

大学物理实验 学习指导



史苏佳 陈 健 谢广喜 王廷志 编著

复旦大学出版社

大学物理实验学习指导

史苏佳 陈 健 谢广喜 王廷志 编著

复旦大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验学习指导/史苏佳等编著. —上海:复旦大学出版社,2009.2
ISBN 978-7-309-06453-7

I. 大… II. 史… III. 物理学-实验-高等学校-教学参考资料 IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 214386 号

大学物理实验学习指导

史苏佳 陈 健 谢广喜 王廷志 编著

出版发行 复旦大学出版社 上海市国权路 579 号 邮编 200433
86-21-65642857(门市零售)
86-21-65100562(团体订购) 86-21-65109143(外埠邮购)
fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

责任编辑 梁 玲

出 品 人 贺圣遂

印 刷 大丰市科星印刷有限责任公司
开 本 787×960 1/16
印 张 10.5
字 数 194 千
版 次 2009 年 2 月第一版第一次印刷

书 号 ISBN 978-7-309-06453-7/O·421
定 价 20.00 元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社发行部调换。
版权所有 侵权必究

前言

PREFACE

随着现代高新科技的飞速发展,社会对人才的要求也越来越高,高素质创新人才是社会渴求的人才。新世纪的高等教育,应培养具有开拓创新精神、能独立思考、有鲜明个性的复合型人才。为适应科学技术发展的需要、满足现代社会对创新人才的需求,教学的重点应放在培养学生综合素质和创新能力上来。大学物理实验是高等工科院校课程体系中的一门重要的实践性基础课,是本科生进入大学以后接受系统实验原理、方法和实验技能训练的一个开端,对培养学生的动手能力、分析问题和解决问题的能力以及严谨的科学态度等方面起着不可替代的作用。为此,我们在江南大学物理实验中心编写出版的《大学物理实验》教材基础上,编写了这本配套的实验指导书。全书共6章:第一章如何学好大学物理实验;第二章怎样撰写物理实验报告;第三章误差理论基础与测量数据处理;第四章实验操作指导;第五章物理实验研究与拓展;第六章习题。

本书具有以下特点:

1. 弥补了物理实验教材的不足,主要强调实验操作的方法和技巧,着重培养学生的动手能力以及独立分析问题和解决问题的能力。
2. 选录了较多大学物理实验的典型习题和原创习题,便于学生巩固实验课上学到的知识,理论联系实际,并起到举一反三的作用。
3. 在每个实验操作指导后面都有拓展和提高以及讨论题,有利于开拓学生思维,提高他们探索物理规律的热情和积极性,培养学生的创新精神和创新能力。
4. 物理实验研究与拓展部分选录了部分教师有关实验方面的研究论文,目的是开阔学生视野,为学生今后进行科学研究工作打下良好的基础。

本书由史苏佳、陈健、谢广喜、王廷志编写,其中第一、第二、第三章由史苏佳编写,第四章由史苏佳、王廷志、谢广喜编写,第五章由陈健、王廷志、谢广喜编写,第六章由史苏佳、谢广喜、王廷志编写,全书由史苏佳、陈健审稿和统稿。在本书的编写过程中参阅了许多兄弟院校的实验教材,同时得到了江南大学物理实验中心全体人员的鼓励和支持,程鸿雁对本书提出了宝贵意见,在此一并表示衷心的感谢。

感谢。物理实验教学是一项集体的事业,从实验仪器的制作、购置和使用,到实验内容的安排和实验教材的编写,都与全体实验教师和实验技术人员长期的辛勤劳动分不开,本书是江南大学物理实验中心集体智慧的结晶。

由于编者水平有限,加上时间仓促,书中难免存在一些缺点和不妥之处,恳请广大读者和同行专家批评指正。

编 者

2008 年 12 月于无锡

目 CONTENTS录

前言	1
第 1 章 如何学好大学物理实验	1
§ 1.1 物理实验在物理学发展史上的重要性	1
§ 1.2 大学物理实验课的重要性	3
§ 1.3 如何学好大学物理实验	3
第 2 章 怎样撰写物理实验报告	5
第 3 章 误差理论基础与测量数据处理	11
§ 3.1 测量与误差	11
§ 3.2 误差的分类	11
§ 3.3 直接测量的误差估算与测量结果的表示方法	12
§ 3.4 间接测量的误差估算与测量结果的表示方法	13
§ 3.5 有效数字	16
§ 3.6 数据处理的常用方法	18
第 4 章 实验操作指导	22
§ 4.1 长度测量	22
§ 4.2 金属杨氏弹性模量的测定	29
§ 4.3 晶体二极管伏安特性的测定	32
§ 4.4 示波器的使用	36
§ 4.5 电桥法测电阻/用箱式电桥测铜电阻的电阻温度系数 α	45
§ 4.6 薄透镜焦距的测定	50
§ 4.7 牛顿环和劈尖干涉	56
§ 4.8 用分光计测三棱镜顶角	61
§ 4.9 迈克耳逊干涉仪的使用	68
§ 4.10 箱式电位差计的使用及热电偶温差电动势的测定	72

§ 4.11	磁感应强度的测定	75
§ 4.12	声速的测定	79
§ 4.13	双光束干涉测光波波长	85
§ 4.14	衍射光栅常数和谱线波长的测量	91
§ 4.15	照相技术	95
第 5 章	物理实验研究与拓展	100
§ 5.1	物理实验常用的基本测量方法	100
§ 5.2	分光计的等距离调节法	106
§ 5.3	关于牛顿环调整的误差考虑	108
§ 5.4	分光计的调节技巧	110
§ 5.5	光电效应实验对原创能力的培养	112
§ 5.6	磁感应强度的测定实验对原创能力的培养	116
§ 5.7	数码摄影简介	120
§ 5.8	大学物理实验创新试题的命题思路探索与实践	125
第 6 章	习题	130
§ 6.1	选择题	130
§ 6.2	填空题	145
§ 6.3	判断题	149
§ 6.4	计算题	152
附录一	《大学物理实验》考试(笔试)样卷	155
附录二	习题参考答案	159

第①章

如何学好大学物理实验

§ 1.1 物理实验在物理学发展史上的重要性

物理学是人类认识自然界的基础,它揭示和阐述了物质世界基本构成及其运动和相互作用的基本规律。当今物理学已是现代科学的基石,也是现代前沿技术的先导和源泉。纵观今天,从我们普遍使用的手机、电视、MP3、笔记本电脑等日用家电产品,到医学上用的B超、X光、CT等,到航空航天技术乃至核能源、核武器技术,无不深深地植根于物理科学的成就之上。物理学是有生命力和富有成果的学科,它对社会发展具有极大的影响力。

物理学是一门实验科学,发现新的物理现象、探索物理规律、验证物理理论等都离不开实验,在整个物理学的发展过程中物理实验一直起着十分重要的作用,离开了实验,物理学理论就变得苍白无力,不可能得到发展。

16世纪意大利物理学家伽利略首先把科学实验方法引入物理学研究中,从而使物理学走上真正的科学道路。力学中的许多基本定律,如自由落体定律、惯性定律等都是由伽利略通过实验发现和总结出来的。17世纪,牛顿在伽利略、开普勒长期实验工作的基础上,建立了完整的经典力学理论。

电磁学研究是从卡文迪许和库仑开始的,1772年卡文迪许精密地用实验证明静电力与距离的平方成反比,1785年库仑用自己发明的扭秤建立了静电学中著名的库仑定律,库仑定律是电学发展史上的第一个定量规律,它使电学的研究从定性进入定量阶段,是电学史中重要的里程碑。电流的磁效应是奥斯特在1820年的一次课堂教学中,观察到通电导线会引起附近小磁针的偏转时发现的,电与磁结合起来,从此有了“电磁学”这一名词。接着安培又设计研究了通电导线之间的相互作用,并在1822年建立了安培定律。既然电能产生磁,磁能否产生电呢?法拉第进行了10年之久的实验研究,终于在1831年首次发现了电磁感应现象,总结出了电磁感应定律,并提出了场的概念。麦克斯韦把法拉第的思想发展统一成完整的电磁场理论,预言了电磁波的存在,并指出光也是一种电磁波,这是物理学史

上一次重大的变革,这一预言由德国物理学家赫兹于 1886 年通过实验证明,从而使电磁场理论的地位得以确立。在对光的本性的认识中,牛顿倡导的微粒说和惠更斯主张的波动说进行了长期争论,最后由托马斯-杨的双缝干涉实验使波动说得以确认,并由光电效应等实验说明光具有波-粒二象性。这些历史事实说明了物理实验结果在物理概念的提出、物理理论的确立及被公认的过程中起到了关键作用。

经典物理学的基本定律几乎都是实验结果的总结与应用。19 世纪以前,没有纯粹的理论物理学家,所有的物理学家都亲自从事实验工作。“两朵乌云”(指当时经典物理学无法解释的两个实验,即黑体辐射实验和迈克尔逊-莫雷实验)、“三大发现”(X 射线、放射性和电子)揭开了近代物理的序幕,随着物理学的深入发展,研究越来越复杂,出现了以理论研究为主和以实验研究为主的分工。但是,即使是理论物理学家也绝对离不开实验研究工作。20 世纪最杰出的理论物理学家爱因斯坦因成功解释光电效应的实验现象在 1921 年获得诺贝尔物理学奖,而爱因斯坦具有划时代意义的相对论却没有获得诺贝尔奖,原因就是当时这一理论缺乏实验支持,后来经过长期大量的实验,相对论才最终被人们接受。

诺贝尔物理学奖从 1901 年第一次授奖至今已有百余年的历史,有近 150 名获奖者,其中因物理实验方面的伟大发现或发明而获奖的占三分之二以上。如 1901 年,首届诺贝尔物理学奖得主德国人伦琴因发现 X 射线而获奖。著名的美籍华人杨振宁、李政道于 1956 年提出在弱相互作用中宇称不守恒理论,次年,这一理论预见到吴健雄小组的实验证实,因此杨振宁和李政道获得了 1957 年诺贝尔物理学奖。

可以毫不夸张地说,没有物理实验就没有物理学的发展。物理实验不仅对物理学的研究极其重要,对于物理学在其他学科的应用也十分重要。物理学的发展使世界发生了巨大的变化,现代高新技术的出现正是物理学在各行各业应用的结果。在信息技术中,现代传感遥感技术、现代通信技术、计算机技术都与物理学密切相关;在材料科学中,超导材料、磁性材料、纳米材料与纳米加工、先进陶瓷材料、新型金属材料等都与物理学密切相关;在生命科学中,光学显微镜、扫描隧道显微镜(STM)、原子力显微镜(AFM)等都是物理学的应用;在医学中,X 光透视、B 超诊断、CT 诊断、核磁共振诊断以及放射性治疗、激光治疗、 γ 刀等都是物理学的应用;在能源科学中,蒸汽机的发明和利用、电能的利用、原子能的利用都和物理学紧密相关。如今,物理学又为新能源——核电站的发展、太阳能、地热能、海洋能、风能的开发和利用以及可控热核聚变的研究提供了新的途径和方法;在军事科学中,光学武器、声波武器、电磁波武器、核武器等都是物理学最新成就的应用。物理学已经渗透到各个学科领域,而这种渗透都和物理实验密切相关。

§ 1.2 大学物理实验课的重要性

物理实验在物理学的发展中起了重要的作用,今后在探索和开拓新的科技领域中,物理实验仍是强有力的工具。物理实验技术和工程技术相融相通,大学物理实验是工程技术的基础。工程技术要不断地探索新理论、新材料、新工艺,为此要进行科学实验,有关实验方法的设计、仪器的选择、数据的记录与处理等在物理实验这门课程中都将涉及,所以,大学物理实验课是工科学生必修的基础课,是学生进入大学后接受系统科学实验知识和技能训练的开端,是今后从事科学研究的基础,它在培养学生发现、观察、分析、研究、解决问题的能力方面,在提高学生科学素养、培养学生思维和创造能力、激发学生强烈的求知欲望、锻炼学生严谨的科学作风和坚韧的苦干精神等方面都起着至关重要的作用,该课程将为学生今后进一步学习和工作打下良好的基础。

§ 1.3 如何学好大学物理实验

大学物理实验课具有其他课程无法替代的重要性,学生必须重视大学物理实验,学好大学物理实验。那么怎样才能学好大学物理实验课呢?要求同学们严格做到以下三点:

1. 认真预习

预习至关重要,它决定着实验能否顺利进行以及收获的大小。学生在实验前必须认真预习,作好实验前的准备工作,做到有的放矢。可以通过阅读教材、上网或到图书馆查阅有关实验内容,了解实验的全貌,明确该实验的目的要求、实验原理、具体操作步骤,知道实验中需要测量哪些数据,并对所用仪器的构造原理、操作方法和注意事项做到心中有数,在此基础上根据实验要求画好数据记录的表格。

2. 认真完成实验

学生进入实验室要严格遵守实验室的操作规程和安全规则。做实验时,要胆大心细、一丝不苟,按照要求正确操作仪器,细心观察实验现象,认真记录数据。如在实验的过程中遇到问题,不要出现畏难情绪、马上求助于教师或抄几个数据草草了事,而应该把它看成是学习的良好机会,要积极思考,尝试独立排除实验故障,做实验并不是为了测量几个数据,关键是锻炼自己分析、研究和解决问题的能力。

记录实验数据要真实,这是一个科学工作者的基本道德素养。在大学物理实

验中,实验结果往往是已知的或是公认值,如果出现实验结果和公认值不一致的情况,千万不要伪造和篡改实验数据,认为实验结果与公认值越接近实验做得越好,实际上只要找到不一致的原因所在就可以了,过程比结果更重要。

实验结束时,要把原始实验数据记录交给教师审阅,经教师认可签名,并整理好仪器后才能离开实验室。

3. 认真书写实验报告

实验完成后,要认真书写实验报告。书写实验报告是对实验过程和实验结果的全面总结,也是为了训练同学们以书面形式汇报工作成果的能力,具体要求详见第二章。

第②章

怎样撰写物理实验报告

按照一定的格式和要求表达实验过程和结果的文字材料称为实验报告。它是实验工作的全面总结和系统概括,是实验工作中不可缺少的一个环节。写实验报告的过程,是对所测取的数据加以处理,对所观察的现象加以分析并从中找出客观规律和内在联系的过程。因此,书写实验报告,对于理工科大学生来讲,是一种必不可少的基础训练,同时也是培养学生将来从事科学研究和工程技术开发论文书写的基础,同学们应认真对待。书写实验报告要使用统一规格的实验报告纸,要求字迹端正、文字通顺、内容简明扼要、数据记录整洁、图表规范、结果正确、讨论认真。

一份完整的实验报告通常包括下述内容:①实验名称;②实验目的;③实验原理;④实验仪器设备;⑤实验内容及步骤;⑥数据记录及处理;⑦小结或讨论;⑧原始实验数据草表。该表作为附件附在实验报告后面,交实验报告时一并交给指导老师。

1. 实验名称

实验报告的名称,又称标题,列在报告的最前面。实验名称应简洁、鲜明、准确。字数要尽量少,一目了然,能恰当反映实验的内容。

2. 实验目的

实验目的,通常教材都给予明确阐述,但在具体实验过程中,有些内容并不进行,或实验内容作了改变。因此,不能完全照书本上抄,应按课堂要求并结合自己的体会来写,简明扼要地说明为什么要进行本实验,实验要解决什么问题。

3. 实验原理

在理解的基础上,用简短的文字扼要地阐述实验原理,切忌整篇照抄,力求做到图文并茂。具体要求如下:

(1) 画出必要的电路图、光路图或实验装置示意图,如图不止一张,应依次编号。

(2) 必须有简明扼要的语言文字叙述,用自己的语言进行归纳阐述,文字务必清晰、通顺。

(3) 写明实验所用的公式及简要的推导过程,说明式中各物理量的意义和单位,以及公式的适用条件。

4. 实验仪器设备

每一个实验中用到的仪器设备是根据实验内容的要求来配置的,在书写这部分内容时应根据实验的实际情况如实记录仪器的名称、型号、规格和数量,不要照抄教材。电磁学实验中普通连接导线不必记录,或写上导线若干即可,但特殊的连接电缆必须注明。

5. 实验内容及步骤

简明扼要地写出实验的主要内容,根据实际操作程序,按时间的先后划分为几个步骤,并在前面标上 1, 2, 3, ..., 使实验内容的记录条理清晰。

6. 数据记录及处理

数据记录是将实验过程中记录在原始数据记录表格里、从测量仪表所读取的实验数据,重新整理填入画好的数据表格。

数据处理是把测量所得的原始数据根据误差估算、测量结果的表示方法以及数据处理的基本方法来进行处理。如采用作图法、图解法时,根据作图法的要求,画出相关的曲线后再求解。

7. 小结或讨论

这部分内容不限,可以从理论上对实验结果进行客观的评价、对实验中出现的异常现象进行讨论、分析误差的大小和产生的原因,以及如何提高测量精度、指出实验中存在的问题、总结实验的收获或心得体会、回答问题等。

附:实验报告范例

一、实验名称

衍射光栅常数和谱线波长的测定。

二、实验目的

1. 进一步掌握分光计的调节和使用方法。
2. 观察光栅衍射现象,测定光栅常数和汞原子光谱的部分谱线的波长。

三、实验原理

如图 2-1 所示,根据夫琅和费的衍射理论,当一束平行单色光垂直入射到光栅面上时,光通过每个狭缝都发生衍射,所有狭缝的衍射光又彼此产生干涉。相邻两狭缝对应点射出的光线到达 P 的光程差为 $\Delta = d \sin \varphi_k$, 当此光程差等于入射光波长 λ 的整数倍时,多光束干涉使光振动加强,则产生一明条纹。光栅衍射产生明条纹的条件为

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

(2-1)式称为光栅衍射方程,若已知某一条光谱线的波长为 λ ,测出该光谱线第 k 级明纹对应的衍射角 φ_k ,便可计算出所使用光栅的光栅常数 d ,反过来也可以

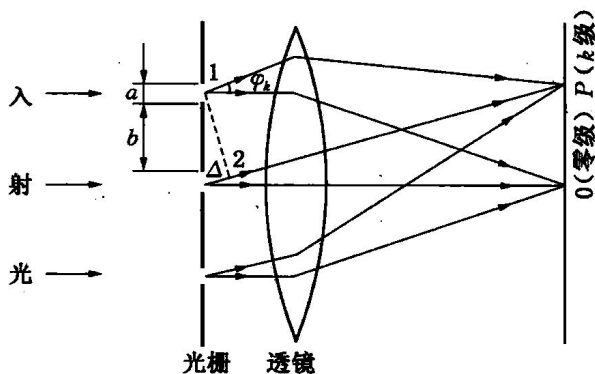


图 2-1

用此计算波长 λ 。

四、实验仪器

JJY-1 型分光计、复制光栅、汞灯各 1 件。

五、实验内容和步骤

(一) 调节分光计

1. 平行光管发出平行光

点亮汞灯,让光线从狭缝端射入平行光管,将望远镜转至正对平行光管位置,调节光源位置及狭缝宽度,使视场明亮且缝宽约 $0.5 \sim 1 \text{ mm}$,松开狭缝装置锁紧螺钉,旋转狭缝装置使狭缝竖直,前后伸缩狭缝装置,使狭缝像边缘清晰,并与叉丝间无视差,此时平行光管发出平行光。

2. 使平行光管光轴与分光计中心轴垂直

看到清晰的狭缝像后,松开目镜筒锁紧螺钉,旋转目镜筒呈如图 2-2 所示位置,调节平行光管倾斜螺钉使狭缝像被分划板的水平叉丝平分,如图 2-3 所示,这时平行光管光轴已与分光计中心轴垂直,并保持狭缝像最清晰并且无视差。

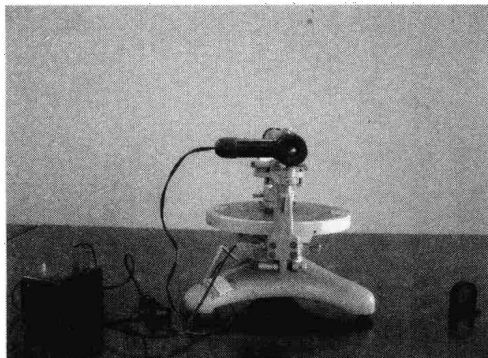


图 2-2

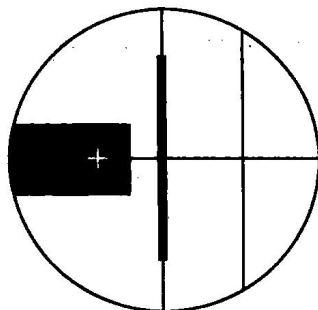


图 2-3

(二) 调节光栅

1. 使光栅平面与平行光管的光轴垂直

在使平行光管光轴与分光计中心轴垂直的基础上,将光栅按如图 2-4 所示的位置放到载物台上,按照分光计调节中调节望远镜光轴与分光计主轴垂直这一步采用的自准直法和各半调节法,使从光栅平面正反两面反射回来的十字像都在分划板“十”形叉丝的上方交点上,望远镜光轴垂直光栅平面正反两面,也就是望远镜光轴垂直分光计主轴,又因为平行光管光轴已垂直于分光计中心轴,所以平行光管光轴垂直于光栅平面,调好的标志如图 2-5 所示。

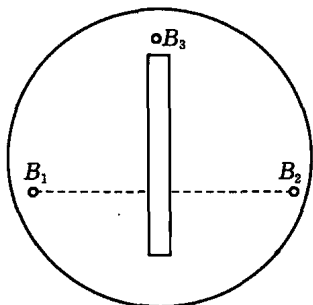


图 2-4

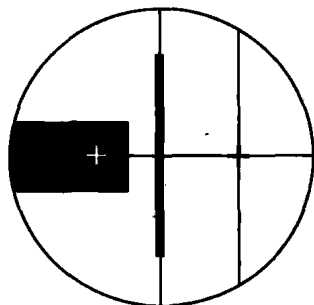


图 2-5

2. 使光栅条纹(刻痕)与分光计主轴平行

旋转望远镜,观察衍射光谱的分布情况,如果观察到的正、负级谱线不等高,这表明光栅刻痕与分光计主轴不平行。可调节载物台下的水平调节螺丝 B_3 ,使中央零级谱线两边的谱线等高。

(三) 测量各级衍射角

本实验只要求测出 ± 1 级谱线的衍射角 φ_1 。实际只要测出 -1 级和 $+1$ 级谱线的方位角 θ_{-1} 和 θ_{+1} ,两者差值绝对值的一半即为一级谱线的衍射角 φ_1 , $\varphi_1 =$

$$\left| \frac{\theta_{+1} - \theta_{-1}}{2} \right|。$$

六、数据记录及处理

(一) 数据记录

实验数据记录如表 2-1 所示。

(二) 数据处理

1. 计算光栅常数 d 。

$$\text{已知汞绿谱线的波长 } \lambda = 546.1 \text{ nm, 光栅常数 } d = \frac{\lambda}{\sin \varphi_{1\text{汞}}} = \frac{546.1}{\sin 19^\circ 2'} =$$

1 674.5 nm。

表 2-1

		θ_{+1}	θ_{-1}	φ_1	$\bar{\varphi}_1$
紫	左游标读数	286°20′	256°16′	15°2′	15°2′
	右游标读数	106°21′	76°18′	15°2′	
绿	左游标读数	290°22′	252°19′	19°2′	19°2′
	右游标读数	110°23′	72°20′	19°2′	
黄 1	左游标读数	291°28′	251°10′	20°9′	20°9′
	右游标读数	111°29′	71°11′	20°9′	
黄 2	左游标读数	291°29′	251°9′	20°10′	20°10′
	右游标读数	111°30′	71°10′	20°10′	

2. 计算汞紫线、汞黄 1 线、汞黄 2 线的波长, 并计算测量值和标准值之间的百分误差 E 。

$$(1) \lambda_{\text{紫测}} = d \sin \bar{\varphi}_{1\text{绿}} = 1\,674.5 \times \sin 15^\circ 2' = 434.3 \text{ nm},$$

已知 $\lambda_{\text{紫标}} = 435.1 \text{ nm}$, 则

$$E_{\text{紫}} = \frac{|\lambda_{\text{紫测}} - \lambda_{\text{紫标}}|}{\lambda_{\text{紫标}}} \times 100\% = \frac{|434.3 - 435.1|}{435.1} \times 100\% = 0.18\%.$$

$$(2) \lambda_{\text{黄1测}} = d \sin \bar{\varphi}_{1\text{黄1}} = 1\,674.5 \times \sin 29^\circ 9' = 576.8 \text{ nm},$$

已知 $\lambda_{\text{黄1标}} = 577.0 \text{ nm}$, 则

$$E_{\text{黄1}} = \frac{|\lambda_{\text{黄1测}} - \lambda_{\text{黄1标}}|}{\lambda_{\text{黄1标}}} \times 100\% = \frac{|576.8 - 577.0|}{577.0} \times 100\% = 0.035\%.$$

$$(3) \lambda_{\text{黄2测}} = d \sin \bar{\varphi}_{1\text{黄2}} = 1\,674.5 \times \sin 20^\circ 10' = 577.3 \text{ nm},$$

已知 $\lambda_{\text{黄2标}} = 579.0 \text{ nm}$, 则

$$E_{\text{黄2}} = \frac{|\lambda_{\text{黄2测}} - \lambda_{\text{黄2标}}|}{\lambda_{\text{黄2标}}} \times 100\% = \frac{|577.3 - 579.0|}{579.0} \times 100\% = 0.29\%.$$

七、回答问题

1. 测量时, 平行光管的狭缝宽度要适当, 太宽或太窄可能会产生什么后果?

答 如果平行光管的狭缝宽度太宽, 观察到的谱线太宽且分不出黄 1 和黄 2 谱线, 会造成较大的测量误差; 如果平行光管的狭缝宽度太窄, 观察到的谱线不够亮, 甚至观察不到谱线, 会给测量造成困难, 所以平行光管的狭缝宽度要适当。

2. 测量衍射角为什么要测量衍射光士 1 级光线间的夹角?

答 测量衍射角一般都是测量衍射光士 1 级光线间的夹角, 即测出的是 $2\varphi_1$,

然后再求得衍射角 φ_1 , 这样实际上是把同级正负衍射角取了平均值, 采用这种方法可以减小由于平行光没有垂直入射光栅平面而使同级正负方向衍射角不对称引起的系统误差。

八、附原始实验数据草表(略)