

College Physics Experiment

大学物理实验

侯建平 主 编

庞述先 侯泉文 副主编

李恩普 主 审



国防工业出版社

National Defense Industry Press

大学物理实验

侯建平 主编

庞述先 侯泉文 副主编

刘晓军 奥诚喜 参编

李恩普 主审

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》的要求为基础编写,全书按内容体系分为四篇13章。第一篇包含测量与误差、不确定度的概念与计算、实验数据处理、通用基本物理实验仪器、物理实验基本操作、物理实验基本测量方法等内容。后三篇分别为基础物理实验、综合与近代物理实验及设计性和研究性物理实验。全书涵盖物理实验基本知识和力、热、声、光、电、磁与近代39个实验,内容丰富,体现了物理实验学科的系统性和完整性。有关内容遵循国内国际相关标准、规范及目前国内现行教学实际情况,所引用基本物理常数为 CODATA2014 最新推荐值。

本书可作为高等院校理工科类各专业学生的物理实验教材和教师及相关人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验 / 侯建平主编, —北京: 国防工业出版社, 2017.1

ISBN 978 - 7 - 118 - 11235 - 1

I. ①大… II. ①侯… III. ①物理学 - 实验 - 高等学校 - 教材 IV. ①04 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 020500 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码 100048)

三河市德鑫印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 17 字数 414 千字

2017 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3500 册 定价 35.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

物理实验是科学实验的先驱,体现了大多数科学实验的共性,在实验思想、实验方法以及实验手段等方面是各学科科学实验的基础。物理实验课程是各高校理工科及部分文管类学科大学生的实践类公共基础必修课,是大学生系统学习科学实验基本知识、实验思想方法、实验技能的入门课程。该课程对培养学生的科学思维、科研能力、科研作风等综合素质具有极为重要的奠基作用。

本书结合西北工业大学近年来使用的物理实验教材讲义和教学实际情况编写,也体现了物理实验课程改革和实验室建设的成果,有以下几方面特点:

1. 本书根据教育部 2010 年新颁布的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》编写,包含测量、误差、不确定度、有效数字等基本概念,基本的数据处理方法,基本物理量的测量方法,常用的物理实验方法,常用实验仪器的功能、性能、操作方法,常用的实验操作技术等各方面。附录中的基本物理常数为国际科学理事会的科学与技术数据委员会给出的 CODATA2014 最新推荐值。

2. 将物理实验课程中的通用基本仪器介绍和通用基本操作要求分别集中整理为独立的两章,以便于学生在任何实验中遇到这些相关仪器和相关通用基本调节、基本操作时能方便学习查阅。

3. 实验内容编排上突出分阶段、分层次的模块化教学体系。按照由浅入深、多层次循序渐进的原则,将实验总体上划分为基本实验、综合与近代实验以及设计性和研究性实验三个模块。

4. 实验原理部分引入了一些有助于增进学生对实验内容的理解和增加学生对实验课程兴趣的相关内容,如实验所涉及知识点的物理学史、实验中的实验原理在科学技术研究和社会生活生产中的应用实例等。

本书在编写中吸收了很多国内外优秀教材的精华,参考了与该课程相关的国家规范、标准,并融入了西北工业大学物理实验课程全体教师和实验室工程技术人员的教学改革与实践以及实验室建设的成果。很多老师参与了前期教材讲义的编写或在使用过程中提出了许多宝贵的意见和建议。本书在选题和编写过程中得到了理学院及应用物理系和教务处的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

本书编写分工如下:侯建平(绪论、第一、十二、十三章、附录)、庞述先(第四章、实验 5-3、7-2、8-9、10-2、11-2)、侯泉文(第三章、实验 5-1、5-2、6-1、6-2、7-1、8-1~8-8、9-1、9-5)、刘晓军(第二章)、奥诚喜(实验 9-2~9-4、9-6、10-1、10-3~10-6、11-1、11-3~11-5);全书由侯建平统稿。

教育部高等学校大学物理基础课程教学指导委员会委员李恩普教授在本书编写过程中提

出了很多宝贵意见,并审阅了全书。西北工业大学应用物理系尹剑波教授也审阅了全书并提出了宝贵的意见和建议,在此一并表示感谢。

由于我们的水平和条件有限且时间仓促,书中不妥或疏漏之处在所难免,恳请广大师生和同行专家批评指正。

编者

2016年9月

科学家论实验

实验有两个目的,彼此往往互不相关:观察迄今为止未知或未加释明的新事实;以及判断某一理论提出的假说是否符合大量可观察到的事实。

——雷内·杜博斯

除非有定量的实验证据,没有任何一种哲学性的讨论能够作为科学的真理来加以接受。

——杨振宁

一个矛盾的实验就足以推翻一种理论。

——爱因斯坦

没有实验家,理论家就会迷失方向;没有理论家,实验家就会迟疑不决。

——李政道

实验并非万无一失,不能从实验上论证一种假说并不等于这种假说是不正确的。

——贝弗里奇

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 物理实验基础知识

第一章 测量结果的评定及数据处理	7
第一节 测量及其分类	7
第二节 误差及其分类	8
第三节 系统误差的发现与消除	10
第四节 随机误差的统计分布	12
第五节 测量结果的不确定度评定	14
第六节 有效数字及其运算	21
第七节 实验数据处理的常用方法	23
第八节 用通用软件处理实验数据	31
习题	35
第二章 物理实验中的通用基本仪器	36
第一节 米尺、游标卡尺、螺旋测微计	36
第二节 测微目镜	38
第三节 测量望远镜	39
第四节 天平	40
第五节 水平仪	42
第六节 电表	43
第七节 标准电阻、标准电池	45
第八节 电阻箱	46
第九节 滑线变阻器	47
第十节 可调电容箱	48
第十一节 直流电源	49
第十二节 示波器	50
第十三节 万用表	52
第三章 物理实验的基本操作	56
第一节 零位调节	56
第二节 水平、铅直调节	56
第三节 消除螺旋间隙误差的调节	57
第四节 仪器初态和安全位置调节	57

第五节 逐次逼近调节	58
第六节 电学实验的基本要求及电路连线	59
第七节 电路故障的发现与排除	60
第八节 消视差调节	61
第九节 光学实验操作基本要求	61
第十节 光路共轴等高调节	62
第四章 物理实验的基本测量方法	63
第一节 比较法	63
第二节 放大法	64
第三节 补偿法	65
第四节 转换法	66
第五节 模拟法	67
第六节 平衡法	68
第七节 干涉、衍射法	69

第二篇 基础物理实验

第五章 力学实验	73
实验 5-1 钢丝杨氏模量的测定	73
实验 5-2 转动惯量的测量	78
实验 5-3 波尔共振实验	86
第六章 热学实验	92
实验 6-1 混合法测定比热容	92
实验 6-2 不良导体导热系数的测定	96
第七章 声学实验	100
实验 7-1 空气中声速的测定	100
实验 7-2 多普勒效应与应用	105
第八章 电学实验	109
实验 8-1 伏安特性研究	109
实验 8-2 惠斯通电桥的原理与应用	112
实验 8-3 交流电桥测量电容和电感	118
实验 8-4 灵敏电流计的研究	122
实验 8-5 十一线电位差计测电动势	127
实验 8-6 电表的扩程与校准	131
实验 8-7 放电法测量高电阻	136
实验 8-8 双电桥测量低电阻	139
实验 8-9 模拟法测绘静电场	144
第九章 光学实验	147
实验 9-1 透镜焦距的测定	147
实验 9-2 分光计的调节和使用	150

实验 9-3	折射率的测定	157
实验 9-4	光栅常数的测定	166
实验 9-5	双棱镜干涉测波长	169
实验 9-6	偏振光及其应用	172

第三篇 综合与近代物理实验

第十章	综合物理实验	181
实验 10-1	微小形变的电测法	181
实验 10-2	光纤压力与位移传感测量	185
实验 10-3	热敏电阻温度系数测定	189
实验 10-4	晶体声光效应	192
实验 10-5	霍耳效应测磁感应强度	196
实验 10-6	光源辐射能谱的测定	202
第十一章	近代物理实验	209
实验 11-1	迈克耳孙干涉仪	209
实验 11-2	巨磁电阻磁阻特性测量	216
实验 11-3	金属逸出功的测量	219
实验 11-4	光电效应测普朗克常量	224
实验 11-5	激光全息照相	228

第四篇 设计性和研究性实验

第十二章	实验设计基本知识	237
第一节	实验系统的组成和实验设计的程序	237
第二节	不确定度传递公式在设计实验中的作用	238
第三节	实验方案选择原则	239
第十三章	设计性和研究性物理实验	244
实验 13-1	重力加速度测定	244
实验 13-2	热敏电阻温度计的设计与制作	245
实验 13-3	固体材料线膨胀系数测定	246
实验 13-4	白炽灯炮灯丝非线性电阻特性研究	248
实验 13-5	火焰熄灭后水面上升现象的研究	248
实验 13-6	轻绳摆研究	249
附录		250
附录一	中华人民共和国法定计量单位	250
附表 1	国际单位制的基本单位	250
附表 2	国际单位制的辅助单位	250
附表 3	国际单位制中具有专门名称的导出单位	250
附表 4	国家选定的非国际单位制单位	251

附表 5 用于构成十进倍数和分数单位的词头	251
附录二 常用物理参数	252
1. 基本物理常量(CODATA2014 推荐值)	252
2. 20℃时常用物质的密度	252
3. 标准大气压下不同温度时纯水的密度	252
4. 我国部分城市的重力加速度	253
5. 20℃时部分金属的拉伸杨氏模量*	253
6. 物质中的声速	254
7. 部分物质的比热容	254
8. 水和冰在不同温度下的比热容	255
9. 不同温度下蓖麻油的黏度系数	255
10. 金属和合金的电阻率及其温度系数	255
11. 实验室常用光源的可见谱线段波长	256
12. 某些气体的折射率(标准状态下,波长 589.3nm 的 D 线)	256
13. 某些液体的折射率(相对于空气,波长 589.3nm 的 D 线)	256
14. 某些固体的折射率(室温,相对于空气,波长 589.3nm 的 D 线)	256
15. 铜—康铜热电偶分度表(参考端为 0℃)	257
16. 常用材料的线膨胀系数($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	258
参考文献	259

绪 论

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、美全面发展的高级工程技术人才的高等学校,不仅要使学生具备比较深广的理论知识,而且要训练学生具有从事科学实验的较强能力,以适应科学技术的不断进步和社会主义建设迅速发展的需要。

一、物理实验课程的地位、作用和任务

物理学是研究物质的基本结构、基本运动形式、相互作用及其转化规律的自然科学,是自然科学中最重要、最活跃的带头学科之一。物理学不仅在自身的学科体系内生长并发展出许多新的学科分支,而且其基本理论渗透在自然科学的各个领域,是许多新兴学科、交叉学科以及新技术产生、成长、发展的基础和前导。在人类追求真理、探索未知世界的过程中,物理学展现了一系列科学的世界观和方法论,深刻影响着人类对物质世界的基本认识、人类的思维方式和社会生活,是人类文明的基石,在人才的科学素质培养中具有重要的地位。

物理学本质上是一门实验科学。物理实验是科学实验的先驱,体现了大多数科学实验的共性,在实验思想、实验方法以及实验手段等方面是各学科科学实验的基础。

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,本课程对学生进行物理实验理论、物理实验方法和物理实验技能方面的基本训练,使学生初步了解科学实验的主要过程和基本方法。它重点训练学生深入观察物理现象,建立合理的物理模型,定性定量研究变化规律,分析、判断实验结果,激发学生的想象力、创造力和创新意识,在培养和提高学生独立开展科学研究的素质和能力方面具有重要的奠基作用。

物理学在其发展过程中,实验物理形成了自己的一套理论、方法和技术,它们是进行各类科学实验的基础。物理实验课是高等学校最先独立设课的必修实践性课程,充分反映了该课的必要性和重要性。

本课程的具体任务是:

(1) 培养学生的基本科学实验技能。

① 通过自行阅读实验教材或资料,组织实验,提高阅读和运用资料的能力。

② 通过实验熟悉常用仪器的原理、结构及使用方法,在进行具体测试中,提高获得准确实验结果的能力。

③ 通过对实验现象的观察、判断,以及对实验结果的数据处理及误差分析,提高理论联系实际的能力。

④ 通过在实验过程中发现问题、分析解决问题,拓宽学生视野,培养科学思维和创新意识。使学生掌握实验研究的基本方法,提高学生的分析能力和创新能力。

⑤ 通过正确记录及处理实验数据、撰写合格的实验报告,提高正确论述的表达能力。

(2) 提高学生的科学素养。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、一丝不苟的科学工作态度,主动研究的探索精神和遵守纪律、团结协作、爱护公共财物的优良品德。

(3) 通过实验加深对物理学理论的理解。

总之,通过每一个实验完成规定的测量任务,获取应有的数据是本课程的教学手段,而目的是培养和锻炼学生进行科学实验的能力并获取实验知识,提高实验技能。

二、实验课的基本程序

1. 实验前准备

了解实验目的,看懂实验原理,并对所要使用的实验仪器的性能、基本工作原理和使用时的注意事项做到心中有数。为此对每个实验中所列的问题应该清楚,在此基础上写出预习报告,预习报告主要应包括实验中要观察的物理现象、需要测量的物理量,并列出实验记录表格。

2. 实验操作

实验时对所要使用的仪器及工具是否完好和可用应进行检查,经过一定的练习达到正确操作。在此基础上正确地组装和调整仪器得以进行实验(包括电路的正确连接、光路的调节等)。实验时一定要先观察现象,通过观察对被验证的定律或被测的物理量有个定性了解,而后再进行精确的测量。测量一定如实地记录数据,有条件可进行重复测量。实验完成后对获得的数据或观察到的现象进行分析,在肯定结果合理后再整理仪器和工具。

3. 写出实验报告

整理和分析所获得的实验数据,从而得出合理的实验结果,并对所得结果进行分析。

三、实验课的基本要求

(1) 课前预习实验讲义,明确实验目的,了解实验原理,弄清实验步骤,初步了解仪器的使用方法,画好记录表格。未做预习,不得动手做实验。

(2) 上课时,首先检查和熟悉仪器,根据操作规程正确安装和调整仪器,然后按实验程序进行实验。

(3) 实验时,一定要先观察欲研究的物理现象,在观察的基础上,再对被研究的现象进行定量测量。测量时,应如实及时做好记录(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做随心所欲的涂改。

(4) 测量完毕后,要及时整理实验数据,经指导教师检查签字后,方可结束实验。

(5) 实验完毕,应把实验仪器整理清点好,注意保持实验室的整洁,经指导教师同意,方能离开实验室。

(6) 严格遵守实验室规则,爱护实验仪器。仪器如有损坏,应及时报告教师。凡属学生责任事故者根据情节,要赔偿部分或全部损失。

(7) 认真按时完成实验报告。实验报告是实验的书面总结,报告应用自己的语言表达出:所做内容、依据的物理思想及反映的物理规律、实验结果及结果的分析、自己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。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 实验任务。

② 实验仪器:注明仪器名称、型号、主要技术参数,必要时画出仪器简图。

③ 实验原理:一般只需写出原理概要(包括原理图或测定公式,注明公式中各量的物理意义及适用条件)。

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,在预习时,就应设计好记录表格。记录数据时,要特别注意有效数字,并应注明测得量的单位。

⑥ 数据处理:包括数据表格、实验结果计算和不确定度计算的主要过程。

⑦ 实验结果的完整表示或图示等。

⑧ 实验小结、问题讨论或作业:对实验结果进行分析总结,也可对实验中出现的一些现象进行分析讨论,或完成课后作业题。

第一篇 物理实验基础知识

一个科学物理实验通常都是根据一定的物理学原理,通过特定的实验仪器,采用某种实验方法来获得某个或某几个物理量的量值。该过程涉及测量的概念、误差和不确定度的概念、物理实验中的基本操作、物理实验中的测量方法、物理实验仪器基本知识和数据处理方法等方面。本篇分4章分别介绍上述几个方面的内容。

第一章 测量结果的评定及数据处理

第一节 测量及其分类

一、测量(measurement)

在科学实验中,一切物理量都是通过测量得到的,其目的是要获得被测量的定量信息。测量是为了确定被测量的量值,使用专用仪器和量具,通过实验和计算而进行的一组操作过程。

二、直接测量和间接测量

按测量方式的不同,测量可分为直接测量和间接测量。

1. 直接测量

直接测量(direct measurement)又称简单测量。用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的仪器、仪表上直接读出测量值,其特点是待测量的值和量纲直接得到。例如用米尺、游标卡尺、千分尺测长度,用秒表测时间,用天平称质量,用电流表测量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

间接测量(indirect measurement)又称复合测量。多数物理量不便或不能直接测量,而是依据待测量与直接测量量的函数关系,先测出直接测量量,代入函数关系计算出待测量,这种测量称为间接测量,相应的被测量称为间接测量量。例如在用单摆(simple pendulum)测量重力加速度中,用秒表、米尺分别对周期 T 和摆长 L 进行直接测量,则重力加速度 g 可通过 $g = 4\pi^2 L/T^2$ 计算出来, T 、 L 是直接测量量, g 是间接测量量。

当然,一个物理量是直接测量量还是间接测量量并不是绝对的,要由具体测量的方法和仪器来确定。例如用伏安法测电阻,电流、电压是直接测量量,电阻是间接测量量;用欧姆表测量时,电阻又成了直接测量量。

三、等精度测量和非等精度测量

根据测量条件的不同,测量又分为等精度测量和非等精度测量。

1. 等精度测量

等精度测量(equal precision measurement)是指在相同测量条件下对同一物理量所做的重复测量。例如,在相同的环境下,由同一个测量人员,用同样的仪器和方法,对同一个待测量,进行相同次数的重复测量。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些或不精确些,所以每次测量的值是等精度的。

应该指出,要使测量条件完全相同、绝对不变是难以做到的,一般测量实践中(包括物理实验),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,一般可按等精度测