

高等农林院校精品课程建设教材

GAO DENG NONG LIN YUAN XIAO JING PIN KE CHENG JIAN SHE JIAO CAI

辽宁省“十五”教育科学规划研究课题

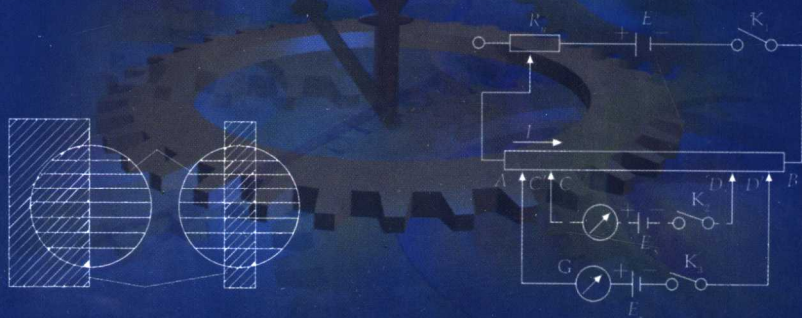
“国内外高等农、林、医、药类院校基础物理课程设置比较研究”成果

物理学

WU LI XUE SHI YAN

实验

张秀燕 李 辛 主 编
刘向峰 张 宇 副主编



中国农业大学出版社

高等农林院校精品课程建设教材

辽宁省“十五”教育科学规划研究课题
“国内外高等农、林、医、药类院校基础物理课程设置比较研究”成果

物 理 学 实 验

张秀燕 李 辛 主编
刘向峰 张 宇 副主编

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理学实验/张秀燕,李辛主编. —北京:中国农业大学出版社,2004.12

ISBN 7-81066-821-8/O·43

高等农林院校精品课程建设教材

I. 物… II. ①张… ②李… III. 物理学-实验 IV. 04-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第109590号

书 名 物理学实验

作 者 张秀燕 李 辛 主编

策划编辑 张秀环

责任编辑 洪重光 冯雪梅

封面设计 郑 川

责任校对 王晓凤

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 100094

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 caup @ public. bta. net. cn

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2004年11月第1版 2004年11月第1次印刷

规 格 787×980 16开本 11印张 198千字

印 数 1~4 050

定 价 14.50元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

编写人员

主 编 张秀燕 李 辛

副主编 刘向峰 张 宇

编 者 王 薇 富 岩 马冠雄 王远景 任师兵 王传杰

内 容 简 介

本书是根据高等农林医药院校物理课程基本要求及 21 世纪教学改革的需要而编写的,在普通物理实验中精选出 13 个与农林医药专业关系密切的实验,另外增加了恒温自动控制、光吸收系数的测定、用摄谱仪分析发射光谱、质谱仪、核磁共振、放射性强度的测定等实验内容,以满足这类院校的专业研究日益现代化对物理知识的需求。本书可作为农林医药院校物理实验教材或教学参考书。

前 言

现代农、林、医、药学科的研究方法、测试仪器的应用对物理知识的需求已大大超过普通物理学的范围,涉及到光谱学、无线电电子学、量子力学等多个学科。为了适应这种发展的需求,这类院校物理课程的改革势在必行。本书在物理实验教学改革方面做了一些探索,在普通物理实验中筛选出一些与农、林、医、药等生物类专业关系密切的实验项目,如:液体表面张力系数的测定、液体黏滞系数的测定、材料导热系数的测定、阿贝折射计、用旋光仪测糖溶液的质量浓度等;增加了普通物理之外的恒温自动控制、用摄谱仪分析发射光谱、光吸收系数的测定、质谱仪、核磁共振、放射性强度的测定等内容。

本书实验原理、仪器描述写得较为详细,以培养学生的自学和认知能力;实验步骤写得较为简略,以锻炼学生动手动脑能力和独立操作技能。每个实验都列出一定量的思考题,通过回答这些问题,可使学生将实验现象,实验原理,仪器构造、功能及使用,数据处理等相互联系、融会贯通为一个有机的整体,提高学生的观察能力,理论与实际相结合的能力,发现问题、分析问题和解决问题的能力。

为了培养学生的创新能力,学会应用物理理论研究和解决实际问题,本书还增加了实验设计指导的内容,使学生了解实验设计的基本思路和原则,实验实施的步骤和注意的问题,充分培养学生的兴趣、发挥学生的创造性,并给出的一些实验设计题目,以起到启发思路、抛砖引玉的作用。

我们的目的是在提高学生综合素质的过程中发挥物理实验的重要作用,培养适应21世纪农、林、医、药需求的人才,使之成为推动这些学科发展的生力军。

本书由沈阳农业大学张秀燕、沈阳药科大学李辛任主编,刘向峰、张宇任副主编,参加编写的有王薇、富岩、马冠雄、王远景、任师兵、王传杰等。

沈阳农业大学李玉侠教授主审。

书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2004年9月

目 录

绪论	1
一、物理学实验的意义和任务	1
二、学生实验守则	4
误差与有效数字	5
一、测量与误差	5
二、误差的估算 测量结果的表示	6
三、有效数字及其运算	12
实验一 长度测量	18
实验二 万用表、验电笔的原理和使用	23
一、MF47 型万用电表的使用	23
二、数字万用电表简介	27
三、低压验电笔使用及低压电路保险丝更换	29
附录一 电阻阻值的标识	31
附录二 机电式直读仪表的误差及准确度等级	31
附录三 常见电器仪表面板上的标记	32
实验三 恒温自动控制	33
实验四 用 UJ31 型箱式电位差计测温差电动势	41
附录一 标准电池电动势的温度修正及使用注意事项	47
附录二 用线性回归方法进行数据处理	48
实验五 电子示波器的应用	49
实验六 用霍耳元件测螺线管内的磁场 高斯计的使用方法	59
附录 CT3 型交直流高斯计	65
实验七 阿贝折射计	67
实验八 分光计的调节和使用	75
实验九 迈克尔逊干涉仪	84
实验十 用旋光仪测糖溶液的质量浓度	96
实验十一 等厚干涉	102
附录 逐差法简介	107

实验十二 放射性强度的测定	108
实验十三 用转动惯量实验仪测定刚体的转动惯量	116
实验十四 液体黏滞系数的测定	121
一、落球法测液体的黏滞系数	121
二、毛细管法测液体的黏滞系数	123
实验十五 液体表面张力系数的测定	125
一、用拉脱法测液体表面张力系数	125
二、用毛细管法测液体表面张力系数	128
实验十六 材料导热系数的测定	130
实验十七 光吸收系数的测定	133
附录 叶绿素色素溶液制备	136
实验十八 用摄谱仪研究发射光谱	137
实验十九 质谱仪	143
实验二十 核磁共振	149
实验二十一 光电效应及普朗克常数的测定	154
实验设计指导	159
一、确定实验任务	159
二、选择实验方案	159
三、实验设备 材料准备	159
四、实验步骤的拟定	160
五、实验的具体实施及应注意的问题	160
六、实验数据的整理与分析	160
七、实验之后的总结	161
附表	162
表1 物理学常用常数	162
表2 常用光源的光谱线波长	163
表3 在 20℃ 时跟空气接触的液体的表面张力系数	163
表4 液体的黏滞系数	164
参考文献	165

绪 论

一、物理学实验的意义和任务

(一)物理实验的地位和作用

物理学研究的是自然界物质的最基本最普遍的运动形式。物理学研究的运动,普遍地存在于其他高级的复杂的物质运动形式(如生物的、化学的等)之中,因此,物理学所研究的物质运动规律,具有最大的普遍性。原子能、电子计算机、半导体、空间科学等新技术时代的到来,物理学的功绩不可低估。物理学在科学技术乃至思维的发展中,起着极其重要的作用,对人类文明产生巨大的影响。物理学是自然科学和工程科学的基础。

物理学本身是一门以实验为基础的科学,实验物理学已成为物理学的重要分支。物理学的规律和理论,都是实验事实的总结,必要时还要通过实验来检验和修正。例如,麦克斯韦的电磁场理论,是建立在法拉第等科学家长期实验的基础上的。赫兹的电磁波实验,又使得理论得到普遍的承认和广泛的应用。又如,物理学家杨振宁、李政道在1956年提出了基本粒子在“弱相互作用下的宇称不守恒”理论,也只是在实验物理学家吴健雄用实验证实后,才得到国际上的公认。当实验结果与理论发生矛盾时,还需进行进一步的实验,以便修正理论。所以实验是理论的源泉。

实验是在人工控制下,模拟自然现象,使现象重演,从而仔细地观察和探测。借助实验,可以突破感观的局限,扩展认识的境界。大到天体,小到基本粒子,都可以通过各种仪器进行直接或间接地观察和测量。科学技术越进步,科学实验就显得越重要。任何一种新技术、新材料、新工艺、新产品都必须通过科学实验才能获得。作为研究自然界物质运动最普遍形式的手段的物理实验,正在科学实验中充当着铺路石的作用。同时,科学实验的新成果,又不断向物理实验提供先进的测量手段,使物理实验向高精度方向发展。

现在人类社会已进入到高科技时代。高科技是知识和技术的集成,而高科技的竞争,最终是人才的竞争。培养高质量的人才,是当今世界面临的共同课题。同时,随着市场经济的建立,社会对人才需求的选择意识日益强化,需要智能型、创造型

人才。四化建设需要的是既有丰富的理论知识,又有扎实的实验技能的全面发展的人才。

物理实验课是学生进入大学后系统学习科学实验知识和技能的开端,是后续实验课程的基础,它在培养学生用实验手段去发现、观察、分析和研究问题,最终解决问题的能力方面将起着至关重要的作用。

(二)物理实验课的目的和任务

通过对实验现象的观察分析和对物理量的测量,使学生掌握物理实验的原理、测量方法,初步培养学生的科学实验能力和良好的素养,它包括:

(1)借助仪器说明书和实验指导书,熟悉常规仪器的原理和正确的使用方法,并初步学会分析仪器及实验条件对结果的影响,学会简单故障的排除方法。

(2)初步学会运用物理学理论,观察、分析、判断物理现象。

(3)学会正确地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。

(4)在掌握了一定实验技能的基础上,初步培养设计实验的能力,即根据选题的目的和要求,学会制定合理的实验方案,选择合适的仪器,拟定切实可行的实验程序。

(5)培养严肃认真、细致严谨、一丝不苟、实事求是的科学态度。提倡自觉、主动、创造性地获取知识。反对粗枝大叶,不求甚解,甚至敷衍了事、拼凑数据的错误做法。

(6)实验室是科学实验的重要场所,必须培养遵守纪律、遵守一切规章制度的良好习惯和爱护国家财产的优良品德,反对一切不文明的行为。

(三)怎样学好物理实验课

物理实验主要分成三个环节,即实验前的预习、实验中的操作、实验后的报告,具体要求如下:

1. 实验前的预习。预习是进行实验的基础。预习时首先要认真阅读教材中的有关章节及附录,明白实验的目的、要求,正确理解实验所依据的原理和采用的方法,初步了解实验仪器的主要性能、使用方法和操作注意事项。没有课前的充分预习,在实验课上有限的时间内,就不能充分利用实验条件进行实验能力的训练,甚至完不成规定的实验内容。

要做好预习报告。内容应包括:①实验名称;②原理摘要(包括主要原理公式及扼要说明词,电学实验应画出电路原理图,光学实验应画出光路图);③主要仪器设

备;④注意事项摘要;⑤回答预习题目;⑥列出记录数据用表格。

上课时,教师将检查学生预习情况。对于没有预习和未完成预习报告的学生,教师有权停止该生本次实验。

2. 实验中的操作。实验操作是实验的主要内容,是培养科学实验能力的主要环节。进入实验室后,必须遵守实验室规则,服从实验室工作人员和教师的指导。对于严重违反实验室规则者,教师应停止其实验,并按有关规定处理。

实验时,首先应核对所有将要使用的仪器并进行登记。然后对照实物认识仪器、装置的主要构造,了解其功能,量程,级别,各可调节部分如旋钮、开关的位置、作用与仪器内部构件的关系,操作方法和注意事项。连接电路或排设光路时都必须检查,经确认准确无误后,才能开始实验。起初可做试验性探索操作,粗略地观察一下实验过程和数据状况,若无异常现象,便可进行实验。如有异常现象,应立即切断电源,认真思考,分析原因,并向教师反映,待异常情况排除后,再开始进行实验。

实验中,认真观察实验现象,注意实验现象随仪器调节的变化,认真比较、合理解释、正确判断所观察到的实验现象的形成及变化,找出最佳的测定状态。如实、及时地记录数据和现象,其中包括主要仪器的名称、型号、级别及实验环境条件等。记录数据必须注意有效数字和单位。必须用钢笔或圆珠笔将数据记录在预习报告的数据表格中,不要使用铅笔,如记录的数据有错误,可用一斜线划掉后,把正确的数据写在其旁边,但不允许涂改数据。

操作完成后,应将实验记录交教师审阅,经教师签字后,方可整理复原仪器,离开实验室。

3. 实验后的报告。实验报告是实验工作的简明总结,要求用统一规格的实验报告纸书写,字体要端正,文句要简练,图表要按规定格式绘制。预习报告和上机表格作为附件,随报告一起在下次实验时交教师批阅。

实验报告一般包括以下几部分:

①实验名称;②实验目的;③简要原理及计算公式;④实验数据表格、数据处理计算过程、作图及实验结果等,其中要特别注意有效数字和单位的正确表达;⑤实验现象分析、误差的评估及讨论等。讨论可以包括讨论思考题、提出改进建议及心得体会等。

最后要把整个实验由原理到仪器构造、作用、使用和实验现象及其变化作一回顾,使各部分有机地联系起来,从中学习实验设计的方法。

二、学生实验守则

(1) 实验前认真预习,按时上实验课,有事提前请假。

(2) 进入实验室必须衣着整洁、保持安静,严禁闲谈、喧哗、吸烟、随地吐痰。不得随意动用与本次实验无关的仪器设备。

(3) 遵守实验规则,服从教师指导,按规定和步骤进行实验,如欲尝试其他方法,须经教师允许后方可实施。认真观察和分析实验现象,如实记录实验数据,不得抄袭他人的实验结果。

(4) 爱护仪器设备,使用之前要进行核准登记,未经允许,不得动用他人或闲置仪器。节约用水、电、元器件等。注意安全,严格遵守操作规程。凡违反操作规程或粗心大意、盲目乱动而造成仪器设备损坏等事故者,必须写出书面检查,并按学校有关规定赔偿损失。

(5) 在实验过程中要密切注意实验现象或仪器工作是否正常,若仪器设备发生故障,应停止操作立即报告实验指导人员。同时自己要分析原因,设计出解决方案。经指导教师许可,自己动手排除故障,如果自己找不到原因,可由指导教师帮助解决。对损坏仪器抱有侥幸逃避责任心理、隐瞒不报者,经指导教师或下一组实验者发现,要加倍处罚。

(6) 实验完毕,应自觉整理好实验用品,切断电源、水源,清扫好实验场地。

(7) 按指导教师要求,及时认真完成实验报告。凡实验报告不合格者,均须重做。平时实验成绩不及格者,不得参加物理实验课考试。

误差与有效数字

在实验中,由于受方法、仪器及实验者的技能的限制,误差总是难免的。测得的数据的有效位数也是有限的。因此,在实验过程中和处理结果时,只有按规则读取和处理数据,合理地分析误差的大小,才能得到符合实际情况的实验结果。

一、测量与误差

(一)测量

测量分直接测量和间接测量两种。

1. 直接测量。用仪表直接读出测量值的测量,叫直接测量;相应的物理量叫直接测得量。如用米尺测量物体的长度,用天平测量物体的质量等。

2. 间接测量。很多物理量,没有对它直接读数用的仪表,只能利用一些直接测得量,根据一定的公式计算出其大小来。这样的测量叫间接测量,相应的物理量叫间接测得量。例如,先用游标卡尺测出小钢柱的高度和直径,用天平称出它的质量,然后由公式 $\rho = 4M/\pi d^2 h$ 计算出它的密度就是一种间接测量。

(二)测量的误差

测量总是有误差的。任何物理量自身都有各种各样的特性,反映这些特性的物理量,具有客观的真实数据,叫做真值。测量的目的就是要力图得到真值。但是测量总是在一定的条件下,通过一定的方法和仪器,由实验者去完成的。由于测量技术的限制,实验理论和方法的不完善,以及实验者的技能、习惯等原因,通过有限的实验手段所得的测量值与真值总有差别,我们把测量值与真值之差定义为误差。用下式表示

$$\Delta N_i = N_i - N_0$$

式中: N_i 为某次测量值; N_0 为真值; ΔN_i 为误差。 ΔN_i 可为正,叫正误差; ΔN_i 也可负,叫负误差。

(三)误差分类

根据误差的性质及产生的原因,可将误差分为系统误差、偶然误差两类。

1. 系统误差。由下列原因引起的误差叫系统误差。

(1)仪器误差。这是由于仪器本身的缺陷或没有按规定使用仪器造成的。如刻度不均,零点未调准等。

(2)理论、实验方法误差。这是由于实验所根据的理论的近似性或使用的方法不完善所带来的误差。如根据公式测单摆的周期,用伏—安法测电阻时未考虑电表内阻的影响等。

(3)个人误差。这是由于实验者的生理或心理特点造成的。

系统误差的特点是:它的出现是有规律的,或者全部测量值都大于真值,也可能都小于真值。因此,增加测量次数并不能减小系统误差。只有核准仪表,改进实验方法,或在计算公式中引入修正项等才能减少和消除系统误差。

2. 偶然误差。由于偶然的或不确定的因素所造成的每一次测量值的无规则的涨落称为偶然误差。所谓偶然因素指的是温度的起伏、外界引起的振动、气流的扰动、杂乱电磁场影响、估读不准等。

偶然误差的存在使每次测量值偏大或偏小。但是大量的实践证明,在相同条件下,对某一待测量进行多次重复测量,其结果服从正态分布规律。由此可知:

(1)小误差比大误差出现的机会多,而且非常大的正误差或负误差出现的机会趋于零。

(2)大小相等、符号相反的正负误差出现的机会相等。

(3)全部可能的误差总和趋于零。因此,增加测量次数,可以减小偶然误差。

系统误差决定测量的准确度,偶然误差反映测量的精密度,系统误差和偶然误差共同决定测量的精确度。

综上所述,测量结果的误差,是各种因素引起误差的总和,误差总是贯穿于实验的始终,只有综合考虑系统误差和偶然误差对实验的影响才是全面的。但对一般实验,在实验前对系统误差均做过处理(消除或修正),下面我们只着重讨论偶然误差的计算、表示问题。

二、误差的估算 测量结果的表示

(一)单次直接测量误差的估算

在物理实验中,有时候由于条件不允许,不能进行多次重复测量,或对测量的

精密度要求不高等原因,对某一物理量的测量只进行一次。在这样的情况下,可按仪器出厂检验书或仪器上直接注明的仪器误差作为单次测量的误差,也可取仪器最小分度值的一半作为单次测量的误差。

(二)多次直接测量的算术平均值及误差

由于偶然误差存在于每一次测量之中,为了减少偶然误差,在可能的情况下,总是采用多次测量,将各次测量的算术平均值作为测量结果。例如,在相同条件下对某物理量 N 进行 K 次重复测量,其测量值分别为 $N_1, N_2, N_3, \dots, N_K$ 。用 $\bar{N}$ 表示算术平均值,则:

$$\bar{N} = \frac{1}{K}(N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_K) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K N_i$$

根据偶然误差的统计理论,在一组 K 次测量的数据中,算术平均值 $\bar{N}$ 最接近于真值,称为测量的最佳值或近真值。当测量次数无限增加时算术平均值就无限接近于真值。即:

$$N_0 = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K N_i = \bar{N}$$

误差是测量值与真值之差,而测量值与算术平均值之差称为“偏差”,两者是有区别的。但当测量次数很多时,算术平均值就愈接近真值,“偏差”就接近误差,两者就没有严格区别的必要性了。

偶然误差常用下列方法估算:

1. 算术平均误差。设测量值 N_i 与平均值 $\bar{N}$ 的误差为 $d_i (i=1, 2, 3, \dots, K)$, 即:

$$d_1 = N_1 - \bar{N}$$

$$d_2 = N_2 - \bar{N}$$

...

$$d_K = N_K - \bar{N}$$

则算术平均误差的定义是:

$$\Delta N = \frac{1}{K}(|d_1| + |d_2| + |d_3| + \dots + |d_K|) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K |d_i|$$

2. 标准误差。根据统计理论,多次测量中某一次测量的标准误差为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^K (N_i - \bar{N})^2}{K - 1}}$$

多次测量的平均值的标准误差为：

$$\sigma_{\bar{N}} = \frac{\sigma}{\sqrt{K}} = \sqrt{\frac{1}{K(K-1)} \sum_{i=1}^K (N_i - \bar{N})^2}$$

算术平均误差和标准误差都可作为测定值误差的量度，它们都表示在一组多次测量数据中，各个数据之间的分散程度。如果各个数据之间的差别较大，那么，其算术平均误差 ΔN 和标准误差也都较大，这说明测量不精密，偶然误差较大。

在上述两种误差的计算方法中，标准误差是由偶然误差理论中的高斯误差分布函数推导出来的。因此在科研中的误差分析和计算都采用标准误差作为偶然误差大小的量度。这是目前通用的，所以叫做标准误差。对于初学者来说，主要是掌握误差的概念和对实验进行粗略简明的分析，因此可采用算术平均误差来进行误差的分析和运算，这样做简单一些。

多次测量的结果用两种误差表示为：

$$N = \bar{N} \pm \Delta N \quad \text{或} \quad N = \bar{N} \pm \sigma_N$$

式中： N 为某一被测物理量的测定值； $\bar{N}$ 为多次测量数据的算术平均值（近真值）； ΔN 为算术平均误差（又称平均绝对误差）， ΔN 值小代表每次测量值与真值的误差小，反之，则误差大； $\pm$ 号表示真值在范围 $(\bar{N} - \Delta N \sim \bar{N} + \Delta N)$ 内； σ 为标准误差，代表多次测量数据的分散程度； σ_N 表示测量平均值的分散程度。根据统计理论真值在 $\bar{N} \pm \sigma_N$ 区域内的几率为 68.3%，而在 $\bar{N} \pm 2\sigma_N$ 区域内的几率为 95.4%。

3. 绝对误差与相对误差。上列式子中的 ΔN 或 σ_N 都是以误差的绝对数值表示测定值的误差，称为绝对误差。但为了评价一个测量结果的优劣，还需要考虑被测量值本身的大小，为此，还需要引入相对误差的概念。

相对误差的定义为：

$$E_r = \frac{\Delta N}{\bar{N}} \quad \text{或} \quad E_r = \frac{\sigma_N}{\bar{N}}$$

相对误差也可用百分数来表示，即：

$$E_r = \frac{\Delta N}{\bar{N}} \times 100\% \quad \text{或} \quad E_r = \frac{\sigma_N}{\bar{N}} \times 100\%$$

故又称为百分误差。例如,测得两个物体的长度分别为:

$$L_1 = (23.50 \pm 0.03) \text{cm}$$

$$L_2 = (2.35 \pm 0.03) \text{cm}$$

则它们的相对误差分别为:

$$E_{r1} = \frac{0.03}{23.50} \times 100\% \approx 0.2\%$$

$$E_{r2} = \frac{0.03}{2.35} \times 100\% \approx 2\%$$

比较两者,绝对误差相等;但从相对误差来看,后者比前者大10倍。因此第一个测量更准确些。

相对误差与绝对误差之间的关系为:

$$\Delta N = E_r \bar{N} = \frac{\Delta N}{\bar{N}} \times \bar{N}$$

相对误差与绝对误差间的相互换算,在实际工作中经常遇到,必须熟练掌握。

当被测量的物理量有公认标准值或理论值时,在实验结果的数据处理中,还常常把测量值与公认值或理论值进行比较,并求出相对误差,即:

$$E_r = \frac{|\text{测量值} - \text{理论值}|}{\text{理论值}} \times 100\%$$

绝对误差一般取一位有效数字,其下一位不分大小一律进位。相对误差一般取两位有效数字。

(三)间接测得量的误差计算

间接测得量是通过一定的公式计算得来的,既然公式中所包含的各个独立的直接测得量都是有误差的,那么间接测得量也必然有误差。

1. 算术平均误差的传递公式。设 N 为间接测得量,而 $A, B, C, \dots$ 等均为直接测得量。若它们之间满足一定的函数关系,即:

$$N = f(A, B, C, \dots)$$

如各直接测得量表示为:

$$A = \bar{A} \pm \Delta A, B = \bar{B} \pm \Delta B, C = \bar{C} \pm \Delta C, \dots$$