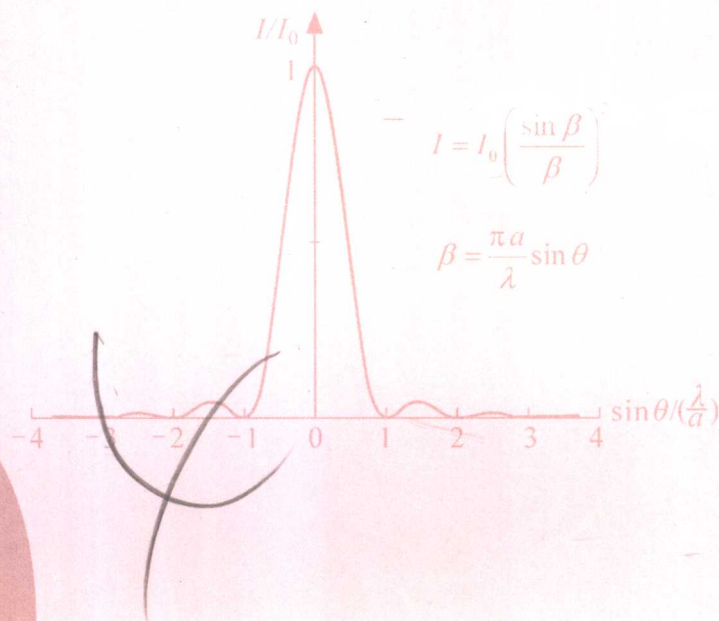




新世纪高等学校教材

物理专业

实验系列教材



PUTONG
WULI SHIYAN

曹惠贤 主编

北京师范大学物理教学实验中心 组编

普通物理实验



北京师范大学出版社
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PRESS



新世纪高等学校教材

04-33/197

2007

物理专业

实验系列教材

PUTONG

WULI SHIYAN

曹惠贤 主编

罗莹 李蓉 杨百瑞 编著

北京师范大学物理教学实验中心 组编

普通物理实验



北京师范大学出版社
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

普通物理实验/曹惠贤主编. —北京:北京师范大学出版社, 2007. 6

ISBN 978-7-303-08575-0

I. 普… II. 曹… III. 普通物理学-实验-高等学校-教材 IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 070277 号

出版发行: 北京师范大学出版社 [www. bnup. com. cn](http://www.bnup.com.cn)

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印 刷: 唐山市润丰印务有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 170mm × 230 mm

印 张: 23

字 数: 425 千字

印 数: 1 ~ 3 000

版 次: 2007 年 8 月第 1 版

印 次: 2007 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 35.00 元

责任编辑: 余娟平

装帧设计: 孙 琳

责任校对: 李 菡

责任印制: 董本刚

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

本书如有印装质量问题, 请与出版部联系调换。

出版部电话: 010-58800825

前 言

普通物理实验是大学本科的一门必修课,是学生进入大学后遇到的第一门实验课。在普通物理实验中,学生将受到系统的物理实验方法和实验技能的训练,这些训练为学生以后的学习打下一个良好的基础,因此普通物理实验是整个实验教学体系中的一个非常重要的环节。

本书是在曾贻伟老师等前辈们编著的《普通物理实验教程》的基础上编写而成的。《普通物理实验教程》于1989年出版,至今已经使用了17年,在此期间,随着科学技术的进步和教育改革的发展,普通物理实验无论是在教学体系、教学方法、实验技术,还是在仪器设备等方面都发生了很大变化。为了适应新的教学要求和条件,我们重新编写了这本实验教材。

本书的实验内容是按分层次教学的需要编排的。第一章为实验数据处理的基础知识,这部分内容可根据实际情况选用。第二章介绍了普通物理实验中常用的一些仪器设备,由于同一类仪器的型号和规格很多,不可能一一列举,这些仪器可作为参考。关于实验内容,本书按照三个教学层次编写。第一层次为入门实验,即第三章的预备实验。考虑到我国高中物理教学的现状和不同地区学校的差异,这一章所选的实验题目主要是为学生学习大学物理实验课程做一些知识的准备,为高中和大学之间做一个衔接。这一章多数为半定量实验,并注意了实验的趣味性,主要目的是训练学生对物理现象的观察能力,激发学生对物理实验的兴趣。第二层次为第四章的基础实验,这一章所选的实验题目为大学物理基础实验,包括力、热、电、光等不同学科分支的内容。通过这些实验让学生学习基本物理实验方法和测量技术,熟悉基本物理实验仪器的工作原理和使用方法,学习实验数据处理和分析的基本方法。第三层次为提高实验,包括第五章的综合实验和第六章的设计实验,通过综合实验的学习,锻炼学生对物理实验知识的综合运用能力和独立工作的能力。设计实验是近几年在教学实践中曾经尝试过的题目,在这些实验题目中没有给出具体的实验原理和方法,只是提出了一些实验的要求。由于实验方案不同,所用仪器也会不同,所以题目中只给出了一些参考仪器。通过设计实验的训练,使学生体验查阅资料、设计实验方案、搭建实验设备、解决实验中出现的問題,以及分析实验结果等全过程,在整个实验过程中锻炼学生分析和解决实际物理问题的能力,提高学生的科学素养。

本书由曹惠贤、罗莹、李蓉、杨百瑞编写,全书最后由曹惠贤统稿加工。黄

2 普通物理实验

灿、所广斌为本书拍摄和编辑加工了仪器图片。

本书可作为高等院校本科生的普通物理实验教材或教师教学参考书。

本书参考了国内外一些高校的普通物理实验教材及普通物理教科书,在此一并表示感谢。

书中如有错误或不妥之处恳请读者批评指正。

编者

2007年3月

目 录

第一章 测量不确定度与实验数据处理	(1)
第一节 物理量的测量与误差	(1)
第二节 测量不确定度的概念	(6)
第三节 直接测量量不确定度的评定	(7)
第四节 间接测量量不确定度的评定	(11)
第五节 有效数字及其运算法则	(14)
第六节 数据修约和测量结果的最终表述	(17)
第七节 数据处理方法(1)——作图法	(18)
第八节 数据处理方法(2)——逐差法和最小二乘法	(20)
第二章 基本实验仪器	(28)
第一节 力学和热学实验基本仪器	(28)
第二节 电磁学实验基本仪器	(46)
第三节 光学实验基本仪器	(69)
第三章 预备实验	(90)
实验一 长度测量	(90)
实验二 固体和液体密度的测定	(92)
实验三 牛顿第二定律的验证	(95)
实验四 单摆的研究	(96)
实验五 安伏法测非线性电阻	(99)
实验六 干电池电动势和内阻的测量	(102)
实验七 示波器使用初步	(104)
实验八 薄透镜焦距的测量	(107)
实验九 颜色合成的基本规律	(111)
第四章 基础实验	(114)
实验十 匀加速直线运动的规律	(114)
实验十一 动量守恒定律的验证	(117)
实验十二 杨氏模量的测定	(119)
实验十三 刚体转动惯量的测定	(122)
实验十四 声速的测量	(126)

实验十五	简谐振动的研究	(129)
实验十六	受迫振动的研究	(131)
实验十七	弦上的驻波实验	(135)
实验十八	空气密度的测定	(137)
实验十九	惯性质量的测量	(141)
实验二十	金属线胀系数的测量	(144)
实验二十一	稳态法测量金属热导率	(146)
实验二十二	动态法测量不良导体的导热率	(148)
实验二十三	弹簧振子周期经验公式的总结	(150)
实验二十四	用混合法测量固体的比热	(152)
实验二十五	水的汽化热的测定	(154)
实验二十六	拉脱法测定水的表面张力系数	(157)
实验二十七	液体黏性系数的测量	(160)
实验二十八	惠斯通电桥	(163)
实验二十九	交流电桥	(168)
实验三十	螺线管内轴向磁场分布的测量	(174)
实验三十一	亥姆霍兹线圈磁场的描绘	(177)
实验三十二	示波器的使用	(181)
实验三十三	RLC 电路的暂态过程研究	(186)
实验三十四	RLC 电路的稳态特性研究	(192)
实验三十五	霍尔效应	(196)
实验三十六	三棱镜色散曲线的测定	(199)
实验三十七	液体折射率的测定	(202)
实验三十八	用菲涅耳双棱镜测光波波长	(205)
实验三十九	测量单缝和双缝衍射的光强分布	(209)
实验四十	光栅衍射测量	(213)
实验四十一	偏振现象的观测和分析	(216)
实验四十二	全息照片的摄制	(223)
实验四十三	光电效应	(229)
实验四十四	迈克耳孙干涉仪的调整和使用	(234)
实验四十五	棱镜单色仪	(238)
实验四十六	光栅单色仪	(240)

第五章 综合实验	(244)
实验四十七 刚体转动规律的研究.....	(244)
实验四十八 热力学第二定律的验证.....	(247)
实验四十九 斯特藩常数的测量.....	(251)
实验五十 低电阻的测量.....	(253)
实验五十一 用冲击电流计测量高电阻.....	(259)
实验五十二 半导体热敏电阻温度特性的研究.....	(262)
实验五十三 铁磁材料的磁化曲线和磁滞回线.....	(266)
实验五十四 传感器实验.....	(273)
实验五十五 磁致伸缩系数的测定.....	(285)
实验五十六 地磁场水平分量的测量.....	(288)
实验五十七 电子束的偏转与聚焦.....	(292)
实验五十八 非线性 RLC 电路的分频与混沌	(302)
实验五十九 法布里-珀罗(F-P)干涉仪	(310)
实验六十 阿贝成像原理及空间滤波.....	(314)
实验六十一 颜色的标定.....	(319)
第六章 设计实验	(328)
题目一 随机误差的分布规律.....	(328)
题目二 细丝直径的测量.....	(329)
题目三 液体表面张力系数的测量.....	(329)
题目四 可溶于水的物质密度的测量.....	(330)
题目五 机械音叉固有频率的测量.....	(330)
题目六 气体普适恒量的测定.....	(331)
题目七 温度计的设计与制作.....	(331)
题目八 滑线变阻器在电路控制中的应用.....	(332)
题目九 利用 RLC 串联电路测量交流元件	(332)
题目十 法拉第感应定律的瞬态研究.....	(333)
题目十一 光敏电阻的特性研究与应用.....	(333)
题目十二 压电陶瓷器件的特性研究与应用.....	(334)
题目十三 硅光电池特性研究.....	(334)
题目十四 周期函数的傅里叶分解.....	(335)
题目十五 数字式多用电表的组装与校准.....	(335)
题目十六 非线性负阻电路的混沌现象.....	(336)

4 普通物理实验

题目十七	溶液透射率的研究·····	(336)
题目十八	光源的时间相干性与空间相干性的研究·····	(337)
题目十九	半导体激光器特性研究·····	(337)
题目二十	用激光显示李萨如图形·····	(338)
题目二十一	Talbot 效应的实验研究 ·····	(338)
题目二十二	用散斑法测量物体的微小位移·····	(339)
题目二十三	用不同方法测定玻璃片的折射率·····	(339)
题目二十四	多种方法测量水的折射率·····	(340)
题目二十五	测量菲涅耳双棱镜的契角和折射率·····	(340)
题目二十六	全息光栅的制作·····	(341)
题目二十七	研究亮度在颜色混合中的作用·····	(341)
题目二十八	里德伯常量的测定·····	(342)
题目二十九	虚拟示波器·····	(342)
题目三十	虚拟数字温度计·····	(343)
附表	·····	(344)

第一章 测量不确定度与实验数据处理

第一节 物理量的测量与误差

物理实验的目的是揭示物理现象和探寻物理规律,物理规律多数是以物理量之间的定量关系表达的,故研究物理现象和规律就需要进行定量的物理实验,因此也就必须要对物理量进行测量.一个待测物理量的大小,在客观上应该存在一个真实的数值,这个数值被称为“真值”.但由于测量仪器、测量方法、测量条件以及测量人员等因素的限制,使得实际测得的数值(也就是测量值)只能是真值的一个近似值,所以在测量值与真值之间总是存在着差异.通常将测量值与真值之差称为误差.

在物理量的测量中误差是不可避免的,但人们可以通过测量方法的选取、测量仪器的选择、测量条件的确定、测量数据的处理等手段尽可能地减小物理量测量的误差.

一、物理量的测量

为了对物理量进行测量,首先需要选定一个单位,然后将其与被测量对象进行比较,进而得到所测量物理量与该单位的比值,这个比值即为测量的数值.显然,数值的大小与所选用的单位有关.所以在测量结果的表述中必须包括被测量对象量值的大小和单位,此外,还应包括对量值本身的可靠程度做出判断.

根据不同情况,可以对测量做如下分类:

(1) 根据测量方法的不同,将测量分为直接测量和间接测量.直接测量是将被测量与标准直接进行比较,从而获得被测量的数值.例如,用直尺去测量课桌一边的长度,则需要将课桌的边与直尺比较,进而给出该边长度的量值,得到测量结果.间接测量是指被测量不是直接测得的,而是通过被测量与直接测量量之间的函数关系获得的.例如,一个长方体的体积 V 是通过直接测量它的长(L),宽(W)和高(H),然后再通过体积公式 $V = LWH$ 计算得到.

(2) 根据测量条件的不同,可把测量分为等精度测量和不等精度测量.在相同的测量条件下,对某一被测量量进行重复测量,所以每次测量结果有相同的可信赖程度,这样的测量被称为等精度测量.但在不同的测量条件下对某一被测量量进行测量,这些测量结果的信赖程度不同,这种情况下的测量被称为不等精度测量.本书仅限于研究等精度测量.

二、测量结果的表示

测量是物理实验的基础,是以确定被测量对象的量值为目的的.在测量过程中,首先,要明确对被测量对象的要求;其次,要选择恰当的测量方法,采用正确的步骤完成测量;再次,要根据误差理论对测量数据进行处理;最后给出完整的实验测量结果.

那么如何表述才是完整的实验测量结果呢?

例如:对长度约 3 cm 的工件用精度为 0.02 mm 的游标卡尺进行多次测量,完整的测量结果表示为

$$l = (31.08 \pm 0.03) \text{ mm}, P = 0.683$$

在这个表达式中包含了多次测量的平均值(31.08),物理量单位(mm)和不确定度 $u(x)$ (当置信概率为 $P = 0.683$ 时,不确定度为 0.03 mm).不确定度 $u(x)$ 是表示被测量量 x 的真值在一定的置信概率 P (如: $P = 0.683$) 的情况下可能存在的范围.测量的结果通常以 $\bar{x} \pm u(x)$ 的形式表示.测量结果的表述中含有以下三个要素:测量结果的数值、物理量的单位和不确定度.在一个完整的实验测量结果的表述中必须包含这三个要素.

三、测量误差

通常情况下,任何一个物理量的大小都是客观存在的,是一个实实在在、不依赖人的意志为转移的客观量值,这个值称为真值.在测量过程中,人们总希望能够得到待测量的真值.然而,任何一种测量总是根据一定的理论和方法,使用确定的仪器,在确定的环境中,由确定的人员进行的.由于实验理论的近似性,实验仪器的灵敏度和分辨能力的局限性,实验环境的不稳定性,以及测量者的实验技能和判断能力等因素的影响,使得测量值与测量量的真值之间总存在着差异,将这种差异称为测量误差.若某物理量的测量值为 x ,真值为 A ,则测量误差定义为:

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

上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. 一般来说, 真值仅仅是一个理想概念, 只有通过完善的测量才能获得. 但严格意义上的完善测量是难以做到的, 因此, 真值就不能确定. 实际上, 只能根据测量得到的量值来确定测量的最佳值, 一般取多次重复测量的平均值作为测量的最佳值. 绝对误差能够反映某一测量结果的优劣, 但在比较不同的测量结果的优劣时则不适用. 例如, 测量 10 m 长的误差为 1 cm 与测量 1 m 长的误差为 1 cm, 两者绝对误差相同, 但是两者的测量结果的准确性显然不同. 为了反映不同测量结果的优劣, 下面引入相对误差.

相对误差定义为:

$$\delta x = \Delta x / A \quad (1-1-2)$$

其中 A 是真值, 这个值通常被测量值的最佳值或理论值代替. 此外, 相对误差还可使用“百分误差”来表征, 即 $\delta x = \left(\frac{\Delta x}{A} \times 100 \right) \%$. 在上面的例子中, 测量 10 m 长的误差为 1 cm 的相对误差为 0.1%, 测量 1 m 长的误差为 1 cm 的相对误差为 1%.

误差存在于一切科学实验和测量过程的始终. 在实验的设计、实验仪器、实验条件以及实验数据处理等方面都可能存在误差, 因此, 分析测量中可能产生的各种误差, 尽可能消除误差的影响, 并对最后结果中未能消除的误差做出估计是物理实验和许多科学实验中不可缺少的工作.

四、误差的分类

按照误差的特征和人们对其掌握的程度可以将误差分成三类: 系统误差, 随机误差和粗大误差.

(1) 系统误差

在相同条件下, 多次测量同一物理量的过程中, 保持恒定或按一定规律变化的误差称为系统误差.

系统误差具有规律性和确定性的特点. 系统误差的规律性有多种表现形式. 例如: 因标准砝码不准使天平测量出现的系统误差表现为定值性; 因物体的冷缩(热胀)能够引起钢尺不准确, 用这样的钢尺进行测量的指示值将大于(小于)真实长度, 且误差随待测长度的增加而增加, 这时的系统误差表现为累积性. 系统误差的确定性表现在: 测量条件一经确定, 误差也随之确定; 重复测量时, 误差的大小和符号均保持不变. 因此, 在相同实验条件下多次重复测量不可能发现系统误差.

对实验者来说, 系统误差的规律及其产生原因可能知道, 也可能不知道. 已

被确切掌握了大小和符号的系统误差称为可定系统误差;对大小和符号不能确切掌握的系统误差称为未定系统误差.前者一般可以在测量过程中采取措施予以消除或在测量结果中进行修正;而后者一般难以做出修正,只能估计出它的取值范围.

(2) 随机误差

在多次测量同一物理量的过程中,因偶然的、不确定的原因引起的以不可预知的方式变化的误差称为随机误差.

随机误差具有单个随机性,总体服从统计规律的特点.在相同条件下,每个测量结果的误差(大小和正负)是不确定的,表现出没有确定的规律性;但就总体(大量测量个体的总和)而言服从统计规律.随机误差的这种特点使我们能够在确定条件下,通过多次重复测量发现它,并可以从相应的统计分布规律来研究随机误差对测量结果的影响.

在大多数情况下,测量次数足够多时符号为正的误差和符号为负的误差分布基本对称,可以大致抵消.所以通常采用多次测量值的算术平均值作为被测量的最佳估计值.例如:对某一被测量在相同条件下进行 n 次测量,每个测量值为 $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$, 平均值为 $\bar{x} = \sum x_i / n$. 随机误差使得测量值 x_i 具有一定的分散性,测量值 x_i 的分散性用标准偏差 s 表征,可通过贝塞尔公式算出

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (1-1-3)$$

系统误差和随机误差虽然是两种不同性质的误差,但它们之间存在着内在的联系.在一定的实验条件下,它们有自己的内涵和界限,但当实验条件改变时,它们彼此又可能互相转化.例如千分尺的零位误差,在不调零位且不做修正时表现为系统误差的性质;一次性调零并做修正,其剩余部分具有未定系统误差的性质;但如多次测量前均调零,则相当于把未定系统误差随机化了,消除了原来的系统误差,引入了新的随机误差.事实上,对那些微小的未定系统误差,很难做到使其在测量时保持确定的状态,因此,它们就会像随机误差那样呈现出某种随机性.再例如测量钢丝的直径时,由于制造和使用方面的原因使其截面不可能是严格的圆,因此对钢丝确定位置“直径”的测量结果表现出系统误差,但对不同的截面和方位,这种系统误差却又呈现出某种随机性.误差的这种内在统一性,使得我们有可能在消除或修正了各种可定系统误差以后,用统一的方法对其余部分做出估计和评定.

(3) 粗大误差

由于测量系统偶然偏离所规定的测量条件和方法,或因实验者在记录、计算数据时出现失误而产生的误差,这种误差被称为粗大误差,简称粗差.严格说来,这种误差实际上是测量错误.对于这种数据应当予以剔除.需要注意的是,不当把所有的异常的观测值都作为粗大误差来处理,因为它可能是数据中固有的随机性的极端情况或预示着新的物理现象.例如许多物理学的重大发现是通过研究测量结果的离散程度超出随机误差服从的分布规律的原因时获得的.判断一个观测值是否为异常值时,通常应根据技术上或物理上的理由直接做出决定.

五、精密度、正确度和准确度

习惯上人们经常用“精度”一类的词来形容测量结果的误差大小.为此,有必要对相关名词从误差角度加以说明.

精密度——计量学的精密度(precision of measurement)是指在相同条件下,对被测量量进行多次反复测量时,测量结果之间的一致(符合)程度.从测量误差的角度来看,精密度反映出测量结果中随机误差的大小.精密度高,不一定正确度高.也就是说,测量结果的随机误差小,不一定其系统误差亦小.

正确度——计量学的正确度(correctness of measurement)是指被测量量的测得值与其“真值”的接近程度.从测量误差的角度来看,正确度反映测量结果中系统误差大小的程度.正确度高,不一定精密度高.也就是说,测量结果的系统误差小,不一定其随机误差亦小.

准确度——计量学的精确度亦称准确度(accuracy of measurement)是指被测量的测得值之间的一致程度以及与其“真值”的接近程度,即是精密度和正确度的综合概念.从测量误差的角度来看,精确度(准确度)是测量结果随机误差和系统误差的综合反映.

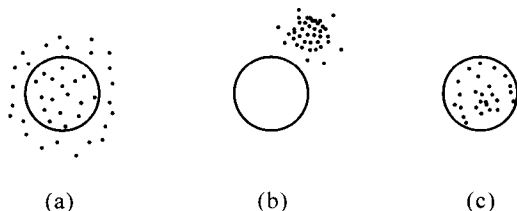


图 1-1-1

作为一种形象的说明,可以借助图 1-1-1 来帮助理解.图中(a)正确度高、精密度差,(b)精密度好、正确度差,(c)准确度高.

第二节 测量不确定度的概念

不确定度的概念及其评定体系是在现代误差理论的基础上建立和发展起来的. 不确定度是对被测量物理量的真值所处量值范围的评定, 表征了由于测量误差的存在使得被测量量不能确定的程度. 不确定度一般由许多成分组成, 主要与上节讨论的系统误差、随机误差和粗大误差相关. 不确定度反映了可能存在的误差分布范围, 即随机误差分量和未定的系统误差分量的联合分布范围, 可以近似地将其理解为一定概率的误差限值. 测量不确定度采用与测量结果相关的参数表示, 记为符号 u .

例如: 用千分尺测量某圆柱直径 D , 得到的测量结果为 $D = (8.348 \pm 0.005) \text{ mm}$, $P = 0.683$. 这个表达式表明测量结果在置信概率为 0.683 时不确定的范围为 $\pm 0.005 \text{ mm}$, 说明直径真值出现在 $8.343 \sim 8.353 \text{ mm}$ 范围内的概率为 68.3%.

上面的例子说明, 不确定度包含两个重要的要素, 一个是测量结果不确定程度的大小, 另一个是这个不确定程度的置信概率. 被测量量 x 的不确定度经常用 $u(x)$ 表示, 测量结果经常表示为下式:

$$[\bar{x} \pm u(x)] \text{ 单位}, P = (\text{一个小于 } 1 \text{ 的正数})$$

在对实验测量数据进行处理分析时, 通常首先进行误差分析, 修正已知的系统误差, 剔除含有粗大误差的数据, 然后再进行不确定度的评定.

测量不确定度的理论并不排斥误差的概念, 它们有着各自不同的定义和性质. 例如: 不确定度总是不为零的正数, 而误差则既可以是正数, 也可以是负数, 或是接近零. 不确定度原则上总是可以具体评定的, 而误差一般由于真值的未知性而不能计算.

我们知道, 不确定度本身就是一个置信概率的问题. 除了某些特殊测量以外, 不确定度的数值最多保留 2 位, 再多就没有意义了. 作为一种教学规范, 我们规定: 不确定度的数值取位不超过 2 位, 并且当第一位数字为 1, 2, 3 时取 2 位, 其余只取 1 位.

第三节 直接测量量不确定度的评定

不确定度是反映实验结果可靠性的定量指标. 为了确定这个定量指标, 根据不确定度的计算方法可以将不确定度分为两类: 其中符合统计规律的、能够通过统计方法计算的不确定度称为 A 类不确定度; 而不符合统计规律的、不能通过统计方法计算的不确定度统称为 B 类不确定度. 由 A 类不确定度和 B 类不确定度合成为被测量物理量的总不确定度.

在实验中, 有许多物理量是通过直接测量的方法得到的. 例如: 用等臂天平测量物体的质量, 用米尺测量物体的长度和用伏特表测量电路中的电压等等. 通过直接测量的方法得到的物理量是直接测量量, 对于直接测量量通常采用如下的方法评定其不确定度.

一、采用统计方法评定的 A 类分量

若可以对物理量 x 进行重复的直接测量, n 次独立测量的结果是 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 则把平均值

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

作为 x 的最佳估计值, 把平均值的标准偏差

$$s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (1-3-2)$$

作为 A 类不确定度的估计值(标准差). 这种以统计方法给出的标准差称为不确定度的 A 类分量. 即

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (1-3-3)$$

考虑到物理实验教学中测量的次数 n 都比较少, 为能满足置信概率 $P = 0.683$ 这一重要条件, 采用由贝塞尔公式求出标准差 $s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$, 再乘在置信概率 $P = 0.683$ 时的因子 $f(n)$ 来确定物理量 x 的 A 类不确定度. 即:

$$u_A = s(\bar{x}) = f(n) \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}, \text{ 其中 } f(n) \text{ 由表 1 给出.}$$

表 1 $P = 0.683$ 时的因子 $f(n)$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$n > 10$
$f(n)$	4.58	1.27	0.81	0.63	0.54	0.47	0.43	0.39	0.38	$1/\sqrt{n}$

二、采用非统计方法评定的不确定度的 B 类分量

测量中凡是不符合统计规律的不确定度统称为 B 类不确定度,记为 u_B . 它包含了因仪器精度有限所产生的最大允许的误差 $\Delta_{\text{仪}}$ 和由测量者在测量过程中的估读产生的估读误差 $\Delta_{\text{估}}$.

1. 仪器的最大允许误差 $\Delta_{\text{仪}}$

仪器的最大允许误差 $\Delta_{\text{仪}}$,也称为仪器误差(限),是由仪器本身的特性决定的. 通常情况下, $\Delta_{\text{仪}}$ 由仪器的说明书给出. 它表征同一规格型号的合格产品在正常使用条件下,一次测量可能产生的最大误差. $\Delta_{\text{仪}}$ 通常对应于仪器最小刻度所对应的物理量的数量级. 提供的是误差绝对值的极限值,而不是测量的真实误差.

仪器误差(限)包含了在规定条件下的偏移误差(系统误差)和重复性误差(随机误差). 例如,数字仪表是通过对被测信号进行适当的放大(或衰减)后作量化计数给出数字显示的. 其中,由于放大(或衰减)系数和量化单位不准造成的误差属于可定系统误差,来自测量过程中电子系统的漂移而产生的误差属于未定系统误差,而量化过程的尾数截断造成的误差又具有随机误差的性质.

$\Delta_{\text{仪}}$ 是一种简化了的误差限值,在物理实验教学中常被用来估计由测量仪器造成的误差范围,这时它们称为仪器误差. 虽然这种做法不够精确,但它却有助于我们从量级上把握测量仪器的准确度. 现将普通物理实验中常用仪器的仪器误差(限)的约定取值方法列于表 2.

表 2 常用仪器的仪器误差(限)的约定取值方法

仪器类别	仪 器 名 称	约 定 取 值 方 法
长度测量 仪器	钢板尺	最小分度 (mm) 的 1/2
	游标卡尺	最小分度的 1/2
	千分尺	最小分度的 1/2
质量称衡 仪器	非自动天平	检定标尺分度值 ^① 的 1/2