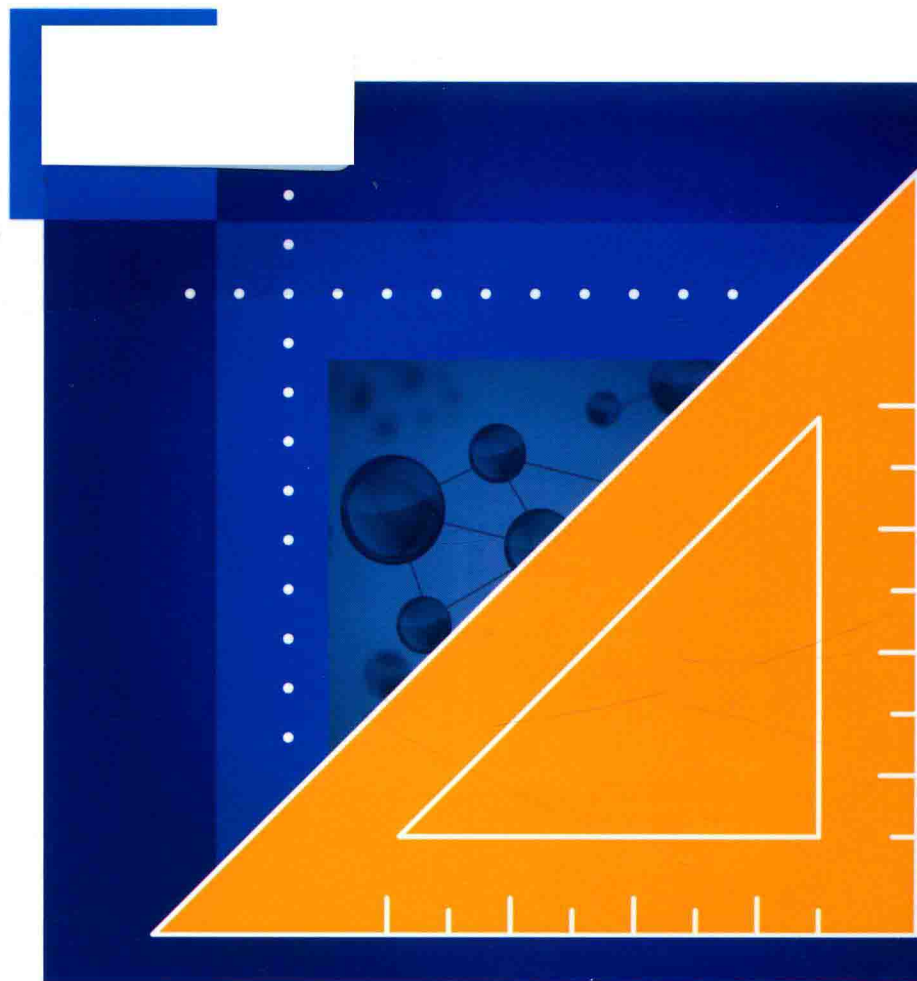


大学物理信息化教学丛书



大学物理实验教程

徐国旺 黄楚云 主编



科学出版社

大学物理信息化教学丛书

大学物理实验教程

徐国旺 黄楚云 主编

科学出版社

北 京

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229,010-64034315,13501151303

内 容 简 介

本书根据教育部颁发的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010版),借鉴国内物理实验教学内容和课程体系改革与研究的成果,结合高等学校理工科专业设置特点和“721”人才培养模式改革的要求,在多年教学实践的基础上编写而成。内容包括误差分析及数据处理、常用仪器的原理与使用、基础性实验、综合与应用性实验、设计性与研究性实验等方面的40个实验项目。按照60学时的教学计划,每个学生可结合教学基本要求和各自专业的特点,选做20个实验。

本书涵盖了大学物理实验应有的知识点,教学实践性及操作性强,是一本理想的理工科大学物理实验教材,也是相关教学、研究和实际工作者的参考读物和实验指南。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验教程/徐国旺,黄楚云主编. —北京:科学出版社,2017.11

(大学物理信息化教学丛书)

ISBN 978-7-03-055507-6

I. ①大… II. ①徐… ②黄… 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 280816 号

责任编辑:谭耀文 / 责任校对:董艳辉

责任印制:彭超 / 封面设计:莫彦峰

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>

武汉中科兴业印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

开本: B5(720×1000)

2017年11月第 一 版 印张: 16 1/4

2017年11月第一次印刷 字数: 324 000

定价: 42.50 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书包含大学物理教学和大学物理实验教学一线教师多年教学实践所积累的经验,是教学同仁们智慧的结晶。本书涵盖大学物理实验应有的知识点,内容包括误差分析及数据处理、常用仪器的原理与使用、基础性实验、综合与应用性实验、设计性与研究性实验等方面的40个实验项目。按照60学时的教学计划,每个学生可结合教学基本要求和各自专业的特点,选做20个实验。教学实践性及操作性强,是一本理想的理工科大学物理实验教材,也是相关教学、研究和实际工作者的参考读物和实验指南。

开设大学物理实验课的目的:通过对物理实验现象的观测和分析,学习物理实验知识,加深对物理学原理的理解;培养学生从事科学实验研究的初步能力;培养学生实事求是的科学态度;培养学生严谨踏实的工作作风,勇于探索的钻研精神及团结协作的优良品德。本书注重实验原理的论述,对实验项目中主要仪器的结构、性能、调节和使用作了较详细的叙述,以适应开放式实验教学的需要。

本书由徐国旺、黄楚云任主编,闵锐、贺华、江铭波任副主编。其中,绪论、实验三、实验三十五由黄楚云编写;第一章及附录由贺华编写;第二章的第一至第三节,实验六,实验七,实验十一,实验十七由江铭波编写;第二章的第四节,实验十八由欧艺文编写;第二章的第五节,实验二十二由裴玲编写,第二章的第六节,实验五,实验十,实验十六,实验十九,实验二十一,实验三十一,实验三十二,实验三十三,实验三十四由徐国旺编写;实验一,实验二由杨涛编写;实验四由陈慧编写;实验八,实验九,实验二十,实验三十六,实验三十九由别业广编写;实验十二,实验二十七,实验三十由甘路编写;实验十三由李嘉编写;实验十四,实验十五,实验三十七,实验三十八由闵锐编写;实验二十三,实验二十四,实验二十五,实验二十六,实验二十九由陈义万编写;实验二十八由吕桦编写;实验四十由邓罡编写。全书由徐国旺和黄楚云统稿、定稿。

由于水平有限,时间仓促,编者的初衷不一定能完全实现,缺点和不足在所难免,诚望广大读者批评指正。

编者

2017年7月

目 录

绪论	1
第一章 误差分析及数据处理	4
第一节 测量与误差	4
第二节 系统误差与随机误差	6
第三节 不确定度	10
第四节 有效数字的概念	16
第五节 数据处理	19
第六节 实验结果的计算机处理	23
习题与思考	28
第二章 常用仪器的原理与使用	30
第一节 游标卡尺	30
第二节 螺旋测微器	32
第三节 物理天平	33
第四节 直流稳压电源	36
第五节 读数显微镜	38
第六节 测微目镜	40
第三章 基础性实验	42
实验一 长度和密度的测量	42
实验二 气垫导轨上测滑块的速度和加速度	44
实验三 液体的黏滞系数	50
实验四 液体表面张力系数的测量	53
实验五 示波器的原理和使用	58
实验六 电子射线束的电偏转	66
实验七 电子射线束的磁偏转	71
实验八 用电桥法测量电阻	75
实验九 薄透镜焦距的测量	80
实验十 分光计的结构与调整	84
第四章 综合与应用性实验	91
实验十一 杨氏模量的测量	91

实验十二	超声波在空气中的传播	96
实验十三	用多普勒效应测定声速	101
实验十四	空气热机实验	105
实验十五	刚体转动惯量的测定	113
实验十六	电势差计的校准和使用	122
实验十七	静电场的模拟	129
实验十八	RLC 串联电路的稳态特性	135
实验十九	用分光计测量三棱镜的折射率	141
实验二十	光栅的衍射	148
实验二十一	用双棱镜测量光波的波长	150
实验二十二	用牛顿环测透镜的曲率半径	154
实验二十三	用迈克耳孙干涉仪测光波波长	159
实验二十四	用单缝衍射测量光波波长	163
实验二十五	单缝衍射相对光强分布的研究	167
实验二十六	密立根油滴实验	171
实验二十七	霍尔效应	181
实验二十八	显微镜和望远镜的组装及放大率的测量	188
实验二十九	用光电效应测定普朗克常量	193
实验三十	弗兰克-赫兹实验	199
第五章	设计性与研究性实验	208
实验三十一	重力加速度的测量	208
实验三十二	压力传感器特性研究与应用	210
实验三十三	电表的改装	214
实验三十四	数字温度计的设计	217
实验三十五	光敏开关的设计	219
实验三十六	PN 结温度传感器的研究	221
实验三十七	巨磁电阻效应及其应用	226
实验三十八	动力学综合设计性实验	235
实验三十九	全息照相技术	238
实验四十	太阳能电池特性研究	243
附录 A	中华人民共和国法定计量单位	245
附录 B	物理实验常数表	249

绪 论

一、物理实验的重要性

物理学是人类认识自然界的基础,它揭示和阐述物质世界基本构成及其运动和相互作用的基本规律。物理学对人类社会的发展起到了极大的推动作用,是现代科学的基石,也是当代前沿科学的源泉。从改变人类生活模式的手机、电视、笔记本电脑、无人驾驶汽车,到提高人类健康水平的 B 超、CT 和各种诊疗设备,再到影响人类生存和开拓的登月工程、火星探索、核武器、核能源等,都深深植根于物理科学的成就之上。

物理学也是一门实验科学。发现新的物理现象、探索新的物理规律、验证新的物理理论,都离不开物理实验。纵观整个物理学的发展历史,就会发现实验对理论的建立起着十分强大的支撑作用。从伽利略用自由落体实验发现力学规律,到卡文迪许用实验验证静电力与距离的平方反比规律,法拉第的电磁感应实验,再到托马斯·杨用双缝干涉实验验证光的波粒二象性等经典实验,他们用最简单的仪器和设备,发现了最根本、最单纯的科学本质,开辟了对自然界的崭新认识,也闪烁着物理学家们思想的光芒,在物理学发展史上树立起一座座丰碑。从 1901 年开始获诺贝尔物理学奖的 150 多位科学家中,因物理实验方面的伟大发现或发明而获奖的占 2/3 以上。毫不夸张地说,没有物理实验就没有物理学。

科学的迅猛发展使得有些知识很快陈旧,但是物理实验揭示的规律和基本原理仍然在物理学及其衍生分化开来的其他学科中得到广泛应用。在探索和开拓新的科技领域中,物理实验仍然是强有力的工具和基础。在探索新理论、新材料、新工艺的研究中,必须进行大量的科学实验,而物理实验提供了实验原理设计、数据处理、常用仪器选择等基础知识。物理实验作为理工科学生必修的基础课,是学生接受系统科学训练和技能培养的开端,以及培养学生发现、观察、分析、研究、解决问题的能力方面,在培养思维和创造能力、激发求知欲望、养成严谨科研作风等方面都有着不可或缺的重要作用。

二、物理实验课程的教学目的

本课程的教学目的如下:

(1) 培养学生的科学实验技能、科学思维和创新意识,提高学生的科研实验素

质,使学生初步掌握科学实验的思想和方法;

(2) 培养学生严谨务实的科学作风,实事求是的科学态度,积极主动的探索欲望,遵章守纪、团结协作的团队精神;

(3) 让学生掌握物理实验的基本理论和基本方法,初步培养学生的实验研究能力;

(4) 使学生熟悉各种常用仪器结构、性能及使用方法,培养其正确进行实验操作、准确测量的能力;

(5) 让学生掌握正确处理实验数据、分析和估算实验误差的基本理论和方法,培养学生撰写能够正确反映实验过程和结果的实验报告的能力。

三、物理实验课的教学环节

物理实验课程包括实验预习、实验操作和完成实验报告三个基本环节。

1. 实验预习

实验预习是实验成功与否的先决条件。学生应该在上课前仔细阅读相关实验全部内容,掌握实验原理;了解实验内容和步骤,明确要观察的物理现象和需要测量的物理量及测量方法;了解实验仪器的使用方法和操作程序。要求通过预习,整理出实验要点,提交预习报告。

预习报告主要包括实验目的、原理、内容、仪器、步骤以及数据记录表格等内容。

2. 实验操作

实验操作是实验课的中心环节。学生应该根据实验教材要求,在教师的指导下,独立完成实验操作的全过程。

学生进入实验室后,首先要做好以下两项工作:

(1) 清点仪器。对照实验项目检查实验桌上的仪器设备,如有短缺及损坏,应及时向老师反映,予以补充或更换。实验中如有丢失或损坏的情况,应及时向老师报告,必要时还应填写书面报告。

(2) 认识仪器。清点无误后,要对仪器充分观察,了解仪器结构、特性、调节和使用方法。在此基础上,进行仪器的安装调试、电路连接和光路调整等工作,为测量实验数据做好充分准备。

测量实验数据时,要注意是否满足实验条件,是否正确执行操作规范,是否采用正确的读数方法,是否准确记录实验数据等。对实验中出现的問題应认真分析、思考,要看成是学习的良好机会,尝试独立排除故障或解决问题。

真实记录实验数据,如实描述实验过程,是一个科学工作者基本的职业道德要

求。在实验过程中,当实验结果与已知值或公认值出现偏差时,不允许篡改或伪造数据。实验过程比结果更重要。

实验完成后,把记录的原始数据呈交指导老师审阅,经认可后学生可结束实验。学生应整理好实验仪器,清理干净桌面方可离开实验室。

3. 实验报告

实验报告是对实验过程的全面总结,由学生在课后独立完成。

实验报告除预习报告的所有内容外,还包括数据记录、数据处理、误差及误差分析、实验结果或结论以及问题与讨论等。

第一章 误差分析及数据处理

第一节 测量与误差

一、测量与读数

1. 测量

将被测物理量与作为标准的物理量进行比较,以突出被测物理量为标准物理单位多少倍的过程称为测量,它是实验的基础,是人们对物理现象、规律、特性由感性认识上升为理性认识的必然过程,测量所得物理量称为测量量,它必须包括数值及单位两个部分。

依据操作方法的不同,测量大致可分为如下两类。

1) 直接测量

能从仪器量具上直接读出测量量的测量称为直接测量,用这种方法获得的物理量称为直接测量量。例如,用游标卡尺测量长度,用物理天平测量质量,用秒表测量时间等均属直接测量,它们所获得的物理量,如长度、质量、时间等均为直接测量量。

2) 间接测量

依据某些物理原理(函数关系式),将可直接测量的物理量代入函数关系式进行计算才能获得待测物理量的测量称为间接测量。例如,圆周长的测量,重力加速度的测量(用单摆)等都属于间接测量。因为周长 L 的测量须先直接测出圆半径 r ,然后代入关系式 $L=2\pi r$ 来计算,重力加速度的测量须先测出单摆的周期 T 及摆长 l ,然后再代入公式 $g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}$ 来计算。圆周长 L 及重力加速度 g 都是间接测量量。

2. 读数

从仪器量具上获取待测物理量的过程称为读数,它是物理实验中的重要环节,对实验的精确度有着一定的影响。

依据获取数据方法的差异,读数有直读与估读之分。

1) 直读

从仪器量具上直接读取数据的过程称为直读,其优点是直观、快捷,多用在能够“对准”的仪器或量具上(如游标卡尺)。此外,数字仪表(如旋转式电阻箱)也用直读。

2) 估读

有些仪表,如螺旋测微器(千分尺)等,因构造问题而不能直读,只好估读。所谓估读,就是必须通过估算才能得出最后结果的一种读数方法,其要点是先直读仪器最小分格以上的整数部分(其值称为可靠读数),后用估算法估出最小分格以下的部分(只取一位数,其值称为可疑值,或称存疑值)。可靠读值与存疑值之和即为测量的结果,螺旋测微器的读数就是一种估读,它实际上是直读与估算的一种混合读数。

二、误差

任何物体在一定条件下都有一个能反映自身某种特性的、客观存在的、不以人们意志为转移的物理量的真实值,称为真值(用 A 表示)。实验之目的就是设法获取真值。但是,由于各种原因,测量值 x 与真值 A 之间总是或多或少地存在差别,这种差别(亦称偏差)称为误差,常用 Δx 来表示,即

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

这样定义的误差反映了测量值对真值大小及方向的偏离,亦称绝对误差,其值越小,测量结果就越精确。

绝对误差有正、负之分:若 $\Delta x > 0$,则称正性误差,说明测量结果大于真值;若 $\Delta x < 0$,则称负性误差,说明测量结果小于真值。

顺便指出,从测量的角度来说,真值是个理想的概念,一般来说是不知道的。因此,在实际测量中通常用该物理量的多次重复测量的平均值(称约定真值) $\bar{x}$ 来取代真值 A (即令 $\bar{x} = A$),于是式(1-1-1)也可改成

$$\Delta x = x - \bar{x} \quad (1-1-2)$$

式中,平均值

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n \quad (1-1-3)$$

其中, x_i 表示第 i 次的测量值。

考虑到绝对误差的正负性,于是实验的测量值又可表示为

$$x = \bar{x} \pm \Delta x \quad (1-1-4)$$

式(1-1-4)说明,被测物理量在 $\bar{x} + \Delta x$ 及 $\bar{x} - \Delta x$ 的范围内(式中 Δx 为绝对误差值,后同),换言之,绝对误差 Δx 给出了被测量的范围; Δx 越小,实验测量值就越接近于真值。

但是,绝对误差不能用来对不同测量结果的优劣(或精确度)进行比较。例如,某人测量 1 m 长的物体的绝对误差为 0.2 mm,另一人测量 10 m 长的物体的绝对误差也是 0.2 mm,显然,后者测量的精确度要高(优)于前者。这说明,为了便于对不同测量结果优劣进行比较,必须要考虑被测物理量本身的大小,于是,我们引入相对误差的概念,其定义为绝对误差 Δx 与物理量本身大小 x 之比,即

$$E = \frac{\Delta x}{x} \quad (1-1-5)$$

相对误差越小,实验的精确度就越高。

例 1-1 某人用游标卡尺(参见实验一)测量两个物体的长度分别为 (60.04 ± 0.02) mm 及 (10.02 ± 0.02) mm。求两次测量的绝对误差和相对误差。

解 由绝对误差的概念可知,两个测量量的绝对误差相等,均为 0.02 mm,即

$$\Delta l_1 = \Delta l_2 = 0.02 \text{ mm}$$

据定义,第一次测量的相对误差

$$E_1 = \frac{\Delta l_1}{l_1} = \frac{0.02}{60.04} = 0.0003 = 0.03\%$$

第二次测量的相对误差

$$E_2 = \frac{\Delta l_2}{l_2} = \frac{0.02}{10.02} = 0.002 = 0.2\%$$

可见,第一次测量要比第二次测量的精确度高。

第二节 系统误差与随机误差

按性质及产生原因来分类,误差可分为系统误差、随机误差(亦称偶然误差)及粗大误差三大类。考虑到实际系统误差与随机误差出现的概率要远大于粗大误差,因此,本节侧重介绍前两类误差。

一、系统误差

1. 系统误差的概念

如果在同样的实验条件下,多次测量某一物理量时,其误差均保持不变;或者,当测量条件改变时,其误差恒按一定的规律变化(如递增、递减、周期性变化等),这样的误差则称为系统误差。如零点漂移的秒表测出的时间误差就属于这类误差。

2. 系统误差产生的原因

产生系统误差的原因很多,归纳起来,大致有如下几种。

1) 理论不完善或测量方法过于简单

例如,用单摆测量重力加速度 g ,在导出单摆周期公式

$$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

的过程中作了 $\sin\theta\approx\theta$ 的近似,因而要求实验测量条件必须是摆角无限小,但实际上,摆角总是有一定的大小,达不到无限小的条件。

又如,用天平称物体的质量,总是在忽略浮力的条件下进行的,但实际上,浮力总是存在的。

2) 仪器的缺陷或失调

例如,天平两臂不等长,则测量出的质量总是大于或小于物体质量的真值;千分卡尺(螺旋测微器)的零点不准确,则测出的长度便恒大于或小于真值。

3) 观测者的不良习惯

例如,有的观测者有斜视的习惯,则观测电磁仪表的读值总是大于或小于真值;又如一些反应迟缓的观测者,其测出的秒表读数便恒大于真值。

3. 系统误差的消除与修正

根据误差的成因,通常可用如下方法来消除或修正系统误差。

1) 消除根源

很多系统误差的产生根源多是理论模型的不完善或实验条件的不满足,这种情况则可通过完善理论模型或改善实验条件来消除。

2) 校准仪器

为了减少或消除系统误差,实验前必须校准仪器。一般情况下,需要用标准仪器来对实验仪器进行校准,找出修正值或校准曲线来对实验结果进行修正。对于一些理论模型不完善导致的系统误差,则可用校准曲线或修正值来处理实验结果,其效果较好。

3) 正负相消

由于误差可正、可负,因此,可通过改变测量中的某些条件进行两次测量,使两次测量中的误差大小相等,符号相反,后取其平均值作为测量的结果,以消除系统误差。

4) 交换位置

交换被测物体的位置对消除某些系统误差也有很好的作用。例如,用天平测量物体质量时,就可以通过交换被测物的位置来克服因天平不等臂而导致的系统误差。

顺便指出,系统误差的发现及消除,一般而言,较为复杂。对于初学大学物理

的实验者来说,只要能初步理解系统误差的概念,并能在实验中学会一些消除系统误差的一般方法也就基本达到目的了。

二、随机误差

1. 随机误差的概念

实验中除了会产生有规律的系统误差外,还会产生另外一种大小及符号变化均无法确定(即时大时小,时正时负),且不可预测、无法控制的误差,称为随机误差,亦称偶然误差。它起源于环境因素的偶然变化,例如,温度与气压的起伏,电流与电压的波动,电场与磁场的干扰,地面与桌面的振动,观测者听觉与视觉分辨能力的微小变化等,这些因素或单独存在,或多种因素共同作用于测量过程中,均会导致随机误差的产生。

随机误差对于某一次测量而言,是无规律的,但是,对于大量(足够多的次数)的测量而言则遵从一定的统计规律,因而可用统计的方法来讨论相关的随机误差的问题。

2. 随机误差的分布特征

1795年,高斯首先从理论上证明,在随机误差 $\Delta x = x - \bar{x}$ 附近,随机误差出现在单位误差间隔区间的概率服从正态分布(亦称高斯分布),其分布函数

$$f(\Delta x) = \frac{1}{\delta \sqrt{2\pi}} e^{-\Delta x^2 / \delta^2} \quad (1-2-1)$$

式中

$$\delta = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

称为正态分布的标准偏差。它是评价测量量离散性的一个重要参数,在同一条件下为常数,这时随机误差分布完全由式(1-2-1)确定,故 $f(\Delta x)$ 又称随机误差出现的概率密度分布,其分布函数曲线如图 1-2-1 所示。

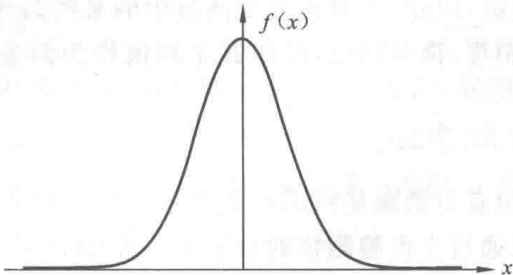


图 1-2-1 随机误差分布曲线

从图 1-2-1 中可以看出,随机误差分布具有如下特性:

- (1) 单峰性,即绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的概率大。
- (2) 对称性,即绝对值相等的正、负误差出现的概率相等。
- (3) 抵偿性,即当测量次数 $n \rightarrow \infty$ 时,正误差负误差相互抵消,其代数和

$$\sum_{i=1}^n \Delta x_i \rightarrow 0$$

(4) 有界性,即随机误差的大小有一定的范围,超出此范围的误差,出现概率极小(实际上是不存在的)。

在大学物理教材(参见廖耀发等编,《大学物理》下册,第十四章,武汉大学出版社,2002)中已经证明,分布函数服从归一化条件,分布曲线下方面所包围的总面积为 1。因此,当正态分布的标准偏差 δ 变小时,分布曲线的峰值 $f(0) = \frac{1}{\delta \sqrt{2\pi}}$ 将

变大,分布曲线形状陡峭、瘦长,表示测量值集中,离散性差,随机误差小,测量的精确度(简称精度,是描述测量值接近真值程度的物理量)高。反之,如果 δ 变大,则分布曲线峰值 $f(0)$ 变小,分布曲线形状扁平,表示测量值的离散性变大,随机误差亦大,测量的精度低。

3. 随机误差的表示

大学物理实验测量次数 n 是有限的,通常多在 $5 \sim 6$ 次,对于有限次数($5 \leq n \leq 10$)的测量,其随机误差可用实验标准偏差(有时亦称标准偏差) S 来处理,其计算公式由贝塞尔公式

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1-2-2)$$

给出,式中 $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) 称为第 i 次测量的残差,标准偏差与残差的“方和根”成正比,它是目前国际上处理随机误差的通用公式。

此外,由于仪器严重失调或者由于观测者漫不经心、不负责任,或者由于技术上的严重失误,致使的误差过大,称为粗大误差。粗大误差应予以剔除,并在实验前事先对仪器进行仔细调校,努力提高实验技术和科学素质,避免它的出现。

例 1-2 用米尺对某物体长度进行测量,六次测量的结果分别为(单位:mm)

351.2 351.3 351.2 351.3 351.2 351.2

求其标准偏差。

解 由测量结果得知,物体的平均长度

$$\begin{aligned} \bar{l} &= \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n} = \frac{351.2 + 351.3 + 351.2 + 351.3 + 351.2 + 351.2}{6} \\ &= 351.2(\text{mm}) \end{aligned}$$

故其标准偏差

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(351.2-351.2)^2 + (351.3-351.2)^2 + (351.2-351.2)^2 + (351.3-351.2)^2 + (351.2-351.2)^2 + (351.2-351.2)^2}{6-1}} \\ &= 0.02(\text{mm}) \end{aligned}$$

第三节 不 确 定 度

1. 不确定度的概念

前面已经说明,真值一般是不可能准确知道的。因此,用真值来定义误差[式(1-1-1)]也是无法获得的。人们只能根据测量条件及数据来推算误差的估计值,因而应采用一个专门的名称来作为对实验误差估计值的量化评价,这个专门的名称就是不确定度。中国计量科学院早在1986年就已发出通知,建议全国统一用不确定度来作为对测量质量好坏的评价。

不确定度是表征由于测量误差的存在而对被测量值不能确定的程度,是一个表征测量结果离散性的参数。不确定度越小,测量值的离散性就越小,测量值与真值越靠近,结果就越可靠,使用价值就越大;反之,不确定度越大,测量值的离散性就越大,测量值与真值的差别越大,可靠性就越差,使用价值就越小。

不确定度一般含有多个分量,但按其数值评定方法来分,则可归并为以下两类。

1) A类不确定度

A类不确定度主要是指用统计方法来分析评价的不确定度,用 Δ_A 来表示。A类不确定度的计算较为烦琐,但是当实验次数不少于5(即 $n \geq 5$)时,其值可用贝塞尔公式

$$\Delta_A = S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1-3-1)$$

来估算,它说明,当实验次数不少于5时,A类不确定度与标准偏差等值。顺便指出,当 $n \geq 5$ 时, Δ_A 与 S 虽然等值,但在概念上两者是有区别的。

2) B类不确定度

B类不确定度主要指用统计方法来估算或判定的不确定度,用 Δ_B 表示。B类不确定度的严格计算一般比较复杂,通常多用公式

$$\Delta_B = \frac{\Delta_I}{K_b} \quad (1-3-2)$$

来进行估算。式中, Δ_I 为仪表的精度, 其值可参照仪器说明的参数确定, 可取仪器最小刻度的一半作为 Δ_I 的值。 K_b 是一个与误差分布有关的因子, 其值参照表 1-3-1 选取。

表 1-3-1 不同误差分布类型的 K_b 因子

误差分布类型	正态	均匀	三角	反正弦	两点
K_b 因子	3	$\sqrt{3}$	$\sqrt{6}$	$\sqrt{2}$	1

从表 1-3-1 可以看出, $K_b \geq 1$, 故 $\Delta_B \leq \Delta_I$ 。由于不确定度常用来表示测量值的不确定范围, 因此有时亦将式(1-3-2) 简化成

$$\Delta_B = \Delta_I$$

由于不确定度的两个分量分别代表着随机与系统两种误差成分, 它们为两种相互独立, 互不相干的随机变量, 具有相互抵偿性, 因而其总的不确定度(亦称合成不确定度) Δ , 应为两者的“方和根”, 即

$$\Delta = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} \approx \sqrt{S^2 + \Delta_I^2} \quad (1-3-3)$$

相应的相对不确定度

$$E = \frac{\Delta}{x} = \sqrt{\frac{\Delta_A^2 + \Delta_B^2}{x^2}} \approx \sqrt{\frac{S^2 + \Delta_I^2}{x^2}} \quad (1-3-4)$$

总不确定度常简称为不确定度, 有时亦称绝对不确定度。

2. 不确定度与误差

不确定度是在误差理论的基础上建立和发展起来的概念, 它与误差既有联系又有区别。

1) 不确定度与误差是相互联系的

不确定度与误差都是由测量过程的不完善性而引起的, 且不确定度的概念又是在误差理论的基础上建立起来的。不确定度 A 类分量的估算用到了标准误差的计算公式, 因此, 不确定度与误差不是相互对立, 而是相互联系的。

2) 不确定度与误差是两个不同的概念

由于真值一般都是未知的, 因此误差不能准确得知, 是一个理想的概念。不确定度则是一个表示被测量量不能被确定的程度, 其大小是对被测量量的真值所处范围的评价。此外, 误差可正、可负, 而不确定度则永远是正的。

3) 不确定度与误差功能有异, 但可并存

不确定度是在误差概念的基础上发展起来的, 但它并不排斥误差概念的应用。