

高等学校试用教材

普通物理实验

主编：刘尚晋 副主编：刘朝全 陈廷冠



武汉工业大学出版社

04-33/98

普通物理实验

主 编	刘尚晋						
副主编	刘职全	陈廷冠					
编 委	别雪君	熊新阶	张昆实	魏立生	彭菊村		
	朱世坤	陈 冈	王 欣	谢志远	王仁海		

武汉工业大学出版社

编者的话

本书是湖北省师专及其他高校从事物理实验和理论教学的工作者，在总结多年教学经验的基础上集体编写而成的。全书分六章：第一章为测量与误差的基本知识；第二章为常用物理量的测量；第三章为力、热实验；第四章为电磁学实验；第五章为光学、原子物理实验第六章为验证性实验，共58个实验。

本书主要是根据国家教委1989年颁布的师专普物实验教学大纲和本地区具体情况编写的。

在编写中，我们力求：

1. 建立实验教学自身体系，该体系包括目标、原则，整体安排和层次要求。据此，我们对全书作了打破传统的编排，如根据实验所依据的原理和测试技术，把电子在场中运动规律、元件参数的测定分别归并在一个实验课题内。

2. 适应社会发展的需要，在基本符合大纲要求的同时，更加突出了实用技术内容和对培养学生创造能力的培养。

3. 简明性与灵活性并重。为此，避免了冗长的数学推导，而在实验内容、方法和仪器上给予了较宽的介绍。

4. 在误差及实验数据的处理上作了较全面的介绍，并贯穿于全书。

本书可供师专、教育学院的物理专业学生作基础物理实验教材，还可作理科非物理专业、工科院校学生作基础物理实验教材，同时可作大专院校、中学教师及从事实验工作人员的参考书。

本书编写分工如下：

彭菊村——绪论、第一章、实验八、实验十二

张昆实——实验一、三、九、十三、十六、四十一，第二章§1、§2、§4

朱世坤——实验四、七、十四、十五、十八

陈岗——实验二、五、六、十、十一，第二章§3

刘尚晋——实验十九、二十一、二十二、二十三、四十三，第二章§5、§6、§7

陈廷冠——实验二十四、二十六

王欣——实验二十、二十五(A、B、C)

谢志远——实验二十五(D)、二十七、二十八

熊新阶——实验二十九、三十、三十一、三十二、四十六，第一章

王仁海——三十三、三十四、三十五、四十五

魏立生——实验三十六、三十七、三十八、三十九、四十，第一章

别雪君——实验四十二、四十四

本书在最后定稿前进行了分块审稿，参加者有魏立生、熊新阶、别雪君、张昆实、陈廷冠、刘职全、刘尚晋。

对使用本教材的说明:

力、热、电、光实验以课堂预习一课时、实验一个单位时间(三课时)、原子物理实验以二个单位时间为标准而编写的。有的实验课题内容较多,如示波器的使用,可酌情开两个单位时间,对其他课题内容的取舍,应确保基础。对有余力的学生,可以“思考与问答”中所附的小型设计性实验课题,进行因材施教,激发学生兴趣,初步培养创造能力。

本教材的编写和出版工作,得到了湖北省教委高教处领导的热忱关怀与大力支持,在此对他们表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促,编者水平有限,不妥之处,敬请读者批评指正。

编者: 1990.1.20 于武汉

绪 论

1. 物理实验课的地位和作用

物理学从本质上说是一门实验科学，物理学的理论是建立在严格的实验基础上的。如杨氏双缝干涉实验，确立了光的波动说；而后的光电效应实验，又进一步揭示出光具有波粒二象性。再如赫兹的电磁波实验，使麦克斯韦的电磁场理论获得了普遍承认，等等。另一方面，物理学的理论又指导实验不断向新的领域探索。物理学发展史表明实验和理论两方面是紧密结合相互促进的。

物理实验也推动了科学技术的发展。如激光，半导体，大规模集成电路，真空技术等等。随着科学技术的日益进步，物理学的原理、基本实验手段和精密的测试方法已越来越广泛地应用到科学研究、生产技术领域之中。

物理实验课是物理教学的有机组成部分。普通物理实验课教学的目的和任务是：

(1) 学习实验的基础知识、基本方法，培养实验技能，即要求学生做到：弄懂实验原理，了解一些物理量的测量方法；熟悉常用仪器的结构、原理和性能，掌握其使用方法；细致地观察实验现象，正确记录、处理实验数据，分析判断实验结果，并写出完整的实验报告。

(2) 通过实验加深对物理概念、规律的理解。

(3) 培养严肃认真、实事求是的科学态度和工作作风。

2. 物理实验课的基本程序

实验课一般可分为如下三个阶段：

(1) 实验前的预习

为了在规定的时间内独立完成实验任务，学生一定要做好实验前的预习。预习的要求是：了解原理和方法，拟定实验步骤，了解仪器的构造、工作原理和操作规程，写出预习报告并根据实验要求拟定数据表格。

(2) 实验过程

实验时严格遵守实验室的规章制度和实验操作规程。测量的原始数据应整齐地记录在实验笔记本上，数据间要留有空隙，以备必要时补充或更正。发现异常数据不要毁掉，可用铅笔划去。当实验结果与温度湿度和气压有关系时，要记下这些环境参数。观测读数务必认真仔细。原始数据不能擅自轻易改动。

(3) 实验报告

实验报告是实验过程的全面总结。报告要求文字通顺，字迹端正，图表规则，结果正确，讨论认真。

完整的实验报告包括：实验名称、目的、原理简述，仪器用具及其规格型号、精度，实验记录，数据处理，实验结果，讨论与分析（如分析实验误差的主要来源，对实验仪器和方

法的改进建议，实验心得体会等）。

以上是对报告的一般性要求，不同的实验可根据具体情况有所侧重和取舍。

目 录

绪论	(I)
1. 物理实验课的地位和作用	(I)
2. 物理实验课的基本程序	(I)
第一章 测量与误差的基本知识	(1)
§ 1 测量与误差的基本概念	(1)
1.1 误差的分类	(1)
1.2 测量结果的表示、绝对误差和相对误差	(2)
1.3 测量的精密度、准确度和精确度	(2)
§ 2 直接测量的误差估计及其结果表示	(3)
2.1 测量列的误差表示方法	(3)
2.2 测量结果的表示	(3)
2.3 异常数据的判定	(5)
2.4 单次直接测量的误差估计	(5)
2.5 重复测量所得测量值相同时的误差估计	(6)
§ 3 间接测量的误差计算、误差的传递与合成	(6)
3.1 误差传递的基本公式	(6)
3.2 误差的合成	(7)
3.3 误差理论应用举例	(8)
§ 4 误差分配与测量仪器精度的选择	(10)
§ 5 有效数字及其运算	(10)
5.1 有效数字的一般概念	(10)
5.2 有效数字计算规则	(11)
5.3 测量结果有效数字的确定	(12)
§ 6 实验数据的处理	(12)
6.1 列表法	(12)
6.2 作图法	(12)
6.3 曲线拟合	(14)
6.4 逐差法	(17)
第二章 常用物理量的测量	(19)
§ 1 长度的测量	(19)
1.1 米尺测量长度	(19)
1.2 游标卡尺测量长度	(20)
1.3 千分尺(螺旋测微器)测量长度	(21)
1.4 读数显微镜测量长度	(23)
1.5 百分表测量长度	(24)
§ 2 质量的测量	(25)
2.1 物理天平测质量	(25)
2.2 分析天平测质量	(27)

2.3	空气阻尼式分析天平测质量	(28)
2.4	天平称量结果的校正	(29)
§ 3	时间的测量	(29)
3.1	停表测时间	(29)
3.2	数字毫秒计测量时间(计数、计频)	(30)
3.3	频率的测量	(31)
§ 4	温度的测量	(31)
4.1	水银温度计测温	(31)
4.2	热电偶测温	(32)
§ 5	电流的测量	(33)
5.1	磁电系电流表的结构及工作原理	(33)
5.2	磁电系电流表的几个重要参数	(35)
5.3	电流表的使用方法与注意事项	(35)
§ 6	电压的测量	(38)
6.1	指针式仪表法	(38)
6.2	补偿与比较法	(38)
6.3	静电学法	(38)
6.4	示波法	(38)
6.5	数字式电表法(数字电压表简介)	(38)
§ 7	电阻的测量	(41)
7.1	直流指示测量法	(42)
7.2	电桥测量法	(42)
7.3	补偿测量法	(42)
7.4	高阻的测量	(42)
§ 8	发光强度的测量	(42)
第三章	力学、热学实验	(45)
实验一	长度的测量	(45)
实验二	重力加速度的测定	(47)
(A)	落体法	(47)
(B)	单摆法	(49)
实验三	物体密度的测量	(51)
(A)	固体和液体密度的测量	(51)
(B)	空气密度的测量	(54)
实验四	惯性质量的测量	(56)
实验五	牛顿第二定律的验证	(59)
实验六	动量守恒定律的验证	(63)
实验七	刚体转动惯量的测定	(65)
实验八	杨氏弹性模量的测定(拉伸法)	(68)
实验九	液体粘滞系数的测定(落球法)	(71)
实验十	弦振动的研究	(73)
实验十一	简谐振动的研究	(75)
实验十二	声速的测定	(77)

实验十三	金属线胀系数的测定	(81)
实验十四	冰的溶解热的测定	(83)
实验十五	用混合法测固体的比热容	(86)
实验十六	空气比热容比的测定	(88)
实验十七	良导体导热系数的测定	(91)
实验十八	液体表面张力系数的测定	(93)
第四章 电磁学实验		(96)
实验十九	电学实验基本知识与训练	(96)
实验二十	电表的扩程和使用	(102)
(A)	电表的扩程	(102)
(B)	万用电表的使用	(105)
实验二十一	伏安法测非线性电阻	(113)
实验二十二	示波器的使用	(115)
实验二十三	灵敏电流计的特性研究	(125)
实验二十四	电位差计的使用	(128)
(A)	用电位差计测电池的电动势和内阻	(128)
(B)	用箱式电位差计校正电表	(132)
实验二十五	电阻、电容、电感的测量	(135)
(A)	用惠斯登电桥测中值电阻	(135)
(B)	用开尔芬电桥测低值电阻、兆欧表测高值电阻	(139)
(C)	交流电桥测电容和电感(万能电桥)	(144)
(D)	用冲击电流计测电容与高阻	(153)
实验二十六	场的描绘与测量	(157)
(A)	静电场的描绘	(157)
(B)	磁场的描绘与测量(特斯拉计简介)	(161)
实验二十七	电子与场	(167)
(A)	电子束线在场中的偏转	(167)
(B)	电子束线在场中的聚焦	(171)
实验二十八	R L C 电路	(176)
(A)	R L C 电路的谐振研究(①串联谐振, ②并联谐振)	(176)
(B)	R L C 电路暂态过程研究	(180)
第五章 光学、原子物理实验		(185)
实验二十九	薄透镜焦距的测定	(187)
实验三十	显微镜、望远镜放大率的测定	(191)
实验三十一	分光计的调节及三棱镜折射率的测定	(193)
实验三十二	光的干涉	(200)
(A)	等厚干涉—牛顿环	(200)
(B)	用双棱镜测光波波长	(203)
实验三十三	迈克耳逊干涉仪的调节和使用	(205)
实验三十四	用透射光栅测光波波长及角色散率	(209)
实验三十五	用光电效应测普朗克常数	(212)

实验三十六 夫兰克——赫芝实验	(215)
实验三十七 电子衍射实验	(217)
实验三十八 氢原子光谱	(220)
实验三十九 塞曼效应	(224)
实验四十 密立根油滴实验	(230)
第六章 设计性实验	(234)
设计性实验流程图	(234)
实验四十一 简谐振动的研究	(234)
(A) 用弹簧振子验证简谐振动周期公式	(235)
(B) 弹簧振子周期经验公式的总结	(236)
实验四十二 热功当量的测定	(236)
实验四十三 实验仪器的选择和误差分配	(238)
实验四十四 半导体热敏电阻特性研究	(239)
实验四十五 偏振现象的研究	(240)
实验四十六 全息照像	(244)
附录: 一 福廷式气压计	(249)
二 干湿球温度计	(249)
附表	(250)

第一章 测量与误差的基本知识

§ 1 测量与误差的基本概念

测量就是借助仪器用某一计量单位把待测量的大小表示出来。物理实验离不开测量。

根据获得测量结果方法的不同,可以分为直接测量和间接测量。由仪器或量具可以直接读出测量值的测量称为直接测量,如用米尺测量长度。另一类需依据待测量和某几个直接测量值的函数关系求出待测量,称为间接测量。如钢球的体积 V 可由直接测得的球直径 D 根据公式 $V = \frac{1}{6} \pi D^3$ 计算得到, V 即为间接测量量。

在一定条件下,某一物理量所具有的客观大小称为真值。测量的目的就是力图得到真值。但由于测量仪器、实验条件及各种因素的局限,测量结果与真值之间总有一定的差异,即总存在测量误差。设测量值为 x ,相应的真值为 x_0 ,测量值与真值之差

$$\Delta x = x - x_0$$

称为误差。误差的大小,反映了我们认识接近客观实际的程度。

由于真值无法得到,误差不仅不能避免,而且也不能完全确定,误差只能通过一定的方法加以估计。因此,测量的任务是:①设法将测得值的误差减至最小,②求出在测量条件下被测量的最近真值(最佳值);③估计最近真值的可靠程度。

1.1 误差的分类

误差的产生有多方面的原因,根据误差的性质及产生的原因可分为三大类:系统误差,偶然误差和粗大误差。

1.1.1 系统误差

在同一条件下多次测量同一物理量时,其误差的绝对值与符号保持不变,或在条件改变时,误差值按一定规律变化,这类误差称为系统误差。系统误差主要有以下几个方面:

仪器误差 是由于仪器制造的缺陷,安装调节不当或未经校准等原因所造成的误差。例如秒表偏快,天平不等臂等。

理论(方法)误差 是实验所依据的理论和公式的近似性或实验条件达不到理论公式规定的要求或测量方法不当等所引起的误差。如实验中忽略了摩擦、散热、电表的内阻,单摆周期公式 $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ 的成立条件是摆角趋于零,而实际上难以达到等。

环境误差 是外界环境性质(如光照、湿度、温度、电磁场等)的影响而产生的误差。

个人误差 是由于测量者的生理特点或固有习惯所带来的误差。如反应速度的快慢,分辨能力的高低,读数的习惯(如有人读数总是偏高,有人读数总是偏低)等。

产生系统误差的原因通常是可以被发现的。原则上可通过修正、改进加以排除或减小。分析、排除和修正系统误差要求测量者具有丰富的实践经验。

1.1.2 随机误差

消除或修正了一切明显的系统误差后,在相同条件下对同一物理量进行多次测量时,每一次测量值的随机涨落(这种随机涨落在任何环境下都是会出现的)称为随机误差,也叫偶然误差。

随机误差是由于某些偶然或不确定的因素造成的。如实验条件与环境因素微小的无规则起伏变化等。随机误差虽然具有偶然性,但服从一定的统计规律。大量实验事实证明,测量次数甚大的等精度测量列(在相同条件下对同一物理量进行多次测量获得的一组测量值)的随机误差服从正态分布(又称高斯分布),它具有如下三个特征:

- (1) 对称性。绝对值相等符号相反的误差出现的概率相等;
- (2) 单峰性。绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的概率大;
- (3) 有界性。绝对值很大的误差出现的概率趋于零。

正态分布曲线如图 01-1 所示。这里 x 表示测量列的误差, $f(x)$ 表示相应的误差出现概率,称概率函数。

1.1.3 粗大误差

粗大误差是指由测量时的客观条件不能解释为合理的那一类误差,又称过失误差。一般来说是由疏忽造成的。粗大误差的存在,将明显歪曲测量结果,因此需要把含有粗大误差的异常数据加以剔除。有关异常数据的判定方法,见本章 2.3 节。

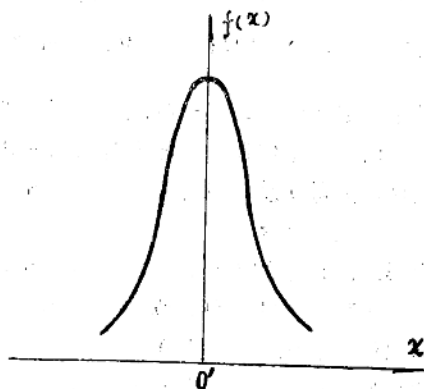


图01-1 随机误差的正态分布曲线
(01-1)

1.2 测量结果的表示、绝对误差和相对误差

差

测量结果可表示为

$$x \pm \Delta x$$

的形式。其中 x 为测量值,误差 Δx 称绝对误差,它反映测量值偏离真值的大小,即表示了一个测量结果的可靠程度。仅有 Δx 还不够,对于不同测量结果可靠性的比较,还应考虑到测量值本身的大小,用该量的绝对误差与测量值之比

$$E = \frac{\Delta x}{x} \quad (01-2)$$

去评价,这就是测量结果的相对误差。相对误差常用百分数表示,亦称百分误差。即

$$E = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% \quad (01-3)$$

1.3 测量的精密度、准确度和精确度

为了更细致的评价测量结果,引入精密度、准确度和精确度。

精密度 反映测量值彼此接近的程度。测量精密度高,指测量数据比较集中,随机误差较小,但系统误差不明确。

准确度 描述测量值接近真值的程度。测量准确度高,指测量数据的平均值偏离真值较少,测量结果的系统误差较小,但数据离散的情况即随机误差的大小不明确。

精确度（有时简称**精度**）是对上面两种情况的综合描述。测量的精确度高，指测量数据集中在真值附近，即测量的系统误差和随机误差都比较小。

图01-2以打靶时的弹着点的分布情况为例，给上述三个概念一个非常好的说明。

（a）图表示射击的精密度高，但准确度较差；（b）图表示射击的准确度高，但精密度较差；（c）图表示精密度和准确度均比较好，即精确度高。

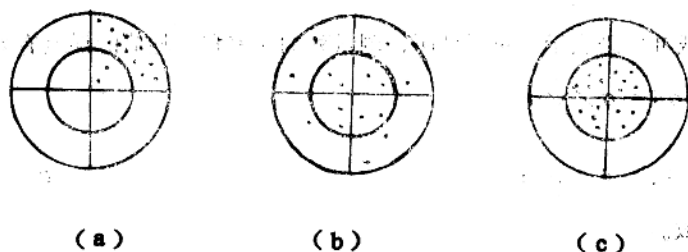


图01-2

§ 2 直接测量的误差估计及其结果表示

在以下讨论中，我们假定已消除或修正了系统误差。

2.1 测量列的误差表示方法

在有限次（ n 次）等精度测量中，常用下列两种方式来估计测量结果随机误差的大小。

2.1.1 标准误差 σ

标准误差又称方均根误差，表示为

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (01-4)$$

2.1.2 算术平均误差 η

各个误差绝对值的算术平均值，即为算术平均误差：

$$\eta = \frac{1}{n} \sum |x_i - \bar{x}| \quad (01-5)$$

2.1.3 两种误差形式的比较

根据概率理论， σ 表示测量列的每个数据的误差有68.3%的概率落在 $[-\sigma, \sigma]$ 区间， η 则表示误差落在 $[-\eta, \eta]$ 区间的概率为57.5%。

算术平均误差计算简单，易为初学者掌握。标准误差对测量值中较大或较小的误差反映灵敏，即能较好的反映测量数据的离散程度。正式的误差分析和计算，常用标准误差。

2.2 测量结果的表示

2.2.1 算术平均值

为了减小随机误差，在可能情况下总是采取多次测量，得到一测量列。根据随机误差的高斯分布规律，测量列的算术平均值

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (01-6)$$

最接近真值，称为直接测量的最佳值和近真值。而且当测量次数无限增加时，平均值就无限接近真值。

2.2.2 算术平均值的误差

实际测量时，由于测量次数有限，平均值不能无限接近真值。当对某一物理量测量 n 次，求取平均值后，若再重复测量 n 次，得到的平均值一般不会完全相同。即 $\bar{x}$ 也存在误差，我们用 $\sigma_{\bar{x}}$ 或 $\eta_{\bar{x}}$ 来表示。可以证明，测量列的误差和平均值的误差有如下关系：

$$\begin{cases} \sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n} \\ \eta_{\bar{x}} = \eta / \sqrt{n} \end{cases} \quad (01-7)$$

式中 n 为测量次数。

$\sigma_{\bar{x}}$ (或 $\eta_{\bar{x}}$) 与 σ (或 η) 虽只相差一个因子 $1/\sqrt{n}$ ，但两者概念是不同的。 σ (或 η) 反映了获得 $\bar{x}$ 的那一组测量列的离散(或精密)度，而平均值的误差反映了 $\bar{x}$ 接近真值的程度。根据概率理论， $\sigma_{\bar{x}}$ 表示 $\bar{x}$ 落在区间 $[\bar{x}_0 - \sigma_{\bar{x}}, \bar{x}_0 + \sigma_{\bar{x}}]$ 的概率为 68.3% 也即表示真值 x_0 落在区间 $[\bar{x} - \sigma_{\bar{x}}, \bar{x} + \sigma_{\bar{x}}]$ 的概率为 68.3%。

由式 (01-7) 可见 $\sigma_{\bar{x}}$ 和 $\eta_{\bar{x}}$ 是测量次数 n 的函数。测量次数越多，平均值的误差越小，因此，增加测量次数对提高测量结果的质量是有利的。但增加测量次数时要增加工作量，况且误差是按 $1/\sqrt{n}$ 规律减小，所以 n 不必取得过大，一般在 4 到 20 之间即可。

2.2.3 标准偏差与平均偏差

由于真值无法得到，上面的讨论仅具有理论上的价值。处理实际问题时，用平均值 $\bar{x}$ 代替真值 x_0 ，用残差 $v_i = x_i - \bar{x}$ 代替误差 Δx_i ，根据随机误差的高斯理论可以证明：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2} \quad (01-8)$$

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{\sqrt{n(n-1)}} = \frac{\sum_{i=1}^n |v_i|}{\sqrt{n(n-1)}} \quad (01-9)$$

及
$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n v_i^2} \quad (01-10)$$

$$\eta_{\bar{x}} = \frac{\eta}{\sqrt{n}} = \frac{\sum_{i=1}^n |v_i|}{n\sqrt{n-1}} \quad (01-11)$$

为了区别起见，常将用残差表示的误差称作偏差，即分别称为标准偏差 (σ 和 σ_x) 和平均偏差 (η 和 η_x)。

根据上面的讨论，测量的结果可表示为：

或

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{x} = \bar{x} \pm \sigma_x \quad (68.3\%) \\ E = \sigma_x / \bar{x} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{x} = \bar{x} \pm \eta_x \quad (57.5\%) \\ E = \eta_x / \bar{x} \end{array} \right.$$

2.3.1 异常数据的判定

为了定量的判定测量列中的异常数据，通常采用如下准则：根据随机误差的分布规律可以证明，测量值的误差落在 $\pm 3\sigma$ 区间的概率为 99.7%，即落在此区间外的概率为 0.3%，它表明在一千次测量中误差超过 $\pm 3\sigma$ 的机会只有三次。因此可以认为在有限次测量中误差的绝对值大于 3σ 为粗差，对应的测量值可予剔除。

此准则理论上要求测量次数 n 要足够大。

2.3.2 肖维勒准则

此法则基于认为在 n 次重复测量中，每一个正常的含有过失误差的数据出现的概率应不小于 $1/n$ ，因此，当某测量值误差出现的概率小于 $1/(2n)$ 时，则认为该测量值为异常值。使用时为方便起见，对 n 次测量求出误差的极限值 $K\sigma$ ，超过此极限值的即为异常值（此方法一般在 $n = 20 \sim 50$ 内适用）。

肖维勒准则常用表

n	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$K\sigma$	1.65σ	1.73σ	1.79σ	1.86σ	1.92σ	1.96σ	2.00σ	2.04σ	2.07σ	2.10σ	2.13σ

2.4 单次直接测量的误差估计

实际工作中，有时测量不能重复，有时不需精确测量，我们便采取一次测量并估计误差。对于单次测量的误差，一般是估计它的最大值。由于误差来源很多，实验又有各自的特点，所以难于确定统一的规则，应视具体情况而定。

一般情况下，可按仪器说明或仪器上直接注明的仪器误差作为单次测量误差，还可利用如下的方法进行误差的估读或确定：对有游标的量具和非连续读数的仪表取分度值，对连续读数仪表取分度值的一半。例如

图01-3所示的电子秒表，一般可估计启动、制动时各有0.01 s 的误差，则所显示的时间表示为：

$$(23.06 \pm 0.02) \text{ s}$$

电子秒表为非连续读数仪表，其最小分度值为0.01 s。

图01-4所示的液体温度计，说明书给出的仪器误差为0.2℃，故应表示为：

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

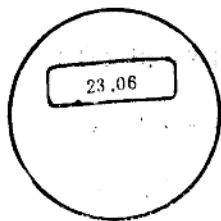


图01-3

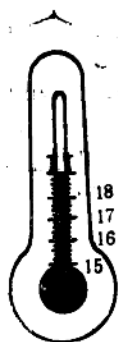


图01-4

米尺的最小分度值为1 mm，由于是连续计数器具，测长时两端读数误差各为0.5 mm，则长度测量误差取1 mm。

螺旋测微器的最小分度值为0.01 mm，长度测量误差通常取为0.002~0.004 mm。

2.5 重复测量所得测量值相同时的误差估计

若重复测量 n 次，测量值不变，并不是随机误差为零，而是仪器的精度不足以反映数据的起伏。这时如果不考虑仪器的系统误差，可估计其标准误差为 $\delta_x / 2$ ， δ_x 为仪器的最小分度值。

§3 间接测量的误差计算、误差的传递与合成

间接测量值是通过一定的函数关系由直接测量值计算得到的。直接测量值有误差，间接测量也必然有误差，这就是误差的传递。

3.1 误差传递的基本公式

设 $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

(01-14)

$x_1, x_2, \dots, x_n$ 为独立的直接测量量。考虑误差后有

$$y + \Delta y = f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, \dots, x_n + \Delta x_n)$$

依泰勒展开并略去 Δx 的高次项得：

$$y + \Delta y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n$$

因此，绝对误差为

$$\Delta y = \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n \quad (01-15)$$

相对误差为

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\partial f}{\partial x_1} \frac{\Delta x_1}{f} + \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{\Delta x_2}{f} + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \frac{\Delta x_n}{f} \quad (01-16)$$

(01-15) 式和 (01-16) 式就是误差传递的基本公式。有时，将函数关系两边取对数再微分，可