



普通高等教育“十二五”规划教材

物理测量技术

赵军良 主编



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

物理测量技术

主 编 赵军良

副主编 李卫彬

王晓雪

王海星

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》,结合作者多年物理实验教学的实践经验编写而成.全书依据测量对象和测量技术进行了循序渐进的安排,首先介绍了测量误差与实验数据处理、物理测量技术基本方法;其次分章节讲述了力学量、热学量测量技术,电磁学量测量技术,光学量测量技术,以及近代与综合性物理测量技术;最后编排了计算机在物理测量中的应用、设计性实验.

本书可作为普通高等学校理工科类各专业本、专科学生的物理实验教材,对其他有关科技人员也是一本有价值的参考书.

图书在版编目(CIP)数据

物理测量技术/赵军良主编. —北京:科学出版社,2012

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-033392-6

I. ①物… II. ①赵… III. ①物理量-测量-高等学校-教材 IV. ①O4-34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 010313 号

责任编辑:相 凌 唐保军 / 责任校对:张 林
责任印制:张克忠 / 封面设计:华路天然工作室

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>

北京市安泰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 2 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2012 年 2 月第一次印刷 印张:27

字数:530 000

定价:48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书根据《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》，结合作者多年物理实验教学的实践经验编写而成。在本书的编写过程中，我们力求做到以下几点：

(1) 突出综合性。本书将力学量、热学量、电磁学量、光学量、近代与综合性物理测量技术统一考虑，按知识层次安排；强调基础知识、基本方法、基本测量的训练，注意基本物理设计思想、实验方法及技术的归纳与培养。

(2) 内容较新。本书反映了当代物理学的新水平，实验内容和实验设备比较现代化，有些实验项目用两种以上方法，或者选用不同仪器来测量同一物理量。通过比较，使学生了解不同实验方法的优缺点，使其了解到，在不同的测量范围，需要采用不同的实验仪器、不同的测量方法和技术，从而开阔思路、拓展视野。在加强基础物理测量技术的前提下，增大了近代与综合性物理测量技术的比例；通过计算机在物理测量中的应用和一定数量的设计性实验训练，使物理测量与现代技术接轨，使学生在学习和掌握基本知识、基本仪器和基本方法的基础上，学会运用现代物理测量方法、手段和设计思想来解决较复杂的物理测量问题，进一步提高学生的实验技能和动手能力。

(3) 本书各章节内容和实验项目既相对独立，又相互配合，且循序渐进。在内容叙述上，注意了实验原理叙述清晰、计算公式推导完整、实验步骤简明扼要、数据处理要求规范。通过实验过程，培养学生良好的实验习惯及严格细致、实事求是、一丝不苟的科学态度和工作作风。总之，通过实验课应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、设计创新能力等方面得到训练和提高。

(4) 本书在实验技能训练上，采取循序渐进、逐步提高的方式；在实验的选择上，注意了起点低、终点高，可选择性大。在内容的编排上注意启发学生的创造性，鼓励学生独立思考，以增加学生的学习兴趣，在内容中适当加入部分“注意”事项，提醒学生重视安全操作和仪器保护，以养成良好的实验习惯。

河南理工大学赵军良教授任本书主编，负责全书的框架、统稿、定稿。全书共7章，撰写分工为：河南理工大学刘玉金执笔第1章、第2章、3.1~3.3节，李帅执笔3.4~3.11节，王双萍执笔3.12~3.14节、4.1~4.7节，王晓雪执笔4.8~4.14节、第8章，李卫彬执笔绪论、第5章，赵军良执笔第6章，王海星执笔第7章。

在本书的编写过程中，得到了王怡录、范修道、张培峰、娄元成、李凤云、曹伟涛、宋爱琴、刘振深、杜保立、王时茂、李旭升、王永强、韩旭、左小刘的大力协助和

支持. 同时, 一些兄弟院校的教材也为本书的编写提供了很好的借鉴, 在此一并表示衷心的感谢.

限于作者水平, 书中难免有疏漏和不妥之处, 望使用者不吝指教.

赵军良

2012 年 1 月

目 录

前言	
绪论	1
第 1 章 测量误差与实验数据处理	5
1.1 测量与误差	5
1.1.1 测量	5
1.1.2 误差	6
1.1.3 误差的分类	6
1.1.4 误差的几个相关概念	7
1.1.5 误差的表示形式	8
1.2 测量的不确定度和测量结果的表示	9
1.2.1 测量的不确定度	9
1.2.2 偶然误差与不确定度的 A 类分量	9
1.2.3 不确定度的 B 类分量	11
1.2.4 测量结果的表示	11
1.3 有效数字及其运算规则	15
1.3.1 有效数字的概念	15
1.3.2 数值书写规则	15
1.3.3 有效数字的运算规则	16
1.4 实验数据处理的基本方法	16
1.4.1 用列表法处理数据	16
1.4.2 用作图法处理数据	17
1.4.3 用最小二乘法处理数据	18
1.4.4 用逐差法处理数据	19
1.4.5 用计算器处理数据	20
第 2 章 物理测量技术基本方法	24
2.1 比较法	24
2.1.1 直接比较法	24
2.1.2 间接比较法	25
2.2 放大法	25
2.2.1 累积放大法	25

2.2.2 机械放大法	26
2.2.3 光学放大法	26
2.2.4 电学放大法	26
2.3 平衡法	27
2.4 补偿法	27
2.5 模拟法	28
2.5.1 物理模拟法	28
2.5.2 数学模拟法	29
2.6 干涉法	29
2.7 转换法	30
2.7.1 转换测量的定义与意义	30
2.7.2 两种基本的转换测量法	31
2.7.3 转换法测量与传感器	31
第3章 力学量、热学量测量技术	33
3.1 长度基本测量	33
3.2 物体密度的测定	41
3.3 气垫技术	47
3.3.1 速度、加速度和重力加速度的测量	48
3.3.2 验证动量守恒和机械能守恒	53
3.4 金属杨氏模量的测量	56
3.4.1 拉伸法测金属杨氏模量	57
3.4.2 动态法测金属杨氏模量	62
3.5 转动惯量的测量	66
3.5.1 用三线摆测刚体的转动惯量	66
3.5.2 用扭摆测刚体的转动惯量	71
3.6 简谐振动的研究	76
3.7 用玻尔共振仪研究受迫振动	81
3.8 声速的测定	87
3.9 用落球法测量液体的黏滞系数	93
3.10 液体表面张力系数的测定	96
3.10.1 用拉脱法测液体的表面张力系数	97
3.10.2 用毛细管法测液体的表面张力系数	100
3.11 金属线膨胀系数的测定	103
3.12 冷却法测定金属的比热容	107
3.13 导热系数的测定	111

3.14 混合法测量液体比汽化热	115
第4章 电磁学量测量技术	120
4.1 线性及非线性电阻伏安特性曲线的测绘	120
4.2 电阻的分压特性和限流特性	123
4.3 电桥法测中、低值电阻	126
4.3.1 惠斯通电桥测量中值电阻	127
4.3.2 开尔文电桥测量低值电阻	132
4.4 放电法测高电阻	137
4.5 用电势差计测电池的电动势和内阻	140
4.6 电表改装与校正	145
4.7 数字万用表的使用	153
4.8 示波器的使用	159
4.9 模拟法测绘静电场	169
4.10 RLC 串联电路特性的研究	174
4.11 霍尔效应的研究	180
4.12 测量长直螺线管电流的磁场	188
4.13 铁磁材料动态磁滞回线的测定	193
4.14 磁阻效应	198
第5章 光学量测量技术	203
5.1 薄透镜焦距的测量	203
5.2 阿贝折射计测液体折射率	210
5.3 用分光计测光学玻璃的折射率	212
5.4 等厚干涉——劈尖和牛顿环	220
5.5 单缝衍射及光强分布	225
5.6 光栅的衍射	230
5.7 菲涅耳双棱镜测光波波长	234
5.8 偏振光的研究	237
5.9 旋光法测糖溶液浓度	243
5.10 阿贝比长仪的结构和使用原理	250
第6章 近代与综合性物理测量技术	254
6.1 多普勒效应综合实验	254
6.2 周期电信号的傅里叶分析	256
6.3 非平衡电桥的原理与应用	261
6.4 集成电路温度传感器的特性测量及应用	264
6.5 用非线性电路研究混沌现象	267

6.6	光栅单色仪测量氢原子光谱	271
6.7	弗兰克-赫兹实验测量原子能级	274
6.8	金属电子功函数的测定	277
6.9	核磁共振	283
6.10	塞曼效应	290
6.11	CCD 微机密立根油滴实验	298
6.12	微波的特性研究	305
6.13	硅光电池特性的研究	312
6.14	pn 结正向压降温度特性的研究	316
6.15	液晶物理特性	322
6.16	超声波探伤实验	326
6.17	利用超声光栅测液体中的声速	332
6.18	阿贝成像原理和空间滤波	335
6.19	全息照相技术	338
6.20	光纤传输技术实验	344
6.21	电冰箱制冷系数的测量	349
6.22	高温超导体的临界温度和临界电流的测量	352
第 7 章	计算机在物理测量中的应用	357
7.1	Excel 在数据处理中的应用	357
7.1.1	物理实验中常用的 Excel 函数	357
7.1.2	Excel 软件中直线拟合的方法	358
7.2	Matlab 在数据处理中的应用	359
7.2.1	Matlab 与数据处理	359
7.2.2	Matlab 作图	362
7.2.3	Matlab 应用举例	365
7.3	Origin 在数据处理中的应用	372
7.3.1	输入数据	373
7.3.2	快速作图	374
7.3.3	输出	377
7.3.4	进一步修饰	377
7.3.5	显示两个相关的曲线	378
7.3.6	数据的处理	380
7.3.7	屏蔽	380
7.3.8	模板	382
7.4	计算机仿真实验	382

7.4.1	计算机仿真实验系统简介	382
7.4.2	物理仿真实验的基本操作方法	384
7.4.3	实验报告处理系统	387
7.4.4	物理仿真实验示例	391
第 8 章	设计性实验	406
8.1	设计性实验预备知识	406
8.1.1	确定实验方案	406
8.1.2	选择实验仪器与配套装置	408
8.1.3	确定测量方法和实验程序	409
8.1.4	检验实验结果做进一步修正	409
8.1.5	设计性实验报告的要求	409
8.2	重力加速度的研究	410
8.3	用凸透镜测狭缝宽度	410
8.4	恒流源法测导体电阻温度系数	411
8.5	比较法测互感系数	411
8.6	非平衡电桥与热敏电阻	412
8.7	恒流源法测导体电阻温度系数	412
8.8	温差电动势的测量	413
8.9	用电谐振法测膜层厚度	413
8.10	用干涉法测量载流康铜丝的温度	414
8.11	用霍尔器件测量地磁水平分量	414
8.12	自感现象演示电路的设计	415
8.13	用示波器测量谐振频率及电感	415
8.14	用磁聚焦法测定电子荷质比	416
8.15	用电子积分器测电容	416
8.16	数字高斯计的设计	417
8.17	光电传感器的设计与应用	417
8.18	暂态过程的实时测量及曲线图的描绘	418
8.19	用计算机测绘磁场分布	418
参考文献		419

绪 论

1. 物理实验的意义

物理学的形成与发展是以实验为基础的. 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、抽象概括和总结, 从而建立物理定律, 进而形成物理理论, 再回到实验中去经受检验. 实验是物理科学的基础, 也是物理知识的源泉, 加强物理实验是物理教学的时代特征, 又是提高物理教学质量的先决条件.

在研究物理现象时, 实验的任务不仅是观察物理现象, 更重要的是找出各物理量之间的数量关系, 找出它们变化的规律. 任何一个物理定律的确定, 都必须依据大量的实验材料. 即使已经确定的物理定律, 如果出现了新的实验事实与这个定律相违背, 那么便需要修正原有的物理定律或物理理论, 因此可以说, 物理实验是物理理论的基础, 它是物理理论正确与否的“试金石”.

物理实验既为开拓新理论、新领域奠定基础, 又为丰富和发展物理学提供广阔的天地. 最近数十年来, 物理学和其他学科一样发展很快, 尤其是核物理、激光、电子技术和计算机等现代化科学技术的发展, 更反映了物理实验技术发展的新水平. 科学技术的发展越来越体现出物理实验技术的重要性, 基于这方面的原因, 人们逐渐感到高等院校加强学生进行物理实验训练的重要性. 理论课是进行物理实验必要的基础, 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, 从而加深和拓展学生的物理知识.

2. 物理实验的任务

物理实验是一门独立的必修基础实验课程, 是对高校理工科专业学生进行科学实验训练的一门基础课程, 是各专业后继实验课程的基础之一. 也就是说, 它是大学生从事科学实验工作的入门. 它的主要任务如下:

(1) 通过实验方法和实验技能的基本训练, 要求学生做到:

① 能够自行阅读实验教材和资料, 概括实验原理和方法的要点, 做好实验前的准备;

② 能够借助教材或仪器说明书正确使用常用仪器, 掌握基本物理量的测量方法和实验操作技能;

③ 能够运用物理学理论对实验现象进行初步的分析判断;

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 能够完成简单的具有设计性内容的实验。

(2) 培养并逐步提高学生观察和分析实验现象的能力,以及理论联系实际的独立工作能力。通过对实验的观察、测量、分析和判断,加深对物理学某些概念和定律的理解。

(3) 培养学生文明实验的良好作风、严谨的科学实验素质、理论联系实际和实事求是的科学态度、爱护公物及遵守纪律的良好道德。

总之,实验教学是以培养学生科学实验能力、提高学生科学实验素养为重点,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、设计创新能力等方面得到训练与提高。

3. 物理实验课程的基本环节

物理实验是在教师和教材的指导下,由学生独立进行的课程。为达到物理实验课程的目的,完成物理实验课程的任务,必须充分发挥学生的主动精神,调动学生的学习积极性,自觉地、创造性地获得知识和技能。为此,应当高度重视物理实验课程具有的自身特殊性的三个基本教学环节,即课前预习、实验过程和实验报告。

1) 课前预习

课前预习是做好实验的关键。

一次实验课的时间有限,从熟悉仪器到测出数据,任务繁重。若课前不明确实验的目的、要求、原理和方法,不知道要测量哪些物理量、用什么仪器和怎样测量,不明确实验的思路和基本过程,不了解哪些地方是本次实验的重点,到上课时就不可能做好实验。可以肯定地说,实验能否顺利进行,能否获得预期的结果,在很大程度上取决于预习是否充分。因此,每次做实验之前必须认真预习。

预习时主要阅读实验教材,必要时还需参考其他资料,以求基本掌握实验的整体概况,明确实验目的,看懂实验原理,了解实验内容,知道实验步骤。对实验中使用的仪器和装置,要阅读教材中有关仪器介绍部分,了解使用方法和注意事项。当然,如果有条件的话,在实验室预习,才是最科学、最合理的方式。总之,要通过课前预习和思考,在脑海中形成一个初步的实验方案,并在此基础上写出预习报告。预习报告的内容包括实验名称、实验目的、实验原理、实验仪器、实验内容和步骤以及数据记录和处理表格。表格的设计要清晰、明确、简洁、规范。

2) 实验过程

实验过程是实验课的中心环节。

在动手实验之前,要先认识和清点所用仪器、装置和器具,了解其主要功能、量程、级别、操作方法和注意事项,不要急于测量。

实验时,要有目的、有计划地进行操作。

首先是布置、安装(或接线)和调试仪器。仪器的布局要合理,以方便操作和读数,特别要考虑到实验者和仪器的安全。合理选择仪器量程,严格遵守使用说明和操作规程,细致、耐心地把仪器调整到最佳工作状态。在电磁学实验中,接线完毕后,学生应自己作

一次检查,再请指导教师复查,确认正确无误后才能接通电源。

调试完毕后即可开始实验。起初可进行探索性试验操作,粗略地观察一下实验过程,若无异常现象,便可正式进行实验。若有异常现象,应立即切断电源,认真分析,仔细排查,并向指导教师反映。待找出原因,排除异常后再开始进行实验。

测量时要把原始数据整齐地记录在预习时已经准备好的数据处理表格中,注意数据的有效数字和单位。不要用铅笔记录,也不要先草记在另外的纸上再誊写在数据表格中,这样容易出错,况且这已经不再是第一手的“原始记录”了。如果记录的数据有错误,可用一斜线轻轻划掉,把正确的原始数据写在其旁,但不得涂改数据。要永远记住,原始数据是实验的最珍贵资料。

一份完整的实验原始记录,除数据之外,还应包括实验日期、环境条件(温度、湿度、气压、阴晴风雨等气象状况)、观察到的有关现象以及主要仪器的名称、型号、级别、量程、编号等。

在测量过程中要尽量保持实验条件不变,注意操作姿势,不要使仪器受到振动或移动。

实验完毕后,要暂时保持测试条件,请教师审阅实验记录,必要时也可能要重新测量。最后,经教师确认并签字后,再复原整理仪器,离开实验室。

3) 实验报告

实验报告是对所做实验的系统总结,是学生表达能力和信息交流能力的集中体现,也是交流实验成果的媒介。

实验报告应写在专用的实验报告上,要求层次分明、字迹清楚、文理通顺、简明扼要、图表规范、结论明确。书写实验报告是培养学生分析、总结问题的能力,提高文化素养和综合素质的一个重要方面。

实验报告的内容一般包括以下项目。

(1) 实验者姓名。

(2) 实验的环境条件。

(3) 实验名称。

(4) 实验目的。

(5) 实验仪器。主要型号、编号、量程、精度、最小分度值等。

(6) 实验原理。在对实验原理充分理解的基础上,用实验者自己的语言简要叙述有关的物理内容(包括电路图、光路图、原理和实验装置示意图),测量和计算所依据的主要公式,式中各量的物理含义、单位以及公式成立必须满足的实验条件等。

(7) 实验内容和步骤。除概括地写出实验进行的主要程序之外,还应包括实验中观察了哪些物理量,测量了哪些物理量,调节的要领和技巧,以便必要时重复或检验已经完成的实验。

(8) 数据处理。在数据处理中要完成计算、作图、误差估算及结果表达等工作。要把原始数据按有效数字列成科学的表格,使阅读者能纵观全局,一目了然。在数据处理和

误差运算中,应有主要过程,做到言之有据,结果可信. 实验结果的表达,不仅要指出测量值的大小,还须按要求用误差范围的估算或不确定度来评定测量结果.

(9) 分析讨论. 分析讨论的内容相当广泛,可以深入探讨实验现象或进一步进行误差分析,也可以对实验本身的设计思想、实验仪器、实验方法的改进写出自己的心得体会或建设性意见,甚至于根本不同的意见. 通过对分析讨论题的回答,还可以进一步深入理解物理实验的理论. 分析讨论将为学生在更高层次上发挥自己的聪明才智提供一个自由思考的广阔空间.

以上只是提供了实验报告的一般格式. 一份成功的实验报告,就是一篇科学论文的雏形,应力求用严谨的结构、流畅的文笔、清晰的思路和个性化的色彩,简洁地描述实验的内容、方法和步骤,表达实验所阐明的物理思想和概念,给出可信的明确结论. 实验报告的撰写可以培养和提高学生的分析、表达和信息交流的能力.

第 1 章 测量误差与实验数据处理

1.1 测量与误差

1.1.1 测量

在科学实验中,一切物理量都是通过测量得到的.著名物理学家伽利略有一句名言:“凡是可能测量的,都要进行测量,并且要把目前无法度量的东西变成可以测量的”.物理测量的内容很多,大至日、月、星辰,小到原子、分子.现在人们能观察和测量到的范围,在空间方面已小到 $10^{-15} \sim 10^{-14}$ cm,大到百亿光年,大小相差在 10^{40} 倍以上.在时间方面已短到 $10^{-24} \sim 10^{-23}$ s 的瞬间,长达百亿年,两者相差也在 10^{40} 倍以上.在定量验证理论方面,也需要进行大量的测量工作.因此可以说,测量是进行科学实验必不可少的极其重要的一环.

所谓测量,就是用一定的工具或仪器,通过一定的方法,直接或间接地与被测对象进行比较.测量包含两个必要的过程:一是对物理量进行检测;二是对测量的数据进行处理.在实验前,必须对所观测的对象进行分析研究,以确定实验方法和选择具有适当精度的测量仪器.在实验后,对测得的数据加以整理、归纳,用一定的方式(如列表或图解)表示出它们之间的相互关系,并对实验结果给予合理的解释,做出正确判断.

测量分直接测量和间接测量.直接测量是指把待测物理量直接与认定为标准的物理量相比较,如用直尺测量长度和用天平测物体的质量.间接测量是指按一定的函数关系,由一个或多个直接测量量计算出另一个物理量,如测物体密度时,先测出该物体的体积和质量,再用公式算出物体的密度.在物理实验中进行的测量,大多属于间接测量.

在一切条件都相同的情况下做多次测量,没有理由说各次测量的精度不同,就称为等精度测量;相反,条件不同的测量就称为非等精度测量.非等精度测量不能用一般求平均值的办法,需要加权平均,让误差小的测量在结果中占比例大些,大学物理实验中的测量,基本上都可以认为是等精度测量.

一个测量数据不同于一个数值,它是由数值和单位两部分组成的.一个数值有了单位,才具有特定的物理意义,这时它才可以称为一个物理量.因此测量所得的值(数据)应包括数值(大小)和单位,两者缺一不可.

目前,物理学上各种物理量单位,都采用中华人民共和国法定的计量单位,它是国际单位制(SI)为基础单位.国际单位制是在 1971 年第十四届国际计量大会上确定的.国际单位制基本单位包括 7 个基本量单位,它们是:长度——米(m)、质量——千克

(kg)、时间——秒(s)、电流强度——安培(A)、温度——开尔文(K)、物质的量——摩尔(mol)、发光强度——坎德拉(cd)。

此外,国际单位制还有两个辅助单位:平面角单位——弧度(rad)和立体角单位——球面度(sr)。其他物理量的单位均可以由这些基本单位导出,称作国际单位制的导出单位。

1.1.2 误差

从测量的要求来说,人们总希望测量的结果能很好地符合客观实际。但在实际测量过程中,由于测量仪器、测量方法、测量条件和测量人员的水平以及种种因素的局限,不可能使测量结果与客观存在的真值完全相同,我们所测得的只能是某物理量的近似值。也就是说,任何一种测量结果的量值 x 与真值 x' 之间总会或多或少地存在一定的差值,测量值 x 与真值 x' 的差值称为测量误差,简称误差。即

$$\Delta = x - x' \quad (1-1-1)$$

测量总是存在着一定的误差,但实验者应该根据要求和误差限度来制订或选择合理的测量方案和仪器。不能不切合实际地要求实验仪器的精度越高越好;环境条件总是恒温、恒湿,越稳定越好;测量次数总是越多越好。一个优秀的实验工作者,应该是在一定的要求下,以最低的代价来取得最佳的实验结果。要做到既保证必要的实验精度,又合理地节省人力与物力。误差自始至终贯穿于整个测量过程之中,为此必须分析测量中可能产生各种误差的因素,尽可能消除其影响,并对测量结果中未能消除的误差做出评价。

1.1.3 误差的分类

误差的产生有多方面的原因,从误差的来源和性质上可分为“偶然误差”和“系统误差”两大类。

1. 偶然误差

偶然误差(又称随机误差)是指在相同条件下,多次测量同一物理量,其测量误差的绝对值和符号以不可预知的方式变化。这种误差是由实验中多种因素的微小变动而引起的,如实验装置和测量机构在各次调整操作上的变动、测量仪器指示数值的变动,以及观测者本人在判断和估计读数上的变动等。这些因素的共同影响就使测量值围绕着测量的平均值发生涨落,这个变化量就是各次测量的偶然误差。偶然误差的出现,就某一测量值来说是没有规律的,其大小和方向都是不能预知的,但对一个量进行足够多次的测量,则会发现它们的偶然误差是按一定的统计规律分布的,常见的分布有正态分布、均匀分布、 t 分布等。

常见的一种情况是:正方向误差和负方向误差出现的次数大体相等,数值较小的误差出现的次数较多,数值很大的误差在没有错误的情况下通常不出现。这一规律在测量

次数越多时表现得越明显,它就是一种最典型的分布规律——正态分布规律。

2. 系统误差

在相同条件下,多次测量同一物理量时,测量值对真值的偏离(包括大小和方向)总是相同的,这类误差称为系统误差。系统误差的来源大致有以下几种:

(1) 理论公式的近似性。例如,单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{l/g}$ 成立的条件之一是摆角趋于零,而在实验中,摆角为零的条件是不现实的。

(2) 仪器结构不完善。例如,温度计的刻度不准、天平的两臂不等长、示零仪表存在灵敏阈等。

(3) 环境条件的改变。例如,在 20°C 条件下校准的仪器拿到 -20°C 环境中使用。

(4) 测量者生理心理因素的影响。例如,记录某一信号时有滞后或超前的倾向,对标志线读数时总是偏左或偏右、偏上或偏下等。

系统误差的特点是恒定性,不能用增加测量次数的方法使它减小。在实验中发现和消除系统误差是很重要的,因为它常常是影响实验结果准确程度的主要因素。能否用恰当的方法发现和消除系统误差,是测量者实验水平高低的反映,但是又没有一种普遍适用的方法去消除误差,主要靠对具体问题作具体的分析与处理,要靠实验经验的积累。

3. 偶然误差和系统误差的关系

偶然误差和系统误差的区别不是绝对的,在一定条件下,它们可以相互转化。例如,天平的砝码误差,对于制造厂家来说,它是偶然误差,对于使用者来说,它又是系统误差。又如测量对象的不均匀性(如小球直径、金属丝的直径等),既可以当作偶然误差,又可以当作系统误差。有时偶然误差和系统误差混在一起,也难于严格加以区分。例如,测量者使用仪器时的估读误差往往既包含有偶然误差,又包含有系统误差。这里的偶然误差是指他每次读数时偏大或偏小的程度是互不相同的,系统误差是指他读数时又总是有偏大或偏小的倾向。

除系统误差和偶然误差外,还可能发生人为读数、记录上的错误或仪器故障、操作不正确等造成的错误。错误不是误差,要及时发现并在数据处理时予以剔除。

1.1.4 误差的几个相关概念

1. 精密度

精密度是指重复测量所得的结果相互接近(或离散)的程度,它的高低反映偶然误差的大小。即精密度越高,数据越接近,偶然误差越小;反之偶然误差就越大。

2. 正确度

正确度是指测量值或实验结果与真值的符合程度,它的高低反映系统误差的大小。