

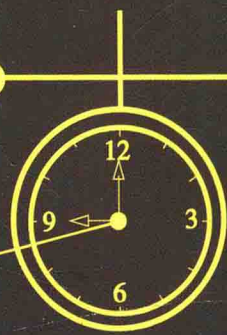
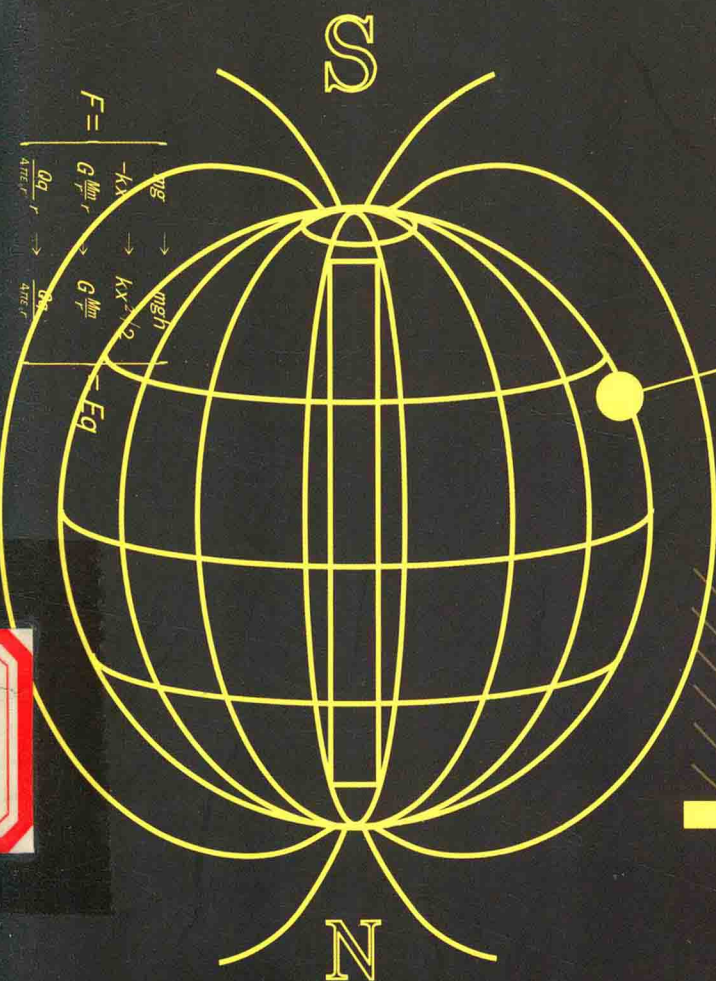
大学物理

DAXUE WULI

实验教程

SHIYAN JIAOCHENG

陈惠敏 张朝民 刘烈 王珊 尚荣 等
编著



$$F = \left[\begin{array}{l} mg \rightarrow mgh \\ -kx \rightarrow kx^2/2 \\ G \frac{Mm}{r} \rightarrow G \frac{Mm}{r} \\ \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r} \rightarrow \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r} \end{array} \right] = Eq$$

東華大學出版社

大学物理实验教程

陈惠敏 张朝民 刘 烈 等编著
王 珊 尚 荣

東華大學出版社
· 上海 ·

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验教程/陈惠敏等编著. —上海: 东华大学出版社, 2017. 10

ISBN 978-7-5669-1298-5

I. ①大… II. ①陈… III. ①物理学—实验—教材
IV. ①04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 265979 号

责任编辑: 杜亚玲

装帧设计: 王亚亚 肖兵

大学物理实验教程

编 著: 陈惠敏 张朝民 刘烈 王珊 尚荣 等

出 版: 东华大学出版社出版(上海市延安西路 1882 号, 200051)

本 社 网 址: <http://dhupress.dhu.edu.cn>

天猫旗舰店: <http://dhdx.tmall.com>

营 销 中 心: 021-62193056 62373056 62379558

印 刷: 常熟大宏印刷有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

印 张: 14.75

字 数: 369 千字

版 次: 2017 年 10 月第 1 版

印 次: 2017 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5669-1298-5

定 价: 42.00 元

Preface 前言

本教材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,结合上海工程技术大学历年来的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,对培养学生科学实验素养起着重要的作用。为此,本教材写入了必要的实验基础理论内容,包括“测量与误差”、“实验的类型”和“科学实验的过程”三章内容,旨在使学生通过实验基础理论的学习,能够熟悉和掌握科学实验基本的共性知识,从而有效地培养学生的科学实验能力。

本教材的实验分为两部分,第一部分为基础与综合物理实验,每个实验都安排了观察和测量的内容,实验者必须自觉地应用基本理论指导自己的实验活动,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,而且还要在实验过程中积累实践经验,培养理论联系实际和动手实践能力。第二部分为设计性实验,它需要综合应用已学的实验理论知识和实践经验。教材对各设计性实验项目仅作简单介绍,并提供若干参考书目,学生可以据此进行选做,并根据参考资料对实验项目作进一步的了解。设计性实验的开设目的在于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。

本教材是在《大学物理实验基础教程》的基础上编写的。《大学物理实验基础教程》1998年第一次正式出版,它总结了物理实验中心多年来的教学改革和实践经验,其间经过了多次修订和完善,获得1999年上海市高等学校优秀教材二等奖,它凝聚了姚士亨、刘文光、江丕农等十余位老师的智慧和劳动成果;2001年由张光忠、刘烈、尚荣等六位教师修改编写;2007年又由刘烈、陈惠敏、尚荣等九位教师进行修订。2013年再次由吴建宝、张朝民、刘烈、陈惠敏等十二位教师进行修订。

本次教材的出版,在保留原教程体系、风格、特色的同时,根据目前教学大纲的要求修改和调整了部分章节的内容,增设了部分新实验的内容,主要修改和编写者有陈惠敏、张朝民、刘烈、王珊、尚荣、王明霞、林琦、陈余行、吴建宝、孙晓慧、朱鹏飞、平云霞、



高雅。

实验教学是一项集体的事业,本教材是物理实验中心全体教师和实验技术人员集体智慧的结晶,在此我们向参与本教材编写和修改讨论的周有余、季鑫、王付鑫和夏金安老师致谢,向曾经参加过教程编写和给予实验数据处理指导的姚士亨、段承后、戴纪华老师致谢。

此外,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存在的问题,大大丰富了实验教学的内容。最后我们还要感谢曾经对我们的教学改革、教材编写提出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。

由于编者水平有限和现代实验技术的迅速发展,本文存在不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作者

2017年10月

于上海工程技术大学

Contents 目录

绪论	1
----------	---

实验基础理论

第一章 测量与误差	6
§ 1-1 测量及其分类	6
§ 1-2 测量值的有效数字及其运算规则	8
§ 1-3 误差公理及误差分类	12
§ 1-4 关于系统误差的处理原则	13
§ 1-5 测量不确定度和测量结果的表示	17
§ 1-6 数据处理的基本方法	24
§ 1-7 测量结果的评定与一致性讨论	30
习 题	31
第二章 实验的类型	36
§ 2-1 应用性实验	36
§ 2-2 验证性实验	38
§ 2-3 探索性实验	42
第三章 科学实验的过程	48
§ 3-1 实验课题的准备	48
§ 3-2 实验课题的实施	51
§ 3-3 实验课题的总结	54
§ 3-4 科学实验的一般过程	56

基础与综合实验

实验一 基本物理量的测量仪器	60
实验二 电阻的伏安特性曲线	68
实验三 液体中黏滞现象的研究	71



实验四	用示波器观测交流信号的波形、电压和频率	73
实验五	分光仪的调整	79
实验六	三棱镜顶角的测量	83
实验七	转动惯量的测定	86
实验八	扭摆法验证转动惯量的平行轴定理	92
实验九	弹簧振子的简谐振动	96
实验十	弹性模量的测定	99
实验十一	利用光杠杆法测量固体线膨胀系数	104
实验十二	惠斯登电桥测电阻	107
实验十三	电位差计及其应用	111
实验十四	静电场描绘	115
实验十五	交流电路中电压与电流相位关系的研究	118
实验十六	声速的测定	121
实验十七	霍尔元件测磁场	126
实验十八	凸透镜焦距的测量	130
实验十九	牛顿环干涉法测量球面透镜的曲率半径	135
实验二十	衍射光栅	139

设计性实验简介(力学)

力学一	耦合摆的研究	146
力学二	受迫振动	146
力学三	多普勒效应综合实验	146
力学四	利用旋转液体测定重力加速度	147
力学五	空气密度与气体普适常数的测定	147

设计性实验简介(热学)

热学一	稳态法测量不良导体的导热系数	150
热学二	液体比汽化热的测量	150
热学三	热效应实验	151
热学四	固体线胀系数测定	151
热学五	空气比热容比 C_p/C_v 的测定	152
热学六	高温水蒸气压的测量	152

设计性实验简介(电学)

电学一	RC 串联电路的稳态过程	154
电学二	RC 串联电路的暂态过程	154
电学三	RLC 串联电路暂态过程的研究	154
电学四	方波电信号的傅里叶分解	155



电学五	半导体 PN 结的物理特性及弱电流的测量	155
电学六	灵敏电流计的研究	156
电学七	欧姆表的设计和组装	156
电学八	电子衍射	157
电学九	蔡氏非线性电路的混沌研究	157
电学十	温差电现象的研究	158
电学十一	电子束的电偏转研究	158
电学十二	电阻温度传感器特性测量	158

设计性实验简介(磁学)

磁学一	C 型电磁铁气隙中磁场的研究	162
磁学二	亥姆霍兹线圈测磁场	162
磁学三	观测变压器矽钢片的动态磁滞回线	162
磁学四	弯曲法测弹性模量及霍尔位置传感器的定标	163
磁学五	巨磁阻效应	163
磁学六	磁阻效应	164
磁学七	居里温度	164
磁学八	电子顺磁共振	165
磁学九	脉冲核磁共振	165
磁学十	塞曼效应	165

设计性实验简介(传感器)

传感器一	热辐射的研究	168
传感器二	电脑控制弦音计	168
传感器三	地球磁场的测定	169
传感器四	传感器光学综合实验	169
传感器五	传感器力学综合实验	170
传感器六	桥梁振动实验	170
传感器七	万有引力常量的测量	171

设计性实验简介(光学)

光学一	用临界角法测量棱镜的折射率	174
光学二	用双光束干涉法测定钠光的波长	174
光学三	迈克尔逊干涉仪	174
光学四	利用布儒斯特定律测量玻璃折射率	175
光学五	光电效应	175
光学六	可见光区的氢原子光谱	176
光学七	用旋光仪测旋光性溶液的旋光率和浓度	176



光学八 棱镜色散关系的研究·····	177
光学九 激光干涉测量平板玻璃的楔角·····	177
光学十 电光效应·····	178
光学十一 超声光栅测量声速·····	178

设计性实验简介(近代光学)

近代光学一 侧向光伏效应的研究·····	180
近代光学二 双极性电阻效应的研究·····	180
近代光学三 空气折射率随气压变化关系研究·····	180
近代光学四 扫描隧道显微镜测量光栅常数·····	181
近代光学五 光波导薄膜厚度和折射率的测量·····	181
近代光学六 光敏电阻/光电池/光电二极管特性参数的测量·····	182
近代光学七 YAG 激光器输出特性测试·····	182
近代光学八 透镜/望远镜/显微镜综合实验·····	182

附录一 中华人民共和国法定计量单位·····	184
附录二 国际计量局《实验不确定度的规定:建议书 INC—1(1980)》·····	187
附录三 不确定度的简化处理方法·····	189
附录四 测量数据中异常值的检验·····	192
附录五 数据处理规则要点·····	193
附录六 常用实验仪器介绍·····	195
附录七 实验中常用仪器的误差限—— Δ 值·····	224
附录八 常用的物理数据·····	226

绪 论

在物理学发展的历史上,16世纪意大利物理学家伽利略是第一个把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,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、方法和技能为基础,阐述近代科学技术实验中的一般方法特点,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。

实验之所以能有如此重要的地位和作用,是因为它与对自然现象的直接观察和生产过程的直接经验相比,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或综合的研究;第三,它可以对现象和过程进行精确的定量测量,以揭示现象和过程的关系;第四,它可以进行重复实验,或改变条件进行实验,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。可以这样说,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开始于某个实验。

我国科学界一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。”此话值得每一位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,都应该将该实验的理论结论弄清楚。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验,是手脑并用的复杂劳动。

② 实验要采用恰当的方法和手段,以使所要观察的物理现象或过程能够实现,并达到符合一定的定量测量要求。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。包括仪器的选择、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、判断和排除等。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,实验验证理论成功与否,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判断。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。

总而言之,实验集理论、方法、技能和数据处理于一个整体,它不但要求实验者看懂实验内容与实验方法的原理,而且还要实验者根据这些原理付之实现,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、物理实验的基本程序

基于实验的特点,在做任何一个实验时,必须把握好下列三个重要环节:

1. 实验的准备

实验的准备重点要解决以下三个问题。

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原理;必须明白研究对象的含义,弄清它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,并有可行的方法对其进行测量。

第三,实验该如何做?在熟悉了实验理论和方法后,必须设想如何去做试验。这包括仪器装置的安置图(如电路图、光路图等)及安装、调整的要求、哪些是直接测量量、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。

综上三点,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获的大小,所以实验前要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一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正常,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,则为时已晚了。

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

3. 实验报告

实验报告是实验成果的文字报道,所以应该做到字迹清楚、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,这样才算得上是一份成功的报告。实验报告的内容一般应包括:

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。换句话说,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)。原理应该按自己的理解去写,不要一味地抄袭;原理必须写到实验目的能够实现为止。

④ 实验步骤(各直接测量的测量方法)。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,而应是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)。在计算处理之后,必须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。在书写这部分内容时,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。

实验基础理论

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做出评价,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,就是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式(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。而要得到这种量化的认识,测量就是必不可少的。可以这么说,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,被测对象是该单位的 k' 倍,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 日开始不允许使用非法定的计量单位。

二、测量的分类

测量可以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。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。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**。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,以获得该物理量的实验结果。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要的实验结果。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 $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ 的关系式,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,这种测量称为单一物理量的测量,重力加速度 g 则可通过将 l 和 T 的测量结果代入上述关系式计算得到。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,但与之相应的数据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:

$$\delta = x - x_0 \quad (\text{误差} = \text{测量值} - \text{真值})$$

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极限,但又不能超过这个分辨极限,该分辨极限就称为**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。下面举几个形象化的例子加以说明应该怎样进行测量读数。

【例 1-1】 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,由于刻度线较密,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值的 $1/2$,即读数误差定为 0.5 mm,笔长的测量值为 37.0 mm。

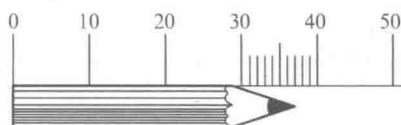


图 1-1 用米尺测量铅笔的长度

【例 1-2】 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 $1/10$,即读数误差为 0.1 V,读得测量值为 7.3 V。

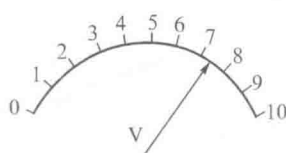


图 1-2 电压表测量电压

【例 1-3】 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。

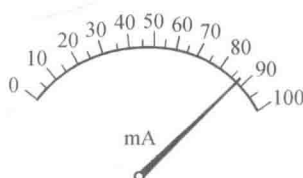


图 1-3 电流表测量电流

由上面各例可总结出测量读数的规则如下: