



普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理实验

主 编 袁 敏 梁 霄



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理实验

主 编 袁 敏 梁 霄
副主编 刘 强 魏 鹃 龚恒翔

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是参照《理工科大学物理实验课程教学基本要求(2010版)》,在重庆理工大学物理实验中心教师多年的物理实验教学实践的基础上编写,并纳入了研究性实验项目内容.全书内容丰富,主要包括预备知识、常用实验方法及应用、综合性实验、设计性和研究性实验四部分,涉及力学、热学、电磁学、光学和近代物理方面,合计92个实验项目.前47个实验项目由背景简介、实验目的、实验原理、实验仪器、实验内容及步骤、思考题和实验拓展等组成,后45个实验项目仅供参考,包括设计性项目41个(只提出实验要求与实验器材)及研究性项目4个.书后附表为物理常用数表,方便学生查阅.本书在撰写过程中,突出实验方法的介绍与应用,注重实验操作和实验数据处理等学生能力的培养,引导学生拓展视野,培养创新思维.

本书是适合大学本科理工专业学生的大学物理实验课程的教学用书,也可作为涉及物理学的广大实验工作者的参考书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/袁敏,梁雷主编. —北京:科学出版社,2014.1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 7-03-039551-1

I. ①大… II. ①袁… ②梁… III. ①物理学-实验-高等学校-教材

IV. ①O4-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第009660号

责任编辑:窦京涛/责任校对:郭瑞芝

责任印制:阎磊/封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

安泰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年8月第 一 版 开本:720×1000 B5

2014年1月第 二 版 印张:20

2014年1月第五次印刷 字数:401 000

定价:40.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《大学物理实验》编委会

主 编	袁 敏	梁 霄		
副主编	刘 强	魏 鹃	龚恒翔	
编 委	高洪明	彭川黔	谢瑛珂	
	周 波	廖 飞	李欢欢	铁位金
主 审	聂喻梅			

前 言

大学物理实验是一门重要的基础性实践教学课程,也是一门探索性的教学课程,具有很强的时代性与社会性.随着当前素质教育的深入开展和社会对高素质人才的需要,大学物理实验课程对培养目标赋予新的内涵,努力为培养应用型、创新型人才夯实基础.本书是重庆理工大学物理实验中心全体教师多年教学经验和教学成果的积累,更是将教师科研成果转变为研究性实验项目内容的新应用.本书是在兵器工业出版社于2007年第一版,2009年再版的《大学物理实验》基础上,形成了新的版本.同原教材相比,本教材首先在结构上进行了改革,新增了绪论、基本仪器和量具的使用、常用物理实验方法的介绍和应用范例、设计性研究性实验的阐述与范例、物理常用数表等,在综合性实验里又以专题或模块的形式将一些方法、目的相近的实验项目进行划分,使教材结构更完整;其次,根据教学需要,增删了一些实验项目,其中包括教师们自行研发的实验项目和实验设备的应用,强调了教学与科研,课堂与科技应用的紧密结合;最后,对每个实验项目的结构进行了合理调整和补充(增加了实验背景简介与实验拓展),同时对每个实验内容进行了优化,注重反映时代特点和社会需求.本版能更好地突出教材的示范性、功能性和先进性,也更有利于学生系统地学习大学物理实验课程.

本书的撰写特点如下.

1. 内容结构

教材结构共分六部分:绪论、预备知识、常用物理实验方法与应用、综合性实验、设计性和研究性实验、附表(物理常用数表).绪论主要是明确大学物理实验课程的地位、任务和目标,同时介绍完成大学物理实验的基本程序和要求;预备知识主要介绍误差、有效数字、数据处理、结果表达的基础知识和一些物理常用测量设备及量具的使用方法;在第2章,突出常用物理实验方法的介绍与应用相结合,方便同学加深对常用实验方法的理解和掌握.对第3章综合性实验进行了分专业、分专题的模块化布局.比如振动研究专题、杨氏模量测定专题、RLC电路的研究专题、波动光学专题、几何光学专题等,方便学生们根据自己的专业特点对自己感兴趣的实验进行深入的学习和讨论.为后续第4章设计性与研究性实验的顺利开展奠定坚实基础.前47个实验项目均由背景简介、实验目的、实验原理、实验仪器、实验内容及步骤、思考题和实验拓展等组成.背景简介能够引起学生对该实验的兴趣,实验拓展引导学生开扩视野,因势利导,培养学生的创新思维.后45个实验项

目仅供参考,包括设计性项目 41 个(只提出实验要求与实验器材)及研究性项目 4 个.

2. 撰写原则

(1) 参照《理工科类大学物理实验课程教学基本要求(2010 版)》,努力实现大学物理实验课程在本科人才培养方案中的基本目标.

(2) 精选实验项目,内容广泛丰富,涉及力学、热学、电磁学、光学和近代物理方面,合计 92 个实验项目.

3. 撰写特色

(1) 以经典的、具有里程碑意义的著名实验项目为基础,尽可能照顾专业特点、适当增加现代实验技术的应用,新编了研究性实验项目,突出了大学物理实验的应用性、时代性和开放性.

(2) 注重充分展现教师教学科研成果,丰富实验内容.本书部分实验是教师们自己研发的实验项目,有的获得国家专利,也有的获得省部级教改奖项.

本书由重庆理工大学袁敏和梁霄任主编,由重庆理工大学刘强、魏鹃、龚恒翔任副主编,由重庆理工大学聂喻梅任主审.

袁敏撰写实验 1~实验 3、实验 8~实验 12,梁霄撰写实验 4、实验 5、实验 7、实验 21、实验 24、实验 28~实验 30,刘强撰写 1.1 节、实验 39~实验 42,魏鹃撰写 1.2 节、实验 13~实验 15,龚恒翔撰写第 4 章,高洪明撰写实验 18、实验 22、实验 23,彭川黔撰写实验 19、实验 45,谢瑛珂撰写实验 32~实验 34、实验 46、实验 47,周波撰写实验 20、实验 25~实验 27,廖飞撰写实验 31、实验 35~实验 38,李欢欢撰写实验 6、实验 43、实验 44,铁位金撰写实验 16、实验 17. 编修人员分工:前三章由袁敏、梁霄、龚恒祥、刘强、魏鹃等参与修改,第 4 章由袁敏、梁霄、龚恒祥参与修改;由袁敏、梁霄统稿、统修、定稿.

由于作者水平有限,在编写过程中错误难免,有不妥之处,诚请同行专家、学者与读者批评、斧正.

《大学物理实验》教材撰写组

2013 年 11 月

目 录

前言

绪论	1
0.1 大学物理实验课程的意义、地位、目标和任务	1
0.2 大学物理实验课的基本程序及要求	2
0.3 大学物理实验课程的考核方式	3
第1章 预备知识	4
1.1 测量误差与实验数据处理	4
1.1.1 测量与误差的基本概念	4
1.1.2 误差的分类及特点	5
1.1.3 不确定度的概念与评定	9
1.1.4 测量结果的表示	10
1.1.5 有效数字的记录及运算	13
1.1.6 常用数据处理方法	14
1.2 基本仪器和量具的使用	18
1.2.1 力学常用器具	18
1.2.2 热学常用器具	25
1.2.3 电学常用器具	27
1.2.4 光学常用器具	33
第2章 常用物理实验方法及应用	36
2.1 比较法	36
2.1.1 比较法概述	36
2.1.2 实验范例	37
实验1 碰撞打靶实验	37
实验2 液体表面张力系数的测定	42
实验3 测量透镜组的参数	47
2.2 补偿法	54
2.2.1 补偿法及其用途	54
2.2.2 实验范例	54
实验4 电压补偿在伏安法测电阻中的应用	54

实验 5 电流补偿法测电源电动势及内阻	59
2.3 放大法	62
2.3.1 放大法及其用途	62
2.3.2 实验范例	63
实验 6 固体线膨胀系数的测量	63
2.4 转换法	68
2.4.1 转换法及其用途	68
2.4.2 实验范例	68
实验 7 霍尔效应及其参数测定	68
2.5 波动光学实验法	74
2.5.1 波动光学实验法概述	74
2.5.2 实验范例	75
实验 8 迈克耳孙干涉仪的调整与使用	75
实验 9 用牛顿环法测球面的曲率半径	80
实验 10 漫反射物体的三维全息摄影	85
实验 11 光栅衍射	91
实验 12 偏振光的研究	95
2.6 模拟法测量及计算机仿真	100
2.6.1 模拟法概述	100
2.6.2 实验范例	101
实验 13 在气垫导轨上验证动量守恒定律	101
实验 14 数字示波器的使用	106
实验 15 虚拟实验	116
第 3 章 综合性实验	119
3.1 力学实验	119
3.1.1 振动的研究及应用	119
实验 16 简谐振动的研究	120
实验 17 受迫振动的研究	125
实验 18 声速测量	129
实验 19 声光衍射与液体中声速的测定	134
3.1.2 测定杨氏模量	139
实验 20 用拉伸法测定金属丝杨氏模量	140
实验 21 用横梁弯曲衍射法测杨氏模量	144
实验 22 用动态法测定金属杨氏模量	148

实验 23 用霍尔位置传感器测量杨氏模量	152
3.2 热学实验	155
实验 24 测定电阻温度系数	155
实验 25 用落球法测定液体在不同温度下的黏滞系数	158
实验 26 空气热机实验	163
实验 27 制冷系统制冷系数的测定	170
3.3 电磁学实验	174
3.3.1 电桥的应用	175
实验 28 组装惠斯通电桥测电阻	175
实验 29 交流电桥法测微小位移、角度	178
3.3.2 RLC 电路的研究	184
实验 30 RLC 串联谐振	185
实验 31 RLC 电路的暂态特性的研究	189
3.3.3 磁场分布及物质磁性的研究	196
实验 32 亥姆霍兹线圈测量磁场	197
实验 33 铁磁物质的磁滞回线和基本磁化曲线的测定	201
实验 34 居里点的测定	207
3.4 光学实验	213
3.4.1 波动光学专题	214
实验 35 双棱镜干涉	214
实验 36 透射体的三维全息摄影	218
实验 37 透镜成像记录像全息图	220
实验 38 用双曝光法研究灯泡内气体密度随温度变化	223
3.4.2 几何光学专题	226
实验 39 用分光计测量三棱镜折射率	226
实验 40 用阿贝折射仪测量液体折射率	235
实验 41 光学镜片顶焦度的测量	238
实验 42 用光学平台进行光学系统参数测量	242
实验 43 测自组望远镜的放大率	246
实验 44 测自组显微镜的放大率	249
3.5 近代物理实验	253
实验 45 密立根油滴实验	253
实验 46 弗兰克-赫兹实验	262
实验 47 光电效应实验	266

第 4 章 设计性和研究性实验	272
4.1 设计性实验	272
4.1.1 设计性实验概述	272
4.1.2 设计性实验的主要环节	273
4.1.3 设计性实验的范例	275
范例 太阳能电池片基本特性的测试	275
* 4.1.4 设计性实验项目	280
实验 48 不规则物体密度测定	280
实验 49 当地重力加速度的测定	280
实验 50 粒状物体密度测定	280
实验 51 气垫导轨上完全非弹性碰撞的研究	281
实验 52 弹簧振子固有频率测量	281
实验 53 弹道曲线测量	282
实验 54 准离散体系质心位置的确定	282
实验 55 均质杆固有频率测量	282
实验 56 几何对称非均质物体质心测定	283
实验 57 金属丝线膨胀系数测量	283
实验 58 黏滞阻尼系数的测定	284
实验 59 等压温度计设计	284
实验 60 等容温度计设计	284
实验 61 验证气体等压功关系 $W = p\Delta V$	285
实验 62 均质金属细长杆热导率测量	285
实验 63 圆柱腔体中气体流动速度的测量	286
实验 64 片状不良导体热导率测量	286
实验 65 圆盘状发热体温度场分布测定	287
实验 66 设计组装欧姆表	287
实验 67 灯泡灯丝电阻测量	287
实验 68 利用三极管制作温度计	288
实验 69 电学黑盒子	288
实验 70 利用电磁感应现象设计刹车装置	288
实验 71 设计制作热电偶温度计	289
实验 72 利用电阻应变片制作简单力传感器	289
实验 73 利用 Hall 元件制作位移开关	290
实验 74 利用 pn 结制作温度计	290

实验 75	利用硅光电池测量光强度	291
实验 76	电镀法制备铜薄膜	291
实验 77	给定线圈匝数的确定	292
实验 78	测定透镜焦距	292
实验 79	测量液体折射率	293
实验 80	测量发光二极管的光谱	293
实验 81	组装开普勒式望远镜	293
实验 82	组装伽利略式望远镜	293
实验 83	组装显微镜	294
实验 84	利用偏振片制作减光镜头	294
实验 85	自制全息光栅	294
实验 86	不平整表面的检测	295
实验 87	利用衍射现象测量细丝直径	295
实验 88	均匀涂层厚度测量	295
4.2	研究性实验	296
4.2.1	研究性物理实验概述	296
4.2.2	研究性物理实验开展的基本流程	296
* 4.2.3	研究性实验项目	297
实验 89	环境噪声的测量	297
实验 90	太阳辐射量的测定	298
实验 91	平板玻璃表面灰尘覆盖规律研究	298
实验 92	昆虫趋光性与光源性质的规律研究	299
参考文献		300
附录 物理学常用数表		301
附录 1	国际制单位(SI)简介	301
附录 2	常用基本物理常数	303
附录 3	常用物理数据	304

绪 论

0.1 大学物理实验课程的意义、地位、目标和任务

物理学是研究物质的基本结构、基本运动形式、相互作用及其转化规律的自然科学,从本质上说也是一门实验科学,凡物理学的概念、规律及公式等都是以客观实验为基础的.其实,整个自然科学的发展都依赖于理论与实验的相互作用,而物理实验作为科学实验的先驱,又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.

大学物理实验是第一门被教育部批准在高校独立开课的实验课程,也是对大学生进行科学实验基础训练的一门重要的必修课程.它的主要目的是培养学生进行科学实验的基本素质,使学生在中学物理实验的基础上,按照循序渐进的原则,学习物理实验知识和方法,得到实验技能的训练,理解和掌握实验的设计思想,养成科学思维和创新意识习惯.从而初步了解科学实验的主要过程与基本方法,为今后进一步学习奠定良好基础.实际上,通过大学物理实验教学行为的全过程,能够使学生接受系统的实验思想、实验方法和实验技能的训练,培养学生理论联系实验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,从而提高学生从事科学实验的能力.

本课程教学的具体任务是:

(1)搭建物理实验的基本知识结构.学习误差理论,学习物理量测量、数据处理、实验结果的规范表示,学习常用的实验方法.

(2)培养自学能力.能通过阅读教材及相关的参考资料,理解实验内容,做好实验预习.

(3)训练动手能力.能通过借助教材、资料或说明书等熟悉常用仪器和量具的使用方法,能独立完成一个完整的实验流程并撰写合格的实验报告.

(4)培养思维判断能力.能通过观察物理现象建立合适的物理模型并进行分析.

(5)培养设计和创新能力.能在实验中发现問題或根据研究课题的要求提出问题,确定解决问题的实验方法,设计具体的实验程序,合理选择实验仪器,来完成简单的设计性实验.

(6)培养从事科学实验的素养,包括遵守实验室的规章制度、遵守实验的操作规范;踏实的工作态度和勇于进取、孜孜不倦的求学精神;相互协作的团队意识。

0.2 大学物理实验课的基本程序及要求

大学物理实验课程一般在两学期分四个阶段来完成:第一学期分两个阶段,学习预备知识(包括绪论、测量误差及实验数据处理、基本仪器和量具的使用等)、掌握常用物理实验方法及应用。在这一学期,主要是完成教学基本要求为后续课程打基础。第二学期分两个阶段,综合物理实验、设计性和研究性实验。在这一学期,学生们可以结合专业特点选择相关实验为必做实验以巩固理论知识;除此之外还可选择感兴趣的现象提出问题、设计实验方案来自主完成实验,从而提高学生从事物理实验研究的兴趣,培养他们的探索精神和创新能力。

学生完成一个大学物理实验的全过程通常需要三个主要环节。

1. 预习

预习是培养学生自学能力的关键,也是能否做好实验的先决条件,因此必须对预习有足够的重视。

对于普通的实验项目,预习过程主要是通过预习实验目的和实验原理来完成。通过该过程必须明确本次实验的目的和主要内容,了解实验原理是什么?将通过什么途径去完成测量?对于设计性和研究性实验,预习的过程是按照研究内容的要求,查新文献资料,寻找解决问题突破口,选择实验原理和方法,提出具有可操作性的实验步骤或工艺,拟定综合实验方案。

2. 实验

实验教学全过程中最为核心的环节就是实验过程。在这个过程中要求学生独立完成实验仪器或系统的组装或调整,按正确步骤完成测量并如实记录实验数据。

实验过程中的基本要求:

- (1)遵守实验室的安全规则和操作规范。
- (2)掌握常用的实验方法,特别是一些基本的测量方法。
- (3)熟悉实验室常用仪器、量具的使用和调整。
- (4)仔细观察物理现象,熟悉操作流程后再进行数据记录。
- (5)记录实验数据时一定要实事求是。

对于设计性与研究性实验,实验过程也是一个反复调试,不断对综合实验方案进行调整和完善的过程。同时,研究性实验还要探索新的实验方法、步骤或工艺。

3. 撰写报告

撰写实验报告是在预习的基础上,填写实验仪器(包括名称和型号),填写具体而完整的实验步骤、规范记录实验数据并进行处理、绘制曲线、分析实验结果等过程. 研究性实验除完成相应的实验报告外,还应撰写科技论文.

撰写一份合格的实验报告有以下几项基本要求:

(1)完整性. 一份完整的实验报告应包括 9 项内容:实验名称、实验目的、实验原理、实验设备及型号、实验步骤、实验数据(包括原始的数据记录及规范的数据记录两种形式)、数据处理、实验结果的分析和报告人的信息.

(2)实事求是. 首先要求如实反映实验操作步骤;其次必须保证实验现象是可靠的;最后,不能因为追求数据的准确性而随意对实验数据及其有效数字进行增删或修改.

(3)实验数据的处理步骤要详细,实验结果的分析与讨论要具体. 这一项是撰写实验报告的重点,也是学生归纳与分析问题能力的具体体现,学生可以通过这一环节写自己的收获、体会与见解.

(4)文字力求简洁工整. 撰写报告的过程实际上也是对学生综合思维能力和文字表达能力的训练过程. 正确合理的表达是交流和讨论的基础,也是学生在今后学习和工作中撰写学术论文、研究报告、项目申请书或拟定标书的基础训练.

0.3 大学物理实验课程的考核方式

本课程通常采用平时考核和期末考核、定性考核与定量考核相结合的方式评定学生的成绩. 平时考核(平时成绩包括预习报告、实验操作、实验现象观察、数据记录和实验报告等几部分组成)成绩占 80%, 期末考核成绩占 20%.

由于研究性实验的特殊性,它可以独立学分、独立开课、独立评定成绩.

第1章 预备知识

大学物理实验作为一门独立的基础实验课,要求学生在测量的基础上,能够合理处理实验数据,并对实验结果进行误差分析.所以,有必要了解测量误差与实验数据处理的相关知识,熟练掌握常见实验仪器和量具的操作方法.

1.1 测量误差与实验数据处理

1.1.1 测量与误差的基本概念

1. 测量的定义及分类

物理实验是用实验的方法研究物理规律,将自然界物质运动中的物理形态按人们的意愿在实验中再现,找出各物理量之间的关系,从中获得规律性的认识,或验证理论,或发现规律,或作为实际应用的依据.测量是自然科学实验的主要组成部分,在物理学的发展史上,物理现象、状态或过程中各种物理量的准确测量是实验物理学的核心任务.所谓测量就是在实验中将测量量与被定为标准的同一物理量的单位量进行比较,并确定其比值的操作.一个完整的测量过程包括测量对象、测量单位、测量方法和测量不确定度.

为确定测量对象的测量值,首先必须选定一个单位,然后用这个单位与被测对象进行比较,测出它对该单位的比值.显然,数值的大小与所选的单位有关.因此,表示一个被测对象的测量值时必须包括数值和单位.根据获得测量数据途径的不同或测量条件的不同,测量可分为直接测量和间接测量与等精度测量和不等精度测量.

直接测量是指被测量可以直接从测量仪器(或量具)上读出其数值的测量.

间接测量是指被测量不能用直接测量的方法得到,而是利用若干个直接测量值通过一定的函数关系计算出被测量的数值.

等精度测量是指对一被测量进行重复测量时,各次测量数据在相同测量条件下得到,即在测量仪器、测量方法、测量人员及测量环境均不变的情况下对同一物理量进行重复测量,所得到的每个测量值都有相同的精度,或者说具有相同的可信程度.不等精度测量就是各次测量数据的精度是不同的.在以下的讨论中所涉及的测量数据如不做特别说明均为等精度测量.

2. 误差的定义

在物理实验中真值是一个理想的概念,它是物理量所具有的客观的真实数值. 由于在测量过程中总是存在着不完善之处,如测量仪器不准确、测量原理和方法不完善、测量环境不稳定、测量人员本身水准等因素,任何测量都会产生误差. 因此被测量的真实值虽然客观存在,但是却无法通过测量得到. 由于真值的不可确定,因此在具体处理测量数据的时候通常采用的是准确度足够高的实际值作为约定真值来取代真值. 一般认为约定真值非常接近真值,它们之差可以忽略不计. 在无系统误差的条件下,物理实验中可作为约定真值的一般有算术平均值、标准值、公认值、理论值以及相对真值(如更高准确度测量仪器所测的值)实际中多用算术平均值.

通常把测量结果与被测量物理量的真值之差称之为误差. 记为

$$\Delta x = x_i - x_0 \quad (1.1.1)$$

式中, Δx 为测量误差, x_i 为测量值; x_0 视为测量真值,在实验中等于真值. (1.1.1) 式所定义的测量误差反映了测量值偏离真值的大小和方向,因此又称为绝对误差.

相对误差是绝对误差与真值的比值,即

$$E = |\Delta x / x_0| \quad (1.1.2)$$

相对误差通常用百分数表示,故也称百分误差.

绝对误差可以表示某一测量结果的优劣,但在比较不同测量结果时则不适用,需要用相对误差来表示. 例如,测量值为 10m,误差为 1cm;测量值为 1m,误差为 1cm. 两者的绝对误差相同,而相对误差不同.

1.1.2 误差的分类及特点

在实验中,测量误差的来源是多方面的,仅就其性质而言,误差可分为系统误差和随机误差两类. 由于读数错误、操作失误等原因造成明显与规定条件下预期值相差甚远的误差属于粗大误差,这类误差要在测量中尽量避免,已被确定含有粗大误差的实验数据应当在数据处理时直接剔除.

1. 系统误差

在相同条件下多次测量同一物理量时,误差的大小恒定,或以可预知的方式变化的测量误差(符号总偏向一方或误差按照某一确定的规律变化等)称为系统误差. 根据对误差的大小、方向及变化规律掌握的程度,系统误差可分为已定系统误差和未定系统误差.

已定系统误差是大小、方向和变化规律都已确切掌握了误差. 又可进一步分为定值系统误差和变值系统误差. 当误差的大小和方向恒定时,为定值系统误差;

当误差的变化规律已确定,系统的大小和方向随变化规律而变化时,为变值系统误差(如测量仪器的零点有一偏离,偏离的大小和方向是确定的,这个系统误差为定值系统误差);按线性规律变化或周期性规律变化的系统误差就是变值系统误差.在实验中应当尽量消除或者修正已定系统误差.

未定系统误差是指误差虽有确定的规律,但这一规律尚不确定,大小和方向不能确切掌握的误差.在实验中只能估计其限值或分布范围.

1) 系统误差产生的原因及其特点

系统误差产生的原因有以下几个方面.

(1) 仪器误差.

仪器误差是由仪器的结构和标准不完善或使用不当引起的误差.例如,天平不等臂、分光计读数装置的偏心差、电表的示值与实际值不等等属于仪器缺陷,在使用时可采用适当的方法加以消除.仪器设备安装调整不妥,不满足规定的使用状态,如不水平、不垂直、偏心、零点不准等使用不当的情况应尽量避免.

(2) 理论和实验方法误差.

它是由测量所依据的是近似的理论公式或实验条件达不到理论公式所规定的要求等引起的.例如,单摆测重力加速度时所用公式的近似性,伏安法测电阻时不考虑电表的内阻的影响等.

(3) 实验人员的误差.

它是由实验人员的心理或生理特点所造成的误差.例如,用停表时总是超前或滞后,对仪表读数总是偏一方斜视等.

系统误差的特点是规律性、重现性和可修正性.

2) 发现系统误差的方法

资料分析法、理论分析法、不同实验测量方法对比法、用标准器具检定比对法、残差图直观观察法、残差统计分析法等.

3) 消除或减小系统误差的方法

修正法、抵消法、交换法、对称测量法等.

2. 随机误差

1) 随机误差及产生的原因

随机误差是指测量中出现的大小和方向都难以预料,且变化方式不可预知的测量误差.但当测量次数足够多时,随机误差的出现和分布总是服从一定的统计规律.随机误差产生的原因是由于实验过程中存在的某些不可预料或未被掌握而不能控制的偶然因素.

2) 随机误差的分布规律及特性

随机误差的分布规律有多种,不同的分布有不同形式的分布函数,但无论哪一