



普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理实验教程

(第三版)

主 编 孙维民 李志杰

非外借



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理实验教程

(第三版)

主 编 孙维民 李志杰

副主编 王 威 国安邦 赵 骞 杨林梅

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书结合大学物理实验课程教学实际情况和教学改革需要,在前版《物理实验教程》的基础上,借鉴国内外同类教材编写而成。

本书内容包括误差理论与数据处理、基本量的测量、基础性实验 20 个、综合性实验 14 个、设计性实验 9 个、拓展与创新性实验 17 个、演示性实验 18 个和虚拟仿真实验 21 个。

本书可作为高等院校理工科类各专业的大学物理实验课程教材或参考书,也可供相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验教程/孙维民,李志杰主编.—3 版.—北京:科学出版社,2018.1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-055024-8

I. ①大… II. ①孙…②李… 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(2017)第 264085 号

责任编辑:王胡权 陈曰德 / 责任校对:张凤琴
责任印制:师艳茹 / 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>

石家庄众旺彩印有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 1 月第 三 版 印张:21 1/4

2018 年 1 月第一次印刷 字数:501 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书是根据教育部制定的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》，结合沈阳工业大学的大学物理实验教学实际情况和教学改革需要，在前版《物理实验教程》的基础上，借鉴国内外同类教材编写而成的。

传统的物理实验教程是把物理实验分为力学、热学、电学、光学实验和近代物理实验。本书打破了这种传统的物理实验划分方法，构建了分层次、模块化的物理实验教学体系。全书按实验的难易程度和综合知识量将物理实验划分成基础性实验、综合性实验、设计性实验和拓展与创新性实验四个模块。考虑到大学物理演示课的需要和虚拟仿真实验室建设需要，书中加入了物理演示性实验和虚拟仿真实验。本书的特色在于既突出物理实验原理、实验技能的教学，又重视应用性人才的培养。我们本着培养具有创新精神和创新能力以及重实践、强能力、适应早、上手快的应用型人才的原则来选择教学内容和划分教学模块。物理实验的四个模块采用不同的开放式教学模式，具体如下。

1. 对基础性实验、综合性实验、设计性实验三个模块，采用定制式开放教学。首先，实行网上预约选课。学生可根据自己的学科、专业特点，在正常的教学时间内，按规定每个模块必须完成的学时数，自主地选择实验题目、实验时间和指导老师。其次，改变填鸭式教学方法，由过去的“讲实验”，改成通过提出问题、启发、引导、讨论等教学方式，由学生自行操作、自行解决问题、独立完成实验。课后按要求认真完成实验报告。

2. 对拓展与创新性实验，采取研究式开放教学。首先，实验题目及内容对学生开放。学生针对创新性实验室列出的拓展与创新性实验题目自由选择，或学生针对自己的专业特点和个人爱好，参考实验室可提供的仪器设备自拟研究题目。其次，导师制方式教学。学生通过查找资料、提出自己的研究方案和研究路线，提出自己的实验计划；指导教师则定期听取学生的工作汇报，审视、引导学生的下一步工作。最终由学生独立完成实验并写出拓展与创新性实验报告。再次，创新性实验室实现了全方位的开放，不但实验题目可自选自拟，而且在实验时间上也做到完全开放，学生可随时到实验室做实验。完成实验的周期限定在本学年内。

实验教学与改革是一项靠集体的力量完成的事业。本教材的编写也凝聚了沈阳工业大学几代物理人的智慧。本书由孙维民、李志杰任主编，王威、国安邦、赵骞、杨林梅任副主编。参加编写工作的还有徐菁华、赵丽军、田鸣、黄特、李军。孙维民教授负责教材整体编写、策划、整理和统稿工作。

本书可作为高等院校理工科类各专业的大学物理实验课教材或参考书，也可供相关专业技术人员参考。由于作者水平有限、时间仓促，书中难免有不足之处，望各位读者在使用过程中多提宝贵意见，恳请批评指正。

编 者

2017年6月

目 录

前言

第 1 篇 绪论 误差理论与数据处理 基本量的测量

第 1 章 绪论	3
1.1 物理实验在教学中的地位、作用、目的和任务	3
1.2 物理实验教学体系	3
1.3 物理实验的基本环节	3
1.4 实验规则	6
第 2 章 误差理论与数据处理	7
2.1 误差分析的重要性	7
2.2 测量与误差	7
2.3 测量结果与误差分类	9
2.4 A 类不确定度的理论分析	11
2.5 实验结果的数值表示	16
2.6 数据处理的常用方法	20
2.7 最小二乘法与曲线拟合	23
2.8 习题	25
第 3 章 基本量的测量	28
3.1 长度的测量	28
3.2 质量的测量	33
3.3 时间的测量	35
3.4 温度的测量	36
3.5 电流、电压的测量	40
3.6 光强的测量	43

第 2 篇 基础性实验与综合性实验 设计性实验和拓展与创新性实验

第 4 章 基础性实验	49
4.1 固体密度的测量	49
4.2 测金属丝的线膨胀系数	51
4.3 用光杠杆法测量金属丝的杨氏模量	55
4.4 空气密度与气体普适常量的测定	58
4.5 气垫导轨上测量速度、加速度	61

4.6	稳态法测量不良导体的导热系数	66
4.7	超声波的声速测量	69
4.8	用三线摆测量刚体的转动惯量	75
4.9	电表的扩程与校准	78
4.10	用惠斯通电桥测电阻	81
4.11	灵敏电流计的性能与应用	85
4.12	用电势差计测量电动势	91
4.13	示波器的使用	96
4.14	冲击法测螺线管磁场	101
4.15	分光仪的调整与棱镜折射率的测量	103
4.16	牛顿环	110
4.17	光栅衍射	113
4.18	单缝和单丝衍射光强分布	117
4.19	迈克耳孙干涉仪	120
4.20	蔗糖的旋光度测量	123
第5章	综合性实验	130
5.1	用动力学法测量金属材料的杨氏模量	130
5.2	超声光栅实验	136
5.3	弗兰克-赫兹实验	140
5.4	光电效应测普朗克常量	143
5.5	密立根油滴实验测量电子电荷	147
5.6	利用霍尔效应测磁场	153
5.7	太阳能电池基本特性研究	157
5.8	磁阻传感器的特性测量	160
5.9	PN结物理特性及弱电流测量	165
5.10	集成电路温度传感器特性测量及应用	169
5.11	磁阻传感器与地磁场测量	172
5.12	压力传感器特性的研究及应用	176
5.13	动态磁滞回线和磁化曲线的测量	181
5.14	磁光效应实验	187
第6章	设计性实验	197
6.1	用单摆测量重力加速度	197
6.2	碰撞打靶	198
6.3	用电势差计校准电表	199
6.4	电子元件的伏安特性的测绘及电源外特性的测量	201
6.5	设计数字万用表	206
6.6	自组望远镜和显微镜	210
6.7	用迈克耳孙干涉仪测定透明薄片的折射率	212

6.8	用分光仪测定液体折射率	213
6.9	磁悬浮导轨碰撞设计性实验研究	214
第7章	拓展与创新性实验	219
7.1	简谐振动的研究	219
7.2	亥姆霍兹线圈扩展应用研究	220
7.3	用读数显微镜测量光波波长和液体的折射率	220
7.4	全息光栅的制作	221
7.5	晶体电光调制研究	223
7.6	光纤熔接	225
7.7	光电转换器件特性的研究	226
7.8	光学信息处理	228
7.9	光纤通信	229
7.10	蒸发-凝结法制备金属纳米粒子研究	231
7.11	直流电弧等离子体法制备纳米粒子研究	232
7.12	直流电弧等离子体法制备一维纳米材料研究	234
7.13	机械合金化法制备纳米粒子研究	235
7.14	用X射线衍射法定性分析复合纳米粉体相组成研究	237
7.15	硅油基高黏度磁性液体制备研究	238
7.16	纳米粉导电浆料的制备研究	240
7.17	纳米吸波材料的制备研究	242

第3篇 演示性实验和虚拟仿真实验

第8章	演示性实验	247
8.1	转盘科里奥利力的实验演示	247
8.2	角速度矢量合成	248
8.3	JM-1转动惯量与质量分布的实验演示	250
8.4	角动量守恒的实验演示	251
8.5	弹性碰撞的实验演示	252
8.6	麦克斯韦速率分布	253
8.7	热力学第二定律	255
8.8	静电系列实验演示	257
8.9	阻尼摆与非阻尼摆的实验演示	262
8.10	高压带电作业模拟演示	265
8.11	磁聚焦的实验演示	266
8.12	喷水鱼洗	268
8.13	简谐振动与圆周运动投影	270
8.14	弦线驻波	271
8.15	海市蜃楼现象的实验演示	273

8.16	窥视无穷·····	275
8.17	激光监听的实验演示·····	276
8.18	3D 电影 ·····	278
第 9 章	虚拟仿真实验·····	280
9.1	虚拟仿真实验流程 ·····	280
9.2	虚拟仿真实验操作的基本方法 ·····	282
9.3	光杆法测量金属丝的杨氏模量 ·····	286
9.4	不良导体热导率的测量 ·····	287
9.5	超声波的声速测量 ·····	288
9.6	直流电桥测量电阻 ·····	290
9.7	用电势差计测量电动势 ·····	293
9.8	示波器的使用 ·····	295
9.9	分光仪的调整与棱镜折射率的测量 ·····	296
9.10	干涉法测微小量·····	297
9.11	迈克耳孙干涉仪·····	298
9.12	光电效应测普朗克常量·····	300
9.13	密立根油滴测量电子电荷实验·····	301
9.14	霍尔效应实验·····	303
9.15	太阳能电池的特性测量·····	304
9.16	测量铈化钢片的磁阻特性·····	306
9.17	AD590 温度特性测试与研究 ·····	307
9.18	动态磁滞回线的测量·····	309
9.19	法拉第效应实验·····	311
9.20	设计万用表实验·····	313
9.21	直流电弧等离子体法制备纳米粒子·····	318
附录	·····	326

第 1 篇

绪论 误差理论与数据处理
基本量的测量

第1章 绪 论

1.1 物理实验在教学中的地位、作用、目的和任务

物理学是一门实验科学,由物理学所创导的实验观测、定量研究、总结规律的科学方法,是一切现代科学技术的基础方法.物理实验的实验思想、实验方法和实验手段是各门学科实验研究的基础,因此,物理实验是理、工科类各专业学生进行科学实验基本训练的一门必修基础课程.物理实验的知识、方法和技能是学生进行后续实践训练的基础,也是毕业后从事各项科学研究和工程应用的基础.

物理实验是高等院校独立设置的一门基础实验课程,它覆盖了力学、热学、电磁学、光学、近代物理和物理在现代工程技术中的应用等,其各个层次的实验题目和内容都经过了精心的设计和安排,具有丰富的实验思想、方法和手段,它不仅可以使学生在理论和实验两个方面融会贯通,更重要的是在培养学生的基本实验技能、综合应用能力和活跃的创新意识等方面具有不可替代的作用.

物理实验的目的是通过多层次实验现象的观察、分析、研究和对物理量的测量,使学生掌握实验的基本知识、基本方法和基本技能,培养和提高学生从事科学实验的能力,包括进行综合实验、设计实验以及自主学习和科学研究的能力,提高自主创新意识和素质.

物理实验的任务是使学生掌握基本实验方法、各种基本测量仪器的使用方法、实验结果的科学处理方法和归纳总结实验结果,独立完成基础性实验、综合性实验、设计性实验和拓展与创新性实验,并撰写出合格的实验报告或研究报告,培养、提高独立解决实际问题的能力,为后续课程学习、科学研究打下坚实的基础,从而提高学生的综合素质.

1.2 物理实验教学体系

根据多层次、模块化的原则,通过调整实验仪器与实验内容,按实验的难易程度和综合知识量将物理实验划分成基础性实验、综合性实验、设计性实验和拓展与创新性实验四个模块.新的课程体系使得物理实验由浅入深、由简单到复杂、由被动模仿到主动设计以及综合运用,逐渐加深学习内容的深度、广度和综合程度,符合认识规律和教学规律.

1.3 物理实验的基本环节

物理实验的基本环节包括:实验前的预习、实验操作、实验报告.

1.3.1 实验前的预习(占总成绩的10%)

实验预习是物理实验的首要步骤,不预习不得进行实验.学生在进行每个实验之前,必须做好认真、充分地预习,实验预习的目的是全面认识和了解所要做的实验项目.预习时要认真领会实验目的,理解实验原理,了解实验仪器的使用方法,明确实验的具体内容,要弄清该实验的关键性步骤,写出预习报告.预习的过程,是实验的设计过程,只有在充分预习的基础上,才能保证在实验课上完成该实验的具体操作过程.预习时要清楚的了解每一过程应当观察到的现象、测量的结果以及应当记录的内容.另外,在预习的过程中,应特别注意该实验的注意事项、安全措施.

与理论课课程不同,实验课程的特点是学生在教师的指导下自己独立完成实验.所以实验预习尤为重要.撰写一份预习报告,不是盲目地抄实验教材,而是提炼实验内容和要点的一种训练.

1. 实验预习的要点

(1) 明确实验任务:要明确实验中需要测量哪些物理量,每个待测量又分别需要什么实验仪器和采用什么实验方法测量.

(2) 清楚实验原理:要理解实验原理.

(3) 了解实验仪器:初步了解实验仪器,知道需要使用哪些仪器,并对仪器的相关知识进行初步学习,特别是仪器的结构、功能、操作要领、注意事项等.

(4) 了解不确定度的来源:要了解引起实验不确定度的主要因素有哪些,思考在做实验时应当怎样减小不确定度.

(5) 撰写预习报告:撰写预习报告时要按预习报告的具体要求逐项填写,电学实验要有电路图,光学实验要有光路图.提炼出实验步骤,设计出实验记录表格.

2. 设计性实验预习

(1) 明确实验任务:要明确设计任务,根据实验原理和实验方法提示,认真查阅相关资料,详细给出设计方案.

(2) 确定测量仪器、测量方法和测量条件.根据设计方案的要求,确定实验使用的仪器、采用的测量方法和测量条件.

(3) 确定实验过程,拟定实验步骤:确定实验的整个过程,拟定详细的实验步骤.并详细了解使用的仪器设备的相关知识,特别是仪器的结构、功能、操作要领、注意事项等.

预习报告中还应完成的主要内容有:实验名称、实验目的、实验原理、有特色的实验设备、主要的实验步骤和实验数据的记录表格等.

1.3.2 实验操作(占总成绩的40%)

实验操作是物理实验最重要的过程.在实验课上,必须知道自己要做什么,为什么要这样做.实验课最忌讳“盲目伸手”,它不但容易损坏仪器设备,而且可能会危及学生自身的安全.所以动手时一定要做到有目的、有计划地进行.

多数同学都有这样的感受,坐在教室里预习实验时,实验内容看不懂,这就是实验课与理论课的区别之一.实验的内容、特别是实验仪器的使用,只有当仪器放在面前,对照着仪器再看书上的仪器介绍,才能够学会使用方法.

实验操作是物理实验的最重要环节.这一环节包括阅读资料、调整仪器、观察现象、获取数据、仪器还原等.

(1) 学生应带着预习报告和其他有关资料准时进入实验室.进入实验室后,首先应签字登记,然后按编号就座.

(2) 开始上课后,要积极参加指导教师组织的讨论,从中进一步理解、掌握实验原理、实验内容、实验操作要点(重点是仪器调整、线路连接和注意事项).

(3) 测量并记录数据.原则是,先定性后定量,先试测,再进行正式测量,即先观察实验所要记录的实验现象,确认无异常后,开始记录数据.记录原始数据要注意有效数字,并与数据表格中的单位相对应.原始数据不得擅自改动,如确系记错,可在数据上划一横线,并在其上边或下边更改数据.

物理实验的过程,是客观地观察、实际地测量的过程.需实验者准确地、客观地、真实地记录所观察到的、测量到的结果.即使实验中由于某种原因得到的结果不理想,若能正确地分析也能达到实验的目的.反之,若抄袭别人的记录,拼凑理想的数据和主观修改实测数据,都是不正当的行为,指导教师将根据情节做出重做实验、取消实验成绩等处分.

(4) 实验完毕后,记录的实验数据应主动送交实验指导教师检查,当实验指导教师认为合格并签字后,学生方可清理实验设备.清理实验仪器及设备时,要按仪器、设备原来摆放的位置或要求整理、摆放好,将实验台打扫干净.经指导教师同意后,学生方可离开实验室.

实验操作中要求学生重视实验能力、科学作风的培养.学生应当珍惜独立操作的机会,独立完成教学基本要求.鼓励学生做提高性实验内容,提倡研究问题.

1.3.3 实验报告(占总成绩的 50%)

科学正确地处理实验数据并撰写出完整的实验报告,是物理实验基本训练的重要内容之一,实验报告不同于预习报告,一个完整的实验报告包括:

- (1) 课程名称、实验题目、实验组号;
- (2) 实验目的;
- (3) 主要实验仪器的名称;
- (4) 实验原理:应简明扼要,应包括必要的原理图、电路图、光路图和计算公式等;
- (5) 实验内容和主要步骤:应明确的给出实验内容和主要的实验步骤;
- (6) 实验数据记录:把所记录的原始数据转记下来,原始数据一般要按列表法重新整理,整齐的抄录在正式实验报告的表格中;
- (7) 数据处理:根据误差不确定度理论和不确定度的表示方法,认真地进行数据处理,得出正确表示的测量结果.有作图要求的,一律要用坐标纸,按作图法正确作图处理实验数据;
- (8) 总结:包括实验结论、回答思考题等.通过分析、讨论发现在测量与数据处理中出

现的问题,对实验中发现的现象进行解释,对实验装置和方法提出改进意见等,这对于培养与提高学生科学实验的能力是十分重要的。

1.4 实验规则

(1) 安全第一:从进入实验室开始,就要牢记“安全第一”的原则,在实验过程中,坚持安全第一,严格遵守操作规程和注意事项,凡是使用电源的实验,须经教师同意后方可接通电源进行实验,严格避免发生人身或设备事故。

(2) 预习:课前必须充分作好预习,写好预习报告,真正了解本次实验“做什么? 怎么做? 为何这样做?”,同时携带必要的文具、预习报告和学生卡进入实验室。

(3) 对号“入座”:进入实验室后,首先应签字登记,然后按实验组号就座,不得擅自调换。

(4) 损坏赔偿制度:实验仪器如有损坏丢失,应立即报告老师。由于违反操作规程而损坏仪器设备者,应按规定赔偿,并提交仪器设备损坏记录。

(5) 实验数据确认签字制度:实验数据测量完毕后,必须送交实验指导教师审阅,教师签字后的实验数据方为有效数据。

(6) 值日制度:实验结束后,清理实验仪器及设备时,要按仪器、设备原来摆放的位置或要求整理、摆放好,将实验台打扫干净。经指导教师同意后,学生方可离开实验室。每次实验课后,安排两名学生值日,确保环境卫生良好。

(7) 及时提交实验报告制度:要按时完成实验报告,实验完成一周内,连同原始实验数据在内的实验报告交给任课教师。

第2章 误差理论与数据处理

2.1 误差分析的重要性

一切科学实验都要进行测量,总会记录大量的数据.所有的测量均存在误差,物理实验当然也不例外.误差分析与工程技术、计量科学、精密测量和科学实验的关系是非常密切的.人们在进行实验与测量过程中,常常会由于误差的存在而影响对客观现象的正确评价,因此,掌握误差理论和误差分析方法,就能够排除误差的干扰,提炼出真实的、客观过程的规律.而在计量科学中,如何保证量值的统一和传递,提供物理量单位的计量基准、标准的研究成果,也需要正确的误差分析.另外,误差分析还可以帮助我们正确的组织实验和测量,以最经济的方式获得试验结果并对结果进行有效处理.

2.2 测量与误差

2.2.1 测量

对物理量的测量,是物理实验的重要组成部分.测量的目的,是在给定的单位制中,获得该物理量的数值大小.一般来讲,任何物理量都具有数值和单位这两个属性.因此,物理实验的过程就是在一定的宏观条件下,在确定的单位制中,通过实验测出描述该物理量的数值大小.

对于测量的分类,可以从测量手段和测量条件两方面来划分.

1. 按测量结果获得的手段划分,可分成直接测量和间接测量

1) 直接测量

直接测量是指相应的物理量可以用测量仪器直接进行测量.相应的物理量称为直接测量量.例如,用直尺测量物体的长度 l ,用天平测量物体的质量 m 等,都是直接测量. l 和 m 则称为直接测量量.

2) 间接测量

间接测量是指相应物理量只能由一些直接测量量经过一定的函数运算才能够获得.相应的物理量则称为间接测量量.例如,测量物体的密度 ρ ,需测出物体的体积 V 和质量 m ,由 $\rho = \frac{m}{V}$ 经运算才能获得. ρ 在这样的测量中是间接测量量.

直接测量量和间接测量量的划分是相对的.随着选用的测量方法和测量手段不同,它们是可以相互转化的.例如,测量电阻 R ,若用电流表和电压表来测量,则可以通过测出电阻两端的电压和通过电阻的电流,经过欧姆定律求出 R ,此时 R 是间接测量量.也可以用

欧姆表或单臂电桥直接测量电阻 R , 此时 R 就是直接测量量. 随着科技水平的提高, 测量手段、方法和仪器越来越先进, 能直接测量的物理量越来越多.

2. 按测量的条件来划分, 可分成等精度测量和不等精度测量

1) 等精度测量

对同一个物理量, 在完全相同的条件下进行多次重复测量, 每一次测量的精度是相同的, 这样的测量称为等精度测量.

2) 不等精度测量

对同一物理量的重复测量过程中, 只要实验中任何一个条件发生了变化, 则这种测量就是不等精度测量.

等精度测量和不等精度测量也是相对的概念. 严格地讲, 在完全相同的条件下进行多次重复的测量是比较困难的. 比如, 用电流表和电压表测量电阻, 由于有电流通过电阻、仪表, 必然产生热效应和其他效应, 因此, 严格地讲, 每次测量的条件是不一样的. 应当是不等精度测量. 但实际上, 在每次测量过程中, 这种条件的变化是较小的, 对测量的结果几乎没有影响, 是完全可以忽略的, 此时这种测量仍可认为是等精度测量.

在大学物理实验中, 除极特殊情况外, 对于一个物理量的多次重复测量都可以认为是等精度测量. 在以后的叙述中, 多次测量都是指等精度测量.

2.2.2 误差

任何一个物理量, 在一定宏观条件下和确定的单位制中, 都有一个客观存在的数值, 这个值称做该物理量的真值, 用 X_0 表示. 这个值是客观存在的, 与测量仪器、测量方法等无关. 测量的目的就是要获得物理量的真值 X_0 .

在实际的测量中, 准确地给出真值是不可能的. 因为在测量的过程中, 总是要受到测量仪器的精确度、测量的方法、测量的环境以及测量者的能力等因素的影响. 换句话说, 测量值 X 和真值 X_0 之间总是有偏差的. 这种偏差称为绝对误差. 用 Δ 表示

$$\Delta = X - X_0 \quad (2.2.1)$$

Δ 表示了测量值 X 和真值 X_0 的数值差别大小, 不能反映出测量的精确程度. 比如, 测量两个物体的长度, 其绝对误差都是 0.2mm . 其真值分别是 1.0mm 和 1000.0mm . 显然, 其精确程度是不相同的. 对测量真值是 1.0mm 的物理量来说, 在 1.0mm 范围内, 有 0.2mm 的误差; 而对真值是 1000.0mm 的物理量来说, 在 1000.0mm 范围内, 有 0.2mm 的误差. 显然, 后一种测量精确程度较高. 这说明, 测量的精确程度与物理量真值的数值大小有关. 为了表示测量的精度, 通常引入相对误差 E_r , 并用百分比表示, 因此有时也称百分比误差, E_r 数值越大, 测量精度越低; 数值越小, 测量精度越高. 由于 E_r 与测量的精度有关, 因此有时也称其为精度.

$$E_r(X) = \frac{\Delta}{X_0} \times 100\% \quad (2.2.2)$$

被测物理量的真值是客观存在的. 一般来说, 该值是未知的, 测量的目的是给出该物理量的准确值. 因此, 式(2.2.1)的定义是矛盾的, 按这种定义是求不出 Δ 和 E_r 的. 在实

际测量中,往往采用被测量的实测值或修正过的算术平均值来代替被测物理量的真值,这个值有时也称做约定真值($\bar{X}$).被测物理量的真值可用约定真值来近似表示.或者说,被测物理量应在约定真值附近的一个较小的范围内.这个较小的范围称做不确定度 ΔX .被测物理量的真值应在 $\bar{X}-\Delta X$ 至 $\bar{X}+\Delta X$ 的范围内.因此测量值和测量精度可表示为

$$X = \bar{X} \pm \Delta X \quad (2.2.3)$$

$$E_r(X) = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \times 100\% \quad (2.2.4)$$

式(2.2.3)、式(2.2.4)是实验结论中被测物理量最终表示的形式.

不确定度和精度从两个方面反映了实验结果的准确程度.精度表明了测量的精确程度,不确定度表明了测量结果的可信程度.例如,用一把最小刻度单位是 1mm 直尺,测量一根铁棒的长度 L ,大约是 600mm,若将不确定度认定为 50mm,则这个实验结果认定铁棒的真值在 550~650mm.若将不确定度认定为 5mm,则实验的结果认定铁棒的真值在 595~605mm.显然,铁棒的真值在 550~650mm 的可信度要高,或者说,有百分之百的把握认定铁棒的真值在这个区间,测量的精度为 $E_r(L)=8.3\%$.而将铁棒的真值认定在 595~605mm,其精度 $E_r(L)=0.83\%$,精度较高,可信程度是比较低的.也就是说,被测铁棒的真值很有可能不在这个范围内.因此,不确定度表明了测量结果的置信程度.在实验中,合理地选取测量方法,科学地给出不确定度 ΔX ,可使测量的结果更可靠,同时精度更高.

在大学物理实验中,约定真值除了采用算术平均值来代替之外,有时用公认物理量的值、理论计算值、实验室给出的值或用具有较高精度的仪器测出的物理量的值作为约定真值.在具体的实验过程中,实验室会具体给出这种情况下的约定真值,指导教师也会做出特殊说明与要求.在实验的过程中,需要注意这一点.

2.3 测量结果与误差分类

测量的结果通常用式(2.2.3)、式(2.2.4)表示.真值将以某一个确定的概率落在约定真值附近的某一个区间内,这个区间就是不确定度.

2.3.1 约定真值的求法

约定真值的求法往往与测量的方法有关.按被测物理量获得方法的不同,可将物理量分成直接测量量和间接测量量.对这两种量约定真值的求法分别叙述如下.

1. 直接测量量

对直接测量物理量,如果只测一次,即单次测量,则测量值就是约定真值.

对多次测量,约定真值为多次测量值的算术平均值 $\bar{X}$.若进行了 n 次测量,每次测量值为 $X_i (i=1, 2, \dots, n)$,则

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$