物 理 实 验 教 程

陆廷济　胡德敬　陈铭南　主编

同济大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

图书在版编目(CIP)数据

物理实验教程/陆廷济等主编 .—上海:同济大学出版社,2000.9

ISBN 7-5608-2187-1

Ⅰ.物… Ⅱ.陆… 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(2000)第 36441 号

物理实验教程

作　者　陆廷济　胡德敬　陈铭南

责任编辑　张智中　责任校对　郁　峰　装帧设计　李志云

出　版
发　行　同济大学出版社

(上海四平路 1239 号　邮编 200092　电话 021-65985622)

经　销　全国各地新华书店

印　刷　同济大学印刷厂印刷

开　本　787mm × 1092mm　1/16

印　张　21.25

字　数　544000

版　次　2000 年 9 月第 1 版　2005 年 1 月第 4 次印刷

书　号　ISBN 7-5608-2187-1/O · 183

定　价　26.60 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

内 容 提 要

本书是根据《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》，面向21世纪，结合同济大学物理实验课程建设多年来的实践经验编写而成。全书包括绪论、不确定度表达和数据处理方法、力学和热学实验、电磁学实验、光学实验、近代物理实验，以及选做实验等七章。本书充分反映同济大学物理实验课程教学改革的成果及其发展趋势，探索实验理论与实践有机结合的课程体系，注重教学内容的系统性和实验技能的严格训练。在精选基本实验的基础上，大力充实具有强烈现代意识和高新技术色彩的、给学生留有较大发展空间的实验项目。注重传授知识与能力、素质、创新精神培养并重。因材施教，既保证教学要求的贯彻，又注重个性发展，为学生提供一个自主学习的发展空间。计算机在实验中的推广应用，有效地发挥了计算机辅助教学的积极功效。

本书可作为高等工业学校各专业的物理实验教学用书，也可供高等职业学校、业余大学、夜大学等选用。

前　言

谨以此书献给21世纪的大学生们!

物理实验从原来的物理课程中分离出来,独立形成一门课程还是20世纪70年代末的事。20世纪科学技术的发展使人们愈来愈认识到物理实验技术的重要性以及在高等工业院校的教学中加强对学生进行物理实验训练的必要性,这就是物理实验独立设课的时代背景。

本书是根据《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》,结合我校的实际,在1992年出版的《物理实验》和1996年出版的《大学物理实验》两书的基础上修改编写而成的。

多年来,我们努力进行课程建设和教学改革,逐渐形成了自己的教学特色。本书将努力反映我校近年来物理实验课程建设和教学改革的成果及其发展趋势,归纳如下:

(1) 探索实验理论与实践有机结合的课程体系,采用以专题单元组织教学的方案,增设"实验准备课",提高了教学内容的系统性并加强了有关实验技能的训练,切实解决了学生预习实验困难的难题。为配合专题单元教学方案,本书在基本实验部分,采用实验知识、理论与具体实验项目相分离的编写模式,使实验理论系统化。在阐述基本实验技术的同时,注意介绍有关科技的最新成果与发展动态。

(2) 在精选基本实验的基础上,大力充实具有强烈现代意识和高新技术色彩,给学生留有较大开拓空间的实验项目,注意吸收国内外有特色的精品实验。例如荣获'99全国工科物理实验现代化研讨会暨教学仪器研制成果展示评奖会(1999年8月在同济大学召开)的一等奖项目:相对论效应实验谱仪(同济大学)、扫描隧道显微镜(上海交通大学)、密立根油滴仪(东南大学)、波耳共振仪(同济大学)和传感器测空气相对压力系数(清华大学)等。向国际学习方面,鉴于我校已发展成为我国对德科技文化交流中心,利用这一有利条件,我们从原联邦德国学习、引进和发展了一些很有特色的实验项目,填补了国内空白。例如研究空气动力学的小型风洞模拟实验,气体比热容比的测定,用扭摆法测定物体转动惯量,以及液体的饱和蒸汽压力和温度测定等。

(3) 计算机辅助教学在物理实验中的应用,在教学上取得了积极的效果。它的功能有检验实验数据、图解法和线性回归等数据处理,人机对话读数模拟训练,电路故障分析,实验原理剖析,实时测量,以及模拟实验等。计算机辅助教学使得教学方法优化,有助于面向21世纪物理实验教学新模式的探索。

(4) 作者将自己在科研工作中对物理实验基本要求的感受融入到本书的编写中去,努力做到传授知识与培养能力、素质、创新精神并重,积极改进教学方法。例如指导学生阅读参考资料来学习实验原理。根据我国目前大学里可供学生使用的参考书尚不充分的情况,在书中的基础实验部分特地编写了系统的理论知识,供学生在学习实验原理时参阅,作为初步学习查阅文献资料的一种尝试。实验部分增设了[知识准备]、[参考资料]等栏目。[知识准备]指明进行本实验所需要掌握的物理概念(见关键词)、理论以及实验仪器的知识。[参考资料]为学生深入学习提供参考书目。

(5) 为了适应中学实验训练水平不一的学生的需求，我们进行了多项教学改革的尝试。除常规班教学外，探索开设了上册实验快班和提高班；除常规实验室外，还设立了开放实验室。开放实验室旨在为学生提供一个自主学习实验、研究实验和科学探索的场所。为了配合教学改革，本书的编写特别重视因材施教。在基本实验的基础上，收录较多的选做实验，以配合开放实验室的建设。既保证教学基本要求的贯彻，又注重个性发展，为学生提供一个自主学习的发展空间。努力发挥“一书多用”的功能，既能作为常规班的教材，又能作为实验快班和选修提高班的教材。

全书共分七章。第一、二、四章由陆廷济执笔，第三章由陈铭南执笔，第五章由胡德敬执笔，第六章由陆廷济、胡德敬、曹正东等执笔，第七章由陆廷济、胡德敬、陈铭南和曹正东等执笔。全书由陆廷济总策划和负责统稿。

本书的编写凝聚着我们实验室全体教师和实验技术人员长期辛勤劳动的成果。他们长期工作在实验教学第一线，积累了丰富的教学经验，对本书的编写提出了宝贵的意见。在本书的编写过程中，同济大学理学院顾牡教授、物理系王珏教授等领导同志将本书的编写作为国家工科物理课程教学基地建设的一项重要课题，给予大力支持。费定曜教授长期从事物理实验教学仪器的研制工作，尤其是在学习、引进和发展原联邦德国教学仪器方面取得了丰硕成果，为本书提供了素材。本书的编写还得到校内外许多同志的支持和帮助。在此一并表示衷心的感谢。

限于编者水平，书中难免有缺点和错误，恳请批评指正，以便改进。

编者

2000年8月于同济大学

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　录

前言
第一章　绪论 …… (1)
1.1　物理学对社会的重要性 …… (1)
1.2　物理实验课的任务 …… (2)
1.3　物理实验课的学习特点及其教学改革 …… (3)
1.4　怎样写实验报告 …… (4)
1.5　遵守实验规则 …… (5)
第二章　不确定度表达和数据处理方法 …… (6)
2.1　测量与误差 …… (6)
2.2　随机误差的高斯分布与标准误差 …… (8)
2.3　近真值——算术平均值 …… (10)
2.4　标准误差的估算——标准偏差 …… (11)
2.5　间接测量值误差的估算——误差传递公式 …… (12)
2.6　不确定度与测量结果表述 …… (13)
2.7　有效数字 …… (17)
2.8　简算方法及数字取舍规则 …… (18)
2.9　数据处理方法 …… (21)
附录　中华人民共和国法定计量单位 …… (28)
练习题 …… (30)
本章小结 …… (32)
第三章　力学和热学实验 …… (35)
3.1　概述 …… (35)
3.2　长度、质量和时间的测量 …… (35)
3.2.1　长度的测量 …… (35)
3.2.2　质量的测量 …… (39)
3.2.3　时间的测量 …… (41)
3.3　温度、气压和湿度的测量 …… (41)
3.3.1　温度的测量 …… (41)
3.3.2　气压的测量 …… (43)
3.3.3　湿度的测量 …… (44)
3.4　热学量测量 …… (45)
3.4.1　导热系数 …… (45)
3.4.2　比热容 …… (46)
3.4.3　熔解热 …… (46)

3.4.4 汽化热 …… (46)
实验 M-1 基本长度测量 …… (46)
实验 M-2 质量秤衡——固体和液体密度的测定 …… (49)
实验 M-3 微小长度变化的测量——杨氏弹性模量的测定 …… (52)
实验 M-4 计时练习——用扭摆法测定物体转动惯量 …… (58)
实验 M-5 基本测量综合练习——液体粘度的测定 …… (63)
实验 M-6 用波尔共振仪研究受迫振动 …… (66)
实验 M-7 气体比热容比 c_p/c_v 的测定 …… (72)
第四章 电磁学实验 …… (75)
4.1 概述 …… (75)
4.1.1 历史回顾与教学要求 …… (75)
4.1.2 电磁学实验规则 …… (76)
4.1.3 几种常用实验仪表和设备的介绍 …… (77)
4.2 磁电式电表 …… (81)
4.2.1 磁电式电表的工作原理 …… (81)
4.2.2 电表的改装 …… (82)
4.2.3 多用表的原理和使用 …… (84)
4.2.4 电表内阻对测量正确度的影响 …… (88)
4.2.5 指针式检流计 …… (90)
4.2.6 灵敏电流计 …… (91)
4.2.7 冲击电流计 …… (95)
4.3 数字电表的使用要点 …… (95)
4.3.1 电表的飞跃——从模拟电表到数字电表 …… (95)
4.3.2 直流数字电压表 DC-DVM …… (96)
4.3.3 发光二极管显示器和液晶显示器 …… (98)
4.3.4 数字多用表的使用和选择指南 …… (100)
4.4 电桥 …… (108)
4.4.1 直流单电桥 …… (108)
4.4.2 非平衡电桥 …… (110)
4.4.3 双电桥 …… (111)
4.4.4 电桥的更新换代产品——数字直流电桥 …… (115)
4.4.5 交流电桥 …… (116)
4.5 补偿法与电位差计 …… (118)
4.5.1 十一线电位差计 …… (119)
4.5.2 UJ31 型电位差计 …… (121)
4.5.3 全补偿法和差值补偿法 …… (123)
4.6 磁场测量 …… (124)
4.6.1 霍耳效应法测量磁场 …… (125)
4.6.2 冲击法测量磁场 …… (128)

4.7 阴极射线示波器的物理基础 …… (133)
4.7.1 普通示波器 …… (133)
4.7.2 双踪示波器 …… (139)
4.7.3 示波器的种类及其主要技术性能指标 …… (142)
4.7.4 阴极射线示波器的发展 …… (143)
实验 E-1 电表的改装 …… (144)
实验 E-2 多用表的原理和使用 …… (147)
实验 E-3 模拟法测绘静电场 …… (150)
实验 E-4 直流单电桥的原理和使用 …… (155)
实验 E-5 补偿法与十一线电位差计 …… (158)
实验 E-6 UJ31 型直流电位差计的使用 …… (161)
实验 E-7 阴极射线示波器 …… (163)
实验 E-8 声速测定 …… (167)
实验 E-9 集成霍耳传感器 …… (171)
实验 E-10 霍耳效应法测量磁场 …… (173)
本章小结 …… (176)
参考文献 …… (178)
附录 …… (179)
第五章 光学实验 …… (186)
5.1 概述 …… (186)
5.1.1 生气勃勃的光学 …… (186)
5.1.2 光学实验的特点和注意事项 …… (186)
5.2 常用光源、光学元件和仪器 …… (187)
5.2.1 常用光源 …… (187)
5.2.2 成像元件——透镜 …… (188)
5.2.3 分光元件和滤光元件 …… (189)
5.2.4 显微镜和望远镜 …… (190)
5.2.5 照相机 …… (191)
5.3 光的干涉 …… (193)
5.3.1 干涉的分类和特点,牛顿环 …… (193)
5.3.2 迈克尔逊干涉仪 …… (195)
5.3.3 光干涉的应用 …… (198)
5.3.4 光源的时间相干性 …… (198)
5.4 光的衍射 …… (199)
5.4.1 惠更斯-菲涅耳原理 …… (199)
5.4.2 衍射的分类、光栅衍射和单缝衍射 …… (200)
5.4.3 衍射应用简介 …… (202)
5.5 全息照相 …… (203)
5.5.1 全息照相的原理和方法 …… (203)

5.5.2 全息照相的主要特点和拍摄条件 …… (205)
5.5.3 全息照相再现实像的条件和特点 …… (206)
5.5.4 全息照相的应用 …… (206)
5.6 偏振光 …… (208)
5.6.1 偏振光的分类和获得 …… (208)
5.6.2 旋光现象 …… (210)
5.6.3 偏振光的应用 …… (210)
实验 O-1 非接触法测量透明物体厚度和折射率 …… (211)
实验 O-2 用牛顿环测定透镜的曲率半径 …… (213)
实验 O-3 用衍射光栅测定光波波长 …… (215)
实验 O-4 迈克尔逊干涉仪 …… (220)
实验 O-5 偏振光的观察和应用 …… (221)
实验 O-6 全息照相 …… (226)
第六章 近代物理实验 …… (228)
引言 …… (228)
实验 MP-1 密立根油滴法测定电子电荷——CCD 电子显示技术的应用 …… (228)
实验 MP-2 半导体 PN 结的物理特性及弱电流测量 …… (233)
实验 MP-3 夫兰克-赫兹实验 …… (236)
实验 MP-4 混沌现象 …… (240)
实验 MP-5 验证快速电子的动量与动能的相对论关系 …… (242)
实验 MP-6 扫描隧道显微镜 …… (248)
实验 MP-7 计算机断层扫描术(CT) …… (250)
实验 MP-8 光谱的拍摄 …… (252)
实验 MP-9 音频信息的光纤通讯 …… (255)
第七章 选做实验 …… (260)
引言 …… (260)
实验 S-1-1 气垫实验 …… (261)
实验 S-1-2 微机实时测量——刚体转动惯量的测定 …… (264)
实验 S-1-3 弦线振动 …… (268)
实验 S-1-4 液体的饱和蒸气压力和温度测定 …… (270)
实验 S-1-5 导热系数的测定 …… (273)
实验 S-1-6 模拟电冰箱制冷系数的测量 …… (276)
实验 S-1-7 空气动力学实验 …… (280)
实验 S-1-8 用传感器测定空气相对压力系数 …… (285)
实验 S-1-9 真空技术 …… (286)
实验 S-1-10 用动态悬挂法测定金属材料的杨氏弹性模量 …… (288)
实验 S-2-1 二极管伏安特性曲线的测绘 …… (290)
实验 S-2-2 电位差计校准电表和测定电阻 …… (292)
实验 S-2-3 电阻电容串联电路的暂态过程 …… (294)

实验 S-2-4　灵敏电流计研究 …… (296)
实验 S-2-5　双电桥测量低电阻 …… (297)
实验 S-2-6　交流电桥 …… (298)
实验 S-2-7　磁滞回线 …… (299)
实验 S-2-8　直流稳压电源的制作 …… (300)
实验 S-2-9　可控硅调光灯的制作 …… (301)
实验 S-2-10　PN 结正向压降与温度关系研究——PN 结温度传感器 …… (303)
实验 S-2-11　用冲击电流计测定磁感应强度 …… (304)
实验 S-3-1　照相技术 …… (306)
实验 S-3-2　细丝线径测定 …… (310)
实验 S-3-3　用激光散斑法测量微小位移 …… (312)
实验 S-3-4　光电效应和普朗克常数的测定 …… (314)
实验 S-3-5　硅光电池特性的测定 …… (318)
实验 S-3-6　用分光计测定液体折射率 …… (321)
实验 S-3-7　半导体激光器的特性测量和应用 …… (322)
实验 S-3-8　全息光栅制作和光栅常数的测定 …… (323)
实验 S-3-9　标志传感器工作参数测量和应用 …… (324)
实验 S-3-10　LED 光柱显示器特性测定和应用 …… (325)
实验 S-3-11　动感画成因分析和改进 …… (325)
实验 S-3-12　多重像——多次反射像的成因分析和改进 …… (326)
实验 S-3-13　全息存储 …… (327)

第一章　绪　论

1.1　物理学对社会的重要性

物理学——研究物质、能量和它们的相互作用的学科——是一项国际事业，它对人类未来的进步起着关键的作用。对物理教育的支持和研究，在所有国家都是重要的，这是因为：

(1) 物理学是一项激动人心的智力探险活动，它鼓舞着年轻人，并扩展着我们关于大自然知识的疆界。

(2) 物理学发展着未来技术进步所需的基本知识，而技术进步将持续驱动着世界经济发动机的运转。

(3) 物理学有助于技术的基本建设，它为科学进步和发明的利用，提供所需训练有素的人才。

(4) 物理学在培养化学家、工程师、计算机科学家，以及其他物理科学和生物医学科学工作者的教育中，是一个重要的组成部分。

(5) 物理学扩展和提高我们对其他科学的理解，诸如地球科学、农业科学、化学、生物学、环境科学，以及天文学和宇宙学——这些学科对世界上所有民族都是至关重要的。

(6) 物理学提供发展应用于医学的新设备和新技术所需的基本知识，如计算机层析术(CT)、磁共振成像、正电子发射层析术、超声波成像和激光手术等，改善了我们生活的质量。

以上是1999年3月在美国亚特兰大市召开的第23届国际纯粹物理和应用物理联合会(IUPAP)代表大会通过的关于物理学对社会的重要性所作的决议。

为了体会决议的意义，让我们来回顾一下20世纪物理学与技术发展的几个史实。

当今，廉价计算机的单块芯片可以容纳数十万只晶体管，一块指甲大小的芯片具有二三十年前一台房间大小的计算机那样的计算能力。如此辉煌的成就应归功于1948年晶体管的诞生。肖克利(W.Shockly)、巴丁(J.Bardeen)和布拉顿(W.Brattain)通过研究不同条件下电流流过半导体的方式，发现了晶体管效应，为集成电路、微电子学和整个计算机革命开辟了道路。因此他们获得了1956年诺贝尔物理学奖。

1958年肖洛(A.Schawlow)和汤斯(G.Townes)在研究光对分子和固体作用的基础上，提出了制造光波受激发射放大器的具体设想和建议，为研制激光器奠定了基础。1960年，梅曼(T.H.Maiman)研制成功了世界上第一台激光器，它的发明是光学发展史上的伟大里程碑，也是整个科学史上一个伟大的里程碑。激光器让许多原子、分子同时在同一方向发光，光束在颜色上的纯度比以往可能产生的高100万倍，在月球上可以看到地球上仅为几瓦的激光。激光一问世，就获得迅速发展，应用极其广泛。

物理学家利用激光在一种材料上记录图形，它提供了一种存储和取用信息的技术，可以将相当于数百万卷百科全书内容的信息存储在糖块大小的材料之中。

激光的光脉冲宽度窄，持续时间可以做到几个飞秒(10^{-15}秒)。飞秒激光可用来拍摄瞬间的照片，如拍摄化学反应中分子的影片等。新的计算机技术与产生飞秒光脉冲技术相结

需要全本请访问 www.ertongbook.com

合，有可能实现接近每秒1拍次(10^{15}次)的逻辑运算。未来新型的高速计算机可能采用短的光脉冲来传递信息，以代替由现在使用的较为缓慢的电子来传递信息。物理学家藉助光学双稳态现象能够用另一个光束将一个光束接通或者切断，这展现了一种光学型晶体管的可能性，它为光学计算机的出现打开了大门。

由于玻璃纤维比金属导体重量轻、价格低和抗干扰能力强，因而光纤通信发展迅速。技术专家展望下一世纪光纤传输技术的新进展：一对细如头发丝的光纤可以传递近2000万路电话。这就是说，上海全体市民即使在同一时间通话，光纤的传递能力还绰绰有余。光子能够传输的信息量比电子大几百万倍。可以预言，光技术最终可能比电子学对社会的影响更大，如果说20世纪是电子时代，那么21世纪就可能是光子时代。

1895年德国物理学家伦琴(W.C.Rortgen)发现了X射线。其后，X射线透视术逐渐成为医生诊断疾病的一种重要手段。20世纪70年代开始，医学专家利用物理学原理发明了计算机辅助的X射线层析摄影术(CT)等一些新技术，藉助它们可以确定人体内部结构而无需将器械插入人体内。CT术给医生显示一幅人体的内部器官的三维图像。它是用一连串X射线束穿透人体，每一束射线给出了透过人体的一个线条，借助于计算机可以从这些线条的数据重构出通过人体的一个断层的影像，几幅这样的影像就构成一幅三维图像。

回眸20世纪，大量事实说明，高新技术的出现和发展与基本粒子物理学、原子核物理学、原子、分子物理学和光学、等离子体和流体、凝聚态物理学以及引力、宇宙学和宇宙射线物理学等物理学领域及其交叉学科有着密切的关系。可以说，物理学是高新技术的源泉。令人信服地确信，物理学是有生命力的和富有成果的学科，它对社会发展具有极大的影响力。

1.2 物理实验课的任务

物理学的研究方法通常是在观察和实验的基础上对物理现象进行分析、抽象和概括，建立物理模型，探索物理规律，进而形成物理理论。可见，物理规律是实验事实的总结，而物理理论的正确与否需要实验来验证。

“大学物理”和“物理实验”原来是一门课程。由于历史的原因，为了纠正重理论、轻实验的偏向，为了加强实验能力训练，在20世纪70年代末，物理实验从原来的物理课程中分离出来，独立形成一门课程——物理实验。它与物理理论课是关系密切的两门课程。实验需要理论指导，在实验过程中，通过理论的运用与现象的观测、分析，理论与实验相互补充，以加深和扩大学生对物理知识的理解。

物理实验是理工科大学生进行科学实验训练的一门基础课程，也是素质教育的重要环节。它的主要任务是：

(1) 通过实验，学习运用理论指导实验，以及分析和解决问题的科学方法。在学习物理实验的一些典型方法时，尤其要注重学习它的思想方法，以有助于思维与创新能力的培养。

(2) 使学生获得必要的实验知识和操作技能的训练，培养学生初步具有以下各方面的科学实验工作能力，即正确使用仪器、进行测量、处理数据、分析结果以及写实验报告等。在此基础上，着重培养学生的探索精神、创新精神、自主学习能力和科学研究方法。

(3) 培养学生严格、细致、实事求是、刻苦钻研、一丝不苟的科学态度以及爱护国家财产

的道德品质，培养学生善于动脑、乐于动手、讲究科学方法、遵守操作规程、注意安全等科学习惯。

总之，教学的重点放在培养学生科学实验能力与提高学生科学实验素养方面，使学生在获取知识的自学能力、运用知识的综合分析能力、动手实践能力、设计创新能力以及严肃认真的工作作风、实事求是的科学态度方面得到训练与提高。

1.3 物理实验课的学习特点及其教学改革

由于客观上存在着学生人数与仪器设备数量之间的矛盾，一个专业的学生不可能同时进行同一个内容的实验，而只能用分阶段循环的办法来安排实验。为了有利于同学们由浅入深、循序渐进地学习，并使之有前后知识的积累以及易于掌握知识的系统性，特此将教学内容有机地组成若干教学单元，讲练结合地进行教学。每个教学单元突出一两个主题。

教材编写与以往有所不同，在第三、四、五章的前半部分均有力学、电磁学和光学实验知识的系统阐述，对有关的实验技术新发展作了简要论述，并列出有关文献以备查阅。大部分实验略去了“实验原理”一项，而用“知识准备”栏目取代。学生在准备实验时，需要根据“知识准备”中所提出的要求，查阅本书有关章节或者参考有关文献资料，写好实验报告中的实验原理部分。这样做，教学要求提高了，对初学者有一定难度，但是这对科研工作能力训练是极为有益的。上述的安排主要基于两个目的：一是有利于对实验知识、理论和方法较全面和系统的了解和掌握；二是培养学生阅读文献资料的能力。

在完成必做实验之后，可以到开放实验室去自由选做感兴趣的选做实验。选做实验并不局限于本教程第七章所列的项目，它是在不断充实和增加的。在实验室规定的开放时间内，自由选择实验项目和实验时间，一次完不成还可以下次继续。开放实验室旨在为广大同学创造一个深入学习物理实验的空间，一个自由探索和研究的宽松空间，以有助于培养探索精神、创新精神和自主学习的能力。

实验课与听课不同，它的特点是同学们在教师的指导下自己动手，独立地完成实验任务。通常，每个实验的学习都要经历三个阶段。

1. 实验的准备

实验前必须认真阅读讲义，做好必要的预习，才能按质按量按时完成实验。同时，预习也是培养阅读能力的学习环节。

在学生预习实验教材的基础上，为了进一步做好实验准备工作，我们在教学计划中安排一些“实验准备课”。其目的有两个：其一是在同学们自学教材的基础上，教师重点讲解有关实验理论，使学生更好地理解实验原理，体会实验方法的思路和适用条件，以及教学具体要求等；其二，教师对仪器设备进行介绍，操作示范，让学生在正式做实验之前，有机会了解实验装置，学会仪器的使用，以便进一步考虑如何来做好实验。

2. 实验的进行

内容包括仪器的安装与调整，观察实验现象与选择测试条件，读数与数据记录，计算与分析实验结果，以及误差估算等。

进入实验室，要注意遵守实验规则(见 1.5)。实验过程中，对观察到的现象和测得的数据要及时进行判断，判断它们是否正常与合理。实验过程中可能会出现故障，在教师的指导

下,分析故障原因,学会排除故障的本领。实验完毕,做好仪器设备的整理工作。

实验过程中遇到挫折不是坏事,坚持探索,认真分析研究,找出原因,解决问题,就可以得到更大的收获。

3. 书写实验报告

撰写实验报告是为了训练学生具有以书面形式汇报实验工作成果的能力。具体要求详见下节。

1.4 怎样写实验报告

通常,实验报告分为三部分。

第一部分:预习报告。

它作为正式报告的前面部分,要求在正式做实验之前写好。内容包括:

(1) 目的:说明本实验的目的。

(2) 原理摘要:在理解的基础上,用简短的文字扼要地阐述实验原理,切忌整篇照抄。力求做到图文并茂,图系指原理图、电路图或者光路图。写出实验所用的主要公式,说明式中各物理量的意义和单位以及公式的适用条件(或实验的必要条件)。

第二部分:实验记录。

实验的原始数据先记录在专用的"物理实验数据记录本"上,实验完毕后再进行整理。内容包括:

(1) 仪器:记录实验所用主要仪器的编号和规格。记录仪器编号是一个好的工作习惯,便于以后必要时对实验进行复查。记录仪器规格可以使同学逐步地熟悉它,以培养选用仪器的能力。

(2) 实验内容和现象观测记录。

(3) 数据:数据记录应做到整洁清晰而有条理,尽量采用列表法。在根据数据特点设计表格时,力求简单明了,分类清楚而有条理,便于计算与复核,达到省工省时的目的。在标题栏内要求注明单位。

数据不得任意涂改。确实测错而无用的数据,可在旁边注明"作废"字样。不要任意划去。

第三部分:数据处理与计算。此部分在实验后进行,包括:

(1) 作图、计算结果与误差估算:按图解法要求绘制图线(详见 2.9 数据处理方法一节中的图解法)。计算时,先将文字公式化简,再代入数值进行运算。误差估算要预先写出误差公式。

(2) 结果:按标准形式写出实验的结果。在必要时,注明结果的实验条件。

(3) 作业题:完成教师指定的作业题。

(4) 附注:对实验中出现的问题进行说明和讨论,或写出实验心得和建议等。

实验报告要求同学努力做到书写清晰,字迹端正,数据记录整洁,图表合格,文理通顺,内容简明扼要。实验报告一律用专用的物理实验报告本书写。

1.5 遵守实验规则

为了保证实验正常进行，以及培养严肃认真的工作作风和良好的实验工作习惯，特制定下列规则，望同学们遵守执行。

(1) 学生应在课表规定时间内进行实验，不得无故缺席或迟到。实验时间若要更动，须经实验室同意。

(2) 学生在每次实验前对排定要做的实验应进行预习，并在预习的基础上，作预习报告。

(3) 进入实验室后，应将预习报告放在桌上由教师检查，并回答教师的提问，经过教师检查认为合格后，才可以进行实验。

(4) 实验时，应携带必要的物品，如文具、计算器和草稿纸等。对于需要作图的实验应事先准备毫米方格纸和铅笔。

(5) 进入实验室后，根据仪器清单核对自己使用的仪器有否缺少或损坏。若发现有问题，应向教师或实验室管理员提出。未列入清单的仪器，另向管理员借用，实验完毕时归还。

(6) 实验前应细心观察仪器构造，操作时动作应谨慎细心，严格遵守各种仪器仪表的操作规则及注意事项，尤其是电学实验，线路接好后，先经教师或实验室工作人员检查，经许可后才可接通电源，以免发生意外。

(7) 实验完毕应将实验数据交给教师检查，实验合格者，教师予以签字通过。余下时间在实验室内进行实验计算与做作业题，待下课后方可离开实验室。

实验不合格或请假缺课的学生，由指导教师登记，通知学生在规定时间内补做。

(8) 实验时，应注意保持实验室整洁、安静。实验完毕，应将仪器、桌椅恢复原状，放置整齐。

(9) 如有损坏仪器，应及时报告教师或实验室工作人员，并填写损坏单，说明损坏原因，赔偿办法根据学校规定处理。

第二章　不确定度表达和数据处理方法

2.1　测量与误差

1. 测量

物理实验不仅要定性观察各种物理现象，更重要的是找出有关物理量之间的定量关系。为此就需要进行测量。测量的意义就是将待测的物理量与一个选来作为标准的同类量进行比较，得出它们之间的倍数关系。选来作为标准的同类量称之为单位。倍数称为测量数值。由此可见，一个物理量的测量值等于测量数值与单位的乘积。一个物理量的大小是客观存在的，选择不同的单位，相应的测量数值就有所不同。单位愈大，测量数值愈小，反之亦然。

根据《中华人民共和国计量法》，国家计量局于 1987 年 2 月 1 日发布了国家法定计量单位名称、符号和非国家法定计量单位的废除办法，规定以国际单位制（SI 制）为国家法定计量单位，即以米、千克、秒、安培、开尔文、摩尔、坎德拉作为基本单位，其他量都由以上七个基本单位导出，称为国际单位制的导出单位。并规定 1991 年起实行国家法定计量单位，中华人民共和国法定计量单位见本章附录。

测量可分为两类。一类是直接测量。如用尺量长度，以表计时间，天平称质量，安培表测电流等；另一类是间接测量，是根据直接测量所得到的数据，根据一定的公式，通过运算，得出所需要的结果，例如直接测出单摆的长度 l 和单摆的周期 T，应用公式 $g = 4\pi^2 l/T^2$，以求重力加速度 g。在物理量的测量中，绝大部分是间接测量，但直接测量是一切测量的基础。不论直接测量或间接测量，都需满足一定的实验条件，按照严格的方法及正确地使用仪器，才能得出应有的结果。因此，在实验过程中，一定要了解实验的目的，正确地使用仪器，细心地进行操作、读数和记录，以达到巩固理论知识和加强实验技能训练的目的。

2. 误差

物理量在客观上有着确定的数值，称为真值。然而在实际测量时，由于实验条件、实验方法和仪器精度等的限制或者不够完善，以及实验人员技术水平的原因，使得测量值与客观上存在的真值之间有一定的差异。测量值 x 与真值 T_x 的差值称为测量误差 δ，简称误差。即

$$\delta = x - T_x$$

任何测量都不可避免地存在误差，所以，一个完整的测量结果应该包括测量值和误差两个部分。既然测量不能得到真值，那么怎样才能最大限度地减小测量误差并估算出这误差的范围呢？要回答这些问题，首先要了解误差产生的原因及其性质。测量误差按其产生的原因与性质可分为系统误差、随机误差和过失误差三大类。

（1）系统误差

系统误差的特点是有规律性的，测量结果都大于真值，或者都小于真值。或在测量条件改变时，误差也按一定规律在变化。

系统误差来源有下列几个方面：

1）由于测量仪器的不完善、仪器不够精密或安装调整不妥，如刻度不准、零点不对、砝码未经校准、天平臂不等长、应该水平放置的仪器没有放水平等。

2）由于实验理论和实验方法的不完善，所引用的理论与实验条件不符，如在空气中称质量而没有考虑空气浮力的影响，测长度时没有考虑温度使尺长改变，量热时没有考虑热量的散失，测电压时未考虑电压表内阻对电路的影响，标准电池的电动势未作温度修正等。

3）由于实验者生理或心理特点、缺乏经验等而引入的误差。例如有些人习惯于侧坐斜视读数，眼睛辨色能力较差等，使测量值偏大或偏小。

系统误差的消除或减小是实验技能问题，应尽可能采取各种措施将它降低到最小程度。例如将仪器进行校正，改变实验方法或者在计算公式中列入一些修正项以消除某些因素对实验结果的影响，纠正不良实验习惯等。

能否识别和降低系统误差与实验者的经验和实际知识有密切的关系。学生在学习过程中要逐步积累这方面的感性知识，结合实验的具体情况对系统误差进行分析和讨论。

（2）随机误差（又称偶然误差）

在相同条件下，对同一物理量进行重复多次测量，即使系统误差减小到最小程度之后，测量值仍然会出现一些难以预料和无法控制的起伏，而且测量值误差的绝对值和符号在随机地变化着。这种误差称之为随机误差。

随机误差主要来源于人们视觉、听觉和触觉等感觉能力的限制以及实验环境偶然因素的干扰。例如温度、湿度、电源电压的起伏、气流波动以及振动等因素的影响。从个别测量值来看，它的数值带有随机性，好像杂乱无章。但是，如果测量次数足够多的话，就会发现随机误差遵循一定的统计规律，可以用概率理论来估算它。

（3）错误（过失误差）

在测量中还可能出现错误，如读数错误、记录错误、操作错误、估算错误等等。错误已不属于正常的测量工作范畴，应当尽量避免。克服错误的方法，除端正工作态度，严格工作方法外，可用和另一次测量结果相比较的办法发现纠正，或者运用异常数据剔除准则来判别因过失而引入的异常数据，并加以剔除。

3. 正确度、精密度和准确度

正确度、精密度和准确度是评价测量结果好坏的三个术语。

测量结果的正确度是指测量值与真值的接近程度。正确度高，说明测量值接近真值的程度好，即系统误差小。可见，正确度是反映测量结果系统误差大小的术语。

测量结果的精密度是指重复测量所得结果相互接近的程度。精密度高，说明重复性好，各个测量误差的分布密集，即随机误差小。可见，精密度是反映测量结果随机误差大小的术语。

测量结果的准确度是指综合评定测量结果重复性与接近真值的程度。准确度高，说明精密度和正确度都高。可见，准确度反映随机误差和系统误差的综合效果。

由于在实验中，要求尽可能地消除或减小系统误差，误差计算主要是估算随机误差，因此往往不再严格区分精密度和准确度，而泛称为精度。

4. 绝对误差、相对误差和百分差

误差的表示形式，有绝对误差与相对误差之分。绝对误差 $\pm\Delta x$ 表示测量结果 x 与真值

需要全本请访问 www.ertongbook.com