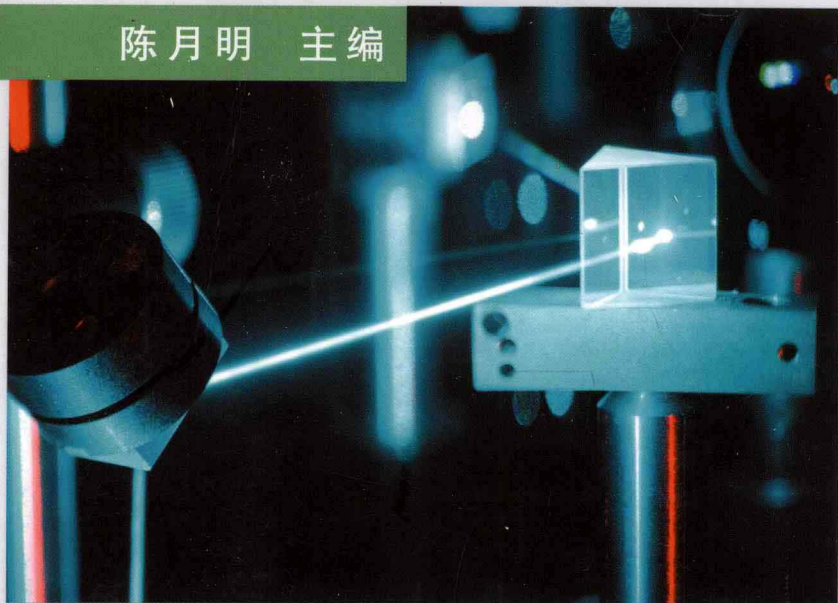


高等院校21世纪课程教材

College Textbook Series for 21st Century

医用物理学实验

陈月明 主编



北京师范大学出版集团

BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP

安徽大学出版社

高等院校21世纪课程教材

College Textbook Series for 21st Century

医用物理学实验

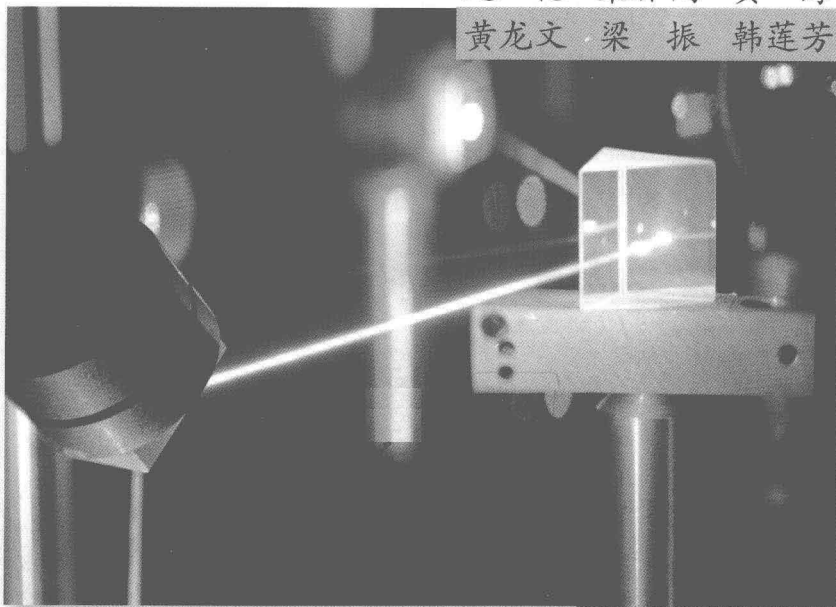
主 编 陈月明

参编人员 (按姓氏笔画排序)

王 奕 江中云 陈月明

赵 艳 柴林鹤 黄 海

黄龙文 梁 振 韩莲芳



北京师范大学出版集团

BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP

安徽大学出版社

内容提要

本教材是根据医学类各专业的培养目标,在参照卫生部颁发的高等医学院校《医用物理学》教学大纲和理工类非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会制定的《理工类非物理类科大学物理课程教学基本要求》,并在总结了我们多年从事《医用物理学》实验教学及教学改革经验的基础上,本着实用、够用、会用、适用并贴近学生学习的特点为原则,结合医学院校《医用物理学》实验课程的教学实际情况和需要精心编写而成。本书内容主要包括物理实验的实验目的、实验仪器、实验原理、实验内容与步骤、数据处理、注意事项及思考题等,能帮助学生强化概念,掌握实验方法,提高实验操作技能,培养学生的实际动手能力。

本教材可供高等医学院校本科、专科生各专业使用或参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

医用物理学实验 / 陈月明主编. —合肥:安徽大学出版社,2010.8

ISBN 978-7-81110-812-5

I. ①医… II. ①陈… III. ①医用物理学—实验 IV. ①R312-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 151530 号

医用物理学实验

陈月明 主编

出版发行: 北京师范大学出版集团
安徽大学出版社
(安徽省合肥市肥西路3号 邮编 230039)
www.bnupg.com.cn
www.ahupress.com.cn

经 销: 全国新华书店
印 刷: 安徽省瑞隆印务有限公司
开 本: 170mm×228mm
印 张: 8.5
字 数: 160千字
版 次: 2010年8月第1版
印 次: 2010年8月第1次印刷
定 价: 14.00元

ISBN 978-7-81110-812-5

组稿编辑: 刘中飞
装帧设计: 孟献辉

责任编辑: 刘中飞
责任印制: 陈 如 韩 琳

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 0551-5106311

外埠邮购电话: 0551-5107716

本书如有印装质量问题,请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 0551-5106311

前言

医用物理学实验是高等医学院校的一门必修课程,它在学生的科学素质培养中占有非常重要的地位。

《医用物理学实验》教材是根据医学类各专业的培养目标,在参照卫生部颁发的高等医学院校《医用物理学》教学大纲和理工类非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会制定的《理工类非物理类大学物理课程教学基本要求》,并在总结了多年从事《医用物理学》实验教学及教学改革经验的基础上,本着实用、够用、会用、适用并贴近学生学习的特点为原则,结合医学院校《医用物理学》实验课程的教学实际情况和需要精心编写而成。本书内容主要包括物理实验的实验目的、实验仪器、实验原理、实验内容与步骤、数据处理、注意事项及思考题等,能帮助学生强化概念,掌握实验方法,提高实验操作技能,培养学生的实际动手能力。本教材可供高等医学院校本科生、专科生各专业使用或参考学习。

本教材共分三章,第一章主要讲述物理实验的重要性及物理实验的主要环节;第二章主要讲述误差理论基础及数据处理的相关知识;第三章为医用物理实验,包括基本长度的测量、粘滞系数特性的测试、液体表面张力系数的测定、三线摆法测量样品的转动惯量、拉伸法测定金属丝的杨氏模量、声速的测量、常用电子仪器介绍、用模拟法测绘静电场、心电图机性能指标的测量、铁磁材料的磁滞回线和基本磁化曲线、模拟 CT、分光计的调节与用分光计和光栅测光波波长、棱镜折射率的测定、旋光计原理及使用、测量薄凸透镜的焦距、自组显微镜等十六个物理学实验。

本教材由陈月明老师担任主编,参加本书编写工作的老师有(按姓氏笔画排序):王奕、江中云、陈月明、赵艳、柴林鹤、黄海、黄龙文、梁振、韩莲芳。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和缺点,我们恳请读者批评指正。

编者

2010年5月

前言	1
第一章 绪论	1
第一节 物理实验的重要性	1
第二节 物理实验的主要环节	4
第二章 误差理论基础及数据处理	6
第一节 物理量的测量与实验误差	6
第二节 有效数字	11
第三节 数据的列表与图示	12
第三章 医用物理实验	18
实验一 基本长度测量	18
实验二 粘滞系数特性的测试实验	24
实验三 液体表面张力系数的测定	30
实验四 三线摆法测量样品的转动惯量	34
实验五 拉伸法测定金属丝的杨氏模量	40
实验六 声速的测量	47
实验七 常用电子仪器介绍	50
实验八 用模拟法测绘静电场	82
实验九 心电图机性能指标的测量	85
实验十 铁磁材料的磁滞回线和基本磁化曲线	93
实验十一 模拟 CT	101

实验十二	分光计的调节与用分光计和光栅测光波波长·····	108
实验十三	棱镜折射率的测定·····	114
实验十四	旋光计原理及使用·····	117
实验十五	测量薄凸透镜的焦距·····	122
实验十六	自组显微镜·····	127
附录一	常用物理常数表·····	130
附录二	希腊字母表·····	131

第一章

绪 论

我们探究自然界的一些规律,首先是从观察和实验开始,物理学是以实验为基础的一门自然学科,实验是探索物理知识的源泉,无论是物理概念的建立,还是物理规律的探索与验证,都离不开物理实验。

自然界中各种现象是错综复杂的,很难按照其原来的样子加以考察,如果在人为的安排及设计下,将我们所要研究的一些现象复制或再现出来,控制现象产生的条件,消除某些不必要的干扰因素,从中得出这些现象中某些量之间的关系及其规律性,这一过程就是实验。如果我们讨论和观察的是物理现象中某些物理量之间的关系及其规律,则这一过程就是物理实验。

第一节 物理实验的重要性

物理实验是我们获取物理知识、培养实验者的观察能力、动手能力、物理思维能力、创新能力、科学态度与科学作风等的重要途径之一,物理实验是物理学理论的基础。在物理实验过程中,系统地进行这方面的训练,我们还能很好地认识理论与实际现象的联系,加深对理论知识的理解,增强独立思考能力,学会使用物理仪器进行物理测量的基本技术和方法,这对我们将来进行医学科学研究和实际医疗工作都是十分重要的。

一、物理实验是我们获取物理知识的重要来源

物理实验不仅可以使我们具备一定的感性认识,更重要的是,可以使我们进一步加深理解物理概念和定律是在怎样的物理实验基础上建立起来的,因此能更好地帮助我们形成一定的物理概念,推导出一定的物理规律,从而使我们能够掌握相关的理论知识,正确和深刻地领会物理理论知识。

实践证明,实验和理论在学习物理过程中具有同样重要的地位。物理实验能创造一种适合于我们学习物理的环境,能使我们以最快捷、最有效的方式掌握前人已经认识到的真理。通过精心设计一些物理实验,能使我们形成正确的、完

整的物理概念,奠定其牢固的物理学基础知识。

二、物理实验可突破物理内容中的难点

物理实验具有直观性和可操作性的特点,它能够激发我们的好奇心和探究欲,并在实验中激发兴趣,启迪思维。有些实验现象明显,可见度大,引人入胜,当实验现象呈现精彩之处,我们会感到无限的惊喜。通过实验过程,既能观察到鲜明的物理现象,也能从形象思维顺利过渡到抽象思维,从而突破物理学中相关内容的难点。由于物理实验能浓缩地展示人们认识和发现某一物理知识、原理的过程,这样可以让我们在较短的时间内理解、认识和掌握某一物理知识、原理,并为掌握其他知识打下坚实的基础。

三、物理实验是提高我们各种能力的重要途径之一

1. 物理实验能有效地培养我们的观察能力

所谓观察能力,是指准确、迅速、深入、全面地捕捉对象特征的能力,是善于察觉事物的典型而非显著特征的能力。达尔文曾经说过:“我既没有突出的理解力,也没有过人的机智,只是在觉察那些稍纵即逝的事物并对其进行精细观察的能力上,我可能高于众人。”显然,没有过人的观察能力,伦琴不会发现 X 射线,居里夫妇也不会发现元素镭。

毫无疑问,过人的观察能力只会来自于实践。我们的实践主要来自于物理实验,不同的物理现象,需要不同的观察仪器;对同一物理现象,可以采用不同的观察方法。这一切,我们在日常生活中不容易做到,也不可能在书本上培养出观察能力,只有通过动手实验才能培养出敏锐的观察能力。达尔文、伦琴、居里夫妇正是经过了远远多于普通人的实验之后,才锻炼出超乎常人的观察能力。

2. 物理实验能培养我们的动手能力

这里的动手能力,主要是指物理实验的基本操作技能。物理实验的基本操作技能有三个方面:

(1)较准确熟练地使用基本物理仪器(包括对仪器的原理、构造和性能的了解);

(2)能用基本的常用仪器对有关物理实验进行配套组装和简单故障的排除;

(3)能自行设计、展示简单物理现象与规律的“小创造”。

物理实验必须以我们为主体,还应考虑让我们能充分发挥主观能动性。物理实验是手脑并用的实践活动,我们动手就必须动脑。俗话说“心灵手巧”,这里的“心”就是指大脑,没有“大脑”的灵活思维,就不可能使“手”运用自如。怎样才能“心灵手巧”呢?那就是“熟能生巧”,这里的“熟”即是指通过大量物理实验让

我们逐渐熟练掌握实验的基本操作技能。

3. 物理实验能培养我们的创新能力

敢想、敢问、敢质疑是创新的基础,而敢动手、敢冒险、勇于实践则是创新的关键。在物理学发展史上,物理学家们为了探究物理世界的奥秘,曾运用科学实验,发现了一个又一个的物理规律。因此,我们在物理实验中要放开双手,大胆实验,勇于实践,不怕失败。我们还要创造条件,争取进行更多的动脑、动手的机会,充分使自己得到足够的实验机会。

四、物理实验能培养我们的科学态度与科学作风

科学是在实事求是的基础上才得以发展起来的。伽利略正是本着实事求是的科学态度,才否定了亚里士多德的许多谬论;牛顿正是本着实事求是的科学态度,才登上了自然科学史上的第一座山峰。物理实验首先推崇实事求是,如果不是求是精神,那么实验观测就失去了意义。在物理实验的过程中应注意培养我们尊重事实、严肃认真、按科学规律办事的科学态度,按实验规则操作,实事求是地对待实验结果。我们要从实际出发,独立思考,精心实验,如实记录,严肃地对待实验过程中的每一个环节。我们要通过物理实验培养自己严谨的科学态度与实干精神以及兢兢业业的科学作风,这将能促使我们建立科学的世界观。我国著名科学家钱三强曾说过:“科学态度和科学作风是一个人优良品德的重要组成部分……对于一个人成就事业的重要性,丝毫不亚于他们的知识和能力,甚至可以说更重要。”

华裔著名实验物理学家丁肇中的学术思想是:在科学研究中非常重视实验,物理学是在实验与理论紧密相互作用的基础上发展起来的,理论进展的基础在于理论能够解释现有的实验事实,并且还能够预言可以由实验证实的新现象。当物理学中一个实验结果与理论预言相矛盾时,就会发生物理学的革命,并且导致新理论的产生。他根据近四分之一世纪以来物理学的历史和他亲身的经验指出,许多重要实验,例如 K 介子衰变中电荷共轭宇称与宇称复合对称性(CP)不守恒的发现, J 粒子的发现以及高温超导体的发现,开辟了物理学中新的研究领域,但这些实验发现都是预先在理论上并没有兴趣的情况下做出的;又如高能加速器实验近年来做出的有关粒子物理的基本发现,除 W 粒子和 Z 粒子外,几乎都是在加速器开始建造时未曾预言过的。他强调,没有一个理论能够驳斥实验的结果,反之,如果一个理论与实验观察的事实不符合,那么这个理论就不能存在。他重视科学实验的观点,对科学工作者是很有教益的。

总之,从生活走向物理,从物理走向社会和大自然,这一切都包含着物理学的基本理论。丰富多彩的物理实验能激发我们的创造性思维能力和探究能力,

能增强我们的学习兴趣,能启迪我们的科学思维,能培养我们的科学态度与科学作风,能揭示物理现象的本质。

第二节 物理实验的主要环节

物理实验是学生在教师指导下独立进行学习的一种实践活动,因此,在实验过程中,学生应充分发挥自己的主观能动性,有意识地培养自己的独立工作能力和严谨的工作作风。为此,在实验过程中应把握好以下三个主要环节:实验预习、做好实验、写好实验报告。

一、实验预习

学生要独立进行实验操作,必须在实验前有很好的预习过程,不做预习或预习不充分则就无法进行正确的操作,在盲目的状态下进行实验容易出现差错或出现严重的事故,这是绝对不允许的,所以,实验前预习的好坏是实验过程中能否取得成功的关键。为此,学生在实验前应做到如下预习要求:

- (1)仔细阅读实验教材,对实验目的、实验原理要深入理解;
- (2)对实验仪器及使用方法要熟练掌握;
- (3)完全清楚实验步骤及实验中的注意事项;
- (4)写出预习报告,实验预习报告应该包括实验名称、实验目的、实验仪器、实验原理、实验步骤、实验注意事项、实验数据的原始记录表格等内容,在必要时还应画出有关的实验图等。

二、做好实验

物理实验操作是学生在实验室里进行的实验活动,在实验过程中,要求我们遵守实验室的各项规章制度,在实验教师的指导下由学生独立完成实验内容,并且要求我们爱护实验仪器及实验设施,注意安全。具体要求是:

- (1)学生进入实验室后,首先要清理实验桌和熟悉实验环境;
- (2)按实验项目和实验教材清点实验仪器及实验设备;
- (3)认真倾听实验教师的指导及讲解后,动手熟悉实验仪器及实验设备,如仪器的准确度、量程、刻度标记、旋钮的作用、零点调节等;
- (4)按实验步骤进行实验操作,同时在操作过程中应认真思考,还要注意实验过程中的安全问题,必要时请实验教师检查同意后方可实验,如电学实验中一定要注意电源开关的状态、直流电源的正负极性等;
- (5)实验数据一定要读数准确,并填写到实验数据记录表中,以便进行数据处理;

(6)实验结束后将实验桌清理干净,实验仪器及实验设备恢复到实验前的状态。

三、写好实验报告

在实验操作完成后,我们需要对实验数据进行处理,用简洁的文字写出总结性的实验材料,即写好实验报告。实验报告的文字应该字迹清楚、文理通顺、重点突出。通过书写实验报告,能培养我们分析和总结问题的能力。在书写实验报告时,应包括如下内容:

- (1)实验报告中应包括实验者姓名、同组实验者姓名、班级、组别、实验日期等;
- (2)写明实验名称、实验目的、实验仪器及实验设备和器材,实验仪器要求写明量程和准确度等;
- (3)用自己的语言写出实验原理,尽可能地突出重点,简明扼要,用公式、符号、图形或实验装置图来描述;
- (4)实验数据的原始记录、数据处理和计算、实验结论是实验报告的重要内容,要求严格按照误差理论、有效数字和数据处理或图表规则来处理;
- (5)实验讨论视具体情况而定,可写出实验者的心得、体会和意见,也可以写出自己对实验做进一步的改进和设想;
- (6)实验报告要求统一用实验报告纸书写;
- (7)严格的实验报告应该还有附录、教师签字的原始数据和实验的预习报告等。

(陈月明)

第二章

误差理论基础及数据处理

物理实验的目的是探寻和验证物理规律,而在实验的过程中离不开定性的观察和定量的测量,在这些测量过程中得到的实验数据都不可避免地存在着测量偏差,即实验误差,这就要求我们必须将得到的这些实验数据经过认真地、正确地、有效地加以处理,得出正确的结论,从而将感性认识上升为理性认识,以发现或验证物理规律,所以数据处理是物理实验中一项极其重要的工作。为此,我们必须懂得:如何将测量误差限制在要求的范围之内,怎样选择合适的测量方法和实验仪器,如何在测量中尽量减小实验误差,如何将实验的原始数据进行归纳、整理加工等,这些都要求我们必须掌握一些最基本的数据处理方法,包括实验测量、实验误差及其分析、有效数字及其运算规则、制表、作图等实验数据的处理方法。

实际上,实验数据的处理是一门专门的学科,涉及许多数学理论,我们在这里只简单地介绍一些最基本的知识。

第一节 物理量的测量与实验误差

一、物理量的测量

物理实验不仅要求定性观察各种物理现象,而且还要探寻有关物理量之间的定量关系,因此,对物理量的研究往往离不开物理量的测量。所谓测量就是由测量者采取某种测量方法,使用某种测量仪器将待测的物理量与一个选作标准的同类量进行比较,以确定它们之间的倍数关系,从而得出该物理量的测量值。例如,为测量一个铁球的质量,可以把铁球(待测物体)放在天平(测量仪器)的一侧,把适量的砝码(其质量为标准量)放在另一侧,适当调节从而使天平两侧平衡(测量方法),这时即可得出该铁球质量的测量值。一个物理量的测量值是由测量数值和单位共同组成。选择的单位不同,测量数值则有所不同。根据《中华人民共和国计量法》规定,物理量的测量均以国际单位制(SI)为国家法定计量单位,即以米(m)、千克(kg)、秒(s)、安培(A)、开尔文(K)、摩尔(mol)、坎德拉(cd)

作为基本单位,其他物理量都是由这七个基本单位导出的。

物理量的测量可以分为直接测量和间接测量两种。直接测量,如用米尺测量长度、用天平测量质量、用停表测量时间等,这类测量可以直接从测量仪器上得出物理量的测量值。间接测量则要根据直接测量所得到的数据,依照一定的函数公式,通过计算,得出所需要物理量的结果,例如,要测量电阻,可先用伏特计测量电阻两端的电压 U ,再用安培计测量通过电阻的电流强度 I ,然后计算出电阻的数值 $R=U/I$ 。在物理量的测量中,绝大多数是间接测量,而直接测量却是一切测量的基础。

二、实验误差

一个待测物理量的大小在客观上应该有一个客观存在的量值,叫真值。由于测量方法、测量仪器、测量条件及测量者自身的各种问题,实验测得的数值即测量值只是真值的一个近似值,这种测量值与真值之差称为实验误差。实验误差可分为系统误差和随机误差。

系统误差是由于理论不够完善或仪器存在缺陷所造成的,例如,测量物体的重量时忽略了空气浮力,测量温度时使用的温度计刻度不准确等,因此在多次测量中,系统误差总是使测量沿同一方向偏离真值,也就是说,使测量值一律偏大或偏小。只要能确定产生系统误差的原因,就可以采取适当方法来消除它的影响,如对仪器、仪表的示数引入正值或对理论公式进行修正等。

随机误差也称偶然误差,是由于观测者感觉的限制以及其他不可预料的偶然因素所产生的,例如,读数时受到眼睛分辨本领的限制,有时听声音又受到听觉能力的限制,在调节仪器时又受到手的灵活性的限制等,因此在多次测量中,测量结果较真值有时偏大,有时偏小。鉴于随机误差产生的原因及其不可预测性,它是无法消除的。由于随机误差的出现,从第一次测量来看仅属偶然,但若测量次数充分多时就显示出其明显的规律性,这种规律性遵从“正态分布”,也称“高斯分布”,如图 2.1 所示, ΔX 为测量的随机误差, $f(\Delta X)$ 为随机误差的密度函数。

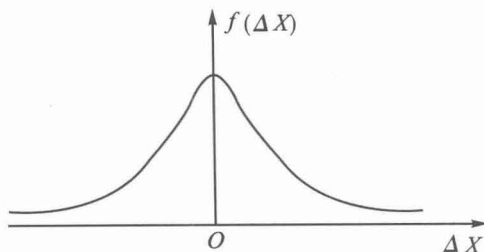


图 2.1 随机误差的正态分布

由图 2.1 可以看出,服从正态分布的随机误差具有以下规律性:

(1)单峰性:绝对值小的误差出现的可能性(概率)比绝对值大的误差出现的可能性(概率)大。

(2)对称性:大小相等的正误差和负误差出现的机会(概率)均等,并对称分布于真值的两侧。

(3)有界性:绝对值很大的误差出现的可能性(概率)接近于零,即误差有一定的实际限度。

(4)抵偿性:当对同一物理量进行多次测量时,其误差的算术平均值随着测量次数的增加越来越趋于零。

随机误差虽然无法消除,但根据以上规律,我们能做到尽量减小它的影响。对同一待测物理量的 n 次测量值的代数和除以测量次数 n 得到的商,称为测量值的算术平均值。用 $\bar{X}$ 表示算术平均值,则有

$$\bar{X} = \frac{1}{n}(X_1 + X_2 + \cdots + X_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

式中, $X_1, X_2, \cdots, X_n$ 为 n 次测量所得的一系列值,各次测量的随机误差分别为 $\Delta X_1, \Delta X_2, \cdots, \Delta X_n$, 假定待测物理量的真值为 a , 因此有

$$(X_1 - a) + (X_2 - a) + \cdots + (X_n - a) = \Delta X_1 + \Delta X_2 + \cdots + \Delta X_n$$

将上式展开后整理,并且等式两边同时除以 n , 则有

$$\frac{1}{n}(X_1 + X_2 + \cdots + X_n) - a = \frac{1}{n}(\Delta X_1 + \Delta X_2 + \cdots + \Delta X_n)$$

即

$$\frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} - a = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i}{n}$$

上式的意义是:测量值的算术平均值的误差等于各测量值的随机误差的算术平均值,根据随机误差正态分布的规律(3)和(4)可知,当 n 趋于无穷大时,有

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i}{n} = 0$$

所以

$$\bar{X} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = a$$

这表明,当测量次数充分多时,各测量值的随机误差的算术平均值趋向于零,而测量值的算术平均值趋于真值。因此,在有限次测量中,我们可取测量值

的算术平均值作为近似真值,称为最佳值,有时就用最佳值代替真值。

由于各种测量都存在着各种误差,为了评价测量结果的可靠性,又引入绝对误差和相对误差。

$$\text{绝对误差} = |\text{测量值} - \text{真值}|$$

实际上,真值是无法测得的,因此常用测量值的平均值 $\bar{X}$ 代替真值,于是一系列测量值中某一次测量的绝对误差可定义为

$$\Delta X_i = |X_i - \bar{X}|$$

这与前述随机误差 ΔX_i 的含义已不相同,这里 ΔX_i 总取正值,对于 n 次测量的一系列绝对误差的算术平均值称为平均绝对误差 $\overline{\Delta X}$,即

$$\overline{\Delta X} = \frac{\Delta X_1 + \Delta X_2 + \cdots + \Delta X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i}{n}$$

因此,测量结果可表示为

$$X = \bar{X} \pm \overline{\Delta X}$$

平均绝对误差反映了测量误差大小的范围。例如,实验测得铜柱的长度为

$$X = 2.34 \pm 0.01(\text{cm})$$

这里,2.34即为测量值的算术平均值,而0.01则为平均绝对误差,说明真值在2.33 cm~2.35 cm可能性最大。

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{真值}} \times 100\%$$

这里的真值也是用测量值的算术平均值来代替,而绝对误差可取一系列测量值的绝对误差的算术平均值,因此,相对误差 E 可表示为

$$E = \frac{\overline{\Delta X}}{\bar{X}} \times 100\%$$

相对误差反映了测量结果的准确程度,相对误差愈小,表明测量愈准确,结果愈接近真值。以下不做特别说明时,测量值均指算术平均值,绝对误差均指平均绝对误差。

有时作为被测对象的物理量已有公认值,即最佳值,如测量水的粘滞系数 η 时,手册中就给出公认值,这时比值:

$$\frac{|\text{测量算术平均值} - \text{公认值}|}{\text{公认值}} \times 100\%$$

也叫相对误差。

在多数情况下,物理测量是间接测量,它是直接测量按一定的函数关系经计算而得出的结果,因此当直接测量存在误差时,必然导致间接测量结果的误差,这称为误差的传递,误差的大小取决于各直接测量误差的大小以及函数关系的

具体形式。

表示间接测量误差与各直接测量误差之间的关系式,称为误差传递公式。

表 2.1 列出了几种常用函数关系的误差传递公式。

表 2.1 几种常用函数关系的误差传递公式

函数关系 $N=f(A,B,C,\dots)$	绝对误差 ΔN	相对误差 E
$N=A+B$	$\Delta A+\Delta B$	$\frac{\Delta A+\Delta B}{A+B}$
$N=A-B$	$\Delta A+\Delta B$	$\frac{\Delta A+\Delta B}{A-B}$
$N=A \cdot B$	$A \cdot \Delta B+B \cdot \Delta A$	$\frac{\Delta A}{A}+\frac{\Delta B}{B}$
$N=\frac{A}{B}$	$\frac{A \cdot \Delta B+B \cdot \Delta A}{B^2}$	$\frac{\Delta A}{A}+\frac{\Delta B}{B}$
$N=kA^R$	$kRA^{R-1} \cdot \Delta A$	$R \frac{\Delta A}{A}$
$N=\ln A$	$\frac{\Delta A}{A}$	$\frac{\Delta A}{A \cdot \ln A}$
$N=\sin A$	$ \cos A \cdot \Delta A$	$ \cot A \cdot \Delta A$
$N=\cos A$	$ \sin A \cdot \Delta A$	$ \tan A \cdot \Delta A$

使用误差传递公式时,应注意:

(1) 由于直接测量误差服从正态分布,正误差和负误差是随机出现的,为避免对间接测量的误差估计不足,因此在和、差关系式中,间接测量的绝对误差均取各直接测量的绝对误差之和,这也称最大误差。

例 1 已知 $A=11.23 \pm 0.01$, $B=9.95 \pm 0.02$, 求 $X=A+B$ 。

解 $\overline{\Delta X}=0.01+0.02=0.03$, $\overline{X}=11.23+9.95=21.18$

$\therefore X=A+B=\overline{X} \pm \overline{\Delta X}=21.18 \pm 0.03$

(2) 在计算间接测量误差时,为简便起见,除和、差关系式外一般先求相对误差,然后将求得的相对误差与间接测量值相乘即可求出绝对误差。最后,绝对误差所取位数的末位,通常只需与算术平均值的末位对齐,多余的进行四舍五入。

例 2 已知 $A=23.4 \pm 0.2$, $B=34.5 \pm 0.3$, 求 $X=A \times B$ 。

解 相对误差为 $\frac{0.2}{23.4} + \frac{0.3}{34.5} = 0.02$

$\overline{X}=23.4 \times 34.5=807$, $\overline{\Delta X}=0.02 \times 807=16$

$\therefore X=A \times B=\overline{X} \pm \overline{\Delta X}=807 \pm 16$

第二节 有效数字

任何一个物理量,其测量结果都包含着误差,因此该物理量的数值就不需要无限制地写下去。测量结果只需写到开始有误差的那一位数,其后位的数值按四舍五入规则进行取舍。

一、有效数字的概念

在物理量的测量中,测量仪器都有它的最小分度,称为精度。如最小分度为毫米的米尺,其精度则为 1 mm,用它来测量长度,则毫米以上的读数能准确得出,毫米以下的仍可估计一位,这估计的一位数字虽然欠准,但保留下来还是有意义的,总比略去这一位要准确些。在测量中得出的有意义的数字,即在测量结果中,准确的几位数字加上有误差的一位欠准数字,称为测量结果的有效数字。测量时,应记录到出现欠准数字那一位为止,不得随便增减位数,因此,在使用有效数字记录数据时,必须注意到:

(1)有效数字位数的多少只决定于使用仪器的精度,而所用的单位及小数点位置不影响有效数字的位数。如 1.2 mm,若用 m 作单位则写成 0.0012 m,仍为两位有效数字,说明在纯小数情况下,紧接在小数点后面的零都不是有效数字。

(2)不能在记录数据后随便加零。如 1.2 m 和 1.20 mm 在数学上是等价的,但前者是两位有效数字,而后者是三位有效数字,因为后者是在估计欠准数字时,恰好为零。

(3)为了清楚地表示有效数字的位数和书写方便,根据使用单位不同,常用科学记数法表示。如 1.2 mm,用 m 为单位,则写成 1.2×10^{-3} m,用 μm 作单位则写成 $1.2 \times 10^3 \mu\text{m}$,这里乘号后面部分不是有效数字。

有效数字由准确数字与欠准数字组成,如 0.274 mm 中,2 和 7 均为准确数字,末位的 4 为欠准数字,是估计数字。如千分尺的准确度为 0.01 mm,那么测量所得有效数字 0.274 mm 中的 2 和 7 是准确读出的,而最后一位的 4 是估计出来的;另一测量者也可能估计为 5,得到 0.275 mm。通常要求测量者在读取数据时,必须估计到仪器仪表的最小分度值(精度)的十分位。

在有效数字运算中,位数不能保留过多,也不可保留过少。保留过多则夸大了仪器的精度,因为仪器最小的分度值的下一位就是估计位,它已经不准了,以下各位均无保留的必要;保留过少又损害了测量值的精度。到底保留多少位有效数字合适,原则上应由参加运算的各有效数字中误差大的那一个有效数字的位数来确定。