



高校21世纪师范类规划教材

大学物理实验

宋家鳌 主编
王立

陕西人民出版社

高校**21**世纪师范类规划教材

04-33
5886

大学物理实验

非物理专业用

主 编 宋家鳌 王 立
副主编 杨德甫 马宇晓 李 英
编 者 刘竹琴 张 贞 弓斌耀
陈小莉 李 锋

陕 西 人 民 出 版 社

(陕)新登字 001 号

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/宋家鳌等编著—西安:陕西人民出版社,
2002

ISBN 7-224-06265-0

I. 大… II. 宋… 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(2002)第 063598 号

高校 21 世纪
师范类规划教材

大学物理实验

主 编 宋家鳌 王 立
责任编辑 米 祥

封面设计 姚 锋
版式设计 陈 涛

出版发行 陕西人民出版社
购书电话 (029)7216020 7216756
地 址 西安市北大街 131 号
邮政编码 710003
经 销 新华书店
印 刷 西安正华印刷科技有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 11.5
插 页 2
字 数 195 千字
版 次 2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷
印 数 1-5000
书 号 ISBN 7-224-06265-0/O·7
定 价 19.50 元

陕西省高等教育面向21世纪
教学内容和课程体系研究教改项目



高校 21 世纪师范类规划教材

编 委 会

编委会主任	郝 瑜	朱 玉	
编委会副主任	姚书志	李晓锋	
编委会委员	罗增儒	苗庆霞	黄新民
	傅志军	王玉鼎	李道尧
	杨小庆	张富林	罗文谦
	高荣发	朱小平	

出版 说明

这套《高校21世纪师范类规划教材》，是适应培养21世纪社会经济发展所需要的人才，必须有大量、新型、合格的人民教师的需要，由陕西人民出版社发起，陕西省教育厅和陕西人民出版社共同组织和策划，省内十余所知名师范院校上百位专家学者和骨干教师联合编写的。

全套教材第一批共14本，分别为：《教育学》《教育心理学》《大学语文》《大学数学》《大学体育与健康教育》《计算机应用基础》（文科）（理科）《人文科学概论》《自然科学概论》《现代教育技术》《艺术欣赏》《行为科学》《大学物理学》《大学物理实验》，涵盖了师范院校各专业大部分基础课程，集中体现了师范院校学科建设和教材建设的最新科研成果和未来发展趋势，是一套立足师范教育，着眼新型教师培养，追踪未来，不断更新教材内容和体系，具有长期应用价值和品牌效应的师范类新型教材。

这套教材与其他同类教材相比，主要有以下三个突出特点：

（1）注重对学生各种能力的培养。大量研究和社会现实表明，进入21世纪，随着科学技术的飞速发展，旧的产业不断融合和新型产业大量涌现，使得社会越来越重视，也越来越需要大量具有多思维能力、创新能力和动手能力的复合型、应用型人才。师范院校是教师的摇篮，教师是人才成长的工程师。没有适应这一要求的合格教师，就不可能培养出大量符合社会需要的新型人才。教材在这方面进行了有益的探索，注重加强对

学生思维能力、创新能力和动手能力的培养。

44674105

(2) 强调“三基”教育。“三基”教育主要是指教材的编写主要围绕“基本概念、基本理论、基本技能”这三个最基本的方面来进行。凡是专业课要深入讲述的内容，教材中均不作展开，以免与专业课冲突。

(3) 坚持“厚基础、宽口径、高素质”的编写原则。专业基础课的学习是学生进入大学生活后，从中学阶段过渡到大学阶段的门槛，是学好专业课，最终成为社会需要的人才必须经过的重要一环。能不能选用好的教材，能不能坚持正确的培养方向，直接决定着培养出的学生，能不能真正成为社会所需要的复合型、应用型人才。基于这样的认识和考虑，根据未来的培养方向，在教材的编写中，我们始终贯彻“厚基础、宽口径、高素质”的编写原则，使学生通过专业基础课的学习，即具有广博的知识结构和扎实的基础理论功底，从而为以后专业课的学习，打下牢固的专业基础。除此之外，教材还在内容的选取、体系的编排、设计的风格上进行了一些探索，目的是使全套教材不仅在内容，而且在形式上都有所创新、有所发展。

为了编写出一套适合师范院校特点、内容新颖、体系创新、适应21世纪师范院校教学要求的新型教材，各学科的专家、学者多次开会研讨，陕西省教育厅和陕西人民出版社的有关领导也多次与会予以指导，付出了辛勤的汗水和努力。陕西省教育厅还专门为此发文，要求各相关院校积极支持这套教材的编写，并向各院校推荐使用。各有关院校的领导和教务处也积极支持这套教材的编写工作。有些院校的领导还亲自参加有关教材的编写。在此，我们一并表示诚挚的感谢。

编写一套适应21世纪教学要求的师范类新型教材，既是师范院校广大师生的强烈愿望，也是我们追求的目标。但由于时间仓促，水平有限，书中错漏之处在所难免，敬请有关专家批评指正，以便该教材以后修订再版时予以改正。

《高校21世纪师范类规划教材》编委会

2002年9月

前言

本书是为适应当前实验教学改革的需要,在“陕西高校面向 21 世纪教学内容与课程体系改革”研究项目支持下,依据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会实验物理教学指导组指出的一些新建议,以延安大学多年来所使用的《普通物理实验》为蓝本,吸收各参编院校物理实验课程建设的实践经验,经编委会讨论后重新编写的。

20 世纪以来,科学技术飞速发展,特别是半导体、激光、材料、计算机等科学和技术的发展,加快了知识更新的速度。化学、生物及电子、通讯等有关工程学科的研究内容已深入到分子、原子尺度。应用量子力学、相对论等现代物理知识和相应测量仪器、实验技术已成为这些学科的迫切需求。因此,随着当前实验教学在设备、方法、要求等方面的不断发展,有必要对原来非物理专业基础物理实验教学基本要求中的内容、要求、选题等在教学内容及课程体系方面作以改进。为适应 21 世纪人才的需求,加强对学生在物理实验(包括一定的近、现代物理实验)基本知识、基本方法和基本技能方面进行正规、科学及严格的训练。

本讲义共分绪论,力学、热学实验,电磁学实验,光学实验,近代物理实验 5 个部分。共安排实验 34 个,其中力学、热学实验 11 个,电磁学实验 14 个,光学实验 5 个,近代物理实验 4 个。部分与实验有关的数据常数附于书后。

本书绪论部分集中地介绍了测量误差、实验不确定度及实验数据处理方面的基础知识。其目的是让学生掌握基本的误差及不确定度估计方法,培养误差分析的能力及明确误差分析的思想对做好实验的物理意义。

在课程体系安排方面,由于非物理专业课时较少(按不同专业可分为 96、48、36 学时等),因而,仍保留了“力热、电磁、光学、近代物理”四个部分的传统编排形式,以利于安排实验。但在各部分内容安排方面按训练内容性质分为基础实验、应用性实验及综合设计性实验三个层次,既保证了基本训练又增强了实验的实用程度及实验的综合性能力培养。

在实验题目的安排方面,考虑到传统典型实验与现代先进测量技术实验的关系,在安排现代先进测量技术实验以使及时了解时代科技信息

的同时,又注意保留部分传统典型实验以使学生在物理学史及实验基本思想方面有所启发。还考虑到使用基本仪器与专用仪器实验的关系,加强了基本仪器使用实验,对专用仪器的掌握也予以适当重视。各仪器的使用介绍分布在各有关实验中。同时还注意安排了结合各专业特点的实验及设计性实验的内容,还可配合使用与本教材配套的 CAI 课件,使实验内容在形式、方法上多样化。

本书编委会成员有宋家鳌(延安大学)、王立(咸阳师院)、杨德甫(延安大学)、马宇晓(榆林高专)、李英(商洛师专)、刘竹琴(延安大学)、张贞(延安大学)、弓斌耀(榆林高专)、陈小莉(安康师专)、李锋(商洛师专)。该书由宋家鳌、王立、杨德甫完成统稿。参加本书编写工作的还有宋蓓、杨能勋、王玉清同志。这本书同时也凝聚着各参编院校物理实验室全体教师及实验技术人员的多年工作经验及智慧,是一项集体的成果。

在本书编写过程中,参考了一些兄弟院校的教材及部分物理教学杂志上的文章,汲取了许多宝贵经验,在此表示衷心感谢。

省教育厅高教处、陕西人民出版社、各参编院校教务处在本书编写及出版过程中,自始至终给予我们有力的支持与配合,在此一并表示感谢。

由于时间仓促和编者水平所限,书中不妥及错误之处难免,希望能继续得到使用本书的教师及同学们的批评指正和宝贵意见。

编 者

2002 年 8 月 20 日

目 录

前 言	(1)
第一章 绪论	(1)
第一节 物理实验课的目的及要求	(1)
一、物理实验课的目的	(1)
二、物理实验课的要求	(2)
第二节 测量误差及有效数字	(3)
一、测量误差及其分类	(3)
二、直接测量结果的误差估计	(7)
三、间接测量结果的误差估计	(9)
四、基础物理实验不确定度的估算	(11)
五、有效数字	(15)
第三节 实验数据处理方法	(18)
一、列表法	(18)
二、图解法	(19)
三、逐差法	(20)
四、最小二乘法(线性回归)	(21)
第二章 力学、热学实验	(24)
实验一 基本测量…[基础]	(24)
实验二 单摆…[基础]	(33)
实验三 牛顿第二定律的验证…[综合]	(37)
实验四 用伸长法测量杨氏模量…[应用]	(42)
实验五 用霍尔位移传感器测量杨氏模量…[应用]	(46)
实验六 用三线摆测定物体的转动惯量…[设计]	(50)
实验七 惯性秤…[应用]	(55)
实验八 金属比热容的测定…[基础]	(58)
实验九 冰的溶解热的测定…[设计]	(60)
实验十 用落球法测定液体的粘滞系数…[基础]	(62)
实验十一 用拉脱法测定液体的表面张力系数…[应用]	(64)
第三章 电磁学实验	(67)
电磁学实验概述及基本仪器	(67)

实验十二	静电场的描绘…[基础]	(76)
实验十三	补偿法原理与电位差计…[基础]	(79)
实验十四	惠斯登电桥测电阻…[基础]	(83)
实验十五	灵敏电流计常数的测定…[综合]	(86)
实验十六	线路故障的分析…[应用]	(90)
实验十七	电子示波器的使用…[基础]	(93)
实验十八	热电偶的定标…[应用]	(98)
实验十九	热敏电阻温度特性的测量…[综合应用]	(102)
实验二十	利用霍尔效应测磁场…[应用]	(104)
实验二十一	传感器实验…[应用]	(108)
实验二十二	用箱式电位差计校正电表…[设计]	(113)
实验二十三	伏安法测电阻…[设计]	(114)
实验二十四	非线性电阻的测量…[设计]	(114)
实验二十五	分压电路与制流电路特性的研究…[设计]	(115)
第四章	光学实验	(116)
实验二十六	测定薄透镜的焦距…[基础]	(116)
实验二十七	等厚干涉实验…[基础]	(121)
实验二十八	旋光现象和旋光仪	(126)
实验二十九	用阿贝折射仪测定液体的折射率及其色散	(131)
实验三十	分光计的调节和使用…[基础]	(138)
第五章	近代物理实验	(147)
实验三十一	基本电荷的测定…[基础]	(147)
实验三十二	弗兰克-赫兹实验	(151)
实验三十三	电子自旋共振	(155)
实验三十四	微波实验(第一部分、第二部分)	(159)
附表		(172)
附表 1	海平面上不同纬度处的重力加速度	(172)
附表 2	水的比热容与温度的关系	(172)
附表 3	金属的比热容	(172)
附表 4	几种物质的折射率	(173)
附表 5	20℃ 时常用固体和液体的密度	(173)
附表 6	液体的粘滞系数	(173)
附表 7	几种金属及合金的电阻率 ρ	(174)
附表 8	几种物质的旋光率	(174)
附表 9	几种物理常数	(174)
附表 10	水的表面张力与温度的关系	(175)

第一章 绪 论

第一节 物理实验课的目的及要求

一、物理实验课的目的

物理学是一门实验科学。物理概念的建立,物理规律的发现,都是以严格的科学实验为基础的,并以实验手段及生产实践来检验其正确与否。从物理学史来看,不论过去、现在、还是将来,实验都对物理学的发展起着极大的推动作用。随着科学技术的迅猛发展,各学科相互交叉渗透,与物理有关的边缘学科相继建立,而物理实验的基本理论、方法、仪器和技术已经被广泛地应用到各自然学科领域及工程技术部门。

物理实验课是对学生进行基本科学实验训练的开端,特别是理工科类专业学生进入大学后接受实验方法及实验技能系统训练的一门独立开设的必修基础课,与物理理论课具有同等重要的地位。由于实验课自身的任务和特点,其开设目的是:

1. 通过对物理现象的观察、分析及对物理量的测量,加深对物理概念和理论的理解。

2. 学习物理实验的基本知识、基本方法和基本实验技能。(其中包括熟悉实验原理及实验程序;正确选择与使用仪器;掌握基本的测量技术和方法;正确地记录与处理实验数据;逐步学会对实验现象的分析、判断能力;能够对实验结果作出正确的评估,写出合格的实验报告;对简单的设计性实验作出实验操作程序等。)

3. 培养学生严肃认真,实事求是的科学态度和工作作风。包括提高学生的科学素质,创新精神和实验能力及主动探索、爱护公物、遵守纪律、勤俭节约等良好习惯。

二、物理实验课的要求

物理实验是以学生独立活动为主,在教师的指导下,以实验的方式来研究物理问题的学习过程。物理实验一般可以下面三个步骤进行:实验的准备与预习;实验的观测与记录;数据处理及分析。现就这三个步骤具体加以说明。

(一) 实验课的准备与预习

实验前的准备与预习是否充分,是在规定课时(3学时)内,顺利完成实验并取得预期效果的重要环节。

首先,通读实验讲义,对实验的全过程有一个总体了解。主要以理解实验原理为主,明确方法步骤,主要设备仪器的用法及使用条件,注意事项等,在此基础上,写出简要的预习报告。内容包括:以自己的语言简述实验原理,写出原理公式及实验测量公式,画出有关电路图、光路图或装置简图,并对公式或图作出必要的说明;自行设计数据记录表格,使得测量数据清楚、明了、无遗漏、无差错,并在表格中标明物理量符号、单位、测量次数等。

对预习中不清楚的问题,应在讲义及预习报告中作出记录,以便在实验时请指导教师解答。

(二) 实验的观测与记录

做实际测量前,要先对测量仪器使用方法、工作电压、水平、铅垂、光照,各按钮开关次序等作进一步熟悉,并使之处于完全正常的工作状态。方可正式开始观测(必要时可先做检验性测试),并及时记录测量数据,不得操作后再补记,无明确理由肯定某数据有错误者,所测数据一律如实记录,更不得拼凑数据。关于各种测量仪器的使用方法,将在各个实验中具体介绍。望在预习实验时,认真阅读讲义或听老师讲解。

观测与记录是实验是否成功的根本环节。在观测过程中,还要对实验现象随时加以观察、分析、并随时解决实验中出现的各种问题。通过逐步培养及实验,应能够了解常用仪器的性能并学会使用方法;能够进行常用物理量的一般测量;能够调整常用实验装置,并掌握基本的操作技术;熟悉物理实验中基本的使用方法和测量方法。

(三) 实验数据处理及分析

实验观测结束后,应及时做好数据处理工作,并按数据处理方法及误差理论,计算出实验结果并给出必要的图表等,在此基础上,完成规范的实验报告。

实验报告应简单明了,书写工整,图表正规,数据完整。每人独立完成

(包括两人一组的实验)。这是每一个大学生应该具备的报告工作成果的能力。

实验报告的具体格式一般为:

【实验名称】

【实验目的】

【实验仪器】主要仪器编号,规格。

【实验原理】以个人语言简述(可参照预习报告)。

【数据与结果】包括数据表格,误差估算,实验结果,数据处理图线等。

【问题讨论】包括回答思考题,误差原因的分析,对实验的意见、建议和其他心得体会等。

实验数据原始记录,经指导老师签字后随实验报告一并交老师批改。

第二节 测量误差及有效数字

一、测量误差及其分类

(一) 测量

物理实验离不开对物理量的测量。所谓测量就是借助仪器,用某一计量单位把待测量的大小表示出来,即待测量是该计量单位的多少倍。具体地说,就是将待测量与作为计量单位的同类量进行比较,并确定其比值的过程。

待测量的测量以测量方式可分为直接测量与间接测量两类。

直接测量是用计量仪器和待测物进行比较,就可直接读出测量结果的测量。如用米尺测摆线长度,用天平称质量,用温度计测温度等。而相应的被测量长度、质量、温度等称为直接测量量。直接测量直观、简便,是实验中最基本的测量方式,也是间接测量的基础。

但多数物理量,由于测量手段、条件的限制,不能进行直接测量,而是先测出与该待测量有一定函数关系的直接测量量,然后代入函数关系(物理公式)求出其结果。这种测量方式称为间接测量。相应的待测量称为间接测量量。例如,测一圆柱形铜棒的密度,我们可以先用游标卡尺对其直径 d 和高度 h 进行测量,用物理天平对其质量 m 进行直接测量。然后将各直接测量量的数值代入公式 $\rho = \frac{4m}{\pi d^2 h}$, 将密度 ρ 计算出来。则对直接测量量 d 、 h 、 m 的测量为直接测量,对间接测量量 ρ 的测量为间接测量。

(二) 误差及其分类

1. 误差的定义

每一个物理量,都是物质某一客观特性的反映。在一定的条件下,具有不依人的意志为转移的客观大小,这个客观存在的真实值称为该物理量的真值。观测者想通过测量来获得待测量的真值,这是测量者的主观愿望。而真值是不可能确切测知的,只能是测量的理想结果。这是因为任何测量都是依据一定的理论或方法,使用一定的仪器,在一定的环境下,并由一定的人员去完成的。由于实验理论或方法的近似性,仪器精度的局限性,环境的不稳定性及测量人员技术、经验等因素的限制,使任何测量都不会绝对精确。测量值与待测量真值之间总会存在一点偏差。这种偏差就称为测量值的误差。

设被测量的真值为 a , 测量值为 x , 误差为 ϵ , 则

$$\epsilon = x - a$$

误差 ϵ 是一代数值,当 $x \geq a$ 时, $\epsilon \geq 0$; $x < a$ 时, $\epsilon < 0$ 。

任何测量都存在误差,由于真值是不能确知的,所以误差也是不能确知的。在此情况下,测量的任务是设法将测得值中的误差减至最小;求出在测量条件下被测量的最佳估计值;用测量误差对最佳估计值作出可靠性估计。

2. 误差的分类

任何测量的误差都是多种因素引入误差的总体效果。为了研究如何减少误差及对误差作出估计,我们按照误差的产生原因和性质,将其分类再加以具体讨论。

实验中的误差一般分为系统误差、偶然误差两类。

(1) 系统误差:在相同条件下(方法、仪器、环境、观测人不变),对同一物理量作多次测量时,误差的符号和绝对值保持不变。或按某一确定的规律(为线性、周期性等)变化的误差,称为系统误差。由定义可知系统误差的特点是具有方向性和等值性。由于系统误差是由某些确定的,或按确定规律变化的因素造成的。其产生的原因主要有:

a. 仪器(装置)误差:这是由于仪器或装置不完善而产生的误差。例如,零点不准、示值刻度不准、刻度盘和指针安装偏心、天平两臂不等长、砝码的标称质量不准等。

b. 方法(理论)误差:这是由于实验方法本身或理论不完善而引起的误差。例如,用单摆测定重力加速度 g 时,所依据的单摆周期公式: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, 是在摆角 $\theta < 5^\circ$, 以米尺测摆长,以秒表测时间,且视摆球为质点,忽

略其浮和、阻力、摆线为轻线等情况下的近似公式。若不满足此条件,或在此条件下而提高所用仪器的精度(如改用测长仪、数字毫秒计等)都会出现系统误差。

c. 环境误差:测量过程中,由于外界环境,例如,温度、湿度、电磁场、气压等环境条件发生的规律性变化而引起的误差。

d. 人身误差:这是由于观测者心理、生理条件以及各人不同的反应速度,分辨能力,固有习惯及操作经验等因素引起的。如,同一时刻按下秒表,则有人动作迅速,有人迟缓而引起的不同误差。

系统误差的特点是有规律性。但要找准产生系统误差的原因却无一定规律可循,只有提高实验素养,逐渐积累经验,才能分析发现系统误差产生的原因。从而采取适当措施对测量结果进行修正或使之降低到可忽略的程度。

(2) 偶然误差(随机误差)。

a. 偶然误差的产生原因:假如在实验中已消除了系统误差和粗差,在同一条件下,对同一物理量进行多次重复测量,各次测量的误差时大时小,忽正忽负且变化不定。这种由于偶然的或不确定的因素所造成的测量值相对于真值的无规则的涨落叫偶然误差。偶然误差的特点是绝对值和符号随机变化,没有确定的规律。

偶然误差是多项无法预料的偶然因素对测量结果的综合影响。如实验台的震动;气压、温度、电源电压的波动;空间杂散电磁波的干扰;仪器、设备在使用过程中的变动等;实验条件和环境因素的微小或无规则的变化;实验者反应快慢不一;个人情绪等造成的精力不集中等等。若从某一次测量来看,偶然误差是随机的,没有确定的规律,也不能预知。但当测量次数足够多时,偶然误差的分布却是有规律的。它遵从一定的统计规律。这样,我们可以借助严密的数学工具,以一定的统计理论来研究处理它。

b. 偶然误差的正态分布规律:正态分布规律是处理偶然误差的最常见的一种统计分布规律。下面我们以一组测量数据来表明其分布特征。设在相同条件下,对一钢球的直径作多次(150次)重复测量,其结果如表1-1。

表 1-1

$x(mm)$	7.31	7.32	7.33	7.34	7.35	7.36	7.37	7.38	7.39	7.40	7.41
N	1	3	8	18	28	34	29	17	9	2	1

表中的 x 为钢球直径的测量值, N 表示各测量值出现的次数。求得各测量值的平均值为: $7.36mm$ 。以表中 N 为纵坐标, x 为横坐标,即可作出测

量值 x 的分布规律曲线,如图 1-1 所示。

因为误差为测量值与真值之差($\Delta x = x - x_0$),所以只要将纵轴移至 x_0 处,即可将横轴改为误差 Δx ,且当测量次数趋于无穷大时,以概率密度 $f(\Delta x)$ 代替 N ,这样就得到如图 1-2 所示的偶然误差的正态分布曲线。

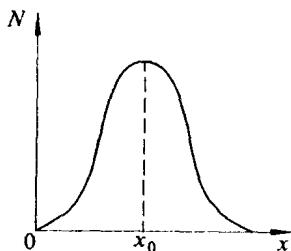


图 1-1

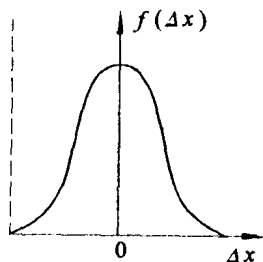


图 1-2

从图 1-2 中曲线可看出,偶然误差的分布服从高斯公理的基本特点:

(a) 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的几率大,即接近真值的测量值比远离真值的测量值出现的几率大。

(b) 绝对值相等,符号相反的正、负误差出现的几率相等。即测量值对称分布于真值的两侧,曲线具有对称性。

(c) 超过一定限度的误差,几乎不会出现。即绝对值很大的误差出现的几率极小,误差的大小有一范围限制。

以上我们讨论了系统误差和偶然误差这两类性质不同的误差及其产生原因。不同性质的误差要用不同的方法加以处理,对系统误差应及早发现它并设法消除它的影响。对偶然误差应根据正态分布理论,尽量减小它的影响并作出恰当的估算。

在测量中还可能出现错误,如读数错误、记录错误、操作错误、计算错误等而出现明显的偏离偏大的数据。这已不属于正常的工作范畴,应当尽量避免。也可用不同方法(判据)来决定其是否为异常数据而予以剔除。(可参阅有关介绍)

3. 绝对误差,相对误差,测量的精密度、准确度及精确度

为了表示某一测量结果的可靠程度,即接近真值的程度及评价不同测量结果的可靠程度,我们引入绝对误差和相对误差这两个概念。

设测量值为 x ,真值(或以公认值、平均值代替)为 x_0 ,则绝对误差 Δx 定义为

$$\Delta x = x - x_0$$