

普通高等工科院校基础课规划教材

大学物理 实验教程

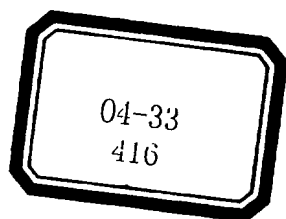
第2版

李平 主编 钱仰德 唐曙光 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS





普通高等工科院校基础课规划教材

大学物理实验教程

第 2 版

主 编	李 平		
副主编	钱仰德	唐曙光	
参 编	石金贵	胡孝博	吴庆春
主 审	沙振舜		



机 械 工 业 出 版 社

本书是按照教育部最新制定的《非物理类理工科大学物理实验课程教学基本要求》，针对工程应用型本科院校大学物理实验课程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，测量误差与实验数据处理，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；按不同的层次编排了 18 个基础实验、13 个综合实验和 5 个设计性实验，并介绍了计算机仿真实验。为有利于学生的个性发展和创新能力的培养，本书还介绍了国内外部分著名物理实验室及 WWW 网址、世界十大经典物理实验等。

本书各章节的内容和实验既相对独立，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。

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理实验教程/李平主编. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2006.6

普通高等工科院校基础课规划教材

ISBN 7-111-09600-2

I. 大... II. 李... III. 物理学—实验—高等学校—教材 IV. 04-

33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 047538 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 郑 丹 版式设计: 张世琴 责任校对: 刘志文

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 洪汉军

三河市宏达印刷有限公司印刷

2006 年 9 月第 2 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 7.875 印张 · 303 千字

定价: 20.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

编辑热线电话 (010) 88379722

封面无防伪标均为盗版

普通高等工科院校基础课规划教材

编 审 委 员 会

顾 问：黄鹤汀 左健民 高文龙
 章 跃

主 任 委 员：殷翔文

副主任委员：陈小兵 刘金林 陈 洪
 魏贤君 季顺利

秘 书：陈建华

委 员：（排名不分先后）

陆国平 何一鸣 李秋新
陈建华 张祖凤 郑 丹

序

人类已经满怀激情地跨入了充满机遇与挑战的 21 世纪。这个世纪要求高等教育培养的人才必须具有高尚的思想道德，明确的历史责任感和社会使命感，较强的创新精神、创新能力和实践能力，宽广的知识面和扎实的基础。基础知识水平的高低直接影响到人才的素质及能力，关系到我国未来科学、技术的发展水平及在世界上的竞争力。由于基础学科本身的特点，以及某些短期功利思想的影响，不少人对大学基础教育的认识相当偏颇，我们有必要在历史的回眸中求前车之鉴，在未来的展望中创革新之路。我们必须认真转变教育思想，坚持以邓小平同志提出的“三个面向”和江泽民同志提出的“三个代表”为指导，以培养新世纪高素质人才为宗旨，以提高人才培养质量为主线，以转变教育思想观念为先导，以深化教学改革为动力，以全面推进素质教育和改革人才培养模式为重点，以构建新的教学内容和课程体系、加大教学方法和手段改革为核心，努力培养素质高、应用能力与实践能力强、富有创新精神和特色的应用性的复合型人才。

基于上述考虑，中国机械工业教育协会、机械工业出版社、江苏省教育厅（原江苏省教委）和江苏省及省外部分高等工科院校成立了教材编审委员会，组织编写了大学基础课程系列教材，作为加强教学基本建设的一种努力。

这套教材力求具有以下特点：

（1）科学定位。本套教材主要用于应用性本科人才的培养。

（2）综合考虑、整体优化，体现“适、宽、精、新、用”。所谓“适”，就是要深浅适度；所谓“宽”，就是知识面要宽些；所谓“精”，就是要少而精；所谓“新”，就是要跟踪应用学科前沿，推陈出新，反映时代要求；所谓“用”，就是要理论联系实际，学以致用。

（3）强调特色。就是要体现一般工科院校的特点，符合一般工科院校基础课教学的实际要求。

（4）以学生为本。本套教材应尽量体现以学生为本，以学生为中

心的教育思想，不为教而教。注重培养学生自学能力和扩展、发展知识能力，为学生今后持续创造性学习打好基础。

尽管本套教材想以新思想、新体系、新面孔出现在读者面前，但由于是一种新的探索，难免有这样那样的缺点甚至错误，敬请广大读者不吝指教，以便再版时修正和完善。

本套教材的编写和出版得到了中国机械工业教育协会、机械工业出版社、江苏省教育厅以及各主审、主编和参编学校的大力支持与配合，在此，一并表示衷心感谢。

普通高等工科院校基础课规划教材编审委员会

主任 殷翔文

2002年3月

第 2 版前言

《大学物理实验教程》自 2001 年出版以来已使用了四年多的时间。2004 年 5 月江苏省高等工科院校基础课规划教材编委会在扬州大学召开了编委会会议，总结、评议了“普通高等教育基础课规划教材（14 种）”出版和使用的情况，就普通高等工科院校基础课程的教育教学任务和要求开展了讨论，提出了“普通高等教育基础课规划教材”的修订计划，《大学物理实验教程》为首批修订教材之一。

为此，我们根据四年来的使用情况，按照教育部最新制定的《非物理类理工学科大学物理实验课程教学基本要求》，以及应用型本科教育教学的特点与任务，对《大学物理实验教程》作了较为全面的修订，更新并补充了一些新的内容。在修订过程中，南京工程学院物理实验中心的老师提出了许多宝贵的意见和建议，南京工程学院基础部和教务处的领导也给予了热情的支持，在此，全体编者表示衷心的感谢。

编 者
2005 年 6 月

第 1 版前言

工科大学物理实验课程是高等工科院校一门独立设置的必修课程。实验教学的根本目的是培养学生的科学实验能力，提高学生的科学实验素质，使学生树立实事求是、严肃认真的科学态度。

本书是根据“高等工科院校物理实验课程教学基本要求”，并结合工科大学物理实验课程的多年教学改革经验编写而成的。《大学物理实验教程》是长期从事工科大学物理实验教学的教师辛勤劳动的成果，凝聚着集体的智慧。同时，在编写过程中，参考了兄弟院校的实验教材和有关著作，在此一并表示感谢。

全书内容共分九章，其中第一章、第二章的内容讲解约需 6 学时，第三章、第五章和第九章的内容为阅读内容，不专门安排课时讲解，以自学为主。但在做实验前所有实验者都必须认真地把第三章的内容看懂、弄通。第四章、第六章、第七章的实验内容要求根据课时的多少，分两学期选做，其中每个实验的计划学时为 3 学时。第八章的内容可根据条件进行选修或阅读。

本书由南京大学沙振舜教授主审，江苏大学（原江苏理工大学）刘映栋教授、扬州大学李寿松教授、东南大学潘人培教授对本书的编写提出了宝贵的意见，编者谨向他们表示深深的谢意。

限于编者的经验和水平，书中可能有不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

2001.12

目 录

序

第 2 版前言

第 1 版前言

第一章 绪论	1
第一节 物理实验的作用与地位	1
第二节 物理实验课程的任务与基本要求	3
第三节 实验教学三个基本环节	4
第二章 测量误差与实验数据处理	7
第一节 测量与误差及不确定度	7
第二节 有效数字及其运算法则	13
第三节 数据处理的基本方法	16
第四节 测量结果的表示	25
第五节 用 Excel 软件进行数据处理	27
第六节 计量单位制和量纲	32
习题	35
第三章 物理实验中常用仪器及相关知识介绍	38
第一节 天平的调整与使用	38
第二节 游标卡尺、螺旋测微器的使用	39
第三节 读数显微镜使用基础	41
第四节 电压表、电流表、滑线变阻器及电阻箱的使用	42
第五节 电桥的测量原理	47
第六节 热量与温度的测量原理及方法介绍	52
第七节 光杠杆与尺读望远镜的测量原理及使用方法	54
第八节 示波器使用基础	56
第九节 常用电源及光源使用基础	62
第十节 常用计时仪器介绍	63
第四章 基础实验	65
实验一 物理实验中基本仪器的正确使用	65
实验二 正态分布的实验验证	70
实验三 误差分配与实验仪器选择的关系研究	74
实验四 用焦利氏秤测量液体的表面张力系数	76
实验五 液体动力粘度的测定	80

实验六 金属丝杨氏模量的测定	82
实验七 固体线膨胀系数的测定	86
实验八 用三线摆法测刚体的转动惯量	89
实验九 气体摩尔热容比的测定	94
实验十 稳恒磁场的分析与描绘	98
实验十一 模拟法描绘静电场	103
实验十二 用电桥法测电阻	107
实验十三 用电势(位)差计测电动势	112
实验十四 示波器的使用	115
实验十五 超声波声速的测定	119
实验十六 自准法、共轭法测透镜的主焦距	123
实验十七 用杨氏双缝干涉仪测光的波长	126
实验十八 光的干涉——牛顿环	130
第五章 物理实验中常用的测量方法	133
第一节 比较法	133
第二节 放大法	134
第三节 平衡法	136
第四节 补偿法	136
第五节 转换法	137
第六节 模拟法	139
第七节 干涉法	140
第八节 示踪法	140
第六章 综合实验	142
实验十九 良导体热导率的测定	142
实验二十 热电偶的定标	145
实验二十一 电子束的电偏转与磁偏转研究	148
实验二十二 电子束在径向电场和轴向磁场中的运动(磁控条件)	156
实验二十三 分光计的调整和使用	160
实验二十四 用霍耳元件测螺线管磁场	167
实验二十五 迈克尔逊干涉仪的使用	171
实验二十六 钠光谱双线的测定与分析	173
实验二十七 密立根油滴实验	176
实验二十八 金属电子逸出功的测定	179
实验二十九 全息摄影实验	185
实验三十 光电效应实验	188
实验三十一 夫兰克—赫兹实验	192
第七章 设计实验	199
设计实验一 自组望远镜	200

设计实验二 弦线上驻波的研究	201
设计实验三 线性电阻与非线性电阻的伏安特性研究	202
设计实验四 研究电源的输出功率与负载的关系	205
设计实验五 磁路定律的研究	206
第八章 计算机仿真实验	209
第一节 计算机仿真实验介绍	209
第二节 计算机仿真实验示例——偏振光的研究	211
第九章 国内外部分著名物理实验室及 WWW 网址介绍	214
第一节 现代实验室制度的发展	214
第二节 统一联网地址 URL	216
第三节 国外部分著名物理实验室及 WWW 网址介绍	218
第四节 国内部分著名物理实验室及 WWW 网址介绍	221
附录	226
附录 A 基本物理常量	226
附录 B 国际单位制 (SI)	227
附录 C SI 词头	228
附录 D 20℃时常用固体和液体的密度	229
附录 E 常用金属的杨氏模量	229
附录 F 液体的动力粘度	229
附录 G 常用光源的谱线波长	230
附录 H 常用仪器、量具的主要技术指标和极限误差	230
附录 I 世界十大经典物理实验	231
习题答案	238
参考文献	239

第一章 绪 论

第一节 物理实验的作用与地位

科学实验是研究自然规律与改造客观的“基本手段”。所谓实验就是根据现有的科学理论和一定的目的,通过相应的仪器和设备,在人为的条件下,控制、模拟或再现自然现象,检验某种科学思想并寻求相应的规律的过程。科学实验可凭借实验室的优越条件,超越生产实践和自然条件的某些局限性,走在生产实践的前面,为生产技术的发展开辟出新的道路。实验与科学理论有着密切的联系,是基础科学赖以生存和发展的基础。科学理论上的诸多争论,最终靠实验作出判断;错误理论的修正,也是靠实验完成;诸多重要理论都是在总结实验结果的基础上得出的;实验是检验科学理论的惟一手段,实验与科学理论相结合,便产生了种种不同类型的科学技术。

在物理学史上,首先把科学的实验方法引入到物理学研究中来,从而使物理学走上真正科学道路的是16世纪的意大利物理学家伽利略。他设计的斜面实验就蕴藏着极为丰富的科学实验的思想。

(1) 在斜面实验中,有意识地忽略了空气阻力等一系列的次要因素,形成了理想化的物理条件,抓住了问题的本质,从而获得了超越这一实验本身的对特殊条件的认识,这恰恰是科学实验不同于自然观察之处。

(2) 斜面可使人们方便地改变实验的测量条件,并观察相应的实验结果。这是科学实验区别于自然观察的又一特点。他选择斜面做实验,是为了延长物体在它上面下滑的时间,以适应当时的测量条件。这一实验构思极为巧妙,使原来在自由落体运动中难以测量的时间变得容易测量了。

(3) 伽利略在实验研究的基础上还用推理、概括的方法,得到了超越实验本身的更为普遍的规律,即物体在光滑水平面上的运动是等速直线运动。而过渡到铅垂情况,他推论出各种物体的自由下落是作等加速直线运动。

(4) 把数学与实验密切地结合起来,把各个物理量之间的关系用数学表达式表示出来,揭示了各个物理量之间的内在联系,从而把实验结果上升到普遍的理论高度。

伽利略的这些卓越的实验思想和实验方法,对我们今天的实验教学仍有重要的启示。在科学技术的发展史上,科学实验的出现是一个重要的分水岭,在这以

前,科技进步缓慢;在这以后,科技进步迅速。

科学实验与生产实践和自然现象是有着本质的不同的:实验能在一定条件下再现某一自然现象,让人们有时间、有机会去研究现象发生的原因和规律;实验能把复杂的自然现象分解为若干简单的现象,以进行个别和综合的研究;实验还可以实现对研究对象的人为控制,并对现象进行比较和分析。

物理实验是人们根据研究和学习的目的,利用实验仪器和设备,人为地控制或模拟物理现象,排除各种偶然、次要因素的干扰,突出主要因素,在有利的条件下重复研究物理现象及其规律。其特点是:

(1) 物理实验能使研究对象以较为纯粹的状态出现。利用各种手段将研究对象从复杂的自然联系中分离出来,人为地排除各种偶然、次要因素的干扰,使一些现象发生、另一些现象不发生,使一些条件发生变化、另一些条件不变化。其结果使研究对象的运动变化以较为单纯的状态出现。

(2) 物理实验可以强化观察对象的条件。通过实验手段创造出超高压、超真空、超强磁场、超低温等自然状态下难以出现的特殊条件,从而进一步认识新的现象、新的特征。

(3) 物理实验可以使观察对象重复出现。自然现象受时空限制,有的周期过长或过短,给观察带来困难。利用实验手段可使观察对象在合适的观察时间内重复出现,增加观察的机会,以获得更多的感性认识。这是物理实验的突出特点。

物理实验教学具有很强的理论联系实际的特性;实验教学既具有继承性,更具有创造性;实验教学是整个教学计划中的重要组成部分。它从实验课程的特有规律出发,强调了实验方法的训练和实验素质的培养,为科学研究和工程实践准备了必要的技术基础和相关素养。良好的实验素养主要体现在:①良好的观察习惯;②正确、规范地操作实验设备仪器;③正确地记录和处理实验数据;④对实验结果的分析与思考;⑤学会用实验的手段去解决实际问题。

物理实验遵循的基本原则是:①观察的客观性原则;②理论的引导作用;③整体性原则;④实验的可重复性原则。

前三条原则是观察和实验过程中都必须遵守的,因为任何实验都离不开观察;第四条是实验方法特有的。可重复性原则的具体内容是:要求能够在相同的实验条件下再现实验结果。这一原则在实验中非常重要,只有满足这一原则的实验,才能确保实验结果的客观规律性和取得同行的确认,这样的实验才能在科学中起到应有的作用。无数的科学事实表明,只有那些可重复进行的实验,才能在科学史上留下痕迹,其他则如过往烟云,转瞬即逝。因为科学认识不是去发现一些支离破碎的偶然现象,而是探索自然界必然的运动规律。自然界的规律绝不因研究者的不同而变化,而是自然界自身所固有的。所以,不论是什么时候,由谁来做实验,只要基本实验条件相同,就应该得到同样的结果。也只有这样的结

果,才能得到学术界的承认,从而进入科学认识活动、充当科学认识的事物材料。

事实上,历史上任何一项物理实验和它的结论都不是在短时间内就被承认的,对于一项新的实验发现的确认,往往要经过许多人几十次、几百次的重复才能确定,不满足可重复性原则的实验充其量只能给人们一种启发,而不能堂堂正正地登上科学的殿堂。

在物理实验课程教学过程中,要充分认识到从事实验工作动手能力不可或缺,而动手能力的培养是以熟练掌握实验的基本知识,基本方法和基本技能为基础的,因此要主动地寻找和接受这方面的训练与培养。

第二节 物理实验课程的任务与基本要求

科学实验本身有自己的理论、方法和技能,要掌握好这套实验知识,需要由浅入深,由简到繁地逐步学习、训练和提高,大学物理实验课程正是进行科学实验基本训练的一门独立的、必修的实验基础课程,是系统地接受实验方法和实验技能训练的第一门实验课程,为学习后续课程的实验和进行工程实验打下必要的基础。同时,它对提高科学实验素养,建立辩证唯物主义世界观和方法论也起着积极的作用。

本课程的任务是:通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量,学习并掌握物理实验的基本知识、基本方法和基本技能。同时,通过物理实验的各个教学环节,培养科学、系统的思维方式,一丝不苟的严谨态度,实事求是的工作作风和团结协作的精神。

本课程的基本要求侧重于如下两个方面:

1. 基本素质要求

- (1) 在整个实验教学过程中,应自觉遵守各项实验规则。
- (2) 必须完成规定的实验,以经历实验教学中各环节的基本训练。
- (3) 能撰写合格的实验报告。
- (4) 借助一定的计算工具,进行科学实验数据的处理。
- (5) 具有独立操作能力的同时,也应强调团结协作精神。

2. 基本实验技能及实验方法要求

- (1) 借助相关资料(实验指导书、仪器说明书等)能够调整常用仪器和实验装置,并掌握一系列操作的基本技术。
- (2) 了解常用仪器和装置的性能,并学会使用。
- (3) 能够对常用物理量进行一般测量。
- (4) 了解比较法,放大法,模拟法、干涉法、补偿法等常用测量方法。

(5) 理解测量误差的基本知识,并具有处理实验数据的初步能力。

第三节 实验教学的三个基本环节

一般实验教学可分为实验预习、实验操作和数据记录、撰写实验报告三个环节。

一、实验预习

实验预习是为实验操作作准备的,通过实验预习应明确三个问题:做什么?怎么做?为什么?为此需要做到:

(1) 理论上的准备:认真阅读实验指导书、参考资料等,事先对实验内容作全面的了解。对于验证性实验,应充分理解与要验证的规律有关的概念、理论以及物理过程;对于探索性实验,更应充分熟悉与实验有关的知识、要研究的物理过程以及期望得到的带有规律性的物理现象,明确实验目的与要求。

(2) 实验仪器上的准备:弄清实验中使用的基本仪器的构造原理、操作规程、读数原理和方法,以及注意事项。特别是注意事项,不仅要仔细看,还要牢记,否则会造成仪器损坏,甚至人员事故。对于弄不懂的部分,应作记录,在进入实验操作环节时,再向实验指导教师请教。只有这样,才能在实验中克服盲目性,充分相信自己的测量结果和由这些测量结果得出的结论,从而达到实验目的。

(3) 观测与数据记录上的准备:预测实验中可能出现的问题。通过对问题的预测,一方面可使实验者进一步熟悉实验步骤与过程,另一方面可以减少实验中的失误,提高实验效率,做到集中注意力解决实验中的主要矛盾。

(4) 拟定实验步骤、数据表格等,并在实验操作前交实验指导教师检查,经认可后再做实验。

(5) 若学校在校园网上提供了“大学物理实验”计算机辅助教学软件,可通过软件进行相关的模拟实验操作,由此建立起一定的感性认识。

二、实验操作和数据记录

实验操作是整个实验教学中最重要的一环,动手能力、分析问题和解决问题等能力的培养主要在具体的实验操作时完成。在该环节中,学生要在教师指导下正确安装和调整仪器,仔细观察各种物理现象,完整记录实验原始数据。为此,要注意下述几方面的问题。

(1) 掌握“三先三后”的原则,即先观察后测量、先练习后测量、先粗测后细测。

(2) 注意“三基”,即实验的基本知识,基本方法和基本技能,抓住重点。

(3) 不要单纯追求实验数据,应学会分析实验问题。

(4) 实验中要贯彻“三严”原则，即严肃的态度、严格的要求、严密的观测。遵守各项规章制度、注意安全。

实验数据记录是以后计算与分析问题的依据，在实际工作中则是宝贵的资料。要注意下述几方面的问题：

(1) 记录应记在专用的实验报告本上和相应的数据记录表格中。

(2) 记录就是如实地记下各种观测数据、简单的过程以及观测到的现象。要记得简单、整洁、清楚，使自己和别人都能看懂记录的内容，数值一定要记录在表格中，要注明单位等。

(3) 记录的内容包括日期、时间、地点、合作者、室温、气压、仪器及其编号、简图、简单的过程、原始数据、有关的现象等。原始数据是指从仪器上直接读出的实验数值。

(4) 实验原始数据在实验指导教师审核、签字后，方能有效。应认真对待实验原始数据，它将为以后的计算和问题分析提供宝贵的第一手资料。

离开实验室前，应自觉整理好仪器，并做好卫生清洁工作。

三、撰写实验报告

写出合格的实验报告作为培养科学实验能力的组成部分，是物理实验课程所应担负的具体的培养训练任务之一。实验报告是对实验工作的全面总结，既要全面又要简单明了，应做到用词确切、字迹整洁、数据完整、图表规范、结果明确。撰写实验报告的过程主要是对综合思维能力和文字表达能力训练的过程，也为日后在科学研究、工程实践等实际工作中撰写实验报告、研究成果报告、科技论文等打下基础，这种能力将直接影响以后从事科学与工程实践活动的工作能力和工作业绩。

一份完整的实验报告应包括以下几个方面内容：

(1) 实验名称。

(2) 实验目的。

(3) 简要的实验原理，包括基本关系式，必要的电路、光路等简图以及数据表格。书写原理时，不要照抄实验指导书，应用自己理解了的语言来概述。

(4) 仪器设备，包括型号、规格、参数等。

(5) 实验步骤，概括地写出实验的主要过程。

(6) 实验数据图表。

(7) 数据处理与误差分析。

(8) 实验结果，要给出完整的量化表达式，在观察现象或验证定律时，要写出实验结论。

(9) 问题讨论，包括对实验中现象的解释，对实验方法的改进与建议、作业题、实验后的体会等。

撰写实验报告中必须注意的两个问题。

(1) 不可把实验报告与实验指导书混淆起来。实验报告与实验指导书从语体到具体内容都是有区别的。实验指导书向学生提出实验的任务、目的, 要求, 阐明实验原理, 提供进行实验的思路和方法, 告诉学生应该怎么做。而实验报告是在完成实验过程之后写出的总结, 具体回答如何做, 获得了什么结果、实验的意義价值何在等问题。这些必须由实验者在实验后用自己的语言来归纳、总结。

(2) 实验报告的核心特征就是实事求是。因此在实验报告中, 对实验过程中所应记录的实验条件、实验现象、实验数据应严格、如实地予以记录, 对测量数据的有效位数不得随意增删。