的间距时,要考虑到相应光具组的焦距要较大,且像方焦距应为正值的基本要求.

调整光学系统,通过测微目镜观察到汞谱 1 级双黄线是该实验调整的一个难点.要能观察到双黄线,一要调整好系统的共轴,二要先通过理论计算判断出光具组的像方焦面位置,并把测微目镜大致置于这一焦面上,然后才能进行细调直到观察到清晰的双黄线.

测量时应选取不同的透镜间距进行测量,以便充分发挥新方法调整内容丰富的优点,并利于学生加深对光具组特性的理解.

4 结束语

在传统的使用分光计测定透射光栅 1 级角色散

的基础上,引入了自组光具组,利用自组光具组参数易调的优点,来完成测量任务.这种改进,一方面提高了测定透射光栅 1 级角色散的精度;另一方面,通过选取不同的透镜间距实现多种自组测量方式,也能进一步加深学生对光具组特性的理解,并能提升学生对较复杂光学系统的光路设计和调节能力.本文测量光栅 1 级角色散的新设计,对拓展自组光具组在光学实验教学中的新应用以及开发新的光学综合设计性实验项目有一定的参考价值,主要是利用自组光具组基本特性参数在较大范围内可调的优点,达到提高测量精度的目的.

参考文献

- 1 王献恒,王菁.使用分光计观测太阳光谱[J].物理实验,2019,39(02):49~53
- 2 赵伟,张增明.衍射光栅特性研究实验[J].物理实验,2017,37(10):22~25
- 3 刘汉臣,王秋萍,张崇辉,等.光栅扫描光谱仪参数的研究[J].应用光学,2008(04):595~598
- 4 张濛,王忠杰,岑剡.光栅光谱仪的光谱重建[J].物理实验,2017,37(05):50~54
- 5 赵永潜,张亚萍,许广建,等.基于分光计的光栅光谱特性研究[J].大学物理实验,2016,29(04):29~32
- 6 杨述武,孙迎春,沈国土,等.普通物理实验(3)光学部分(第5版)[M].北京:高等教育出版社,2016.3~53
- 7 彭华雨,范婷.光栅最小偏向角法测量汞灯谱线波长的理论和实验验证[J].大学物理,2016,35(2):56~59
- 8 张艳亮,周明东.用分光计研究三棱镜的色分辨本领[J].物理实验,2007(09):36~37

(下转第 96 页)

这一环节不仅深化了学生对电池电动势和内阻测量原理的理解,培养了学生科学推理能力和基于书面的论证能力,而且能够及时反馈教学效果,为教学的进一步改进提供了重要的依据.

3 小结与启示

通过对 ADI 教学模式基本思想和实施过程的分析,我们认为该教学模式与新一轮基础教育物理课程改革的理念高度一致,能够为核心素养目标下的高中物理实验教学提供新的思路.基于此,我们深入探讨 ADI 教学模式在“电池电动势和内阻的测量”实验中的应用,既帮助学生克服该内容学习的各种困难,进一步提高课堂教学的质量,又能有效地落实物理学科核心素养的培养.

此外,通过这些研究工作,我们深深感受到在高中物理课程改革的关键时期,不仅需要充分借鉴国际科学教育新的方法、新的思想和新的理念,而且还应根据我国物理教学实际和学生情况将相关理论本土化,这样才能为学生物理学科核心素养的培养提供一些帮助和启示.

参考文献

1 Millar R. Towards a Role for Experiment in the Science Teaching Laboratory[J]. *Studies in Science Education*, 1987,14(1):109 ~ 118

2 罗星凯. 物理实验的教育功能[J]. *教育研究*,1990(10): 69 ~ 72

3 弭乐,郭玉英. 渗透式导向的两种科学论证教学模式述评[J]. *全球教育展望*,2017, 46(6):60 ~ 69

4 Walker J P, Sampson V. Learning to Argue and Arguing to Learn: Argument-Driven Inquiry as a Way to Help Undergraduate Chemistry Students Learn How to Construct Arguments and Engage in Argumentation During a Laboratory Course[J]. *Journal of Research in Science Teaching*, 2013, 50(5):561 ~ 596

5 Grooms J, Sampson V, Enderle P. How concept familiarity and experience with scientific argumentation are related to the way groups participate in an episode of argumentation[J]. *Journal of Research in Science Teaching* 2018,55(9):1264 ~ 1286

6 张春丽,陈颖. 关于高中物理实施“科学论证教学”的调研与思考[J]. *物理教师*, 2018,39(5):2 ~ 5,9

7 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版)[S]. 北京:人民教育出版社, 2018:43

8 吴劲松. “测定电池的电动势和内阻”实验的误差分析与优化设计[J]. *中学物理教学参考*,2011,40(7):27 ~ 29

9 Sampson V, Gleim L. Argument-Driven Inquiry To Promote the Understanding of Important Concepts & Practices in Biology[J]. *The American Biology Teacher*, 2009,71(8):465 ~ 472

(上接第 91 页)

Study on Measurement of Grating Level 1 Angular Dispersion Using Optical Group

Song Yuanjun Niu Zhenfeng

(School of Science, Hebei North University, Zhangjiakou, Hebei 075000)

Abstract: The first order angular dispersion of transmission grating with grating constant of $\frac{1}{300}$ mm is considered. Its measurement method based on spectrometer is improved. In the improved method, a self-assembled compound optical system is used. This method makes full use of the advantages that the basic characteristic parameters of the self-assembled compound optical system can be continuously adjusted in a larger range, so as to overcome the shortcomings that the key parameters of the light path are nonadjustable in the traditional method based on spectrometer. As a result, the measurement accuracy is improved. Furthermore, because of using the self-assembled compound optical system, the diversity of light path parameter selection is expanded, and the content of light path adjustment is enriched.

Key words: transmission grating; angular dispersion; self-assembled compound optical system