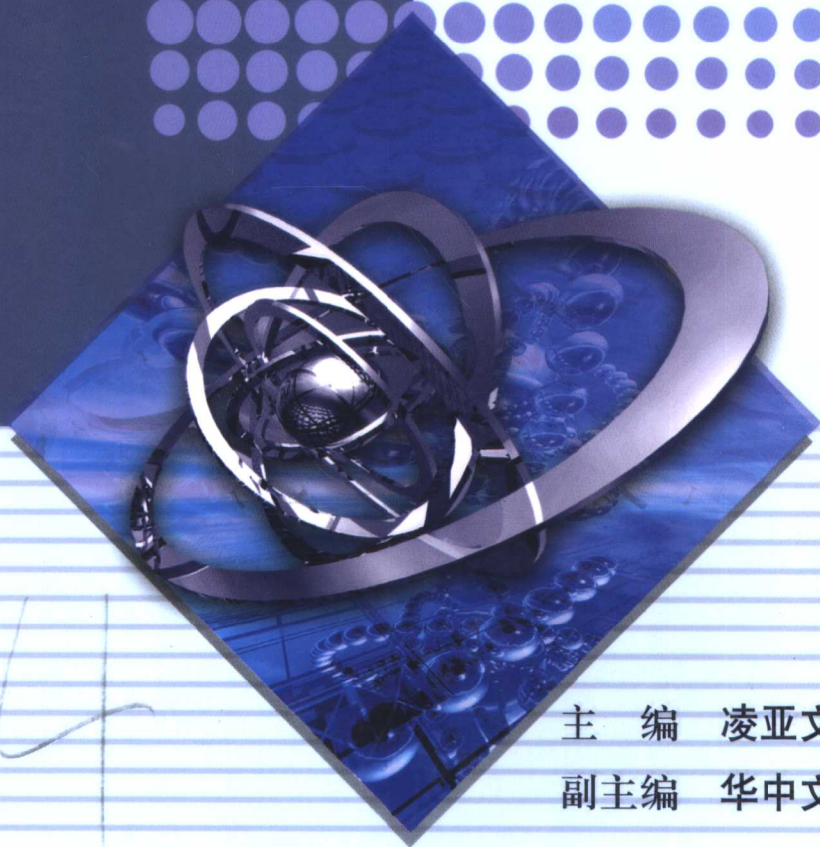


大学 物理实验



主 编 凌亚文

副主编 华中文 史 彭

 科学出版社
www.sciencep.com

大学物理实验

凌亚文 主 编
华中文 史 彭 副主编



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要包括绪论、物理实验数据处理基本知识、基本实验知识、基本训练实验、综合实验知识、近代及综合实验知识、近代及综合实验、设计性实验。

本书可作为高等院校物理专业教学用书,亦可供相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/凌亚文主编. —北京:科学出版社,2005
ISBN 7-03-014612-3

I. 大… II. 凌 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(2004)第 119488 号

责任编辑:童安齐 何舒民/责任校对:鲁 素
责任印制:吕春珉/封面设计:东方上林工作室

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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年2月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005年2月第一次印刷 印张:19 3/4

印数:1—4 000 字数:388 000

定价 26.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<双青>)

(销售部电话 010—62136131,编辑部电话 010—62137026)

前 言

本书按原国家教委颁发的《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》，结合编者多年的教学经验，在西安建筑科技大学已使用教材《物理实验》的基础上，广泛吸取国内同类教科书的精华编写而成。

此次成书从结构上和内容上进行了重大改革，力求理论完整，实验知识系统化，课题设置层次化，其特点如下：

1. 教材总体结构安排上打破了物理实验教材按照物理学理论知识体系编排的传统方法。由于工科物理实验属于工程系列实验中的重要而相对独立的课程，本教材以实验系统知识、实验课程的特点和要求、实验方法和技术、相关仪器设备以及可以解决的问题为主线，所有的实验课题都为获得系统实验知识服务。这样的安排有利于学生掌握系统实验知识，有利于学生后续其他实验及实践性课程的学习。

2. 改变了物理实验教材中实验课题按“传授知识”思路的传统编写方法，突出了基本能力的培养和创新思维、创新方法、创新能力的培养。实验课题按照实验系统知识划分，按由浅入深、循序渐进的原则编排。实验课题包括基础训练和综合技术训练内容，增加了设计性内容和创新提高性内容，给出了必要的提示和参考资料，旨在有效提高学生的知识运用能力和科技设计创新能力，为今后从事科研工作打下基础。

3. 精选了必做的实验内容，压缩了传统性的验证课题，在大部分传统实验中引入了新的测量方法、现代通用测量仪器、具有拓宽思维的具体实验内容。使学生在进行基础训练的同时，了解更多的现代测量新技术、新方法；同时，也有利于开拓学生的眼界。

4. 在撰写风格方面，尽量减少实验原理中的物理理论、公式的推导，增加引用文献，把实验原理介绍的重点放在实验方法和数据处理方法等实验知识上。在仪器介绍中，突出仪器所用基本原理、一般使用方法及可应用领域等内容，给学生留一个思考、综合的空间。

5. 在数据处理方面，采用了前细后粗的引导方式，使学生不仅逐步掌握数据处理的基本方法，还能够自主发挥。在实验结果的质量评价方面，采用了“不确定度”的概念及相关理论，使学生掌握这种国际标准评价方法。

物理实验教学是一项集体的工作，本书的编写是西安建筑科技大学全体物理实验教师和技术人员智慧的结晶。此次成书由凌亚文担任主编，华中文、史彭担任副主编。本书在编写过程中得到了本教研室全体人员的鼓励和支持，在此谨致以深

切的谢意。

本书是一本新体系、新内容的物理实验教材,还需在教学实践中不断研究探索,才能日臻完善。由于编者水平有限,实践经验不足,缺点和不足之处在所难免,真诚希望广大读者提出宝贵意见。

编 者

2004 年 10 月

目 录

前言

绪论	1
第一章 物理实验数据处理基本知识	5
1.1 测量及误差	5
1.1.1 测量及单位	5
1.1.2 测量及有效数字	5
1.1.3 直接测量与间接测量	7
1.1.4 测量误差及分类	7
1.1.5 粗大误差	9
1.1.6 判断系统误差存在的一般方法	9
1.1.7 可定系统误差的修正	10
1.1.8 测量结果的定性评价	11
1.2 直接测量量的最佳值与随机误差的估算	12
1.2.1 随机误差的统计规律	12
1.2.2 测量结果的最佳值——算术平均值	15
1.2.3 随机误差的估算,平均值的标准偏差	15
1.3 仪器误差	16
1.3.1 仪器误差限	16
1.3.2 仪器的标准误差	18
1.3.3 仪器的灵敏度误差限	18
1.4 测量不确定度	19
1.4.1 标准不确定度的 A 类评定	19
1.4.2 标准不确定度的 B 类评定	19
1.4.3 数字示值的分辨率	19
1.4.4 合成标准不确定度	20
1.4.5 直接测量量结果的表示	20
1.4.6 百分差	22
1.5 间接测量的误差传递	22
1.5.1 合成标准不确定度的基本传递公式	22
1.5.2 常用简单函数的不确定度公式	23
1.6 数据处理的基本方法	24

1.6.1	列表法	24
1.6.2	图示法和图解法	25
1.6.3	差数平均法	30
1.6.4	最小二乘法与线性拟合	32
1.7	实验报告的撰写	35
1.8	习题	37
第二章	基本实验知识	39
2.1	基本测量方法	39
2.1.1	直读法	39
2.1.2	放大法	40
2.1.3	补偿法	41
2.1.4	模拟法	43
2.1.5	替代法	43
2.1.6	转换法	44
2.1.7	平衡法	44
2.2	基本测量仪器及使用	45
2.2.1	基本力学测量仪器	45
2.2.2	基本热学测量仪器	59
2.2.3	基本电学测量仪器	60
2.2.4	微机与微型计算机在物理实验中的应用	72
2.2.5	基本光学测量仪器	74
2.3	仪器的基本调整技术及操作规程	79
2.3.1	零位调整	79
2.3.2	水平、铅直调整	79
2.3.3	等高共轴调整	79
2.3.4	消除视差	80
2.3.5	逐次逼近法	80
2.3.6	消除空程误差	81
2.3.7	电学实验的基本操作规程	81
2.3.8	光学实验的基本操作规程	82
第三章	基本训练实验	83
3.1	基本测量	83
3.2	光杠杆放大法测量微小长度的变化	89
3.2.1	用拉伸法测量金属的杨氏弹性模量	89
3.2.2	固体线膨胀系数的测量	93
3.3	气垫导轨上的力学实验	95

3.3.1	速度和加速度的测量	96
3.3.2	碰撞的研究	101
3.4	滑线式变阻器的使用与电路控制	104
3.5	伏安法测量元器件的电阻值	108
3.6	扭摆法测量物体的转动惯量	112
3.7	单臂电桥测电阻	117
3.8	电位差计的应用	120
3.9	分光计的使用	123
3.10	用稳恒电流场模拟静电场	128
3.11	液体黏度的测量	134
3.11.1	毛细管法	134
3.11.2	落球法	138
3.12	双踪示波器的使用	141
第四章	近代及综合实验知识	149
4.1	非电量电测技术	149
4.1.1	热电转换技术	150
4.1.2	力电转换技术	153
4.1.3	磁电转换技术	153
4.1.4	光电转换技术	157
4.2	电磁量动态跟踪测量技术	161
4.2.1	示波器	162
4.2.2	电子电位差计	162
4.2.3	x - y 函数记录仪	163
4.3	光学测量技术	164
4.3.1	干涉测量技术	164
4.3.2	衍射测量技术	169
4.3.3	偏振测量技术	171
第五章	近代及综合实验	175
5.1	利用霍尔效应测量元件参数	175
5.2	密立根油滴实验	180
5.3	用稳态法测量不良导体、金属或空气的导热系数	186
5.4	迈克尔逊干涉仪的应用	189
5.5	全息照相	194
5.5.1	激光再现的全息照相	195
5.5.2	白光再现的全息照相	199
5.6	用全息干涉法测量悬臂梁的挠度及材料的杨氏弹性模量	202

5.7	衍射光栅特性的研究	207
5.8	双臂电桥测低值电阻	211
5.9	非平衡电桥的应用	214
5.10	等厚干涉的应用	216
5.11	空气中声速的测量	220
5.12	用悬丝耦合弯曲共振法测量金属材料的杨氏模量	225
5.13	铁磁材料动态磁滞回线的测试	228
5.14	音频信号光纤传输技术	231
第六章	设计性实验	236
6.1	设计性实验的任务	236
6.2	设计方案的选择	236
6.2.1	实验方法的选择	236
6.2.2	测量方法的选择	237
6.2.3	测量仪器的选择	238
6.2.4	测量条件的选择	239
6.2.5	数据处理方法与设计方案的选择	239
6.3	测量仪器的配套	241
6.4	实验的成本	243
6.5	设计实验课题	243
6.5.1	万用电表的设计与定标	243
6.5.2	地磁场水平分量的测量	244
6.5.3	用伏安法测量低值电阻	245
6.5.4	数字式万用表的设计	245
6.5.5	用频闪法测量电风扇的转速	258
附录		259
I	常用仪器与装置简介	259
一、	QG-5 型气垫导轨	259
二、	JJY 型分光计	261
三、	YMC-1 型杨氏模量测量仪	267
四、	DHQJ-3 型非平衡电桥	269
五、	FMFa 学生型电位差计	275
六、	SBZ-A 型超声波声速测量仪	277
七、	SG1646 多功能函数信号发生器/频率计	279
八、	YB4320G 双踪示波器	282
九、	迈克尔逊干涉仪	289
十、	CCD 摄像头	291

II	常用数据·····	292
	一、常用测量仪器、量具误差限 ·····	292
	二、电路灵敏度误差限的计算方法 ·····	295
	三、基本物理常数(1986 年国际推荐表) ·····	295
	四、20℃时常用固体和液体的密度 ·····	296
	五、不同温度时水的密度 ρ 、表面张力系数 γ 、黏度 η ·····	296
	六、不同温度时空气的密度 ρ 、黏度 η ·····	297
	七、某些液体的黏度 ·····	297
	八、海平面上不同纬度处的重力加速度 ·····	298
	九、20℃时某些金属的杨氏弹性模量 Y^* ·····	298
	十、某些物质的比热 ·····	298
	十一、某些物质中的声速 ·····	299
	十二、某些金属和合金的电阻率 ρ 、温度系数 α ·····	299
	十三、常用光源的谱线波长表 ·····	300
	十四、物质的折射率 ·····	300
	十五、固体的线膨胀率 ·····	301
	十六、不同温度时干燥空气中的声速 ·····	301
	十七、铜-康铜热电偶分度表(参考端温度为 0℃) ·····	302
III	国际单位制的量纲·····	303
IV	SI 中 7 个基本量基本单位的定义 ·····	304
V	国际单位制中单位词头·····	304
VI	物理量的名称、符号和单位(SI)一览表 ·····	305

绪 论

1. 科学实验的地位和作用

科学实验是人们探索自然规律的一种研究方法。人们根据一定的研究目的,通过一定的构思,利用科学仪器、设备等物质手段,人为地控制、模拟一定的条件,使自然过程或生产过程以比较典型的或单纯的形式表现出来,从而达到在一定的条件下,研究和探索自然规律的目的。

科学实验的主要任务是:研究人类尚未认识或尚未完全充分认识的自然过程和领域,发现未知的自然规律;为新的理论、学说的建立提供实验的基础;研究、发明新材料、新方法、新工艺,促进生产技术的变革进步,提高人们改造自然的能力。近代自然科学的重大突破,一般并不是来自于生产实践,往往是通过科学实验这个环节研究出来的。

科学实验既是理论研究的基础,其实践活动又离不开理论的指导。科学理论来源于科学实验,并受科学实践的检验。然而在实验过程中,实验课题的选择,实验的构思和设计,实验方法的确定,实验数据的处理,以及由实验得出的结论和由实验结果提出的科学假设等,都始终受到理论的支配,即科学实验是科学理论的源泉,是自然科学的根本,是工程技术的基础,同时科学理论又对科学实验起着指导作用。因此,我们要处理好实验和理论的关系,重视科学实验,重视进行科学实验训练的实验课。

2. 物理实验的地位和作用

物理实验是科学实验的重要组成部分。物理实验在科学、技术的发展中有着独特的作用。历史上每次重大的技术革命和科学理论发展几乎都源于物理学的发展。从热力学、气体动力学的发展,使人类开始进入工业时代,到原子物理学、量子力学的发展,促进了半导体、原子核、激光、电子计算机技术的迅猛发展。然而,物理学在本质上是一门实验性科学。从三四百年前,伽利略和牛顿等科学家,以科学实验的方法研究自然规律,逐渐建立了物理学至今,所有物理概念的确立、物理规律的发现、物理理论的建立,都是在实验的基础上发展而来并通过实验检验的。

纵观物理学的发展史,如果没有从库仑定律到法拉第电磁感应定律等一系列实验规律的发现,就不可能有麦克斯韦电磁学理论方程组;如果没有德国物理学家康尔鲍姆和鲁本斯对热辐射光谱所作的精确测量结果,就不可能有普朗克的量子假设和利用数学方法导出的符合实验结果的黑体辐射公式;等等。

物理实验不仅在物理学自身的发展中起着重要的作用,在推动其他学科和技术的发展中也起着重要的作用。特别是在近代,各学科相互渗透,产生了许多交叉学科和边缘学科,物理实验的构思、方法和技术在与诸如化学、生物学、天文学、材料科学等学科的相互结合中已取得了巨大的成果,而且其前景是非常广阔的。

因此,作为培养高级工程技术人才的高等学府,不仅要使学生具备比较深厚而广博的科学理论知识,而且要使学生具有较强的从事科学实验的能力。物理实验是高等学校对学生进行系统的科学实验基本技能训练的第一门独立的必修基础课,是学生在高等学校受到的实验基本技能训练的开始,它不仅培养学生学习运用实验的方法去观察、发现、分析和研究、解决问题的能力,也为培养学生获取知识的能力、提高学生科学实验素质,以及今后的学习和工作打下一个良好的基础。

3. 物理实验课的目的和任务

物理实验课是一门独立的基础课,其主要目的是在中学物理实验的基础上,按照循序渐进的原则,学习物理实验知识、方法和技能,使学生了解科学实验的主要过程与基本方法,训练学生的动脑、动手能力,为今后的学习和工作奠定良好的实验基础。

物理实验课的主要任务有以下三个方面:

1) 通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量,使学生进一步掌握物理实验的基本知识、基本方法和基本技能;并能运用物理学原理和物理实验方法研究物理现象和规律,加深对物理学原理的理解。

2) 培养与提高学生的科学实验能力,其中包括:

自学能力:能够自行阅读教材或参考资料,正确理解实验内容,在实验前做好准备;

动手实践能力:能够借助教材和仪器说明书,正确调整和使用常用仪器;

思维判断能力:能够运用物理学理论,对实验现象进行初步的分析和判断;

书写表达能力:能够正确记录和处理实验数据,绘制图线,说明实验结果,撰写合格的实验报告;

简单的设计能力:能够根据课题要求,确定实验方法和条件,合理地选择仪器,拟定具体的实验程序。

3) 培养与提高学生从事科学实验的素质,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、爱护公共财产的优良品德。

4. 物理实验课的基本程序

物理实验课是一门实验基础课,其教学的着重点是严格的基础技能和思维判断能力的训练,而不是对所谓“成果”的追求。物理实验课的基础实验内容基本上都

属于验证性实验,即重复前人已有的实验过程。学生在教师的指导下通过实验过程学习实验的理论与技术,提高各方面的能力。

每个实验过程一般都要经历三个阶段:

(1) 实验前的预习

实验课虽然是在教师的指导下由学生独立完成的,但为了在规定的时间内完成实验内容,实验者一定要做好实验前的预习。

理论准备:应从讲义的所有有关章节和有关书籍了解实验原理。由于指导教师 在实验课中一般不进行这部分内容的讲解,所以一定要在课前弄懂有关实验原理, 否则,在进行实验时只能机械地按照规定步骤进行实验,尽管能够照猫画虎地取得 一些数据,但不会注意到实验方法中的技巧,不能理解实验现象,当然更谈不上深入 理解各种现象的本质,并对这些现象进行主动的分析了。

实验仪器的准备:阅读教材中对仪器介绍的有关部分,包括仪器的构造原理、 使用方法、注意事项等,做到心中有数。

经过对教材及有关材料的阅读、理解,实验者在实验前应该通过对下列问题的 思考来检查自己的预习效果:“这次实验要达到的目的是什么?我应在实验中掌握 哪些实验理论和实验技能?在实验中实现预定目的的基本步骤是什么?”实验者应 在实验前写好预习报告。在实验完成后再撰写正式的实验报告。

(2) 实验过程

一般实验课开始时,教师均要作重点问题的提示性讲解。在听讲解时要特别注 意弄清预习时未弄懂的有关问题和讲义上未涉及的一些实验技术问题。在这段时间 内,教师也会讲一些需要特别注意的地方,或宣布一些在本实验中必须遵守的特殊 规定。

实验的第一步是要安装或调整仪器。我们不能指望所有的仪器都是高质量、高 精度的,也不能认为所有的仪器都应处在恰到好处状态,但我们必须将每件仪器 都调整到最好的状态。实验者应了解仪器的性能和使用方法,在调整过程中要仔 细,要有耐心。为了使仪器达到最佳的工作状态,调整仪器通常要占用实验的大部 分时间。仪器调整好了,测量就会比较顺利。所有的测量都必须记录原始实验数据, 即直接从仪器上读到的数据。调整及测量中如遇到有疑问之处,应反复测量,争取 发现其规律,并可与指导教师商量、讨论。实验测量结果必须经指导教师审阅。原 始数据应记录在报告册的规定栏内。原始数据不能随意涂改,若有记录错误需要修 改,应另列记录表格,而不应在原有数据上涂改。

须在原始数据经指导教师检查、签字后,实验者才能整理仪器,离开实验室。

(3) 书写实验报告

这部分内容是在实验课后完成。实验报告是实验工作的总结,书写实验报告也 是实验能力的一个方面,应认真完成实验报告的每个项目中的规定内容。具体书写 方法可参阅 1.7 节内容。

5. 物理实验室规则

1) 实验者应在规定时间内进行实验,不得随意迟到或缺席。凡因病需请假者,需将医院证明交给指导教师;凡因事需请假者,应在课前按规定将所开证明交指导教师,方可准假。否则,均按旷课处理。

2) 进入实验室后,应将已完成的预习报告放在实验台上,经指导教师检查认可后,方可进行实验。

3) 凡迟到超过十分钟或没有预习或预习不合格者,不得进行实验。

4) 进入实验室后,应注意保持实验室的安静和整洁。实验者应对号入座,不得擅自搬动或使用其他实验台上的仪器。

5) 实验中若发现仪器工作不正常或测量数据不合理,应立即与指导教师联系。

6) 遵守仪器操作规则,注意人身安全和设备安全。光学仪器严禁用手触摸光学表面;电学实验中电路连接好后,应经过指导教师的检查许可后,方可接通电源,否则,自负其责。

7) 实验完成后,原始数据经指导教师审阅检查后,方可整理仪器,离开实验室。

8) 每次实验后应留两名同学打扫实验室卫生。

第一章 物理实验数据处理基本知识

1.1 测量及误差

1.1.1 测量及单位

就广意来讲,测量就是用实验的手段对自然界中的现象和客观实体取得定量信息的过程。具体而言,要知道被测对象的量值,首先要选择一个标准量,用它与被测对象相比较,得到的比值即为被测对象的量值。显然,这个量值的大小与所选择的标准量的单位有关,单位越大,量值就越小,反之亦然。所以,测量结果应具有两个要素:量值与单位。

物理学中各物理量的单位,均采用1960年第11届国际计量大会所确定的国际单位制(SI)。它以米(m)(长度)、千克(kg)(质量)、秒(s)(时间)、安培(A)(电流)、开尔文(K)(热力学温度)、摩尔(mol)(物质的量)和坎德拉(cd)(发光强度)为基本单位,称为国际单位制的基本单位。其他物理量的单位均可由这些基本单位导出,称为国际单位制的导出单位(详细内容请阅读国际单位制介绍)。

1.1.2 测量及有效数字

1.1.2.1 一般概念

有效数字的概念是由被测量和量具所决定的,任何测量结果都存在有效数字的问题。如图1.1-1(a)所示,用最小分度为1mm的米尺测量一个物体的长度。物体左端对准0刻度线,物体右端位于16~17mm刻度线之间,该物体的测量结果为16.7mm,最后一位7是估计值。不同的实验者测量这一物体的长度,前二位数16不会变化,我们把它称为可靠数字(或称为准确数字)。但是,最后一位数字7因为各人估计不同而不同,我们把这一位数字称为可疑数字(或称为欠准数字)。测量结果中的若干位可靠数字加上一位可疑数字组成有效数字。

有效数字的位数由几位准确数字加一位可疑数字组成,如上例中的有效数字位数为3位。若测量中最后的可疑位估计值为0,如图1.1-1(b)中物体的右端恰好落在20mm刻度线上,则结果应记为20.0mm,而不能记为20mm或2.0cm,即读数时,尾部的“0”不能随意丢掉。

若用最小分度为1mm的米尺测量某物,如同1.1-1(c)所示,结果为90.70cm,有四位有效数字;但若采用最小分度为1cm的米尺测量该物体的长度,如图

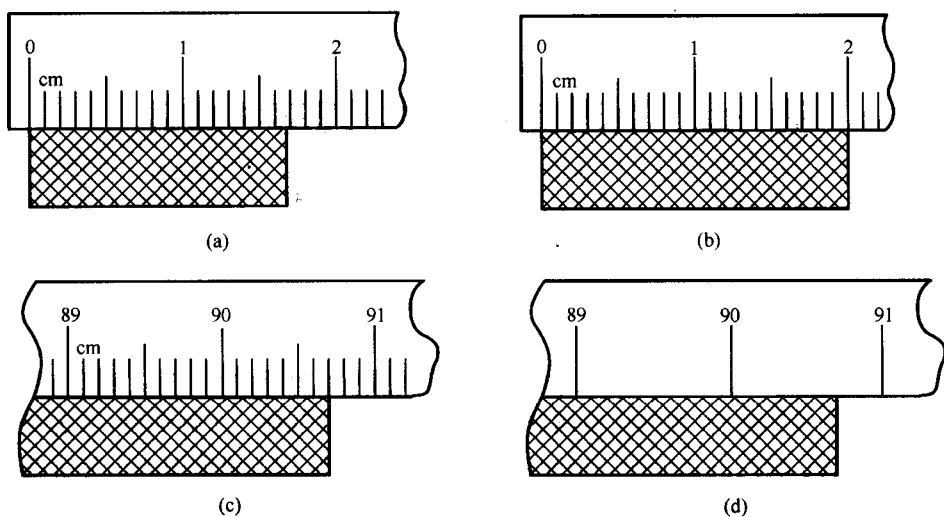


图 1.1-1

1.1-1(d)所示,则结果为 90.7cm,只有三位有效数字。所以读数时,一般应估读到仪器最小刻度以下的一位可疑数。

对结果进行单位变换时,不应改变其原有的有效数字位数。当单位变大时,为了确定小数点位置而在测量值左边所加的“0”不是有效数字,如 $124.5\text{mm} = 0.1245\text{m}$,仍为 4 位有效数字。当单位变小时,不能在测量值右边加“0”,因为这样就改变了有效数字的位数,而应采用科学记数法,以保证有效数字位数不变。如要用 μm 表示上述测量值时,不能写成 $124\,500\mu\text{m}$,而应写成 $1.245 \times 10^5 \mu\text{m}$ 。

综上所述,有效数字位数是仪器精度和被测量本身大小的客观反映,不能任意增减。

1.1.2.2 有效数字运算的一般原则

(1) 几个量加、减运算结果的有效数字的取舍。其结果的可疑位应与诸量中可疑位数数量级最高的一位保持一致,后面的数字四舍五入。

【例 1】 $30.3 + 1.384 + 0.0067 \approx 31.7$

【例 2】 $12.6 - 4.378 \approx 8.2$

(2) 几个量相乘、除运算结果的有效数字的取舍。其结果以数字位数最少的一个数为准(或比数字位数最少的一个数多一位),与小数点的位置无关。

【例 3】 $160.41 \div (12.425 \times 4.11) \approx 3.14$

【例 4】 $(10.522 \times 0.34) \div 1.118 \approx 3.19$

(3) 乘方、立方、开方的运算结果应与原数位数相同,也可比原数多保留一位。

【例 5】 $(341)^2 \approx 1.163 \times 10^5$

【例 6】

$$\sqrt{27.37} \approx 5.232$$

(4) 对数、三角函数运算。对数运算结果的有效数字规则:结果的有效数字位数与原数的位数相同。

【例 7】

$$\lg 3.142 + \lg 5.267 \approx 0.4972 + 0.7216 = 1.1288$$

三角函数的有效数字运算结果与函数形式和角度的数值有关。当角度的不确定度为 $1'$ 时,其三角函数的有效数字位数取 5 位,一般不会引入取位误差。

(5) 计算机(计算器)运算时的有效数字问题。用计算机或计算器运算时,必须对它所显示的计算结果,用上述有效数字运算规则和误差取舍法进行判别,并写出正确的结果。在中间运算时,运算数据可多取一或两位,使运算结果的准确度尽可能高些。

(6) 常数的有效数字运算规则。运算过程中的常数(如将半径转变为直径时引入的常数 2)一般不考虑其位数的影响;而公式中的 π 、 g 等数的有效数字位数则应比计算式中有有效数字位数最多的一个数的位数再多取一位。

1.1.3 直接测量与间接测量

测量可分为两大类:直接测量和间接测量。

(1) 直接测量。用测量仪器能直接测出被测量的测量过程称为直接测量。相应的被测量称为直接测量量。例如:用米尺测量长度;用天平称物体的质量;用秒表测时间等。直接测量按测量次数又分为单次测量和多次测量。

单次测量:只进行一次的测量称为单次测量。单次测量主要在以下情况时采用:①由于测量条件所限制使测量所带来的误差远大于仪器的不确定度;②由于该测量量的不确定度远小于其他测量量的不确定度。

多次测量:测量次数超过一次的测量称为多次测量。多次测量按测量条件又分为等精度测量和非等精度测量。①等精度测量:在同等条件下,对同一被测量进行的多次重复测量。同等条件是指环境、操作者、仪器、方法等均相同。②非等精度测量:在特定的不同测量条件下,用不同的仪器、不同的测量方法、不同的测量次数、由不同的操作者进行的测量和研究。

(2) 间接测量。待测量是由若干直接测量的物理量在一定函数关系下,经运算后得到的则为间接测量量。例如,欲测物体运动的平均速度 $\bar{v}$,可由直接测量物体运动的时间 Δt 和在时间 Δt 内通过的位移 Δs ,经公式 $\bar{v} = \Delta s / \Delta t$ 计算得出。

1.1.4 测量误差及分类

被测物理量的大小在一定条件下是客观存在的,即这个物理量的真实值,一般称为“真值”,记为 μ 。在具体测量物理量时,无论我们怎样改进实验方法,提高仪器精度和操作人员的水平,由于受各种条件的影响,如方法不可能完美无缺、仪器精