

高等学校教材

大学物理实验 基础教程

编著：上海工程技术大学物理实验教学部

物理学的发展就是一个不断地从实验事实的发现和检验中由一个认识高度走向另一个更高的认识高度的过程。在此过程中，理论和实验相互巧妙地推动着物理学在新学说和新事实之间不断地曲折前进；有时实验走在了理论的前面，给理论提出了新问题；有时理论又走到了实验的前面，给实验提出了新课题。有时它们又并驾齐驱，它们相互以其独特的方式推动着物理学向前发展，构成了一部完整的物理学。所以，物理学集中地体现着实验与理论紧密相连的关系，它是运用科学认识论和方法论探索自然问题，包括解决工程技术问题的典型代表。本教程就是以物理实验的知识、方法和技能为基点，阐述近代科学技术中实验的一般方法特点，并通过实验者自身的实践来体会和熟悉这些特点。

東華大學出版社

高等学校教材

大学物理实验基础教程

上海工程技术大学物理实验教学部 编著

编著者：

刘 烈 陈惠敏 尚 荣

王明霞 张朝民

东华大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验基础教程/上海工程技术大学物理实验教学部编著. —上海:东华大学出版社,2004.1
(2007.12 重印)

ISBN 978-7-81038-730-9

I. 大... II. 张... III. 物理学—实验—高等学校—教材 IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 109366 号

责任编辑: 杜亚玲

封面设计: 魏依东

高等学校教材

大学物理实验基础教程

上海工程技术大学物理实验教学部 编著

东华大学出版社出版

上海市延安西路 1882 号

邮编:200051 电话:(021)62193056

新华书店上海发行所发行 无锡市春远印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:17.5 字数:434 千字

2004 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 2 次印刷

印数:0001—4000

ISBN 978-7-81038-730-9/O·45

定价:32.00 元

对自然的观察应该是专注的，思考应该是深刻的，实验应该是精确的。

——狄德罗——

前 言

本教程是以全国工科物理课程指导委员会制定的“高等工业学校物理实验基本要求”为原则,并结合我校历来教学改革和教学经验编写而成。

物理实验作为一门独立的必修基础课程,对培养学生的科学实验能力、提高学生科学实验素质起着重要作用。为此,本教程写入了必要的实验基础理论内容,它们包括:“测量与误差”、“方法与技术”、“观察与分析”、“实验的类型”、“科学实验的阶段与过程”等五章,每章都配有一定数量和恰当程度的实验,使学生不仅能熟悉和掌握科学实验最基本的共性知识又增长了实践经验,从而较有效地培养学生的科学实验能力。

本教程的实验分为两组,第一组为基础实验,每个实验都安排了观察和测量的内容,实验者必需自觉地运用基本理论指导自己的实践活动,通过这些实验不但要从理论上掌握物理实验的知识、方法和技能,而且要在实验过程中积累自身的实践经验,培养理论联系实际和动手实践能力。第二组为设计性实验,它是综合性地运用前面所有理论内容和实践经验的实验。教程对各设计性实验仅作简单介绍并提供参考书目,学生可以据此选题并根据参考资料对实验作进一步了解。设计性实验的开设目的是培养学生独立分析问题、解决问题的能力,培养学生的创新能力。

本《教程》总结了我国多年来的教学改革和实践经验,其间经过了多次的修订和完善,1998年第一次正式出版的本《教程》,获得1999年上海市高等学校优秀教材二等奖,它凝聚了姚世亨、刘文光、江丕农等十余位老师的智慧与劳动成果;2001年《教程》由张光忠、刘烈、尚荣等六位教师修改编写,引入了一些新的实验,增写了不确定度及其简化估算。

此次出版的《教程》,在保留原《教程》体系、风格、特色的同时,修改了部分内容,调整了个别章节。主要修改编写者有刘烈、陈惠敏、尚荣、王明霞、王珊、林琦、孙晓慧、陈余行、张朝民。

实验教学是一项集体的事业,本《教程》是物理实验室全体教师和实验技术人员的集体智慧的结晶,在此我们向参加本次《教程》编写和修改讨论的姚世亨、周怡之、周有余和戴纪华致谢;向曾对数据处理提出宝贵建议的段承后教授致谢。

在此还要感谢曾经参加过优良等级答辩的学生们。十多年来,他们发挥了自己的聪明才智,撰写了几百篇答辩材料,从各方面讨论和分析了实验中的问题,大大丰富了实验教学内容。他们对课程的目的、内容和教学提出过许多切身的体会和想法,这正是促进我们努力工作的源泉。

我们还要感谢曾经对我们的教学改革、教材编写提出过宝贵意见和对我们的工作给予热情支持的兄弟院校的同行们。

编著者

2007年12月

于上海工程技术大学

目 录

| | |
|-----------------------------|-----------|
| 绪论 | 1 |
| 第一章 测量与误差 | 5 |
| § 1-1 测量及其分类 | 5 |
| § 1-2 测量值的有效数字及其运算规则 | 7 |
| § 1-3 误差公理及误差分类 | 10 |
| § 1-4 关于系统误差的处理原则 | 12 |
| § 1-5 测量不确定度和测量结果的表示 | 16 |
| § 1-6 数据处理的基本方法 | 23 |
| § 1-7 测量结果的评定与一致性讨论 | 29 |
| 习题 | 30 |
| 第二章 方法与技术 | 35 |
| § 2-1 几种典型的实验方法 | 35 |
| § 2-2 实验操作技术初阶 | 40 |
| § 2-3 微机在物理实验中的应用 | 45 |
| 第三章 观察与分析 | 48 |
| § 3-1 观察是实验的基础 | 48 |
| § 3-2 观察的方法和技巧 | 50 |
| § 3-3 实验的分析 | 53 |
| 第四章 实验的类型 | 58 |
| § 4-1 应用性实验 | 58 |
| § 4-2 验证性实验 | 60 |
| § 4-3 探索性实验 | 64 |
| 第五章 科学实验的阶段与过程 | 70 |
| § 5-1 实验课题的准备 | 70 |
| § 5-2 实验课题的实施 | 73 |
| § 5-3 实验课题的总结 | 77 |

| | |
|-----------------------|----|
| § 5-4 科学实验的一般过程 | 78 |
|-----------------------|----|

基础实验

| | |
|---------------------------|-----|
| 实验一 基本物理量的测量仪器 | 80 |
| 实验二 不确定度的认识 | 84 |
| 实验三 弹簧振子的简谐振动 | 86 |
| 实验四 转动惯量的测定 | 92 |
| 实习 1 三线摆法 | 93 |
| 实习 2 扭摆法 | 97 |
| 实验五 电表的改装与校准 | 100 |
| 实习 1 电表扩程和校准 | 101 |
| 实习 2 电表改装成电压表 | 104 |
| 实习 3 电表改装成欧姆表 | 107 |
| 实验六 电气元件的伏安特性曲线 | 110 |
| 实习 1 电阻的伏安特性及电阻的测定 | 111 |
| 实习 2 钨丝灯的伏安特性 | 113 |
| 实习 3 半导体二极管的伏安特性 | 115 |
| 实验七 凸透镜焦距的测量 | 116 |
| 实习 1 自准法 | 116 |
| 实习 2 贝塞尔法(两次成像法) | 118 |
| 实习 3 平行光管法 | 121 |
| 实验八 牛顿环干涉法测量球面的曲率半径 | 123 |
| 实验九 重力加速度的测定 | 128 |
| 实习 1 斜面下滑法 | 128 |
| 实习 2 自由落体法 | 131 |
| 实习 3 单摆法 | 134 |
| 实验十 弹性模量的测定 | 136 |
| 实验十一 固体线膨胀系数的测量 | 141 |
| 实验十二 静电场描绘 | 144 |
| 实验十三 惠斯登电桥测电阻 | 149 |
| 实验十四 电位差计及其应用 | 154 |
| 实习 1 电源电动势的测量 | 156 |
| 实习 2 电源内阻的测量 | 158 |
| 实习 3 用电位差计校验电压表和电流表 | 159 |
| 实验十五 交流电压信号的观察 | 161 |

| | | |
|-------|---------------------------|-----|
| 实验十六 | 用示波器观测交流信号的波形、电压和频率 | 166 |
| 实验十七 | 交流电路中电压与电流相位关系的研究 | 172 |
| 实验十八 | 声速的测定 | 175 |
| 实验十九 | 霍尔元件测磁场 | 181 |
| 实验二十 | 温差电现象的研究 | 187 |
| 实验二十一 | 分光仪的调整和三棱镜顶角的测量 | 190 |
| 实验二十二 | 棱镜色散关系的研究 | 196 |
| 实验二十三 | 衍射光栅 | 201 |

设计性实验(实验简介)

| | |
|---------------------------------------|-----|
| 一、气垫导轨上振动的研究 | 205 |
| 二、气垫导轨上动量守恒的研究 | 206 |
| 三、多普勒效应 | 206 |
| 四、耦合摆的研究 | 206 |
| 五、扭摆法测转动惯量 | 207 |
| 六、声速的测定——相位法与驻波法 | 207 |
| 七、受迫振动 | 207 |
| 八、共振法测量金属材料的杨氏模量 | 208 |
| 九、利用旋转液体测定重力加速度及焦距 | 208 |
| 十、固体线胀系数测定 | 208 |
| 十一、热效应实验 | 209 |
| 十二、气体比热容比 C_p/C_v 的测定 | 209 |
| 十三、热敏电阻 | 209 |
| 十四、RC 串联电路的暂态过程 | 210 |
| 十五、RC 电路的稳态过程 | 210 |
| 十六、RLC 串联电路的暂态过程的研究 | 210 |
| 十七、方波电信号的傅里叶分解 | 211 |
| 十八、观测变压器矽钢片的动态磁滞回线 | 211 |
| 十九、电子束的纵向磁聚焦 | 211 |
| 二十、霍尔位置传感器的定标和弯曲法测杨氏模量 | 212 |
| 二十一、半导体 PN 结电流—电压关系的研究及测量玻尔兹曼常数 | 212 |
| 二十二、灵敏电流计的研究 | 213 |
| 二十三、密立根油滴法测定电子电荷 | 213 |
| 二十四、电子衍射 | 213 |

| | |
|---|------------|
| 二十五、电子束的研究 | 214 |
| 二十六、非线性电路混沌实验的研究 | 214 |
| 二十七、欧姆表的设计与组装 | 214 |
| 二十八、用导电玻璃装置模拟静电场及飞机机翼周围的速度场 | 215 |
| 二十九、用临界角法测量棱镜的折射率 | 215 |
| 三十、单色仪的定标及纳光波长的测定 | 215 |
| 三十一、用双光束干涉法测定钠光的波长(a)双棱镜法(b)洛埃镜法 | 216 |
| 三十二、激光干涉测量平板玻璃的楔角 | 216 |
| 三十三、迈克尔逊干涉仪 | 216 |
| 三十四、夫琅和费单缝衍射 | 217 |
| 三十五、利用布儒斯特定律测量玻璃折射率 | 217 |
| 三十六、光电效应 | 218 |
| 三十七、可见光区的氢原子光谱 | 218 |
| 三十八、光偏振现象的研定 | 218 |
| 三十九、用旋光仪测旋光性溶液的旋光率和浓度 | 219 |
| 四十、电脑控制动力学实验 | 219 |
| 四十一、电脑控制光学实验 | 219 |
| 四十二、地球磁场的测定 | 220 |
| 四十三、弦音计实验 | 220 |
| 四十四、电脑控制电学实验 | 220 |
| 四十五、扫描隧道显微镜 | 221 |
| 附录一 中华人民共和国法定计量单位 | 222 |
| 附录二 国际计量局《实验不确定度的规定:建议书 INC—1(1980)》 | 225 |
| 附录三 不确定度的简化处理方法 | 227 |
| 附录四 测量数据中异常值的检验 | 230 |
| 附录五 数据处理规则要点 | 231 |
| 一、读数规则 | 231 |
| 二、有效数字运算规则 | 231 |
| 三、测量结果的表示 | 231 |
| 四、作图规则 | 232 |

| | |
|---|------------|
| 五、一致性讨论 | 232 |
| 附录六 常用实验仪器介绍 | 233 |
| 一、测长仪器 | 233 |
| 二、物理天平 | 236 |
| 三、数字计时器 | 237 |
| 四、变阻器 | 238 |
| 五、标准电池 | 240 |
| 六、磁电式仪表 | 241 |
| 七、电源 | 245 |
| 八、低频信号发生器 | 246 |
| 九、示波器 | 248 |
| 十、箱式惠斯登电桥 | 252 |
| 十一、电位差计 | 254 |
| 十二、常用光源简介 | 255 |
| 十三、望远镜、测量显微镜的结构和调整 | 256 |
| 十四、分光仪 | 259 |
| 附录七 实验中常用仪器的误差限——Δ 值 | 264 |
| 附录八 常用的物理数据 | 266 |
| 一、基本物理常数 | 266 |
| 二、部分金属的弹性模量(杨氏模量) | 266 |
| 三、部分液体的粘度 | 266 |
| 四、部分物质的折射率 | 267 |
| 五、常用气体光源波长表 | 267 |

绪 论

在物理学发展历史上,16世纪意大利物理学家伽利略是第一个给科学引入正确近代方法的人,他用实验和批判性的考察去看待理论的适应性,并用此去提炼自然定律;由于他对实验的强调,使物理学发生了革命性的变化。其后,牛顿进一步丰富了近代科学方法原理,即运用数学语言将理论和实验结合起来去发现定量的原理和规律,用一个原理说明许多现象,预言新的现象,并用实验加以检验。于是,用实验定量地探索自然并从中总结自然规律的科学方法从此生根于一切近代科学技术领域。

物理学的发展就是一个不断地从实验事实的发现和检验中由一个认识高度走向另一个更高的认识高度的过程。在此过程中,理论和实验相互巧妙地推动着物理学在新学说和新事实之间不断地曲折前进;有时实验走在了理论的前面,给理论提出了新问题;有时理论又走到了实验的前面,给实验提出了新课题;有时它们又并驾齐驱,它们相互以其独特的方式推动着物理学向前发展,构成了一部完整的物理学。所以,物理学集中地体现着实验与理论紧密相连的关系,它是运用科学认识论和方法论探索自然问题,包括解决工程技术问题的典型代表。本教程就是以物理实验的知识、方法和技能为基点,阐述近代科学技术中实验的一般方法特点,并通过实验者自身的实践来体会和熟悉这些特点。

一、科学实验的地位和作用

由物理学创导的科学方法的基础之一是运用实验手段,即自然的规律要靠实验来发现,自然科学的理论要靠实验来验证,工程设计和生产实际的问题要靠实验来解决;实验——它是人们研究自然规律、改造客观世界的一种特殊的实践形式和手段。

实验之所以能占有如此重要的地位和作用,是因为实验比起对自然现象的直接观察和生产过程的直接经验有其特有的优点:首先,利用实验方法可以对各种自然条件进行精密的控制,排除外界因素的干扰,能有效地突出研究事物之间的一些重要关系;其次,它可以把复杂的自然现象或生产过程分解成若干单独的现象或过程进行个别的和综合的研究;第三,它可以对现象和过程进行精确的定量测量,以揭示现象和过程中的数量关系;第四,它可以进行重复试验,或改变条件进行试验,便于对事物的各个方面作广泛的比较和分析等。正是由于它的这些优点,使其在人类认识和改造客观世界的“实践——理论——再实践”活动的历史长河中起着举足轻重的中间体作用。可以这样讲,现代科学技术的发展离开了实验就几乎寸步难行,而一个新的工业部门的兴起往往就始于某个实验。

我国科学界有位权威人士曾说过这样一句话:“从理论到实验,这是一个进步,从实验到商业应用,这又是一个进步。中国的基本理论并不弱,只是实验和应用方面较弱。”此话值得每一个从事应用技术的人深思。

二、物理实验的特点

物理学的基本组成部分是实验和理论,它们既紧密相连,又互为独立,在它们发展的道路上形成了各自的方法特点。物理实验的特点大致有以下几点:

1. 实验是有目标的,它与理论有着千丝万缕的联系。当今的实验,包括应用性实验、验证性实验或探索性实验,几乎都是在已经确立的理论指导下进行的,所以,在做任何一项实验时,都应该将该课题的理论结论搞清楚。那种将实验只看作是摆弄摆弄仪器、动动手的单纯实践观点是非常片面而有害的,实验乃是在理论思想指导下为达到某项目标而进行的物理实现,是手脑并用的复杂劳动。

2. 实验要采用恰当的方法和手段,以使所要观测的物理现象或过程能够实现,并达到符合一定的定量测量的要求。虽然方法和手段会随着科学技术和工业的进步不断得到改进,但历史积累的方法仍是人类知识宝库中精华的一部分,有了积累才能有创新,因此从一开始就应十分重视实验方法的积累。

3. 实验需要技能,它的内容十分广泛:仪器的选择、使用和保养,设备的装校、调整和操作,现象的观察、分析和测量,故障的检查、判断和排除……它有众多的原则和规律,但有时不一定成文,可以说它是知识、见解和经验的积累。唯有实践,才有可能获得这种技能。

4. 实验需要一种语言,它要用数据来说明问题。实验做得好与差,两种方法测量同一物理量其结果是否一致,实验验证理论否,这些都不能凭感觉,而必须用实验数据和实验误差的分析与估算来下断言。领悟并运用这种语言,才能真正置身于实验之中,亲身感受到成功的喜悦和失败的困惑。

总括地讲,实验集理论、方法、技能和数据处理于一个整体,它不但要实验者搞懂实验内容与实验方法的道理,而且还要实验者根据这些道理付之实现,最后还要从获得的数据结果中得出应有的结论,这些就是物理实验的特点。

三、具体实验的基本程序

基于实验的特点,在做任何一个实验时,必须把握住下列三个重要环节:

1. 实验的准备,也称为预习。

预习时,重点要解决三个问题。

第一,实验的目的是什么?即做这个实验最终要获得什么结果,是测定物理常数,还是要验证某个物理定律,还是要探索某种规律;认识了实验目的,才能紧紧地围绕这个中心去思考。

第二,实验的根据是什么?它涉及实验课题的理论和实验方法的道理;必须搞清研究对象的含义,与其它物理量之间的关系,最终还必须建立确定的测量关系式,并有方法对其进行测量。

第三,实验该如何做?在熟悉了实验理论和方法之后,必须设想如何去做。这包括仪器装置的安置图(如电路图、光路图等)、调整的要求、哪些是直测量、用什么方法和器具进行测量、测量的先后次序及数据记录表格准备等。

综上所述,实验预习应简要写出以下项目:

- ① 实验目的;
- ② 仪器设备;
- ③ 实验原理(电路图、光路图、测量关系式);
- ④ 大致步骤;
- ⑤ 数据表格。

实验的准备工作至关重要,它决定着实验的成败和收效的大小,所以实验前务必做好充分的准备工作。

2. 实验的进行

实验是依据确定的原理解决具体问题的舞台,实验者就是这场戏的导演,因此不要急着开演,而是先根据设想好的步骤彩排一下,看一看、想一想,是否已熟悉实验仪器和工具的用法,怎样做会更好些、更合理些;在确认一切都正常无误后,再按确定的步骤一步步地走向实验的目的。

在实验工作进入正常状态时,特别要注意两点:

① 要做好完备而清晰的记录。如研究对象的编号、重要仪器的名称、型号和编号;测量数据要记入事先准备好的表格中,以免遗漏;切勿将数据随意记录在草稿纸上,这是不科学的方法,而且容易丢失。

② 要随时用所观察到的现象和测得的数据作为反馈信息来判断实验是否在正常进行,这是会不会做实验的重要标志之一。实验不是机械地完成一项测量读数工作,它是在完成实验的既定目的,所以为防止实验中可能出现的种种意想不到的差错和疏忽,需要随时检验自己工作的正确性,包括做一些必要的数据处理;在离开实验室后再发现实验有误,为时就已经晚了。

由上可见,实验是一项艰苦的劳动,不但要动手,而且还要不断思考、判断;实验者必须具备有条理地进行工作和严格而又谨慎的科学态度。

3. 实验的报告

实验报告是实验成果的文字报道,所以最起码应该做到字迹清楚,文理通顺,图表正确,数据完备和结论明确。报告应该给同行以清晰的思路、见解和新的启迪才算得上是一份成功的报告,其内容一般应包括:

① **明确的实验目的。**不要照抄每个实验中“目的要求”一栏的内容,要分清目的和要求两个部分;要求只是在实现目的的过程中需要实验者掌握的具体内容,所以不能再以“要求”的形式在报告中出现,而必须在报告的具体内容中反映出实验者通过实验后已经达到了这些要求;换句话讲,就是实验者在书写报告的具体内容时要紧紧抓住这些要求来写,以显示自己达到要求的程度。

② **实验的仪器设备(名称、型号及编号)**

③ **简明扼要的原理及测量关系式。**其中应包括必要的原理图(如电路图、光路图、装置示意图等)。原理应该用自己的理解去写,不要一味地抄袭;原理必须写到实验的目的能够实现为止。

④ **实验步骤(各直测量的测量方法)。**从原理与测量两方面对实验装置提出的调整要求

与实现方法,乃至测量仪器的使用技巧(它不应只是具体操作步骤的描述,而应有个人体会和见解的阐述)等。

⑤ **完整而清晰的原始数据记录表格和数据处理结果**(包括实验图线)。在计算处理完成之后,必需以醒目的方式完整地表示出实验结果。

⑥ **实验的结论和结果的评价**(包括实验结果的精密度、正确度、一致性及对目的达到程度的文字性结论)。

⑦ **观察、分析与思考**。它不是简单地回答书中的问题,而应该写出实验者在实验中所看到的现象得到了怎样合理的解释,遇到的问题是如何发现的,又是如何解决的。在书写此部分内容时,重要的是要写出实验者的认识过程,而不只是结论性的语句。

报告无疑应该按自己的思路来写,特别受赞赏的是自身体会的经验之谈。

第一章 测量与误差

实验是在理论思想指导下通过自身的观测去探索一个真实的世界。由于实际条件错综复杂、变化多端,即使在实验室中已作了充分控制,也难免不受种种因素的影响,所以观测永远不会是在理想化条件下进行的,测量也不可能是完全精确的。因此,实验除了要测得应有的数据外,还有一个共同的基本问题,即需要对测量结果的可靠性作出评价,也就是对测量结果的误差范围做出合理的估计。若是将实验结果与理论预言或公认值比较,以便从中得出它们一致与否的结论时,该问题就尤为重要。为此,本章将介绍测量与误差的基本知识,它将使实验者能用误差分析的方法去估计实验误差的大小,并在必要时帮助实验者设法减小它们的影响。

§ 1-1 测量及其分类

一、量、测量和单位

任何现象和实体都具有一定的形式,所有形式都要通过量来表征。也就是说,任何实体之所以能被觉察其存在,就因为它们具有一定的量。因而可以说量是现象和实体得以定性区别并定量确定的一种属性。物理实验就是将自然界的各种基本运动形态(力、热、电磁等)按人的意志在实验室中再现,然后研究现象和实体的各物理量之间的关系,确定它们的量值大小,找出它们之间的数量关系,从中获取规律性的认识,或验证理论、或发现规律、或作为实际应用的依据。而要得到这种数量化的认识,测量就是必不可少的,可以这样讲:没有测量也就没有了科学。

所谓测量,就是人类对自然界中的现象和实体取得数量概念的一种认识过程。在这一过程中,人们借助于专门的设备,通过一定的实验方法来得到未知量 x 的数值大小,其单位为设备上所采用的测量单位。简而言之,测量就是对一个量制定一个单位,然后用这个单位与被测对象进行比较,以确定被测对象的量值大小。

若测量用的单位为 G ,经比较被测对象是该单位的 k 倍,则测量值 x 应表示为: $x = kG$ 。但若采用另一单位 G' 对同一对象进行测量,则测量值又可表示为 $x = k'G'$ 。由于被测对象是与单位选择无关的客观实在,所以应该有: $x = kG = k'G'$;显然,测量数值 k (或 k')的大小与所选用的单位 G (或 G')有关,单位越大,数值就越小;因此,对于测量而言,单纯一个数值是没有意义的,在表示一个测量值时,必须包含有数值 k 和单位 G 两个部分。

单位的制定虽然具有任意性,但要行之有效,并得到国际承认。1971年第十四届国际计量大会确定以米(长度)、千克(质量)、秒(时间)、安培(电流)、开尔文(热力学温度)、摩尔(物质的量)和坎德拉(发光强度)为基本单位,称为国际单位制(SI)的基本单位;其它量(如力、能量、电压、磁感应强度等)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。

我国为适应国际交往的需要,制定了以SI制为基础的《中华人民共和国法定计量单位》(见附录一),并已于1991年1月1日开始不允许再使用非法定的计量单位。

二、测量的分类

在明确了测量的含义之后,还可以对测量按各种方式进行分类。

单纯按测量形式分类,可将测量分为**直接测量**和**间接测量**两大类。所谓直接测量,就是在测量时将待测量与作为标准的量直接进行比较,即运用预先定度好的仪器进行测量,从而直接获得待测量的数值大小,如用米尺测量长度,用秒表或计时器测量时间等。而间接测量则是在测量中不直接测量待测量(或是没有可以直接测量该待测量的仪器);它是基于待测量和其它几个可以直接测量的物理量之间建立的测量关系式,先分别对这些物理量进行直接测量,然后将它们的测量结果代入测量关系式中计算出待测量的数值。例如,欲测量作直线运动的物体的平均速度 \bar{v} ,一般可采用直接测量它运动的位移 s 和经过该位移所用的时间 t ,然后由平均速度的定义式 $\bar{v} = s/t$ 计算出间接测量量 \bar{v} 。这种间接测量的实例在实验中是很多的。

若按实验的内容和方法分类,则可以将测量分为**单一物理量测量**和**函数关系测量**。所谓单一物理量测量,就是在相同条件下对某个确定的物理量进行重复测量,以获取该物理量的实验结果。而函数关系测量则是通过对几个物理量之间的相互变化关系的测量来研究和获得所需的实验结果。以单摆实验为例,在摆角很小的条件下,摆长 l 和摆的周期 T 之间有 $T = 2\pi \sqrt{l/g}$ 的关系,其中 g 为重力加速度;如果实验是在固定的摆长情况下通过对周期的测量来测定重力加速度,则直接测量的量 T 是一个有确定大小的物理量,因此可以对它作多次重复测量,并获得 T 的测量结果,这样一种测量称为单一物理量的测量,重力加速度 g 则是通过将 l 和 T 的测量结果代入上述关系式算得的;但若实验将 T 视为是 l 的函数,每改变一次摆长 l_i 测量其相应的摆的周期 T_i ,因而获得了许多对 (l_i, T_i) 测量值,这便成了 l 和 T 的函数关系测量,然后通过一定的数据处理方法也能求得重力加速度 g 。由此可见,实验可以采取不同类型的测量,但与之相应的处理方法就会有所不同,这正是“分类”重要性的关键所在。

不论将测量如何进行分类,直接测量乃是一切测量的基础,唯有牢牢掌握直接测量的基本知识,才可能进一步理解和掌握间接测量与函数关系测量等方面的知识。

三、测量的目的

不管是哪一类测量,也不管如何进行测量,其最终目的总是希望获得待测对象的真值。然而遗憾的是测量必须使用一定的仪器装置,采用一定的实验方法,在一定的环境条件下通过一定的实验人员去完成;由于仪器装置的不够准确,实验方法的不够完善,环境条件的不够理想以及实验人员水平不够高(包括调整、操作和读数能力)等因素,使每次测量得到的值与客观真值之间总会有差异,这种差异称之为误差。若以 x 表示测量值, x_0 表示测量对象的真值,则误差 δ 定义为:

$$\delta = x - x_0$$

(误差 = 测量值 - 真值)

由此可见,测量与误差两者紧密相连,在考虑测量问题时,必须同时考虑误差问题,这正是本章要研究的主题。

§ 1-2 测量值的有效数字及其运算规则

一、测量值的有效数字

当使用测量工具(量具、仪表、仪器)对待测量进行直接测量时,由于测量工具在制造时受到准确程度的限制,所以测量工具的分度值(最小分格值)必定是一个有限的值;测量读数时能够准确地读出最小分格值,并在一般情况下还能在最小分格值下进行估读;一般人眼可以分辨到最小分格的 $1/10$ 、 $1/5$ 、 $1/4$ 或 $1/2$,至于在具体测量中能分辨到最小分格的几分之一,则要视具体情况而定;由于它是人眼能够分辨的极限值,所以任何一个测量读数应该达到这个分辨限,但又不能超过这个分辨限,该分辨限就称为**读数误差**。由此可以得出结论:测量值是有一定位数的,它的末位应是读数误差的所在位。下面举几个形象化例子以说明应该怎样进行测量读数。

例1 如图1-1所示,用米尺测量铅笔的长度,米尺的分度值为1 mm,由于刻线较密,笔尖与尺身又不能紧贴,所以认定最多只能估读到最小分格的 $1/2$,即读数误差定为0.5 mm,笔长的测量值为37.0 mm。

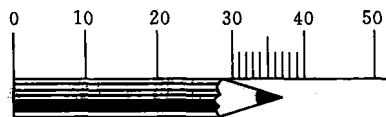


图 1-1

例2 如图1-2所示,用量程为10 V的电压表测量电压,其分度值为1 V,由于刻度线间距离较大,指针指示清晰,故可估读到最小分格的 $1/10$,即读数误差定为0.1 V,读得测量值为7.3 V。

例3 如图1-3所示,用量程为100 mA的电流表测量电流,其分度值为5 mA,由于刻度线之间的距离不够大,而指针却有一定宽度,故认定只能估读到最小分格的 $1/5$,即读数误差定为1 mA。图中的测量读数为87 mA。

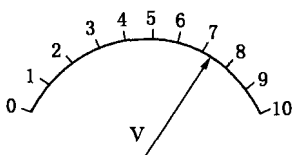


图 1-2

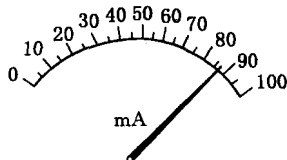


图 1-3

由上列各例可总结出测量读数的规则如下:

1. 每项测量前,应先记录所用仪器的最小分格值——分度值;
2. 根据具体情况确定能分辨的估读限——读数误差;
3. 每个测量值的末位应是读数误差所在位——测量值的末位与读数误差位对齐。

正确地按该规则进行测量读数,才能保证测量值的位数正确无误。(对于数字式仪表,由于它是一种客观读数,其分辨限应是仪表示值的末位,一般与分度值相同。)

一个测量值的**有效数字**就是包括末位在内的该测量值的全部数字,这些数字的总位数称