

大学物理实验

主编 酆文忠



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

大学物理实验

DAXUE WULI SHIYAN

主编 郦文忠

参编 施明亮 刘开荣 熊铁军 曹中胜 张俊奎 孙乃峰 慈佳祥



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是依据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科大学物理实验课程教学基本要求》(2010年版),并结合应用型工科院校特色编写而成的。全书分为4章,共32个实验项目,不仅涵盖了基础物理实验和近代物理实验的许多经典内容,还选择了一些与生产实践或科研有密切联系的、具有时代气息的实验项目,目的在于扩大学生的眼界和知识面,也利于提高学生的综合实验能力。

本书可作为普通高等学校工科各专业大学物理实验课程的教材或参考书,亦可供社会读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/郦文忠主编.--北京:高等教育出版社,2013.2

ISBN 978-7-04-036872-7

I. ①大… II. ①郦… III. ①物理学-实验-高等学校-教材 IV. ①O4-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第013877号

策划编辑 忻蓓
插图绘制 宗小梅

责任编辑 忻蓓
责任校对 胡晓琪

封面设计 王 晔
责任印制 朱学忠

版式设计 马敬茹

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 保定市中画美凯印刷有限公司
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 14.25
字 数 250千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.cn>
版 次 2013年2月第1版
印 次 2013年2月第1次印刷
定 价 22.70元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 36872-00

前 言

本书是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》，并结合物理实验室设备的实际情况，在总结多年教学经验的基础上编写而成的。

物理实验课是理工科类学生必修的一门基础课，是学生进入大学后系统地接受实验方法和实验技能训练的开端，是培养和提高学生的科学实验素质，特别是培养学生的实验设计思想、实验方法和实验创新意识的重要基础。本教材的内容体系遵循循序渐进的原则，分为“绪论”、“测量和误差”、“基础物理实验”、“近代物理实验”和“综合性和设计性实验”五个部分。每章的内容均突出了“厚基础”、“重实践”和“强能力”的特色，即以加强基础训练为主，让学生在学习物理实验知识，掌握实验方法，强化实验能力等方面受到系统的训练，同时充分考虑到了学科发展的新趋势，使教学更好地适应现代科学技术的发展。在实验内容上充分考虑了与现在流行的大学物理教材相匹配的内容，使实验课和物理理论课联系起来，并博采众大学物理实验教材之所长，力图开门见山、深入浅出、通俗易懂、便于操作。

本书一共选编了 32 个实验，每个实验 3 个学时，可满足普通高校本科各工科专业选择的需要，同时也适合同层次的成人教育以及工程技术人员和教师参考使用。对于高职高专层次的学生，也可以根据教学计划选择本教材部分内容讲解使用。

本书由郇文忠主编，参加编写的有施明亮、刘开荣、熊铁军、曹中胜、张俊奎、孙乃峰、慈佳祥。全书由施明亮统稿。

实验教学是一项集体的事业，无论是实验的编排、仪器的安装调试，还是教材的编写，都是成都理工大学工程技术学院物理实验室全体工作人员的劳动成果。本书所编入的实验选题，汇聚了全体老师多年的教学经验和体会。

本书在编写的过程中参阅了许多兄弟院校的有关教材，同时也有许多同行也为本书的编写提出了许多宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有误，恳请读者批评指正。

编者

2012 年 12 月 20 日

目 录

绪论	1
第一章 测量误差和数据处理	5
第一节 测量和误差	5
第二节 有效数字	17
第三节 测量结果的表示	22
第四节 测量的不确定度	23
第五节 常用数据处理方法	26
第二章 基础物理实验	32
实验一 三线摆测转动惯量	32
实验二 弹性模量的测定	36
实验三 密立根油滴实验	41
实验四 惠斯通电桥测电阻	48
实验五 电势差计	53
实验六 伏安法测电阻	57
实验七 牛顿环和劈尖干涉	59
实验八 衍射光栅测波长	67
实验九 双棱镜干涉实验	76
实验十 薄透镜焦距的测定	82
实验十一 用分光计测定三棱镜的折射率	88
实验十二 模拟法测绘静电场	92
实验十三 硅光电池特性测试实验	99
实验十四 示波器的使用	103
实验十五 用冲击法测螺线管磁场	112
第三章 近代物理实验	117
实验一 声速的测定	117
实验二 光纤实验	122
实验三 多普勒效应综合实验	127

实验四	光电效应测定普朗克常量	132
实验五	全息照相	138
实验六	塞曼效应	145
实验七	弗兰克-赫兹实验	153
实验八	核磁共振法测量弛豫时间	160
实验九	霍耳效应实验	168
实验十	傅里叶变换脉冲核磁共振测量液体的化学位移	175
实验十一	核磁共振一维、二维成像	180
实验十二	光敏电阻特性测试实验	187
实验十三	迈克耳孙干涉仪的调节和使用	190
实验十四	偏振光的观测与研究	199
第四章	设计性物理实验	206
实验一	RC 串联电路相位差测定	206
实验二	用电势差计校准电表	208
实验三	电表的改装和校准	209
附录		214

结 论

物理学是一门实践性很强的学科,它是在实验和理论相互推动和密切结合下发展起来的.任何物理规律和物理理论的建立都是以大量物理实验为基础,并受到实验的检验,物理理论的建立和发展反过来又推动着物理实验的不断完善和进步.在科学技术飞速发展的当今社会,物理理论和物理实验的相互推动和密切结合,不仅使物理学的发展在它自身的学科体系内取得了重大进展,而且还发展出许多新兴学科和交叉学科.新技术学科、物理实验的思想、方法、技术和装置经常被用在自然科学研究和工程技术应用中.

一、大学物理实验课程的地位和作用

为了适应科学技术迅猛发展的需要,大学生必须具备坚实的物理基础、出色的科学实验能力和勇于开拓的创新精神.在培养学生的基本素质和能力方面,物理实验课程起着重要的作用.因此,在高等理工科院校中,物理实验是一门独立的必修的基础课程.这门课程,是学生进入大学后接受系统实验方法和实验技能训练的开端,是理工科类专业对学生进行科学训练的重要基础.

物理实验课程通过具体的实验项目,由浅入深、由简到繁地引导学生仔细观察物理现象,深刻理解实验思想,定量研究变化规律,分析、评定实验结果,从而使学生会基本的实验知识、实验方法和实验技能,培养和提高学生独立开展科学实验的素质和能力.因此,学好大学物理实验对高等院校的理工科学生十分重要.

二、物理实验课程的任务和要求

1. 物理实验课程的具体任务

(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) 培养和提高学生的科学实验能力,其中包括:能够通过阅读实验材料或资料,做好实验前的准备;能够借助教材或仪器说明书正确使用常用仪器;能够利用物理学理论对实验现象进行初步的分析判断;能够正确记录和处理实验数据,绘制曲线,说明实验结果,编写合格的实验报告;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产的良好品德.

2. 物理实验课程的基本教学要求

(1) 能够自行完成预习、进行实验和编写实验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、竖直调整, 光路的共轴调整, 消视差调节, 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: 长度、质量、时间、热量、温度、电流、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, 并学会使用它们. 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.

三、物理实验课程的基本教学程序

物理实验教学是在物理实验室内进行的, 学生在教师的指导下, 按教材的要求完成实验. 为了避免一切不必要的错误, 提高效率, 完成预定实验目的, 必须有准备、有计划地进行实验. 为此, 学生必须严格遵守下列实验基本程序:

1. 课前预习

这是实验的准备阶段. 由于实验的时间有限, 而要求熟悉的内容很多, 因此每次实验前要认真阅读教材及有关参考书, 搞清实验目的、原理和方法, 需要使用哪些仪器, 应自备什么物品, 需要注意什么, 实验的操作步骤等, 这样才能有的放矢, 避免出现忙乱和盲目做实验的现象. 还要按教师的要求写出预习报告或答出预习思考题, 检查通过后方可进行实验.

2. 实验进行

进入实验室后, 应阅读黑板上或实验座桌上的通知和注意事项; 听教师做实验前讲解, 应特别注意没有搞清楚的地方和书上没有的内容, 或者实验必须遵守的特殊规定; 逐一辨认和清点实验设备及用具, 了解仪器使用和保护方法; 按要求调整仪器, 连接电路(凡电学实验, 必须经教师检查电路后, 才能接通电源). 观察现象, 记录数据; 下课前请教师检查实验数据, 最后需老师认可签字; 清理仪器和用具, 一切恢复原状后, 方能离开实验室.

3. 实验记录

实验记录是进行实验和撰写实验报告的原始资料,是一切认识、推论、设想和验证工作的依据,十分重要.因此,有必要特别强调.实验记录包括以下内容:

- (1) 实验名称和实验目的,简要说明做什么.
- (2) 实验的日期、地点和实验者姓名、学号、同实验者姓名,以便以后核对.
- (3) 使用的仪器类型、编号和连接示意图,装置的结构图以及每个部件的详细、准确工作状态.
- (4) 工作条件,包括天气、温度、湿度、电源电压等.
- (5) 实验数据,以表格方式,认真、清楚、工整地记录每一个数据.
- (6) 实验完成.关闭仪器之前,要仔细核对有关参数.包括时间、地点、操作者和仪器工作状态等.实验数据不允许涂改;若确实有误,应重新测量,并详细说明出现错误的原因.整个实验记录要做到清晰、整齐、美观.

4. 编写实验报告

实验报告是实验工作的全面总结.一份好的实验报告应当是完整的,简明扼要,突出重点,字迹工整.完整的实验报告通常包括实验目的、原理、器具及仪器、步骤、数据及数据处理、计算或作图、误差、实验讨论等内容.数据记录及处理部分是报告最主要的部分,没有这部分就等于没有做实验.原始数据记录必须准确,切勿遗漏,误差要有依据,不能只有数字,数据尽可能列成表格.要简明扼要地叙述实验原理和步骤,应写出那些关键的地方或特别注意之处.实验报告在实验后两天内交到任课实验教师处.

四、物理实验室的规则

1. 学生进入实验室须带上实验数据记录纸和预习报告,完成指定的课前预习内容,经教师检查同意后才可进行实验.
2. 遵守课堂纪律保持安静的实验环境.
3. 爱护仪器,进入实验室不能擅自搬弄仪器;实验中严格按照要求操作,仪器若有损坏,照章赔偿.借公用工具必须签字,用完后立即归还.
4. 做完实验,学生应将仪器整理还原,将实验桌面和凳子收拾整齐,经教师检查原始数据和仪器还原情况并签字后,方能离开实验室.

附录

成都理工大学工程技术学院

《 》实验报告

专业(班级): _____ 姓名: _____ 学号: _____

实验名称: _____ 实验时间: _____

同组人员: _____ 实验设备号: _____

【实验目的】【实验仪器】【实验原理】【实验内容】【数据记录与计算】【预习思考题】【复习思考题】等内容。

【预习思考题】(一定要做在第一页下面)

第一章 测量误差和数据处理

第一节 测量和误差

一、测量

所谓测量,是指用实验的方法,将被测量(未知量)与已知的标准量进行比较,以得到被测量大小的过程;是对被测量定量认识的过程.根据测量方式的不同测量可分为两类.

1. 直接测量

所谓直接测量就是直接将被测量(未知量)与已知的标准量进行比较,得到被测量的数据.如用米尺测量长度、用安培计测量电流、用停表测量时间、用温度计测量温度等.

2. 间接测量

通过测量与被测量有函数关系的其他量,才能得到被测量值的测量方法称为间接测量法.有些物理量无法直接和标准量进行比较或者比较起来比较麻烦,从而无法获得数据,这时需要间接测量.如通过测量矩形的边长 L_1 、 L_2 确定面积,通过测量圆柱状导体的电压 U 、电流 I 、长度 L 和半径 R 确定电阻率,通过测量振动周期 T 和摆长 L 确定重力加速度 g .

二、误差与偏差

在测量工作中,由于各种因素的影响,对某一个量(如某一个角度、某一段距离或某两点间的高差等)进行多次观测时,所得的各次观测结果总是存在着差异,这种差异实质上表现为每次测量所得的观测值与该量的真值之间的差值,这种差值称为真误差,即

$$\text{测量误差}(\Delta) = \text{真值} - \text{观测值}$$

真值即真实值,是指在一定条件下,被测量客观存在的实际值.真值在不同场合有不同的含义.

理论真值:也称绝对真值,如平面三角形三内角之和恒为 180° 。

规定真值:国际上公认的某些基准量值,如 1982 年国际计量局召开的“米”定义咨询委员会提出新的“米”定义为“米等于光在真空中 $1/299\,792\,458\text{ s}$ 时间间隔内所经路径的长度”。这个“米”基准就当作计量长度的规定真值。

相对真值:计量器具按精度不同分为若干等级,上一等级的指示值即为下一等级的真值,此真值称为相对真值。例如,在力值的传递标准中,用二等标准测力计校准三等标准测力计,此时二等标准测力计的指示值即为三等标准测力计的相对真值。

约定真值:被测量的算术平均值和公认值。

一般来说,物理实验的真值是不知道的,我们常用约定真值来代替真值。测量值与约定真值之差称为偏差。

误差和偏差是有区别的,但当多次测量时,偏差接近于误差。为方便起见,在以后的讨论中我们不区分偏差和误差,统称为误差。

三、误差的分类

误差的产生有多方面的因素。根据误差的性质和产生的原因,可以将误差分为系统误差和偶然误差两种。

1. 系统误差

系统误差是指在同一条件下多次测量同一物理量时,误差的大小和符号都保持不变,或当条件改变时,误差按某一确定的已知规律发生变化。

系统误差是由仪器制造或校正不完善、观测员生理习性、测量时外界条件、仪器检定不一致等原因引起的。在同一条件下获得的观测值中,其数据、符号或保持不变,或按一定的规律变化。系统误差在观测成果中具有累计性,对成果质量影响显著,所以实验员应在观测中采取相应措施予以消除。消除系统误差的常用方法如下:

(1) 从误差来源上消除系统误差

这是解决系统误差的根本方法,例如,对测量仪器要求调整好才能正常工作的,必须先按要求把它调整好,各种电表在使用前应当调准零点。再如,有“零差”的仪器,必须对其读数进行校准;对有空程的螺旋仪器必须消除螺距差;对测量方法不完善或理论依据不严密的,必须对测量公式作出修正等。

由实验者本人引起的个人误差,则应在实验中不断总结经验,提高实验素养,逐步地尽可能地减小系统误差。

(2) 应用测量技术消除系统误差

替代法:在一定的条件下,用某一已知标准量替换被测量,以消除系统误差。

例如:为消除天平两侧悬臂不等长带来的系统误差,可将被测物与媒介物分别置于天平的砝码盘和物盘上,使之平衡.然后再以砝码替换被测物使天平指示平衡.如果在替换过程中其他条件都没有改变,则被测物的质量就等于砝码的质量.

对换测量法:将测量中的某些条件(如被测物的位置)相对交换,使产生系统误差的原因对测量结果起相反的作用,从而抵消系统误差.例如,用滑线电桥测电阻时,将被测电阻与标准电阻交换位置测量,以消除接触电阻和电阻丝不均匀带来的误差.

异号法:使系统误差在测量中出现两次,两次的符号相反,取平均值作为测量结果,可消除系统误差.例如,在拉伸法测金属丝弹性模量实验中,加砝码与减砝码各记一次数,取平均值可消除摩擦等原因产生的系统误差.

半周期偶次观测法:对于按正弦曲线变化的周期性系统误差,可采用在相差半个周期处同时测两个值来表示相应的角的位置,最后以各自算出的角度的平均值作为测量结果,就可消除这种系统误差.例如,分光计就采用这种方法消除“偏心”引起的周期性系统误差.

系统误差的发现、减小和消除是一个比较复杂的问题,实验者只有在实验中不断地总结经验并努力提高自己的业务水平,才能设法在测量结果中减小和消除系统误差的影响.

2. 随机误差

随机误差也称为偶然误差,是指消除系统误差后,仍然存在的一种误差,这种误差多是由一些尚未十分明确又暂时不能控制的微小因素综合作用的结果.因产生原因不详,故也就不易控制或消除,随机误差有时大有时小,有时正有时负,方向不定,但具有统计的规律性,而且在大多数情况下它是服从正态分布的.

产生随机误差的原因很多,例如,实验者人为判断的误差,涨落情况,实验和测量过程中各种外界因素的干扰,被测量本身的不确定等,难以确定某个因素产生的具体影响的大小.

对于每次测量来说,随机误差的出现是没有规律的,也是不可预知的,但是如果测量次数足够多,就会发现随机误差服从一定的统计规律,即各种大小、符号不同的随机误差的出现有确定的概率(可能性).随机误差服从的统计规律称为高斯分布规律.如图 1.1.1 所示, Δ 表示随机误差, $f(\Delta)$ 表示与随机误差出现概率有关的函数.

由高斯分布曲线可知,随机误差服从下列统

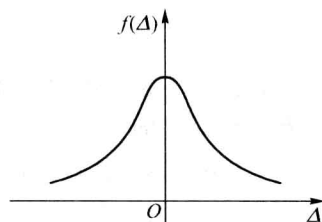


图 1.1.1 高斯分布曲线

计规律：

- (1) 对称性：绝对值相等的正的和负的误差出现的概率相同；
- (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) 有限性：在一定测量条件下，随机误差的绝对值不会超出一定的范围；
- (4) 抵偿性：随着测量次数的增加，随机误差的算术平均值趋近于零；
- (5) 测量中的随机误差是不可避免的，但我们根据它的统计规律知道：① 采用多次测量，可减小随机误差的影响；② 可以对随机误差作合理的估计。

3. 粗大误差

粗大误差也就是错误数据，对测量结果产生明显歪曲的、数值比较大的误差称为粗大误差。产生粗大误差的原因多是由于人员失误或测量条件不符合规定造成的。这类误差在数据处理过程中应依照一定的判据剔除掉。

总的来说，误差的大小表示测量结果接近真值的程度。

四、测量结果的评定

在对物理量进行测量后，通常用精密度、准确度和精确度评定测量结果。

1. 精密度

精密度描述测量可重复的程度，是指重复测量所得结果相互接近的程度。它反映了随机误差的大小。测量的精密度高，是指测量数据比较集中，则测量的重复性好，各次测量的结果分布密集，随机误差较小。因此，精密度反映了随机误差对测量影响的大小，可由测量仪器的最小测量单位确定。在用精密度描述测量结果时，系统误差的大小不明确。

2. 准确度

准确度是对测量的系统误差的综合评定，是综合评定测量结果的重复性与接近真值的程度的。测量的准确度高，是指测量数据比较集中在真值附近，即测量的系统误差比较小。在用准确度描述测量结果时，随机误差的大小不明确。

3. 正确度

正确度也称精确度，是指测量值与真值之间的符合程度。它综合反映了系统误差和随机误差的大小，测量的精确度高，是指测量数据的平均值偏离真值较小，测量结果与真值接近的程度好，测量结果的系统误差和随机误差都小。

下面(图 1.1.2)用打靶时子弹打在靶上的分布，来说明精密度、准确度和正确度这三个概念。



图 1.1.2 测量的精密度、准确度和正确度图示

五、直接测量的误差估计

根据数理统计理论,我们可以对测量的最佳值和随机误差作一个合理的估计.首先我们假定,系统误差已经尽可能地消除或减小,或作了修正,由于实验者粗心大意或操作不当造成的错误数据已剔除.

1. 多次测量的误差

(1) 以算术平均值作为测量的最佳值

由于偶然误差的存在,使多次重复测量时每一次的测量值都有区别,那么什么样的值才是测量的最佳值呢? 理论证明,在进行有限次数的测量时,算术平均值是最接近真值的值.在测量方法正确的条件下,当测量次数无限增加时,算术平均值无限接近于真值.所以我们用算术平均值作为测量的最佳值.

设某一物理量 x , 在同一实验条件下对 x 进行 k 次测量,测量值分别为 $x_1, x_2, \dots, x_k$, 这些测量值的算术平均值则为

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i \quad (1.1.1)$$

(2) 以标准偏差或算术平均误差估算随机误差

算术平均值的标准偏差(简称标准差)用 $S_{\bar{x}}$ 表示, $S_{\bar{x}}$ 的计算公式为

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2}{k(k-1)}} = \frac{1}{\sqrt{k}} S_x \quad (1.1.2)$$

式中,

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2}{k-1}}$$

是第 i 次测量的标准差,称为贝塞尔公式.

算术平均误差用 $\overline{\Delta x}$ 表示, $\overline{\Delta x}$ 的计算公式为

$$\overline{\Delta x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k |x_i - \bar{x}| = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k |\Delta x_i| \quad (1.1.3)$$

式中

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x}$$

称为第 i 次测量的绝对误差, Δx_i 是有符号的.

算术平均值的标准差 $S_{\bar{x}}$ 和算术平均误差 $\overline{\Delta x}$ 都是有单位的, 它们的单位与测量值 x 的单位相同.

有时还需要用相对误差表示结果. 相对误差 E_s 与标准差 $S_{\bar{x}}$ 的函数关系为

$$E_s = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \times 100\% \quad (1.1.4)$$

相对误差 $E_{\Delta x}$ 与算术平均误差 $\overline{\Delta x}$ 的函数关系为

$$E_{\Delta x} = \frac{\overline{\Delta x}}{\bar{x}} \times 100\% \quad (1.1.5)$$

算术平均值的标准差和算术平均误差都可以表示随机误差的大小, 也就是说都可以表示测量的精密度的高低, 但标准差具有的统计意义更明确, 稳定性较好 ($S_{\bar{x}}$ 随次数 k 的变化较小), 具有与个别误差的符号无关, 能反映测量数据离散情况等优点, 所以国际上均用它表示测量的精密度. 在基础物理实验教学中, 为计算上的简便, 可采用算术平均误差表示测量的精密度. 标准差和算术平均误差只算其中之一即可.

例 1.1 单摆实验中用米尺对摆长 l 测量了 10 次, 数据如下:

1.005 6 m, 1.005 8 m, 1.005 4 m, 1.005 3 m, 1.005 9 m, 1.005 5 m, 1.005 7 m, 1.005 8 m, 1.005 6 m, 1.005 7 m.

计算其算术平均误差和标准差.

$$\begin{aligned} \text{解: } \bar{L} &= \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k L_i \\ &= (1.005\,6 + 1.005\,8 + 1.005\,4 + 1.005\,3 + 1.005\,9 + 1.005\,5 \\ &\quad + 1.005\,7 + 1.005\,8 + 1.005\,6 + 1.005\,7) \div 10\,\text{m} \\ &= 1.005\,6\,\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta L_1 &= 0, \Delta L_2 = 0.000\,2, \Delta L_3 = -0.000\,2, \Delta L_4 = -0.000\,3, \Delta L_5 = 0.000\,3, \\ \Delta L_6 &= -0.000\,1, \Delta L_7 = 0.000\,1, \Delta L_8 = 0.000\,2, \Delta L_9 = 0, \Delta L_{10} = 0.000\,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{\Delta L} &= \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k |\Delta L_i| \\ &= (0 + 0.000\,2 + 0.000\,2 + 0.000\,3 + 0.000\,3 + 0.000\,1 + 0.000\,1 \end{aligned}$$

$$+0.000\ 2+0+0.000\ 1)\div 10\ \text{m} \\ =0.000\ 1\ \text{m}$$

$$\sum_{i=1}^{10} (L_i - \bar{L})^2 = (0+4+4+9+9+1+1+4+0+1) \times 10^{-8}\ \text{m}^2 = 3.3 \times 10^{-7}\ \text{m}^2$$

$$S_{\bar{L}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (L_i - \bar{L})^2}{k(k-1)}} = \sqrt{\frac{33 \times 10^{-8}}{10(10-1)}}\ \text{m} = 0.000\ 1\ \text{m}$$

2. 单次测量的误差

由于条件限制,或者不必进行多次测量,我们对物理量 x 只测量了一次,测量的最佳值就是该次测量值 x ,测量的误差 Δx 是该单次测量的最大误差,一般取仪器误差 $\Delta_{\text{仪}}$ 作为单次测量的误差,即

$$\Delta x = \Delta_{\text{仪}} \quad (1.1.6)$$

仪器误差可按下面几种方法估计:

(1) 仪器标注了示值误差或标准误差,则仪器误差 $\Delta_{\text{仪}}$ 就取示值误差或标准误差.例如,量程在 150 mm 以下的游标卡尺,国家标准规定,示值误差等于分度值,所以如果一把游标卡尺的分度值为 0.02 mm,则 $\Delta_{\text{仪}} = \pm 0.02\ \text{mm}$.又如实验室常用的螺旋测微器,测量范围是 0~25 mm,分度值是 0.01 mm,按国家标准规定,示值误差为 $\pm 0.004\ \text{mm}$,那么 $\Delta_{\text{仪}} = \pm 0.004\ \text{mm}$.

(2) 仪器标注了准确度等级,则仪器误差为

$$\Delta_{\text{仪}} = \pm \text{量程} \times \text{准确度等级} \% \quad (1.1.7)$$

例如,量程为 3A 的电流表,准确度等级为 1.5 级,这只电表的仪器误差为 $\Delta_{\text{仪}} = \pm 3 \times 1.5 \% \text{A} = \pm 0.05\ \text{A}$.

(3) 能连续读数的仪器,这种仪器能在分度值以下进行估读,仪器误差取分度值的一半,即

$$\Delta_{\text{仪}} = \frac{1}{2} \times \text{分度值} \quad (1.1.8)$$

例如,米尺分度值为 0.1cm,

$$\Delta_{\text{仪}} = \frac{1}{2} \times 0.1\ \text{cm} = 0.05\ \text{cm}$$

(4) 不能连续读数的仪器(如停表、数字式仪表等只能读到分度值或最小单位的仪器),仪器误差取分度值或最小单位,即

$$\Delta_{\text{仪}} = \text{分度值} \quad \text{或} \quad \Delta_{\text{仪}} = \text{最小单位} \quad (1.1.9)$$

例如,电子秒表能读出的最小单位是 0.01 s,则 $\Delta_{\text{仪}} = 0.01\ \text{s}$.

单次测量的标准差,可按下式计算: