

☆ 山东省高等学校精品课程教材 ☆



# 物理实验教程

( 第3版 )

主编 原所佳

WULI SHIYAN  
JIAOCHENG



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

山东省高等学校

# 物理实验教程

(第3版)

主编 原所佳

国防工业出版社

·北京·

**图书在版编目(CIP)数据**

物理实验教程 / 原所佳主编. —3 版. —北京:  
国防工业出版社, 2011. 1

山东省高等学校精品课程教材

ISBN 978 - 7 - 118 - 07234 - 1

I. ①物… II. ①原… III. ①物理学 - 实验 - 高等  
学校 - 教材 IV. ①04 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 008704 号

※

**国防工业出版社** 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

\*

开本 710 × 960 1/16 印张 26 字数 469 千字

2011 年 1 月第 3 版第 1 次印刷 印数 1—6000 册 定价 37.50 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

## 编 委 会

主 编 原所佳

副 主 编 王 惠 孙振翠 王 青

参编人员 (按姓氏笔画排序)

王克彦 伊长虹 孙海波

吴世亮 梁 军 裴 娟

# 前 言

《物理实验教程》这本教材从 2001 年以讲义的形式面世开始,至今已有 10 年。其间,根据实验室学科建设和自身发展的需要,增删部分实验项目,更新部分仪器设备,不断修订与补充。在这 10 年中,承蒙广大师生的厚爱,校内外许多教师和学生通过不同方式,对本书提出了许多宝贵的意见和建议,编者在此表示衷心的感谢。

大学物理实验是高等学校理工等各专业必修的实验课程之一,是培养学生创新能力和实践能力、提高学生科学素质而打下坚实基础的重要的教学内容和环节。为了适应高等教育对基础物理实验教学的要求,参考当前国内外物理实验教材改革的动向,在保持第一版、第二版教材体系新颖、讲解细致、语言流畅等特点的基础上,第三版作了如下整合、修订和补充。

1. 教材建设与网络教学建设相结合。将原教材中的“开放实验选课方法”和“仿真物理实验”等内容从教材中转移至大学物理实验课程的教学网站上,这样做既满足教学需求又压缩了教材篇幅,以便于增加新的教学内容。

2. 实验内容前增加了实验概述。实验概述简要介绍了每个实验的意义,对部分近代物理实验(如弗兰克—赫兹实验等),介绍了与实验相关的应用背景、在物理学发展史中的作用、物理学家的生平等,以提高学生的学习兴趣 and 探索自然奥秘的积极性,开阔学生的眼界,改变传统实验教学单纯培养动手能力的观点,展示物理实验深厚的文化内涵和认知理念,构建物理实验文化的体系。

3. 修改和补充部分实验内容。实验数据处理理论以国家计量技术规范 JJF1059—1999《测量不确定度评定与表示》、JJF1001—1998《通用计量术语及定义》为标准来阐述不确定度的评定,并作了必要的简化,以突出不确定度的基本概念和基本评估方法,实验结果报告中不确定度的置信概率选取国家计量推荐的数值,使学校教育与社会生产实践要求一致;改编修订实验项目 20 个,力求做到语言简洁、图文并茂,方便教师备课和学生预习自学。

4. 增加一部分实验项目,整合部分实验项目。遵循“宽编窄用”的内容选取原则,增加了物理实验中的基本测量方法和物理实验的基本调整和操作技术,增加氢、氘原子光谱实验、音频信号光纤传输实验等综合物理实验项目,将原教材

中的牛顿环实验和劈尖法测量细丝直径实验整合成等厚干涉实验,偏振光的研究实验整合到光强分布的测量实验中。

5. 考虑到基础物理实验的独立性和面向低年级学生的特点,对于基础实验的编写力求将实验原理叙述清楚,计算公式推导完整,使学生在预习时掌握理论依据;实验内容也尽可能详尽,以加强对基本实验技能和基本实验方法的训练和指导。

6. 精简、更新常用物理实验数据表。精简常用数据表三十几个,仅保留实验教学中经常使用的物理实验数据表;更新基本物理常数表,该数据编译于 CODATA 和 NIST(美国)2006 年推荐值。

本版教材由原所佳主编,王惠、孙振翠、王青担任副主编。参加本书修订编写的人员及所承担的内容为:原所佳编写第一章,第二章,第三章实验一至实验十;王惠编写第三章实验十一至实验十六;孙振翠编写第四章实验十一至实验十三,附录一,附录二;王青编写第五章;王克彦编写第四章实验三至实验五;孙海波编写第三章实验十七至实验十九;伊长虹编写第四章实验一至实验二;吴世亮编写第四章实验六至实验七;梁军编写第四章实验八至实验十;裴娟编写第三章实验二十至实验二十二;原帅绘制第三章实验十三、实验十五、实验十七、实验二十一插图。全体编者一致认为,实验教学是一项集体工作,从实验内容的确定、实验项目的建设、实验讲义的编写,直到实验教学的完成,都是从事实验教学的教师和实验技术人员共同劳动的结果。借本书出版之际,对曾经参与本书编写的许振峰、李畅、尹妍妍、王伟等同志的贡献深致谢意,并铭记于心。

本书的出版,得到了山东省高等学校精品课程专项建设经费的资助,受到山东交通学院教务处和数理系领导刘建忠、高友宾、尹金生的鼓励和支持,并得到国防工业出版社孙严冰主任及各位编辑同志的鼎力相助。另外,还要特别感谢张芹对本书的宝贵建议,在此表示衷心的感谢!

本书在编写过程中,参考了国内大量的文献资料,也从网络上收集了部分相关资料和图片。对于后者,由于难于确定资料的原作者,在此向他们表示感谢,并请原作者与我们尽快联络。正是由于如此广泛丰富的参考内容,才能为我们的学生呈现出这样一本内容充实、生动的教材。在此,向所有对本书做出贡献的同仁,致以深切的谢意。

由于编者水平有限,时间紧迫,本书一定有不少疏漏和错误之处,热切希望读者批评指正。

编者

2010 年 12 月

于济南无影山

# 目 录

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 绪论 .....                         | 1   |
| 第一章 实验误差理论与数据处理 .....            | 7   |
| 第一节 测量与误差 .....                  | 7   |
| 第二节 随机误差的处理 .....                | 10  |
| 第三节 系统误差的处理 .....                | 18  |
| 第四节 测量不确定度的基本概念 .....            | 25  |
| 第五节 测量结果不确定度的评定 .....            | 31  |
| 第六节 有效数字及其运算规则 .....             | 44  |
| 第七节 数据处理方法 .....                 | 48  |
| 第八节 计算机处理物理实验数据软件及示例 .....       | 59  |
| 练习题 .....                        | 63  |
| 第二章 物理实验中的基本测量方法和常用测量仪器的使用 ..... | 65  |
| 第一节 物理实验中的基本测量方法 .....           | 65  |
| 第二节 物理实验的基本调整和操作技术 .....         | 72  |
| 第三节 力学、热学实验常用仪器 .....            | 76  |
| 第四节 电磁学实验常用仪器 .....              | 89  |
| 第五节 光学实验常用仪器及光源 .....            | 98  |
| 第三章 基础实验 .....                   | 106 |
| 实验一 杨氏模量的测定 .....                | 106 |
| 实验二 三线扭摆法测刚体的转动惯量 .....          | 112 |
| 实验三 毛细管法测定水的表面张力系数 .....         | 117 |
| 实验四 落球法测定液体的黏滞系数 .....           | 121 |
| 实验五 固体比热容的测量 .....               | 125 |
| I. 混合法测定金属的比热容 .....             | 125 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| II. 冷却比较法测固体比热容 .....         | 131        |
| 实验六 弦振动的研究 .....              | 136        |
| 实验七 稳态法测橡胶板的导热系数 .....        | 142        |
| 实验八 静电场的描绘 .....              | 148        |
| 实验九 示波器的原理与使用 .....           | 154        |
| 实验十 铁磁性材料磁滞回线的测量 .....        | 173        |
| 实验十一 惠斯登电桥 .....              | 178        |
| 实验十二 导体电阻率的测量 .....           | 185        |
| 实验十三 十一线板式电位差计 .....          | 193        |
| 实验十四 直流电表的改装与校准 .....         | 200        |
| 实验十五 霍耳效应实验 .....             | 208        |
| 实验十六 旋光仪测糖溶液的浓度 .....         | 216        |
| 实验十七 等厚干涉 .....               | 221        |
| 实验十八 迈克尔逊干涉仪的调节和使用 .....      | 228        |
| 实验十九 用迈克尔逊干涉仪测量空气的折射率 .....   | 239        |
| 实验二十 光强分布的测量 .....            | 242        |
| 实验二十一 分光计的调节和用光栅测定光波的波长 ..... | 249        |
| 实验二十二 折射率的测量 .....            | 262        |
| <b>第四章 近代物理综合实验 .....</b>     | <b>269</b> |
| 实验一 密立根油滴实验 .....             | 269        |
| 实验二 高温超导体电阻—温度特性的研究 .....     | 276        |
| 实验三 弗兰克—赫兹实验 .....            | 285        |
| 实验四 摄影技术 .....                | 290        |
| 实验五 动态法测量固体材料的杨氏模量 .....      | 296        |
| 实验六 超声声速的测量 .....             | 303        |
| 实验七 核磁共振 .....                | 309        |
| 实验八 全息照相 .....                | 319        |
| 实验九 光电效应及普朗克常数的测定 .....       | 326        |
| 实验十 太阳电池伏—安特性的测量 .....        | 334        |
| 实验十一 金属电子逸出功的测定 .....         | 340        |
| 实验十二 氢、氘原子光谱实验 .....          | 346        |
| 实验十三 音频信号光纤传输实验 .....         | 353        |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| <b>第五章 设计性实验</b>       | 360 |
| 概述                     | 360 |
| <b>测量型设计性实验</b>        | 362 |
| 实验一 单摆法测重力加速度          | 362 |
| 实验二 密度的测量              | 363 |
| 实验三 固体线胀系数的测量          | 364 |
| 实验四 弹簧有效质量的测量          | 364 |
| 实验五 温差系数的测量            | 365 |
| 实验六 劈尖法测量液体折射率         | 369 |
| 实验七 电容量的测量             | 370 |
| <b>研究型设计性实验</b>        | 370 |
| 实验八 气垫导轨上物体运动的研究       | 370 |
| 实验九 伏安特性曲线的测绘          | 374 |
| 实验十 小灯泡特性研究            | 374 |
| 实验十一 分压限流特性研究          | 375 |
| 实验十二 电源特性研究            | 375 |
| 实验十三 电桥测电阻的研究          | 375 |
| <b>制作型设计性实验</b>        | 376 |
| 实验十四 电子温度计的制作          | 376 |
| 实验十五 自组显微镜和望远镜         | 377 |
| 实验十六 制作简易万用表           | 378 |
| 实验十七 设计楼道开关            | 380 |
| 实验十八 直流稳压电源的制作         | 381 |
| <b>附录一 国际单位制(SI)简介</b> | 383 |
| <b>附录二 常用物理数据表</b>     | 388 |
| <b>参考文献</b>            | 405 |

# 绪 论

物理学是研究物质运动规律及物质基本结构的科学,其基本理论渗透在自然科学的各个领域,应用于生产技术的许多部门,是自然科学和工程技术的基础。作为人类追求真理、探索未知世界的工具,物理学是一种哲学观和方法论,它深刻影响着人类对自然的基本认识、人类的思维方式和社会生活,在人的科学素质培养中具有重要的地位。

## 一、物理实验课的地位和作用

物理学本质上是一门实验科学。无论是物理规律的发现,还是物理理论的建立,都必须以严格的物理实验为基础,并经受物理实验的检验。例如,杨氏双缝实验对于光的波动理论,光电效应实验对于光的粒子性,电子在晶体上的衍射实验对于德布罗意的微观粒子的波粒二像性,卢瑟福的 $\alpha$ 粒子散射实验对于原子的核式模型等,都无不生动地说明了这一点。

科学实验是人们按照一定的研究目的,借助特定的仪器设备,人为地、可控地模拟自然现象,对自然事物和自然现象进行精密、反复地观察和测试,以探索自然事物内部规律性的一种实践活动。这种对自然事物和自然现象有目的性、有组织性、可控制的探索活动是科学理论的源泉,也是工程技术的基础。

物理实验是科学实验的先驱。在物理学的发展过程中,人类积累了丰富的实验思想、实验方法和实验技能,创造出各种精密巧妙的仪器和设备,这些都是自然科学各学科的科学实验基础。原子能、半导体、激光、超导、空间技术、现代生命科学和技术等最新科技成果,其产生和发展都有赖于物理实验及其相关理论的建立。

大学物理实验是为高等院校理工科各专业学生设置的一门必修基础课程,是学生进入大学后,系统地接受实验方法和实验技能训练的开端。物理实验教学与物理理论教学具有同等重要的地位,二者既有深刻的内在联系和配合,又有各自独立的任务和作用。物理实验课强调实践和动手能力,对于初学者,这是一项非常细致和复杂的工作。物理实验课覆盖面广,具有丰富的实验思想、实验方法和实验手段,并且能提供综合性很强的基本实验技能训练,因此物理实验课是培养学生科学实验能力的重要基础。同时,物理实验课在培养学生严谨的治学

态度、创新意识和创新能力、理论联系实际和适应科技发展的综合应用能力等方面具有其他实践类课程不可替代的作用。

## 二、物理实验课的任务和基本要求

### 1. 物理实验课的任务

物理实验作为一门重要的基础课程,它包括以下几方面的任务。

(1) 培养与提高学生科学实验基本素质,树立正确的科学思想和科学方法。通过物理实验课的教学,使学生掌握物理实验的基本知识、基本方法和基本技能。掌握误差分析、数据处理的基本理论和方法,学会常用仪器的调整和使用,了解常用的实验方法,能够对常用物理量进行一般测量,具有初步的实验设计能力。

(2) 培养与提高学生创新思维、创新意识、创新能力。通过物理实验课的教学,引导学生深入观察实验现象,建立合理的模型,定量研究物理规律。能够运用物理学理论对实验现象进行初步的分析判断,逐步学会提出问题、分析问题和解决问题的方法,激发学生创造性思维。能够完成符合规范要求的设计性内容的实验,进行简单的具有研究性或创意性内容的实验。

(3) 培养与提高学生的科学素养。通过物理实验课的教学,培养学生理论联系实际和实事求是的科学作风,严谨认真的科学态度,不怕困难、积极主动的探索精神,以及遵守纪律、爱护公共财物、团结协作的良好品德。

### 2. 物理实验课教学内容的基本要求

(1) 掌握测量误差和不确定度的基本知识,能够用不确定度对直接测量和间接测量的实验结果进行评估。

(2) 掌握处理实验数据的常用方法,包括列表法、作图法、最小二乘法、逐差法等。

(3) 掌握一些基本物理量和常用物理量的测量方法,这些物理量包括长度、质量、时间、热量、温度、电流、电压、电阻、磁感应强度、电子电荷、普朗克常数、里德堡常数等。

(4) 了解常用的物理实验方法并逐步学会使用,这些实验方法包括比较法、转换法、放大法、模拟法、补偿法、干涉法等。

(5) 掌握实验室常用仪器的性能并能够正确使用,这些仪器包括长度测量仪器、计时仪器、测温仪器、变阻器、电表、直流电桥和交流电桥、通用示波器、低频信号发生器、分光计、光谱仪、激光器、常用电源和光源等。

(6) 掌握常用的实验操作技术,这些操作技术包括零位调整、水平调整和铅直调整、光路的共轴调整、消除视差调整、逐次逼近调整、根据给定的电路图正确

接线、简单的电路故障检查与排除等。

### 3. 物理实验课能力培养的基本要求

(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判断、归纳与分析。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的能力。

(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。能够根据物理理论与教师的要求建立合理模型并完成简单的设计性实验,初步形成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。能够完成具有设计性、综合性内容的实验,有条件的还可进行初步的具有研究性或创意性内容的实验。

## 三、物理实验课程的教学环节

物理实验是一门在教师指导下由学生独立完成的课程。要有效地学习、完成一个实验,必须把握以下4个环节。

### 1. 选择实验项目、实验时间

物理实验课程采用开放式教学方法。课前在教师指导下学生根据自己的学习时间、学习兴趣,选择自己要做的物理实验项目和实验时间(选课方法见“开放实验使用说明”)。

### 2. 课前预习

物理实验课的教学任务比较繁重,且课堂教学的时间有限,因此必须做好课前预习。课前预习包括阅读教材的有关内容及参考资料,弄清实验目的、实验原理,了解所用实验仪器的结构、使用方法,明确测量对象和方法,了解实验的主要步骤及注意事项等。在此基础上写好预习报告(预习报告要求见后面),列出必需的数据记录表格,以便对实验要做什么、怎样做有一个总体的认识。这样,在实验时才能有的放矢地听取指导教师讲解,积极主动地进行操作和测量,高质量地完成实验课的学习任务。

在预习报告中事先列出数据表格是很重要的,通常只有真正理解如何做实验才能画好表格。表格中要留有余地,以便估计不到的情况发生时能够记录。此外,还应根据实验内容准备好实验中所需的绘图工具、计算器等。

### 3. 实验操作

学生进入实验室上课,必须携带实验教材、预习报告、记录本、有照片的有效

证件等。经过教师检查预习报告,学生签字后方能开始实验。

实验课开始时,一般指导教师会简单介绍实验内容和仪器使用的注意事项,学生要结合自己的预习逐一领会,特别要注意实验中容易发生失误的地方。

动手进行实验操作前,首先要结合仪器实物,对照实验教材或仪器说明书熟悉仪器的结构和用法,再布置、安装(接线)和调试仪器。仪器的布置是否合理,直接影响到操作、读数是否方便,因此要对仪器装置进行调试(水平、垂直、正常的工作电压、光照等),使仪器装置达到最佳工作状态。调试必须细致、耐心、切忌急躁,并要合理选择仪器的量程。实验中应注意观察实验现象,出现问题应及时向指导教师报告。实验测量应遵循“先定性、后定量”的原则,即先定性观测实验全过程,确认整个实验装置工作正常,对所测内容做到心中有数,再定量测量实验数据。此外,电磁学实验中,连接线路完毕后,自己做一次检查,再请教师检查一次,确认正确无误后才能接通电源。

做好实验记录是科学实验的一项基本功。实验时应将所测数据及时记入数据记录表格,同时要注意数据的有效数字是否正确。若发现测量数据有错误,可用一横线将其划去,在旁边补上正确数据,不得随便涂改,要保留“错误”数据,供必要时分析、讨论。原始数据记录要交由指导教师审阅签字。

实验时要记录所用仪器的名称、规格、型号和主要技术参数,被测样品的编号,有关的室温、大气压等实验环境条件及实验中出现的故障情况和特殊现象等。

实验者应逐步学会根据实验原理和实验数据来分析实验情况是否正常,测量误差是否合理,测量结果是否正确。逐步学会判断和排除实验中出现的简单故障。不能满足于机械地按照教材上的实验步骤进行操作、测量数据,而应随时注意对实验进行分析、思考,真正做到既动手又动脑,不断提高进行科学实验的能力。

实验时,应严格遵守实验室的有关规章制度,以保护人身安全和仪器设备的安全。实验完成后,暂不要改变实验条件,将记录的数据请教师审阅签字,如发现错误数据时要重新进行测量。最后,应整理好仪器设备、恢复原状,关好水、电等,经教师批准方可离开实验室。

#### 4. 撰写实验报告

实验报告是实验者对实验工作的全面总结。要用简练的文字、必要的数字和适当的图表将实验过程和完整的实验结果真实地反映出来。因此,实验报告的字迹应清楚、文理通顺、数据要齐全、图表要规范。对于实验原理、实验步骤等内容,应在理解教材内容的基础上,用自己的语言扼要表述。

本课程将预习报告和实验报告合二为一,仍称为实验报告。实验前在预习

部分中写过的内容,在实验后的实验报告中不必再写,即实验报告的内容分为两部分,一部分在实验前完成,一部分在实验后完成。

(1) 实验前应完成的内容:

① 实验名称、实验者姓名和班级、学号、实验日期、时间代码等。

② 实验目的。

③ 实验仪器。列出所用主要实验仪器及材料的名称、规格和数量。

④ 实验原理。实验原理包括实验设计的思路、实验原理图(电学实验的电路图、光学实验的光路图等)以及实验所依据的主要公式(包括公式中各量的物理意义及适用条件)。实验原理应写得简明扼要。

⑤ 简要的实验步骤。总结重要的或关键的几条,以备实验时按步骤进行。

⑥ 实验注意事项。

⑦ 数据记录表格。仿照教材中的表格或按要求自行设计,以便实验时记录数据用。

(2) 实验后应完成的内容:

① 数据处理及实验结果。包括实验数据的记录、实验结果的计算、所要求的作图、实验误差的分析计算和实验结果的表达、评价等。

② 思考与讨论。包括实验结果的说明、对实验中出现问题讨论、回答思考题或讨论题以及实验的心得体会等。

实验报告统一用物理实验中心专门的实验报告纸书写。

#### 四、物理实验守则

为了保证实验正常进行以及培养严肃认真的工作作风和良好的实验工作习惯,特制定下列规则,望学生遵守执行。

(1) 学生应在开放实验选定时间内进行实验,不得无故缺席或迟到。若要更改实验时间,须在实验开始前撤消预约。

(2) 学生在每次实验前对选择要做的实验应进行预习,并在预习的基础上作预习报告。

(3) 进入实验室后,应将预习报告放在桌上由教师检查,并回答教师的提问,经过教师检查认为合格后,才可以进行实验。

(4) 做实验时,应携带必要的物品,如文具、计算器和草稿纸等。对于需要作图的实验应事先准备毫米方格纸和铅笔。

(5) 进入实验室后,根据仪器清单核对自己使用的仪器是否缺少或损坏。若发现有问題,应向教师或实验室管理员提出。未列入清单的仪器,另向管理员借用,实验完毕归还。

(6) 实验前应细心观察仪器构造,操作时动作应谨慎细心,严格遵守各种仪器仪表的操作规程及注意事项,尤其是电学实验,线路接好后,先经教师或实验室工作人员检查,经许可后才可接通电源,以免发生意外。

(7) 实验完毕应将实验数据及处理结果交给教师检查,实验合格者,教师予以签字通过。

(8) 实验时,应注意保持实验室整洁、安静。实验完毕,应将仪器、桌椅恢复原状,放置整齐。

(9) 如有仪器损坏,应及时报告教师或实验室工作人员,并填写损坏单,说明损坏原因,赔偿办法根据学校规定处理。

# 第一章 实验误差理论与数据处理

物理实验的任务,不仅仅是定性地观测物理现象,也需要对物理量进行定量测量,并找出各物理量之间的内在联系。

由于测量原理的局限性或近似性、测量方法的不完善、测量仪器的精度限制、测量环境的不理想以及测量者的实验技能等诸多因素的影响,所有测量都只能做到相对准确。随着科学技术的不断发展,人们的实验知识、手段、经验和技巧不断提高,测量误差被控制得越来越小,但是绝对不可能使误差降为零。因此,作为一个测量结果,不仅应该给出被测对象的量值和单位,而且还必须对量值的可靠性做出评价,一个没有误差评定的测量结果是没有价值的。

本章介绍测量与误差、误差处理、测量结果的不确定度评价、有效数字等基本知识,这些知识不仅在本课程的实验中要经常用到,而且也是今后从事科学实验工作所必须了解和掌握的。

## 第一节 测量与误差

### 一、测量与分类

所谓测量,就是借助一定的实验器具,通过一定的实验方法,直接或间接地把待测量与选作计量标准单位的同类物理量进行比较的全部操作。简而言之,测量是指为确定被测对象的量值而进行的一组操作。

按照测量值获得方法的不同,测量分为直接测量和间接测量两种。

(1) 直接测量。直接从仪器或量具上读出待测量的大小,称为直接测量。例如,用米尺测量物体的长度,用秒表测时间间隔,用天平测物体的质量等都是直接测量,相应的被测物理量称为直接测量量。

(2) 间接测量。如果待测量的量值是由若干个直接测量量经过一定的函数运算后才获得的,则称为间接测量。例如,先直接测出铜圆柱体的质量  $m$ 、直径  $D$  和高度  $h$ ,再根据公式  $\rho = \frac{4m}{\pi D^2 h}$  计算出铜的密度  $\rho$ ,这就是间接测量, $\rho$  称为间接测量量。

按照测量条件的不同,测量又可以分为等精度测量和不等精度测量。

(1) 等精度测量。在相同的测量条件下进行的一系列测量是等精度测量。例如,同一个人,使用同一个仪器,采用同样的方法,对同一待测量连续进行多次测量,此时应该认为每次测量的可靠程度都相同,故称之为等精度测量,这样的一组测量值称为一个测量列。

(2) 不等精度测量。在不同测量条件下进行的一系列测量,例如,不同的人员,使用不同的仪器,采用不同的方法进行测量,各次测量结果的可靠程度自然也不相同,这样的测量称为不等精度测量。处理不等精度测量的结果时,需要根据每个测量值的“权重”,进行“加权平均”,因此在一般物理实验中较少采用。

等精度测量的误差分析和数据处理比较容易,本教材所介绍的误差和数据处理知识都是针对等精度测量的。

## 二、误差与偏差

### 1. 真值与误差

任何一个物理量,在一定条件下,都具有确定的量值,这是客观存在的,这个客观存在的量值称为该物理量的真值。测量的目的就是力图得到被测量量的真值。我们把测量值与真值之差称为测量的绝对误差。设被测量量的真值为  $x_0$ , 测量值为  $x$ , 则绝对误差  $\delta$  为

$$\delta = x - x_0 \quad (1-1-1)$$

由于误差不可能避免,故真值往往是得不到的,所以绝对误差的概念只有理论上的价值。

### 2. 最佳值与偏差

在实际测量中,为了减少误差,常常对某一物理量  $x$  进行多次等精度测量,得到一系列测量值  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , 则测量结果的算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-1-2)$$

算术平均值并非真值,但它比任何一次测量值的可靠性都要高。系统误差忽略不计时的算术平均值可作为最佳值,称为近真值。测量值与算术平均值之差称为偏差(或残差):

$$v_i = x_i - \bar{x} \quad (1-1-3)$$

## 三、误差的分类

正常测量的误差,按产生的原因和性质可以分为系统误差和随机误差两类,