

高 等 学 校 教 材

工科大学物理实验 (第2版)

李治中 主编

高等教育出版社

高等学校教材

工科大学物理实验 (第2版)

GONGKE DAXUE WULI SHIYAN

李治中 主编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是在多年使用的第1版的基础上,专门针对应用型人才的培养要求修订而成的。

全书分为绪论、误差理论与数据处理、18个教学实验(包括力学、热学、电磁学、光学及近代物理各类实验)及附录四部分,基本涵盖了《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010年版)对实验原理、实验方法、仪器使用及培养学生科学素养,提高实验技能等方面的要求。

本书中的18个教学实验内容,大多数是按3学时安排的,有的实验还体现了“设计性实验”的内涵,并安排了几个用计算机实时测控的实验。本书可作为各类应用型院校大学物理实验课的教材,也可供业内同行及社会读者阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

工科大学物理实验/李治中主编. --2版. --北京:
高等教育出版社, 2015.3

ISBN 978-7-04-042109-5

I. ①工… II. ①李… III. ①物理学-实验-高等学校-教材 IV. ①O4-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第028969号

策划编辑 马天魁
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 张海雁
责任校对 李大鹏

封面设计 于文燕
责任印制 韩刚

版式设计 余杨

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 涿州市星河印刷有限公司
开本 787mm×960mm 1/16
印张 13
字数 230千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2007年3月第1版
2015年3月第2版
印 次 2015年3月第1次印刷
定 价 23.40元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 42109-00

前言

人类总要不断地总结经验,有所发现,有所发明,有所创造,有所前进。

——毛泽东

培养应用型人才,不仅要让他(她)们掌握本专业必需的基础理论知识,还要着力加强实践技能的训练。

物理实验课是学生进大学后,接受系统实验技能训练的第一门实验课程。它不仅使学生通过操作性教学实验掌握实验原理、实验方法、仪器的调节与使用、数据处理与误差分析、完整书写实验报告和总结等知识和技能,同时,在培养学生如何进行科学实验、养成良好的科学作风和求真的科学态度等方面,均会发挥重要的作用。所有这些,对学生学习后续课程乃至大学后的可持续发展也将会产生积极影响。

多年来,我们基于这种指导思想,针对应用型人才的培养目标和实际情况,开展了课程建设的研究和实践。本书第2版就是这些研究成果和教学实践经验的总结。

本书第2版的主要特色有:

1. 以力学、热学、电磁学、光学及近代物理的18个项目作为实验平台,基本覆盖了《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》对实验教学的各项要求。

2. 突出“切实提高学生实验技能”这条主线,以实验课为主渠道,辅以参与性的演示与探索实验、开展物理第二课堂与小论文活动、举办物理实验技能竞赛等手段,多管齐下,有效地达到教学目标。

3. 实验内容、实验原理的论述力争富有启发性,使学生能通过阅读教材,自己搭建实验装置,在教师指导下独立完成实验内容,并能较为顺利地处理实验数据,撰写实验报告,以充分调动学生学习的积极性和主动性,提高学生的实验能力和科学素养。

4. 考虑到当前组织实验教学均采用循环方式,本书18个教学实验内容一

一般都相对独立编写,对于多次使用的仪器和测试原理,一般在本书第1次用到的实验中介绍。每个实验都包括:一、实验目的;二、实验原理;三、实验仪器;四、实验步骤及注意事项;五、数据处理要求。每个实验都附有该实验的预习报告。

5. 加强对大学生科学作风、学习习惯、学习态度、团队精神以及探索创新意识等方面的培养和教育,始终是实验教学不可或缺的元素。本书自始至终力图凸显这个主题。

本书第2版为西北工业大学明德学院2014年规划教材,由李治中任主编。参与修订工作的有刘晓军、张璐、邹丹、李渝、樊英杰、于春利以及周晨露、薛小翠等。宋士贤、张孟认真审阅了书稿,并提出了许多宝贵的修改意见,为本书增色不少。

在修订过程中,始终得到院、系、教学部各级领导和院学术委员会的关怀和支持。西北工业大学出版社为本书发挥了很好的孵化作用。西北工业大学物理实验中心庞述先、奥诚喜、邢凯等老师也给予了具体帮助和支持。编者在此一并表示衷心的感谢。

限于编者团队的水平和能力,书中若有不妥甚至错误之处,恳请使用本书的老师和学生批评指正。

编者

2014年6月于西安

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任 and 行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

一本新书像一艘船,带领着我们从狭隘的地方驶向
生活的无限广阔的海洋。

——凯勒

I 绪论	1
II 误差理论与数据处理概论	5
§1 测量及其分类	5
§2 误差概念及其分类	7
§3 随机误差的统计分布	10
§4 测量结果的不确定度评定	13
§5 有效数字及其运算	20
§6 实验数据处理的常用方法	23
III 教学实验	33
实验1 杨氏模量的测定	33
实验2 伏安特性研究	42
附:电学实验规则	48
实验3 电表改装与校准	51
实验4 惠斯通电桥测电阻	58
实验5 十一线电位差计	66
实验6 学生型(箱式)电位差计	75
实验7 应用霍尔效应测定磁感强度	81
实验8 透镜焦距的测定	91
附:光学实验规则	94
实验9 双棱镜干涉测波长	97
实验10 分光计的调节和使用	104
实验11 最小偏向角法测折射率	114

实验 12	光栅常量和波长测定	119
实验 13	激光全息照相	126
实验 14	空气中声速的测定	132
实验 15	AD 590 传感元件特性及应用研究	145
实验 16	热敏电阻的特性研究	151
实验 17	测定普朗克常量——光电效应实验	155
实验 18	电子电荷的测定——密立根油滴实验	166
IV	附录	177
附录一	中华人民共和国法定计量单位	177
附录二	直流磁电系电表介绍	181
附录三	常用物理参量	187
附录四	希腊字母表	190
附录五	正弦、余弦函数表	192
参考文献		199

I 绪 论

古往今来,凡成就事业,对人类有所作为的,无不是
脚踏实地艰苦攀登的结果。

——钱三强

科学实验是科学理论的源泉,是工程技术的基础,是研究自然规律、认识世界、改造世界的基本手段。作为培养德、智、体、美全面发展的工程应用型人才的高等院校,不仅要使学生具备相应的理论知识,而且要培养学生的实践和实验能力,以及掌握新知识、新技术、新工艺、新方法的能力,以适应科学技术的不断进步和社会主义建设飞速发展的需要。

一、物理实验课程的地位、作用和任务

物理学从本质上说是一门实验科学。物理学理论和实验技术的发展,哺育着近代高新技术的成长和发展。物理实验的思想、方法、技术和装置常常是自然科学研究和工程技术发展新的生长点,也是进行各类科学实验的基础。物理实验课是学生进入大学后接受科学实验方法和实验技能训练的开端,是对学生进行物理实验理论、实验方法和实验技能方面的基础训练,是学生初步了解科学实验主要过程和基本方法的平台。

本课程的具体任务是:

(1) 初步培养学生进行科学实验的能力。

① 通过自行阅读实验教材或资料进行实验,提高学生阅读和运用资料的能力。

② 通过具体实验,熟悉常用仪器的原理、结构及正确的使用方法。通过对实验现象的观察、判断、实验结果的数据处理及误差分析,提高学生理论联系实际的分析能力。

③ 通过实验,培养学生发现、分析、解决问题的能力,扩展学生视野。

④通过正确记录及处理数据、撰写合格的实验报告,提高学生正确论述的表达能力。

(2)通过实验,培养学生实事求是、理论联系实际的科学作风;严肃认真、一丝不苟的工作态度;主动研究的探索精神和遵守纪律、爱护公共财物的优良品德。

(3)通过实验加深学生对物理学理论的理解。

二、实验课的基本程序及要求

1. 课前预习

认真阅读教材,了解实验目的,弄懂实验原理,并对所要使用的仪器的性能、基本工作原理和使用时的注意事项做到心中有数。在此基础上填写预习报告。

2. 课堂实验

提前5分钟进入实验室,根据分组名单和实验循环表,对号入座。注意,不要急于动手,应首先在预习的基础上熟悉仪器实物,检查仪器是否完好可用,并记录各实验仪器的名称及主要参量,如电阻箱的精度等级、电表的精度等级及量程、其他测量仪器和量具的分度值(即每个分度的量值)。在此基础上,正确组装和调整仪器(包括电路的正确连接,光路的调节等),再按教学要求进行实验。实验时,一定要先观察所研究的物理现象,再对被研究现象的物理量进行正确的定量测量。测量时应如实并及时做好记录(记录要整洁,字迹清楚,避免错记),不可事后凭回忆“追记”数据,更不可为拼凑数据而将原始记录随心所欲地涂改。

完成教学要求规定的所有测量后,应及时整理实验数据,填入预习报告的表格中,经指导教师检查签字后,方可拆除实验装置,并将实验仪器整理清点好,做好实验室整洁工作,方可离开实验室。

3. 课后认真撰写实验报告

实验报告是每个实验的书面总结,是对实验结果的评价。实验者必须用自己的语言表达出所做实验的内容;实验所依据的物理思想及反映的物理规律;实验结果及对结果的分析;实验者对实验的见解及收获。

怎样写好一份合格的实验报告,也是实验课的一项重要基本训练内容。实验报告要在统一的实验报告纸上书写,除填写实验名称、日期、姓名、班级、组别等项外,实验报告的内容一般包括以下部分:

(1)实验的目的、任务。

(2)实验仪器:注明仪器名称、主要技术参量,必要时画出仪器简图。

(3)实验原理:一般只需写出原理概要(包括原理图或测量公式,注明公式

中各量的物理意义及使用条件)。

(4) 操作要点:根据要求及实际操作过程,写出仪器调节及测量中的关键过程和注意事项。

(5) 数据记录:实验数据一般应采用表格形式记录,记录数据时,应特别注意有效数字及单位。

(6) 数据处理:包括实验结果及其不确定度的计算,并完整表示出实验结果。用作图法处理数据时,应严格按作图规则画出合格的图线。进行数据计算时,要先列出公式,再代入数据,最后得出计算结果。

(7) 分析讨论:对实验结果进行分析讨论,也可对实验中出现的一些现象进行分析总结。

4. 其他要求

严格遵守物理实验课守则,爱护实验仪器。仪器如有损坏应及时报告指导教师。凡属学生责任事故者,根据情节,按学校相关规定,要赔偿实验室部分或全部损失。

三、物理实验课守则

为规范实验教学,确保实验教学质量稳步提高,特制定本守则。

(1) 物理实验课是学生进大学后,第一门接受系统实验技能训练的课程,对学生今后的发展至关重要。学生应以严谨的科学态度和作风认真上好这门课。

(2) 每次实验课为2~3学时,学生应按照前述的“实验课基本程序”充分利用它,不得迟到、早退。

(3) 课前预习是保证实验课顺利进行的前提。每次实验课前,学生必须认真预习,完成预习报告。进入实验室后,指导教师的第一项工作就是检查并审阅学生的预习报告,合格者方能进行实验操作。没有预习的学生一般不允许参加本次实验。

(4) 开始实验前,要按预习报告清点仪器,若发现仪器有缺损,应及时报告指导教师处理。

(5) 正确安排、调整、使用仪器,爱护实验室一切实验设施,不得随意拆卸挪动。电学实验接线后须经指导教师检查许可后方能通电。

(6) 实验中如发生事故,必须保护现场,电学实验应立即断开电源,并报告指导教师。当事人应及时填写仪器损坏登记表,由指导教师签署意见。因违章操作、嬉闹等原因人为造成仪器损坏者,要根据学院有关文件规定负责赔偿。

(7) 实验过程中要多动手、多动脑,仔细观察现象,如实记录原始数据。遇到需要合作完成的实验,要发扬团队精神轮流操作,共同合作完成。

(8) 原始测量数据必须如实记录,并当堂送指导教师审定签字,作为完成实验报告的依据。要坚决杜绝数据造假、乱凑乱改,甚至是抄袭、剽窃他人数据,或者实验报告的数据与原始数据不符,否则此次实验报告为无效报告。

(9) 实验室系学术场所,严禁大声喧哗、嬉闹,并坚守在公共场所必须遵守的道德准则。实验结束,要整理好所用仪器,摆放整齐,并保持实验工作环境的整洁。

II 误差理论与数据处理概论

我能成为一个科学家,主要是:对科学的爱好;思索问题的无限耐心;在观察和收集事实上的勤勉;一种创造力和丰富的常识。

——达尔文

物理学是建立在实验基础上的学科。物理理论(包括一系列观念、概念和关系式等)的建立归根结底要依靠观察和实验,而理论一旦建立,又必须经得起实验工作者用各种手段从各方面反复进行验证。这就是说,实验是科学理论的孵化剂和最后仲裁者。

§ 1 测量及其分类

一、测量

实验的任务在于用仪器来测量某些物理量并寻求它们之间的关系。所谓测量,意味着先要选定一个“对比标准”,把待测的量与所选定的“标准”进行比较,得到待测物理量是“标准”的多少倍。这个“倍数”就是待测量的大小,选定的“对比标准”就是它的单位。因此,任何一个通过直接测量的物理量均由“大小”和“单位”两个因素构成,缺一不可。如用米尺测量某长度为“1.52 m”,表示该长度是1 m(对比标准)的1.52倍,如果只说该长度为1.52就毫无意义了。

测量的目的是要获得被测量量的定量信息。科学实验中,一切物理量都是通过测量得到的。所以测量就是为了确定被测量量的量值,使用专门仪器及量具,通过实验和计算而进行的一系列的操作过程。

二、直接测量和间接测量

1. 直接测量(简单测量)

直接测量是将待测量与同量纲的标准量直接进行比较,或者从已用标准量校准过的仪器、仪表上直接读出待测量的值。其特点是待测定的值和量纲可直接得到。例如用直尺、游标卡尺、千分尺测长度,用秒表测时间,用天平测质量,用电流表测电流等均为直接测量,而相应的被测量——长度、时间、质量、电流等称为直接测量量。直接测量简单、直观,是最基本的测量方式,也是间接测量的基础。

2. 间接测量(复合测量)

多数物理量不便或不能直接测量,而是依据待测量与某些直接测量量之间的函数关系,先测出直接测量量,然后代入函数关系式中计算出待测量,这种测量方法称为间接测量,相应的待测量称为间接测量量。例如用单摆测定重力加速度,测量公式 $g = 4\pi^2 L/T^2$ 中,用直尺和秒表可分别对摆长和周期进行直接测量, g 就是间接测量量。

三、等精度测量和非等精度测量

1. 等精度测量

在相同的测量条件下对同一物理量所做的重复测量,叫等精度测量。例如在相同的环境下,由同一个测量人员,用同样的测量仪器和方法,对同一个待测量的重复测量。由于各次测量的条件相同,测量结果的可靠性是相同的,没有理由认为哪次测量更精确或不精确些,因此每次测量的值都是等精度的。但应该指出,要使测量条件完全相同是难以做到的,一般测量实践中,一些条件变化很小,或某些次要条件变化后对测量结果影响甚微,一般可以按等精度测量处理。

2. 非等精度测量

在科学研究和其他高等精度测量中,为了得到更精确、更可靠的结果,特意要在不同的条件下,用不同的测量仪器、不同的测量方法、不同的测量人员对同一个待测量进行多次测量和研究。此时由于测量条件全部或部分发生了明显变化,每种测量的可靠性、精确度显然不同,这种测量方法即为非等精度测量,而最后的测量结果是通过待测量的各次非等精度测量结果的加权处理获得的。

§2 误差概念及其分类

一、误差的定义

任何物质都有自身的各种特性和状态,反映这些特性和状态的物理量,在一定条件下所具有的客观的真实值称为真值。测量的目的就是力图要得到真值。但任何实际测量总是依据一定的理论或方法,使用一定的仪器,在具体的环境中,由具体的人员来完成的。由于测量理论或方法的近似性,仪器的灵敏度和分辨率的局限性,环境的不理想,测量者技术熟练程度和判断能力的限制,使得测量值和真值之间总是存在一定的差异,这种差异称为测量值的误差。

某一物理量的误差,定义为该量的测量值 x 与真值 μ 之差,即

$$\varepsilon_x = x - \mu \quad (1)$$

误差可正($x > \mu$)可负($x < \mu$),它反映了测量值偏离真值的程度。误差越小两者越接近,所以误差的大小标志着测量结果的可靠程度或可信程度的大小。

误差按其表达方式的不同,可分为绝对误差和相对误差。 ε_x 表示测量值偏离真值的绝对大小,称为绝对误差。一般来说,绝对误差并不能反映误差的严重程度,所以引入相对误差 E_x ,它表示误差所占真值的比例,常以百分数表示,故又称为百分误差。定义为

$$E_x = \frac{\varepsilon_x}{\mu} \times 100\% \quad (2)$$

真值是永远不可测得的,随着科学技术的高度发展,可获得的测量准确度越来越高,测量值越来越接近真值,但总不可能达到真值,因此任何测量总是存在误差的。

做实验时总是希望在现有的条件下,使误差尽可能地减小,使测量值的可信度尽可能地高。这样就必须对误差进行研究,了解误差性质及产生的原因,找出减小或消除误差的方法,帮助我们正确地组织实验和测量,合理地设计实验方案、选用仪器和测量方法等,这就发展为误差理论。

二、误差分类

根据误差的来源、性质和特点,一般将误差分为系统误差、随机误差和粗大误差。

1. 系统误差

在相同条件下,对同一物理量进行多次测量,测量值总是向一个方向偏离真

值,误差的大小和正负保持恒定或者误差按一定规律变化,这种误差称为系统误差。

系统误差主要来源于以下几个方面:

(1) 仪器误差(工具误差)。仪器误差是由于仪器本身固有的缺陷引起的,如天平的不等臂、刻度不均匀、砝码实际质量与标称值不等,电表刻度盘与指针转轴安装偏心,仪器和量具不在规定的使用状态(如不竖直、不水平、零点不准等)等引起的误差。

(2) 方法误差(理论误差)。方法误差是由于测量公式的近似,或没有完全满足理论公式所规定的实验条件,或因测量方法的不完善所带来的误差。例如用单摆测重力加速度时,公式 $g = 4\pi^2 L/T^2$ 仅适用于 $\sin \theta \approx \theta$ 的近似条件,当摆角较大时会产生较大的误差;用伏安法测电阻时,忽略了电表内阻影响等。

(3) 环境误差。环境误差是由于实验环境不符合实验或仪器所要求的使用条件所引起的误差,如温度、湿度、气压、光照、电磁场等的要求。

(4) 人员误差。人员误差是由于实验者心理、生理条件及其他个人因素造成的误差。它与个人的分辨能力、反应速度、固有习惯及实验技术熟练程度有关。

系统误差从理论上讲可以通过分析研究,找出产生的原因,采取一定的方法减小或消除其影响,或对测量结果进行修正。但事实上发现和消除系统误差是一个极其复杂的问题,常常成为实验结果是否可靠的主要矛盾,因此这是实验者应努力去解决的问题。

2. 随机误差

在实验中,即使系统误差消除后,对同一物理量在相同条件下进行多次重复测量,仍然不会得到完全相同的结果,其测量值分散在一定的范围之内。所得误差时正时负,误差的绝对值时大时小,呈现无规则的涨落,这类误差称为随机误差。

随机误差是由于测量过程的一些随机或不确定的因素引起的,具有不可预知性。如人的感官灵敏度及仪器的精密度有限,不可控制的环境因素的干扰及随测量而来的其他不可预测的随机因素的影响等。由于实验中的随机因素很多,且不尽全知,再加上各种因素交叉混杂,不能确定各个因素影响的大小,因此随机误差既不能消除又无法控制。

从某一次测量来看,随机误差是随机的,没有确定的规律,也不能预知。但当测量次数足够多时,其服从一定的统计分布。所以人们无须了解各种因素影响的具体细节,可以用统计的方法来研究诸因素的综合作用。

系统误差和随机误差性质不同、来源不同、处理方法不同,在实验中二者往

往是并存的。对测量结果的影响,有时以系统误差为主,有时以随机误差为主,因此对每一个实验要作具体分析,采用相应的处理方法。

3. 粗大误差

凡是明显歪曲测量结果,又无法根据测量的客观条件作出合理解释的误差,都称为粗大误差,简称粗差。含有粗差的测量值称为坏值(异常值)。

产生粗差的原因是多方面的。测量者缺乏经验、粗心大意或疲劳造成测错、读错、记错、算错等过失,是产生粗差的主要原因(亦称过失误差);此外,外界的突发性干扰,使实验条件发生不能允许的偏离而未被发现,或者由于实验条件尚未达到预定要求而匆忙测量,也都会造成粗差。对测量者来说,粗差必须避免。对被判断为坏值的测量值必须予以剔除。

三、测量的准确度、精密度和精确度

1. 准确度

准确度表示测量值与真值的接近程度。准确度高表明测量的系统误差小。

2. 精密度

精密度表示多次重复测量时所得各测量值的离散程度。精密度高说明数据比较集中,随机误差小。

3. 精确度

精确度表示系统误差和随机误差的综合结果。精确度高说明系统误差和随机误差都小,测量数据均集中在真值附近,所以人们所期望的是精确度高的测量结果。

为了形象地理解上述“三度”的概念,我们用打靶记录来加以说明,如图1所示。图(a)着弹点密集,但离靶心远,这说明精密度高即随机误差小,而准确度差即系统误差大;图(b)着弹点密集,且在靶心附近,说明系统误差和随机误差都小,即精确度高;图(c)着弹点很分散且离靶心较远,说明系统误差和随机误差都大,即准确度和精密度均低,当然精确度也低。

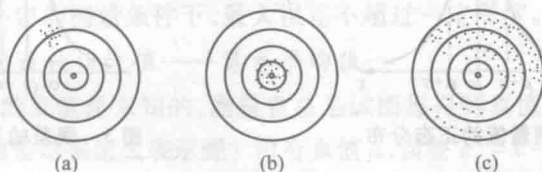


图1 打靶记录

准确度、精密度、精确度只是对测量结果作出的定性评价,有时不严格区分这“三度”,而泛称为“精度”。