

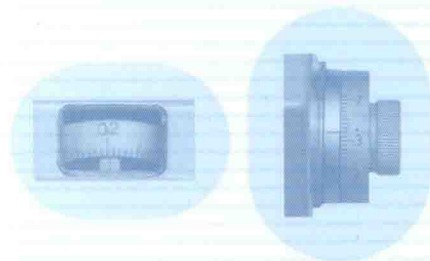
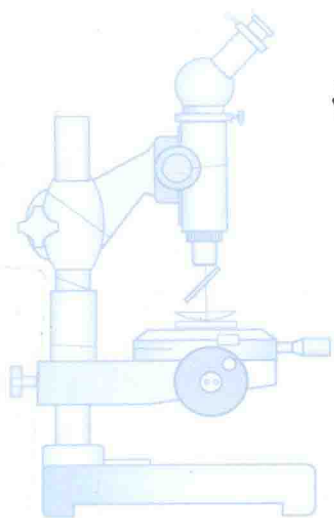


全国高等农林院校“十一五”规划教材

大学 物理实验

D a x u e W u l i S h i y a n

◎ 马冠雄 刘向锋 主编



中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

大学物理实验

马冠雄 刘向锋 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理实验/马冠雄, 刘向锋主编. —北京: 中国农业出版社, 2010. 1

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-14264-0

I. 大… II. ①马…②刘… 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 (2010) 第 002038 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 薛 波

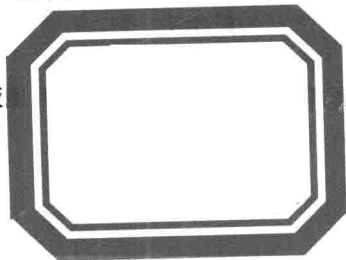
北京中兴印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 12.5

(凡本版

出版社发行部调换)



内 容 简 介

本书是根据普通高等农、林、医、药院校物理课程的基本要求及普通高等学校本科教学改革的需要而编写的。本书编者多年从事非物理专业公共基础物理课程和实验的教学工作,在总结教学经验的基础上,选择内容和编排结构。本书介绍了误差与有效数字等实验数据处理方法,精选了与农、林、医、药专业关系紧密的基础性实验、综合性实验及近代物理实验等 26 个实验项目,每个实验都给出了适当数量的预习题、思考题,以初步满足相关专业学生对物理知识和实验技能训练的需求。

本书可以作为高等农、林、医、药院校物理实验教材或教学参考书。

编者名单

主 编 马冠雄 刘向锋

副主编 任师兵 王传杰

参 编 李玉侠 张 宇 富 岩 王 薇 王远景

主 审 张秀燕

前 言

本书是为适应当前教学改革的要求，根据教育部、财政部《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》的精神，在总结我们多年教学改革经验的基础上编写的，汲取了当前国内优秀教学改革成果。教材涵盖了高等农林医药院校物理实验课程要求的基本内容，精选了传统的验证性实验，又适当引入了近代物理和应用性的实验项目，使全书内容更丰富、更符合基础物理教学的需要，在一定程度上反映出近几年来大学物理实验课程教学改革和发展的趋势。

大学物理实验课是高等院校对学生进行科学实验基本训练的一门必修基础课程，是本科生进入大学以后接受系统实验方法和实验技能训练的开端，在培养学生的动手能力、分析问题和解决问题的能力以及严谨的科学态度方面起着不可替代的作用。当前，农、林、医、药学科的研究方法、测试仪器的应用对物理知识的需求已大大超过普通物理学的范围，涉及光谱学、电子技术、量子力学等多个学科。为此，本书在物理实验教材建设方面做了进一步探索，精选了与农、林、医、药等生物类专业关系密切的 26 个实验项目，涵盖了基础性实验、综合性实验、近代物理实验等主要内容，并按照循序渐进、由浅入深的原则进行编排，突出了内容选择科学、结构编排合理的主要特点。

几点说明：

1. 将实验原理、仪器描述写得较为详细，目的是使学生掌握实验的理论基础及实验室常用仪器的性能，以培养学生的自学和认知能力。
2. 将实验步骤写得较为简略，以开拓学生的思维能力和独立操作技能。

3. 每个实验都给出了适当数量的预习题、思考题。预习题一般都紧扣实验的要领,可以促进认真准备、积极思考,以保证实验能顺利完成;思考题则可以帮助学生加深对实验的理解,比较深入地进行总结,进而提高学生的综合实验能力。

4. 增加了实验设计指导的内容,使学生了解实验设计的基本思路和原则,实验实施的步骤和注意的问题,进而充分发挥学生的创造性,培养学生的创新能力。给出的实验设计题目均和所学内容相关,以起到启发思路、抛砖引玉的作用。

本教材凝结了沈阳农业大学理学院物理教研室全体教师多年教学的经验和成果,参加本次教材编写的教师有:马冠雄、刘向锋、任师兵、王传杰、李玉侠、张宇、富岩、王薇、王远景等。沈阳农业大学张秀燕主审。本书参阅并借鉴了一些同类教材和相关文献、资料,在此深表感谢。

因编写时间和编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2009 年 10 月

目 录

前言

绪论	1
一、物理实验的地位、作用和任务	1
二、实验教学的基本要求	2
三、怎样学好物理实验课	3
第一章 误差与有效数字	5
一、测量与误差	5
二、误差的估算 测量结果的表示	7
三、有效数字及其运算	11
第二章 基础性实验	17
实验一 长度测量	17
实验二 万用表、验电笔的原理和使用	21
一、MF47 型万用电表的使用	21
二、数字万用表简介	25
三、低压验电笔使用及低压电路保险丝更换	26
附录一 电阻阻值的标识	28
附录二 机电式直读仪表的误差及准确度等级	29
附录三 常见电气仪表面板上的标记	29
实验三 杨氏模量的测定	30
实验四 液体表面张力系数的测定	36
一、用拉脱法测液体表面张力系数	36
二、用毛细管法测液体表面张力系数	39
三、用最大气泡压力法测液体表面张力系数	40
实验五 用转动惯量实验仪测量刚体的转动惯量	43
实验六 恒温自动控制	47

实验七 液体黏滞系数的测定	54
一、用落球法测液体的黏滞系数	54
二、用毛细管法测液体的黏滞系数	56
三、用落针法测液体的黏滞系数	58
实验八 电子示波器的应用	64
实验九 阿贝折射计	76
实验十 用旋光仪测糖溶液的浓度	82
实验十一 等厚干涉	87
附录 逐差法简介	92
第三章 综合性实验	93
实验十二 声速测试仪的使用	93
实验十三 空气比热容比的测定	101
实验十四 用 UJ31 型箱式电位差计测温差电动势	106
附录一 标准电池电动势的温度修正与使用注意事项	112
附录二 用线性回归方法进行数据处理	112
实验十五 模拟冰箱制冷系数的测量	113
实验十六 材料导热系数的测定	120
实验十七 光的吸收效应的研究	122
附录 叶绿素色素溶液制备	125
实验十八 分光计的调节和使用	125
实验十九 迈克尔逊干涉仪	132
实验二十 用霍耳元件测螺线管内的磁场	143
附录 CT3 型交直流高斯计	148
第四章 近代物理实验	150
实验二十一 光电效应及普朗克常数的测定	150
实验二十二 用摄谱仪研究发射光谱	154
实验二十三 质谱仪	159
实验二十四 放射性强度的测定	164
实验二十五 核磁共振	170
实验二十六 全息照相	174
第五章 实验设计指导	181
一、确定实验任务	181

目 录

二、选择实验方案	181
三、实验设备材料准备	181
四、实验步骤的拟订	182
五、实验的具体实施及应注意的问题	182
六、实验数据的整理与分析	183
七、实验后的总结	183
八、设计性实验参考题目	183
附表	185
附表一 物理学常用常数	185
附表二 常用光源的光谱线波长	185
附表三 20℃时与空气接触的液体的表面张力系数	186
附表四 几种流体的黏滞系数	186
主要参考文献	188

绪 论

一、物理实验的地位、作用和任务

（一）物理实验的地位和作用

物理学是研究自然界物质的基本结构、基本运动形式、相互作用及其转化规律的学科。它的基本理论渗透在自然科学的各个领域，应用于生产技术的许多部门，是自然科学和工程技术的基础。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。实验物理学已成为物理学的重要分支。物理学的规律和理论，都是实验事实的总结，必要时还要通过实验来检验和修正。例如，麦克斯韦的电磁场理论，是建立在法拉第等科学家长期实验的基础上。赫兹的电磁波实验，又使得理论得到普遍的承认和广泛的应用。又如，物理学家杨振宁、李政道在1956年提出了“基本粒子在弱相互作用下的宇称不守恒”理论，也只是在实验物理学家吴健雄用实验证实后，才得到国际上的公认。当实验结果与理论发生矛盾时，还需进行进一步的实验，以便修正理论。所以实验是理论的源泉。

物理实验是高等院校对学生进行科学实验基本训练的必修基础课程，是本科生进入大学以后接受系统实验方法和实验技能训练的开端。物理实验课覆盖面广，具有丰富的实验思想、方法、手段，同时能提供综合性很强的基本实验技能训练，是培养学生科学实验能力、提高科学素质的重要基础。它在培养学生严谨的治学态度、活跃的创新意识、理论联系实际和适应科技发展的综合应用能力等方面具有其他实践类课程不可替代的作用。

（二）本课程的具体任务

（1）培养学生的基本科学实验技能，提高学生的科学实验素质，使学生初步掌握实验科学思想和方法。

（2）培养学生的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。

(3) 提高学生的科学素养, 培养学生理论联系实际和实事求是的科学作风, 认真严谨的科学态度, 积极主动的探索精神, 遵守纪律, 团结协作, 爱护公共财产的优良品德。

二、实验教学的基本要求

(一) 教学内容基本要求

大学物理实验应包括普通物理实验(力学、热学、电学、光学实验)和近代物理实验, 具体的教学内容基本要求如下:

1. 掌握测量误差的基本知识, 具有正确处理实验数据的基本能力

(1) 掌握测量误差与不确定度的基本概念, 能逐步学会用不确定度对直接测量和间接测量的结果进行评估。

(2) 掌握处理实验数据的一些常用方法, 包括列表法、作图法和最小二乘法等。随着计算机及其应用技术的普及, 应包括用计算机通用软件处理实验数据的基本方法。

2. 掌握基本物理量的测量方法 例如长度、质量、时间、温度、压强、压力、电流、电压、磁感应强度、光强度、折射率、普朗克常量等常用物理量及物性参数的测量, 注意加强数字化测量技术和计算技术在物理实验教学中的应用。

3. 了解常用的物理实验方法, 并逐步学会使用 例如比较法、转换法、放大法、模拟法、补偿法、平衡法和干涉、衍射法, 以及在近代科学研究和工程技术中广泛应用的其他方法。

4. 掌握实验室常用仪器的性能, 并能够正确使用 例如长度测量仪器、计时仪器、测温仪器、变阻器、电表、通用示波器、低频信号发生器、分光仪、光谱仪、常用电源和光源等常用仪器。

5. 掌握常用的实验操作技术 例如零位调整、水平/铅直调整、光路的共轴调整、消视差调整、逐次逼近调整、根据给定的电路图正确接线、简单的电路故障检查与排除, 以及在近代科学研究与工程技术中广泛应用的仪器的正确调节。

6. 适当介绍物理实验史料和物理实验在现代科学技术中的应用知识

(二) 学生能力培养基本要求

1. 独立实验的能力 能够通过阅读实验教材、查询有关资料和思考问题, 掌握实验原理及方法、做好实验前的准备; 正确使用仪器及辅助设备、独立完

成实验内容、撰写合格的实验报告；培养学生独立实验的能力，逐步形成自主实验的基本能力。

2. 分析与研究的能力 能够融合实验原理、设计思想、实验方法及相关的理论知识对实验结果进行分析、判断、归纳与综合。掌握通过实验进行物理现象和物理规律研究的基本方法，具有初步的分析与研究的能力。

3. 理论联系实际的能力 能够在实验中发现問題、分析問題并学习解决问题的科学方法，逐步提高学生综合运用所学知识和技能解决实际问题的能力。

4. 创新能力 能够完成符合规范要求的设计性、综合性内容的实验，进行初步的具有研究性或创意性内容的实验，激发学生的学习主动性，逐步培养学生的创新能力。

三、怎样学好物理实验课

物理实验主要分成三个环节，即实验前预习、实验中操作、实验后写报告，具体要求如下：

1. 实验前的预习 预习是进行实验的基础。预习时首先要认真阅读教材中的有关章节及附录，明白实验的目的、要求，正确理解实验所依据的原理和采用的方法，初步了解实验仪器的主要性能、使用方法和操作注意事项。没有课前的充分预习，在实验课上有限的时间内，就不能充分利用实验条件进行实验能力的训练，甚至完不成规定的实验内容。

要做好预习报告。内容应包括：①实验名称；②原理摘要（包括主要原理公式及扼要说明，电学实验应画出电路原理图，光学实验应画出光路图）；③主要仪器设备；④注意事项摘要；⑤回答预习题目；⑥列出记录数据所用表格。

上课时，教师将检查学生预习情况。对于没有预习和未完成预习报告的学生，教师有权停止该生本次实验。

2. 实验中的操作 实验操作是实验的主要内容，是培养科学实验能力的主要环节。进入实验室后，必须遵守实验室规则，服从实验室工作人员和教师的指导。对于严重违反实验室规则者，教师应停止其实验，并按有关规定处理。

实验时，首先应核对所有将要使用的仪器并进行登记，然后对照实物认识仪器，熟悉装置主要构造功能，量程、级别，各可调节部分如旋钮、开关的位置、作用与仪器内部构件的关系、操作方法和注意事项。连接电路或排设光路

时都必须检查,经确认准确无误后,才能开始实验。起初可作试验性探索操作,同时观察一下实验过程和数据状况,若无异常现象,便可进行实验。如有异常现象,应立即停止实验,认真思考,分析原因,并向教师反映,待异常情况排除后,再开始进行实验。

实验中,认真观察实验现象,注意实验现象随仪器调节的变化,认真比较、合理解释、正确判断所观察到的实验现象的形成及变化,找出最佳的测定状态。如实、及时地记录数据和现象,其中包括主要仪器的名称、型号、级别及实验环境条件等。记录数据必须注意有效数字和单位。必须用钢笔或圆珠笔将数据记录在预习报告的数据表格中,不要使用铅笔,如记录的数据有错误,可用一斜线划掉后,把正确的数据写在其旁边,但不允许涂改数据。

操作完成后,应将实验记录交教师审阅,经教师签字后,方可整理复原仪器,离开实验室。

3. 实验后的报告 实验报告是实验工作的简明总结,要求用统一规格的实验报告纸书写,字体要端正,文字要简练,图表要按规定格式绘制。预习报告和上机表格作为附件,随报告一起在下次实验时交教师批阅。

实验报告一般包括以下几部分:①实验名称;②实验目的;③简要原理及计算公式;④实验数据表格,数据处理计算过程,作图及实验结果等,其中要特别注意有效数字和单位的正确表达;⑤实验现象分析、误差的评估及讨论等,讨论内容可以包括思考题、提出改进建议及心得体会等。最后要把整个实验由原理到仪器使用、方法步骤及实验现象及其变化加以回顾,使各部分有机地联系起来,从中学习实验设计的方法。

第一章 误差与有效数字

在实验中，由于受方法、仪器及实验者的技能的限制，误差总是难免的。测得的数据的有效位数也是有限的。因此，在实验过程中和处理结果时，只有按规则读取和处理数据，合理地分析误差的大小，才能得到符合实际情况的实验结果。

一、测量与误差

(一) 测量

测量分直接测量和间接测量两种。

1. 直接测量 用仪表直接读出测量值的测量，叫直接测量；相应的物理量叫直接测得量。如用米尺测量物体的长度，用天平测量物体的质量等。

2. 间接测量 很多物理量，没有对它直接读数用的仪表，只能利用一些直接测得量，根据一定的公式计算出其大小来。这样的测量叫间接测量，相应的物理量叫间接测得量。例如，先用游标卡尺测出小钢柱的高度和直径，用天平称出它的质量，然后由公式 $\rho = 4M/(\pi d^2 h)$ 计算出它的密度就是一种间接测量。

(二) 测量的误差

测量总是有误差的。任何物理量自身都有各种各样的特性，反映这些特性的物理量，具有客观的真实数据，叫做真值。测量的目的就是要力图得到真值。但是测量总是在一定的条件下，通过一定的方法和仪器，由实验者去完成的。由于测量技术的限制，实验理论和方法的不完善，以及实验者的技能、习惯等原因，通过有限的实验手段所得的测量值与真值总有差别，我们把测量值与真值之差定义为误差。用下式表示

$$\Delta N_i = N_i - N_0$$

式中 N_i 为某次测量值， N_0 为真值， ΔN_i 为误差。 ΔN_i 可为正，叫正误差； ΔN_i 也可负，叫负误差。

(三) 误差分类

根据误差的性质及产生的原因，可将误差分为系统误差、偶然误差两类。

1. 系统误差 它是在一定的测量条件下,对同一个被测量进行多次重复测量时,误差值保持不变;或者在条件变化时,按一定规律变化的误差。系统误差的来源有以下几个方面:

(1) 仪器误差。这是由于仪器本身的结构和制造上的不完善而造成的,是仪器本身所具有的不确定性。例如,各种刻度尺的热胀冷缩,砝码本身重量不准确,等臂天平的两臂实际不等,温度计、电表表盘、容量瓶、移液管的刻度不准确等。测量仪器都有国家标准规定的准确度等级,根据所用仪器的等级和量程可以计算出仪器的基本误差限和示值误差限。基本误差限和示值误差限是指合格的仪器在规定的标准条件下正确使用时,标称值或指示值可能产生的误差范围。如果使用条件不符合标准条件,还会产生附加的误差。因此,使用仪器前应对仪器进行校正,选用符合要求的仪器;或求出其校正值,并对测定结果进行校正。

(2) 理论、实验方法误差。这是由于实验所根据的理论的近似性或使用的方法不完善所带来的误差。如根据公式测单摆的周期;用伏安法测电阻时未考虑电表内阻的影响等。

(3) 个人误差。这是由于实验者的生理或心理特点造成的。

系统误差的特点是:它的出现是有规律的,或者全部测量值都大于真值,也可能都小于真值。因此,增加测量次数并不能减小系统误差。只有核准仪表,改进实验方法,或在计算公式中引入修正项等才能减少和消除系统误差。

2. 偶然误差 由于偶然的或不确定的因素所造成的每一次测量值的无规则的涨落称为偶然误差。所谓偶然因素指的是温度的起伏、外界引起的振动、气流的扰动、杂乱电磁场影响、估读不准等。

偶然误差的存在使每次测量值偏大或偏小。但是大量的实践证明,在相同条件下,对某一待测量进行多次重复测量,其结果服从正态分布规律。可知:

(1) 小误差比大误差出现的机会多,而且非常大的正误差或负误差出现的机会趋于零。

(2) 大小相等,符号相反的正负误差出现的机会相等。

(3) 全部可能的误差总和趋于零。因此,增加测量次数,可以减小偶然误差。

系统误差决定测量的准确度;偶然误差反映测量的精密度;系统误差和偶然误差共同决定测量的精确度。

综上所述,测量结果的误差,是各种因素引起误差的总和,误差总是贯穿于实验的始终,只有综合考虑系统误差和偶然误差对实验的影响才是全面的。但对一般实验,在实验前对系统误差均作过处理(消除或修正),下面我们只

着重讨论偶然误差的计算、表示问题。

二、误差的估算 测量结果的表示

(一) 单次直接测量误差的估算

在物理实验中,有时候由于条件不允许,不能进行多次重复测量,或对测量的精密度要求不高等原因,对某一物理量的测量只进行一次。在这样的情况下,可按仪器出厂检验书或仪器上直接注明的仪器误差作为单次测量的误差,也可取仪器最小分度值的一半作为单次测量的误差。

(二) 多次直接测量的算术平均值及误差

由于偶然误差存在于每一次测量之中,为了减少偶然误差,在可能的情况下,总是采用多次测量,将各次测量的算术平均值作为测量结果。例如,在相同条件下对某物理量 N 进行 K 次重复测量,其测量值分别为 $N_1, N_2, N_3, \dots, N_K$, 用 $\bar{N}$ 表示算术平均值,则

$$\bar{N} = \frac{1}{K}(N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_K) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K N_i$$

根据偶然误差的统计理论,在一组 K 次测量的数据中,算术平均值 $\bar{N}$ 最接近于真值,称为测量的最佳值或近真值。当测量次数无限增加时,算术平均值就无限接近于真值。

$$\text{即 } N_0 = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K N_i = \bar{N}$$

误差是测量值与真值之差;而测量值与算术平均值之差称为“偏差”,两者是有区别的。但当测量次数很多时,算术平均值就愈接近真值,“偏差”就接近误差,两者就没有严格区别的必要性了。

偶然误差常用下列方法估算:

1. 算术平均误差 设测量值 N_i 与平均值 $\bar{N}$ 的误差为 d_i ($i=1, 2, 3, \dots, K$)

$$\begin{aligned} \text{即 } d_1 &= N_1 - \bar{N} \\ d_2 &= N_2 - \bar{N} \\ &\dots \\ d_K &= N_K - \bar{N} \end{aligned}$$

则算术平均误差的定义是

$$\Delta N = \frac{1}{K}(|d_1| + |d_2| + |d_3| + \dots + |d_K|) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K |d_i|$$