

21 世纪应用型高等院校示范性实验教材

主 编 李雅丽
方靖淮

大学物理实验教程

DAXUEWULISHIYANJIAOCHENG

 南京大学出版社

04-33

175

2006

21世纪应用型高等院校示范性实验教材

大学物理实验教程

DAXUEWULISHIYANJIAOCHENG

主 编 李雅丽 方靖淮
编 者 范丽平 施建珍
凌邦国 朱兆青



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验教程. /李雅丽,方靖淮主编. —南京:
南京大学出版社,2006.12

21 世纪应用型高等院校示范性实验教材

ISBN 978-7-305-04889-0

I. 大... II. ①李... ②方... III. 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 (2006) 第 160304 号

出 版 者 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093
网 址 <http://press.nju.edu.cn>
出 版 人 左 健
丛 书 名 21 世纪应用型高等院校示范性实验教材
书 名 大学物理实验教程
主 编 李雅丽 方靖淮
责任编辑 孟庆生 编辑热线 025-83597482
照 排 南京南琳图文制作有限公司
印 刷 扬州鑫华印刷有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 17.75 字数 440 千
版 次 2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷
印 数 1—4500
ISBN 978-7-305-04889-0
定 价 29.00 元
发行热线 025-83592169 025-83592317
电子邮件 sales@press.nju.edu.cn(销售部)
nupress1@public1.ptt.js.cn

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购
图书销售部门联系调换

序

进入 21 世纪,随着社会经济的发展,各行各业对人才的需求呈现出多元化的特点,对应用型人才的需求也显得十分迫切,因此我国高等教育的建设面临着重大的改革.就目前形势看,大多数的理工科大学、高等职业技术学院、部分本科院校办的二级学院以及近年来部分由专科升格为本科层次的院校,都把办学层次定位在培养应用型人才这个平台上,甚至部分定位在研究型的知名大学,也转为培养应用型人才.

应用型人才是能将理论和实践结合得很好的人才,为此培养应用型人才需理论教学与实践教学并行,尤其要重视实践教学.

针对这一现状及需求,教育部启动了国家级实验教学示范中心的评审,江苏省教育厅高教处下达了《关于启动江苏省高等学校基础课实验教学示范中心建设工作的通知》,形成国家级、省级实验教学示范体系,意在促进优质实验教学资源的整合、优化、共享,着力提高大学生的学习能力、实践能力和创新能力.基础课教学实验室是高等学校重要的实践教学场所,开展高等学校实验教学示范中心建设,是进一步加强教学资源建设,深化实验教学改革,提高教学质量的重要举措.

我们很高兴地看到很多相关高等院校已经行动起来,除了对实验中心的硬件设施进行了调整、添置外,对近几年使用的实验教材也进行了修改和补充,并不断改革创新,使其有利于学生创新能力培养和自主训练.其内容涵盖基本实验、综合设计实验、研究创新实验,同时注重传统实验与现代实验的结合,与科研、工程和社会应用实践密切联系.实验教材的出版是创建实验教学示范中心的重要成果之一.为此南京大学出版社在为“示范中心”出版实验教材方面予以全面配合,并启动“21 世纪应用型高等院校示范性实验教材”项目.该系列教材旨在整合、优化实验教学资源,帮助示范中心实现其示范作用,并希望能够为更多的实验中心参考、使用.

教学改革是一个长期的探索过程,该系列实验教材作为一个阶段性成果,提供给同行们评议和作为进一步改革的新起点.希望国内广大的教师和同学能够给予批评指正.

孙尔康

2006 年 3 月

前 言

本教材按照江苏“省级基础物理实验教学示范中心”建设要求,结合学校的教学实际情况,汲取了原三校实验教材以及国内同类教科书的精华编写而成。

编写此教材的理念是以学生为中心,突出对学生基本能力的训练和创新思维、创新方法、创新能力的培养。在内容的安排上,分为基础实验理论、基础性实验、综合性实验和研究性实验4个部分。在撰写格式上,尽量减少实验原理中的物理理论和公式的推导,注重实验方法、实验操作技能和数据处理方法的介绍,并通过预习思考题引导学生自主学习,查阅资料,而且在数据处理中全部引用不确定度的概念,使学生掌握国际标准评价方法。该教材层次感强,既能使学生的实验基本技能得到训练,又能使学生在校期间科研能力得到一定的培养。

在教材编写过程中,参考了许多兄弟院校的实验教材和有关著作,同时力求符合实验教学实际,但由于我们编写水平有限,实践经验不足,缺点和错误在所难免,恳请读者提出宝贵意见。

物理实验教学是一项集体性工作,此次成书由李雅丽、方靖淮担任主编。李雅丽负责绪论、电磁学实验、研究性实验及附录等部分的编写;方靖淮负责基本实验理论部分的编写;施建珍负责光学实验的编写;范利平负责力学、热学实验的编写;朱兆青编写“密立根油滴仪”、“富兰克-赫兹实验”、“普朗克常数的测定”和“电介质介电常数的测定”等实验;凌邦国编写“工程杨氏弹性模量的测定”、“可控硅调光灯的设计与制作”、“用示波器观察波形和测位相差”和“直流稳压电源的设计与制作”等实验。

编 者

2006 年 7 月

目 录

绪论

第 1 章 基础实验理论

§ 1.1 测量及其分类	3
§ 1.2 误差及其分类	4
§ 1.3 不确定度	5
§ 1.4 有效数字	9
§ 1.5 数据处理	13
习 题	20

第 2 章 基础性实验

实验 2.1 长度的测量	22
实验 2.2 密度的测量	26
实验 2.3 气垫导轨上的碰撞研究	30
实验 2.4 牛顿第二定律的验证	33
实验 2.5 复摆振动研究	41
实验 2.6 用伸长法测量杨氏弹性模量	44
实验 2.7 热功当量的测定	48
实验 2.8 示波器的使用	51
实验 2.9 线性和非线性电阻元件伏安特性的研究	59
实验 2.10 用稳恒电流场模拟静电场	67
实验 2.11 心电图机的使用	70
实验 2.12 用惠斯通电桥测量电阻	75
实验 2.13 薄透镜焦距的测定	81
实验 2.14 分光计的调节与棱镜折射率的测定	87
实验 2.15 迈克尔逊干涉仪的调节和使用	95
实验 2.16 等厚干涉	102
实验 2.17 单缝衍射	108
实验 2.18 光的偏振	111
实验 2.19 生物、医学显微镜的使用	115

第3章 综合性实验

实验 3.1	用超声波法测量声音速度	120
实验 3.2	工程材料杨氏弹性模量的测量	127
实验 3.3	用扭摆法测定物体的转动惯量	131
实验 3.4	液体表面张力系数的测定	136
实验 3.5	用落球法测定液体粘滞系数	140
实验 3.6	金属线胀系数的测定	143
实验 3.7	用传感器法测定空气的比热容比	145
实验 3.8	良导体导热系数的测定	149
实验 3.9	磁场的描绘	152
实验 3.10	电表的改装与校正	156
实验 3.11	交流电桥	163
实验 3.12	用直流双臂电桥测量低值电阻	168
实验 3.13	灵敏电流计特性研究	172
实验 3.14	用霍尔元件测磁场	176
实验 3.15	铁磁材料磁滞回线及基本磁化曲线的测定	179
实验 3.16	电子束偏转的研究	183
实验 3.17	用板式电势差计测电源电动势及内阻	190
实验 3.18	用箱式电势差计校正电表	194
实验 3.19	电路控制研究与滑线变阻器的使用	198
实验 3.20	霍尔效应研究	203
实验 3.21	电介质介电常数的测定	207
实验 3.22	可控硅调光灯的设计与制作	210
实验 3.23	用示波器观察波形和测位相差	212
实验 3.24	直流稳压电源的设计和制作	219
实验 3.25	照相技术	221
实验 3.26	透射光栅特性研究	227
实验 3.27	单色仪的定标	232
实验 3.28	用双棱镜干涉测钠光波长	235
实验 3.29	普朗克常数的测定——光电效应实验	239
实验 3.30	富兰克-赫兹实验	245
实验 3.31	密立根油滴实验	250

第4章 研究性实验

§ 4.1	研究性实验概述	257
§ 4.2	实验方案选择的原则	257
§ 4.3	测量仪器的配套	259
实验 4.1	单摆的研究	259

实验 4.2 简谐振动研究	259
实验 4.3 热温变化的研究	260
实验 4.4 热敏电阻特性研究——设计和组装热敏电阻温度计	260
实验 4.5 光电技术研究实验——硅光电池的特性	261
实验 4.6 数字万用表设计与组装	261
实验 4.7 测微安表内阻	262
实验 4.8 微安表改装为多量程电流表并进行校正	263
实验 4.9 望远镜和显微镜的组装	263
实验 4.10 全息光栅的制作	264

附 录

I 正态分布与标准偏差	265
II 计算器在数据处理中的应用	265
III 实验报告范例——基本测量实验	268
IV 仪器误差限	271
V 基本物理常数	273

参考文献

绪 论

一、物理实验课的地位和作用

物理学是一门基础学科.多年来,物理学的发展不仅在自身的学科体系内派生出很多新的学科分支,而且它是许多新兴学科和高新技术产生、发展的基础和前导.物理学又是一门实验科学,物理学新概念、新规律的发现和确定主要依赖于实验,物理学的发展和创新无不与物理实验密切相关.因此,实验是物理学的基础,它反映了理工科及各个学科科学实验共性和普遍性的问题.

物理实验课程内涵丰富,覆盖广泛的学科领域,具有多样化的实验方法和手段以及综合性很强的基本实验技能训练,是对高等学校学生进行科学实验基本训练的一门独立的必修基础课程,是学生进入大学后进行系统实验方法和实验技能训练的一门科学实验课程.物理实验在学生创新意识和创新能力的培养中起着不可替代的重要作用,是提高学生科学素质的重要手段.

二、物理实验课的目的和任务

物理实验课的主要目的是通过本课程的教学使学生较为系统地学习物理实验的理论和方法,培养学生的动手能力,使学生得到实验技能的系统训练,具有从事科学实验的初步能力,为今后的学习和工作奠定坚实的物理实验基础.

物理实验的主要任务有以下三个方面:

1. 通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量,使学生了解和掌握物理实验的基本知识和基本方法,训练学生基本实验技能,培养学生运用实验方法、技能和良好的习惯去观察、发现、分析和研究、解决问题的能力,并能运用物理学原理和物理实验方法研究物理现象和规律,加深对物理原理的理解.

2. 培养和提高学生的科学实验能力,其中包括:

自学能力:能够自行阅读教材及参考资料,正确理解实验内容,作好实验前的准备;

动手能力:能够借助教材和仪器说明书,正确调试和使用实验仪器;

思维和判断能力:能够运用物理学理论,对实验现象进行初步的分析和判断;

书写表达能力:能够正确记录和处理实验数据,绘制图线,说明实验结果,撰写合格的实验报告;

简单的设计能力:能够根据课题的要求,确定实验方法,合理选择仪器,拟定实验方案.

3. 实验报告的撰写:

实验结束后,应及时撰写实验报告.实验结果是实验报告的重要环节之一.实验报告主要

包括以下几个方面:

(1) 实验前的预习

顾名思义,预习应在实验前完成.实验前应完成的内容:实验名称、实验日期、实验目的,实验所用的仪器及调试方法,实验原理(必须用简明扼要的语言文字叙述.通常教材可能过于详细,目的是便于学生阅读和理解.书写报告时不能完全照抄书本,应该用自己的语言进行归纳阐述.对所用的公式及其来源,写明简要的推导过程)及实验方法.然后在实验报告纸上“原始数据记录表格或原始图表粘贴”处,设计记录数据的表格.

(2) 实验内容及步骤

概括性地写出实验的主要内容或步骤,特别是关键性的步骤和注意事项.

(3) 数据处理

根据主要原理公式计算出最后的测量结果,也可采用列表法和作图法.对所得的数据能够进行不确定度分析,并能用有效数字正确的表示,一般均要求有主要的处理过程.

(4) 实验结果

最后的结果应包括测量值,不确定度和单位.

(5) 讨论和分析

一篇好的实验报告,除了有准确的测量记录和正确的数据处理、结论外,还应该对结果作出合理的分析讨论,从中找到被研究事物的运动规律,并且判断自己的实验或研究工作是否可信或有所发现.因此必须要对实验结果作出合理判断,分析实验中出现的奇异现象.如果出现偏离较大甚至很大的数据点或数据群,则应认真分析偏离原因,考虑是否将其剔除还是找出新的规律,最后对书中提出的思考题作出回答,也可谈谈实验的心得体会等.

第 1 章 基础实验理论

§ 1.1 测量及其分类

一、测量

测量就是将待测物理量与国际标准单位进行比较,其倍数即为物理量的测量值.在国际单位制中,规定了 7 个基本单位:质量的单位是千克,长度的单位是米,时间的单位是秒,电流的单位是安培,热力学温标的单位是开尔文,发光强度的单位是坎德拉,物质的量的单位是摩尔.

测量数据由数值与单位组成.一个数值只有赋予了物理单位才有具体的物理意义,才能表征特定的物理量.

二、测量的分类

根据获得测量结果的方法不同,将测量分为直接测量和间接测量;按测量条件不同,将测量分为等精度测量和不等精度测量.

直接测量:就是把待测物理量直接与标准量(仪器或量具)进行比较,直接读数,得到测量结果.例如用米尺测量物体的长度,用天平称量物体的质量,用安培计测量电路中电流等等,都属于直接测量.

间接测量:就是待测物理量无法直接与标准物理量进行比较、读数,只能利用直接测量与被测量之间的已知函数关系得到被测量物理量的值.例如测一段电路的电阻 R ,可通过测量这段电路的电流 I 和加在这段电路两端的电压 U 而得到,即 $R = \frac{U}{I}$. 这里 U, I 为直接测量量, R 为间接测量量.

等精度测量:就是指在测量条件相同的情况下进行的一系列测量.例如,由同一个人在同一台仪器上采用相同的测量方法,对同一个物理量进行多次测量,每次测量的可靠程度都是相同的,这就是等精度测量.

不等精度测量:就是指在测量条件不同的情况下进行的一系列测量,即不同的测量条件、不同的测量仪器、不同的测量方法、不同的测量次数、不同的测量人员等进行的测量.

§ 1.2 误差及其分类

一、误差

在确定的条件下,待测量具有的客观实际值叫真值.由于仪器、测量条件、环境影响等因素的局限,甚至物理量本身的起伏,测量值和真值之间总是存在一定的差异,这一差异叫误差.误差用绝对误差和相对误差来描述.

用 x_0 表示真值,用 x 表示测量值,则测量值 x 的绝对误差为

$$\Delta x = x - x_0,$$

它的单位与测量值相同,它反映了测量值偏离真值的大小和方向.

相对误差是绝对误差与真值之比,用下式表示:

$$\delta x = \frac{|\Delta x|}{x} \times 100\%.$$

相对误差是没有单位的,可以用来比较不同单位的几个物理量的相对精度.

二、误差的分类

按照误差的来源和性质的不同,一般将误差分为:系统误差、过失误差和偶然误差三类.

(一) 系统误差

系统误差是指实验系统(测量系统)在测量过程中和在取得其结果的过程中存在恒定的或按一定规律变化的误差.如秒表偏快、表盘刻度不均匀、尺子的刻度偏大、天平不等臂、米尺因为环境温度的变化导致米尺本身的伸缩等,这些均为仪器本身结构或环境变化导致的恒定的系统误差.又如在测量电阻的阻值时,电阻上因通过电流而发热,从而导致了电阻阻值的变化,这种变化是有一定规律的,因此这种误差便属于按一定规律变化的系统误差.

系统误差包含:仪器误差、理论和方法误差、个人误差等.

1. 仪器误差

由于仪器制造的缺陷、使用不当或者仪器未经很好校准所造成的误差.包含:示值误差、零值误差和回程误差等.

示值误差:显示值与真值差值.如秒表偏快、表盘刻度不均匀、尺子的刻度偏大、米尺因为环境温度的变化导致米尺本身的伸缩等,造成示值与真值之间的误差.

零值误差:在使用仪器时,仪器零位校准所产生的误差.如千分尺、电表等仪器的零位不准.

回程误差:由丝杠-螺母构成的转动和读数机构引起的误差.因螺母与丝杠之间螺纹间隙的存在,往往在测量刚开始或刚反向转动丝杠时,丝杠须转过一个角度(可能达几度)才能与螺母啮合,结果与丝杠连接在一起的鼓轮已有读数改变,而螺母带动的机构尚未产生位移,造成虚假读数,这种误差叫回程(空程)误差.为消除回程误差,必须待丝杠螺母啮合后,才能进行测量,所以在测量某一长度时,必须单向转动鼓轮,切勿忽正转,忽反转.

2. 理论和方法误差

实验所依据的理论和公式的近似性,或实验条件、测量方法不能满足理论公式所要求的条

件等引起的误差. 实验中忽略了摩擦、散热、电表的内阻等引起的误差都属于这一类.

3. 个人误差

由于测量者本身的生理特点或固有习惯所带来的误差, 例如反应速度的快慢、分辨能力的高低、读数习惯的不同等.

由于系统误差总是偏向一侧, 因此不能通过多次测量取平均来消除它, 可以通过校准仪器、对称测量以及测量结果作合理修正等加以排除或减小, 甚至可以消除.

(二) 过失误差

过失误差, 指实验者使用仪器的方法不正确, 实验方法不合理, 粗心大意, 过度疲劳, 读错、记错数据等引起的误差. 这种误差, 只要实验者采取严肃认真的态度, 就可以消除这种误差.

(三) 偶然误差(随机误差)

1. 偶然误差

在消除系统误差和过失误差的条件下, 对同一物理量作多次等精度测量, 其测量值有时偏大, 有时偏小. 当测量次数足够多时, 这种偏离引起的误差服从统计规律, 即离真值近的测量值出现的次数多, 离真值远的出现次数少, 而且测量值与真值之差的绝对值相等的测量值出现的概率相等. 当测量次数趋于无限多时, 偶然误差的代数和趋向于零. 因此, 增加测量次数可以减小偶然误差.

2. 偶然误差的特点

- (1) 具有有界性. 误差的绝对值不会超过某一最大值 $\Delta x_{\max}$.
- (2) 具有单峰性. 绝对值小的出现的概率大, 而绝对值大的误差出现的概率小.
- (3) 具有对称性. 绝对值相同的正、负误差出现的概率相等.
- (4) 具有抵偿性. 误差的算术平均值随着测量次数的无限增加而趋于零.

由此可见, 偶然误差虽然不可预知也无法避免, 但却可以通过多次测量, 利用其统计规律性达到互相抵偿, 从而找到真值的最佳近似值(又叫最佳值或最近真值).

3. 测量结果的最佳估计值(测量列的算术平均值)

在相同的测量条件下对某一物理量进行了 n 次独立的重复测量, 所得 n 个测量值为 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 则该测量列的算术平均值

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n).$$

§ 1.3 不确定度

由于真值不可及, 因此, 误差是一个理想概念, 无法通过测量给出. 因为误差贯穿测量过程的始终, 所以作为一个测量结果, 不仅要提供被测对象的量值大小和单位, 而且要对测量值的可靠程度作出判断. 不知道可靠程度的测量值, 是没有意义的. 1993 年我国修订了《测量误差及数据处理技术规范》; 2002 年, 中国实验室国际委员会制定了 CANL/AG07:2002《化学分析中不确定度的评估指南》, 该“指南”采用了 EURACHEM(欧洲分析化学中心)和 CITAC 联合发布的指南文件《测量中不确定度的量化》第二版的标准, 明确指出要用不确定度作为测量数据结果误差指标的名称.

一、不确定度

不确定度是对误差的估计,可以从测量数据中求出,用来描述实验结果的可靠程度,但不是实际误差,也不代表误差的绝对值,只提供了在概率含义下的误差可能取值范围的一种估计.因此实验数据处理只能求出实验的最佳估计值的不确定度.

不确定度:用于描述被测量值不能肯定的程度,是对被测量值的真值在某个量值范围的评定,不确定度用字母“ u ”表示.不确定度分为绝对不确定度和相对不确定度.

绝对不确定度是测量值与测量最佳估计值之差,单位与测量值单位相同,即

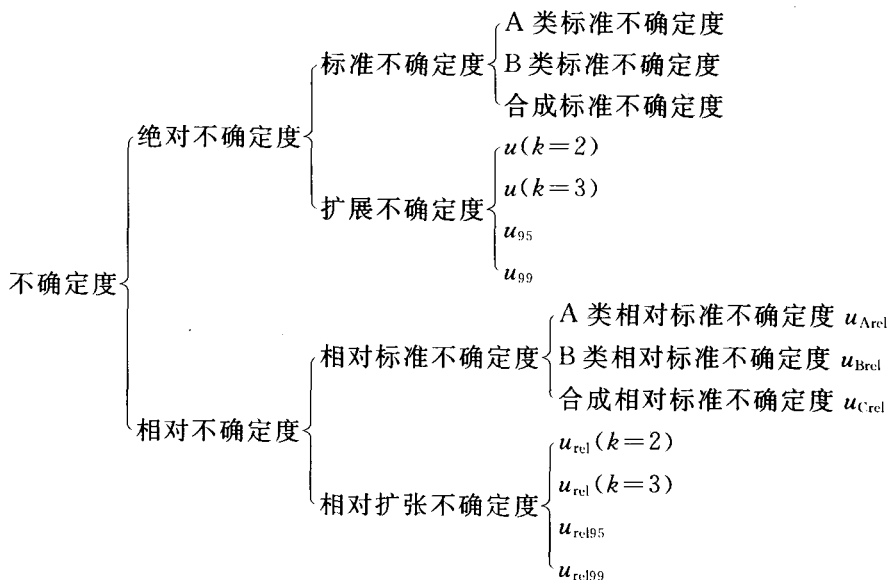
$$u = |x - \bar{x}|.$$

相对不确定度是绝对不确定度与测量列最佳估计值 $\bar{x}$ 之比,是一个无单位的数,可用于不同单位几个物理量测量准确度的比较,即

$$u_r = \frac{u}{\bar{x}} \times 100\%.$$

二、不确定度分类

不确定度按其数值评定方法的不同,可分为标准不确定度和扩展不确定度,分类见下表:
(表中 k 为仪表的等级)



在《大学物理实验》中仅考虑标准不确定度.标准不确定度又分为 A 类标准不确定度、B 类标准不确定度和合成标准不确定度.

三、不确定度的计算

(一) A 类标准不确定度

A 类标准不确定度是指在相同测量条件下,对待测物理量进行多次测量所得的最佳估计值的测量不确定度的评定,用“标准偏差”计算(关于“标准偏差”的计算请阅读本教材的附录),

用 u_A 表示.

设在相同条件下,对某一物理量独立测量 n 次,得到的测量列为 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$,则 A 类标准不确定度

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

(二) B 类标准不确定度

B 类标准不确定度的评定,原则上为除 A 类标准不确定度评定以外的各种可能值,是指用非统计方法评定的不确定度,用 u_B 表示.当在测量中几个误差分量同时存在时,各误差分量的变化均不随其他误差分量的变化而变化,则这些量是相互独立的.

当测量结果中所含的各来源标准不确定度是相互独立时,则 B 类标准不确定度的计算方法为

$$u_B = \sqrt{u_{B_1}^2 + u_{B_2}^2 + u_{B_3}^2 + \dots}.$$

当测量结果中所含的各误差分量是相互不独立时,则应用协方差方法计算.

在大学物理实验教学中,作为基本训练,将 B 类不确定度简单评定为仪器示值标准不确定度 $u_{B_1} = \Delta_{\text{ins}}$ 和仪器灵敏度标准不确定度 $u_{B_2} = \Delta_S$.

1. 仪器示值不确定度取舍的原则

仪器示值不确定度是指在正确使用仪器的条件下,仪器可能出现的最大不确定度.

示值不确定度等于计量器具示值的绝对不确定度除以仪器的测量范围的上限,或零点两侧测量范围之和.

通常按以下四种方法确定:

(1) 有刻度的仪器,如未标出精度(等级)的仪器,取其最小分度值一半为测量不确定度限.例如, $u(x) = \frac{e}{2}$, e 为最小分度值.

例 1 若米尺的分度值为 1 mm,属于连续读数仪表,则仪器示值不确定度为分度值的一半,即 0.5 mm.

(2) 标有精度的仪器,将精度作为测量不确定度.

例 2 精度为 0.02 mm 的游标卡尺,仪器的示值不确定度为 0.02 mm.

例 3 若用 1 级千分尺测某物体长度(一次)为 15.536 mm(尾数 6 是估计值).千分尺的最小分度值为 0.01 mm,则仪器的示值不确定度为 ± 0.004 mm,故将单次测量结果写成

$$L = (15.536 \pm 0.004) \text{ mm}.$$

(3) 有精度等级的仪器仪表,按精度等级计算不确定度.

例如,电工仪表精度等级分为:0.1,0.2,0.5,1.0,1.5,2.5 和 5.0 等 7 级,就是以所属仪表的示值不确定度为标志的.对于 k 级仪表,表明其合格仪表的示值不确定度不超过 $k\%$,但不能认为各刻度点上的示值不确定度都是 $k\%$.如某仪表的满刻度值为 x_n ,测量点的值为 x ,则该仪表在 x 值邻近的示值不确定度为

$$\text{绝对不确定度} \leq x_n \cdot k\%; \text{相对不确定度} \leq \frac{x_n}{x} \cdot k\%.$$

(4) 数字显示的仪器仪表,一般取最小分度值为测量不确定度限,对于 5 位以上的精密数

字仪表,按仪表说明书取测量不确定度限.

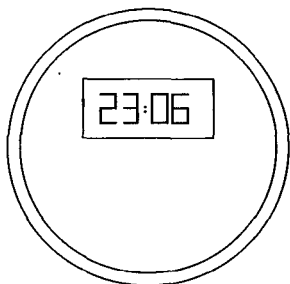


图 1-3-1 电子秒表

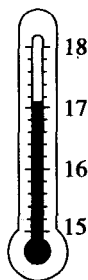


图 1-3-2 温度计

例 4 电子秒表图 1-3-1 表示的时间为

$$(23.06 \pm 0.01) \text{ s}.$$

因为电子秒表为非连续读数仪表,它的最小分度为 0.01 s ,则仪器不确定度为 0.01 s .

例 5 液体温度计如图 1-3-2 所示,说明书给出仪器误差为 0.2°C ,故应表示为

$$(17.1 \pm 0.2)^\circ\text{C}.$$

2. 仪器灵敏度标准不确定度的估算方法

电桥、电位差计等做平衡指示的仪器,当电路平衡时,若待测量的样品发生微小变化,平衡指示器也会发生相应的微小变化.由于人眼分辨能力无法准确判断平衡指示仪是否准确指零,当指针在零位置附近的一个小范围 δ 内,测量者往往会认为已经平衡,则由此产生了灵敏度误差限

$$\Delta_s = \frac{\delta}{S}.$$

式中 Δ_s 为灵敏度误差限, S 为仪器(或电路)的灵敏度, δ 一般取 0.2 格.

灵敏度标准不确定度为 Δ_s .

3. B 类不确定度计算

B 类不确定度计算公式为

$$u_B = \sqrt{\Delta_{\text{ins}}^2 + \Delta_s^2}.$$

(三) 合成标准不确定度

合成标准不确定度用 u_c 表示.若某测量结果的 A 类和 B 类标准不确定度分别为 u_A, u_B , 则合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{u_A^2 + u_{B_1}^2 + u_{B_2}^2} = \sqrt{u_A^2 + \Delta_{\text{ins}}^2 + \Delta_s^2}.$$

注意:式中 $u_A^2, \Delta_{\text{ins}}^2, \Delta_s^2$ 这三项每次并非同时都出现,要视情况而定.

(1) 当对被测量值只测量一次时,则 u_A^2, Δ_s^2 两项就不会出现,此时 $u_c = \Delta_{\text{ins}}$;

(2) 当测量中没有使用平衡指示器类仪器时,则灵敏度标准不确定度 Δ_s 就不会出现,合成标准不确定度 $u_c = \sqrt{u_A^2 + \Delta_{\text{ins}}^2}$;

(3) 合成标准不确定度取一位有效数字.

(四) 不确定度

1. 置信概率

把标准不确定度乘以一个与一定置信概率相联系的包含因子(覆盖因子) k ,称为不确定度,则 $u = ku_c$.

当 $k=1$ 时,置信概率为 68.3%,即测量值落在 $(\bar{x}-u_c, \bar{x}+u_c)$ 范围的概率为 68.3%;

当 $k=2$ 时,置信概率为 95.0%,即测量值落在 $(\bar{x}-2u_c, \bar{x}+2u_c)$ 范围的概率为 95.0%;

当 $k=3$ 时,置信概率为 99.7%,即测量值落在 $(\bar{x}-3u_c, \bar{x}+3u_c)$ 范围的概率为 99.7%.

2. 不确定度

对于近似正态分布的实验数据,若包含因子 $k=3$,则不确定度 $u=3u_c$,则实验结果表示为:测量值=最佳估计值 $\pm$ 不确定度,即

$$x = \bar{x} \pm u = (\bar{x} \pm 3u_c) (\text{单位}),$$

即测量值在 $(\bar{x}-3u_c, \bar{x}+3u_c)$ 的范围概率为 99.7%.

四、百分差

当被测量 x 有准确真值(如光速)或有准确的公认值(如当地的重力加速度)和理论值时,设其值为 x' ,则百分偏差为

$$E'_x = \frac{|x - x'|}{x'} \times 100\%.$$

百分偏差反映了测量值偏离真值的程度.若百分偏差远大于相对不确定度,说明数据处理可能遗漏了较大的标准不确定度评定,应用前面介绍的方法去查找原因.

§ 1.4 有效数字

有效数字的概念是由测量值和量具所决定的,任何测量结果都存在有效数字的问题.所谓有效数字,就是测量结果中的若干可靠数字加上一位估读数字组成的数字.有效数字的最后一位为估读位,具有不确定性.测量结果的表示,必须采用正确的有效数字.不能多取,也不能少取.少取了会损害测量的精度,多取了则又会夸大测量的精度.

一、记录数据的方法

(一) 指针介于两个刻线之间的读数方法

在测量时,测量值往往不是恰好等于所用仪器最小刻度值的整数倍,而是介于两个刻度线之间.为了使测量结果尽可能的准确,必须对指针在两个刻线之间作出合理的估计.如图 1-4-1 所示,电流表上的指针指示介于 18 与 19 之间,故读出的测量值可能为 18.6 A, 18.5 A, 18.7 A 三种值.这种差异只能出现在最后一位上,因为这一位的 6, 5 或 7 是估计出来的,称为估计位.前面两位一般是不会读错的,因此,前两位称为可靠位.图 1-4-1 的测量结果表明电流为 18.6 A 有三位有效数字.