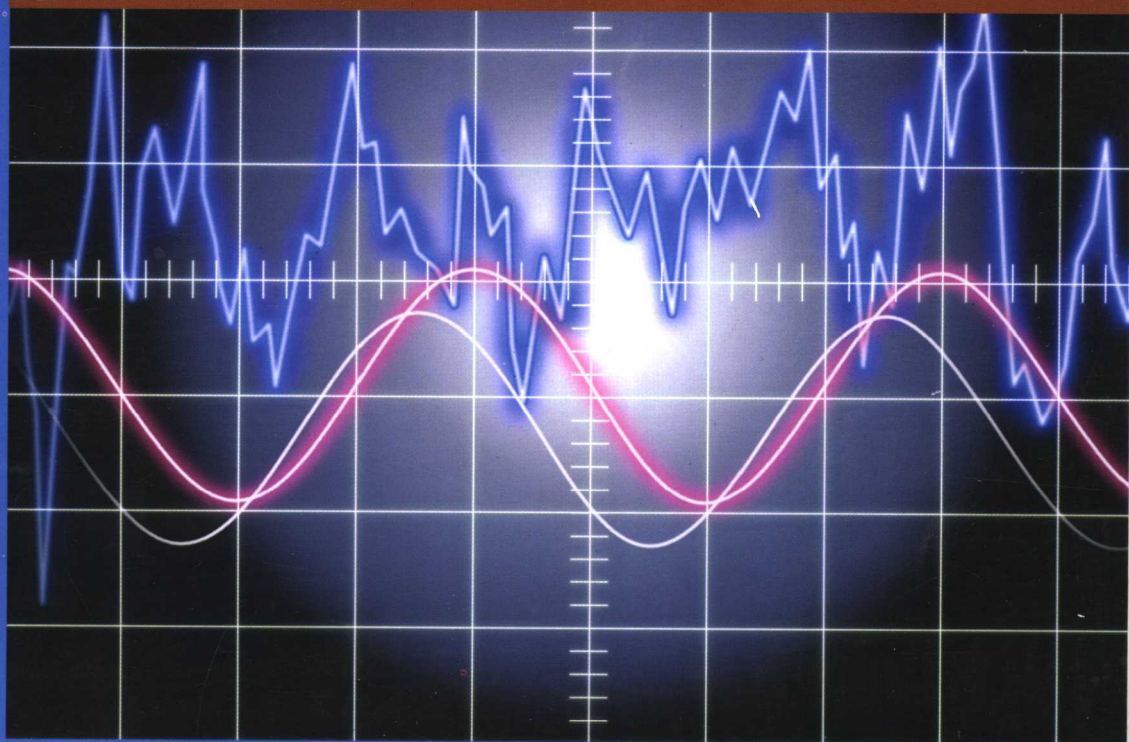


21世纪高等院校教材

大学物理实验

余虹 主编

秦颖 王艳辉 戴忠玲 副主编



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

大学物理实验

余 虹 主 编

秦 颖 王艳辉 戴忠玲 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是依据教育部物理基础课程教学指导分委员会非物理类理工科大学物理实验课程教学基本要求(正式报告稿),由大连理工大学物理教学中心教师们编写的实验教材。

全书分为基础性实验、综合性实验、设计性实验和探索研究性实验四部分,共涉及 34 个实验,其中实验 29~实验 34 是由大连理工大学物理与光电工程学院的强势学科——等离子体物理与半导体材料物理的部分科研成果转化而来的,旨在让本科低年级学生早日接触、了解科学研究,提高日后科学研究的能力。

本书可作为普通高等院校理工科各专业的大学物理实验课程教材,也可供相关教师参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/余虹主编. —北京:科学出版社, 2007
21 世纪高等院校教材
ISBN 978-7-03-019627-9

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 125577 号

责任编辑:胡云志 杨 然 / 责任校对:张 琪
责任印制:张克忠 / 封面设计:卢秋红

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 8 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2007 年 8 月第一次印刷 印张: 14 1/2

印数: 1—4 500 字数: 273 000

定价: 22.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

前 言

在人类追求真理、探索未知世界的过程中,物理学展现了一系列科学的世界观和方法论,深刻影响着人类的思维方式和对物质世界的认识,也为人类文明提供了坚实的基石.在高等学校人才培养的过程中,物理学具有不可替代的作用.

诚然,那些世人瞩目的理论过去、现在、或许将来也会使物理学大放光彩,但是无论麦克斯韦的电磁理论、爱因斯坦的相对论,还是卢瑟福的原子学说、玻尔的量子理论都无一不是源于实验、立于实验.可以说,物理学本质上是一门实验科学.

20 世纪,大学物理实验课程在课程体系、实验内容和技术等方面都有了长足的发展.21 世纪,改革和发展还将继续.

本教材力图根据教学指导委员会对工科物理实验课程教学的基本要求,结合本学校的条件,凭借物理学院的强势学科,在培养和提高学生的动手能力、创新能力方面加重笔墨.同时也力求做到实验原理简明扼要、实验方法清晰合理、数据处理要求规范.

教材将物理实验分为四个部分.第一部分为基础性实验,内容涵盖力、热、电、光、近代物理等各个方面.此部分的教学目的在于对学生进行基本物理量的测量、基本实验仪器的使用、误差与不确定度及数据处理的理论与方法训练.第二部分为综合性实验,实验往往涉及多个知识领域,综合应用多种方法和技术.作者希望通过这些实验巩固学生在基础性实验阶段的学习成果、开阔学生的眼界和思路,提高学生对实验方法和实验技术的综合运用能力.第三部分为设计性实验,需要学生根据给定的实验题目、要求和实验条件,由学生自行选择仪器、设计方案并基本独立或分组完成.此部分实验的教学目的在于提高学生综合应用知识的能力、设计实验的能力、增强创新能力乃至团队协作精神.第四部分为探索研究性实验,题目主要来源于物理与光电工程学院的科研项目,经过简化,使低年级本科学生尽早了解科学研究的过程,逐步掌握科学思想和科学方法,培养学生独立实验的能力和运用所学知识解决给定问题的能力.

本教材作者共 18 位,编写过程也是一次团队协作过程.其中秦颖、王艳辉完成绪论部分的撰写工作;实验 1、4、11 由戴忠玲完成;实验 2 由王茂仁、余虹完成;实验 3 由孙世志完成;实验 5、6 由陶凤鑒完成;实验 7、8 由王伟完成;实验 9、10、18 由单明完成;实验 12、19、20、22、28 由秦颖完成;实验 21 由秦颖和余虹合作完成;实验 13、15 由余虹完成;实验 16、17、23、24、27 由王艳辉完成;辛萍完成了实验 25 的写作任务;邱晓明完成实验 26 的写作任务;任春生完成实验 29 的写作任务;实

验 30、31、32 由张家良完成;实验 33 由刘爱民完成;实验 34 由刘艳红完成;附表的编写工作由刘升光完成;余虹负责全文的统稿工作.

还有几位老师的稿件未被采用,全体作者对他们付出的辛苦表示感谢.感谢刘伟副教授、张贺秋老师在本书初稿时期所做的工作.感谢荆亚玲副教授、李雪春副教授、李淑凤副教授和刘昱老师对本书实验原理部分的审稿工作.特别感谢姜东光教授为本书所做的审稿、修改和组织工作.另外,在编写本书的过程中,我们也从兄弟院校的有关教材中得到了很大的启发,在此对所有参考文献的作者一并表示衷心感谢.

由于作者水平有限,教材中若有不妥之处,敬请读者批评指正,并在使用过程中把您的感受和意见及时告诉我们,以便于我们将来作进一步的修订.

编 者

2007 年 7 月

目 录

绪论	1
第 1 章 测量与误差	4
1.1 测量及分类	4
1.2 测量误差	4
1.3 误差的分类	5
第 2 章 有效数字及其运算法则	8
2.1 直接测量的有效数字记录	8
2.2 有效数字的运算法则	9
第 3 章 不确定度与测量结果的评定	11
3.1 测量不确定度的概念	11
3.2 直接测量结果与不确定度的估算	11
3.3 间接测量结果与不确定度的估算	15
第 4 章 常用的数据处理方法	19
4.1 列表在数据处理中的应用	19
4.2 用作图法处理数据	19
4.3 直线拟合方法概述	21

基础性实验

实验 1 拉伸法测量弹性模量	29
实验 2 水的表面张力系数测定	33
实验 3 直流平衡电桥测电阻	36
实验 4 热敏电阻温度计的设计	43
实验 5 霍尔效应的研究	47
实验 6 利用霍尔效应测磁场	55
实验 7 光的等厚干涉	57
实验 8 液体旋光率的测定	62
实验 9 热电偶测温技术	66
实验 10 温度传感技术	70
实验 11 空气比热容比的测量	76

实验 12	密立根油滴实验测定电子电荷	81
实验 13	光电效应测量普朗克常量和金属逸出功	86
实验 14	迈克耳孙和法布里-珀罗两用干涉仪的调节和使用	90
实验 15	居里温度测量	98
实验 16	分光计的调节和介质折射率的测量	102
实验 17	光栅衍射及光栅常数的测量	111
实验 18	光的衍射	115
实验 19	全息照相	119

综合性实验

实验 20	示波器的原理与使用	127
实验 21	空气中的声速测量	135
实验 22	测量光速	139
实验 23	电阻应变式传感器	144
实验 24	摆振动研究	152

设计性实验

实验 25	RLC 电路研究	165
实验 26	交流电桥	171
实验 27	氢原子光谱及里德伯常量的测量	178
实验 28	光的偏振	180

探索研究性实验

实验 29	低温等离子体射流聚合物表面改性	191
实验 30	低压气体直流击穿特性	195
实验 31	低压气体直流放电伏安特性	199
实验 32	直流辉光放电的静电探针诊断	205
实验 33	晶体硅太阳能电池的制备	213
实验 34	佩尔捷效应	216

附表	219
----------	-----

绪 论

1. 物理实验课的特点和目的

物理学是实验的科学. 人们通过观察物理现象, 定量测量或测定物理量, 并根据测量结果分析这些物理量之间的关系, 从而实现对物理规律的认识和证实. 物理实验在物理学的建立发展过程中起着重要的和直接的推动作用, 它是物理学的基础.

物理实验是用实验的方法去研究物理学的规律. 物理实验课的一个显著特点是它的实践性. 做实验的时候, 要充分考虑到各种实际的情况, 得出的结论要尽量符合实际. 实践性的另外一层意思是动手能力的培养和锻炼, 这在实验课中占有重要的地位. 必须进行实际的操作, 光说不练是不行的. 有的同学认为只要把实验原理、仪器装置、实验方法都看明白了, 不必动手测量和计算. 他们对实际的操作和计算缺乏兴趣, 认为这并不重要, 这种看法是不对的. 要知道如果不去仔细地调整实验装置, 不去仔细地进行测量和计算, 就不能了解实验的微妙之处, 就不能学到实验的真谛. 这些同学往往眼高手低, “一看就懂, 一做就错”, 这也反映了他们对实验课的特点还缺乏认识. 物理实验是大学生接受科学实验能力培养和训练的先期课程, 它涉及力、热、声、光、电、磁等各方面知识, 对于培养学生的动手能力、观察分析能力、综合运用各方面知识的能力以及创新精神具有十分重要的意义.

在谈了物理实验的重要作用和物理实验课的特点之后, 再来谈谈开设物理实验课的目的以及怎样才能学好这门课程.

首先, 使学生学到物理实验的基本知识、基本方法和基本技能. 包括学会使用各种测量仪器, 了解各种物理量的测量方法, 学会观察分析各种实验现象, 还要了解测量误差的理论知识, 学会正确地记录和处理数据, 正确地表达实验结果, 对实验结果进行正确地分析评价. 并在扎实的基本训练基础上, 让学生通过综合研究性的实验, 培养学生独立进行实验观测和分析的能力, 并总结出规律性的实验结果, 提高实验技能, 为以后的科学研究工作或其他科学技术工作打下良好的实验基础.

第二, 逐步培养起严肃认真、实事求是的科学态度和工作作风, 养成良好的实验习惯. 良好的实验习惯是做好实验的重要条件, 一旦形成不好的习惯, 以后就很难改正. 要在每次实验中有意识地锻炼自己.

第三, 通过实际的观察和测量, 加深对物理理论知识的理解和掌握. 同时激发大家对学习物理科学的兴趣. 培养和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和遵守纪律、爱护公物的优良品德。

2. 物理实验课的三个教学环节及基本要求

1) 预习

实验课前要认真预习,弄明白这次实验的目的要求,依据什么原理和公式,有什么近似条件和要求;使用什么实验方法,特别是基本的测量方法;使用什么实验仪器以及要注意什么问题等。在此基础上,课前要认真写好实验预习报告中的实验目的、实验原理和内容(简要阐明实验的理论依据,以及要测量的是什么量,写出待测量计算公式的简要推导过程,画出有关的原理图、电路图、光路图等)、列出主要实验仪器的名称、型号、规格等,扼要地说明实验的关键步骤及主要注意事项,并在实验数据记录纸上画好实验数据记录表格。凡预习不合格者不允许做实验。

2) 实验

到实验室后要遵守有关的规章制度,爱护仪器设备,注意安全。动手之前要先了解仪器的性能、规格、使用方法和操作规则。

实验环节是物理实验的核心,其内容非常丰富,同时也是学生主动研究、积极探索的好时机。一堂课收获的大小,将取决于学生实验过程中思想状态是积极主动的,还是消极被动的。在实验中学生要做到四多(多观察、多动手、多分析、多判断)、三反对(反对侥幸心理、反对机械地操作、反对实验的盲目性)。

调整仪器装置时要仔细认真,一丝不苟。还要注意满足测量公式所要求的实验条件。在整个实验过程中,要脑手并用,头脑里要有清晰的物理图像,对实验原理有比较透彻的理解,对实验中出现的各种现象要仔细观测。一方面,要多动脑筋,在进行某些操作之前,先想想可能会出现什么结果,然后再看看是否和预期的相符合。如果不相符合,要仔细分析原因,找出改进措施。要有意识地去学着分析实验,对实验得到的结果要想一想是否合乎物理规律,有没有道理,绝不能拼凑数据。实验中不要只是机械地按讲义上或教师要求的实验步骤一步一步做完就算完事。动手能力还表现在能否及时发现并排除实验中可能遇到的某些故障。仪器装置的小毛病,可以在教师指导下自己动手解决。实验中还要养成记录好原始数据(就是在测量时直接从仪器上读出来的数据)的习惯,要一边测量,一边及时记录,记录要准确、清楚、有次序并且要特别注意所记数据的有效数字位数。做完实验,要将实验数据交给教师检查,得到认可签字后,将仪器归整复原好,方可离开实验室。

3) 实验报告

在实验预习报告的基础上,完成实验报告。实验中测得的数据要用表格形式写入实验报告中(并将原始记录附在报告中),正确表示有效数字位数和单位,按每个实验的数据处理与要求给出实验结果。结果分析包括对测量结果的总结评价,对难

于定量计算的误差因素的定性分析.这就要求结合自己的实验数据做具体分析,指出主要误差产生的原因.此外,结果分析还包括对实验的看法、见解,以及需要与教师讨论的问题和完成实验书中的思考题.

4) 设计性和研究性实验要以研究论文的形式提交报告

根据选题查阅资料,根据实验要求查找相关资料,确定实验方案,包括理论依据、实验方法、具体参数设计、选用仪器和具体操作步骤等.以研究论文的形式提交报告,包括摘要,引言,实验原理与内容,实验方案,操作步骤,数据分析与处理,结论等内容.

3. 课程设置

物理实验分两学期开设,其具体安排如下:

第一学期实验课以基础性实验为主,对于基础性实验,必须完成规定的实验内容.

第二学期实验课包括基础性实验、综合性、设计性和探索研究性实验,共几十个实验题目,学生可根据自己的专业方向、学分要求及特长爱好,认真选择实验层次、实验题目.

设计性实验是针对那些对实验感兴趣且实验基础较好、愿意花较多时间学习有关内容或在某些方面有特长的学生而开出的.设计性实验的难度大于其他实验,一般安排学生用整个下午的时间来完成,并要求在实验完成后写出一份比较详细完整的实验报告.学生可根据自己的知识结构、兴趣及预习情况决定是否选择设计性实验,但要尽量做到不盲目选择,以避免选择后又难以完成的情况出现.实验报告要求对数据处理的结果做出分析,特别是写出实验过程中所用的操作方法和技巧,如何使得测量结果更符合实际,实验中有什么问题如何解决以及做实验的心得体会和收获等.

探索研究性实验是与科学研究紧密结合的实验,要求学生在掌握实验原理和仪器使用的基础上自己独立完成实验,教师不再对实验作普遍讲解,但可随时答疑解惑,以达到鼓励学生独立思考、提出问题、有所创新的目的.一般安排学生用整个下午的时间来完成,学生可根据自己的能力完成部分或全部实验内容,要求学生以科研论文的形式提交实验报告.

第 1 章 测量与误差

1.1 测量及分类

测量是用实验方法获得量的量值的过程,就是将待测物理量与选作计量标准的同类物理量进行比较,并得出其倍数的过程. 倍数称为待测物理量的数值,选作的计量标准称为单位. 因此,一个物理量的测量值应由数值和单位两部分组成,缺一不可. 物理实验离不开对物理量的测量.

按测量对象和测量结果的关系来分类,测量可分为直接测量和间接测量.

直接测量:可以用测量仪器仪表或量具直接读出测量值的测量,称为直接测量. 例如用米尺测量长度、用温度计测量温度、用电压表测电压等都是直接测量,所得的物理量如长度、温度、电压等称为直接测量量.

间接测量:有些物理量无法进行直接测量,而需要依据待测物理量与若干个直接测量量的函数关系求出,这样的测量就称为间接测量. 大多数的物理量都是间接测量量. 如用单摆测重力加速度 g 时, T (周期)、 L (摆长)是直接测量量,而 g 就是间接测量量.

在物理实验中,不仅要明确测量对象,选择恰当的测量方法,正确完成测量的各个步骤,还要学习误差理论和实验数据处理的基本概念,学会能够对多数测量表示出完整的测量结果,包括表示出确定水平的不确定度.

1.2 测量误差

每一个待测物理量在客观上有着确定的数值,称之为该物理量的真值. 当我们进行测量时,由于理论的近似性,实验仪器分辨率或灵敏度的局限性,环境条件的不稳定性等因素的影响,测量结果总不可能绝对准确. 待测物理量的真值同我们的测量值之间总会存在某种差异,这种差异就称为测量误差.

若某物理量的测量值为 y , 真值为 Y , 则测量误差 dy 定义为

$$dy = y - Y \quad (1)$$

真值是理想的概念,只有定义严密时通过完善的测量才可能获得,它一般无从得知. 因此一般不能计算误差,只有少数情况下用准确度高的实际值作约定真值时才能计算误差.

由测量得到的一切数据,都毫无例外地包含有一定数量的测量误差.没有误差的测量结果是不存在的.虽然一般不知道真值因而不能计算误差,但是能分析误差产生的主要因素,能减小或基本消除有的误差分量对测量的影响.对测量结果中未能消除的误差影响,要估计出它们的极限值或表征误差分布特征的参量,如标准偏差.误差的普遍性要求我们:必须重视对测量误差的分析,重视不确定度评定,尽可能完整地表示测量结果.

1.3 误差的分类

误差主要分为两类:随机误差和系统误差.它们的性质不同,应分别处理.

还有一类误差,由于外界干扰、操作或读数失误等原因而明显超出规定条件下的预期值,以前称为粗大误差.包含粗大误差的测得值或粗大误差称为异常值.测量要避免出现高度显著的异常值.已被谨慎确定为异常值的个别数据要剔除.文献中有多种异常值的判断方法.

1.3.1 随机误差

随机误差是重复测量中以不可预知方式变化的测量误差分量.

电表轴承摩擦力矩的变动、螺旋测微计测头的压紧力在一定范围内变化、操作读数时在一定范围内随机变动的视差影响、数字仪表末位取整数时的随机舍入过程等,都会产生一定的随机误差分量.

随机误差是测量误差的一部分,其大小和符号虽然不知,但在相同条件下对同一稳定被测量的多次重复测量中,它们的分布常常满足一定的统计规律性.随机误差分布绝大多数是“有界性”的,即绝对值很大的误差出现的概率接近零;大多数有抵偿性,即随机误差的算术平均值随着测量次数的增加而减小,最后趋于零;相当多的有单峰性,即绝对值小的误差出现的概率大.

1. 算术平均值

大多数随机误差有抵偿性,即测量次数足够多时,正、负误差之和的绝对值近似相等.因此,用多次测得的算术平均值作被测量的估值,能减小随机误差的影响.设对同一量重复测了 n 次,一般应使 $n \geq 6$,测得值为 x_i ,算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

2. 实验标准(偏)差

随机误差引起测得值 x_i 的分散性用实验标准偏差 s 表征, s 由贝塞尔法算出

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

s 反映了随机误差的分布特征. s 大表示测得值分散, 随机误差的分布范围宽, 精密度低; s 小表示测得值密集, 随机误差的分布范围窄, 精密度高.

测量准确度 (measurement accuracy) 的定义为 “closeness of agreement between a measured quantity value and a true quantity value of the measurand”. 准确度反映随机误差和系统误差的综合影响. 不确定度小, 准确度高. 准确度曾称为 “精度”, 现在精度只是精密度的简称.

3. 平均值的实验标准偏差为

$$s_x = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

1.3.2 系统误差

系统误差是重复测量中保持恒定或以可预知方式变化的测量误差分量.

系统误差的来源:

(1) 仪器的结构和标准不完善或使用不当引起的误差. 如天平不等臂、分光计读数装置的偏心差、电表的示值与实际值不符等属于仪器的缺陷, 在使用时, 可采用适当方法加以减小或消除. 仪器设备安装调整不妥, 不满足规定的使用状态, 如不水平、不垂直、偏心、零点不准等使用不当的情况应尽量避免.

(2) 理论或方法误差. 它是由测量所依据的理论公式的近似或实验条件达不到理论公式所规定的要求引起的. 如单摆测重力加速度时, 所用公式的近似性; 伏安法测电阻时, 不考虑电表内阻的影响等.

(3) 环境误差. 它是由外部环境, 如温度、湿度、光照等与仪器要求的环境条件不一致而引起的误差. 它也是随机误差的来源.

(4) 实验人员的生理或心理特点所造成的误差. 如停表计时时, 总是超前或滞后; 对仪表读数时总是偏一方斜视等.

系统误差包括已定系统误差和未定系统误差.

已定系统误差是指符号和绝对值已经知道的系统误差分量. 实验中应尽量消除已定系统误差, 或对测量结果进行修正.

未定系统误差是指符号和绝对值未被确定而未知的系统误差分量. 一般只能估计其限值或分布特征值. 未定系统误差分量大多和下文的 B 类不确定度分量来源有大致对应关系.

系统误差分析的重要性. 大量一般测量的实践表明, 系统误差分量对测量结果的影响常常显著地大于随机误差分量的影响. 因此大学物理实验要重视对系统误差的分析, 尽量减小它对测量结果的影响:

- ① 对已定系统误差进行修正;
- ② 合理评定系统误差分量大致对应的 B 类不确定度分量;
- ③ 通过方案选择、参数设计、计量器具校准、环境条件控制、计算方法改进等环节减小系统误差影响.

第2章 有效数字及其运算法则

实验所处理的数值有两种,一种是准确值(如测量次数、公式中的纯数等),另一种是测量值.前面已经指出,测量不可能得到被测量的真值,只能是近似值.记录的实验数据反映了近似值的大小,并且应在某种程度上表明误差的存在.在测量的结果中,把可靠的几位数字加上一两位可疑数字(可疑数字即可能是有误差的数字)称为有效数字,简单地说就是测量中有意义的数字.

2.1 直接测量的有效数字记录

2.1.1 原始数据有效位数的确定

通过仪表、量具等读取原始数据时,一般要充分反映计量器具的准确度,通常要把计量器具所能读出或估计的位数全读出来.

(1) 游标类量具,如游标卡尺、分光计方位角的游标度盘、水银大气压力计的读数游标尺等,一般应读到游标分度值的整数倍.

(2) 对数显仪表及有十进位式标度盘的仪表,如数字电压表、电阻箱、电桥等,一般应直接读取仪表的示值.

(3) 对指针式仪表,读数时一般要估读到最小分度值的 $1/4 \sim 1/10$,或使估读间隔不大于基本误差限的 $1/5 \sim 1/3$,同时要符合修约间隔的规定.由于人眼分辨能力的限制,一般不可能估读到最小分度的 $1/10$ 以下.

(4) 对于可估读到最小分度值以下的计量器具,当最小分度不小于 1mm 时,通常要估读到 0.1 分度,如螺旋测微计和测量显微镜鼓轮的读数,都要估读到 $1/10$ 分度.少数情况下也可只估读到 0.2 或 0.5 分度,例如光具座上的标尺读数可以只估读到 mm 分度的 $1/2$ 或 $1/5$. 对于教学中的原始数据,少数情况下读数的间隔要用到 0.2×10^N 或 0.5×10^N .

有效数字的个数称为有效数字的位数,即使最后一位或几位是“0”,也必须写上.例如,4.35cm 是三位有效数字,而 4.350cm 是四位有效数字.

2.2.2 关于有效数字应注意的几个问题

(1) 在十进制单位换算中,其测量数据的有效位数不变.例如,对于 43.6mm,若以米为单位表示,则是 0.0436m,仍然是三位有效数字.

(2) 有效数字的科学表示法. 在书写很大或很小的数字, 而数字的有效位数又不多时, 数字大小将和有效位数发生矛盾, 此时, 通常在小数点前保留一位整数, 写成 $\times 10^N$ (N 可正可负) 的标准形式, 称为有效数字的科学表示法. 例如, 0.000000021m 应写成 $2.1 \times 10^{-8}\text{m}$. 再如, 把 10V 转换成以毫伏为单位时, 只能写成 $10 \times 10^3\text{mV}$ 或 $1.0 \times 10^4\text{mV}$, 而不能写成 10000mV .

(3) 计算公式中的常数, 如 π 、 e 、 $\sqrt{2}$ 及 $1/3$ 等, 其有效位数可根据需要任意选取. 计算中, 一般应比参加运算的各数中有效数字位数最多的还要多取一位.

(4) 测量结果的有效位数粗略地表明了测量的准确度, 即测量值的有效位数越多, 测量的相对误差越小, 测量越准确. 有效位数取决于被测物本身的大小和所使用的仪器精度. 对同一个被测物来说, 高精度的仪器, 测量的有效位数多; 低精度的仪器, 测量的有效位数少. 例如, 长度约为 2.5cm 的物体, 若用分度值为 1mm 的米尺测量, 其数据为 2.50cm ; 若用螺旋测微器测量 (最小分度值为 0.01mm), 其测量值为 2.5000cm . 显然, 螺旋测微器的精度较米尺高很多, 所以测量结果的位数较米尺的测量结果多两位. 反之, 用同一精度的仪器, 被测物大的物体测量结果的有效位数多, 被测物小的物体测量结果的有效位数少.

2.2 有效数字的运算法则

可靠数字与可靠数字进行四则运算, 结果仍为可靠数字; 可靠数字与可疑数字或可疑数字之间进行四则运算, 其结果为可疑数字.

对于较为粗略的测量, 有效数字中的可疑数只保留一位, 直接测量如此, 间接测量的计算结果也是这样. 根据这一原则, 为了简化有效数字的运算, 约定下列规则.

(1) 有效数字进行加法或减法运算, 其和或差的结果的可疑位置与参与运算的各量中的可疑位置最高者相同. 如

$$14.\underline{61} + 2.\underline{216} + 0.\underline{00672} = 16.\underline{83272} = 16.\underline{83}$$

式中, 有效数字下面加横线表示为可疑数.

(2) 有效数进行乘法或除法运算, 乘积或商的结果的有效位数一般与参与运算的各量中有效位数最少者相同. 如

$$4.\underline{178} \times 10.\underline{1} = 42.\underline{1978} = 42.\underline{2}$$

(3) 乘方、开方运算的有效位数一般与其底的有效位数相同.

(4) 计算公式中的系数不是测量而得, 不存在可疑数, 因此可以视为无穷多位有效数, 书写也不必写出后面的“0”. 例如 $R = D/2$, D 的有效数仅由直接测量值 D 的有效位数决定. 无理常数 π 、 $\sqrt{2}$ 、 $\sqrt{3}$ 等在公式中参加运算时, 其取的位数应比最终结果多一位.

(5) **有效数字的修约**: 根据有效数字的运算规则, 为使计算简化, 在不影响最后结果应保留的位数的前提下, 可以在运算前按比结果多留一位的原则对数据进行修约, 最后计算结果也应该按有效数字的定义进行修约. 其修约原则是“四舍六入五凑偶”, 即要舍弃的数字的最左一位大于 5 (包括等于 5 且其后有不全为零的数时) 时入, 小于 5 时舍, 正好等于 5 时则视拟保留的最后一位是奇数时入, 偶数时舍.

修约过程应该一次完成, 不能多次连续修约. 例如要使 0.546 保留到一位有效数字, 不能先修约成 0.55, 接着再修约成 0.6, 而应当一次修约成 0.5.

对于较为重要的测量, 为了正确评定测量结果, 应计算测量结果的不确定度. 在这种情况下, 要求抓两头, 就是抓好原始实验数据读取和最后结果表示两个环节; 放中间, 就是中间运算放手多取几位, 不无端地减少位数. 待计算完不确定度后, 再根据不确定度所在位确定测量结果的可疑位, 后面有详细介绍.