河南省重点图书出版规划教材
总主编　李玉晓

大学物理实验

DAXUE WULI SHIYAN

本册主编　侯秀梅　闫书霞



郑州大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

高等学校教材

大学物理实验

主　编　侯秀梅　闫书霞
副主编　张　欢　朱志立　胡振纲

郑州大学出版社有限公司

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/侯秀梅,闫书霞主编. —郑州:
郑州大学出版社,2010.8
(河南省重点图书出版规划教材)
ISBN 978-7-5645-0061-0

Ⅰ.①大… Ⅱ.①侯…②闫… Ⅲ.①物理学-实验-
高等学校-教材 Ⅳ.①04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 131909 号

郑州大学出版社出版发行
郑州市大学路 40 号　　邮政编码:450052
出版人:王　锋　　发行部电话:0371-66966070
全国新华书店经销
河南省中景印务有限公司印制
开本:787 mm×1 092 mm　　1/16
印张:17.5
字数:414 千字
版次:2010 年 8 月第 1 版　　印次:2010 年 8 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-0061-0　　定价:27.00 元

本书如有印装质量问题,请向本社调换

作者名单

总主编　李玉晓

主　编　侯秀梅　闫书霞

副主编　张　欢　朱志立　胡振纲

编　委　（按姓氏笔画排序）

王　军　朱志立　闫书霞

张　欢　张　敏　张建民

张腊花　胡振纲　郜超军

侯秀梅　侯晓强　莫　炯

郭　娟　黄占魁　薛新莲

大学物理实验

JINDAI WULI SHIYAN

前言

本书参照教育部2008年制订的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》,结合我校物理实验教学改革的实际情况,在原书的基础上重新编写而成。

编写本书时,主要考虑了以下几个方面。

1. 总体结构上,以系统的实验知识、方法、技能及相关的仪器设备的使用为主线,所有的实验项目都为获得系统的实验知识服务,有利于学生掌握系统的实验知识、方法和技能,有利于学生后续实验及实践性课程的学习。

2. 项目分类上,按实验训练的性质和层次分基础性实验、综合提高性实验和设计研究性实验三个层次,按照从基础到综合,再到设计,由浅入深、逐步提高的原则编排。加强了综合性和设计性实验项目,新增了一些能够反映现代科学技术的综合性实验项目,如液晶电光效应等。给出了设计性实验一般的设计程序、必要的提示和参考资料,有利于学生提高运用知识和设计创新的能力,为今后从事科学研究工作打下基础。

3. 内容的编写上,注意实验背景和设计思路的介绍,并尽可能地介绍一些与所做实验相关的实验技术、应用情况及展望;为适应不同专业、不同层次学生的需求,实验内容分为必做、选做和拓展内容。

4. 数据处理方面,加强了对学生的引导,使学生逐步掌握数据处理的基本方法;专门介绍了数据处理软件Origin在物理实验中的应用,使学生得到专业软件处理实验数据的训练。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

实验课程建设是一项集体合作的工作，需要长期的努力、日积月累、不断改革。多年来，所有在物理实验室工作过的人员，都为该课程的建设作出了贡献，在本书出版之际，在此一并致谢。

参加本书编写的人员都是多年从事物理实验教学的教师，具有丰富的教学经验，编写方案经过多次讨论，分工编写，反复修改而成。具体编写人员有侯秀梅(3.17，3.19，3.20，4.5，4.13，4.14)，闫书霞(3.2，3.7，3.14，3.15，4.6，4.8)，张欢(3.1，3.5，4.1，4.2，4.10)，朱志立(3.18，3.21)，胡振刚(3.22，4.7)，张敏(第1章，第2章，附表)，张蜡花(3.3，3.4，4.12)，薛新莲(3.6，3.13，4.3)，莫炯(3.8，第5章)，郭娟(3.9，3.10)，郜超军(3.11，3.12)，张建民(3.16)，黄占魁(4.4)，侯晓强(4.9，4.18)，王军(4.16，4.17)。本书由侯秀梅、闫书霞完成统稿工作。

由于我们水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2010年5月

大学物理实验

JINDAI WULI SHIYAN

内容提要

本书共分5章。第1章绪论介绍物理实验的地位、作用，实验课的教学环节及实验须知。第2章介绍物理实验的基本知识。第3章基础性实验，是物理实验知识、能力、素质的基本训练阶段。为了使学生尽快养成良好的实验素养，该阶段对每个实验的步骤、数据记录及处理都做了详尽的介绍。第4章综合提高实验，该阶段为提高阶段，主要培养学生综合运用实验方法和仪器，解决实际问题的能力。第5章为设计、研究性实验，介绍了科学实验的一般方法、步骤等。每个实验提出一些要求，由学生自主完成实验，学生也可自带题目，由实验室提供条件，通过设计性实验的训练，进一步提高学生的实验设计能力和创新素质，为提高科研能力奠定基础。

本书可作为高等理工科学校本科专业物理实验教学用书，也可供其他专业或工程技术人员参考。

大学物理实验

JINDAI WULI SHIYAN

目录

1 绪 论 …… 1
1.1 物理实验课的地位和作用 …… 1
1.2 物理实验课的任务 …… 1
1.3 物理实验课的教学环节 …… 2
1.4 实验须知 …… 2
1.4.1 怎样学好物理实验课 …… 3
1.4.2 学生实验守则 …… 3
2 物理实验基本知识 …… 4
2.1 测量及误差 …… 4
2.1.1 测量及其分类 …… 4
2.1.2 测量误差及其分类 …… 5
2.2 测量结果不确定度的评定 …… 7
2.2.1 不确定度及其分类 …… 7
2.2.2 直接测量量的不确定度估算 …… 8
2.2.3 间接测量量的不确定度估算 …… 9
2.2.4 测量结果的表示 …… 10
2.3 有效数字的记录与运算 …… 12
2.3.1 有效数字 …… 12
2.3.2 有效数字的运算规则 …… 13
2.4 数据处理方法 …… 13
2.4.1 列表法 …… 13
2.4.2 作图法 …… 14
2.4.3 逐差法 …… 14
2.4.4 最小二乘法 …… 16
2.4.5 Origin 软件在数据处理中的应用 …… 17

2.5 实验的基本方法 …… 21
2.5.1 比较法 …… 21
2.5.2 补偿法 …… 21
2.5.3 放大法 …… 22
2.5.4 模拟法 …… 22
2.5.5 换测法 …… 23
2.5.6 振动与波动方法 …… 23
2.5.7 光学实验方法 …… 24
2.6 基本实验仪器 …… 24
2.6.1 力学实验仪器 …… 24
2.6.2 电学实验仪器 …… 27
2.6.3 光学实验仪器 …… 33
2.7 基本操作技术 …… 35
2.7.1 零位调节 …… 35
2.7.2 仪器初态和安全位置 …… 35
2.7.3 水平铅直调整 …… 35
2.7.4 等高共轴调整 …… 35
2.7.5 调焦 …… 35
2.7.6 消除视差 …… 36
2.7.7 逐次逼近法 …… 37
2.7.8 先粗调后细调原则 …… 37
2.7.9 先定性后定量原则 …… 37
2.7.10 消除空程误差 …… 37
习 题 …… 38
3 基础性实验 …… 39
3.1 物体密度的测定 …… 39
3.2 钢丝杨氏模量的测定 …… 44
3.3 气体比热容比测定 …… 51
3.4 液体表面张力系数的测定 …… 54
3.5 固体的导热系数的测定 …… 59
3.6 受迫振动的研究 …… 65
3.7 电学元件伏安特性的测量 …… 72
3.8 惠斯通电桥 …… 77
3.9 双臂电桥测低值电阻 …… 84
3.10 交流电桥 …… 88
3.11 电压补偿和电流补偿 …… 94
3.12 电位差计的使用 …… 98
3.13 电子束在电场和磁场中的运动 …… 102

3.14 示波器的使用 …… 110
3.15 霍尔效应及应用 …… 121
3.16 薄透镜焦距的测量 …… 128
3.17 分光计的调节和使用 …… 135
3.18 光栅特性及光波波长测定 …… 142
3.19 等厚干涉的应用 …… 147
3.20 迈克尔逊干涉仪的调整和使用 …… 152
3.21 光偏振现象的观察与研究 …… 158
3.22 物质旋光性的研究 …… 164
4 综合性实验 …… 169
4.1 小型制冷系统制冷系数的测定 …… 169
4.2 测量超声波在空气中的传播速度 …… 173
4.3 超声波测厚 …… 178
4.4 超声光栅测液体中的声速 …… 182
4.5 光电效应及普朗克常数的测定 …… 185
4.6 液晶电光效应 …… 188
4.7 P－N 结物理特性研究 …… 194
4.8 传感器特性研究 …… 197
4.9 虚拟仪器工作原理认识 …… 203
4.10 半导体热敏电阻特性研究 …… 208
4.11 光纤通信 …… 210
4.12 微波光学实验 …… 215
4.13 单色仪及其应用 …… 219
4.14 全息照相 …… 223
4.15 密立根油滴实验 …… 228
4.16 弗兰克—赫兹实验 …… 232
4.17 利用单色仪测量氢原子光谱 …… 236
5 设计、研究性实验 …… 241
5.1 测定石蜡、食盐密度 …… 242
5.2 单摆周期的研究 …… 242
5.3 筛选电阻 …… 243
5.4 测量双棱镜的锐角及折射率 …… 243
5.5 设计组装简易万用表 …… 244
5.6 设计制作热敏电阻温度计 …… 248
5.7 设计组装望远镜和显微镜 …… 249
5.8 变阻器特性研究 …… 252
5.9 非线性电阻伏安特性研究 …… 253
5.10 太阳能电池基本特性研究 …… 253

5.11 压电陶瓷电致伸缩系数的研究 …… 254
5.12 分光计的应用Ⅰ …… 255
5.13 分光计的应用Ⅱ …… 256
附表 …… 258
参考文献 …… 265

需要全本请访问 www.ertongbook.com

1 绪 论

1.1 物理实验课的地位和作用

物理学是自然科学中最重要、最活跃的带头学科之一。物理学的发展不仅在于自身的学科体系内生长和发展出许多新的学科分支，而且它是许多新兴学科、交叉学科和新技术学科的基础和前导。

物理学本质上是一门实验科学，物理理论和实验的发展，哺育着近代高新技术的成长和发展。物理实验的思想、方法、技术和装置常常是自然科学研究和工程技术发展的生长点。现代高新技术的发明和突破，无不源于物理学上的重大发现，而高新技术的发展，又不断推动着实验物理研究的手段、方法和设备的发展，大大改变着人类对物质世界认识的深度和广度。

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，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，特别是在培养学生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。

大学物理实验课覆盖了广泛的学科领域，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，引导学生确立正确的科学思想和科学方法，提高学生科学素质的重要基础。

1.2 物理实验课的任务

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

(2)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。

1.3 物理实验课的教学环节

物理实验课是在教师指导下,由学生独立进行的运用实验手段研究问题、解决问题的学习过程,其学习过程分为以下三个阶段。

(1)课前预习 一次实验课的时间有限,为保证实验的顺利进行,课前必须做好预习。课前要认真阅读实验教材或相关资料,明确实验原理、实验目的、测量内容和方法、实验步骤和注意事项,根据实验任务画好数据记录表格,并写出预习报告。预习报告的内容应包括实验名称、目的、原理、数据表格。没有预习报告不准做实验。

(2)课堂实验 这是实验课的中心环节。做实验前应先认识和清点所用仪器,了解仪器的使用方法和注意事项,将仪器安装调试好,再按照操作规程进行实验。实验时要注意安全,要细心观察实验现象,实事求是地记录实验数据;要做到手脑并用,能够随时判断实验是否在正常进行,出现实验故障尽可能自己排除,若不能排除再找指导教师帮助查明原因并加以解决(发现问题、分析原因、找出解决方案是培养实验能力的重要途径)。实验完成后,要将实验数据交教师审查、签字,然后将仪器整理好才能离开实验室。

(3)撰写实验报告 要求层次分明,语言简洁通顺,字迹清楚,图表规矩,结果或结论明确,讨论认真。实验报告包括以下内容:

实验名称

实验目的

实验原理 简要叙述实验的理论依据(包括文字简述、公式、原理图),公式中各量的物理含义及单位,公式成立的实验条件等。

实验步骤 根据实际的实验过程写明关键步骤和操作要点。

数据记录 一个实验通常有多个被测的量,而且一个量往往要进行多次测量,为此常采用列表法记录数据。要树立“原始数据神圣不可侵犯”的观念,绝不能因误差大而采取随意“修正”数据的自欺欺人的做法。对于错误数据也不要涂掉,可在旁边注明作废。

数据处理 按实验的要求采用适当的方法(如计算法、作图法、逐差法、最小二乘法等)给出实验结论。

小结或讨论 内容不限,可以是实验现象的分析、对实验关键问题的研究体会、实验的收获和建议、解答思考题等。

值得强调的是,撰写实验报告是十分细致而艰苦的工作,特别是初学者,经常会出现这样那样的问题或错误。但只要认真对待,及时纠正发生的错误,就一定能掌握实验报告的写作技能,为我们以后的学习打下扎实的基础。

1.4 实验须知

实验课和理论课不同,遇到的问题不像听课、看书或做习题那么单纯、明确。因此,学生发挥主观能动性的空间很大。实验课不能仅靠老师的讲解来传授,更多的需要通过

自身的实践来学习。因此,一定要养成主动学习、理论联系实际思考问题的习惯。

1.4.1 怎样学好物理实验课

(1)思想重视　要充分理解和认识实验的地位和作用,克服重理论轻实验的思想观念。

(2)目的明确　本课程有总的教学目标,各实验又有具体目的。在学习中一定要明确实验目的,用它指导和检验自己的学习。

(3)手脑并用　动手是实验课的特点之一,但绝不能为动手而动手、盲目动手,抱有试试看的态度。重视实验的各个环节,遇到问题要积极思考、努力解决、随时总结,才能不断地提高自己的实验素质。

(4)严肃认真　要认真对待实验的每个环节,养成良好的实验习惯。

1.4.2 学生实验守则

(1)必须按规定的时间上课,不得迟到和无故缺席。

(2)进实验室后不得喧哗,按序号对号入座,不得随意拨弄仪器。

(3)使用仪器前,务必看懂说明书或听懂教师的使用指导。

(4)严格按操作规则使用仪器。仪器发生故障后立即报告教师,不得自行处理或更换。

(5)认真听取教师讲解,积极参与课堂讨论,主动积极地进行实验。

(6)实验完毕,将数据表交教师检查,教师签字后,将仪器用具整理好,方可离开实验室。

2 物理实验基本知识

物理实验离不开对物理量的测量，由于测量仪器、测量方法、测量条件和测量人员等因素的限制，测量结果不可避免地存在着测量误差，误差的范围由不确定度来评定。本章从实验教学的角度出发，主要介绍误差和不确定度的基本概念、测量结果的不确定度计算、实验数据处理和实验结果表示等方面的基本知识。这些知识不仅在每个物理实验中要用到，而且对今后从事科学实验也是必须了解和掌握的。

误差分析、不确定度的计算以及数据处理贯穿于实验的全过程，它表现在实验前的设计与论证，实验进行中的控制与监视，实验结束后的数据处理和结果分析。通过本章的学习和今后实验中的应用，要求达到：

(1)建立误差和不确定度的概念，正确估算不确定度，正确表示测量结果。

(2)了解系统误差对测量结果的影响，学习发现系统误差、减小系统误差的方法。

(3)掌握有效数字的概念及其运算规则，了解有效数字与不确定度的关系。

(4)掌握列表法、作图法、逐差法、最小二乘法等常用的数据处理方法。

2.1 测量及误差

2.1.1 测量及其分类

以确定被测对象量值为目的的操作称为测量。测量过程就是把被测物理量与选作计量标准单位的同类物理量进行比较的过程，所以测量值应包括数值和单位。

按测量值获得的途径，测量分为直接测量和间接测量两类。可以从测量仪器上直接读出测量值的测量称为直接测量。例如用米尺测长度，用天平称质量等。实际的测量工作中，许多物理量值不能从测量仪器直接获得，而是通过直接测量量间的函数关系计算得到，这类测量称为间接测量。例如测量球的体积是通过测量球的直径，利用球的体积公式计算出球的体积。球体积的测量即为间接测量。

按测量条件的不同,测量又分为等精度测量和非等精度测量两类。等精度测量是指在相同的测量条件(同一测量者、同样的方法、同样的仪器、同样的环境条件等)下对同一物理量进行的重复测量。如果在重复测量过程中,诸多的实验条件只要有一个条件发生了变化,这时所进行的测量就是非等精度测量。本书中的重复测量,除特别说明外,均指等精度测量。

2.1.2 测量误差及其分类

2.1.2.1 测量误差

在一定条件下,任何一个物理量都有一个客观存在的量值,称为真值。从测量的要求来说,人们总希望测量值能很好地符合客观实际值即真值。但是在实际的测量过程中,由于受测量仪器、测量方法、测量条件和测量人员等多种因素的限制,测量值与真值不可能完全相同,测量值与真值之间的差异称为测量误差。测量误差可以用绝对误差表示,也可以用相对误差表示。若某物理量的测量值为 x,真值为 x_0,则绝对误差 Δx 定义为

$$\Delta x = x - x_0 \tag{2.1}$$

相对误差 E 定义为

$$E = \left(\frac{\Delta x}{x_0}\right) \times 100\% \tag{2.2}$$

绝对误差反映了测量值偏离真值的程度,相对误差反映了测量值的优劣。一般来说,真值是不知道的也是不可求的,实际测量中,通常只能根据测量值确定测量的最佳值,我们取多次重复测量的平均值作为最佳值。

测量总存在着误差,而且误差贯穿于测量过程的始终。因此,研究测量误差的性质和产生的原因,研究如何有效地减小测量误差和怎样科学地表达含有误差的测量结果就很重要。而测量误差理论是一门专门的科学,需要有丰富的实验经验和较多的概率统计知识,考虑到物理实验课的特点,这里只能做基本的介绍。我们学习误差理论要着重了解它的物理意义,逐步建立起分析误差、减小误差的思想,这对做好物理实验非常重要。

2.1.2.2 误差的分类

误差的产生有多方面的原因,根据误差的特点,可将其分为系统误差和随机误差两类。

(1)系统误差　重复测量时误差的大小和符号保持恒定或以可预知的方式变化的误差分量。其特点是确定性、规律性、可修正性,不能用增加测量次数的方法使其减小。

系统误差按对其掌握的程度可分为已定系统误差和未定系统误差。

已定系统误差是指大小和符号都能确定的系统误差。对已定系统误差,一经发现要设法将其消除或用它对测量数据进行修正。如千分尺的零点误差。

未定系统误差是指大小或符号不能确定的系统误差。对未定系统误差我们只能估计其限值。如仪器的允差。

1)系统误差的来源　系统误差的来源主要有以下几个方面:

①仪器误差　由于仪器本身的固有缺陷或没有按照规定条件使用引起的误差。如仪器的刻度不准、天平臂长不相等、零点没有校准等。

②方法、理论误差　由于理论公式本身的近似性，或者实验装置和方法不能满足理论公式成立的条件引起的误差。如单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 的成立条件是摆角趋于零，而摆角趋于零的条件实验中根本不能实现；用落球法测重力加速度时没有考虑空气阻力的影响等。

③个人误差　由于实验者个人的心理生理因素引起的误差。如有些人对准标志线读数时头总是偏左或偏右，致使读数偏大或偏小；有些人的反应速度相对大多数人总是超前或滞后等。

④环境误差　外界环境因素引起的误差。如 20 ℃标定的仪器在高于或低于 20 ℃的温度下使用等。

实验中发现和消除系统误差非常重要，因为系统误差是影响实验结果准确程度的主要因素。而消除或减小系统误差是一件复杂而困难的事情，主要靠对具体问题作具体的分析和处理，靠不断地积累丰富的实验经验。对于初学者来说，从一开始就应该注意积累这方面的经验。

2）系统误差的处理　用任何仪器在任何条件下进行的测量都存在着系统误差。对测量中的已定系统误差可以考虑从以下几方面进行消除或减小。

①消除产生系统误差的根源　从理论模型、实验仪器、实验条件和测量方法等方面考虑，找出产生系统误差的根源，针对产生系统误差的原因使其更完善，从而消除或减小系统误差的影响。例如采用符合实际的理论公式；保证仪器装置良好且满足规定的使用条件等。

②修正测量结果　用修正值对测量结果进行修正。例如用标准仪器校准一般仪器，做出校正曲线修正测量结果；用千分尺的零点读数修正测量数据等。

③选择合适的测量方法　例如用交换法消除惠斯登电桥实验中由于比率不合适带来的系统误差；用异号抵消法消除霍尔效应实验中由于附加效应产生的系统误差；用半周期偶数测量法消除分光计的偏心差等。

对于未定系统误差，由于其具有不确定性，实验中无法消除，只能估算其范围，评定实验结果必须予以考虑。

（2）随机误差　重复测量中误差的大小和符号以不可预知的方式变化的误差分量。其特点是随机性，是不可避免的，可通过增加测量次数取平均值的方法减小其影响。

随机误差是由于实验中各种因素的微小波动引起的。例如实验环境条件的波动、测量仪器指示值的波动、被测量本身的不确定性以及实验者本人在判断和估计读数时的随机性等都会造成随机误差。由于实验中随机因素很多，各种因素又相互混杂，不能确定各种因素的影响大小，因此，随机误差不能消除也无法控制。

就一次测量来看，随机误差是随机的，没有确定的规律，也不能预知，但当测量次数足够多时，随机误差的分布符合一定的统计规律，可以用统计的方法研究诸因素的综合作用结果。

需要全本请访问 www.ertongbook.com