



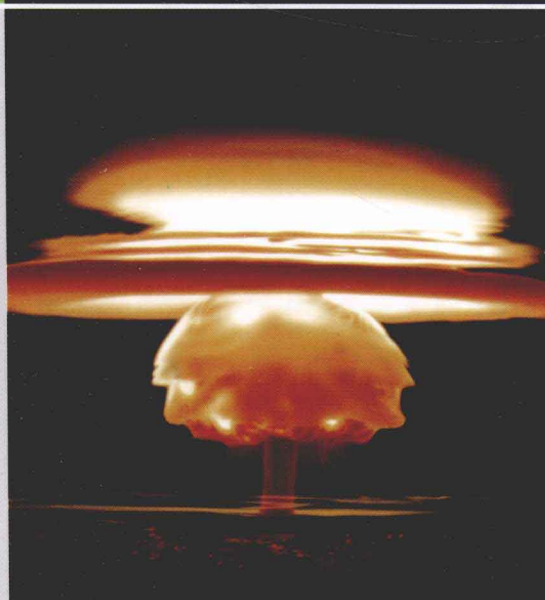
应用型本科院校规划教材/物理

主 编 叶健祺 孙莹

大学物理实验

Experiment of College Physics

- 适用面广
- 应用性强
- 促进教学
- 面向就业



哈尔滨工业大学出版社



应用型本科院校规划教材/物理

主 编 叶健祺 孙 莹

副主编 李 强 于长秋

大学物理实验

Experiment of College Physics

北方工业大学图书馆



C00250115



哈尔滨工业大学出版社

内容简介

本书精选了 12 个题目(实验 1~12)作为必修的基础部分,内容涵盖了力、电、光的基本实验,以电学实验为主。同时精选了 10 个综合性的题目(实验 13~22)作为选修的提高部分,供各专业根据不同的需要进行选修。为了加强实践能力的培养,特别安排了安装收音机的实训项目,使所有专业的学生都可获得电子电路的实践训练。

本书可作为高等工科院校及师范院校非物理专业类学生的物理实验教材,也可作为相关专业技术人员参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/叶健祺,孙莹主编. —哈尔滨:哈尔滨
工业大学出版社,2011.2
应用型本科院校规划教材
ISBN 978-7-5603-3150-8

I. ①大… II. ①叶… III. ①物理学-实验-高等学校-教材 IV. ①04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 265292 号

策划编辑 赵文斌 杜 燕
责任编辑 范业婷
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 9.5 字数 212 千字
版 次 2011 年 2 月第 1 版 2011 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-3150-8
定 价 20.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

《应用型本科院校规划教材》编委会

主 任 修朋月 竺培国

副主任 王玉文 吕其诚 线恒录 李敬来

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁福庆	于长福	王凤岐	王庄严	刘士军
刘宝华	朱建华	刘金祺	刘通学	刘福荣
张大平	杨玉顺	吴知丰	李俊杰	李继凡
林 艳	闻会新	高广军	柴玉华	韩毓洁
藏玉英				

序

哈尔滨工业大学出版社策划的“应用型本科院校规划教材”即将付梓,诚可贺也。

该系列教材卷帙浩繁,凡百余种,涉及众多学科门类,定位准确,内容新颖,体系完整,实用性强,突出实践能力培养。不仅便于教师教学和学生学,而且满足就业市场对应用型人才的迫切需求。

应用型本科院校的人才培养目标是面对现代社会生产、建设、管理、服务等一线岗位,培养能直接从事实际工作、解决具体问题、维持工作有效运行的高等应用型人才。应用型本科与研究型本科和高职高专院校在人才培养上有着明显的区别,其培养的人才特征是:①就业导向与社会需求高度吻合;②扎实的理论基础和过硬的实践能力紧密结合;③具备良好的人文素质和科学技术素质;④富于面对职业应用的创新精神。因此,应用型本科院校只有着力培养“进入角色快、业务水平高、动手能力强、综合素质好”的人才,才能在激烈的就业市场竞争中站稳脚跟。

目前国内应用型本科院校所采用的教材往往只是对理论性较强的本科院校教材的简单删减,针对性、应用性不够突出,因材施教的目的难以达到。因此亟须既有一定的理论深度又注重实践能力培养的系列教材,以满足应用型本科院校教学目标、培养方向和办学特色的需要。

哈尔滨工业大学出版社出版的“应用型本科院校规划教材”,在选题设计上认真贯彻教育部关于培养适应地方、区域经济社会发展需要的“本科应用型高级专门人才”精神,根据黑龙江省委书记吉炳轩同志提出的关于加强应用型本科院校建设的意见,在应用型本科试点院校成功经验总结的基础上,特邀请黑龙江省9所知名的应用型本科院校的专家、学者联合编写。

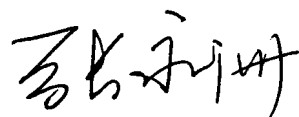
本系列教材突出与办学定位、教学目标的一致性和适应性,既严格遵照学科体系的知识构成和教材编写的一般规律,又针对应用型本科人才培养目标及与之相适应的教学特点,精心设计写作体例,科学安排知识内容,围绕应用

讲授理论,做到“基础知识够用、实践技能实用、专业理论管用”。同时注意适当融入新理论、新技术、新工艺、新成果,并且制作了与本书配套的 PPT 多媒体教学课件,形成立体化教材,供教师参考使用。

“应用型本科院校规划教材”的编辑出版,是适应“科教兴国”战略对复合型、应用型人才的需求,是推动相对滞后的应用型本科院校教材建设的一种有益尝试,在应用型创新人才培养方面是一件具有开创意义的工作,为应用型人才的培养提供了及时、可靠、坚实的保证。

希望本系列教材在使用过程中,通过编者、作者和读者的共同努力,厚积薄发、推陈出新、细上加细、精益求精,不断丰富、不断完善、不断创新,力争成为同类教材中的精品。

黑龙江省教育厅厅长



2010 年元月于哈尔滨

前 言

本教材是在总结黑龙江东方学院多年物理实验教学经验的基础上编写而成的。根据东方学院的特点,工科类专业范围较广,包括电子、机工、建筑、食品等学科的众多专业,而且目标定位在应用性、职业型、开放式的专门人才上。学院在安排各专业的总体教学计划时,贯彻“基础知识够用,实践技能实用,专业理论管用”的原则,对“大学物理实验”课程的总学时安排为 24~48 学时,较少于一般院校的计划学时数。同时,我们在教学实践中还深深体会到,目前我国中学物理教学中,实验环节非常薄弱,学生难以得到实验的初始训练。因此在编写本教材时,我们充分考虑了上述实际情况,作了如下具体安排。

第一,在实验题目的选择上,精选了 12 个题目(实验 1~12)作为必修的基础部分,内容涵盖了力、电、光的基本实验,以电学实验为主。同时精选了 10 个综合性的题目(实验 13~22)作为选修的提高部分,供各专业根据不同的需要进行选修。为了加强实践能力的培养,特别安排了安装收音机的实训项目,使所有专业的学生都可获得电子电路的实践训练。

第二,在实验原理的叙述上尽可能删繁就简,只介绍本实验所依据公式的物理意义,而不作理论上的数学推导。在介绍实验操作内容时,则尽量作详细的叙述,以求指导学生实际操作。为了使学生更容易掌握记录数据和处理数据的方法,在前 4 个实验中都增补了一个实例示范。将具体的测量数据记录在表格中,并将处理数据的整个过程详尽演示出来,可以让学生去模仿(样品的数据与学生实测的数据应有所差别)。教学实践表明,这种安排对学生的帮助较大。经过这 4 个实验训练之后再由学生独立去处理数据。

第三,每次实验的学时定为 2 学时,这样可以在总学时较少的情况下,多安排一些实验题目。但是每个实验题目的内容就必须较大幅度地精简,以保证在 2 学时内完成实验教学的全过程。

第四,对“测量误差和不确定度”这部分内容的处理,历来是物理实验课特别关注的问题,都是在第一次绪论课中作系统的讲授。根据我们的经验,对一个没有实验经验的初学者,不宜一开始就过多教授这部分内容。因此,本教材只做较为简要的介绍,目的是使学生初步建立误差的概念,并掌握国际上统一规范实验结果的表达方式。更重要的是要在以后每个实验报告中,始终严格要求学生,使他们逐步提高认识,并允许多次犯错误,不断改正错误,最后达到掌握误差理论的目的。

物理实验教学是一项集体观念很强的教学活动。多年来,黑龙江东方学院实验中心的领导和同仁对物理实验室的建设给予了大力的支持,为学生提供了优越的实验环境和条件;物理教研室的领导和同仁积极参与实验教学,为实验教学改革作了很大的贡献,为此作者表示衷心的感谢!

叶健祺

2010 年 10 月

目 录

实验室守则	1
绪论	3
第一节 物理实验课的教学目的和教学程序	3
第二节 测量误差和不确定度	4
第三节 有效数字及其运算规则	11
第四节 实验数据处理的一般方法	13
第五节 用计算器计算平均值和标准误差	16
实验 1 长度测量	19
实验 2 测定液体的黏度	25
实验 3 用惠斯通电桥测电阻	28
实验 4 用电位差计测量电动势	32
实验 5 伏安法测半导体二极管特性	36
实验 6 交流电路的谐振现象	39
实验 7 示波器的使用	44
实验 8 霍尔效应	54
实验 9 测定棱镜玻璃的折射率	60
实验 10 光的干涉	67
实验 11 衍射光栅	71
实验 12 测量溶液的旋光率	74
实验 13 共振法测杨氏模量	79
实验 14 空气比热容比的测定	82
实验 15 驻波实验	86
实验 16 超声声速的测定	90
实验 17 用模拟法测绘静电场	95
实验 18 霍尔效应法测螺线管的磁感应强度	99
实验 19 电子束在电场中的聚焦和偏转	103
实验 20 音频信号光纤传输技术	108
实验 21 信号的频谱分析	112
实验 22 半导体制冷实验	117
实训项目 安装收音机	121
附录	131
附录 1 常用物理常数表	131
附录 2 中华人民共和国法定计量单位	133
附录 3 希腊字母读音表	138
附录 4 拉丁字母读音表	139

实验室守则

1. 保持实验室内环境的肃静和整洁。不准在实验室饮食、吸烟,不准把废纸丢弃在实验室。
2. 实验前要认真阅读实验教材,写出预习报告,预习不合格者,不准进行实验。
3. 未了解仪器性能和使用方法之前切勿动手操作仪器,使用仪器时要严格遵守操作规程,不许擅自拆卸仪器。
4. 使用电学仪器时要特别注意电源的极性和电压的大小,连接完电路后一定要检查线路,在确认无误后方可接通电源。测试完毕应立即关闭电源。
5. 实验结束后,须将仪器恢复到实验前状态,整理好实验桌椅后,方可离开实验室。

绪 论

第一节 物理实验课的教学目的和教学程序

一、物理实验课的教学目的

物理实验是高等院校理工科专业一门必修的、独立设置的基础课程,是学生进入大学后所接受的最系统的实验技能训练。它在培养学生用实验手段去观察、发现、分析和研究问题并最终解决问题的能力方面起着重要的作用,也为学生独立地进行科学研究、设计实验方案、正确地选择和使用仪器设备打下良好的基础。具体的教学目的与要求如下:

- (1) 通过观察、测量和分析,加深对物理概念和理论的认识。
- (2) 学习物理实验的基本知识、基本方法,培养学生的基本实验技能(包括仪器的选择、调节和使用,测量方法和技巧,实验结果的分析和实验报告的撰写等),提高学生分析问题和解决问题的能力。
- (3) 培养严肃认真、实事求是的科学态度和工作作风。

二、物理实验课的教学程序

1. 课前预习

在实验前要认真阅读实验教材,了解本实验的内容和原理,了解所用仪器的结构、性能、调整方法和操作规程,在此基础上写出预习报告。预习报告内容包括以下几个方面:

- (1) 实验题目。
- (2) 实验目的。
- (3) 仪器用具。
- (4) 实验原理:简明叙述实验所依据的原理、测量依据的主要公式,说明公式中各量的含义和单位,公式的适用条件;力求做到图文结合(图是指原理图、电路图或光路图)。
- (5) 实验步骤(应具体、简明、扼要)。
- (6) 绘制数据记录表格(每格应能记录两个以上的数据,以备重测)。

预习报告作为正式报告的一部分,要在课前写好,上实验课时接受教师检查和提问。

2. 实验室操作

(1) 仪器的安装和调试

使用仪器进行观测时,必须满足仪器的正常工作条件(如水平、铅直等),初学者容易出现的毛病就是不注意耐心细致地调整仪器而急于进行测量,往往得不到好的测量结果。实验时先明确要做什么,应该怎样做,还要懂得为什么要这样做。不了解操作规程,千万不要乱动仪器。

(2) 观测

在明确了实验目的、测量内容和操作步骤并能正确使用仪器后,方可进行正式观测。观测时要精力集中,尽量排除外界干扰(同时也不要影响他人)。实验中应认真思考,仔细观察,对观察到的现象和测得的数据要及时进行分析,判断是否正常与合理。切忌盲目认同。

实验过程中可能会出现故障,遇到这种情况,应立即报告教师,不可擅自处理。情况允许时,可在教师的指导下,分析故障原因,学会排除故障的本领。

(3) 记录

记录就是如实记下所观测的现象和测得的数据。要重视原始数据的记录,因为它是求得实验结果和分析问题的依据。记录数据时应注意以下几点:

- ① 要将数据直接记录在预习报告的表格中,不可先记录在草纸或教材上再誊写到报告上;
- ② 记录数据要工整,要使自己和别人都能看懂;
- ③ 记录数据不可以用铅笔,必须用钢笔、圆珠笔、碳素笔等,以防原始数据灭失;
- ④ 如发现错误需要改正原有记录,可在原记录上画一直线,在一旁重记。不允许在原记录上涂改或覆盖掉原记录,也不允许用胶带将原记录粘掉。保留错误数据的印迹,对分析错误的原因大有好处。

3. 写实验报告

实验结束后,要及时处理数据。进行运算时要先写出公式,代入数据,计算结果要注意正确取舍有效数字和单位,同时要作误差分析,求得测量结果的不确定度,最后将实验结果正确、规范地表达在实验报告上。

实验报告是实验工作的总结,要予以重视。报告要写得字迹清楚、条理清晰,不要认为实验报告仅仅是给实验教师看的,而应将其看做一种科学记录,是一篇让人能看懂的学术文献。

实验报告的内容包括前面介绍的预习报告 6 项内容和数据处理的全部内容,还包括实验讨论。讨论内容由实验人自由发挥,可以是对实验中现象的分析讨论,对实验结果的评价,也可以提出更好的实验方案等。

第二节 测量误差和不确定度

一、误差的定义和表示

每一个物理量都有一个客观存在的真值,但在测量过程中,由于测量仪器、测量方法、

测量环境和测量者的观察力等都不可能做到绝对严密,因此任何测量都不可能测得真值。也就是说任何测量都存在误差。测量误差的定义为

$$\text{误差} = \text{测量值} - \text{真值} \quad (1)$$

误差有以下两种表示方法。

(1) 绝对误差,用 ΔN 表示:

$$\Delta N = N - N_0 \quad (2)$$

式中, N 为测量值, N_0 为真值。 ΔN 可能是正值,也可能是负值,且有量纲。它可以比较用不同仪器测量同一个被测物理量的测量准确度。

(2) 相对误差,通常用百分数 E 来表示:

$$E = \frac{\Delta N}{N} \times 100\% \quad (3)$$

相对误差可以比较不同被测物理量的测量准确度的高低。相对误差和绝对误差之间的关系是

$$\Delta N = N \times E \quad (4)$$

二、误差的分类

产生误差的原因有很多,但是依据误差的性质和特点,可分为系统误差和随机误差两大类。

1. 系统误差

在相同条件下多次测量同一物理量,误差的大小和正负都保持恒定,或在条件变化的情况下,误差的大小和正负按一定规律变化,这类误差称为系统误差。比如一只手表与标准时间对表,一天慢 1 s,第二天对表就慢了 2 s,一周之后就慢了 7 s,这就是系统误差。一般情况产生系统误差的原因是比较明确的,只要找到原因,就可以设法消除或校正。

2. 随机误差

在相同条件下多次测量同一物理量,每一次测量误差的大小和正负没有确定的变化规律,时大时小,时正时负,呈现无规则的涨落,且无法控制和预测,这样的误差称为随机误差。

随机误差是由偶然的或不确定的因素造成的,故导致其具有单个无规律性。但是,若对某一量值在相同条件下进行一系列多次测量,就此系列多次测量的误差总体而言,应服从统计分布规律。大量的统计数据表明,随机误差服从正态分布规律。如图 1 所示,以误差 ΔN 为横坐标,误差出现的概率 $p(\Delta N)$ 为纵坐标。正态分布呈现以下特点:

① 单峰性:绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的概率大。

② 对称性:绝对值相等而符号相反的误差出现的概率相同。由此可以导出,随着测量次数的增加,随机误差的代数和趋于零。此性质称为随机误差的抵偿性,这正是多次测量可以减少随机误差的原因。

③ 有界性:在一定的测量条件下,随机误差的绝对值不会超过某一界值。

三、如何处理误差

分析误差的目的,是为了减少误差,提高测量的精确度。系统误差和随机误差的性质

和特点不同,处理方法也不同。

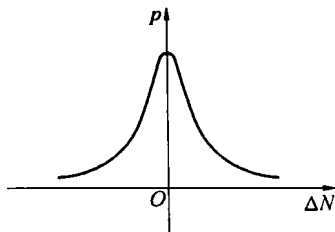


图1 正态分布图形

对于系统误差,前面说过其出现一般都有较明确的原因,解决的办法就是找出原因,然后采取相应的措施来消除它,或者进行校正,怎样找到原因,采取什么对策,需要实验者具有较高的理论水平和丰富的经验。因此在实验过程中逐渐积累经验,增强智慧,提高实验素养是很重要的。

由于随机误差产生的原因非常复杂,不能像对待系统误差那样,找出原因加以排除。根据随机误差服从统计规律的特点,在实际中都是用统计的方法来处理。下面给出统计理论的几个结论。

1. 测量结果的算术平均值是测量的最佳值

在相同的条件下对一个物理量 N 作 k 次测量,用 $N_i (i = 1, 2, \dots, k)$ 表示每次测量值, $\bar{N}$ 表示测量结果的算术平均值,即

$$\bar{N} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k N_i \quad (5)$$

正态分布的理论证明,当测量次数 $k \rightarrow \infty$ 时,平均值 $\bar{N}$ 趋近于真值 N_0 , 即 $\bar{N} \rightarrow N_0$ 。在实际测量中,用有限次数测量的平均值 $\bar{N}$ 作为测量结果;用 $\bar{N}$ 代替真值来计算每次测量的误差 δ_i , 即

$$\delta_i = N_i - \bar{N} \quad (6)$$

2. 随机误差的计算

常用的随机误差的计算方法有两种,即算术平均误差和标准误差。

(1) 算术平均误差

设一个 k 次测量系列,测量值为 $N_i (i = 1, 2, \dots, k)$ 每次对应的误差由式(6)求得,则测量系列的算术平均误差为

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^k |N_i - \bar{N}|}{k} \quad (7)$$

注意,由于随机误差的对称性,它的代数和必然趋于零,因此只能取 δ_i 的绝对值才能求得平均值。

(2) 标准误差

设一个 k 次测量系列,测量值为 $N_i (i = 1, 2, \dots, k)$ 每次对应的误差为 $\delta_i = N_i - \bar{N}$, 则测量列的标准误差为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (N_i - \bar{N})^2}{k-1}} \quad (8)$$

算术平均误差 θ 和标准误差 σ 具有同等的意义,都是表征一个测量系列精密度高低的物理量。 θ 或 σ 越小,说明测量值 N_i 对于算术平均值 $\bar{N}$ 的离散程度越小,测量的可靠性就越大。反之,测量数据分散,精密度低。 θ 与 σ 之间的区别在于它们对同一测量系列的精密度进行衡量时采用的方法不同,计算出来的平均结果稍有差别。两者的关系为

$$\theta \approx \frac{4}{5}\sigma \quad (9)$$

算术平均误差 θ 比标准误差 σ 约小 $\frac{1}{5}$ 。由统计理论证明,真值 N_0 落在 $\bar{N} \pm \theta$ 之间的概率为 57.5%,真值 N_0 落在 $\bar{N} \pm \sigma$ 之间的概率为 68.3% (理论上称此范围为“置信区间”)。由于用标准误差 σ 来表示测量结果的误差,可信赖的程度比 θ 高。所以国际上普遍采用标准误差。但算术平均误差 θ 算法简单,对于要求不太高的误差计算比较常用。

【例 1】用毫米尺(最小刻度为 1 mm = 0.001 m) 测量实验桌的长度 L ,测量 5 次,每次测量估读到 0.000 1 m(数位),数据见表 1。

表 1

	1	2	3	4	5	$\bar{L}$
L/m	1.205 5	1.205 6	1.205 2	1.205 0	1.205 6	1.205 4
$\delta = L_i - \bar{L}/\text{m}$	0.000 1	0.000 2	-0.000 2	-0.000 4	0.000 2	

$$\bar{L} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 L_i = 1.205 4 (\text{m})$$

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^5 |L_i - \bar{L}|}{5} = 0.000 22 (\text{m})$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (L_i - \bar{L})^2}{5-1}} = 0.000 27 (\text{m})$$

四、仪器误差

仪器误差是指在仪器规定的使用条件下,正确使用仪器时的指示数和被测量的真值之间可能产生的最大误差。它的数值通常由制造厂家和计量单位使用更精密的仪器,经过检定、比较后给出的,其符号可正可负,用 $\pm \Delta_{\text{仪}}$ 表示。如果没有注明,连续读数的仪器一般用最小刻度的 $\frac{1}{2}$ 作为 $\Delta_{\text{仪}}$,游标类仪器用游标的最小分度值作为 $\Delta_{\text{仪}}$,数字显示的仪表用最小显示值作为 $\Delta_{\text{仪}}$ 。对电工仪表,一般用仪表的级别进行计算,即 $\Delta_{\text{仪}} = \text{量程} \times \text{级别} \%$ 。为便于查找,表 2 中给出了几种常用仪器的仪器误差。

表 2 常用仪器的仪器误差

仪器名称	最小分度值	仪器误差
米尺	1 mm	0.5 mm
螺旋测微尺	0.01 mm	0.005 mm
游标卡尺	0.02 mm	0.02 mm
电子秒表	0.01 s	0.01 s

五、测量的不确定度

1. 定义不确定度的由来

任何测量结果与客观存在的真值都存在一定的误差,而真值是一个理想的概念,是无法求得的。因此无法按式(1)的定义求得误差精确的数值,只能对误差作近似的估算。估算误差的方法很多,对于测量数据的处理和测量结果的表达,长期以来在各个国家和不同的学科有不同的认识和规定,这不利于国际交流,也不利于对各种成果作评估和利用。为了规范各领域对测量结果有统一的认识、评价和比较,国际计量局于1980年在《实验不确定度的说明建议书》中建议使用不确定度来评定测量和实验的结果。1993年国际计量局联合7个国际组织正式发布了《测量不确定度表示指南》,为计量标准的国际对比和测量不确定度的表述奠定了基础。我国国家质量技术监督局于1991年正式颁布了《计量技术规范·测量误差及数据处理》,其中规定采用不确定度作为基础研究、测量和实验工作中的误差数字指标的名称,并于1999年发布了新的计量技术规范《JJF1059—1999 测量不确定度评定与表示》,代替《JJ1027—1991 测量误差及数据处理》中的误差部分。现在国际上和我国的各行各业都已使用不确定度来评定实验的结果。

2. 不确定度的含义

从字面上来理解,不确定度是表征测量结果由于误差的存在而不能确定的程度。比如用 L 表示例1中实验桌长度的测量结果,获得5次测量值的平均值 $\bar{L} = 1.2054\text{ m}$,显然 $\bar{L}$ 不是真值。平均值 $\bar{L}$ 与真值之间存在一定的误差,说明测量结果 L 在一定范围内是不能确定的。这个不能确定的范围有多大呢?通过对各种误差的分析和估算,可以求得这个范围为 $\Delta = 0.0006\text{ m}$,最后,怎样来表达这样一个测量结果呢?根据国际上统一规定,测量结果应规范地表示为

$$L = 1.2054 \pm 0.0006\text{ m}$$

$\Delta = 0.0006\text{ m}$ 叫做测量实验桌长度 L 的不确定度。不确定度的评定方法将在下面介绍。

3. 不确定度的评定方法

从例1可看出,不确定度的实质是各种误差总体的近似估算。误差可分为系统误差和随机误差两大类。这两类误差的处理方法不同,随机误差用统计方法处理,系统误差用非统计方法处理。评定不确定度的方法也类似地分为两类:

①A类不确定度 Δ_A :凡是用统计方法计算出来的误差数值,统归为 Δ_A 。

②B类不确定度 Δ_B :凡是不能用统计方法计算而用其他方法估算出来的误差数值,统

归为 Δ_B 。

对这两类分量进行合成即为测量结果的不确定度,用希腊字母 Δ 表示,即

$$\Delta = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} \quad (10)$$

在本实验课程中,为简化计算步骤,对不确定度的评定作如下处理。

①A 类不确定度 Δ_A 用随机误差的标准误差 σ 来表示,即

$$\Delta_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (N_i - \bar{N})^2}{k-1}} \quad (11)$$

②B 类不确定度 Δ_B 用仪器误差 $\Delta_{\text{仪}}$ 来表示,即

$$\Delta_B = \Delta_{\text{仪}} \quad (12)$$

例 1 中测量实验桌长度 L 的不确定度 $\Delta = 0.0006 \text{ m}$ 就是按式(10) ~ (12) 计算出来的。根据例 1 中的数据, $\sigma = 0.00027 \text{ m}$, 约为 $\sigma = 0.0003 \text{ m}$, 则

$$\Delta_A = 0.0003 \text{ m}$$

在例 1 中用毫米尺来测量,它的最小刻度是 1 mm , 所以,仪器误差 $\Delta_{\text{仪}} = 0.0005 \text{ m}$, 则

$$\Delta_B = 0.0005 \text{ m}$$

用毫米尺测量实验桌长度 L 的不确定度 Δ 为

$$\Delta = \sqrt{0.0003^2 + 0.0005^2} = 0.0006 \text{ (m)}$$

六、测量结果的规范表达

一般测量分为直接测量和间接测量。

1. 直接测量结果的表达

直接由仪器读出测量值,称直接测量。这是最简单的测量。处理这类测量数据的程序是:

(1) 列表记录各次测量值 N_i , 注意有效数字要准确,在仪器最小刻度后要估读一位数字;参见例 1;

(2) 求多次测量值的算术平均值 $\bar{N}$;

(3) 用平均值作真值,按式(6)求多次测量误差 δ_i ,并由式(8)求标准误差 σ ,由式(11)得 Δ_A ;

(4) 写出仪器误差 $\Delta_{\text{仪}}$,由式(12)得 Δ_B ;

(5) 计算不确定度,由式(10)得 Δ ;

(6) 最后写出测量结果:

$$N = \bar{N} \pm \Delta \quad (\text{单位})$$

$$E = \frac{\Delta}{\bar{N}} \times 100\% \quad (13)$$

2. 间接测量结果的表达

在直接测量的基础上,通过一定的函数关系计算出来的物理量,称间接测量。例如测量实验桌的面积 S ,不能用一个“面积仪”直接读出 S 的数值,而是通过直接测量长度 L 和