



全国普通高等教育“十二五”重点建设规划教材
普通高等学校少数民族预科教育系列教材

基础物理实验

JICHU WULI SHIYAN

■ 主编 ○ 樊爱琼 陆文捷



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

全国普通高等教育“十二五”重点建设规划教材
普通高等学校少数民族预科教育系列教材

基础物理实验

主 编 樊爱琼 陆文捷
副主编 黎 旦 陆映红 潘洪媚



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

基础物理实验 / 樊爱琼, 陆文捷主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2015. 8

ISBN 978-7-5682-1084-3

I. ①基… II. ①樊… ②陆… III. ①物理学-实验-高等学校-教材 IV. ①O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 195134 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 9.75

字 数 / 226 千字

版 次 / 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 23.50 元

责任编辑 / 张慧峰

文案编辑 / 张慧峰

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

广西民族大学预科教育学院

预科教材编审指导委员会

主任委员 林志杰

委 员 (按姓氏笔画为序)

吴胜富 杨社平 周国平 唐德海

容学德 黄永彪 覃炳荣 樊爱琼

樊常宝

序 言

普通高校少数民族预科教育是指对参加高考统一招生考试、适当降分录取的各少数民族学生实施的适应性教育，是为少数民族地区培养急需的各类人才而在高校设立的向本科教育过渡的特殊教育阶段；它是为加快民族高等教育的改革与发展，使之适应少数民族地区经济社会发展需要而采取的特殊有效的措施，是中国特色社会主义高等教育体系的重要组成部分，是高等教育的特殊层次，也是我国民族高等教育的鲜明特色之一，其对加强民族团结、维护祖国统一、促进各民族的共同团结奋斗和共同繁荣发展具有重大的战略意义。

为了贯彻落实“为少数民族地区服务，为少数民族服务”的民族预科办学宗旨，建设好广西少数民族预科教育基地，适应普通高等学校少数民族预科教学的需要，近年来，广西民族大学预科教育学院在实施教学质量工程以及不断深化教育教学改革中，结合少数民族学生的实际情况，组织在民族预科教育教学一线的教师编写了《思想政治教育》《阅读与鉴赏教程》《写作实训教程》《微积分基础》《英语写作口语教程》《计算机基础》《计算机基础实验教程》《基础物理》《基础物理实验》《普通化学》《八桂乡情》等十多种教材，形成了颇具广西地方特色的适用的少数民族预科教材体系。广西少数民族预科系列教材的编写和出版，成为我国少数民族预科教材建设中的一朵奇葩。

本套教材以国家教育部制定的各科课程教学大纲为依据，以民族预科阶段的教学任务为中心内容，以少数民族预科学生的认知水平及心理特征为着眼点，在编写中力求思想性、科学性、前瞻性、适用性相统一，尽量做到内涵厚实、重点突出、难易适度、操作性强，真正适合民族预科学生使用，使他们在高中阶段各科教学内容学习的基础上，通过一年预科阶段的学习，对应掌握的学科知识能进行全面的查漏补缺，进一步巩固基础知识，培养基本能力，从而达到预科阶段的教学目标，实现预与补的有机结合，为学生一年之后直升进入大学本科学习专业知识打下扎实的基础。

百年大计，教育为本；富民强国，教育先行。教育是民族振兴、社会进步的基石，是提高国民素质，促进人的全面发展的根本途径，寄托着千百万家庭对美好生活的期盼；而少数民族预科作为我国普通高等教育的一个特殊层次，是少数民族青年学子由以进入大学深造的“金色桥梁”，承载着培养少数民族干部和技术骨干、为民族地区经济社会发展提供人才保证的重任。我们祈望，本套教材在促进少数民族预科教育教学中能发挥其应有的作用，在少数民族高等教育这个百花园里绽放出异彩！

是为序。

林志杰

2015年8月

前言

为了使大学预科生在预科阶段学习期间能更好地完成复习、巩固提高中学所学的物理知识的任务，并培养他们实验动手和分析能力，使他们升入大学后能较好地适应大学的学习，我们在适应现代技术发展和普通物理实验需要的形势下，根据高等学校预科物理实验教学大纲的要求，重新对《基础物理实验》教材进行了编写。

本教材在编写过程中，既考虑到我国现行普通高中物理实验教学现状，又考虑到高等学校预科物理实验教学的特殊要求，结合编写组成员多年来的教学实践经验编写而成。

本教材分为：实验目的和要求、实验基本知识、基础实验、设计实验与阅读材料等。

实验基本知识部分，介绍了误差基本知识，即基本实验数据计算结果的相对误差、误差原因分析和减少误差的途径，有效数字基本知识，实验数据的正确记录及处理方法等，使学生掌握基本的实验知识，能顺利完成实验，为学习大学实验课打好基础。

基础实验部分选编 20 个实验，其内容除结合课程的重点外，还考虑到将来常用的基本量具及仪器。通过对数据的记录、处理、分析，对有效数字、实验误差有具体的了解，知道减少不同误差的方法等。

设计实验部分有 10 个实验，通过设计性实验让学生运用已掌握的实验知识和技能，对科学实验的全过程有所了解，使其在科学实验方法的思考、模型的建立、实验仪器设备和参数的选择和配合、测量条件的确定等方面得到初步的训练，以开发学生实践能力和分析问题解决问题的能力，使学生通过一年的预科物理实验学习，在把基础性物理实验做好的同时，又能独立设计完成不同层次的设计性物理实验，培养学生知识迁移能力、实践创新能力和实验设计能力。

阅读材料部分，介绍一些比较前沿的新科技应用等知识，以提高学生学习兴趣，开阔学生眼界，培养学生创新精神。

本教材可作为高等院校预科理科班、工科班、医科班的物理实验教材，也可作为其他高等工科院校、职业院校和成人教育等学生的学习参考书，还可作为中专、中学物理教师的教学参考书。

本教材由樊爱琼编写实验八、九和第 4 章设计性实验（实验二十一至实验三十）及阅读材料 7、8，陆文捷编写实验一、二、三、四、五、十一、十二、十四、十五、十六，黎旦编写实验十三、十七、十八、十九和阅读材料 5、6，陆映红编写实验六、七、十和阅读材料 3、4，潘洪媚编写第 1 章绪论、第 2 章物理实验基本知识、实验二十和阅读材料 1、2。樊爱琼和陆文捷负责统稿。

本书在编写过程中得到唐甲璋副教授的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。
因水平有限，书中难免有错漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者
2015 年 8 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 物理实验的地位和作用	1
1.2 物理实验的目的和任务	2
1.3 能力培养基本要求	2
1.4 教学内容	2
1.5 物理实验课的主要教学环节	3
1.6 学生实验规则	5
第 2 章 物理实验基本知识	6
2.1 测量与误差	6
2.2 有效数字	8
2.3 数据处理的基本方法	10
第 3 章 基础实验	12
实验一 游标卡尺、千分尺的使用	12
实验二 密度的测定	17
实验三 气垫导轨的使用	22
实验四 验证机械能守恒定律	25
实验五 验证动量守恒定律	27
实验六 测定弹簧振子的振动周期	31
实验七 研究有固定转动轴的物体的平衡条件	33
实验八 单摆法测重力加速度	35
实验九 研究物体的平衡条件	38
实验十 验证匀速圆周运动的投影是简谐振动	41
实验十一 万用电表的使用	43
实验十二 伏安法测电阻	47
实验十三 电桥法测电阻	51
实验十四 伏安法测电池内阻和电动势 研究电源的输出功率	54
实验十五 示波器的使用	57
实验十六 用示波器观察交流电的整流和滤波	61
实验十七 电容量的测量	64
实验十八 验证库仑定律	66
实验十九 研究直线电流磁场中的磁感应强度	69
实验二十 用万用电表判别晶体三极管并估测 β 值	73

第 4 章 设计性实验	77
4.1 设计性实验的性质和教学目的	77
4.2 设计性实验的程序	78
4.3 设计性实验的实验报告	78
实验二十一 测定木头之间的滑动摩擦系数	79
实验二十二 测定碰撞系数	79
实验二十三 测定直流微安表的内阻	80
实验二十四 测定未知电源的电动势	80
实验二十五 测定弹簧的倔强系数	80
实验二十六 基尔霍夫定律和电位的研究	81
实验二十七 测定未知电阻的阻值	82
实验二十八 把直流微安表改装成欧姆表	82
实验二十九 研究电磁感应现象	83
实验三十 验证交流串联电路 $U_{\text{总}} \neq U_R + U_L + U_C$	83
阅读材料	84
阅读材料 1 “核物理女王”——美籍华裔核物理学家吴健雄	84
阅读材料 2 LED 技术与应用	89
阅读材料 3 光纤通信概述	92
阅读材料 4 高速铁路与中国高铁	95
阅读材料 5 3D 打印机的基本原理和应用简介	98
阅读材料 6 暗物质及其观测简介	100
阅读材料 7 天体物理学研究前沿	102
阅读材料 8 太阳能(光伏)电池	105
附录	108
附录一 电子数显卡尺使用方法	108
附录二 QJ23 型直流电阻电桥使用说明	109
附录三 JKQJ23 型数显直流单臂电桥使用说明	113
附录四 CA9000D 双踪示波器使用说明	115
附录五 DS1052E 型数字示波器使用说明	127
附录六 数字万用电表 UT51~55 系列使用说明	133
附录七 中华人民共和国法定计量单位	136
附录八 物理学常用数表	139
参考文献	142

第 1 章

绪 论

物理学是自然科学中的一门基础学科，它研究的是自然界物质运动的基本规律。物理学是现代技术革命的先导，它的基本概念和基本定律是自然科学很多领域和工程技术的基础，它的理论被广泛应用于人类生产、生活的各个领域当中。由于物理学知识构成了物质世界的完整图像，因此，物理学也是科学的世界观和方法论赖以建立的基础。

物理学实质上也是一门实验科学，其形成和发展都是以实验为基础的。在物理学的发展史中，不论是物理概念的建立，还是物理规律的发现，都烙下了物理实验的印记。不论是以伽利略、牛顿、麦克斯韦等人的理论为代表的经典物理学的形成，还是以普朗克、爱因斯坦等人的理论为代表的近代物理学的形成，都证明了物理实验是物理学的发展动力。正是物理实验和物理理论的相互促进、相互制约，才有了物理学的快速发展。因此，物理实验和物理理论可谓相辅相成、相得益彰。

1.1 物理实验的地位和作用

大学物理实验课是针对高等学校理工科类专业学生开设的一门基础必修课，是本科生进行科学实验基本训练、接受系统实验方法和实验技能训练的开端。通过物理实验课，学生可以获得基本的实验知识、实验方法和实验技能的训练；学会观察丰富多彩的物理现象，发现问题和解决问题；学会将物理理论与实际事物相联系，加深对物理理论的理解，同时提高分析和解决实际问题的能力。同时，物理实验还可以培养学生严谨的科学思维 and 创新能力，在科学技术发展日新月异的当今，这些能力的培养显得十分迫切。

大学预科物理实验主要针对大学理工科预科学生开设。大学预科学生直升本科后所分流的专业几乎覆盖到理、工、农、医的所有专业，这些专业均有开设物理实验课程的要求，因此，大学预科物理实验多年来一直被列为理工类预科生的基础课程之一。

虽然按照教学大纲要求，从初中开始就应该开设物理实验课，但由于受师资条件、场地设施、经费设备等诸多条件的限制，物理实验在各地各中学中开设的情况并不一致。尤其在许多边远地区，由于缺乏开课条件，许多学生没有亲自动手实验的机会和经历，为应付中考和高考，学生只能是背实验过程和实验结果。大学预科物理实验课程的开设，正是为广大预科学生，尤其是来自边远地区的预科学生，补上了亲历实验的一课。

1.2 物理实验的目的和任务

根据教育部物理基础课程教学指导分委员会在 2010 年版《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》中规定,大学物理实验课程的具体任务是:

(1) 培养学生的基本科学实验技能,提高学生的科学实验基本素质,使学生初步掌握实验科学的思想和方法。培养学生的科学思维和创新意识,使学生掌握实验研究的基本方法,提高学生的分析能力和创新能力。

(2) 提高学生的科学素养,培养学生理论联系实际和实事求是的科学作风,认真严谨的科学态度,积极主动的探索精神,遵守纪律,团结协作,爱护公共财产的优良品德。

大学预科物理实验课作为大学物理实验课程的先导课,其教学目的和任务与大学物理实验课的目的和任务是一致的,通过实验课,着重培养学生的观察能力、操作能力、综合分析能力和数据处理能力,以及培养学生的细心、耐心、专心和用心等基本素养。

1.3 能力培养基本要求

(1) 独立实验的能力——能够通过阅读实验教材、查询有关资料和思考问题,掌握实验原理及方法、做好实验前的准备;正确使用仪器及辅助设备、独立完成实验内容、撰写合格的实验报告;培养学生独立实验的能力,逐步形成自主实验的基本能力。

(2) 分析与研究的能力——能够融合实验原理、设计思想、实验方法及相关的理论知识对实验结果进行分析、判断、归纳与综合。掌握通过实验进行物理现象和物理规律研究的基本方法,具有初步的分析与研究能力。

(3) 理论联系实际的能力——能够在实验中发现、分析问题并学习解决问题的科学方法,逐步提高学生综合运用所学知识和技能解决实际问题的能力。

(4) 创新能力——能够完成符合规范要求的设计性、综合性内容的实验,进行初步的具有研究性或创意性内容的实验,激发学生的学习主动性,逐步培养学生的创新能力。

1.4 教学内容

大学预科通常是一年学制,受学习时间和学生已有知识的限制,本课程中实验项目设置仅涉及力学和电学的部分内容,具体的教学内容如下:

(1) 基本物理量的测量方法。例如:长度、质量、时间、温度、速度、加速度、密度、电流、电压、电阻、电容等常用物理量的测量。

(2) 实验室常用仪器的正确使用。例如:游标卡尺、千分尺、物理天平、气垫导轨、电脑计时器、万用电表、电压表、电流表、电桥、变阻器、单双踪示波器、常用电源等常用仪器的正确使用。

(3) 正确记录和处理实验数据。例如:误差的基本知识,包括误差的来源及修正方法。处理实验数据的一些常用方法,包括列表法、作图法、最小二乘法以及应用计算机通用软件处理实验数据的基本方法。

(4) 常用的实验操作技术。例如：零位调整、水平/铅直调整、根据给定的电路图正确接线、简单的电路故障检查与排除。

(5) 适当介绍物理实验史料和物理实验在现代科学技术中的应用知识，例如物理实验仪器更新换代与现代科学技术发展的关系。

(6) 撰写合格的实验报告。

1.5 物理实验课的主要教学环节

物理实验教学通常有三个主要环节：实验前的预习、实验操作和实验后的实验报告撰写。

(1) 实验前的预习。

课堂实验操作时间通常都是有限的，为了提高课堂效率，高质量地完成实验任务，实验前的预习必不可少。预习时，一是要阅读实验教材，了解实验内容和目的，实验原理和方法，所使用仪器的性能、操作要点及注意事项等。对实验内容和需要观测的数据做到心中有数，并预先了解数据的测量及处理方法。二是要预习实验的过程。如今，许多学校都开发有虚拟实验平台，学生可以通过网络在虚拟实验平台上进行模拟实验或观看实验视频，了解实验步骤。三是写好预习实验报告。预习报告内容包括实验名称、目的、原理、使用仪器及实验内容等，以及针对实验中要测量的实验数据设计好合理的原始数据记录表格。对一些设计性的实验，还要写出自拟的实验方案，列出要用到的仪器或设备的要求，并画出设计的原理图、实验装置示意图或线路图。

预习报告应包括如下内容：

① 实验名称。表示要做什么实验。

② 实验目的。说明为什么要做这个实验，在实验中要解决的中心问题。

③ 实验仪器。列出所需的仪器名称、型号规格和量程等。

④ 实验原理。简要叙述本实验所依据的原理公式，实验中将要测量的物理量，拟用的测量计划和实验步骤。电学实验还要画出电路图，光学实验要画出光路图，设计性实验要画出原理图或装置示意图。

⑤ 数据表格。根据实验内容，明确待测物理量，设计并画出原始数据记录表格。

⑥ 回答预习思考题。

(2) 实验操作。

实验操作是整个实验的中心环节，是实验的实践环节。学生在实验时必须严格遵守实验室的各种规章制度，正式操作之前，一定要仔细阅读有关仪器使用的注意事项或仪器说明书，在教师的指导下合理布置和正确使用仪器，确保安全操作，同时注意爱护仪器，稳拿妥放，防止损坏。仔细观察和记录实验现象，学会分析实验现象，当出现未预计的现象时要冷静分析和处理，找到问题所在。当仪器装置出现故障时，学生应在教师的指导下学习排除故障的方法，并力求自己解决。实验操作过程实质上就是实验能力和素养的培养过程。

做好实验记录是科学实验的一项基本功。原始数据是得出实验结论的基础，要严肃地对待原始数据记录。在观察测量时，要做到正确读数，实事求是地记录客观现象和数据，填写在预习报告或课前准备好的记录表格中，记录时要注意单位、有效数字以及环境条件，同时

记下实验所用的仪器装置的名称、型号、规格、编号和性能等,以便以后在需要时可以用来重复测量和利用仪器的准确度校核实验结果的误差。切勿将实验数据随意记录在草稿纸上,或是不按顺序和规律记录数据,不可事后“追忆”数据,更不可为拼凑数据而随心所欲地篡改实验数据。不允许用铅笔记录实验数据,在记录数据时如果是记错了,可以在错误的记录上画一条线,或打一个“×”,在旁边写上正确值,不要将错误记录涂掉,这样可以使正误数据都能清晰可辨,以供在分析测量结果和误差时参考。保留“错误”的数据,是因为“错误”数据有时经过比较后竟是对的。如果对测量数据有疑问,可以重新实验测量,并对原来的数据标上特殊符号以备查考。原始数据突出的是“原始”两个字,因此,不要随意先在一些纸张上草记数据,再誊写到数据表格中,这样容易出现错漏,也不再是“原始记录”了。

如果是两人或多人共同完成实验,既要分工又要协作,要各自记录实验数据,共同完成实验任务,并在原始数据记录上写上同组者的姓名。

实验结束后,要将实验数据交给指导老师审阅签字,对不合理或错误的实验结果,经分析后要补做或重做。在离开实验室前要自觉整理好仪器设备,做好清洁工作,关好水电门窗等。

(3) 实验后的实验报告撰写。

实验报告是实验工作的全面总结,也是交流实验经验、推广实验成果的媒介。撰写实验报告的目的,是为了培养和训练学生以书面形式总结工作或报告科学成果的能力,是培养实验能力的一部分。实验报告要求比预习报告更详细、规范和严谨。它要求实验者要按照一定的步骤和程序来展开,把自己的整个实验过程进行汇报。学生要用自己的语言简明扼要地描述实验目的、实验原理、实验内容及步骤,记录在实验过程中观测到的现象和数据,并按约定的方法对数据进行处理,根据误差理论或实验精度要求对实验结果进行分析讨论,总结实验中的得失点及需改进点,最后还要对课后设置的一些思考题进行讨论,使实验学习得以深化。

实验报告应遵循简洁、准确、实事求是的原则,要求文理通顺,字迹清楚,图表正确规范,数据齐全,结论明确,分析讨论认真,切忌通篇照抄书本。一份合格的实验报告,不仅能让实验者汇报了自己的实验情况,还应能够让批阅报告的老师或同行看得明白实验者的思路和见解。实验报告一般应写在专用的实验报告纸上,并按要求在规定的时间内独立完成。

实验报告通常包括以下内容:

① 实验名称。表示要做什么实验。

② 实验目的。说明为什么要做这个实验,在实验中要解决的中心问题。

③ 实验仪器。列出实际使用的仪器名称、型号规格和量程等。

④ 实验原理。用自己的语言简明扼要地描述实验依据,即测量和计算所依据的主要原理公式及其推导过程,并注明公式中各量的物理含义及单位,公式成立应满足的实验条件等,画出有关的图(原理图、装置图、电路图或光路图等)。

⑤ 实验内容和步骤。简单概括且条理分明地写明实验主要内容和关键步骤。

⑥ 实验数据表格与数据处理。将原始数据转记到实验报告纸上(附上原始记录),并尽可能用表格的形式列出,正确表示有效数字和单位,写出数据处理的主要过程,绘制相应的图线,并求出实验误差或结果的不确定度。数据计算要按照有效数字的运算法则进行。

⑦ 实验结果和讨论。完整清晰地表示实验结果,并对结果进行讨论。实验结果除了测

量结果,还应包括误差分析或不确定度的评定,产生误差的原因及实验方案改进,也包括对实验中观察到的现象分析与解释、对实验中有关问题的思考与讨论,甚至是对本实验的体会或是对教师、教材、教法的看法和建议等。

⑧ 回答课后习题。

以上是实验报告的基本格式,在实际书写时,有时会将几项合并。例如,有些实验有多项实验内容,在描述每项实验内容和步骤后,通常紧接着书写该项内容的数据表格、数据处理过程和结果,有时甚至只用一个表格就足以将测量数据、数据处理过程和结果完整表达。

1.6 学生实验规则

(1) 实验前认真预习,做到心中有数。实验时带上预习报告,经老师检查同意后方可进行实验。

(2) 遵守实验操作规则,按照实验项目要求做好操作前的各项准备工作,经指导教师检查许可后,方可接通电源或启动仪器设备。爱护仪器,在不了解仪器操作方法之前不要擅自搬弄仪器或启动仪器。

(3) 实验中要细心操作,仔细观察,认真正确地记录实验现象或测量结果,不能抄袭他人实验数据或结果,或是杜撰自编数据,不允许实验后追记数据。

(4) 遇到自己不能处理的问题,如仪器失灵、电源不通等,应主动停止实验,及时报告老师。

(5) 实验中,要注意人员及设备的安全,在使用易燃易爆或接触带电设备时,要严格操作,注意防护。未经教师允许不得擅自用其他设备,更不能自行拆卸所用仪器设备,如擅自运用仪器设备或违反操作规程造成仪器设备损坏,要按规定赔偿。

(6) 实验结束后,请指导老师检查并签阅实验记录数据,清点仪器设备、用品,并将仪器、场地整理复原,认真填写仪器使用记录册,清理桌面及地面卫生,经指导老师检查后方可离开实验室。

(7) 实验室内一切物品未经负责人批准,严禁携出室外,外借物品必须履行登记手续。

物理实验基本知识

物理实验的任务不仅是定性地观察各种物理现象,更重要的是对物理量进行定量地测量,找出各物理量之间的内在关系。由于受测量仪器、测量方法、测量条件及测量人员等诸多因素的影响,对一个物理量的测量不可能是无限精确的,即测量中的误差是不可避免的。怎样才能对测量结果做出准确的评定?这正是数据处理和误差分析要解决的问题,如果没有测量误差的基本知识,就不可能获得正确的测量值,不会处理数据或处理数据的方法不当,就得不到正确的实验结果。因此,误差理论和数据处理是物理实验测量的理论基础之一。

误差理论是一门独立的学科,它以数理统计和概率论为其数学基础,研究误差的性质、规律及误差的消除方法和途径。物理实验课中误差分析的主要目的是对实验结果做出评定,最大限度地减少实验误差,或指出减少误差的方向,提高测量结果的可信程度。对于低年级大学生,尤其是大学预科生而言,由于受数学知识的限制,这部分内容难度过大。为减少学生学习难度,本章从大学预科物理实验教学的角度出发,仅限于介绍误差分析的初步知识,有效数字及几种最常用的数据处理方法。

2.1 测量与误差

2.1.1 测量及其分类

物理实验中,为了对物理现象做定量描述,找出物理量之间的定量关系,必须进行物理量的测量。测量就是将待测量与被选作计量标准(即单位)的同类物理量进行比较,得出其与单位之间的倍数关系,倍数称为待测量的数值大小,计量标准称为单位。因此,一个待测量的测量值必须包括数值大小和单位。

根据测量方式,测量可以分为直接测量和间接测量。

直接测量是指从仪器或量具上可直接读出待测量大小的测量。例如用米尺测量长度,用温度计测量温度,用天平测量质量或用电压表测电压值等都属于直接测量。但有些物理量是无法用量具直接测量的,它需要先直接测量另外一些相关的量,然后通过一定的数学关系运算才能得到结果,这样的测量称为间接测量。例如要测小圆柱体的密度,应首先用米尺或游标卡尺直接测量它的直径 d 和高度 h ,用天平测量它的质量 m ,然后由公式 $\rho = 4m/(\pi d^2 h)$ 计算出柱体的密度。其中 d 、 h 和 m 是直接测量, ρ 则是间接测量。

一个物理量能否直接测量不是绝对的,随着科学技术的发展,测量仪器的改进,许多原

来只能间接测量的量,现在也可以直接测量了。比如,电能的测量本来是间接测量的,现在也可以用电度表来进行直接测量了。大多数物理量都是间接测量,但直接测量是一切测量的基础。

2.1.2 误差及其分类

1. 绝对误差与相对误差

在一定条件下,任何一个物理量的大小都是客观存在的,都有一个客观量值,称为真值。但由于受测量仪器、测量方法、测量环境条件及观测者技能水平等诸多因素的限制,使得测量值与待测量的真值不可能完全相同,两者之间总存在有一定的差距,这个差值称为测量误差。测量误差的大小反映了测量结果的准确程度。测量误差存在于一切测量之中,始终贯穿于整个测量过程中。测量误差可以用绝对误差表示,也可以用相对误差表示。

绝对误差=测量值-真值

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

如果用 x_0 表示真值, x 表示测量值, Δx 表示绝对误差, δ 表示相对误差,即

$$\Delta x = x - x_0$$

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\%$$

绝对误差是一个有量纲的数值,它的大小反映了测量值偏离真值的大小和方向,不能反映出测量的相对精度。相对误差则是一个无量纲量,通常用百分比来表示测量准确度高,低,相对误差比绝对误差更能反映测量结果的精确度。

2. 误差的分类

测量误差按其产生的原因和性质,一般可分为系统误差和随机误差两大类。

系统误差 在同一条件下,对同一物理量的多次等精度测量过程中,其误差的大小和符号总是保持不变或按照某一确定的规律变化,这类误差称为系统误差。系统误差的特征是它的确定性,其主要来源有以下几个方面:

(1) 仪器误差。由于仪器本身的缺陷或没有按照规定条件使用仪器而造成的误差。如仪器零点未校准,仪表刻度不匀,天平砝码不准或天平不等臂,米尺弯曲等。

(2) 理论和方法误差。由于测量所依据的理论和公式本身的近似性,或测量方法的局限性和测量条件不能满足理论公式所要求的条件而引起的误差。如实验中忽略了摩擦,散热,电表的内阻,电表的分压分流,称量轻物体的质量时忽略空气浮力的影响,用单摆测量重力加速度时摆角不够小等。

(3) 环境误差。由于环境影响和没有按规定的条件使用仪器产生的误差。如环境的压强、温度、湿度、光照、电磁场等因素与仪器要求的环境条件不一致。

(4) 个人误差。由于测量者本身生理或心理特点所产生的误差。如停表时,有人总是操之过急,计时短,有人则动作滞后,总是计时长;在使用刻度仪表时,有人则习惯偏向一方读数,使得读数始终偏大或偏小。

由于系统误差总是偏向一边,因此不能通过多次测量取平均值的方法来消除它。虽然产生系统误差的原因不同,但它的出现是有规律的,可以通过校准测量仪器、改进实验装置和

实验方案、对测量结果进行修正等方法加以消除或减小。如伏安法测电阻实验中的误差修正公式。

随机误差 随机误差有时也称偶然误差。随机误差是在极力消除或修正一切明显的系统误差之后，在同一条件下多次等精度测量同一物理量时，测量值对真值的偏离或大或小，时正时负，单次测量值依照随机规律无规则涨落变化。随机误差的特点是随机性和统计性，在单次测量时，误差的大小和方向都是不可知的，但当测量次数足够多时，这种误差服从一定的统计规律，最常见的有正态分布规律和均匀分布规律。根据随机误差服从的统计规律，可以对随机误差的大小和测量结果的可靠性做出合理的评价。

系统误差和随机误差是两种不同性质的误差，分别具有确定性规律和随机性规律。但这种区别不是绝对的，在许多情况下，两者混杂在一起，难以严格界定。

2.2 有效数字

1. 有效数字的概念

任何一个物理量，其测量结果总是有误差的，即测量结果是个近似值。那么，该测量值的位数应该如何取舍才能真实地表达物理量，这是由测量仪器的精确度来决定的。因此，一个物理量的测量值和数学上的一个数有着不同的意义。例如，若用最小分度值是 1 mm 的米尺去测量某物体的长度，测量结果是 5.6 mm，其中 5 是直接读出，是准确可靠的，而 6 则是从最小刻度之间估读，是带有误差的，叫作欠准数字，但这个数字不是无中生有，而是有根有据有意义的，正是这个欠准数字的存在，使得测量值更接近真实值，也更能反映客观实际。因此，测量值应当保留到这位欠准数字 6，如果欠准数字是 0，也不能舍去，测量结果应当且只能保留一位欠准数字。

我们把测量结果中几位可靠数字加上一位欠准数字组成的数字称为测量值的有效数字。

在表示测量结果时，必须采用正确的有效数字，不能多取，也不能少取，少取了会损害测量精度，多取了又夸大了测量的精度。

2. 有效数字的表示

(1) 用量具直接测量，一般读数应读到最小分度值的下一位。

(2) 游标类量具，只读到游标分度值。

(3) 数字式仪表及步进读数仪器（如电阻箱）不需要进行估读，仪器所显示的末位就是欠准数字。

(4) 在读取数据时，如果测量值恰好是整数，则必须补“0”，一直补到可疑位。如用最小刻度是 1 mm 的米尺去测量某物体的长度，测量结果恰好是 5 mm，应记为 5.0 mm。若用最小分度值是 0.02 mm 的游标卡尺去测量同一物体，读数也是整数，则记为是 5.00 mm，再改用千分尺去测量时读数仍是整数，则应记为 5.000 mm。

(5) 有效数字位数与小数点的位置无关。例如 $0.030\ 25\ \text{km}=30.25\ \text{m}=3\ 025\ \text{cm}$ 都是四位有效数字。在进行单位换算时，要避免把 3 025 cm 写成 30 250 mm，因为这样就无故增加了有效数字。为了避免在单位换算时无故增加有效数字，或是数字很大或很小且有效数位很少，可采用科学记数法表示。科学记数法通常是在小数点前保留一位整数，用 10^n 表示。如 1.23×10^2 或 1.234×10^{-5} 。