

21世纪高等院校创新教材
普通高等教育“十一五”规划教材

大学物理 实验教程

吴锋 张昱 主编



科学出版社
www.sciencep.com



大学物理 实验教程

主编 王 伟

副主编 王 伟

清华大学出版社

04-33/228

2008

· 21 世纪高等院校创新教材 ·

普通高等教育“十一五”规划教材

大学物理实验教程

吴 锋 张 昱 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是按照原国家教委颁布的《高等工科学校物理实验课程基本要求》，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《大学物理实验教程》作了较为全面的修订、更新与补充的基础上修改而成的。

全书系统地介绍了大学物理实验课的任务与基本要求，较为全面地阐述了测量误差、不确定度以及数据处理的基础知识，实验中常用仪器及其相关知识，以及常用的测量方法。本书按不同的层次编入了较多综合应用力、热、电、光、近代物理各领域的物理实验方法和技术的实验，有助于学生进一步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，可作为高等工科学校、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。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验教程/吴锋, 张昱主编. —北京: 科学出版社, 2008

21 世纪高等院校创新教材. “十一五”规划教材

ISBN 978-7-03-020876-7

I. 大… II. ①吴…②张… 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 (2008) 第 005259 号

责任编辑: 王雨舸 / 责任校对: 董艳辉

责任印制: 董 丽 / 封面设计: 熊 芳

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>

武汉嘉捷印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2008 年 1 月第一次印刷 印张: 19

印数: 1-10 000

字数: 372 000

定价: 29.80 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

大学物理实验是理工科学生进入大学后较早学习到的一门系统全面的实验课程,是学生实际技能训练的开端。进入 21 世纪,随着实验教学改革的不断深入,大学物理实验课程在实验技术、实验内容等方面都在不断地更新变化。为了提高学生的科学素质,培养学生的创新能力,大学物理实验教学既要让学生得到基本的实验技能训练,又要让学生在综合能力方面得到提高。这就要求大学物理实验的教学内容必须兼顾基础、综合、近代物理以及工程技术等方面。

本书是按照原国家教育委员会颁布的《高等工科大学物理实验课程基本要求》,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《大学物理实验教程》作了较为全面的修订、更新与补充的基础上修改而成的。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。全书系统地介绍了大学物理实验课的任务与基本要求,较为全面地阐述了测量误差、不确定度以及数据处理的基础知识,大学物理实验中常用仪器及其相关知识,以及大学物理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、近代物理各领域的物理实验方法和技术的实验。所有这些,均有助于学生进一步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,可作为高等工科院校、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。

本书由张昱、吴锋主编,王若田、余仕成、李端勇、秦平力担任副主编。其中张昱主要负责绪论、第五章、第六章、实验 33、实验 34、实验 35、实验 41、实验 47、实验 48;吴锋主要负责第一章、第二章、实验 3、实验 5、实验 8、实验 22、实验 24、实验 27、实验 28、实验 32、实验 39、实验 42、实验 43;王若田主要负责第三章、第四章、实验 1、实验 2、实验 6、实验 13、实验 16、实验 18、实验 23、实验 40;余仕成主要负责实验 9、实验 14、实验 20、实验 21、实验 36、实验 37、实验 38、实验 44;李端勇主要负责实验 4、实验 7、实验 11、实验 12、实验 17、实验 25、实验 29、实验 30;秦平力主要负责实验 10、实验 15、实验 19、实验 26、实验 31、实验 45、实验 46、附录。

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。编者对周泽龙、胡亚联、余雪里、熊伦、岑敏锐等同志为我校大学物理实验中

心建设以及实验教材出版付出的努力和提出的宝贵建议深表感谢。感谢大学物理实验中心以及大学物理教研室的各位同仁的热情鼓励,感谢武汉工程大学教务处、教材科以及科学出版社的大力支持。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,以便再版时校正。

编 者

2007 年 11 月于武汉工程大学

目 录

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
第二章 误差理论和数据处理的基础知识	8
一、误差的基本概念	8
二、不确定度的基本概念	12
三、直接测量结果与不确定度的估算	15
四、间接测量结果与不确定度的估算	18
五、有效数字	22
六、数据处理的常用方法	25
七、常用仪器的仪器误差	30
练习题	34
第三章 基础实验	36
实验 1 密度测量	36
实验 2 气垫导轨上的碰撞实验	40
实验 3 刚体转动惯量的测定	44
实验 4 光杠杆法测杨氏模量	57
实验 5 液体黏度测定	61
实验 6 冷却法测固体比热容	65
实验 7 静电场的模拟测试	71
实验 8 示波器的使用	77
实验 9 用箱式电势差计校正电表	83
实验 10 电位差计测电源电动势	90
实验 11 牛顿环测曲率半径	94
实验 12 光的偏振	98
实验 13 动力法测弹性模量实验	102
实验 14 金属线膨胀系数	109
第四章 综合实验	112
实验 15 铁磁物质动态磁滞回线的测试	112
实验 16 分光计的调节和使用	117

实验 17	光栅衍射	125
实验 18	电子束的偏转	129
实验 19	用霍尔元件测量磁场	134
实验 20	RLC 电路的暂态过程	139
实验 21	RL, RC 电路的稳态过程	147
实验 22	非均匀磁场测量	151
实验 23	多媒体光纤传输实验系统	157
实验 24	超声声速测定	162
实验 25	超声波的应用——探伤及测厚	167
实验 26	半导体 pn 结的物理特性及弱电流测量	172
实验 27	手动测单缝衍射光强分布实验	178
实验 28	液体超声波声速的测定	182
实验 29	非线性电路混沌实验	186
实验 30	方波的傅里叶分解与合成实验	193
实验 31	用磁聚焦法测定电子的荷质比	200
实验 32	双缝衍射的光强分布和缝宽的测定	203
实验 33	非平衡电桥的原理和设计应用	207
实验 34	弦振动实验	218
第五章	近代物理实验	226
实验 35	弗兰克-赫兹实验	226
实验 36	全息照相实验	232
实验 37	氢原子光谱	236
实验 38	光电效应及普朗克常量测定	238
实验 39	迈克耳孙干涉仪的调节与使用	242
实验 40	核磁共振实验	247
实验 41	电子电荷的测定——密立根油滴实验	252
第六章	设计性实验	261
实验 42	电表的改装和校准	261
实验 43	测微安表内阻	261
实验 44	电位差计测电阻	263
实验 45	伏安法测线性电阻、非线性电阻	264
实验 46	惠斯登电桥测电阻	268
实验 47	半导体温度计的设计	270
实验 48	光学设计实验	273
附录 A	基本物理常数(1986 年推荐值)	278
附录 B	国际单位制(SI)简介	280
附录 C		282

绪 论

一、物理实验的地位和作用

物理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,物理已经渗透到几乎一切自然科学和技术学科之中。物理为现代科学技术文明奠定了决定性的基石。无论是工业、农业、国防和医学,无论是一般技术还是高新技术,都能找到物理的“影子”。科学技术是生产力,作为基础科学的物理尤为如此。纵观整个近代文明史,物理的每一次重大突破,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,促进了以蒸气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,已把我们今天的社会带入了计算机、激光、航天航空、核能、生物工程等高新技术的时代。由于物理在过去、现在和将来的社会经济、科学技术的发展中起着如此重要的作用,因此掌握物理的基本知识,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,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,极大地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(如极高温度、极低温度,极大、极小的压强等)。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。大学物理实验是高等学校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较为严格的训练,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

物理实验有着自己的特点和规律,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,必须掌握好如下三个基本环节。

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,看一步做一步的做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,并井有条地布置仪器,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,应看作是学习的良机,冷静地进行分析和处理。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。如确系记错了,也不要涂改,应轻轻划上一道痕迹,在旁边写上正确值(错误多的须重新记录),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。希望同学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,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) 原始实验记录一式两份,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实验室。

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。学生在做有关实验以前,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) 在理解电路原理的基础上,按回路接线法接线和查线。根据电路图,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,检查线路时也是这样按回路查线,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。

必须自觉养成自己在通电之前仔细按回路检查线路的习惯,力求安全、准确。

(4) 接通电源时应作瞬态试验。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 所示。

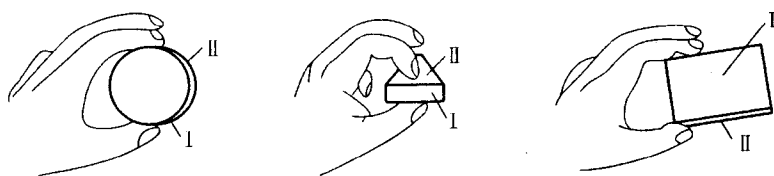


图 1-1 手持光学仪器的方式

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,防止灰尘玷污。

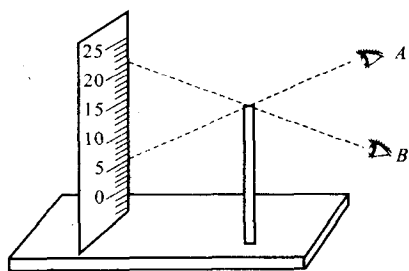


图 1-2 眼睛位置不同,所得观测结果不同

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 1-2 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)移动视线时(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”。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,并同时微微移动视线观察,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操作步骤。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 1-3 所示,当物 AB 与像屏之间的距离 b 大于 $4f$ 时,将凸透镜沿光轴移到 O_1 或 O_2 位置都能成在屏上成像,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

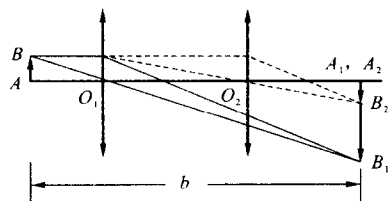


图 1-3 共轴调节

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 B_2 点总是比大像的 B_1 点更接近光轴。据此可知,若要将 B 点调到凸透镜光轴上,只需记住像屏上小像的 B_2 点位置(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。这样反复调节几次直到 B_1 与 B_2 重合,即说明 B 点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 B 点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做到心中有数,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。

一、误差的基本概念

测量误差是一门专门的科学,要深入地讨论需要有丰富的实验经验和较多的数学知识。这里仅介绍测量误差的基本知识。

(一) 测量

为了对物理现象作定量的描述,物理实验中必须进行物理量的测量。测量就是把被测量的物理量和选为标准的(即取作单位的)同类量进行比较,定出它是标准量的多少倍。如测量一本书的长度,将书与米尺进行比较,书的长度是米尺的18.85%,则书的长度为18.85cm,或0.1885m。测量结果的数值大小与选择的单位有密切关系。同样一个量,测量时选择的单位越小,结果数值就越大,所以任何测量结果都必须标明单位。测量值用一个没有单位的纯数表示是毫无意义的。

测量分为直接测量和间接测量两种。凡是使用量具、量仪等标准量具经过比较可直接测得结果的测量称为直接测量。例如,长度、时间、质量、温度等量可分别用米尺、停表、天平、温度计等直接测量。凡是不能直接测量出结果,而必须先直接测量与它有关的一些物理量,然后利用公式才能求得结果的测量就称为间接测量。如测量一立方体物质的密度,必须先直接测量出它的边长 a 和质量 m ,然后利用公式 $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{a^3}$ 计算出密度 ρ 。物理实验中的测量多数是间接测量。

(二) 测量误差

在一定的条件下,任何一个物理量的大小都是客观存在的,都有一个实实在在的、不以人的意志为转移的客观量值,称为真值。在测量过程中,我们的主观愿望总是希望准确地测得待测量的真值。但是,任何测量总是依据一定的理论和方法,使用一定的仪器,在一定的环境中、由一定的人进行的。由于实验理论的近似性,实验仪器的灵敏度和分辨能力的局限性,实验环境的不稳定性以及人的实验技能和判断能力的影响等,使测量值与待测量的真值不可能完全相同。也就是说,测量值与真值之间总存在着差异,我们把这个差异称为测量误差。测量误差的大小反映了测量结果的准确程度。测量误差可以用绝对误差表示,也可用相对误差来表示,还可用百分误差来表示。

$$\text{绝对误差} = \text{测量值} - \text{真值} \quad (2-1)$$

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{真值}} \times 100\% \quad (2-2)$$

$$\text{百分误差} = \frac{\text{测量最佳值} - \text{公认值}}{\text{公认值}} \times 100\% \quad (2-3)$$

实践证明,测量结果总存在误差。误差自始至终存在于一切科学实验和测量过程之中。在测量中误差既然不可避免,因此分析测量中可能产生的各种误差,尽可能消除其影响,并对最后结果中未能消除的误差作出估计,就是物理实验和许多科学实验中不可缺少的工作。

测量误差按其产生的原因与性质可分为系统误差和随机误差两大类。

1. 系统误差

在同一条件下,多次测量同一量值时,绝对值和符号保持不变,或在条件改变时,按一定规律变化的误差称为系统误差。所谓一定的规律是指:这种误差可以归结为某一个因素或某几个因素的函数,这种函数一般可用解析公式、曲线或数表来表达。系统误差主要来自于如下几个方面:

(1) 仪器误差:由于仪器本身的缺陷或没有按条件使用引起的误差。如仪器零点未调准,仪表刻度不准,米尺弯曲等。

(2) 理论(方法)误差:由于测量所依据的理论公式的近似或者测量方法本身的局限性,或者实验条件不能达到理论公式所规定的要求引起的误差。如单摆测重力加速度时所用公式的近似性,用天平称质量时未考虑空气的影响等。

(3) 环境误差:由于外部环境如温度、湿度、光照等因素与仪器要求的环境条件不一致产生的误差。

(4) 个人误差:由于实验人员本身的生理或心理特点所产生的误差。如在使用刻度式仪表时,有人习惯于偏向一方读数等。