

普通高等学校“十二五”规划教材

基础物理实验

(第二版)

李平舟 武颖丽 吴兴林 主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

普通高等学校“十二五”规划教材

基础物理实验

(第二版)

李平舟 武颖丽 吴兴林 主编



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是根据“高等工科大学物理实验课程基本要求”，结合电子类院校的特点和作者多年教学实践经验编写而成的。编写时，修改了2007年出版的教材中的大部分内容，并结合教育部[2001]4号、[2005]1号、[2005]8号、[2010]52号和[2011]1号文件精神增加了一些新实验。本书详细介绍了物理实验的基本思想、基本方法和基本手段。全书分为绪论、基本概念与数据处理、基础实验和附录四部分，内容涉及实验方法、不确定度、数据处理等理论基础，以及关于力学、热学、光学、电学和近代物理学等方面的24个实验。

本书是西安电子科技大学物理实验“十二五”规划建设系列教材之一，可作为普通高等学校各专业物理实验教材，也可作为成人教育、电视大学、函授大学、职工大学等学校的物理实验教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

基础物理实验/李平舟，武颖丽，吴兴林主编. —2版.

—西安：西安电子科技大学出版社，2012.2

普通高等学校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2728-1

I. ①基… II. ①李… ②武… ③吴… 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(2012)第 000636 号

策 划 云立实

责任编辑 云立实 杨 柳

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2012年2月第2版 2012年2月第5次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 13.5

字 数 312千字

印 数 18 001~23 000册

定 价 24.00元

ISBN 978-7-5606-2728-1/O·0123

XDUP 3020002-5

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜，谨防盗版。

前 言

本书是按照“高等工科学学校物理实验课程基本要求”，结合电子类院校的特点，为培养重基础、宽口径、高素质、强能力的复合型人才，按照教育部教学示范中心建设要求，贯彻落实教育部[2001]4号、[2005]1号和[2005]8号、[2010]52号和[2011]1号文件精神，对2007年出版的教材进行修改后完成的。

物理实验是学生进入大学后系统学习基本实验知识、实验方法和实验技能的开端，是我国普通高等学校为了培育大学生科学素质、动手能力与开拓创新精神而开设的以实验为主要内容的首门课程。我校历来重视实践性教学环节，近年来，为了使物理实验教学达到国家示范标准，学校在资金紧缺的情况下，重点支持物理实验教学，培养教师，改善实验教学的软、硬件环境，全面建设物理实验中心。本书就是在各种条件具备的基础上编写的，其内容主要包括：绪论、基本概念与数据处理、基础实验和附录等。书中的内容基本都是学生未来从事科学研究时经常要用到的知识。

实验教学是一项集体事业，是实验教师集体智慧和辛勤劳动的结晶。编者仅对实验教师的成果作了书面整理和总结，其成果权归物理实验中心所有。

本书是我校物理实验“十二五”规划建设系列教材之一，主要由李平舟、武颖丽、吴兴林编写并修改完成，参与修改的教师还有乔俊绒、孙继超、朱立忠、代少玉、张昌民、张静涛、邹洼牢、武光玲、徐强、宋金茂、李德昌、李强、刘伟、胡荣旭、丁春颖、刘春波、马红玉、曹运华、朱婧晶等，在此对他们表示衷心的感谢。

实验教学的探索是永无止境的长期任务，书中的新方法、新观点难免有不妥之处，加之编写时间仓促，编者业务水平有限，疏漏之处难免，恳请同行及广大读者提出宝贵意见。

西安电子科技大学物理实验中心

2011年9月

第一版前言

本书是按照“高等工科学学校物理实验课程基本要求”，结合电子类院校的特点，为培养重基础、宽口径、高素质、强能力的复合型人才，按照教育部教学示范中心建设要求，贯彻落实教育部[2001]4号、[2005]1号和[2005]8号文件精神，对2001年出版的教材进行了大量修改后完成的。

物理实验是对学生进行科学实验、科学思想、改造世界基本技能训练的一门必修基础课，是大学生进入大学后实际技能训练的开端。在规范素质教育、培养工程应用型人才的今天，物理实验教学担负着重要任务。西安电子科技大学历来重视实践性教学环节，近年来，为了使物理实验教学达到国家示范标准，学校在资金紧缺的情况下，重点支持物理实验教学，培养教师，改善实验教学的软、硬件环境，全面建设物理实验中心。本书就是在各种条件具备的基础上编写的，其内容主要包括：绪论、不确定度理论基础、数据处理、有效数字、实验方法等。书中的内容基本都是学生未来从事科学研究时经常要用到的知识。

实验教学是一项集体的事业，是实验教师集体智慧和辛勤劳动的结晶。编者仅对实验教师的成果作了书面整理和总结，其成果权归物理实验中心所有。

本书是我校物理实验“十一五”规划建设系列教材之一，主要由李平舟、武颖丽、吴兴林编写完成。本书在编写过程中得到了物理实验中心全体教师、兄弟院校和仪器生产厂商的支持，在此表示衷心的感谢。

实验教学的探索是永无止境的长期任务，书中的新方法、新观点难免有不妥之处，加之由于编写时间仓促，编者业务水平有限，疏漏之处难免，恳请同行及广大读者提出宝贵意见。

西安电子科技大学物理实验中心

2006年11月

物理实验学生守则

一、要爱护实验室一切公物，保持实验室安静、整洁，遵守实验室纪律。

二、不迟到、不早退、不旷课。因病不能及时到课者，凭医院病假条与教师联系补做实验。

三、课前要认真预习，写出实验预习报告。课后要及时书写实验报告，并于做实验后一周内交指导教师批改。

四、实验前要仔细检查所用实验仪器是否齐全、完好，如果有缺损，要及时报告教师处理，不得随意挪用别组仪器。

五、做实验时要严格遵守所用仪器的操作规程和注意事项，不得擅自拆卸仪器，以防发生仪器损坏或人身事故。对违反操作规程而损坏仪器的学生，教师有权按学校有关规定处理。

六、做电学实验时，在按实验原理要求接好线路，自己检查确认无误后，须再请教师检查，经教师检查确认无误后，方可接通电源进行实验。

七、在做光学实验时，要按光学仪器或器件的操作要求进行实验。

八、学生做完实验后，要将实验记录的原始数据交教师审阅并签字。学生必须将仪器恢复到实验前的状态，并安放整齐，经教师同意后方可离开实验室。

九、实验结束后，值日生须打扫实验室卫生，清洁并整理实验仪器。

物理实验选课指南

物理实验教学实行全开放、分层次、网上预约选课的教学模式，学生根据自己所学专业特点在网上自主选择实验并完成。

物理实验为必修课，共计 54 学时，分为基础物理实验 27 学时(春季 24 选 9)，综合设计性物理实验 27 学时(秋季 24 选 9)。物理实验仅以平时操作成绩记分，成绩分为“优秀”、“通过”和“不通过”三个等级。

选课要求：

- (1) 仔细阅读网上选课通知，每学期至少选择并完成 9 个实验。
- (2) 每学期开学第一周网上选课，第二周开始进入实验室上课；每天进行两批，时间如下：

春冬季：14:00~17:00; 18:30~21:30

夏秋季：14:30~17:30; 18:30~22:00

- (3) 实验选定后要按时完成，缺席按 0 分记分。
- (4) 不能按时进行实验者，应提前 3 天在网上取消当次实验并重新选定。
- (5) 建议每周选做一个实验。
- (6) 开课地点：F 栋 2 层和 3 层(物理实验中心)。
- (7) 无法注册选课的学生，应于开学一周内凭一卡通到 F213 室办理注册手续，时间为 14:00~17:30；选课过程中如有疑问，可拨打物理实验中心开放实验办公室电话 81891123 咨询。

选课方法：

- (1) 从任何终端进入互联网，输入网址 <http://lxy.xidian.edu.cn/>，进入“物理实验选课系统”。

- (2) 第一次进入选课系统直接点击“注册”，按照要求输入个人信息并设置自己的密码(班号必须严格按照学校的规定填写)。

- (3) 注册成功后，重新进入选课系统输入学号与密码“登录”选课。课程选定后必须点击“提交”，否则并未真正选课成功。实验选定后应记住所选实验的时间(周次、星期和时间段)、实验室及实验内容并事先预习，请勿误课或迟到。

- (4) 春季第一周实验内容为物理实验的基本概念及测量误差数据处理等基本知识，它涉及到后续的几个实验，要求每个学生必须选课一次。

- (5) 课程一经选定，如需更改须提前 3 天以上进入选课系统自行修改。

基础物理实验选课登记表

[illegible]

目 录

I 绪论	1
1-1 物理实验课的地位与作用	1
1-2 课程的目的与要求	1
1-3 实验程序	1
II 基本概念与数据处理	3
2-1 测量	3
2-2 误差	4
2-3 不确定度	11
2-4 测量结果和不确定度的确定	14
2-5 有效数字	17
2-6 数据处理方法	20
练习题	26
III 基础实验	29
实验 1 长度与体积的测量	29
实验 2 压力传感器特性的研究	38
实验 3 用三线摆测量刚体的转动惯量	45
实验 4 用复摆测量重力加速度	49
实验 5 用拉伸法测量杨氏弹性模量	58
实验 6 用 CCD 测量杨氏弹性模量	63
实验 7 热电偶定标实验	68
实验 8 薄透镜焦距的测定	71
实验 9 单缝衍射的光强分布	77
实验 10 迈克尔逊干涉仪测量波长	82
实验 11 光的等厚干涉现象与应用	88
实验 12 分光计的调节和使用	95
实验 13 电表的改装与校准	103
实验 14 示波管的基本结构——电子束实验	109
实验 15 声速的测量	119
实验 16 灵敏电流计特性的研究	124
实验 17 用惠斯登电桥测量电阻	131
实验 18 组装式直流双臂电桥测量低电阻	136
实验 19 电阻伏安特性及电源外特性的测量	141
实验 20 用电流场模拟静电场	153
实验 21 用电位差计测量未知电动势	159

实验 22	光电效应及普朗克常数的测定	165
实验 23	居里温度测定实验	171
实验 24	放电法测高阻	176
IV	附录	179
附录 1	我国法定计量单位表	179
附录 2	常用物理量的代号和国际制导出单位	181
附录 3	英美度量衡折合国际公制、市制换算表	181
附录 4	常用物理量的代号和国际制导出单位	182
附录 5	一般常用符号	183
附录 6	SI 词头	185
附录 7	常用物理数据	185
附录 8	电磁学实验常用仪器	199

I 绪 论

1-1 物理实验课的地位与作用

物理学是研究客观世界物质运动规律的学科，研究的基本方法是科学实验。科学实验的过程分为三个阶段：

- (1) 观察现象；
- (2) 分析现象产生和发展的条件；
- (3) 建模，即找到物质运动的规律，建立相关理论和模型。

在科学实验中，往往还夹杂和预示着某些有待发现的规律。因此，一个科学工作者不但要知识面宽、素质高，会做科学实验，能分析和解决问题，还须具有创造性，细心且有耐心。物理实验是培养学生基础应用综合能力以及培养高素质科技人才的重要基础课。

1-2 课程的目的与要求

物理实验的重要任务是验证物理规律、锻炼动手能力、学习处理数据、培养严谨作风、提高综合素质。在课程安排上，通过做一系列实验，使学生对科学实验有一个初步了解。同时在实验方法、测量技术、数据采集和处理等方面接受基本训练。具体要求掌握：

- (1) 七项操作技术，即零位校准、水平调节、铅直调整、光路共轴调节、逐次逼近调节、视差消除、电路接线训练等。
- (2) 六种实验方法，即比较法、放大法、转换法、模拟法、补偿法、干涉法等。
- (3) 常用物理量测量，即长度、时间、质量、力、温度、热量、电流强度、电压、电阻、磁感应强度、折射率等的测量。
- (4) 常用仪器的使用，包括测长仪、计时器、测温仪、变阻器、电表、直流电桥、电位差计、通用示波器、低频信号发生器、分光计、常用电源、常用光源等。

1-3 实验程序

实验程序主要分为实验预习、实验过程及实验报告等。

1. 实验预习

实验预习就是课前认真阅读要做的实验，写出实验预习报告。实验预习报告的主要内容如下。

- (1) 实验目的：明确实验要达到的要求。

- (2) 实验仪器：根据实验内容写出实验所用主要仪器。
- (3) 实验原理：简要叙述实验原理，写出测量公式，画出原理图和电路图等。
- (4) 实验内容和步骤：实验过程中需测量的物理量及主要步骤。
- (5) 画出实验数据表格：根据实验内容要求设计出数据记录表格。

2. 实验过程

根据实验讲义要求，在教师指导下自行完成实验。在做实验的过程中，遇到没有搞清楚或不能解决的问题，要举手与教师探讨，直到搞清楚每个实验的细节问题。做完实验后，要仔细分析实验结果，总结实验过程，对还不清楚的问题请教师解答，在没有任何疑问后，请教师审阅实验数据并签字。在教师签字认可后，方可整理实验仪器，离开实验室。值日生要打扫卫生。

3. 实验报告

实验报告的具体要求有：

- (1) 实验名称：所做实验的名称。
- (2) 实验目的：完成本实验应达到的基本要求。
- (3) 实验仪器：所用仪器的名称和型号。
- (4) 实验原理：简述原理，包括简单的公式推导、原理图或电路图。
- (5) 实验内容和基本操作步骤。
- (6) 数据处理：有数据表格、必要的计算过程、实验曲线(必须用铅笔在坐标纸上作图)，写出结果的标准形式和误差或不确定度。
- (7) 问题讨论：分析总结实验得失，完成课后讨论题。
- (8) 实验得失：实验总结，提出消除或降低误差的方法。

注：实验报告作为评判实验考试成绩的重要依据之一，要求内容完整，贴有封面(封面上应注明学生的个人信息以及本次实验的名称、实验时间、座位号等信息)，装订成册。并且附上预习报告(有原始数据和教师签字)。实验报告在实验课后完成，应尽快投递到代课老师的报告箱中。

II 基本概念与数据处理

人类是通过测量来认识客观世界的。物理实验离不开对物理量的测量。由于测量条件的非理想化,测量总存在误差。误差是测量中的不可靠量值,导致测量结果偏差的不可靠量值称为不确定度。这就是测量、误差和不确定度三者之间的因果关系。测量误差越小,结果的不确定度就越小,测量精度就越高,人们对客观世界的认识也就越准确。

2-1 测 量

1. 测量的定义

广义而言,测量就是用实验手段获取客观事物定量信息的过程。通俗地讲,就是借助仪器,用某一计量单位把待测量的大小表示出来,确定待测量是该计量单位的多少倍。被测量的测量结果用标准量的倍数、标准量的单位来表示。因此,测量的必要条件是被测量物理量、标准量及操作者。测量结果应是一组数据和单位,必要时还要给出测量所用的量具或仪器、测量方法及条件等。例如,测量一个钢球的直径,选用的标准量是毫米,测量结果是毫米的 16.374 倍,则直径的测量值为 16.374 mm,使用的量具为螺旋测微计,测量环境温度为 20.8℃。

2. 测量的类型

1) 按测量方式分类

按测量方式分为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量值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,用米尺测物体的长度,用天平称物体的质量,用秒表测时间等,这些均是直接测量。相应的长度、质量、时间等均称为直接测量量。直接测量按测量次数分为单次测量和多次测量。

① 单次测量:只测量一次的测量称为单次测量。单次测量主要用于测量精度要求不高、测量比较困难或测量过程带来的误差远远小于仪器误差的测量。如在测量杨氏弹性模量实验中,测钢丝长度就用的是单次测量。

② 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主要分为等精度测量和非等精度测量。

(2) 间接测量。对于某些物理量的测量,由于没有合适的测量仪器,不便或不能进行直接测量,只能先测出与待测量有一定函数关系的直接测量量,再将直接测量的结果代入函数式进行计算,从而得到待测物理量的测量值,这个过程称为间接测量。相应的被测量称为间接测量量。例如,用单摆法测量重力加速度,其公式为 $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$,可以先用米尺和

计时器对 L 和 T 分别进行直接测量,然后将 L 和 T 的值代入测量公式,计算出重力加速度 g 。整个过程称为间接测量。其中, g 是间接测量量, L 和 T 是直接测量量。

2) 按测量条件分类

按测量条件分为等精度测量和非等精度测量。

(1) 等精度测量。为了减小误差,往往对同一固定被测量进行多次重复测量,如果每次测量的条件不变(即同一观察者、同一套仪器、同一种实验原理和方法、同样的测量环境等),这种重复测量称为等精度测量。由于各次测量的条件相同,那么就没有任何根据可以判断某次测量一定比另一次测量更准确。所以,每次测量的可靠程度只能认为是相同的,即认为是等精度的测量。

(2) 非等精度测量。多次重复测量时,只要有一个测量条件发生了变化,如更换了测量所用的量具或仪器,或改变了测量方法等,这种重复测量就称为非(不)等精度测量。对这种测量要引入测量“权”的概念。“权”是用来衡量各单次或局部测量结果可靠性的物理量,测量的权越大,说明该次测量结果的可靠性越大,它在最后测量结果中所占的比重也就越大。这类测量主要用于高精度的测量。

在实际测量中,常用的测量主要有单次测量、等精度测量和间接测量。当测量精度要求不高时用单次测量,测量精度要求比较高时用等精度测量,在无法使用直接测量时才采用间接测量。

3. 测量的方法

测量的方法很多,常用的有直读测量法、比较测量法、替代测量法、放大测量法、平衡测量法、模拟测量法、几何光学测量法、干涉测量法和衍射测量法等。

2-2 误差

1. 真值与测量值

任何一个测量量在一定条件下是客观存在的,当能被完善地确定并能排除所有测量上的缺陷时,通过测量所得的量值称为该量的真值。但是,对一个物理量的完善定义极其困难,人们也不能完全排除测量中的所有缺陷。因而,真值是一个比较抽象和理想的概念,一般来说是不可能知道的。物理实验课中所测量物理量的真值常采用公认值、理论值或较高准确度仪器的测量或多次测量的平均值近似地代替,这些值叫做“约定真值”。例如三角形内角之和恒为 180° 等。

各种实验所得到的量值称为测量值。包括:

① 单次测量值:若只能进行一次测量(如变化过程中的测量),或没有必要进行多次测量;对测量结果的准确度要求不高,或有足够的把握;仪器的准确度不高,或多次测量结果相同。这时就用单次测量值近似地表示被测量的真值。

② 算术平均值:对多次等精度重复测量,用所有测量值的算术平均值来替代真值,由数理统计理论可以证明,算术平均值是被测量真值的最佳估计值。

③ 加权平均值:当每个测量值的可信程度或测量准确度不等时,为了区分每个测量值的可靠性(即重要程度),对每个测量值都赋一个“权”数。最后测量结果用带上“权”数的测

量值求出的平均值表示,即为加权平均值。

2. 误差的定义

每个测量值都有一定的近似性,它们与真值之间总会存在或多或少的差异,这种差异在数值上的表示称为测量误差,简称误差。误差自始至终存在于一切科学实验和测量过程之中,测量结果都存在误差,这就是误差公理。误差按表达方式分为绝对误差和相对误差。

(1) 绝对误差。绝对误差表示测量值偏离真值的程度,用 δx 表示,即

$$\delta x = x - x_0 \quad (2-2-1)$$

式中, δx 表示绝对误差; x 表示测量值; x_0 表示真值。

绝对误差不是误差的绝对值。绝对误差可正可负,具有与被测量相同的量纲和单位。由于真值一般是得不到的,因此绝对误差也无法计算。实际测量中是用多次测量的算术平均值来代替真值的,测量值与算术平均值之差称为偏差,又称残差,亦用 δx 表示,即

$$\delta x = x - \bar{x} \quad (2-2-2)$$

(2) 相对误差。相对误差是绝对误差与被测量真值之比。由于真值不能确定,实际上常用约定真值来代替。相对误差是一个无单位的量,常用百分数表示,也称为百分误差,即

$$E = \left| \frac{\delta x}{x_0} \right| \times 100\% \quad (2-2-3)$$

3. 误差的类型及处理方法

测量中误差按其产生的条件可归纳为系统误差、随机误差和粗大误差三类。

1) 系统误差

在相同条件下(指方法、仪器、环境、人员等不变)多次重复测量同一量时,误差的大小和符号(正、负)均保持不变或按某一确定的规律变化,这类误差称为系统误差,它的特征是具有确定性。系统误差分为可定系统误差和未定系统误差。

① 可定系统误差:指在测量中大小、正负可确定的误差。测量时应消除该误差。例如,米尺零刻度线被磨损或弯曲,若不注意,会产生零点不为零的可定系统误差。因此,测量时应该避开零刻度线,用中间的某整刻度线作为测量的起始点,再读出被测物的终止点,两点相减就避开了零点不准的可定系统误差。再如,千分尺(亦称螺旋测微器)零点不为零,测量时应先记下零点值 d_0 ,再测量被测量值的大小 d ,两者相减($d - d_0$)的结果就消除了千分尺 d_0 的可定系统误差。

② 未定系统误差:指测量中只能确定大小,不能确定正负的误差(如由于仪器不确定度产生的测量误差)。一般将未定系统误差合成到测量结果的不确定度中。例如,千分尺的示值误差、数字毫秒计的不确定度、分光计的不确定度、电表的精度(即准确度等级)等产生的测量误差,都是未定系统误差。

(1) 系统误差的主要来源。

① 由仪器自身原因产生的系统误差:即由仪器本身缺陷、校正不完善或没有按规定条件使用而产生的误差。例如,仪器刻度不准、刻度盘和指针安装偏心、米尺弯曲、天平两臂不等长等。

② 由测量公式产生的系统误差:由于测量公式本身的近似性或没有满足理论公式所

规定的实际条件而产生的误差。例如，单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 成立的条件之一是摆角小于 5° ，用这个近似公式计算 T 时，公式本身就带来了误差；又如，用伏安法测量电阻时，忽略了电表内阻的影响等。

③ 由测量环境产生的系统误差：在测量过程中，因周围温度、湿度、气压、振动、电磁场等环境条件发生有规律的变化引起的误差。例如，在 25°C 时标定的标准电阻在 30°C 环境下使用等。

④ 由操作人员产生的系统误差：由于操作者的不良习惯或生理、心理等因素造成的误差。例如，用米尺测长度，读数为斜视读出；用秒表计时间，掐表速度较慢或较快等。

(2) 发现系统误差的主要方法。

① 理论分析法：从原理和测量公式上找原因，看是否满足测量条件。例如，用伏安法测量电阻时，实际中电压表内阻不等于无穷大，电流表内阻不等于零等，都会产生系统误差。

② 实验对比法：可改变测量方法和条件，比较差异，从而发现系统误差。例如，调换测量仪器或操作人员，进行对比，观察测量结果是否相同从而进行判断确认。

③ 数据分析法：分析数据的规律性，以便发现误差。例如残差法，对一组等精度测量数据，通过计算偏差，观察其大小及比较正、负号的数目，从而寻找系统误差。

(3) 可定系统误差的消除和减小方法。

下面举例说明常用的消除和减小可定系统误差的方法：

① 交换法：用天平两次称量同一物体质量，第二次称量时，将被测物与砝码交换。两次称量结果分别为 m_1 、 m_2 ，则 $m = \sqrt{m_1 m_2}$ 为最终称量结果。采用交换法可以克服天平不等臂误差。

② 替代法：如图 2-2-1 所示，在电表改装实验中测量表头内阻时，首先将 S_2 与表头回路接通，调节 R_1 使微安表指到某整刻度，记下该电流值，再将 S_2 与电阻箱回路接通，保持 R_1 不变，调节电阻箱 R_2 的阻值，使微安表指示值和记下的电流值相同，此时电阻箱的阻值就等于被测表头的内阻。这种方法避免了测量仪器微安表内阻引入的误差。

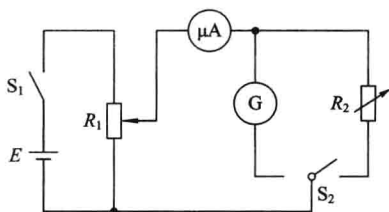


图 2-2-1 替代法测表头内阻

③ 零示法：在实验中，不是研究某个被测量本身，而是让它与一个已知量或相对参考量进行比较，通过检测并使这个差值为“0”，再用已知量或相对参考量描述被测量，这种方法叫做零示法。如电桥、电位差计的测量均采用这种方法。零示法可以减小仪器误差和避免指零仪器内阻引入的误差。

④ 异号法：在霍尔效应实验中，为了消除不等势电压，常采用异号法，即取电流和磁场的四种工作状态，测出结果并求出其平均值。

⑤ 半周期法：即采用分光计的双游标读数，用来克服分光计中心轴的偏心误差。

2) 随机误差

测量时,即使消除了系统误差,在相同条件下多次重复测量同一量时,各次测得值仍会有些差异,且其误差的大小和符号没有确定的变化规律。但如果大量增加测量次数,其总体(多次测量得到的所有测量值)会服从一定的统计规律,这类误差称为随机误差,它的特征是具有偶然性。

随机误差也是测量过程中不可避免的,它来自许多难以控制的不确定的随机因素。这些随机因素有空气的流动,温度的起伏,电压的波动及不规则的微小振动,杂散电磁场的干扰以及实验者感觉器官的分辨能力、灵敏程度和仪器的稳定性等。增加测量次数可减小其影响。

假设系统误差已经消除,且被测量本身又是稳定的,在相同条件下,对同一物理量进行多次重复测量,可以发现随机误差服从统计规律即高斯分布,又称正态分布。正态分布曲线如图 2-2-2 所示,其满足的高斯方程为

$$f(\delta x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{\delta x}{\sigma})^2} \quad (2-2-4)$$

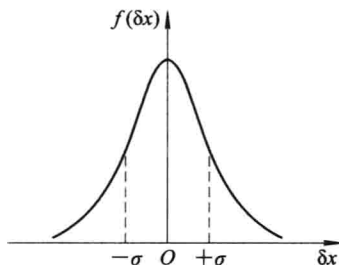


图 2-2-2 正态分布曲线

(1) 正态分布的特性。高斯方程中, σ 称为标准差,它是随机误差 δx 的分布函数 $f(\delta x)$ 的特征量。其表达式为

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2} \quad (2-2-5)$$

σ 确定, $f(\delta x)$ 就唯一确定;反之, $f(\delta x)$ 确定, σ 的大小也就唯一确定了。 σ 越小,测量精度越高,曲线就越陡,峰值也就越高,随机误差越集中,测量重复性越好; σ 越大,则反之。 σ 对 $f(\delta x)$ 的影响示意图如图 2-2-3 所示。

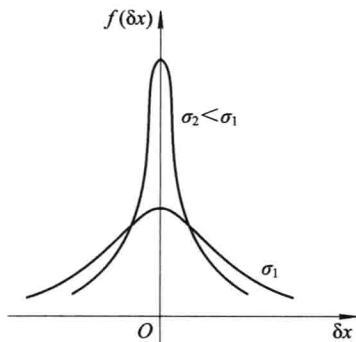


图 2-2-3 σ 对 $f(\delta x)$ 的影响示意图