

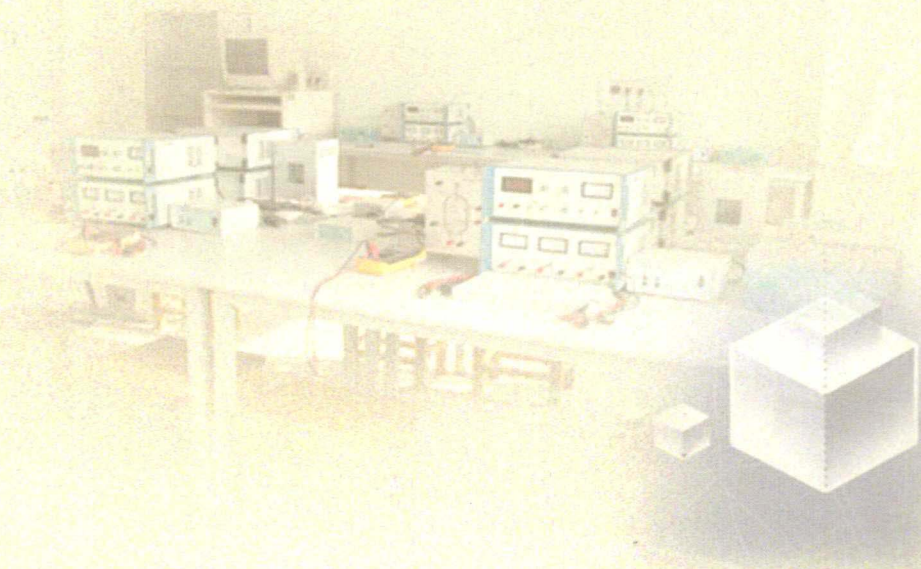
DAXUEWULISHIYAN

大学物理

实验

(第2版)

张小平 马自军 主编



中国农业大学出版社

DAXUEWULISHIYAN

大学物理

实验

（第二版）

张守节 李天 主编



清华大学出版社

大学物理实验

(第2版)

张小平 马自军 主编

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验(第2版)/张小平,马自军主编. —北京:中国农业大学出版社, 2008.8

ISBN 978-7-81117-156-3

I. 大… II. ①张…②马… III. 物理学-实验-高等学校-教材 IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 009193 号

书 名 大学物理实验
作 者 张小平 马自军 主编

策划编辑 徐 刚 王笃利 李卫峰

责任编辑 徐 刚

封面设计 郑 川

责任校对 王晓凤 陈 莹

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路2号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62731190, 2620

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617, 2618

出版部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

e-mail cbsszs@cau.edu.cn

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2008年8月第2版 2008年8月第1次印刷

规 格 787×980 16开本 9.25印张 166千字

定 价 11.50元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

内 容 简 介

本书根据农林院校物理实验课程教学的基本要求,总结甘肃农业大学物理实验课程建设多年来的实践经验,在修改实验讲义的基础上编写而成。

全书包括实验误差理论与数据处理、常用物理实验仪器使用介绍、基本实验、综合性实验、设计性及计算机辅助实验 5 章内容,共 31 个实验选题。书中对原来一些传统测量方法和仪器进行了改进,引入了传感器技术,体现了物理实验数字化、智能化、现代化的特点。

本书可作为高等院校非物理(理、工、农)各专业的大学物理实验教材,也可供其他从事物理实验的工作人员参考。

前 言

《大学物理实验》一书,是根据农林院校物理实验课程教学的基本要求,在历年“大学物理实验指导”讲义基础上,总结长期的教学实践,反复修改、编写而成。它是甘肃农业大学理学院物理实验室从事实验教学的教师和技术人员辛勤劳动的成果。

物理实验是农、理、工科学生的一门必修技术实验课。本书按课程自身的体系,遵照循序渐进的原则编写,包括“实验误差理论与数据处理”、“常用物理实验仪器使用介绍”、“基本实验”、“综合性实验”、“设计性及计算机辅助实验”5章内容。考虑到不确定度及数据处理是物理实验课的重要教学内容和学生实验中的难点,教材将其放在前面用一定篇幅进行集中介绍,以便学生理解、掌握。“基本实验”、“综合性实验”两章,按照实验目的、实验器材、实验原理、实验内容与操作步骤、数据记录及处理、思考题的顺序编写得比较详细,便于师生开展教学。考虑到目前学生基础参差不齐,物理实验课程学时有限,为了满足农、理、工科各个专业对培养学生动手能力不同要求和不同层次学生进一步发展个性、提高科学素质和创新能力的需要,书中编写了部分综合性、设计性及计算机辅助实验选题,可选择开设选修和提高性实验。

参加本书编写的人员如下:

张小平,马自军,何述青,冯连生,屠鹏,常培荣,雍文梅,边红霞,高晨阳。

在编写过程中,编写组教师参考了许多兄弟院校的实验教材和有关著作,中国农业大学出版社对本教材出版给予了大力支持,在此一并表示衷心感谢。

由于水平有限,难免出现错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2008年7月1日

目 录

绪 论	1
0.1 物理实验课程的地位和作用	1
0.2 物理实验课的目的	1
第 1 章 实验误差理论与数据处理	4
1.1 测量误差的计算	4
1.2 误差的估算	7
1.3 有效数字及其运算	13
1.4 实验数据的处理方法	17
第 2 章 常用物理实验仪器使用介绍	27
2.1 物理天平	27
2.2 游标卡尺和螺旋测微器	29
2.3 移测显微镜	32
2.4 物理实验常用电源	33
2.5 电学测量常用仪器简介	34
2.6 QJ-23 型直流电阻电桥	38
2.7 HMS-2 通用电脑式毫秒计	39
2.8 物理实验常用光源	40
第 3 章 基本实验	42
3.1 液体黏滞系数的测定	42
3.2 液体表面张力系数的测定	44
3.3 电桥测定金属电阻温度特性	47
3.4 空气比热容比的测量	49
3.5 示波器原理及使用	53
3.6 用电流场模拟静电场	57
3.7 电位差计测定电源电动势	60
3.8 用牛顿环测透镜的曲率半径	62
3.9 光的偏振实验	65

3.10	匀质圆盘及圆环的转动惯量的测定	70
第4章	综合性实验	75
4.1	弹簧振子的振动规律实验	75
4.2	声速的测定	78
4.3	不良导体导热系数的测量	81
4.4	介电常数的测定	84
4.5	霍尔效应法测定螺线管内部磁场分布	88
4.6	电表改装与校准	94
4.7	光电效应实验	98
4.8	铁磁材料的居里点测定实验	102
4.9	铁磁材料的磁滞回线和基本磁化曲线	105
4.10	光度和照度测量	109
4.11	双棱镜干涉测波长	115
4.12	光栅衍射测量	118
4.13	全息照相	121
第5章	设计性及计算机辅助实验	124
5.1	测量小灯泡伏安特性曲线	124
5.2	用滑线式电桥测毫安表的内阻	125
5.3	用牛顿环测量水的折射率	125
5.4	数字温度计(一)	125
5.5	数字温度计(二)	125
5.6	自组显微镜和望远镜	126
5.7	单摆的振动周期 T 与幅角 θ 的关系	126
5.8	地球上远程抛射体的运动轨迹	127
附 录		131
附录 A	中华人民共和国法定计量单位	131
附录 B	常用物理数据	132
参考文献		137

绪 论

0.1 物理实验课程的地位和作用

用人为的方法让自然现象再现,从而加以观察和研究,这就是实验。物理学从本质上说是一门实验科学,物理规律的研究都以严格的实验事实为基础,并且不断受到实验的检验。

诺贝尔物理学奖获得者华裔实验物理学家丁肇中先生说:“我是一个做实验的工程师。希望通过我的得奖,能提高中国人对实验的认识。没有实验就没有现代科学技术。”物理实验的特点在于它具有普遍性——力、热、光、电都包含在内;它具有基本性——是其他一切实验的基础;同时它还具有通用性——适用于一切领域,把高、精、尖的复杂实验分解成为“零件”,绝大部分是常见的物理实验。因此,物理实验是自然科学、工程技术和高科技发展的基础;物理实验为许多边缘科学的建立起了重要的桥梁作用。科学技术的发展离不开物理实验。

0.2 物理实验课的目的

0.2.1 大学物理课的目的

(1)通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量,学习物理知识,加深对物理学原理的理解。

(2)培养和提高学生的科学实验能力,其中包括:能够自行阅读实验教材,概括出实验原理和方法的要点,做好实验前的准备;能够借助教材与说明书,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;能够运用物理学原理对实验现象进行初步分析判断;能够正确记录和处理实验数据,绘制曲线,说明实验结果,撰写合格的实验报告;能够完成简单的设计性实验。

(3)培养学生理论联系实际和实事求是的科学素养,团结合作精神,严肃认真的工作态度,主动研究和积极探索的创新精神和遵守纪律、爱护公物的优良品德。

0.2.2 大学物理实验的步骤和要求

(1)实验前要做好预习。预习时,主要阅读实验教材,了解实验目的,搞清楚实验内容,要测量什么量,使用什么方法,实验的理论依据(原理)是什么,使用什么仪器,其仪器性能是什么,如何使用,操作要点及注意事项等,在此基础上,回答好思考题,草拟出操作步骤,设计好数据记录表格,准备好自备的物品。

只有在充分了解实验内容的基础上,才能在实验操作中有目的地观察实验现象,思考问题,减少操作中的忙乱现象,提高学习的主动性。因此,每次实验前,学生必须完成规定的预习内容,一般情况下,教师要检查学生预习情况,并评定预习成绩,没有预习的学生不许做实验。

(2)实验课一般先由指导教师作重点讲解,交代有关注意事项,扼要、简单地讲授实验内容,具有指导性和启发性,学生要结合自己的预习逐一领会,特别要注意那些在操作中容易引起失误的地方。

在实验进程中,首先是布置、安装和调试仪器。桌面上若干个仪器是否布置合理,读数是否方便,做到操作有序,需要动脑子,使仪器设备尽量能为我所用。为了使仪器装置达到最佳工作状态,必须细致、耐心地进行调试。这样很可能要花较多的时间,切忌急躁。要合理选择仪器的量程,如果在调试中遇到了困难而自己不能解决时,可以请教老师指导。

调试准备就绪后,开始进行测量。实验时一定要先观察实验现象,通过观察对被验证的定律或被测的物理量有个定性的了解,而后再进行精确的测量。测量的原始数据要整齐地记录在自己设计的表格中,读数一定要认真仔细,实验原始数据的优劣,决定着实验的成败。记录的数据一定要标明单位。不要忘记记录有关的环境条件,如温度、压强等。如果两个学生同时做一个实验,既要分工又要协作,各自记录实验数据,共同完成实验任务。

在测量过程中要尽量保持实验条件不变,要注意操作姿势,身体不要靠着桌子,不要使仪器发生移动或受到振动。如果遇到仪器装置出现故障,学生应力求自己动手解决,或留意观看教师是怎样分析判断仪器的毛病、怎样修复仪器的(可能当场修复的仪器)。测量完数据后,记录的数据要经指导教师审阅签字,然后再进行数据处理。如果发现错误数据时,要重新进行测量。

(3)写实验报告。实验报告是对实验工作的总结,是交流实验经验、推广实验成果的媒介。学会撰写实验报告是培养实验能力的一个方面。写实验报告要用简明的形式将实验结果完整、准确地表达出来,要求文字通顺,字迹端正,图表规范,结果正确,讨论认真。实验报告要求在课后独立按时完成。使用学校统一印制的“大学物理实验报告册”来书写。

实验报告通常包括以下内容：

实验名称 表示做什么实验。

实验目的 说明为什么做这个实验，做该实验要达到什么目的。

实验仪器 列出主要仪器的名称、型号、规格、精度等。

实验原理 阐明实验的理论依据，写出待测量计算公式的简要推导过程，画出有关的图(原理图或装置图)，如电路图、光路图等。

数据记录 实验中所测得的原始数据要尽可能用表格的形式列出，正确表示有效数字和单位。

数据处理 根据实验目的对实验结果进行计算或作图表示，并对测量结果进行评定，计算不确定度，写出主要的计算步骤和结果。

实验结果 扼要写出实验结论，要体现出测量数据、误差和单位。

问题讨论 讨论实验中观察到的异常现象及其可能的解释，分析实验误差的主要来源，对实验仪器的选择和实验方法的改进提出建议，简述自己做实验的心得体会，回答实验思考问题。

第 1 章 实验误差理论与数据处理

科学实验都必然涉及大量的实验数据的测定、记录及处理问题。数据处理及误差分析贯穿于每个实验,是培养提高学生实验能力不可缺少的重要内容。本章将从测量及误差的定义开始,介绍有关误差和实验数据处理的方法和基本知识。误差理论以数理统计和概率论为其数学基础,研究误差性质、规律及如何消除误差。实验中的误差分析,其目的是对实验结果做出评定,最大限度地减小实验误差,或指出减小实验误差的方向,提高测量结果的可信赖程度。本章重点放在几个重要概念及简单情况下的误差处理方法的介绍,不进行严密的数学论证。

1.1 测量误差的计算

对物理量的大小进行测定,实验上就是将此物理量与规定的作为标准单位的同类量或可借以导出的异类物理量进行比较,得出结论,这个比较的过程就叫做测量。而测量就必须使用一定的仪器,按照一定的方法,在一定的环境下由实验者来完成。由于测量仪器不可能尽善尽美,测量所依据的理论公式所要求的条件也无法绝对保证,加之实验技术、环境、条件等因素的影响,测量不可能无限制地精确,测量值与被测量的真实值(简称真值)之间存在差异。测量值与真值之差即称为误差。

一个被测物理量,除了用数值和单位来表征它外,还有一个很重要的表征参数,这便是对测量结果可靠性的定量估计。从表征被测量这个意义上来说,对测量结果可靠性的定量估计与其数值和单位至少具有同等的重要意义,三者是缺一不可的。实验者的主要任务之一就是测量误差的影响做出正确的定量的估价,在一定程度上评价所测定结果的可靠性。

测量可以分为两类。按照测量结果获得的方法来分,可将测量分为直接测量和间接测量两类。而从测量条件是否相同来分,又有所谓等精度测量和不等精度测量。

直接测量就是把待测量与标准量直接比较得出结果。如用米尺测量物体的长度,用天平称量物体的质量,用电流表测量电流等,都是直接测量。间接测量是借

助函数关系由直接测量的结果计算出的物理量。例如,已知路程和时间,根据速度、时间和路程之间的关系,求出的速度就是间接测量。物理量的测量,大多数是间接测量,但直接测量是一切测量的基础。

等精度测量是指在同一(相同)条件下进行的多次测量,如同一个人用同一台仪器,每次测量时周围环境条件相同,等精度测量每次测量的可靠程度相同。反之,若每次测量时的条件不同,或测量仪器改变,或测量方法、条件改变,这样所进行的一系列测量叫做非等精度测量。非等精度测量的结果,其可靠程度自然也不相同。物理实验中大多采用等精度测量。应该指出:重复测量必须是重复进行测量的整个操作过程,而不是仅仅为重复读数。

1.1.1 误差的概念

测量的目的就是为了得到被测物理量所具有的客观真实数据,但由于受测量方法、测量仪器、测量条件以及观测者水平等多种因素的限制,只能获得该物理量的近似值,也就是说,一个被测量值与真值之间总是存在着差值,这种差值称为测量误差。

测量的误差是各种因素所引起的误差的总和。测量者要以最小的代价来取得最好的结果,就需要合理地设计实验方案,选择仪器,确定采用哪种测量方法;对测量公式进行这样或那样的修正;考虑实验环境、测量条件、操作方法等因素使它对实验结果造成的影响最小;在测量过程中特别要注意测准某些对结果影响大的关键量。在处理数据时,某个数据取到多少位,怎样使用近似公式,作图时坐标比例、尺寸大小怎样选取,如何求直线的斜率等,都要考虑到引入误差的大小。

1.1.2 误差的分类

根据误差的性质和产生的原因,可分为系统误差和随机误差。

1.1.2.1 系统误差

系统误差是指在一定条件下多次测量的结果总是向一个方向偏离,其数值一定或按一定规律变化(如递增、递减、周期性等)。虽然系统误差的出现具有某种确定的规律性,但这种规律性对不同的实验测量却是不相同的。它不像下面将要讨论的处理随机误差那样有完整而普遍通用的公式与计算方法,而只能针对每一具体情况采用不同的处理方法。这就要求实验者对所研究对象的特殊规律要有充分的掌握,并要求实验者在实验经验、实验技巧和理论水平等方面应具有相当的水平。

系统误差来源于以下几个方面。

1. 仪器误差 由于测量设备(包括测量工具、仪器、量具等)本身不完善,或由于测量设备和电路安装、布置、调整不得当(例如米尺刻度不准确,螺旋测微器有空

行程,仪表调零不准等)而产生的误差。即由于仪器本身的缺陷或没有按规定条件使用仪器而造成的误差。

2. 理论误差 它是由于测量所依据的理论公式本身的近似性,或实验条件不能达到理论公式所规定的要求,或测量方法等所带来的误差;在测量过程中实际起作用而不能忽略的因素,例如,空气的阻力和浮力,电表的内阻,连线电阻的压降等,这些在推导测量结果的表达式中没有得到反映或已忽略,因而造成误差。

3. 条件误差 由于外界环境因素(如温度、湿度、压力、振动、照明、电磁场等)与要求的标准状态不一致,而引起测量装置的指示量值变化、相互位置改变造成的误差以及观测者在生理上的视觉分辨能力、感觉器官的生理变化,反应速度和固有习惯引起的误差。例如,用停表测量运动物体通过某一段路程所需要的时间,若停表走时太快,即使测量多次,测量的时间总是偏大为一个固定的数值,这是仪器不准确造成的误差;在测量过程中,若环境温度升高或降低,使测量值按一定规律变化,是由于环境因素变化引起的误差。

系统误差的消除或减小是一个比较复杂的问题,没有固定不变的方法,要具体问题具体分析,各个击破。以下介绍几种常用的方法。

检定修正法 指将仪器、量具送计量部门检验取得修正值,以便对某一物理量测量后进行修正的一种方法。

替代法 指测量装置测定待测量后,在测量条件不变的情况下,用一个已知标准量替换被测量来减小系统误差的一种方法。如消除天平的两臂不等对待测量的影响可用此办法。

异号法 指对实验时在两次测量中出现符号相反的误差,采取平均值后消除的一种方法。例如在外界磁场作用下,仪表读数会产生一个附加误差,若将仪表转动 180° 再进行一次测量,外磁场将对读数产生相反的影响,引起负的附加误差。另外,还可有交换抵消法,用等臂天平称物体的质量时可将被测物与砝码互换位置;代换消除法,如用电桥测电阻时先用一可变标准电阻代替未知电阻;对称观测法,如分光计测量角度时,在游标盘的某一直径两端各开一个读数窗口,从而消除了因偏心引起的系统误差等。

1.1.2.2 随机误差

在实际测量条件下,多次测量同一量时,误差的绝对值符号的变化,时大时小、时正时负,以不可预定方式变化着的误差叫做随机误差,有时也叫偶然误差。当测量次数很多时,随机误差就显示出明显的规律性。实践和理论都已证明,随机误差服从一定的统计规律(正态分布),其特点是:绝对值小的误差出现的概率比绝对值大的误差出现的概率大(单峰性);绝对值相等的正负误差出现的概率相同(对称

性);绝对值很大的误差出现的概率趋于零(有界性);误差的算术平均值随着测量次数的增加而趋于零(抵偿性)。因此,增加测量次数可以减小随机误差,但不能完全消除。

引起随机误差的原因也很多,与仪器精密度和观察者感官灵敏度有关。如仪器显示数值的估计读数位偏大和偏小;仪器调节平衡时,平衡点确定不准;测量环境扰动变化以及其他不能预测不能控制的因素,如空间电磁场的干扰,电源电压波动引起测量的变化等。

实验中可将系统误差减少到最低限度,错误可以避免,而随机误差是不可避免的。所以,测量结果的精确程度主要由随机误差决定,因而在一般误差理论中,重点讨论随机误差的表示和计算等问题。

1.2 误差的估算

1.2.1 直接测量的误差估算

1.2.1.1 直接测量量的算术平均绝对误差

设在一组测量值中, n 次测量的值分别为: x_1, x_2, \dots, x_n 。若其真值为 R ,则第 i 次测量之误差为

$$\Delta_i = x_i - R \quad (1.2.1)$$

被测量 x 的平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.2.2)$$

\bar{x} 虽可作为测量值,但不是真值 R 。 \bar{x} 与 R 之间的偏离程度如何?需要从计算各个测量值 x_i 偏离真值 R 的大小来着手。最简单的方法就是用算术平均的方法估算误差。如前述的几次测量中,每次测量产生的误差为 Δ_i ,则测量的算术平均绝对误差

$$\bar{\Delta}_x = \frac{1}{n} (|\Delta_1| + |\Delta_2| + \dots + |\Delta_n|) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta_i| \quad (1.2.3)$$

由于随机误差具有正负误差相抵偿的性质,所以用误差的绝对值的平均值定义算术平均绝对误差。

测量结果通常表示为

$$x = \bar{x} \pm \bar{\Delta}_r \quad (1.2.4)$$

算术平均绝对误差 $\bar{\Delta}_r$ 与算术平均值 \bar{x} 之比

$$E = \frac{\bar{\Delta}_r}{\bar{x}} \times 100\% \quad (1.2.5)$$

叫平均相对误差。

直接测量量的算术平均绝对误差计算虽然较为简单,但只有当测量次数 $n \rightarrow \infty$ 时,被测量量的平均值才能趋于真值。因此,在实际的有限次测量误差估算中,其物理意义不甚明确。

1.2.1.2 直接测量的标准误差

在实际中,真值往往是不知道的,多次测量的平均值可以作为被测量的真值。每次测量值与平均值之差 $\Delta_i = x_i - \bar{x}$,此时常用“方均根法”对它们进行统计,得到单次测量的标准误差,以 S_r 表示

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1.2.6)$$

式(1.2.6)可以表示这一系列测量值的精密度,如 S_r 值小,反映了测量的一组数据比较集中,我们就说测量的精密度(简称精度)高,则 \bar{x} 值可靠;如 S_r 值较大则数据较分散,测量的精密度低, \bar{x} 值较不可靠。

S_r 表示的只是一组测量值的误差,它只反映获得算术平均值的那组数据 x_i 的离散性,而不能表示平均值偏离真值的情况。 \bar{x} 的离散性指的是平均值本身的波动,要表示 \bar{x} 值的离散程度,可用平均值的标准误差 $S(\bar{x})$ 表示。可证明,平均值 \bar{x} 的标准误差可表达为

$$S(\bar{x}) = \frac{S_r}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (1.2.7)$$

一般情况下, S_r 值大, $S(\bar{x})$ 也大,而 $S(\bar{x})$ 则随测量次数的增加而减小。

1.2.2 总不确定度和直接测量的结果表示

1.2.2.1 两类不确定度分量

不确定度是指由于测量误差的存在而对被测量值不能肯定的程度,是表征被

测量的真值所处的量值范围的评定。普通物理实验的测量结果表示中,总不确定度 Δ 从估计方法上可分为两类分量。A 类指多次重复测量用统计方法算出的分量 Δ_A , B 类指用非统计方法估计出的分量 Δ_B , 如实验室中的测量仪器不准确, 量具磨损老化, 等等。

在相同实验条件下, 对同一被测量做多次测量, 只要测量次数 $n > 5$, 我们就以平均值的标准误差 $S(\bar{x})$ 作为 A 类不确定度分量 Δ_A , 即 $\Delta_A = S(\bar{x})$ 。

在初学阶段, 对 B 类不确定度的估计只作简化处理。仪器不准确的程度主要用仪器误差 $\Delta_{\text{仪}}$ 来表示, $\Delta_{\text{仪}}$ 为仪器、仪表、量具的示值误差或基本误差限, 一般的仪器说明书中都以某种方式注明仪器误差, 由制造厂或计量检定部门给定。在普通物理实验中大多数情况下把 $\Delta_{\text{仪}}$ 简化地直接当作用非统计方法估计的 B 类不确定度分量 Δ_B , 即: $\Delta_B = \Delta_{\text{仪}}$ 。

1.2.2.2 总不确定度

总不确定度 Δ 可用“方和根”法合成, 即有

$$\Delta = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = \sqrt{S^2(\bar{x}) + \Delta_{\text{仪}}^2} \quad (1.2.8)$$

在计算总不确定度时, 若 $S(\bar{x}) < \frac{1}{3} \Delta_{\text{仪}}$, 或因估计出的 Δ_A 对实验最后结果影响甚小, 或因条件受限制而只进行了一次测量, 则 Δ 可简单地用仪器误差 $\Delta_{\text{仪}}$ 来表示。

1.2.2.3 直接测量的结果表示

我们在表述测量结果时, 除了能给出 \bar{x} 等于多少外, 还可指出其离散程度如何。以便估计在重复实验时 \bar{x} 有多大的变动。因此, 实验结果应写为

$$x = \bar{x} \pm \Delta \quad (1.2.9)$$

平均值的相对不确定度

$$E = \frac{\Delta}{\bar{x}} \times 100\% \quad (1.2.10)$$

1.2.2.4 间接测量量的误差及不确定度计算

间接测量结果是由直接测量结果根据一定的数学公式算出的, 由于各直接测量有误差, 必然导致间接测量量也有误差。

1. 间接测量的不确定度(误差)传递规律 一般而言, 直接测量量的平均值的不确定度比该平均值本身小得多, 可以把它们看作是直接测量值的微分, 所以我们可用微分法则来计算各种函数关系的间接测量量的不确定度。