



高等院校规划教材

孙光东 主 编

刘景旺 张云鹏 张博洋 副主编

大学物理实验

注重学科体系的完整性，兼顾考研学生需要
强调理论与实践相结合，注重培养专业技能



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21 世纪高等院校规划教材

大学物理实验

孙光东 主 编

刘景旺 张云鹏 张博洋 副主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书根据 2004 年国家教委颁发的《非物理类理工科大学物理实验课程教学基本要求》并结合物理实验室仪器设备的实际情况,在总结多年教学实践经验的基础上编写而成。

全书共有 36 个实验。绪论部分主要介绍物理实验的特点、物理实验的地位和作用、物理实验课的目的与任务、物理实验的基本程序和要求,并且给出了物理实验成绩评定的记分标准;第一部分比较系统地介绍物理实验的基本理论知识、基本实验方法及常用实验仪器;第二部分选编 19 个基本实验;第三部分选编 4 个基本仪器使用实验;第四部分选编 13 个有关力学、热学、电磁学、光学和近代物理等方面的综合性和设计性实验;附录部分介绍了世界十大经典物理实验、诺贝尔物理学奖与物理实验、中华人民共和国法定计量单位和国际单位制,并给出常用的物理参数,以便查阅。

本书着眼于拓展知识面、加强理论与实践相结合、提高学生创新能力,可作为高等院校各专业物理实验课的教材,也可作为涉及物理学的实验工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验 / 孙光东主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2007

21 世纪高等院校规划教材

ISBN 978-7-5084-4224-2

I. 大… II. 孙… 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 012907 号

书 名	大学物理实验
作 者	孙光东 主 编 刘景旺 张云鹏 张博洋 副主编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)、82562819 (万水) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京市天竺颖华印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 19.25 印张 474 千字
版 次	2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	29.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

随着计算机科学与技术的飞速发展,计算机的应用已经渗透到国民经济与人们生活的各个角落,正在日益改变着传统的人类工作方式和生活方式。在我国高等教育逐步实现大众化后,越来越多的高等院校会面向国民经济发展的第一线,为行业、企业培养各级各类高级应用型专门人才。为了大力推广计算机应用技术,更好地适应当前我国高等教育的跨越式发展,满足我国高等院校从精英教育向大众化教育的转变,符合社会对高等院校应用型人才要求的各类要求,我们成立了“21世纪高等院校规划教材编委会”,在明确了高等院校应用型人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系的框架下,组织编写了本套“21世纪高等院校规划教材”。

众所周知,教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱及基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索和建设适应新世纪我国高等院校应用型人才培养体系需要的配套教材已经成为当前我国高等院校教学改革和教材建设工作面临的紧迫任务。因此,编委会经过大量的前期调研和策划,在广泛了解各高等院校的教学现状、市场需求,探讨课程设置、研究课程体系的基础上,组织一批具备较高的学术水平、丰富的教学经验、较强的工程实践能力的学术带头人、科研人员和主要从事该课程教学的骨干教师编写出一批有特色、适用性强的计算机类公共基础课、技术基础课、专业及应用技术课的教材以及相应的教学辅导书,以满足目前高等院校应用型人才培养的需要。本套教材消化和吸收了多年来已有的应用型人才培养的探索与实践成果,紧密结合经济全球化时代高等院校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新。教材编写采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批地启动编写计划,编写大纲的确定以及教材风格的定位均经过编委会多次认真讨论,以确保该套教材的高质量和实用性。

教材编委会分析研究了应用型人才与研究型人才在培养目标、课程体系和内容编排上的区别,分别提出了3个层面的要求:在专业基础类课程层面上,既要保持学科体系的完整性,使学生打下较为扎实的专业基础,为后续课程的学习做好铺垫,更要突出应用特色,理论联系实际,并与工程实践相结合,适当压缩过多过深的公式推导与原理性分析,兼顾考研学生的需要,以原理和公式结论的应用为突破口,注重它们的应用环境和方法;在程序设计类课程层面上,把握程序设计方法和思路,注重程序设计实践训练,引入典型的程序设计案例,将程序设计类课程的学习融入案例的研究和解决过程中,以学生实际编程解决问题的能力为突破口,注重程序设计算法的实现;在专业技术应用层面上,积极引入工程案例,以培养学生解决工程实际问题的能力为突破口,加大实践教学内容的比重,增加新技术、新知识、新工艺的内容。

本套规划教材的编写原则是:

在编写中重视基础,循序渐进,内容精炼,重点突出,融入学科方法论内容和科学理念,反映计算机技术发展要求,倡导理论联系实际和科学的思想方法,体现一级学科知识组织的层次结构。主要表现在:以计算机学科的科学体系为依托,明确目标定位,分类组织实施,兼容互补;理论与实践并重,强调理论与实践相结合,突出学科发展特点,体现

学科发展的内在规律；教材内容循序渐进，保证学术深度，减少知识重复，前后相互呼应，内容编排合理，整体结构完整；采取自顶向下设计方法，内涵发展优先，突出学科方法论，强调知识体系可扩展的原则。

本套规划教材的主要特点是：

(1) 面向应用型高等院校，在保证学科体系完整的基础上不过度强调理论的深度和难度，注重应用型人才的专业技能和工程实用技术的培养。在课程体系方面打破传统的研究型人才培养体系，根据社会经济发展对行业、企业的工程技术需要，建立新的课程体系，并在教材中反映出来。

(2) 教材的理论知识包括了高等院校学生必须具备的科学、工程、技术等方面的要求，知识点不要求大而全，但一定要讲透，使学生真正掌握。同时注重理论知识与实践相结合，使学生通过实践深化对理论的理解，学会并掌握理论方法的实际运用。

(3) 在教材中加大能力训练部分的比重，使学生比较熟练地应用计算机知识和技术解决实际问题，既注重培养学生分析问题的能力，也注重培养学生思考问题、解决问题的能力。

(4) 教材采用“任务驱动”的编写方式，以实际问题引出相关原理和概念，在讲述实例的过程中将本章的知识点融入，通过分析归纳，介绍解决工程实际问题的思想和方法，然后进行概括总结，使教材内容层次清晰，脉络分明，可读性、可操作性强。同时，引入案例教学和启发式教学方法，便于激发学习兴趣。

(5) 教材在内容编排上，力求由浅入深，循序渐进，举一反三，突出重点，通俗易懂。采用模块化结构，兼顾不同层次的需求，在具体授课时可根据各校的教学计划在内容上适当加以取舍。此外还注重了配套教材的编写，如课程学习辅导、实验指导、综合实训、课程设计指导等，注重多媒体的教学方式以及配套课件的制作。

(6) 大部分教材配有电子教案，以使教材向多元化、多媒体化发展，满足广大教师进行多媒体教学的需要。电子教案用 PowerPoint 制作，教师可根据授课情况任意修改。相关教案的具体情况请到中国水利水电出版社网站 www.waterpub.com.cn 下载。此外还提供相关教材中所有程序的源代码，方便教师直接切换到系统环境中教学，提高教学效果。

总之，本套规划教材凝聚了众多长期在教学、科研一线工作的教师及科研人员的教学科研经验和智慧，内容新颖，结构完整，概念清晰，深入浅出，通俗易懂，可读性、可操作性和实用性强。本套规划教材适用于应用型高等院校各专业，也可作为本科院校举办的应用技术专业的课程教材，此外还可作为职业技术学院和民办高校、成人教育的教材以及从事工程应用的技术人员的自学参考资料。

我们感谢该套规划教材的各位作者为教材的出版所做出的贡献，也感谢中国水利水电出版社为选题、立项、编审所做出的努力。我们相信，随着我国高等教育的不断发展和高校教学改革的不断深入，具有示范性并适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高等院校教学质量的提高。

我们期待广大读者对本套规划教材提出宝贵意见，以便进一步修订，使该套规划教材不断完善。

21 世纪高等院校规划教材编委会

2004 年 8 月

前 言

本书根据 2004 年国家教委颁发的《非物理类理工科大学物理实验课程教学基本要求》并结合物理实验室仪器设备的实际情况，在总结多年教学实践经验的基础上编写而成。

全书共有 36 个实验。绪论部分主要介绍物理实验的特点、物理实验的地位和作用、物理实验课的目的与任务、物理实验的基本程序和要求，并且给出了物理实验成绩评定的记分标准；第一部分比较系统地介绍物理实验的基本理论知识、基本实验方法及常用实验仪器；第二部分选编 19 个基本实验；第三部分选编 4 个基本仪器使用实验；第四部分选编 13 个有关力学、热学、电磁学、光学和近代物理等方面的综合性和设计性实验；附录部分介绍了世界十大经典物理实验、诺贝尔物理学奖与物理实验、中华人民共和国法定计量单位和国际单位制，并给出常用的物理参数，以便查阅。

在编写过程中力求做到：实验目的具体、突出，实验要求明确，实验原理叙述清楚，实验内容和步骤详尽，方便学生学习。

本书由孙光东任主编，刘景旺、张云鹏、张博洋任副主编，参加编写的还有宫自强、吉莉等，全书由孙光东负责统稿。

实验教学是一项集体的事业，无论实验的编排、实验仪器的安装调试，还是教材的编写，都是实验室全体工作人员的劳动成果。本书编入的实验选题，汇聚了全体物理实验工作人员多年的教学经验和体会。

随着新技术、新方法不断引入实验教学，以及实验教学改革的逐步深入，书中难免存在不完善和不妥当之处，真诚地希望各位同行和使用本教材的教师和学生提出宝贵意见和建议。

编 者

2007 年 1 月

目 录

序	
前言	
绪论	1

第一部分 理论知识

第 1 章 测量误差与数据处理	6
1.1 测量与误差	6
1.1.1 测量、直接测量与间接测量	6
1.1.2 等精度测量与不等精度测量	7
1.1.3 仪器精密度、准确度及量程	7
1.1.4 误差与偏差	7
1.1.5 相对误差	8
1.1.6 系统误差与随机误差	9
1.1.7 测量的精密度、准确度和精确度	10
1.1.8 随机误差的估算	10
1.2 测量结果的评定和不确定度	13
1.2.1 不确定度的含义	13
1.2.2 测量结果的表示和合成不确定度	14
1.2.3 合成不确定度的两类分量	14
1.2.4 直接测量的不确定度	15
1.2.5 间接测量结果的合成不确定度	17
1.3 有效数字及其运算法则	22
1.3.1 有效数字的概念	22
1.3.2 直接测量的有效数字记录	22
1.3.3 有效数字的运算法则	23
1.4 数据处理方法	24
1.4.1 列表法	25
1.4.2 作图法	26
1.4.3 逐差法	27
1.4.4 用最小二乘法求经验方程	28
1.4.5 用函数计算器处理实验数据	30
1.4.6 用微机进行数据处理	33

练习题	34
第 2 章 基本实验方法及常用实验仪器	35
2.1 基本实验方法	35
2.1.1 比较测量法	35
2.1.2 放大测量法	37
2.1.3 补偿测量法	38
2.1.4 转换测量法	39
2.1.5 模拟测量法	41
2.1.6 干涉测量法和光谱测量法	42
2.1.7 非电量电测法	43
2.2 基本物理实验仪器	46
2.2.1 力学、热学实验常用仪器	46
2.2.2 电磁学实验常用仪器	53
2.2.3 光学实验常用仪器	62
2.2.4 实验室常用光源	67

第二部分 基本实验

实验一 长度及密度的测量	68
实验二 利用气垫导轨验证动量守恒	77
实验三 杨氏模量的测量	82
实验四 重力加速度的测定	88
实验五 刚体转动惯量的测量	93
实验六 液体表面张力系数的测定	97
实验七 液体粘滞系数的测量	103
实验八 固体线胀系数的测定	107
实验九 直流电桥测电阻	111
实验十 非线性电阻的伏安特性研究	116
实验十一 静电场的描绘	119
实验十二 用示波器测动态磁滞回线	126
实验十三 电子束实验	131
实验十四 用牛顿环测凸透镜的曲率半径	143
实验十五 薄透镜焦距的测量	148
实验十六 折射率的测定	153
实验十七 用光栅测光栅常数和光波波长	158
实验十八 用迈克尔逊干涉仪测 He-Ne 激光的波长	164
实验十九 偏振光的观察与应用	170

第三部分 基本仪器使用实验

实验二十 万用表的使用	175
实验二十一 电位差计的使用	180
实验二十二 示波器的使用	185
实验二十三 分光计的结构与使用	194

第四部分 综合性、设计性及近代物理实验

实验二十四 用霍耳元件测螺线管磁场	202
实验二十五 交流电桥	206
实验二十六 电阻随温度变化曲线	211
实验二十七 大学摄影技术	216
实验二十八 压力传感器特性研究及应用	221
实验二十九 声速的测定	226
实验三十 光学全息照相	231
实验三十一 密立根油滴实验	235
实验三十二 利用光电效应测普朗克常量	242
实验三十三 弗兰克—赫兹实验	248
实验三十四 光速的测定	254
实验三十五 塞曼效应实验	264
实验三十六 光纤传输技术实验	269

附录

附录一 世界十大经典物理实验	277
附录二 诺贝尔物理学奖与物理实验	283
附录三 中华人民共和国法定计量单位	291
附录四 物理学常用数表	294
参考文献	299

绪 论

实验是人们研究自然规律、改造客观世界的一种特殊的实践形式和手段。人们通过实验发现自然规律，检验自然科学理论，同时，工程设计和生产实际中的问题也要靠实验来解决。

实验不同于对自然现象的直接观察，也不同于生产过程中的直接经验。其特有的优点是：首先，可以利用实验方法控制实验条件，排除外界因素的干扰，从而能有效地突出被研究事物之间的某些重要关系；其次，可以把复杂的自然现象或生产过程分解成若干独立的现象和过程，进行个别的和综合的研究；第三，可以对现象和过程进行满足预期准确度要求的定量测量，以揭示现象和过程中的数量关系；第四，可以进行重复实验，或改变条件进行实验，便于对事物的各方面作广泛的比较和分析等。

本教材以物理实验知识、方法和技能为基点，旨在学生能通过实验实践体验和熟悉科学实验的过程和特点。

一、物理实验的特点

学生在物理实验课中主要是通过自己独立的实验实践来学习物理实验知识、培养实验能力和提高实验素养。这个学习任务决定了作为实验课程的物理实验有以下特点：

(1) 实验带有很强的目的性。无论是应用性实验、验证性实验还是探索性实验，几乎都是在已经确立的理论指导下的实践活动，在有限的时间内，不仅要完成实验课题（实验目的），而且还要完成学习任务（学习要求）。那种把实验课程看成是摆弄摆弄仪器、测测数据就达到目的的单纯实验观点是十分有害的。

(2) 实验要采取恰当的方法和手段，以使所要观测的物理现象和过程能够实现，并达到符合一定准确度的定量测量要求。虽然方法和手段会随着科学技术和工业生产的进步而不断改进，但历史积累的方法仍是人类知识宝库精华的一部分。有了积累才有创新，因此，从一开始就应该十分重视实验方法知识的积累。

(3) 实验中所包括的技能，其内容十分广泛。仪器的选择、使用 and 保养，设备的装校、调整和操作，现象的观察、判断和测量，故障的检查、分析和排除，都有众多的原则和规律，可以说是知识、见解和经验的积累。惟有实践，既动手又动脑地不断实践，才有可能获得这种技能，单凭看书是不可能学到的。

(4) 实验需要用数据来说明问题。数据是实验的语言，物理实验中的数据处理有各种不同的方法和特定的表达方式。测量结果，验证理论、探索规律和分析问题，无一不用数据，数据是学术交流和报告技术成果最有力的工具和最准确的语言。

实验集理论、方法、技能和数据于一个整体，它不但要实验者弄懂实验内容与实验方法的道理，而且还要实验者根据这些道理付诸实践，最后还要从获得的数据结果中得出应有的结论，这就是物理实验的特点。

二、物理实验的地位和作用

科学实验是人们根据科学研究的目的，运用科学仪器，人为地控制、创造或纯化某种自

然过程,使之按预期的进程发展;同时在尽可能减少干扰的情况下进行定性的或定量的观测,以探求该自然过程变化规律的一种科学活动。科学实验是整个自然科学的基础。

物理实验是科学实验的重要组成部分之一。物理实验在推动自然科学、工程技术的发展中起着至关重要的作用。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,促使了热机、蒸汽机的发明,带来了第一次工业革命;电磁学理论和实验的发展,使人类进入电气化时代,实现了第二次工业革命;原子物理学、量子力学的发展,促进了半导体、激光、核技术、电子计算机的迅猛发展,引发了第三次浪潮。物理实验是物理学的两大支柱之一,一切物理概念的建立、物理规律的发现和物理理论的形成都有赖于物理实验,并接受实验的检验。

物理实验反映了各个自然学科科学实验的共性和普遍性问题。它在培养学生严谨的科学思维能力和创新能力,培养学生理论联系实际,特别是与科学技术发展相适应的综合能力,适应新世纪人才培养目标方面有着不可替代的重要作用。

三、物理实验课的目的与任务

大学物理实验课是高等理工科院校对学生进行科学实验基本训练的必修通识教育课程,是大学生进入大学后接受系统实验方法和实验技能训练的开端。大学物理实验课覆盖广泛的学科领域,具有多样化的实验方法和手段,以及综合性很强的基本实验技能训练,它是培养学生创新意识和创新能力,引导学生确立正确科学思想和科学方法,提高学生科学素质的重要基础。

(1) 通过对物理实验现象的观察、分析和对物理量的测量,学习物理实验的思想、原理和方法,加深对物理学原理和物理实验创意的理解。

(2) 培养与提高学生的科学实验基本素质。其中包括:

- 1) 能够通过阅读实验教材或资料基本掌握实验原理及方法,为进行实验作准备。
- 2) 能够借助教材或仪器说明书,在教师指导下正确使用常用仪器及辅助设备,加深对实验设计思想的理解。
- 3) 能够运用物理学理论对实验现象进行初步的分析判断,逐步学会提出问题、分析问题和解决问题的方法。
- 4) 能够正确记录和处理实验数据,绘制实验曲线,分析实验结果,撰写合格的实验报告。
- 5) 能够完成符合规范要求的具有设计性内容的实验。
- 6) 在教师指导下,能够查阅有关方面的科技文献,用实验原理、方法能够进行简单的具有研究性或创意性内容的实验。

(3) 培养与提高学生的科学实验素养。要求学生具有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,主动研究的探索精神,遵守纪律、团结协作和爱护公共财产的优良品德。

四、物理实验的基本程序和要求

做任何一个实验时,都必须把握住实验预习、实验进行和实验总结这三个重要环节。

1. 实验预习

预习至关重要,它决定着实验能否取得主动和收获的大小。预习包括阅读资料、熟悉仪器和写出预习报告。

仔细阅读实验教材和有关的资料,重点解决3个问题:

- (1) 做什么:这个实验最终要得到什么结果。
- (2) 根据什么去做:实验课题的理论依据和实验方法的道理。
- (3) 怎么做:实验的方案、条件、步骤及实验关键。

预习报告用统一的预习实验报告纸按格式要求书写,并且要求书写整洁、清晰,排版合理。预习报告格式要求:

- (1) 实验名称。
- (2) 实验目的。
- (3) 实验仪器。
- (4) 原理简述(原理、有关定律或公式,电路图或光路图)。
- (5) 数据记录表格。
- (6) 预习思考题。

2. 实验的进行

学生进入实验室后,先在实验室准备好的实验情况登记表上签到,然后认真听取实验教师的讲解指导,再按照编组使用相应的指定仪器。应该像科学工作者那样要求自己,井井有条地布置仪器,根据事先设想好的步骤演练一下,然后再按确定的步骤开始实验。要注意细心观察实验现象,认真钻研和探索实验中的问题。不要期望实验工作会一帆风顺,要把遇到问题看作是学习的良机,冷静地分析和处理它。仪器发生故障时,要在教师的指导下学习排除故障的方法。总之,要把重点放在实验能力的培养上,而不是测出几个数据就认为完成了任务。

要做好完备而整洁的记录,例如研究对象的编号,主要仪器的名称、规格和编号;原始数据要用钢笔或圆珠笔記入事先准备好的表格中,如确系记错,也不要涂改,应轻轻画上一道,在旁边写上正确值(错误多的,要重新记录),使正误数据都清晰可辨,以供在分析测量结果和误差时参考。不要用铅笔记录,给自己留有涂抹的余地;也不要先草记在另外的纸上再誊写在数据表格里,这样容易出错,况且,这也不是“原始记录”了。希望学生注意纠正自己的不良习惯,从一开始就培养良好的、科学的作风。

实验结束,先将实验数据交教师审阅,经教师验收签字后,然后再整理还原仪器,方可离开实验室。

3. 实验总结

实验后要对实验数据及时进行处理。如果原始记录删改较多,应加以整理,对重要的数据要重新列表。数据处理过程包括计算、作图、误差分析等。计算要有计算式(或计算举例),代入的数据都要有根据,便于别人看懂,也便于自己检查。作图要按作图规则,图线要规矩、美观。数据处理后应给出实验结果。最后要求撰写出一份简洁、明了、工整、有见解的实验报告。这些是每个大学生必须具备的报告工作成果的能力。

实验报告内容包括:

- (1) 实验名称。
- (2) 实验目的。
- (3) 实验仪器。

(4) 实验原理。简要叙述有关物理内容(包括电路围或光路图或实验装置示意图)及测量中依据的主要公式,式中各量的物理含义及单位,公式成立所应满足的实验条件等。

(5) 实验步骤。根据实际的实验过程写明关键步骤。

(6) 注意事项。

(7) 数据报告与数据处理。列表报告数据, 完成计算、曲线图、不确定度计算或误差分析, 最后写明实验结果。

(8) 小结和讨论。内容不限, 可以是对实验中现象的分析, 对实验关键问题的研究体会, 实验的收获和建议, 也可以是解答实验思考题。

五、物理实验成绩评定记分标准

1. 到课准时 (10 分)

到课准时, 以上课铃声为准。到课准时者记 10 分, 迟到者扣 10 分。

2. 预习报告 (10 分)

(1) 预习报告用统一的预习实验报告纸按格式要求书写, 且书写整洁、清晰, 排版合理者, 记 10 分。预习报告格式要求:

1) 实验名称。

2) 实验目的。

3) 实验仪器。

4) 原理简述 (原理, 有关定律或公式, 电路图或光路图)。

5) 数据记录表格。

6) 做好预习思考题。

(2) 在上面格式要求中任缺一项扣 2 分, 可累计扣分。

(3) 格式基本达到要求, 但书写潦草者可酌情扣分。

3. 实验操作 (40 分)

(1) 按实验步骤和实验程序, 自觉认真完成实验且实验数据达到要求者, 记满分, 即 40 分。

(2) 抄数据者扣 40 分。

(3) 实验过程中, 根据实验步骤和实验程序规范程度及实验数据合乎要求的情况视情形酌情记分。

(4) 粗心大意损坏仪器, 除按规定赔款外, 另扣 10 分。

4. 文明卫生纪律 (5 分)

(1) 遵守实验室规则; 在实验过程中始终遵守纪律、认真完成实验; 不随意在实验室内、外走动; 不在实验室吃东西、吸烟、乱丢纸屑者, 记满分, 即 5 分。

(2) 违反前款任一项者扣 5 分。

(3) 实验完毕后, 老师要求学生打扫室内卫生, 不打扫者扣 5 分。

(4) 上实验课闲谈、大声喧哗或不听指导者扣 5 分。

(5) 上实验课违反纪律屡教不改或早退者, 本次实验成绩记 0 分。

5. 仪器整理 (5 分)

(1) 实验完毕, 学生按要求主动整理好仪器的, 记 5 分。

(2) 实验完毕, 学生没有整理仪器的, 扣 5 分。

(3) 实验完毕, 整理仪器不符合要求者, 可视其情况酌情扣分。

6. 实验报告（30 分）

（1）实验报告用统一的实验报告纸按格式要求书写，实验数据按要求处理并有实验结果表示，报告书写整洁、清晰，布局合理者，且附有预习报告和原始记录，可记 30 分。

实验报告格式要求：

- 1) 实验名称。
- 2) 实验日期。
- 3) 实验操作者姓名及实验合作者。
- 4) 实验室环境的温度、湿度、气压等数据。
- 5) 实验目的。
- 6) 实验仪器。
- 7) 实验原理（简单扼要）。
- 8) 实验步骤。
- 9) 实验数据及处理（要有明确结果）。
- 10) 实验体会（讨论或答思考题）。

（2）没有数据处理、计算过程以及最后结果表示的扣 15 分。

第一部分 理论知识

第 1 章 测量误差与数据处理

物理实验的任务不仅是定性地观察各种自然现象，更重要的是定量地测量相关物理量。而对事物定量的描述又离不开数学方法和进行实验数据的处理。因此，误差分析和数据处理是物理实验课的基础。本章将从测量及误差的定义开始，逐步介绍有关误差和实验数据处理的方法和基本知识。

误差理论及数据处理是一切实验结果中不可缺少的内容，是不可分割的两部分。误差理论是一门独立的学科。随着科学技术事业的发展，近年来误差理论的基本概念和处理方法也有很大发展。误差理论以数理统计和概率论为其数学基础，研究误差性质、规律及如何消除误差。实验中的误差分析，其目的是对实验结果做出评定，最大限度地减小实验误差，或指出减小实验误差的方向，提高测量质量，提高测量结果的可信赖程度。对低年级大学生，这部分内容难度较大，本课程仅限于介绍误差分析的初步知识，着重点放在几个重要概念及最简单情况下的误差处理方法，不进行严密的数学论证，减小学生学习的难度，有利于学好物理实验这门基础课程。

1.1 测量与误差

1.1.1 测量、直接测量与间接测量

物理实验不仅要定性地观察物理现象，更重要的是找出有关物理量之间的定量关系。因此需要进行定量的测量，以取得物理量数据的表征。对物理量进行测量是物理实验中极其重要的一个组成部分。对某些物理量的大小进行测定，实验上就是将此物理量与规定的作为标准单位的同类量或可借以导出的异类物理量进行比较，得出结论，这个比较过程就叫做测量。例如，物体的质量可通过与规定用千克作为标准单位的标准砝码进行比较而得出测量结果；物体运动速度的测定则必须通过与两个不同的物理量，即长度和时间的标准单位进行比较而获得。比较的结果记录下来就叫做实验数据。测量得到的实验数据应包含测量值的大小和单位，二者是缺一不可的。

国际上规定了 7 个物理量的单位为基本单位。其他物理量的单位是由以上基本单位按一定的计算关系式导出的。因此，除基本单位之外的其余单位均称为导出单位。如以上提到的速度以及经常遇到的力、电压、电阻等物理量的单位都是导出单位。

一个被测物理量，除了用数值和单位来表征它外，还有一个很重要的表征参数，这便是对测量结果可靠性的定量估计。这个重要参数却往往容易被人们忽视。设想如果得到一个测量结果的可靠性几乎为零，那么这种测量结果还有什么价值呢？因此，从表征被测量这个意义上来说，对测量结果可靠性的定量估计与其数值和单位至少具有同等的重要意义，三者是缺一不可的。

测量可以分为两类。按照测量结果获得的方法来分，可以将测量分为直接测量和间接测量两类，而从测量条件是否相同来分，又有所谓的等精度测量和不等精度测量。

直接测量就是把待测量与标准量直接比较得出结果。如用米尺测量物体的长度,用天平称量物体的质量,用电流表测量电流等,都是直接测量。间接测量是指借助函数关系由直接测量的结果计算出所谓的物理量。例如已知路程和时间,根据速度、时间和路程之间的关系求出的速度就是间接测量。

一个物理量能否直接测量不是绝对的。随着科学技术的发展,测量仪器的改进,很多原来只能间接测量的量,现在可以直接测量了。比如电能的测量本来是间接测量,现在也可以用电表进行直接测量。物理量的测量,大多数是间接测量,但直接测量是一切测量的基础。

1.1.2 等精度测量与不等精度测量

根据测量条件来分,有等精度测量和非等精度测量。等精度测量是指在同一(相同)条件下进行的多次测量,如同一个人,用同一台仪器,每次测量时周围环境条件相同,等精度测量每次测量的可靠程度相同。反之,若每次测量时的条件不同,或测量仪器改变,或测量方法、条件改变。这样所进行的一系列测量叫做非等精度测量。非等精度测量的结果,其可靠程度自然也不相同。物理实验中大多采用等精度测量。应该指出:重复测量必须是重复进行测量的整个操作过程,而不是仅仅为重复读数。

1.1.3 仪器精密度、准确度及量程

测量仪器是进行测量的必要工具。熟悉仪器性能,掌握仪器的使用方法及正确进行读数,是每个测量者必备的基础知识。下面简单介绍仪器精密度、准确度和量程等基本概念。

仪器精密度是指仪器的最小分度相当的物理量。仪器最小的分度越小,所测量物理量的位数就越多,仪器精密度就越高。对测量读数最小一位的取值,一般来讲应在仪器最小分度范围内再进行估计读出一位数字。如具有毫米分度的米尺,其精密度为1毫米,应该估计读出到毫米的十分位;螺旋测微器的精密度为0.01毫米,应该估计读出到毫米的千分位。

仪器准确度是指仪器测量读数的可靠程度。它一般标在仪器上或写在仪器说明书上。如电表仪表所标示的级别就是该仪器的准确度。对于没有标明准确度的仪器,可粗略地取仪器最小的分度数值或最小分度数值的一半,一般对连续读数的仪器取最小分度数值的一半,对非连续读数的仪器取最小的分度数值。在制造仪器时,其最小的分度数值是受仪器准确度约束的,对不同的仪器准确度是不一样的,对测量长度的常用仪器米尺、游标卡尺和螺旋测微器,它们的仪器准确度依次提高。

量程是指仪器所能测量的物理量的最大值和最小值之差,即仪器的测量范围(有时也将所能测量的最大值称为量程)。测量过程中,超过仪器量程使用仪器是不允许的,轻则仪器准确度降低,使用寿命缩短,重则损坏仪器。

1.1.4 误差与偏差

测量的目的就是为了得到被测物理量所具有的客观真实数据,但由于受测量方法、测量仪器、测量条件以及观测者水平等多种因素的限制,只能获得该物理量的近似值,也就是说,一个被测量值 N 与真值 N_0 之间总是存在着这种差值,这种差值称为测量误差,即

$$\Delta N = N - N_0 \quad (1.1)$$

显然误差 ΔN 有正负之分,因为它是指与真值的差值,常称为绝对误差。注意,绝对误差

不是误差的绝对值!

误差存在于一切测量之中, 测量与误差形影不离, 分析测量过程中产生的误差, 将影响降低到最低程度, 并对测量结果中未能消除的误差做出估计, 是实验中的一项重要工作, 也是实验的基本技能。

实验总是根据对测量结果误差限度的一定要求来制定方案和选用仪器的, 不要以为仪器精度越高越好。因为测量的误差是各个因素所引起的误差的总和, 要以最小的代价来取得最好的结果, 要合理地设计实验方案, 选择仪器, 确定采用这种或那种测量方法。如比较法、替代法、天平复称法等, 都是为了减小测量误差; 对测量公式进行这样或那样的修正, 也是为了减少某些误差的影响; 在调节仪器时, 如调仪器使其处于铅直、水平状态, 要考虑到什么程度才能使它的偏离对实验结果造成的影响可以忽略不计; 电表接入电路和选择量程都要考虑到引起误差的大小。在测量过程中某些对结果影响大的关键量, 就要努力想办法将它测准; 有的测量不太准确对结果没有什么影响, 就不必花太多的时间和精力去对待, 在进行处理数据时, 某个数据取到多少位, 怎样使用近似公式, 作图时坐标比例、尺寸大小怎样选取, 如何求直线的斜率等, 都要考虑到引入误差的大小。

由于客观条件所限、人们认识的局限性, 测量不可能获得待测量的真值, 只能是近似值。设某个物理量真值为 x_0 , 进行 n 次等精度测量, 测量值分别为 $x_1, x_2, \dots, x_n$, (测量过程无明显的系统误差)。它们的误差为

$$\Delta x_1 = x_1 - x_0$$

$$\Delta x_2 = x_2 - x_0$$

.....

$$\Delta x_n = x_n - x_0$$

求和

$$\sum_{i=1}^n \Delta x_i = \sum_{i=1}^n x_i - nx_0$$

即

$$\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} - x_0$$

当测量次数 $n \rightarrow \infty$, 可以证明 $\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i}{n} \rightarrow 0$, 而且 $\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{x}$ 是 x_0 的最佳估计值, 称 $\bar{x}$ 为测量值的近似真实值。

为了估计误差, 定义测量值与近真值的差值为偏差: 即 $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$ 。

偏差又叫做“残差”。实验中得不到真值, 因此误差也无法知道, 而测量的偏差可以准确知道, 实验误差分析中要经常计算这种偏差, 用偏差来描述测量结果的精确程度。

1.1.5 相对误差

绝对误差与真值之比的百分数叫做相对误差, 用 E 表示。