



"十二五"普通高等教育本科国家级规划教材

高等学校物理实验教学示范中心系列精品教材

大学物理实验

(第四版)

◎主 编 张兆奎 缪连元 张立 钟菊花

◎副主编 陈建华

Experiments in
University Physics

高等教育出版社



"十二五"普通高等教育本科国家级规划教材
高等学校物理实验教学示范中心系列精品教材

大学物理实验

(第四版)

◎主 编 张兆奎 缪连元 张立 钟菊花

◎副主编 陈建华

Daxue Wuli Shiyan

Experiments in
University Physics

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,是在第一、第二、第三版的基础上修订而成的。修订后的教材保持了第一、第二、第三版体系新颖、讲解细致、语言流畅的特点,同时引入了一些新的实验以及新的实验技术。

全书共分为五章:第一章阐述了处理实验数据的有关知识,包括不确定度及其简化估算;第二章系统地阐述了物理实验中的基本方法和基本技术;第三章介绍了部分常用的检测技术;第四章介绍了实验方案设计中的一些基本问题;第五章简述了以“现象”作为“课题”进行实验研究的基本思路。本书精选了 53 个实验,按训练的性质、层次进行分类,分别编入后四章中,是一本具有新型体系的实验教材。

本书可作为高等院校工科类专业或应用物理专业的物理实验教学用书,也可作为实验技术人员或有关课程教师的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验 / 张兆奎等主编. --4 版. --北京:高等教育出版社, 2016. 8

ISBN 978-7-04-045653-0

I. ①大… II. ①张… 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(2016)第 140566 号

策划编辑 王 硕

责任编辑 程福平

封面设计 张申申

版式设计 童 丹

插图绘制 杜晓丹

责任校对 李大鹏

责任印制 朱学忠

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 北京鑫海金澳胶印有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 28.25
字 数 630 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.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 1990 年 3 月第 1 版
2016 年 8 月第 4 版
印 次 2016 年 8 月第 1 次印刷
定 价 49.10 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 45653-00

第四版前言

本次修订,在保留前三版体系、风格、特色的同时,根据各使用学校教学实践后的建议,进行了以下几个方面的调整:

(1) 增加了第五章“课题研究性实验”。这是在设计性实验教学实践过程中衍生出的一类新的教学实验模式,是以“现象”作为“课题”,让学生去仔细观察,发现问题、分析原因,并根据自身的理解和知识结构,设计研究方案,进行实验研究。这样的实验有利于激发学生的创新精神,培养学生的创新思维。这次增加了六个“课题”。

(2) 增补了四个热学方面的实验和两个振动方面的实验。

(3) 对三个实验的内容进行了扩充:① 原“气垫技术”实验,改为“速度与加速度研究”和“碰撞——验证动量守恒定律”两个实验。“速度与加速度研究”中,用两个系统进行研究,一个是气垫与数字毫秒计系统,另一个是小车动力学轨道与运动传感器系统。② 原“阴极射线示波器”改为“示波器”实验,内容包含:实习一,阴极射线示波器;实习二,数字示波器。③ 原“光的偏振”实验改为“光的偏振与旋光”实验,内容包含:实习一,光的偏振;实习二,旋光。

(4) 删除了六个实验:① 用单摆测量重力加速度;② 灵敏电流计特性研究;③ 冲击法测磁场——互感系数的测定;④ 验证快速电子的动量与动能的相对论关系;⑤ 扫描隧穿显微镜;⑥ 组装迈克耳孙干涉仪。

(5) 为传承与发展,增补钟菊花为本书主编,钟菊花参加了第一版的讨论与编写,是第二、第三、第四版的主要修订者之一。

本次修订由张兆奎、钟菊花、陈建华具体负责。罗锻斌、谢湘华参加了修订。

编者

2016年3月

第三版前言

本次修订,在保留第一、第二版体系、风格、特色的同时,根据 2004 年教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会制定的《非物理类理工科大学物理实验课程教学基本要求》及广大使用者提出的建议和意见,作了以下四个方面的调整。

(1) 引入了一些基于基本物理原理、基本技能的应用性实验,如“太阳能电池伏安特性”“数码摄影”“传感器的应用——位移量测量组合实验”等。

(2) 将“实验 40 RC 串联电路暂态过程的研究”拓展为“动态物理过程的实时测量”。在保留了原有的用计算机模拟进行参量选择设计内容的基础上,增加了信号采集电路设计,及计算机数据采集实时测量训练。

(3) 将“实验 14 冲击法测磁场”中,基本原理、方法完全一致的实习一、二的实习二删除了,在“实验 15 霍尔法测磁场”中增加了实习二“铁磁材料的磁滞回线和磁化曲线测量”。

(4) 为保持实验总量不扩增,删除了“模拟电冰箱制冷系数的测量”和“小型棱镜摄谱仪的使用”两个实验。

此次修订由张兆奎、钟菊花、陈建华、张月兰具体负责。

编者

第二版前言

张兆奎、缪连元、张立主编的《大学物理实验》第一版,自 1993 年问世以来,深受广大读者的欢迎。这次修订,考虑了广大使用者提出的建议和意见,在保留第一版体系、风格、特色的同时,除改写了部分内容,调整了个别章节外,主要在以下三方面作了增补。

(1) 根据 1994 年修订的《测量误差及数据处理技术规范》中规定的使用不确定度评定测量结果的误差,增写了不确定度及其简化估算。

(2) 引入了各校近几年开发的反映近代物理教学内容的综合性实验,如“验证快速电子的动量与动能的相对论关系”“扫描隧穿显微镜”“熵的测定”“非线性电路中的混沌现象”等。

(3) 在设计性实验中,介绍了一种新的教学方式,即在微机上进行辅助设计,确定合理方案,再通过动手实践来验证方案并研究分析。

此次修订由华东理工大学张兆奎、钟菊花,上海大学缪连元、钟敏建,上海交通大学叶庆好,同济大学陈铭南,上海理工大学凤宝瑚七人小组负责。张兆奎、缪连元任正、副组长。参加第一版编写的各校部分教师参加了修订的讨论与编写。

编者

第一版前言

本书是根据《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》，结合上海地区部分高等工业学校几年来教学改革的经验编写而成的。

上海地区高等工业学校把物理实验课作为一门独立设置的必修课以来，已经历了十个寒暑。改革的实践使我们认识到，实验教学的根本目的是“培养学生科学实验能力，提高学生科学实验素质”。我们是以这一根本目的为主线来编写本教材的，以使获得具有一定系统性的物理实验基本知识，基本方法和基本技能。

本书编写有以下几个特点：

(1) 把分散在各实验中的基本物理实验知识、基本物理实验方法、基本物理实验技能，进行了归纳和总结，并在阐述中注意系统性。全书共分为四章：第一章为物理实验基本知识，着重阐述与大学物理实验有关的数据处理知识；第二章为物理实验基本训练，比较系统地叙述了物理实验中的基本方法、基本调节技术与常用的基本仪器；第三章为物理实验基本技术，介绍了部分常用的检测技术；第四章为设计性实验，介绍了实验设计中的一些基本问题。在后三章中，每一章都配有一定数量的供训练用的实验课题。

(2) 在实验课题的选取上注意了典型性，改变了按“力、热、电、光”的顺序编排内容的方式。采取了按训练的性质、层次进行分类，按由浅入深、循序渐进的原则进行编排的方式。

(3) 在各个实验训练课题的编写中，原理部分着重实验思路的引导，突出了从提出问题到解决问题的逻辑思维过程；实验要求注重能力的培养；实验步骤由详到略，给学生以一定的思考余地。在每个实验课题后，都列有预习思考题和讨论题，前者引导学生实验前的预习，后者供学生实验后分析讨论和巩固提高。

(4) 考虑到目前中学实验的实际基础，以及各高等工业学校的实验条件不尽相同的情况，在实验训练课题的选取上留有一定余地，供各校选择。在涉及仪器介绍时，尽量突出仪器的基本原理与使用方法，在附录中则适当介绍这类仪器几种常用型号的外形特征，以增强适用性。

(5) 在物理量测量次数、数据处理与误差运算方面，本书对直接测量与间接测量分别给出了一张测量的工作流程图，使学生掌握一个基本的程序。

本书是在上海市高等教育局教学处领导下，上海市高等工业学校物理协作组组织下进行编写的。本书编写委员会由华东理工大学张兆奎、上海工业大学缪连元、上海交通大学张立、上海铁道学院张守义、上海大学工学院杨锦文五人组成。张兆奎、缪连元、张立任主编。参加本书编写工作的还有：上海工程技术大学姚世亨，同济大学陆廷济、费定曜，上海科技大学王国华，中国纺织大学王璧如、汪天泰，上海机械学院凤宝瑚，上海交通大学钟洪荪、梁华翰、屈统明，华东理工大学顾懿、洪美霞，上海工业大学范培青、谢学枢、江伯陶，上海大学工学院马民勋，上海铁道学院楼晚珍。华东理工大学周昌寿、黄德昭审阅了全书。

实验教学是一项集体的事业，本书的编写凝聚了上海地区各校实验教师和技术人员的智

慧与劳动成果。在本书编写期间还得到了全国兄弟院校许多同行的鼓励和支持,谨致深切的谢意。

编写一本新型体系的教材,是一项艰苦而又复杂的任务,有赖于进行不断地改革实践和长期的研究探索,才能日臻完善。我们所做的工作只是一块引玉之砖,缺点和错误在所难免,敬请使用和阅读本书的教师、同学、技术人员和读者不吝指正,以便再版时修改订正。

编者

目 录

绪论	1
第一章 物理实验基本知识	4
1.1 观察与分析	4
1.2 测量及其误差	6
1.2.1 量、测量和单位	6
1.2.2 直接测量与间接测量	6
1.2.3 测量误差及其分类	6
1.2.4 系统误差	7
1.2.5 随机误差	8
1.3 测量结果的最佳值与随机误差的估算	9
1.3.1 随机误差的统计规律	9
1.3.2 测量结果的最佳值——算术平均值	10
1.3.3 随机误差的表示法	10
1.3.4 随机误差的估算	13
1.3.5 平均值的标准误差	13
1.4 仪器误差	14
1.4.1 仪器的最大误差	14
1.4.2 仪器的标准误差	15
1.5 间接测量的误差传递	16
1.5.1 误差的一般传递公式	16
1.5.2 标准误差的传递公式	17
1.5.3 有限次测量的间接测量标准误差	18
1.6 不确定度	18
1.6.1 不确定度	19
1.6.2 不确定度的简化估算方法	19
1.6.3 合成不确定度	20
1.6.4 测量结果有效数字取舍原则	21
1.7 有效数字及其运算	22
1.7.1 有效数字的概念	22
1.7.2 有效数字运算规则	24
1.8 测量和数据处理程序	25

1.8.1	直接测量及其数据处理的程序	26
1.8.2	间接测量及其数据处理的程序	26
1.9	数据处理的基本方法	26
1.9.1	列表法	26
1.9.2	图示法和图解法	27
1.9.3	逐差法	32
1.9.4	最小二乘法和线性拟合	33
第二章	物理实验基本训练	37
2.1	物理实验的基本测量方法	37
2.1.1	比较法	37
2.1.2	放大法	39
2.1.3	转换测量法	41
2.1.4	模拟法	42
2.2	物理实验的基本仪器	43
2.2.1	力学基本仪器	43
2.2.2	电学基本仪器	49
2.2.3	光学基本仪器	58
2.3	物理实验中的基本调整与操作技术	65
2.3.1	零位调整	65
2.3.2	水平、竖直调整	66
2.3.3	消除视差	66
2.3.4	共轴调整	68
2.3.5	逐次逼近法	68
2.3.6	先定性、后定量原则	68
2.3.7	电学实验的操作规程	69
2.3.8	光学实验的操作要点	70
2.4	微机与微型计算器在物理实验中的应用	70
实验1	微小长度变化的测量——光杠杆镜尺法	72
实习1	金属的杨氏模量的测量	73
实习2	金属线膨胀率的测量	78
实验2	速度与加速度的研究	81
实验3	电桥法测中、低值电阻	93
实验4	补偿原理和电势差计	102
实验5	光路调整和透镜焦距测量	111

实验 6 分光计	118
实验 7 碰撞实验——验证动量守恒定律	130
实验 8 液体表面张力系数的测量	133
实验 9 转动惯量的测量	140
实习 1 三线摆	140
实习 2 扭摆	145
实验 10 静电场测绘	148
实验 11 电表改装与校正	154
实验 12 胡克定律及弹簧的能量存储实验	158
实验 13 弦振动与驻波	164
实验 14 气体比热容比的测定	170
第三章 物理实验基本技术	173
3.1 非电学量电测技术	173
3.1.1 热电转换技术	173
3.1.2 力电转换技术	177
3.1.3 光电转换技术	178
3.2 测磁技术	183
3.2.1 冲击法	183
3.2.2 感应法	186
3.2.3 霍尔效应法	187
3.2.4 核磁共振法	189
3.3 电学测量动态显示技术	191
3.3.1 阴极射线示波器	191
3.3.2 电子电势差计	192
3.3.3 x - y 函数记录仪	192
3.4 光学测量基本技术	193
3.4.1 干涉测量技术	194
3.4.2 衍射测量技术	197
3.4.3 偏振测量技术	198
3.5 照相和暗室技术	202
实验 15 示波器实验	203
实习 1 阴极射线示波器	203
实习 2 数字示波器	213
实验 16 霍尔法测磁场	226

实习 1 通电螺线管内磁场分布的测量	227
实习 2 铁磁质材料的磁化曲线和磁滞回线测量	229
实验 17 光的干涉——牛顿环	235
实验 18 衍射光栅	239
实习 1 汞光谱波长测量	239
实习 2 氢原子光谱研究	243
实验 19 单缝衍射的光强分布	245
实验 20 光的偏振与旋光	249
实习 1 光的偏振	249
实习 2 旋光	255
实验 21 迈克耳孙干涉仪	258
实验 22 非电学量电测(一)——温度电测法	267
实习 1 电阻温度计与不平衡电桥	267
实习 2 热电偶标定与测温	269
实验 23 非电学量电测(二)——声速测量	272
实验 24 用波尔共振仪研究受迫振动	278
实验 25 太阳能电池伏安特性的测量	286
实验 26 金属逸出电势的测定	291
实验 27 光电效应	295
实验 28 元电荷测定——密立根油滴实验	299
实验 29 传感器的应用——位移量测量组合实验	307
实习 1 光纤传感器	309
实习 2 霍尔式传感器	310
实习 3 电涡流式传感器	311
实习 4 电容式传感器	312
实习 5 电阻应变片传感器	313
实验 30 照相技术	316
实习 1 黑白照相	316
实习 2 数码摄影	323
实验 31 全息照相	333
实习 1 激光再现全息照相	333
实习 2 白光再现全息照相	338
实验 32 冷却法测量金属的比热容	341

实验 33 空气热机实验	346
实验 34 动态法测量良导体的热导率	350
第四章 设计性实验	357
4.1 设计性实验的性质与任务	357
4.1.1 科学实验的全过程	357
4.1.2 设计性实验的特点	358
4.2 处理系统误差的一般知识	358
4.2.1 系统误差的分类	358
4.2.2 系统误差的处理	360
4.3 实验方案的选择和实验仪器的配套	365
4.3.1 实验方案的选择	365
4.3.2 测量方法的选择	365
4.3.3 测量仪器的选择	366
4.3.4 测量条件的选择	368
4.3.5 数据处理方法与实验方案的选择	369
4.3.6 实验仪器的配套	371
实验 35 误差分配和实验仪器的选择	372
实验 36 重力加速度的研究	374
实验 37 简谐振动的研究	375
实验 38 落球法测定液体的黏度	378
实验 39 变阻器的使用与电路控制	381
实验 40 电势差计校准电表和测定电阻	386
实验 41 非线性电阻特性研究	388
实验 42 动态物理过程的实时测量	391
实验 43 动态悬挂法测定金属材料的杨氏模量	397
实验 44 硅光电池特性的研究	401
实验 45 光栅特性的研究	404
实验 46 熵的测定	406
实验 47 非线性电路中的混沌现象	408
第五章 课题研究性实验	412
实验 48 蜡烛火焰熄灭后水面升高的现象研究	412
实验 49 高斯炮中磁相互作用的研究	413
实验 50 挥动绳子发声机理的探究	415

实验 51 探究盛液瓶子的滚动规律	416
实验 52 罐中罐冰箱的制作与研究	417
实验 53 开尔文静电发生器	418
总附录	421
1. 中华人民共和国法定计量单位	421
2. 一些常用的物理常量	424

绪论

1. 科学实验的地位和作用

认识来源于实践.科学实验是独立的实践活动之一.它是人们根据一定的研究目的,通过积极的构思,利用科学仪器、设备等物质手段,人为地控制或模拟自然现象,使自然过程或生产过程以比较纯粹的或典型的形式表现出来,从而在有利条件下,探索自然规律的一种研究方法.

科学实验的任务主要是:研究人类尚未认识或尚未充分认识的自然过程,发现未知的自然规律,创立新学说、新理论,研制、发明新材料、新方法、新工艺,为生产实践提供科学理论的依据,促进生产技术的进步和革命,提高人们改造自然的能力.近代自然科学的重大突破,一般不是直接来自生产实践,往往是通过科学实验这个环节研究出来的结果.

科学实验既是一切理论研究活动的基础,又离不开理论的指导.科学理论来源于科学实验,并受科学实验的检验.然而,实验研究课题的选择,实验的构思和设计,实验方法的确定,实验数据的处理,以及从实验结果中提出的科学假设,作出的科学结论,等等,都始终受理论支配.理论对实验的指导作用,还突出地表现在怎样对待科学探索中的“机遇”.有的科学工作者,由于具有较高的理论修养、较强的洞察力和良好的实事求是的作风,因而对“机遇”所提供的信息十分敏感,能及时作出正确的判断,选择那些看来有意义的现象进行深入的研究,这也是他们富有创造力的表现.相反,有的科学工作者对“机遇”视而不见,或者轻易放过,这是缺乏创造力的表现.

综上所述,科学实验是科学理论的源泉,是自然科学的根本,是工程技术的基础,同时科学理论对实验起着指导作用.因此,我们要处理好实验和理论的关系,重视科学实验,重视进行科学实验训练的实验课的教学.

2. 物理实验的地位和作用

物理实验是科学实验的重要组成部分之一.物理实验在科学、技术的发展中有着独特的作用.历史上每次重大的技术革命都源于物理学的发展.热力学、分子物理学的发展,使人类进入热机、蒸汽机时代;电磁学的发展使人类跨入电气化时代;原子物理学、量子力学的发展,促进了半导体、原子核、激光、电子计算技术的迅猛发展.然而物理学本质上是一门实验科学.三四百年前,伽利略和牛顿等学者,以科学实验方法研究自然规律,逐渐形成了一门物理科学.从此一切物理概念的确立,物理规律的发现,物理理论的建立都有赖于实验,并受实验的检验.

物理学史上,如果没有法拉第等实验科学家进行电磁学的实验研究,

发现了电磁感应定律等一系列实验规律,麦克斯韦就不可能建立麦克斯韦方程组.在确定了经典电磁学理论后,麦克斯韦预言了电磁波的存在,经过赫兹的实验研究,证实了电磁波的存在,从而使经典电磁学理论更为人们所信服.被称为“牛顿以来最伟大的发现之一”的能量量子化概念,就是在人们面对着黑体辐射实验,遇到了运用经典理论无法克服的困难时,普朗克紧紧抓住了1900年夏天德国物理学家康尔鲍姆和鲁本斯对热辐射光谱所作的新的精确测量的结果,大胆地提出了量子的假设,运用合理的数学方法,从理论上导出了符合实验结果的黑体辐射公式,为量子力学的发展开辟了道路.

物理实验在物理学自身发展中有着重要的作用,同时在推动其他科学、工程技术的发展中也起着重要的作用.特别是近代各学科相互渗透,发展了许多交叉学科,物理实验的构思、物理实验的方法和技术与化学、材料学、生物学、信息学、天文学等学科相互结合已经取得了丰硕的成果,而且必将发挥更大的作用.

因此,作为培养高级工程技术人才的高等工业学校,不仅要使学生具备比较深入而广博的理论知识,而且要使学生具有较强的从事科学实验的能力.物理实验是对高等工业学校学生进行科学实验基本训练的一门独立的必修基础课程,是学生在高等学校受到系统实验技能训练的开端.它在培养学生运用实验手段去发现、观察、分析、研究和解决问题的能力方面,在提高学生科学实验素质方面,都起着重要的作用.同时,它也将为学生今后的学习、工作奠定一个良好的实验基础.

3. 物理实验课的目的与任务

物理实验作为一门独立的基础课程,它有以下三方面的目的和任务:

(1) 通过对实验现象的观察分析和对物理量的测量,使学生进一步掌握物理实验的基本知识、基本方法和基本技能;并能运用物理学原理、物理实验方法研究物理现象和规律,加深对物理学原理的理解.

(2) 培养与提高学生从事科学实验的素质.包括:理论联系实际和实事求是的科学作风;严肃认真的工作态度;不怕困难,主动进取的探索精神;遵守操作规程,爱护公共财物的优良品德;以及在实验过程中同学间相互协作,共同探索的合作精神.

(3) 培养与提高学生科学实验的能力.包括:

自学能力——能够自行阅读实验教材或参考资料,正确理解实验内容,在实验前做好准备.

动手实践能力——能够借助教材和仪器说明书,正确调整和使用常用仪器.

思维判断能力——能够运用物理学理论,对实验现象进行初步的分析和判断.

表达书写能力——能够正确记录和处理实验数据,绘制图线,说明实验结果,撰写合格的实验报告.

简单的设计能力——能够根据课题要求,确定实验方法和条件,合理选择仪器,拟定具体的实验程序.