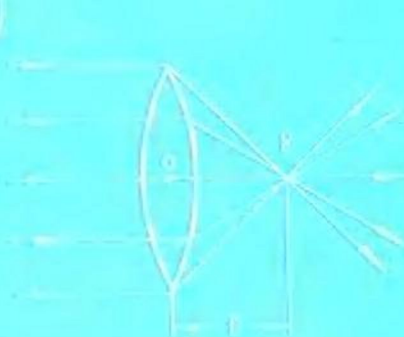
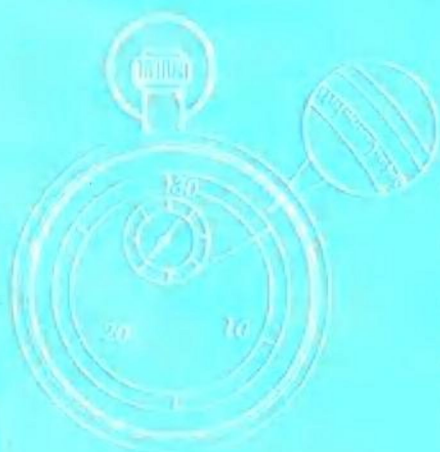
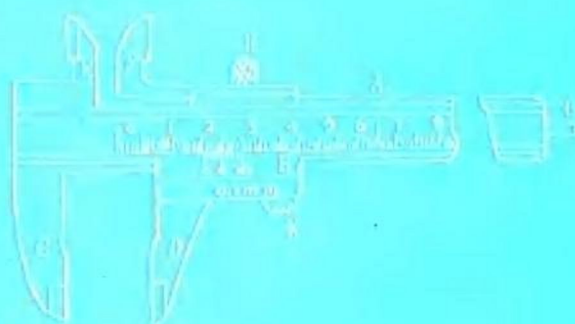
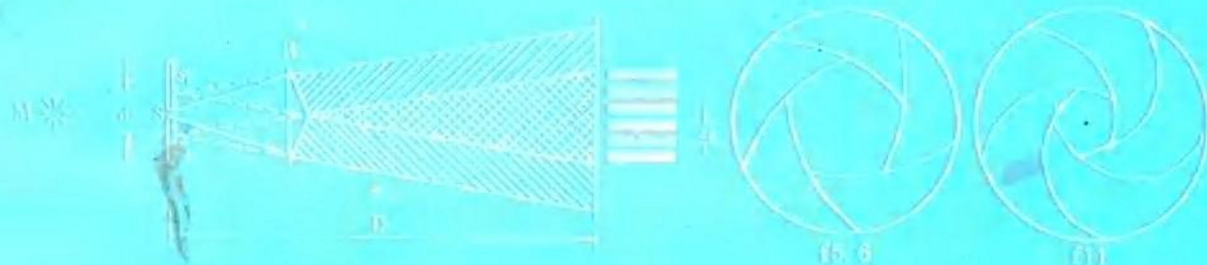


大学物理实验

刘隆鉴 王文周 李谷波 编写



成都科技大学出版社

大学物理实验

刘隆鉴 王文周 李谷波 编写

成都科技大学出版社

(川)新登字 015 号

责任编辑:盛宇康

封面设计:孟章良

大学物理实验

刘隆鉴 王文周 李谷波 编

成都科技大学出版社出版发行

冶金部西南勘察局测绘制印厂

开本 787×1892 1/16 印张 15.75

1997年 1月 第 1 版 1997年1月 第一次印刷

印数:1—5000 册 字数:363 千字:

ISBN7-5616-3318-1/O·236

定价:13.50 元

内容简介

本书是在四川工业学院为工科物理实验课程开出的实验的基础上,根据全国工科物理实验课程指导小组在 1993 年修订的基本要求编写的。

本书收入了四川工业学院物理实验教师在物理实验方面的最新研究成果和对某些实验进行专门研究的结果,如“坏值的剔除”理论、“液位传感实验研究”、“落球法测液体的粘度系数实验研究”、“牛顿环的研究”、“测定伏安特性曲线的方法研究”、“示波器测磁滞回线”和“液体比热容的测量办法”等。

书中介绍了误差(以及不确定度)与数据处理的基本知识;收集编著了具有代表性和普遍意义的,包括力学、热学、电磁学、光学和近代物理实验 25 个;根据本实验室的具体情况,选编了 4 个设计性实验;讲述了一些常用物理量的测量和常用仪器;列出了物理实验常用量及有关常量、SI 制单位等附表。

本书可作为工科院校各专业的物理实验教材和参考书。

前 言

大学物理实验作为一门独立的课程,其作用不仅是验证物理理论,巩固和加深对物理现象与规律的认识,更主要的是对学生进行物理实验的思想方法教育,训练学生进行实验的基本方法和基本技能,培养学生分析问题和解决问题的实际能力,使学生树立实事求是的科学态度和严谨的科学作风。

由于教学时数的限制,不可能将物理实验全面地选入本教材。根据我们的实际情况,本书选编了具有代表性和普遍意义的实验(包括基础实验、近代综合和应用性实验)25个。当然,为了适应社会发展和科学发展的需要,我们在选题上做了适当的考虑和安排,尽量地收入新的研究成果和对某些实验进行专门研究的结果,如“坏值的剔除”理论、“液位传感实验研究”、“落球法测液体的粘度系数实验研究”、“牛顿环的研究”、“测定伏安特性曲线的方法研究”、“示波器测磁滞回线”和“液体比热容的测量办法”等。

本书共分五个部分:第一部分为“实验误差及数据处理”;第二部分为“物理实验项目”;第三部分为“设计性实验”;第四部分为“常用物理量的测量及常用仪器介绍”;第五部分为“SI制单位及物理实验常用常量表”。

本书由刘隆鉴、王文周和李谷波编写。其中“实验误差及数据处理”部分(包括绪论)及实验4、5、6、7、9-1、18、19、20、21和23由王文周编写,实验1、2、3、12、14、15和24由李谷波编写,实验8、9-2、10、11、13、16、17、22和25及其余部分由刘隆鉴编写和整理。

由于我们的知识水平和教学经验有限,书中难免有缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

1996年10月

目 录

绪 论	(1)
第一章 实验误差及数据处理	(3)
引言	(3)
第一节 测量与误差	(3)
第二节 直接测量偶然误差的估计	(6)
第三节 实验异常值(坏值)的剔除	(10)
第四节 间接测量的误差估计——误差的传递与合成	(12)
第五节 测量结果的表达式	(14)
第六节 有效数字及运算法则	(15)
第七节 数据处理	(19)
第八节 系统误差及不确定度简介	(24)
习 题	(26)
第二章 实验项目	(28)
引言	(28)
实验 1 物体密度的测定	(28)
实验 2 刚体转动惯量的测定	(33)
实验 3 用拉伸法测量金属丝的杨氏模量	(38)
实验 4 用落球法测定液体的粘度	(44)
实验 5 线膨胀系数的测定	(50)
实验 6 用电流量热器法测定液体的比热容	(55)
实验 7 非线性电阻元件伏安特性曲线的测定	(60)
实验 8 电表的改装和校准	(66)
实验 9 电场描绘和磁场描绘	(70)
9-1 用模拟法测绘静电场	(70)
9-2 磁场描绘	(79)
实验 10 电势差计测电动势	(84)
实验 11 电子束的静电聚焦与电磁偏转	(90)
实验 12 示波器的调整与使用	(98)
实验 13 电桥的使用	(107)
13-1 直流电桥	(107)

13-2 交流电桥	(113)
实验 14 用示波法测绘铁磁材料的磁化曲线和磁滞回线	(119)
实验 15 超声声速的测定	(126)
实验 16 温差电偶的定标	(134)
实验 17 液位传感元件测量导电液体的液面高度	(138)
实验 18 分光计的调整和使用	(142)
实验 19 透镜焦距的测定	(150)
实验 20 双棱镜干涉	(156)
实验 21 用牛顿环测平凸透镜的曲率半径	(161)
实验 22 衍射光栅测光波波长	(168)
实验 23 迈克逊干涉仪的调整与使用	(172)
实验 24 照相技术	(181)
24-1 黑白照相技术	(181)
24-2 彩色照相技术	(189)
实验 25 旋光性溶液的旋光率和浓度的测定	(197)

第三章 设计性实验 (201)

引言	(201)
设计实验 1 重力加速度的研究	(204)
设计实验 2 简谐振动的研究	(205)
设计实验 3 电势差计校准电表和测电阻	(207)
设计实验 4 光栅特性的研究	(208)

附录 I 常用物理量的测量和常用仪器 (212)

第一节 测量方法	(212)
第二节 长度测量及仪器	(213)
第三节 质量测量及仪器	(220)
第四节 时间测量及仪器	(224)
第五节 温度测量及仪器	(226)
第六节 电磁测量及仪器	(228)
第七节 实验室常用光源简介	(236)

附录 I SI 制单位和物理实验常用常量表 (238)

主要参考文献	(246)
--------------	-------

绪 论

一、大学物理实验课程的作用、任务 and 基本要求

大学物理实验是对高等工业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,是学生进入大学后受到系统实验方法和实验技能训练的开端,是工科类专业对学生进行科学实验训练的重要基础。

本课程使学生在中学物理实验的基础上,按照循序渐进的原则学习物理实验和方法,得到实验技能的训练,从而初步了解科学实验的主要过程与基本方法,为今后的学习和工作奠定良好的实验基础。

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

(2)培养与提高学生的科学实验能力。其中包括:能够通过阅读实验教材与资料,作好实验前的准备;能够借助教材或仪器说明书正确使用常用仪器;能够运用物理理论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;能够完成简单的具有设计性内容的实验。

(3)培养与提高学生的科学实验素养。要求学生具有理论联系实际和实事求是的科学作风,严肃认真的工作态度,主动研究的探索精神,遵守纪律、团结协作和爱护公共财物的优良品德。

通过物理实验的基本训练,要求做到:

(1)能够自行完成预习、进行实验和撰写报告等主要实验程序。

(2)能够调整常用实验装置,并基本掌握常用的操作技术。例如:零位调整、水平和铅直调整、光路的共轴调整、消除视差调节、逐次逼近调节、根据给定的电路图正确接线等。

(3)了解物理实验中常用的实验方法和测量方法。例如:比较、放大、转换、模拟、补偿、平衡和干涉等方法。

(4)能够进行常用物理量的一般测量。例如测量:长度、质量、时间、热量、温度、电流强度、电压、电动势、电阻、磁感应强度、折射率等。

(5)了解常用仪器的性能,并学会使用方法。例如:测长仪器、计时仪器、测温仪器、变阻器、电表、直流电桥、直流电势差计、通用示波器、低频信号发生器、分光计、常用电源和常用光源等。

在进行以上各项基本训练过程中,要重视对物理现象的观察和分析,运用理论去指导实践、解决实验中的问题。

二、大学物理实验课的基本教学程序

1. 实验前的预习

(1)阅读实验教材有关内容及参考资料,弄清实验的目的、原理和使用的仪器,全面地了解测量的方法、实验的内容和注意事项,并能回答「预习」中提出的问题。

(2)写好预习报告。预习报告主要内容是:实验名称、目的、简要的实验原理(或主要的计算公式)、实验内容(要弄清哪些是已知量、控制量和待测量)、数据记录表格、遇到的问题和注意事项等。

每次实验前,教师要提前检查预习报告。

2. 实验课堂的要求

(1)遵守实验课纪律;

(2)认真听讲:做实验前教师要作简要的讲解,这对做好实验是很有益处的,要认真注意听讲,可起到事半功倍的效果。

(3)按实验课规定的程序和要求进行实验,事先不许乱动仪器,要注意保护仪器。

(4)每人都要学会操作。如果仪器有限,要轮流操作。每人都要有实践机会。

(5)如实记录数据。科学是老老实实的学问,不能弄虚作假。不得把作得差的数据改成理论正确数据或接近正确的数据。不得人为编造数据、倒推数据,甚至抄写别人做出的数据。

测试结束后,把原始数据记录给教师审阅签名认可后,方可整理仪器结束实验。

3. 实验后的报告

(1)实验名称。

(2)实验目的:不需写出所有目的,只写实验目的。

(3)实验原理:写出简要的原理及有关的计算公式(不需写出推导过程),如有必要的图(电路图、光路图等),还要画出来。但一般不必画仪器图。

(4)实验仪器:包括实验用的所有仪器、量具和材料的名称和型号、规格。

(5)实验步骤。

(6)实验数据和数据处理。

把测得的原始数据及必要的中间计算结果认真地填写在设计好的记录表格之中,不允许用有教师签字的那张原始数据纸代替实验报告的这部分内容。

按所讲述的数据处理方法处理数据,并按结果表达式写出实验结果。

(7)实验现象、误差等的分析、讨论以及对实验的建议、体会等。

(8)附上经教师审核签字的原始数据记录。

实验报告一律用统一规定的实验报告纸书写,文体要端正,字句要简练,图表要按规定要求格式绘制。

实验报告必须完整。数据处理和前面的部分一起上交老师批阅。预习报告和正式报告要各交一次。预习报告中有可重用的部分也要重交。

每人写一份实验报告,不能代写或抄袭。

当周作实验,次周交报告,发回来的实验报告要妥善保存,以便复习及查阅。

第一章 实验误差及数据处理

引言

物理实验有两个方面的主要任务,一是定性地观察物理现象和变化过程,二是定量地测定物理量和确定物理量之间的关系。要完成第二方面的任务,研究实验误差和对数据进行处理是必需的。

第一节 测量与误差

一、测量

1. 测量的含义

什么是测量?测量就是把待测物理量与作为计量单位的同类已知量相比较,找出被测量是单位的多少倍的过程。这个倍数叫做测量的读数,读数加上单位记录下来就是数据。任何物理量都是有单位的,因此,在物理实验中,测量物理量记录数据时,一定不要忘记记录单位!

在完成一个测量时,必须明确测量对象、测量单位、测量方法和测量精度,通常把这四点称为测量的四要素。

2. 测量的分类

在科学实验中会遇到各种类型的测量,我们可以从不同的角度对测量进行分类。按获得数据的方法可分为直接测量和间接测量;按测量条件的不同可分为等精度测量和非等精度测量。

(1) 直接测量和间接测量

直接测量:直接由仪器标尺读数而获得被测量的值的测量,叫直接测量。例如:用游标卡尺测量长度,用停表测量时间,用天平称衡质量,用电流表测量电流,用液体温度计测量温度等。

间接测量:有些物理量的测量无法或很难通过仪器直接读数得到结果,但通过一些方法或利用公式找到这些量与某些能直接测量的量之间的函数关系,把能直接测量的量测出后,利用函数关系算出被测量的大小,这种测量叫做间接测量。例如测量一个圆柱体的体积,就可利用公式 $V = \pi R^2 h$,在用米尺或游标卡尺直接测出半径 R 和高 h 后,就可间接地测出圆柱体的体积 V 。对体积 V 的测量就是间接测量。

间接测量是大量的,直接测量是基本的,任何测量都离不开直接测量。一个间接测量

量在一定条件下也可以进行直接测量。比如速度的测量,一般是直接测出时间 t 和在时间 t 内过的路程 s 后利用公式 $v=s/t$ 得到;而速度表则可通过直接读数测出车的速度。

(2) 等精度测量与非等精度测量

在测量过程中,影响测量结果的各种条件不发生改变,测量叫等精度测量,反之,称为非等精度测量。例如,在相同的环境中,由同一个人,在同一台仪器上,采用同样的方法对同一个被测物理量进行多次测量就是等精度测量。显然,它们的可靠程度是相同的,这就是说,对同一物理量进行可靠程度相同的测量就是等精度测量。显然,如果在不同的环境中,或由不同的人员,或在不同的仪器上,或采取不同的方法对同一物理量进行测量,其可靠程度是不相同的,即这种测量是非等精度测量。

一般非等精度测量是在科学研究、重要的精密测量等工作中,为了获得更可靠的测量结果采用的、在数据处理时也比较复杂,所以一般情况不用它。本书要求的都是等精度测量,至少也是视为等精度测量的。

二、误差

1. 误差的定义

任何一个物理量在某一时刻和某一位置或某一状态下,都存在着一客观值,这个客观值称为真值。

测量当然希望得到真值。但不管测量仪器多么精密,采用的方法多么完整,环境多么稳定,实验人员的技术多么高超,测量值与真值之间总存在着差异,这个差异人们把它称为误差。用式子可以表示为

$$\Delta N_i(\text{误差}) = N_i(\text{测量值}) - N(\text{真值})$$

真值是未知的,所以用算术平均值代替,以便运算。

$$\bar{N} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k N_i \quad (1-1)$$

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

式中 N_i 是多次测量中的任一次测量值, ΔN_i 是任一次测量值的“平差”或“残差”。

这种用算术平均值代替真值算出的误差,我们把它称为“偏差”,显然误差与偏差是有区别的。但当测量次数很多时,平均值接近真值,偏差与误差的差别很小,就把偏差也称为误差了。实际上,我们计算的几乎都是偏差,尽管也叫做误差,我们应当知道它们的区别。

2. 误差的来源

在任何测量中都存在着误差,因此测量时必须对误差进行分析。为了很好地分析误差,了解误差的来源是必要的。误差的主要来源有下述几个方面。

(1) 仪器误差

由于仪器本身的不完善或调整使用不当,提供的标准量欠准或随时间的不稳定性等产生的误差。

如等臂天平不等臂;分光计读数标线与角度盘不同心;螺旋测微计零点不准;需调水平、垂直等未达到;不满足使用条件;电路中电池电压随放电时间延长而降低,引起电路中电流强度的变化;激光波长的长期稳定性有变化等。

(2) 方法误差

由于实验方法(或理论)的不完善或测量所依据的公式的近似性而导致的误差。

如用伏安法测电阻,不管采用内接法还是外接法,由于电表的内阻的影响带来的误差;用单摆测重力加速度,要求摆角 $\theta \rightarrow 0$ 而得不到满足时引起的误差等。

(3) 环境误差

由于各种环境因素,如温度、湿度、气压、振动、光照、电磁场等与要求的标准状态不一致及其在空间上的梯度随时间变化,引起测量的仪器的量值变化、机构失灵、相互位置改变等产生的误差。

(4) 人员误差

测量者生理上的最小分辨力,感觉器官的生理变化,反应速度和固有习惯引起的误差。

如计时按停表,测量者滞后或超前的趋向,对准标志读数时,始终偏左或偏右等。

3. 误差的分类

在众多的误差中,各具特点,按误差的性质可分为“系统误差”和“偶然误差”两大类。

(1) 系统误差

在同一条件下多次测量同一量时误差的绝对值和符号保持不变;或在改变条件时,按某一确定的规律变化的误差,称为系统误差。它的特点是恒定性。

比如,用一只未调零(如指针指在 2mV) 的电压表去测电压,不管测量多少次,每次测量由于未调零产生的误差都是 2mV ,这个误差就是系统误差;等臂天平不等臂造成的误差;分光计中由于度盘偏心引起角度测量的误差按正弦规律变化等都是系统误差。

系统误差按掌握的程度可分为“已定系统误差”和“未定系统误差”。前者是方向和大小都已知的系统误差,而后者则是方向与大小都未知的系统误差。

不论哪种系统误差,由其特点可知,不可能通过多次测量来减小与消除。

(2) 偶然误差

在同一条件下对同一对象进行多次测量时,在极力消除或改正一切明显的系统误差之后,每次测量结果还会出现无规律的随机变化,其值时大时小,时正时负,不可预测,但就总体来说又服从一定的统计规律的误差,称为偶然误差。它的特点是随机性,故有人又把偶然误差称为随机误差(注意,所有的偶然误差都是随机误差,但随机误差并不全是偶然误差,它还包含部分系统误差)。

比如,在用物距、象距法测凸透镜的焦距时需要测量象的位置,由于眼睛对象的清晰度分辨本领不足而使每次读数不同产生的误差就是偶然误差。

(3) 系统误差与偶然误差的关系

上面在讨论系统误差和偶然误差时是分别进行的,即是在没有偶然误差的情况下研究系统误差,在系统误差可以不考虑的情况下研究偶然误差。实际上对任何一次实验,既存在着系统误差,又存在着偶然误差,只有其中一种误差的实验是不存在的。只不过有的实验以系统误差为主(如准确度较低的实验),有的实验以偶然误差为主(如准确度较高的实验)就是了。

系统误差具有恒定性的特点,而偶然误差的特点是随机性。就其特点而论,似乎这两

类误差是可绝然分开的,实际上并非完全如此。举一个简单例子,试分析由于刻度不均匀给米尺测量带来的误差。对米尺上某一确定位置的刻度值与准确值之间的误差,不管测量多少次都是不会改变的,显然这个误差是系统误差;但对米尺的各处来讲,每个确定位置刻度值与其准确值之间的误差大小和方向都不确定,具有随机性,显然这是偶然误差。再如某实验人员在读数时总习惯偏向一方,产生的误差是系统误差;另一实验人员在读数时没有总偏向一边的习惯,有时偏左,有时偏右,产生的误差无疑是偶然误差。

由于系统误差与偶然误差的性质不同,处理方法也不同,比如多次测量可以减小偶然误差,而对系统误差则无能为力,它只有用其他方法进行消除。

(4)在实验过程中,除了出现系统误差和偶然误差外,还可能出现仪器损坏、操作不当的错误,产生读数、记录的错误。这些错误不宜称为误差(有的把它称为粗大误差),因为误差不全等于错误。当然实验中应当避免错误的发生,只要注意,错误是一定能避免的。

4. 误差的几种情况

一是偶然误差小,平均值与真值差别大,或者说它的系统误差大,有人叫它精密度高。

二是平均值与真值接近,说明系统误差小,但偶然误差大,有人称为正确度高。

三是偶然误差和系统误差都小,平均值接近真值,暂且叫它准确度高。

它们之间的关系可以通过打靶形象地表示出来,见图 1-1。

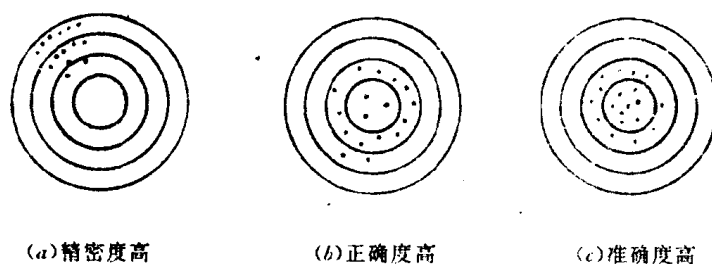


图 1-1 误差几个概念的示意图

第二节 直接测量偶然误差的估计

误差是绝对的,它贯穿于整个测量过程之中,不可能通过测量获得真值。因此,准确地计算误差是不可能的,误差只能进行估计。由于偶然误差服从统计分布规律,一般可以通过概率统计理论进行估计。估计误差的方法很多,本书主要介绍用标准误差估计的方法。

一、偶然误差的统计规律

大多数偶然误差的变化是均匀的、微小的和随机的。可以证明,这种偶然误差服从的统计规律是高斯分布,如图 1 2 所示。其中横坐标 ΔN 表示误差,纵坐标 $f(\Delta N)$ 表示在误差值为 ΔN 附近单位误差间隔内,误差值 ΔN 的出现概率。根据这个误差分布图,可以看出偶然误差具有下列三个性质。

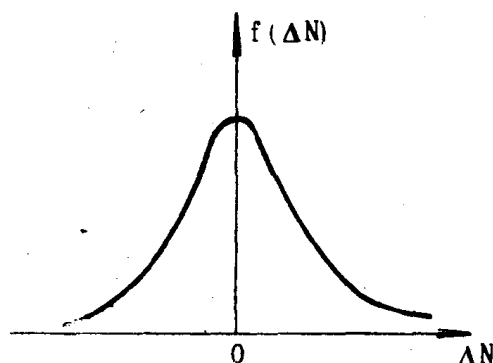


图 1-2 偶然误差的高斯分布

- (1) 单峰性: 绝对值小的误差出现的概率大;
- (2) 有界性: 在测量条件一定的情况下, 大的误差出现的概率小, 且不超过一定的限度;
- (3) 对称性: 绝对值相等的正负误差出现的概率相同。

二、多次测量的误差估计

我们已经知道, 大多数的偶然误差所遵从的统计分布规律是高斯分布。从高斯分布规律出发, 利用数理统计理论, 可以得到估算偶然误差的公式。根据我们的要求, 不对公式进行推导, 直接给出估计偶然误差的一种方法——标准偏差的计算公式。

当测量次数 k 为有限时, 多次测量中任一次测量值的标准偏差为

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (N_i - \bar{N})^2}{k-1}} \quad (1-3)$$

式(1-3)称为贝塞尔公式。

算术平均值对真值的偏差是一次测量值的标准偏差的 $\sqrt{k}$ 分之一, 即

$$S_{\bar{N}} = \frac{S}{\sqrt{k}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (N_i - \bar{N})^2}{k(k-1)}} \quad (1-4)$$

注意: 标准偏差是绝对误差, 它是有单位的, 不能忘记单位。标准偏差也可叫标准差。由(1-4)看出: 当 $k \rightarrow \infty$ 时, $S_{\bar{N}} = 0$, 这时平均值就是真值。

绝对误差的大小在一定程度上反映了测量的好坏。比如对一长度为 1 米左右的物体进行测量, 绝对误差为 5 厘米的就比为 10 厘米的测量效果好。但是如果测量长为 1 米的物体的绝对误差为 1 厘米, 测量长为 1 分米的物体的绝对误差是 0.5 厘米, 用绝对误差就很难说哪个测量的效果好了。显然, 评价一个测量结果的效果好坏(或准确程度), 不仅要看到绝对误差的大小, 还要看被测量本身的大小。为此, 引入相对误差的概念。如果相对误差用 E 来表示, 其定义式是

$$E = \frac{S_{\bar{N}}}{\bar{N}} \times 100\% \quad (1-5)$$

三、用计算器的统计功能计算平均值和标准偏差

用式(1-3)直接计算 S , 又慢又易错。利用计算器的统计功能, 就可以大大节约时间, 又快又准又轻松, 何乐而不为呢? 下面分两种计算器介绍, 如果你的型号有差异, 可以参考使用, 或看说明书。我们从例题入手。

例 用一标准米尺测某一物体的长度共 10 次, 其数据如下:

$N_i = 42.32, 42.34, 42.35, 42.30, 42.34, 42.33, 42.37, 42.34, 42.33, 42.35(\text{cm})$

试计算算术平均值 $\bar{N}$, 一次测量值的标准偏差 S 和算术平均值的标准偏差 $S_{\bar{N}}$ 。

夏普(SHARP)计算器

1. 按 $\boxed{2\text{nd F}}$ 键。屏幕上出现 2nd F 字样。(有的是 $\boxed{2\text{F}}$ 键)。

2. 按 $\boxed{\text{STAT}}$ 键。屏幕上出现 STAT 字样, 而 2nd F 字样已消失。注意: STAT 不是印在凸起的键上, 而是印在板面上, 要找一下, 因为不同型号的夏普计算器位置不同。

3. 按 42.32, 再按 $\boxed{\text{DATA}}$ 键 ($\boxed{\text{M}+}$ 键), 屏幕上出现 1 字, 表示已输入一个数据。有 3 个 42.34, 用另一种办法, 可以更快些: 42.34×3 $\boxed{\text{DATA}}$, 屏幕上出现 4 字, 已输入四个数据。同理可输入全部数据。

4. 按 S 键 (RM 键), 出现 0.01888562, 这是任一次的标准偏差, 再按 $\div 10 \sqrt{\quad} =$, 出现 0.005972157, 这是 $S_{\bar{N}}$ 。

5. 按 $\bar{x}$ 键 ($x \rightarrow M$ 键), 出现 42.337, 这是平均值。

最后结果为:

$S = 0.02\text{cm}$ (只取一位, 不包括前面的 0)

$S_{\bar{N}} = 0.006\text{cm}$ (只取一位)

由于偶然误差本身就是一个估计值, 一般结果只取一位或两位。为简单起见, 本书的误差都取一位 (实际上在大学物理实验中, 误差取一位已经足够了)。

$\bar{N} = 42.337\text{cm}$ (平均值取几位由 $S_{\bar{N}}$ 决定: $S_{\bar{N}}$ 为三位小数, $\bar{N}$ 就必须取三位小数, 使它们的末位为同样数量级)。

$N = \bar{N} \pm S_{\bar{N}} = (42.337 \pm 0.006)\text{cm}$

卡西欧(CASIO)计算器, 以 $fx-360P$ 为例

1. 看屏上有无“SD”(标准偏差)字样。如无, 则看键上方的一个表格, 它告诉你按些什么键能出现 SD。 $fx-3600P$ 是按 $\boxed{\text{MODE}}$ (模式选择键), 再按 3, 就出现 SD 字样。如已有 SD, 就不必再按其他键了。

2. 按 $\boxed{\text{INV}}$ 键, 屏上出现 INV 字样。

3. 按 $\boxed{\text{AC}}$ 键, 屏上 INV 消失, 统计功能的内存已清除。

4. 按 42.32, 再按 $\boxed{\text{DATA}}$ 键 ($\boxed{\text{RUN}}$ 键), 屏上还是 42.32。如有几个 42.32, 就连接按几下 DATA 键, 不必每次按出 42.32。同理输入全部数据。

5. 按 $\boxed{\text{INV}}$ 键, 再按 $\boxed{r\sigma_{n-1}}$ 键 (即 3 字键), 可出现 0.01888562。这是 S 。按 $\div 10 \text{INV}$

$\sqrt{\quad} =$, 出现 5.972157622^{-03} , 这是 S_N , 取为 $0.006(\text{cm})$ 。

6. 按 $\boxed{\text{INV}}$ 键, 再按 $\bar{x}$ 键 (在板面, 与 1 字同键), 出现 42.337, 这是平均值。

$\bar{x}$ 键和 S 键可以反复按, 它能反复出现, 两种计算器都是如此。

计算器还有度、分、秒与度的转换功能, 在分光计实验和光栅实验中用起来很方便。计算器还有存贮数据的键, 有的还能存几个数 (如 $fx-3600P$ 的卡西欧能存 7 个数), 用不着抄中间数据。如果多用倒数键 $\boxed{1/x}$ 、反号键 $\boxed{+/-}$, 也使你一下子就能算到底, 用不着存贮数。

四、单次测量的误差估计

在物理实验中, 对一些物理量的测量, 或由于条件不许可不能进行多次测量, 或由于准确度要求不高不需要进行多次测量, 只进行一次测量, 其误差又如何进行估计的呢?

单次测量的误差可根据实验情况进行估计, 一般用仪器误差 ($\Delta_{\text{仪}}$) 表示。所谓仪器误差, 就是在规定使用条件下正确使用仪器时, 仪器的示值与被测量的真值之间可能产生的最大误差。通常仪器出厂时要在检定书或仪器上注明仪器误差, 只不过注明的方式不一样就是了。大体有两种形式:

一是在仪器上直接写出或用准确度表示该仪器的仪器误差。如标出准确度为 0.05mm 的游标卡尺, 其仪器误差就是 0.05mm 。

二是给出该仪器的精度 (准确度) 级别, 然后算出仪器误差。比如电表, 它的精度级别是这样规定的:

$$\frac{\text{电表的最大误差}}{\text{电表的满量程}} = \text{级别} \% \quad (1-6)$$

如果电表的满量程是 100mA , 经检定此表的最大误差是 1mA , 代入式 (1-6), 有

$$\frac{1}{100} = \text{级别} \% = 1\%$$

就把这只表定为 1 级表, 这是出厂时定好的, 并标在电表的表盘上。我们在使用此表时, 从表盘上读出级别和满量程, 最大误差轻而易举地就能算出, 即

$$\text{最大误差} = \text{满量程} \times \text{级别} \%$$

最大误差就是仪器误差。所以只要知道电表的级别和满量程就可算出仪器误差 $\Delta_{\text{仪}}$ 。

如果未注明仪器误差或弄不清楚时, 我们作这样的规定: 对能连续读数的仪器, 取其最小分度的一半作为仪器误差, 比如米尺、螺旋测微计、移测显微镜等; 对不能连续读数的仪器就以最小分度作为仪器误差, 比如机械停表、天平等; 对以 1 度作为最小分度的温度计, 尽管它是连续读数的, 由于准确度不高, 习惯也以最小分度作为仪器误差。

数字式仪表则以显示最后一位的一个单位作为仪器误差。

有时需要, 误差分布又满足一定的条件 (均匀分布——误差值在某一个范围内取任一可能值的概率相同), 单次测量的误差也可用标准偏差进行估计, 可以证明

$$S = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{\sqrt{3}} \quad (1-7)$$

五、置信度和置信限

在得到平均值 $\bar{N}$ 和平均值的标准偏差 $S_{\bar{N}}$ 后,是否可得到真值 $=\bar{N} \pm S_{\bar{N}}$ 呢? 即真值 $=\bar{N} + S_{\bar{N}}$ 或真值 $=\bar{N} - S_{\bar{N}}$ 呢? 回答是否定的。因为 $S_{\bar{N}}$ 不是一个准确的误差值,而是通过数理统计理论计算的估计值。数理统计理论总是离不开概率的,实际上它表示真值以一定的概率被包含在 $(\bar{N} - S_{\bar{N}}) \sim (\bar{N} + S_{\bar{N}})$ 范围内,这个概率通过数理统计理论和高斯分布规律可以证明是 68.3%。我们把这个概率称为“置信概率”或“置信度”。同样,测量值落在 $(\bar{N} - S) \sim (\bar{N} + S)$ 的范围内的置信度也是 68.3%。

根据上述讨论可见,标准偏差 $S_{\bar{N}}$ (S) 并不是一个误差值,而是一个误差范围,我们把它称为“误差限”或“置信限”。取不同的置信限(误差限),它的置信概率(置信度)是不相同的。比如置信限取 $S_{\bar{N}}$ (S),它的置信概率是 68.3%,取 $2S_{\bar{N}}$ (或 $2S$),置信概率就是 95.4%,而取 $3S_{\bar{N}}$ (或 $3S$),则置信度为 99.7%(这些都可证明)。显然,置信限越宽,即误差范围越大,则置信度越高。当然,这不意味着为了提高置信度就取很大的置信限,因为太大的置信限将使测量变为毫无意义。

第三节 实验异常值(坏值)的剔除

实验中对一个物理量进行多次测量,由于某种原因,有时会混入少量的“坏值”,这些坏值与正常的测量数据相差很大,必须剔除,否则会影响测量精度。但坏值的判断与剔除决不能靠主观臆断来进行,而应当有较客观、较可靠的判据作依据。用统计法可以找出这种判据。

大量重复性的实验数据是服从或近似服从正态分布的,但实际上只作较少次实验,数理统计上叫做取一个样本,这里当然就是正态样本,判断正态样本异常值的问题是数理统计学、计量学和各种实验的数学处理都要碰到的跨学科问题。我国制订了处理异常值的国际标准 GB4883-85,可见这个问题不能说不重要。设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 是正态样本的一组观测值,如果其中的 x_m 与其它值差异较大,不能随便剔除,必须首先判断它是不是异常值,通常是先求出样本均值 $\bar{x}$ 和样本标准差 s ,若统计量

$$|x_m - \bar{x}|/s > k(p, n)$$

则称 x_m 为异常值(或实验坏值),予以剔除。不等式中 $k(p, n)$ 为临界统计量; p 为置信概率(可理解为可靠程度)。根据 $k(p, n)$ 的取值不同分为拉依达(Paiira)准则,肖维勒准则(Cauvenet, 1868 年提出),格拉布斯准则(Grubbs, 1950 年),罗曼诺夫斯基(Романовский)准则(t 检验准则),后者在计算 $\bar{x}$ 和 s 时不包括可疑值 x_m 。拉依达准则 $k(p, n)=3$,不用查表,但它在 $n \leq 10$ 时不能使用,而 $n=10$ 又是常用的实验次数,其它准则的 $k(p, n)$ 都要查表。

此外,还有几种类型的准则,如狄克逊准则(Dixon, 1950 年),偏度检验法和峰度检验法,它们不但要查表,还要查公式。