

21世纪高等院校教材

龚勇清 易江林 主 编
陈学岗 朱泉水 王 庆 副主编

大学物理实验



科学出版社
www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

大学物理实验

龚勇清 易江林 主编

陈学岗 朱泉水 王 庆 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据教育部颁发的《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》和《关于工科物理实验课程教学改革指南》，结合编者多年物理实验教学实践经验编写而成，具有“内容新、体系新”的特点。全书共 60 个实验，分为基础实验、近代物理实验、综合设计性实验、仿真演示实验等。本书充分反映了近几年来大学物理实验课程教学改革的成果和发展趋势，注重实验内容的新颖性、综合性。另外，在传授知识的同时，注重培养学生的创新精神和对实验的兴趣，因材施教，既保证了对教学要求的贯彻，又促进了个性的发展，为学生提供一个良好的自主学习空间。

本书可作为高等工业学校各专业的物理实验教学用书，也可供高职高专、电大等学校选用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/龚勇清,易江林主编. —北京:科学出版社,2007
21 世纪高等院校教材
ISBN 978-7-03-019734-4

I. 大… II. ①龚… ②易… 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(2007)第 129975 号

责任编辑:李鹏奇 胡云志 赵 靖 / 责任校对:钟 洋
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 8 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2007 年 8 月第一次印刷 印张: 17 1/2

印数: 1—4 000

字数: 323 000

定价: 24.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

《大学物理实验》

编辑委员会

主 编	龚勇清	易江林	
副主编	陈学岗	朱泉水	王 庆
编 者	乐淑萍	黄 彦	柴明钢
	李 凤	叶 雯	罗宁宁
	钟可君	江光裕	陈凤英
	李淑静	吴丽娟	张海林

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

我不喜欢那种没有实验的枯燥的讲课，因为归根到底所有的科学进展都是从实验开始的。

——奥斯特

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

自己动手，自己动脚，用自己的眼睛观察，这是我们实验工作的最高原则。

——巴甫洛夫

序

旧中国科学技术落后直接书写了国家受凌辱的近代史。当今，作为制造业大国的中国，众多领域里有自主知识产权的技术为数不多，又直接演绎着国人干活外国人挣钱的现状。许多学者、教育专家早就指出，中国大学生理论基础好，国外学生动手能力与创新能力强。没有创新性就没有自主知识产权，也就不能实现跻身于世界强国之林的理想。

物理是一门以实验为基础的自然科学，物理实验在物理教学中有着不可替代的作用。实验教学过程是一个培养学生动手、动脑、动脑的过程，培养学生的实验操作技能，以及观察问题、分析问题和解决问题的能力，从而能够较全面地提高学生的基本素质。作为大学生进入大学后接触到的第一个有系统性的独立设课的实验课程，物理实验在培养动手能力，掌握基本的实验方法和实验技能，发展学生的思维能力方面和培养学生理论联系实际的学风、实事求是的科学态度和探究问题的科学方法上都具有十分重要的意义和不可替代的作用。

传统的物理实验课着重于配合理论课的学习，给学生传授知识和技能，在实验过程中很少有机会发挥自己的创新思维和创造能力，对培养学生动手能力和创新能力都没有起到应有的作用。这本教材在克服这一弊端，建立面向新世纪的物理实验体系方面，做出了有益的尝试，取得了较好的成果。

这一教材体系按照实验的基础普遍性、难易程度和侧重培养能力的方面分为四个部分，第一部分实验定位为基础性实验，第二部分实验定位为近代物理实验，第三部分综合设计性实验，第四部分演示仿真实验。这样一种安排，既符合循序渐进的认知规律，又突出了创新能力的培养，将学生从具有必要的基础一步一步引向综合、创新，最后通过演示和仿真实验开阔学生思路，使之能在广泛的领域开展创造性的工作。这套教材的体系是培养新世纪创新人才的全新体系。

承担教材编写的南昌航空大学是有几十年办学历史的大学，南昌航空大学的大学物理实验中心有长期物理实验的教学实践经验，特别是在 2006 年获得“江西省高校实验示范中心”称号之后，中心把建设目标定位为：建成一流的省级实验示范中心，加快了实验教学改革过程。南昌航空大学大学物理实验中心在本科

人才培养和社会服务中的地位日益显著，受到了广泛关注。

由龚勇清、易江林等人编写的这套教材，是南昌航空大学几十年物理实验教学经验的总结，更是这几年教学改革经验的总结。这套教材是一套具有创新体系的全新实验教材。编者都是在教学第一线工作的、具有丰富经验的教师。新实验教学体系在南昌航空大学经过教学实践考验，不断完善，形成了符合培养新世纪人才科技素质需要的特色。

高益庆

2007年7月

前 言

本书是按照国家教育部颁发的《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》，在总结了以往物理实验课教学改革经验基础上，结合学生专业特点和现有仪器设备情况，在 1999 年编写的《大学物理实验》一书的基础上编写而成的。

大学物理实验课是为工科学学校学生开设的一门独立的必修基础课，是学生进入大学后系统地接受实验方法和实验技能训练的开端；是国家教育部指定的六门重点基础课之一。在培养学生动手能力，基本的实验技能，发展学生的思维能力和培养学生理论联系实际的学风、实事求是的科学态度和探究问题的科学方法上有着不可替代的作用。特别是在新世纪国家大力提倡培养学生的创新能力的情况下，物理实验所起的作用是不言而喻的。

在近几年，特别是大学扩招以来，物理实验教学的环境、情况都发生了很大变化。面对新世纪的学生特点，新的培养目标，要求实验教学必须改变以前的培养思路，同时为了适应新的教学仪器和新的实验，也需要更新实验的教学内容及手段。考虑到这些情况，本书和一些教材相比，有以下几个特点：

1. 与传统的物理实验教材相比，本教材尽量体现物理实验新的教学思路，在完成规定的实验技能培养的前提下注重培养学生的动手能力和独立思考问题的能力，同时尽量介绍一些实验思想比较先进，实验设计巧妙的实验，力求反映当前主流的实验理论、技术和方法，扩大学生的思路。

2. 本书在内容编排上遵循实验能力培养应循序渐进的规律。本书不是和以往一样按内容编排章节，而是按照对学生能力的侧重培养将实验分成基础性实验、近代物理实验、综合设计性实验和演示仿真实验。学生在这些实验的学习中可以根据自己的兴趣和能力选择相应的实验，这样也更好地体现分类指导与因材施教的原则。

3. 作为一门独立设置的必修课程，与其相应的教材必须形成完整的体系。本书在内容编写上注意原理叙述清楚、简明易懂，对实验步骤进行了详细的说明，便于学生预习。某些实验给出了完整的数据记录表格及误差分析，以作示范。

4. 增加了设计性实验课题，注重实验能力、创新能力的培养，加强了对

“科学实验全过程”的训练。

5. 教材各部分间依据由浅入深、循序渐进的原则，既可在更大的范围内适应不同类型、不同专业的学生，又可使学生更好地学习和掌握物理实验中的物理思想和方法。

本书由龚勇清教授、易江林教授担任主编，陈学岗副教授、朱泉水、王庆高级工程师担任副主编，参加编写的还有乐淑萍、黄彦、柴明钢、罗宁宁、叶湛雯等教师。

本书虽由以上同志执笔编写，实际上是一项集体创作，经过多年的教学实践，多次更新、扩充后才达到现在的水平。书中凝聚了他们的智慧和劳动，是集体智慧的结晶。本书编写期间，参阅了许多兄弟院校的教材，吸取了宝贵的经验，甚至引用了部分内容，在此深表谢意。

由于编者的水平有限，编写和出版时间仓促，肯定存在不少的缺点和错误，我们恳切希望广大读者批评指正，不胜感谢！

编 者

2007 年 5 月

目 录

序

前言

绪论	1
第一章 测量误差、测量结果的表示	3
1.1 测量与误差	3
1.2 误差的分类及其处理方法	4
1.3 测量结果及其表示	7
第二章 有效数字、实验数据的处理	12
2.1 有效数字	12
2.2 实验数据的处理	16
第三章 物理实验课的基本程序 and 基本要求	24
3.1 基本程序	24
3.2 基本要求	25
第四章 基础实验	28
实验一 密度的测定	28
实验二 转动惯量的测量——三线扭摆法	30
实验三 用电量热器测液体比热容	34
实验四 测定杨氏模量	37
实验五 电阻的测量	41
实验六 电子示波器的使用	47
实验七 用双电桥测低电阻	56
实验八 用电位差计测温差电偶的电动势	61
实验九 霍尔效应及应用	69
实验十 光的干涉	74
实验十一 分光计的调试及测三棱镜的折射率	79
实验十二 单缝衍射及光强分布	85
实验十三 光栅衍射	94
实验十四 光的偏振	97
第五章 近代物理实验	107
实验十五 密立根油滴实验	107

实验十六 夫兰克-赫兹实验	114
实验十七 全息照相	118
实验十八 迈克耳孙干涉仪	123
实验十九 光速的测量	132
实验二十 光电效应普朗克常数测定	141
实验二十一 光纤位移传感器实验	145
第六章 综合、设计性实验	149
实验二十二 温度标的设计和制作	149
实验二十三 电表内阻的测量	149
实验二十四 声速的测定	150
实验二十五 运动学综合实验(多普勒效应)	156
实验二十六 多用表的设计	165
实验二十七 易溶于水的颗粒状物质的密度测定	171
实验二十八 用迈克耳孙白光干涉测透明介质薄片的折射率	172
实验二十九 伏安法测非线性电阻	173
第七章 仿真和演示实验	175
实验三十 仿真实验	175
30.0 仿真软件的使用	175
实验 30.1 核磁共振	179
实验 30.2 热敏电阻温度特性研究	187
实验 30.3 G-M 计数管和核衰变的统计规律研究	196
实验三十一 演示实验	203
实验 31.1 转盘式科里奥利力演示	203
实验 31.2 转动定理演示	204
实验 31.3 机械能守恒原理演示	205
实验 31.4 简谐运动与圆周运动等效演示	206
实验 31.5 共振演示	206
实验 31.6 阻尼摆和非阻尼摆演示	208
实验 31.7 纵波演示	208
实验 31.8 气体涡旋演示	209
实验 31.9 伯努利方程演示	210
实验 31.10 视错觉演示	211
实验 31.11 台式肥皂膜演示	212
实验 31.12 热力学第二定律演示	213
实验 31.13 声聚焦演示	214

实验 31.14 静电跳球	215
实验 31.15 尖端放电	216
实验 31.16 富兰克林轮	217
实验 31.17 避雷针放电原理	217
实验 31.18 静电除尘	218
实验 31.19 电介质极化模拟演示	218
实验 31.20 投影式洛伦兹力演示	219
实验 31.21 绝缘体转换为导体演示	219
实验 31.22 等厚干涉磁致伸缩演示	220
实验 31.23 巴克豪森效应演示	221
实验 31.24 压电效应演示	222
实验 31.25 光瞳概念演示	223
实验 31.26 凹面反射镜成像演示 (魔镜)	223
实验 31.27 分辨本领演示	224
实验 31.28 海市蜃楼演示	224
参考文献	226
附录	227
附录 1 中华人民共和国法定计量单位	227
附录 2 常用计量单位换算表	228
附录 3 常用物理基本常数表	229
附录 4 实验室常用测量仪器	230
附录 5 物理实验的基本测量方法	247
附录 6 正确使用仪器时绝对误差值 $\Delta_{\text{仪}}$	252
附录 7 设计性实验设计方法	252
附录 8 世界十大经典物理实验	256
附录 9 诺贝尔物理学奖与物理实验	259

绪 论

科学实验是人类文明发展的积极推动力之一，物理实验在其中占据了重要的位置。科学实验同单纯的观察、被动的经验有很大的区别，观察是实验的前提，实验是观察的发展。观察是搜集自然现象所提供的东西，而实验是从自然现象中提取它所要的东西。此外，物理学的发展历史也表明，物理学从来就是一门建立在实验基础上的学科。物理理论的建立、物理规律的发现，都必须严格以实验为基础，并接受实验的检验；而且，物理学中的一些开创性的假设、预言，最终也需要通过实验检验其正确性。

对于理工科学生而言，大学物理实验是让低年级学生接受系统的实验方法和技能培训，培养其科学实验能力的一门重要基础课程。物理实验有它自身的一套实验理论、方法和技术，学生只有通过循序渐进的系统学习和操作训练，才能逐渐掌握其知识和思想，并提高自身的素质和能力。

一、物理实验与科学素质的培养

物理学是研究物质结构与运动规律的学科，也是一门以实验为基础的学科，是理论和学说的检验标准之一。在物理学科的素质教育中，实验教学占有十分重要的地位。大学物理实验在培养学生独立从事科学技术研究工作的能力和理论联系实际的综合分析与思维与表达能力等方面都是绝不能缺少的一课。

科学素质主要由三方面因素构成：知识因素、智能因素和非智力因素。物理实验除了对知识的掌握、智能的提高有明显的作用之外，对非智力因素的培养也起着明显的作用。物理实验不仅能培养学生实事求是的科学态度、严谨细致的工作作风和坚忍不拔的意志品质，而且能有助于学生形成正确的观念、优秀的道德品质，培养高尚的思想情操和浓厚的学习兴趣。

物理实验能为学生提供手脑并用的良好机会，对培养学生理论联系实际的科学作风有特殊的功能。通过提前阅读实验教材讲义和相关参考资料，完成预习报告，做好实验准备，可以培养学生的自学能力；通过借助实验教材和教师提示，独立地对实验过程进行操作，正确观察实验现象，进行实验数据测量，可以培养学生的动手能力；通过正确地列出实验表格，记录和处理实验数据，绘制数据曲线，运用物理学理论对实验进行分析判断，并撰写实验报告，可以锻炼学生的分析判断能力和表达能力；对于简单问题，通过从研究对象和实验要求入手，查阅相关资料，确定实验方案和实验步骤，根据精度要求确定实验参数，选配仪器，

可以训练学生的设计能力。此外,实验还可以为学生提供进行人际交往,开展国际合作的良好机会。

二、物理实验课的教学任务和内容

本课程以基本物理量的测量方法、基本物理现象的观察和分析、常用测量仪器的结构原理和使用方法为主要教学内容,对学生s的基本实验能力、分析能力、表达能力和综合运用设计能力等进行较全面的培养。按照国家教育部颁布的《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》的规定,大学物理实验课的具体内容为:

(1) 通过对物理实验现象的观察、分析和对物理量的测量,学习物理实验知识,加深对物理学原理的理解。

(2) 培养和提高学生的科学实验能力,其中包括:①能够通过自行阅读实验教材和资料概括出实验原理和实验方法的要点,做好实验前的准备;②能够借助教材和仪器说明书正确使用仪器(培养实验操作技能);③能够运用物理学原理对实验现象进行初步的分析、判断;④能够正确记录和处理实验数据,绘制曲线,说明实验结果,撰写合格的实验报告;⑤能够完成简单的、具有设计性和综合性内容的实验。

(3) 培养和提高科学实验能力,培养学生理论联系实际的能力、实事求是的科学作风、严肃认真的科学态度、主动研究的探索精神,以及遵守纪律、团结协作和爱护公共财物的优良品德。

第一章 测量误差、测量结果的表示

物理实验是以测量为基础的。测量可分为直接测量与间接测量。由于测量仪器、测量方法、测量环境、人员的观察力等种种因素的局限，测量不可能无限精确，测量结果与客观存在的真值之间总是存在一定的差异，即存在测量误差。因此分析测量中产生的各种误差，尽量消除或减小其影响，并对测量结果中未能消除的误差作出估计，给出测量结果的不确定度，是物理实验和科学实验中必不可少的工作。为此，本章主要介绍误差的概念、特性、产生的原因及测量结果的不确定度的概念与估算方法，以及测量数据的处理等有关知识。

1.1 测量与误差

一、测量

所谓测量就是将待测物理量与规定作为标准单位的标准物理量通过一定的比较，其倍数即为待测物理量的测量值。

按测量方式的不同，可将测量分为直接测量和间接测量两类。

运用量具或仪表直接测得物理量的数值，称为直接测量或简单测量。例如，用米尺、游标卡尺、千分尺测量长度；用秒表测时间；用电流表测电路中的电流强度等。它的特点是测量结果直接得到。

多数物理量不便或不能直接测量，于是我们可以先对可直接测量的相关物理量进行测量，然后依据一定的函数关系计算出待测的物理量，称为间接测量或复合测量。例如，用单摆测定重力加速度 g 时，可用米尺先测量出单摆的摆长 l ，用秒表测量出单摆的摆动周期 T ，然后通过函数式 $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$ 计算得到。这里 g 是间接测量量， l 、 T 是直接测量量。

一个物理量应直接测量还是间接测量不是绝对的，要根据所用的仪器和测量方法来定。例如，测量一圆柱体的体积 V ，可以先用米尺（或卡尺）对直径 d 和高度 h 进行直接测量，然后根据公式 $V = \frac{1}{4} \pi d^2 h$ 计算出它的体积，这属间接测量；若把圆柱体投入盛有一定量水的量筒中，从液面的上升直接得到体积，则属直接测量。再如，测液体密度（比重），可选用比重计直接测量，也可以选用天平和量筒间接测量。

根据测量条件的不同,也可将测量分为等精度测量和非等精度测量。对某一物理量在相同的测量条件(如同一观察者、同一组仪器、同一测量方法和同样的环境条件等)下进行测量,并得到测量数据 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 称为等精度测量。在所有的测量条件中,只要有一个发生变化,则所进行的测量就称为不等精度测量。

严格地说,在实验过程中保持测量条件完全相同的多次测量是极其困难的,但当某一条件的变化对结果的影响不大甚至可以忽略时,仍可将此种测量视为等精度测量。除特别指明外,一般在大学物理实验中的重复测量都认为是相同条件下的等精度测量。

二、误差

任一物理量,在一定条件下都存在一个客观值,这个客观值称为该物理量的真实值。而用实验手段测出来的值则称为该物理量的测量值。由于仪器准确度、测量方法、环境影响等条件的限制,任何实验测量都不可能得到真值,测量值与真值总是存在差异,这种差异称为测量误差或绝对误差。如以 x_0 表示某一物理量的真实值,以 x 表示该量的测量值,则误差的定义式为

$$\delta = x - x_0 \quad (1.1)$$

随着科学技术水平的提高和人们的经验、技巧、专门知识的丰富,误差可以控制得愈来愈小,但不能使误差降低为零。因此,误差始终存在于一切科学实验过程中。误差 δ 可正可负,是一个代数值,它只表示测得值偏离真实值的程度。

1.2 误差的分类及其处理方法

根据误差的性质和产生的原因,传统上把误差分为过失误差、系统误差和随机误差。

一、过失误差(粗大误差)

过失误差是由于测量者在测量过程中操作、读数、运算和记录等方面的差错而造成的误差。其特点是:测量结果大大地偏离真实值(即误差“粗大”),并且使得数据的结构显著地偏离正常规律。

过失误差是由于观测者的疏忽大意,或对仪器的使用方法不当,或对实验原理不甚理解或记错数据造成的。这种误差毫无规律可循,有时可能造成极大的差错。因此,一旦发现含有粗大误差的测量数据,应将其剔除不用。

二、系统误差

在同一条件下多次测量同一物理量时，误差的大小和符号始终保持恒定，或在条件改变时，误差的大小和符号按一定规律变化，这种误差叫系统误差。其特点是：出现有规律，在测量条件不变时有确定的大小和方向，增加测量次数并不能减小系统误差。

系统误差主要由以下几方面原因造成。

(1) 仪器误差：由于仪器本身的固有缺陷、校正不完善或使用不当引起的误差。例如，仪器零点不准，标尺刻度不准，天平臂不等长，在 20℃ 标定的标准电阻、标准电池在较高或较低温度下使用等。

(2) 环境误差：外界环境因素造成的误差。如温度、湿度、气压、振动、电磁场、重力场等干扰造成的误差。

(3) 方法误差或理论误差：测量所依据的理论公式本身的近似性，或实验条件不能达到理论公式的要求，或测量方法所带来的误差。例如，单摆测重力加速度的实验中，公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 采用了 $\sin\theta\approx\theta$ 的近似条件。

(4) 个人误差：由于测量者个人特殊的生理特点造成的习惯性偏向。例如，用停表时操之过急，计时数偏小；读指针读数时总是偏向一方等。

因系统误差总是使测量结果向一个方向偏离，因此系统误差能够发现并消除或减小。其常见方法有：

(1) 对于能掌握的系统误差，可取其负值为修正值加到测量结果上，使测量结果得到修正；或者在计算公式上加上修正项消除某项系统误差；或者用更高一级的标准仪器校准一般仪器，得到修正值或修正曲线等。

(2) 从测量方法上抵消系统误差。

① 交换法（对置法）：将被测量与标准量的位置互换进行两次测量，取两次测量的平均值作为测量结果，以达到消除系统误差的目的。如图 1.1 所示，用惠斯通电桥测电阻，要求两臂长相等，即两臂 l_1 、 l_2 等长，但实际上做不到，所以在测量被测电阻 R_x 时，将被测电阻与标准电阻 R_3 交换位置，即有

$$l_1 R_{3\text{右}} = l_2 R_x, \quad l_1 R_x = l_2 R_{3\text{左}}$$

即得

$$R_x = \sqrt{R_{3\text{右}} R_{3\text{左}}}$$

② 替代法：在测量装置上对被测量进行

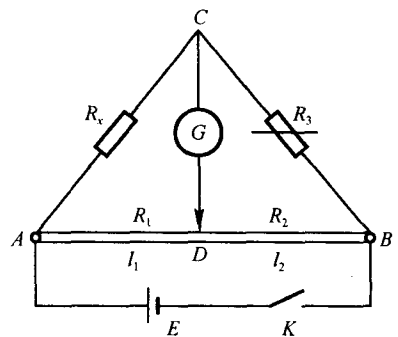


图 1.1 惠斯通电桥测电阻