



普通高等教育“十二五”规划教材
21世纪高等学校创新教材

大学物理实验

——基本篇

第三版

李端勇 吴 锋 主编



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

21 世纪高等学校创新教材

大学物理实验——基本篇

(第三版)

李端勇 吴 锋 主编

科学出版社

北 京

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

内 容 简 介

本书按照教育部《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》,根据普通工科院校大学物理实验教育教学的特点与任务,在对《大学物理实验——基本篇》(第二版)和《大学物理实验——提高篇》(第二版)作了较为全面的修订、更新与补充的基础上修改而成的,仍分两册。

本书为基本篇,系统地介绍了大学物理实验课程的任务与基本要求,较为全面地阐述了实验中的常用仪器及其相关知识,以及常用的测量方法,按不同的层次编入了综合应用力、热、电、光各领域的物理实验方法和技术的实验,有助于学生深入理解物理实验的设计思想和实验方法,培养学生的创新思维 and 理论与实践相结合的能力。

本书可作为高等学校本专科及高职高专工科各专业的大学物理实验课程教材,也可作为相关人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验. 基本篇/李端勇,吴锋主编. —3版. —北京:科学出版社,2012.7
普通高等教育“十二五”规划教材 21世纪高等学校创新教材
ISBN 978-7-03-035161-6

I. 大… II. ①李… ②吴… III. 物理学—实验—高等学校—教材 IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 162085 号

责任编辑:吉正霞 蔡 莹 / 责任校对:董艳辉

责任印制:彭 超 / 封面设计:苏 波

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

京山德兴印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

开本: B5(720×1000)

2012 年 7 月第 三 版 印张: 22 1/4

2012 年 7 月第一次印刷 字数: 448 000

定价: 38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书按照教育部颁布的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》，根据普通工院校大学物理实验教育教学的特点与任务，对《大学物理实验——基本篇》（第二版）作了较为全面的修订、更新与补充。本书力求突出时代特色，采取由浅入深、循序渐进的方式编排实验内容，力求做到实验原理简明扼要，实验公式推导完整，实验方法清晰合理，数据处理要求规范。

本书系统地介绍了大学物理实验课程的任务与基本要求，较为全面地阐述了测量误差、不确定度及数据处理的基础知识，大学物理实验中的常用仪器及其相关知识，以及实验中常用的测量方法。在不确定度理论的介绍中，我们从大学物理实验教学的实际出发，由详到简，便于学生学习和具体应用。本书按不同的层次编入了较多综合应用力、热、电、光各领域的物理实验方法和技术的实验，有助于学生深入理解物理实验的设计思想和实验方法，培养学生的创新思维和理论与实践相结合的能力。本书各章节的内容既相对独立，又相互配合，且循序渐进，可作为高等工院校、高等职业学校和高等专科学校工科各专业的大学物理实验课程的基本教材。

本书由李端勇、吴锋担任主编，全书由李端勇、张昱、秦平力、余雪里共同编修。第三版保留了第二版的大部分实验项目，这些项目由李端勇、吴锋、余仕成、胡亚联、何菊明、罗晔、刘培娇、黄淑芳、岑敏锐、张昱、余雪里、秦平力、熊伦、汤朝红、刘敏敏、俎凤霞、魏巧、黄河、吴涛等负责编写。徐志立、殷勇、刘阳、周幅红、柳惠平等参与编写了新增内容。

实验教学是一项集体事业，从实验内容的确定、实验项目的建设、实验讲义的编写，直到实验教学的完成，都是从事实验教学的教师和实验技术人员共同劳动的成果，编者在此对为本书内容积淀做出贡献的教师表示感谢，对为本书出版付出努力和提出宝贵建议的人深表感谢。同时，一些兄弟院校的实验教材也为本书的编写提供了很好的借鉴，借此机会，一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正，以便再版时订正。

编 者

2012年3月于武汉工程大学

目 录

前言

绪论	1
一、物理实验的地位和作用	1
二、物理实验的基本环节	2
三、物理实验室规则	3
第一章 物理实验的基本调整和操作技术	4
一、水平、铅直调整	4
二、零位调整	4
三、电学实验接线规则	4
四、光学仪器操作规则	5
五、先定性观察、后定量测量的原则	7
六、逐次逼近法	7
第二章 误差理论和数据处理的基础知识	8
第一节 有效数字	8
一、有效数字	8
二、数值的舍入修约规则	9
三、有效数字的计算规则	10
第二节 误差的基本概念	12
一、测量	12
二、测量误差	12
第三节 不确定度的基本概念	16
一、表征测量结果质量的指标	16
二、不确定度的分类及合成方法	17
三、不确定度与误差	17
第四节 直接测量结果与不确定度的估算	18
一、测量值的最佳值——算术平均值	18

二、直接测量结果不确定度的估算	18
三、相对不确定度	21
四、直接测量结果的表示方法	21
第五节 间接测量结果与不确定度的估算	22
一、间接测量结果的最佳值	22
二、误差传递公式	23
三、不确定度的传递公式	23
四、间接测量的结果表示方法	24
第六节 数据处理的常用方法	28
一、列表法	28
二、作图法	28
三、图解法	30
四、逐差法	31
五、最小二乘法	33
第七节 常用仪器的仪器误差	37
一、钢卷尺	37
二、游标卡尺	37
三、外径螺旋测微器	38
四、天平	38
五、电流表、电压表	39
六、直流电桥	39
七、直流电位差计	40
八、直流电阻箱	41
习题	42
第三章 常用仪器	43
第一节 电磁测量小仪器	43
一、电阻与电阻箱	43
二、电容与电容箱	47
三、电流、电压测量仪表	48
四、万用表	55
五、电源	57
第二节 光、机测量小仪器	57
一、游标与螺旋测微器	57
二、光杠杆	60

三、常用光源	61
四、各种镜片	63
五、电子天平 MP502B	64
第三节 示波器	65
一、示波器的介绍	65
二、几种常见示波器的介绍	68
第四节 信号发生器	92
一、CA1640 型函数信号发生器	92
二、KH-1 型数控智能函数信号发生器	95
三、HG1200 型函数信号发生器/计数器	97
第五节 显微镜	100
一、金相显微镜 4XB-C	100
二、生物显微镜 37XB	103
三、读数显微镜 JCD ₃	106
第四章 基础实验	108
实验一 密度测量	108
实验二 气垫导轨上的碰撞实验	112
实验三 刚体转动惯量测定	117
实验四 光杠杆法测杨氏模量	128
实验五 动态法测量金属的杨氏模量	134
实验六 冷却法测固体比热容	140
实验七 金属线膨胀系数	146
实验八 液体黏性系数的测定	149
实验九 液体表面张力系数测定	154
实验十 气体比热容比的测定	158
实验十一 板式电位差计测电源电动势	162
实验十二 用箱式电势差计校正电表	166
实验十三 示波器的使用	172
实验十四 静电场的描绘	180
第五章 综合实验	187
实验十五 弦振动实验	187
实验十六 热电阻温度特性测量	194
实验十七 超声声速测定	201

实验十八	利用声光效应测液体中声速	208
实验十九	手动单缝衍射光强的测定	213
实验二十	双缝衍射的光强分布和缝宽的测定	216
实验二十一	分光计的调节和使用	220
实验二十二	光栅衍射	230
实验二十三	铁磁物质动态磁滞回线的测试	237
实验二十四	电子束的偏转	243
实验二十五	用霍尔元件测量磁场	248
实验二十六	RLC 电路的暂态过程	254
实验二十七	RL、RC 电路的稳态过程	262
实验二十八	非均匀磁场测量	267
实验二十九	半导体 pn 结的物理特性及弱电流测量	272
实验三十	非线性电路混沌实验	278
实验三十一	方波的傅里叶合成实验	283
实验三十二	用磁聚焦法测定电子的荷质比	287
实验三十三	非平衡电桥的原理和设计应用	291
第六章	双语教学实验	301
实验三十四	牛顿环测曲率半径	301
Lab 34	Newton's Ring	305
实验三十五	偏振光	310
Lab 35	Polarization of Light	315
实验三十六	光电效应及普朗克常量测定	321
Lab 36	Photoelectric Effect	325
实验三十七	迈克耳孙干涉仪的调节与使用	330
Lab 37	Michelson Interferometer	336
参考文献		348

绪 论

一、物理实验的地位和作用

物理学以认识物质世界的本质属性,研究物质运动的基本规律为己任。作为自然科学的带头学科,物理学已经渗透到几乎一切自然科学和技术学科之中。物理学为现代科学技术文明奠定了决定性的基石。无论是一般技术还是高新技术,都能找到物理学的“影子”。科学技术是生产力,作为基础科学的物理学尤为如此。纵观整个近代文明史,物理学的每一次重大突破,都对社会生产力的发展产生了决定性的影响。热力学的创立与应用,促进了以蒸汽机为代表的第一次工业革命;电磁学的发展与完善,产生了以电气化为特征的第二次工业革命;20世纪以来物理学的一系列重大进展和突破,把我们今天的社会带入了计算机、激光、太空、核能、生物工程等高新技术的时代。由于物理学在过去、现在和将来都对社会经济、科学技术的发展起着如此重要的作用,因此掌握物理学的基本知识,就成为各类专业科技人才必备的条件。

作为自然科学基础的物理学,本质上是一门实验科学。物理概念的建立和物理规律的发现都以严格的实验事实为基础,并且不断受到实验的检验。在科学技术高度发展的今天,科学实验的重要性更加突出了。在实验中,借助各种仪器,人们可以突破感观的限制,扩展对自然科学现象的观察范围,增加观察和测量的精确程度,实现自然界中难以存在的,或虽存在但难以直接观测的环境和条件(如极高、极低温度,极大、极小压强等)。在实验中还可以按照人们的需要,设计安排一定的环境和方法,尽可能地消除其他各种因素的影响,突出地观测某两个因素之间的相互关系,并可在相同条件下多次重复,以保证测量结果的准确性。物理实验是整个实验科学的重要组成部分,它的方法具有一定的普遍性。今后在探索和开拓新的科技领域的过程中,物理实验仍然是一个有力的工具。大学物理实验是理工科学生进行科学基础训练的重要实践性环节,是和大学物理并行开设的一门实验课程。可以说,大学物理实验课是学习或从事科学实验的起步。大学物理实验的目的是让学生学习获得基本的实验知识,在实验方法、实验技能和实验数据处理等方面受到较为系统和严格的训练,培养学生严肃认真的科学态度和实事求是的科学精神,提高学生的科学素质。

二、物理实验的基本环节

物理实验有自己的特点和规律,有自己的实验理论、实验方法和实验技能,因此,为了学好大学物理实验课,学生必须掌握好三个基本环节。

1. 实验预习

预习是实验的准备阶段。只有认真做好预习,才能在有限的实验时间内做好实验。在实验课前要仔细阅读实验教材或有关资料,写出预习报告。预习报告包括以下内容:

- (1) 实验目的。扼要说明该实验所要解决的中心问题。
- (2) 实验仪器。说明所需用的仪器型号、规格和量程。
- (3) 实验原理。简要阐述实验所依据的物理定律或主要公式,在电学和光学实验中,要求画出电路原理图和光路简图。
- (4) 实验方法。拟定测量计划、实验步骤或操作程序。
- (5) 数据表格。设计好测量数据记录表格,以便实验时填写。

只有经过充分预习,才能了解做好实验的关键所在,才可能主动、积极地去进行实验。事先不预习,实验时抱着讲义,看一步做一步的作法是不可能做好物理实验的。

2. 实验操作

学生进入实验室后应遵守实验室规则,像一个科学工作者那样要求自己,井井有条地布置仪器,安全操作,细心观察实验现象,认真钻研和探索实验中的问题。不要期望实验工作会一帆风顺,在遇到问题时,应看做是学习的良机,冷静地进行分析 and 处理。仪器发生故障时,也要在教师指导下学习排除故障的方法。总之,要把着重点放在实验能力的培养上,而不是测出几个数据就以为完成了任务。对实验数据要严肃对待,学生要用钢笔和圆珠笔记录原始数据。如果的确是记错了,也不要涂改,应轻轻划上一道痕迹,在旁边写上正确值(错误多的需重新记录),使正误数据都能清晰可辨,以供在分析测量结果和误差时参考;不要先草记在另外的纸上再誊写在数据表格里,这样容易出错,而且这已不是“原始记录”了。学生要注意纠正自己的不良习惯,从一开始就不断培养良好的科学作风。实验结束时,将实验数据交给教师审阅签字,整理还原仪器后方可离开实验室。

3. 实验报告

实验报告是实验工作的全面总结。撰写实验报告时,要求文字通顺,字迹端正,图表规整,运算清晰,结果正确,讨论深刻。实验报告的一般内容包括:

- (1) 实验名称。
- (2) 实验目的。
- (3) 实验原理。简要叙述有关物理内容(包括电路图或光路图或实验装置示

意图)及测量中依据的主要公式,式中各量的物理含义及单位,公式成立应满足的实验条件等。

(4) 实验方法。根据实际的实验过程写明关键步骤和注意要点。

(5) 数据表格与数据处理。实验记录中应有仪器编号、规格及完整的实验数据。要完成计算,画好曲线图,并进行误差分析。

(6) 实验结果。

(7) 小结、讨论或者回答思考题。

三、物理实验室规则

(1) 带上预习报告,经老师检查同意后方可进行实验。

(2) 遵守实验纪律,不得迟到早退,不得下位、串组,应保持实验室的安静和卫生。

(3) 使用电源时,务必经过教师检查线路后才能接通电源。

(4) 爱护仪器。进入实验室不能擅自搬弄仪器,实验中严格按仪器说明书操作,如有损坏,照章赔偿。公用工具用完后应立即归还原处。

(5) 做完实验,学生应将仪器整理还原,将桌面和凳子收拾整齐,经教师审查测量数据和仪器还原情况并签字后,方能离开实验室。

(6) 原始实验记录一式二份,其中一份交给实验指导老师存档。

(7) 实验报告应在实验后一周内交给实验室负责老师。

第一章 物理实验的基本调整和操作技术

本章介绍一些最基本的且具有一定普遍意义的实验调整技术,以及电学实验、光学实验的基本操作规则。掌握这些基本技能,是完成实验基础训练的重要保证。学生在做有关实验之前,应认真阅读这些内容,以便培养严谨的科学作风和良好的实验习惯。

一、水平、铅直调整

在实验测量中,借助于垂球或水准器可将某些仪器或仪器的某部分调整到水平和铅直状态,如平台的水平或支柱的垂直等。绝大部分需要调整水平或铅直状态的实验装置在底座上装有三个调节螺钉。三个螺钉的连线一般成等边三角形。

用垂线调整铅直时,只要调节下悬的垂球尖端与立柱底座的尖头相互对准即可;用气泡水准器调整时,要使气泡居中。

二、零位调整

为了消除零点误差,在实验测量前应先将仪器调整到零位。对于具有零位校准器的仪器,如指针式电表等,应在测量前调节零位校准器,将仪器调整到零位;对于没有零位校准器或经常调零不方便的仪器,如螺旋测微器等,应在测量前先记下初始读数作为零点修正值,以便修正测量结果。

三、电学实验接线规则

(1) 接线前要合理安排仪器,根据布线合理、操作方便、实验安全的原则布置仪器。参照线路图,将需要经常操作的仪器放在近处,需要读数的仪表放在眼前。

(2) 在理解线路原理的基础上,按回路接线法接线和查线。根据线路图,从电源正极开始经过一个回路回到电源负极,再从已接好的回路中某段分压的高电位点出发接下一个回路,然后回到低电位点。这样一个回路接着一个回路地接线,检查线路时也这样按回路查线,这是电学实验接线和查线的基本方法。接线时要注意走线美观整齐,避免不必要的交叉。

(3) 线路接好后,先不要接通电源。要仔细检查有无错误或遗漏,各电路器件是否放在正确位置(如电源输出是否使电路中电流最小或电压最低的位置,开关是否断开,电阻箱是否放到预计的阻值,电表量程是否合适,接头是否牢靠等)。自己检查线路和预置安全位置后,应请指导教师复查,才能接通电源。

必须自觉养成在通电之前仔细按回路检查线路的习惯,力求安全、准确。

(4) 接通电源时应做瞬态试验。先试通电源,及时统观各指示仪表的反应,根据仪表示值等现象判断线路有无异常。若出现异常,应立即断电进行检查;若情况正常,就可以正式开始实验。

(5) 注意安全,严防电源短路。在通电情况下,不得改接线路。实验完毕拆线时,首先应将接在电源上的导线拆掉。实验过程中若发生故障,必须首先切断电源。

(6) 实验完成后,经教师检查实验数据后再拆线。将所有仪器用具整理好放回原来位置并清理周围环境,才能离开实验室。

四、光学仪器操作规则

光学实验是普通物理实验的一个重要部分。这里先介绍光学实验中经常用到的知识和调节技术。

1. 光学元件和仪器的维护

透镜、棱镜等光学元件,大多数是用光学玻璃制成的。它们的光学表面都经过仔细地研磨和抛光,有些还镀有一层或多层薄膜。这些元件或材料的光学性能(如折射率、反射率、透射率等)都有一定的指标或要求,而它们的机械性能和化学性能可能会很差,若使用和维护不当,就会降低光学性能甚至损坏报废。造成损坏的常见原因有摔坏、磨损、污损、发霉、腐蚀等。为了安全使用光学元件和仪器,必须遵守以下规则:

(1) 必须在了解仪器的操作和使用方法后方可使用。

(2) 轻拿轻放,勿使仪器或光学元件受到冲击或震动,特别要防止摔落。不使用的光学元件应随时装入专用盒内。

(3) 切忌用手触摸元件的光学表面。如必须用手拿光学元件时,只能接触其磨砂面,如透镜的边缘、棱镜的上下底面等,如图 1-1-1 所示。

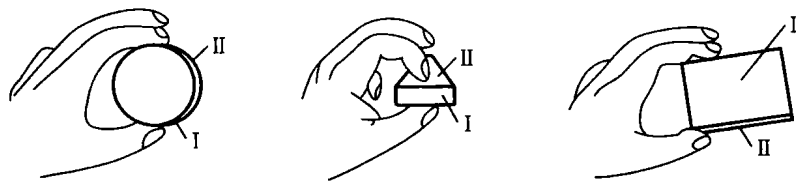


图 1-1-1 手持光学仪器的方式

I-光学面;II-磨砂面

(4) 光学表面上如有灰尘,需用实验室专备的干燥脱脂棉轻轻拭去。

(5) 光学表面上若有轻微的污痕或指印,用清洁的镜头纸轻轻拂去,但不要加压擦拭,更不准用手帕、普通纸片、衣服等擦拭。若表面有较严重的污痕或指印,应由实验室人员用丙酮或酒精清洗。所有镀膜面均不能触碰或擦拭。

(6) 防止唾液或其他溶液溅落在光学表面上。

(7) 调整光学仪器时,要耐心细致,一边观察一边调整,动作要轻、慢,严禁盲目及粗鲁操作。

(8) 仪器用毕应放回箱(盒)内或加罩,防止灰尘沾污。

2. 消视差

光学实验中经常要测量像的位置和大小。经验告诉我们,要测准物体的大小,必须将量度标尺与被测物体紧贴在一起。如果标尺远离被测物体,读数将随眼睛的位置不同而有所改变,难以测准,如图 1-1-2 所示。在光学实验中被测物往往是一个看得见摸不着的像,怎样才能确定标尺和待测像是紧贴在一起的呢?利用视差现象可以帮助我们解决这个问题。为了认识视差现象,读者可做一简单实验:双手各伸出一只手指,并使一指在前、一指在后相隔一定距离,且两指互相平行。用一只眼睛观察,当左右(或上下)晃动眼睛时(眼睛移动方向应与被观察手指垂直),就会发现两指间有相对移动,这种现象称为视差。

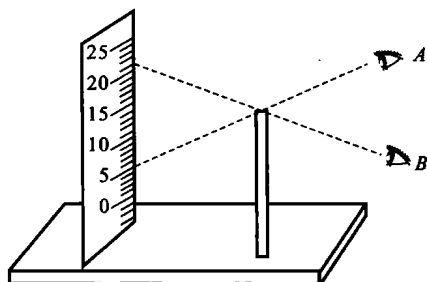


图 1-1-2 眼睛位置不同,所得观测结果不同

而且还会看到,离眼近者,其移动方向与眼睛移动方向相反,离眼远者则与眼睛移动方向相同。若将两指紧贴在一起,则无上述现象,即无视差。由此可以利用视差现象来判断待测像与标尺是否紧贴。若待测像和标尺间有视差,说明它们没有紧贴在一起,则应该稍稍调节像或标尺位置,并同时微微晃动眼睛观察,直到它们之间无视差后方可进行测量。这一调节步骤,我们常称之为消视差。

在光学实验中,消视差常常是测量前必不可少的实验步骤。在用米尺测量长度或在使用电表时,应使视线、指针及指针在平面镜中的像三者重合,即可消除视差。

3. 共轴调节

光学实验中经常要用一个或多个透镜成像。为了获得质量好的像,必须使各个透镜的主光轴重合(即共轴),并使物体位于透镜的主光轴附近。此外透镜成像公式中的物距、像距等都是沿主光轴计算长度的,为了测量准确,必须使透镜的主光轴与带有刻度的导轨平行。为达到上述要求的调节我们统称为共轴调节。共轴调节的方法如下:

(1) 粗调。将光源、物和透镜靠拢,调节它们的取向和高低左右位置,凭眼睛观察,使它们的中心处在一条和导轨平行的直线上,使透镜的主光轴与导轨平行,并且使物(或物屏)和成像平面(或像屏)与导轨垂直。这一步因单凭眼睛判断,调节效果与实验者的经验有关,故称为粗调。

(2) 细调。这一步骤要靠其他仪器或成像规律来判断和调节。不同的装置可能有不同的具体调节方法。下面介绍物与单个凸透镜共轴的调节方法。使物与单个凸透镜共轴实际上是指将物上的某一点调到透镜的主光轴上。要解决这一问题,首先要知道如何判断物上的点是否在透镜的主光轴上。这一点可根据凸透镜成像规律判断。如图 1-1-3 所示,当物 AB 与像

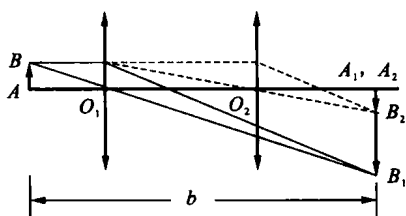


图 1-1-3 共轴调节

屏之间的距离 b 大于 $4f$ 时,将凸透镜沿光轴移到 O_1 或 O_2 位置都能在屏上成像,一次成大像 A_1B_1 ,一次成小像 A_2B_2 ,物点 A 位于光轴上,其两次像点 A_1 和 A_2 都在光轴上而且重合。物点 B 不在光轴上,其两次像点 B_1 和 B_2 一定都不在光轴上,而且不重合。但是,小像的点 B_2 总是比大像的点 B_1 更接近光轴。据此可知,若要将点 B 调到凸透镜光轴上,只需记住像屏上小像的点 B_2 位置(屏上贴有坐标纸供记录位置时作参照物),调节透镜(或物)的高低左右,使 B_1 向 B_2 靠拢。这样反复调节直到 B_1 与 B_2 重合,即说明点 B 已调到透镜的主光轴上了。

若要调多个透镜共轴,则应先将物上点 B 调到一个凸透镜的主光轴上,然后,同样根据轴上物点的像总在轴上的道理,逐个增加待调透镜,调节它们使之逐个与另一个透镜共轴。

五、先定性观察、后定量测量的原则

在一般的情况下,应采取“先定性、后定量”的原则进行实验。这是较为科学的实验方法。先定性地观察实验变化的全过程,对物理现象或物理量的变化规律有一个大致的了解和初步的认识,再着手进行定量测定。这样,一方面可以发现有哪些问题在调整或操作中没有注意到,需要进行补充调整或仔细操作;另一方面由于对整个变化规律已经心中有数,从而可以决定在测量过程中是采取等间距测量或不等间距测量,避免实验测量的盲目性。

六、逐次逼近法

逐次逼近法是一种有效的实验技巧,也是仪器调整和实验测量中应遵循的一条原则。尤其是对于诸如天平、电桥、电位差计等示零仪器更是如此,实验操作时可以利用指零仪表的正偏和反偏来决定“正向区逐次逼近”和“反向区逐次逼近”,这样可以比较迅速地找出平衡点。

此外,为了更准确地确定透镜成像位置,可将光屏由近及远移动,找出成像的清晰位置 x_1 ,再将光屏由远及近地移动,找出成像最清晰的位置 x_2 ,则可断定成像的最佳位置为 $x = (x_1 + x_2) / 2$ 。

第二章 误差理论和数据处理的基础知识

在实验测量中,由于实验方法和实验设备的不完善、周围环境的影响,以及受人们认识能力所限等,测量所得数据和被测量的真值之间,不可避免地存在着差异,这在数值上表现为误差。随着科学技术的日益发展和人们认识水平的不断提高,虽可将误差控制得越来越小,但终究不能完全消除它。因此,必须对测量过程和科学实验中始终存在着的误差进行研究。研究误差的意义主要在如下几个方面:

(1) 正确认识误差性质,分析误差产生的原因,以消除或减小误差。

(2) 正确处理测量和实验数据,合理计算所得结果,以便在一定条件下得到更接近于真值的数据。

(3) 正确组织实验过程,合理设计仪器或选用仪器,采用适当的测量方法,以便在最经济的条件下,得到理想的结果。

本章主要讨论测量、数据记录、测量误差及数据处理等内容。

第一节 有效数字

一、有效数字

1. 有效数字的定义

实验的具体目的之一是获得真实的数据,即真实表达实验对象的数量大小。表达出这些数量大小的就需要用到数字,因此数字是文字符号。如何运用数字符号才能完整地表达出测量的结果的大小呢?有效数字就是一种合理的表达方法。

在表达测量结果的有效数字中,既包含了准确的、没有误差的可靠数字,又包含了具有一定误差的可疑数字。例如,用最小分度值为 1 mm 的直尺测一物体的长度,若该物体比 73 mm 长大约半个刻度,则测量结果可记为 73.5 mm。其中,“7”和“3”是准确读得的,称为“可靠数字”;而“5”是估读出来的,称为“可疑数字”。我们把测量结果中可靠数字和可疑数字的全体统称为有效数字。上例中,73.5 为三位有效数字。

2. 关于有效数字的几点说明

(1) 在非零数字之间或之后的“0”都是有效数字。例如,在上例中,如果物体的末端恰好与 73 mm 刻度线重合,这时测量结果就应记为 73.0 mm,而不能记为

73 mm, 尽管从数字概念上来看, 73.0 和 73 一样大, 小数点后的“0”似乎没有保留的价值; 但从测量和误差的角度看, 73.0 为三位有效数字, 其中的“3”是可靠数字, 而 73 为两位有效数字, 其中的“3”是可疑数字, 二者反映的测量精度不同。

(2) 单位换算不会改变有效数字的有效位数, 即在第一位非零数字之前的“0”不是有效数字。例如, 把 73.0 mm 换算成 0.0730 m, 仍为三位有效数字。

(3) 有效数字的科学表示法。为了方便测量结果的表达, 特别是书写较大或较小的数字时通常写成 $\times 10^{\pm n}$ 的标准形式 (n 为正整数), 这种表示方法称为有效数字的科学表示法。用这种方法记数值时, 通常在小数点前只写一位非零数字。例如, 要把 73.0 mm 换算成微米为单位, 就不应该写成 73 000 μm 。因为这样就变成了五位有效数字, 它歪曲了原来的测量精度, 因而是错误的。为了解决数值太大而有效数字位数不多之间的矛盾, 应将此测量结果表示为 $7.30 \times 10^4 \mu\text{m}$ 。

(4) 无理数的取位。在运算中, π 、 $\sqrt{2}$ 、 $\sqrt{3}$ 等无理数若使用计算器计算则直接按计算器上的按键取用, 以尽量避免因计算而引入的误差; 若无相应数键则按比同式中最少位数的有效数字多一位取用。

二、数值的舍入修约规则

测量值数字的舍入, 首先要确定需要保留的有效数字和位数, 保留数字的位数确定以后, 后面多余的数字就应予以舍入修约, 舍入修约规则一般为“四舍六入五凑偶”: 多余的数字的第一个数等于 5, 而且 5 后全是数字 0, 则把需要保留的有效数字的最后一位凑成偶数 (即 5 前若是偶数, 则把多余的数字全部舍去, 保持这个偶数; 若 5 前是奇数, 则多余的数字要向需要保留的有效数字的最后一位进 1, 将这个奇数凑成偶数); 多余的数字的第一个数小于 4, 则多余的数字全部舍去; 多余的数字的第一个数大于 5, 则向保留的数字的最后一位进 1。例如, 将下列各数据保留四位有效数字, 舍入后的数据分别如下:

3.141 59 $\rightarrow$ 3.142; 说明: 多余的数为 59, 大于 50, 则该 59 化成 1 向前进 1。

2.717 29 $\rightarrow$ 2.717; 说明: 多余的数为 29, 小于 50, 则该 29 舍去。

4.510 50 $\rightarrow$ 4.510; 说明: 多余的数为 50, 前面需保留的数为偶数 0, 则不进位, 50 舍去。

3.215 50 $\rightarrow$ 3.216; 说明: 多余的数为 50, 前面需保留的数为奇数 5, 则进 1 凑成偶数。

6.378 501 $\rightarrow$ 6.379; 说明: 多余的数为 501, 大于 500, 则该 501 化成 1 向前进 1。

7.691 499 $\rightarrow$ 7.691; 说明: 多余的数为 499, 小于 500, 则该多余的数 499 全部舍去。

实验结果表示中的平均值部分采用上述有效值取舍方法, 而对实验结果进行