



应用型本科高校系列教材·物理类

大学物理实验

赵敏福 杨 欢 张 波 胡训美 张德根 © 编

中国科学技术大学出版社



应用型本科高校系列教材·物理类

目 录

第一章 绪论 1
第一节 物理实验的意义 1
第二节 物理实验的基本要求 2
第三节 物理实验的基本方法 3
第四节 物理实验的安全 4
第五节 物理实验的预习 5
第六节 物理实验的报告 6
第七节 物理实验的考核 7
第八节 物理实验的总结 8
第九节 物理实验的附录 9
第十节 物理实验的参考文献 10

大学物理实验

赵敏福 杨 欢 张 波 胡训美 张德根 / 编

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书是根据教育部教学指导委员会颁发的《高等学校非物理类大学物理实验课程教学基本要求》，结合一般本科院校专业的特点和皖西学院应用型示范本科要求及实验室仪器现状，在总结多年教学实践的基础上编写而成的。

全书分为6章。第1章介绍了物理实验的基本知识——实验基本误差理论及实验数据基本处理方法。第2章介绍了物理实验基本测量方法及调整技术。第3章安排了8个基础性实验(一级)。第4章安排了11个基础性实验(二级)。第5章安排了16个基础性实验(三级)。第6章安排了49个物理演示及探索实验。

本书可作为高等院校各专业的基础物理实验教材或参考书，也可供涉及物理实验的教师和实验技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/赵敏福,等,编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2015.2
ISBN 978-7-312-03667-5

I. 大… II. 赵… III. 物理学—实验—高等学校—教材 IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 023429 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 合肥现代印务有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710 mm×960 mm 1/16
印张 19
字数 372 千
版次 2015 年 2 月第 1 版
印次 2015 年 2 月第 1 次印刷
定价 35.00 元

前言

本书是根据教育部教学指导委员会颁发的《高等学校非物理类大学物理实验课程教学基本要求》，结合一般本科院校专业的特点和皖西学院应用型示范本科要求及实验室仪器现状，在总结多年教学实践的基础上编写而成的。

全书分为6章。第1章介绍了物理实验的基本知识——实验基本误差理论及实验数据基本处理方法。第2章介绍了物理实验基本测量方法及调整技术。第3章安排了8个基础性实验(一级)。第4章安排了11个基础性实验(二级)。第5章安排了16个基础性实验(三级)。第6章安排了49个物理演示及探索实验。

考虑到大学物理实验课程的独立性和特点，本书在编写过程中力求做到：“实验简介”以实验相关历史背景和实验技术应用相结合，增强实验的趣味性和实用性；“实验目的”简练突出，使学生明确实验要求，完成预定任务；“实验原理”叙述清楚，尽量避免繁琐的数学推导，着眼于物理概念及实验方法的阐述，配有大量实验原理图，清楚直观，使学生在实验预习时掌握理论依据；“实验内容”按由详到简的顺序编写，旨在逐步提高学生的实验技能和动手能力。部分实验安排两种方法及选做内容，既能保证绝大部分学生达到教学基本要求，又能让部分学有余力的学生得到拓展提高。在涉及仪器介绍时，尽可能突出仪器的原理和使用方法，在有关实验的附录中编入仪器的外形特征图片及性能指标参数。

本书主要由赵敏福组织编写和统稿，前后参加编写工作的老师有张宏、方锐、赵育琢、邓少霞、邹俊峰、姚有峰、张波、潘国柱、张德根、胡训美、杨欢、刘向远、魏勇等。实验教学是一项集体的工作，无论是实验教材的编写，还是实验的开设、实验仪器的安装调试，都是实验室全体工作人员的智慧结晶和劳动成果。本书编入的

实验选题,汇集了全体工作人员多年的教学经验和体会。

本书的出版得到了皖西学院领导的大力支持,同时,一些兄弟院校的教材也为本书的编写提供了很好的借鉴,对此一并表示衷心的感谢。

由于我们经验不多,水平有限,书中难免存在不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2014 年 10 月

目 录

前言	(i)
绪论	(1)
第 1 章 物理实验基本知识	(8)
第 1 节 测量及其误差	(8)
第 2 节 测量不确定度与测量结果的表示	(11)
第 3 节 有效数字及其运算	(15)
第 4 节 实验数据处理的基本方法	(17)
第 5 节 用计算机处理实验数据	(20)
练习题	(27)
第 2 章 物理实验的基本测量方法和基本调整技术	(29)
第 1 节 物理实验的基本测量方法	(29)
第 2 节 物理实验基本调整技术	(35)
第 3 章 基础性实验(一级)	(43)
实验 1 长度及密度测量	(43)
实验 2 示波器的使用	(49)
实验 3 测定冰的熔解热	(59)
实验 4 万用电表的使用	(65)
实验 5 光路调整与透镜焦距的测量	(75)
实验 6 气垫技术实验	(82)
实验 7 光的等厚干涉	(92)
实验 8 物理仿真实验	(98)
第 4 章 基础性实验(二级)	(110)
实验 9 杨氏模量的测定	(110)
实验 10 分光计的调整和棱镜材料折射率的测定	(115)
实验 11 固体导热系数的测定	(126)

实验 12	交流电的整流滤波稳压电路	(132)
实验 13	用稳恒电流场模拟静电场	(139)
实验 14	空气比热容比的测定	(144)
实验 15	液体黏滞系数的测定	(148)
实验 16	声速测量	(151)
实验 17	转动惯量的测量	(156)
实验 18	金属线胀系数的测定	(167)
实验 19	弦线上波的传播规律	(170)
第 5 章	基础性实验(三级)	(176)
实验 20	电桥法测电阻	(176)
实验 21	用 RC 电路测电容	(182)
实验 22	用光电效应测普朗克常数	(188)
实验 23	密立根油滴实验	(192)
实验 24	光栅衍射	(198)
实验 25	太阳能电池基本特性的测量	(203)
实验 26	半导体 PN 结物理特性测量	(207)
实验 27	磁场的描绘与测量	(212)
实验 28	霍尔效应	(218)
实验 29	铁磁材料的初始磁化曲线和磁滞曲线的测定	(229)
实验 30	用双棱镜测光波波长	(234)
实验 31	弗兰克—赫兹实验	(238)
实验 33	迈克尔逊干涉仪调节和使用	(245)
实验 34	显微镜和望远镜的组装	(250)
实验 35	简易万用表的组装与校准	(251)
第 6 章	物理演示与探索实验	(252)
	力、热、振动与波实验系列	(252)
	近代与综合实验系列	(281)
附录	物理实验常用资料	(289)
参考文献		(297)

绪 论

一、物理实验的地位和作用

物理实验是物理学和科学实验的重要部分,在科学技术的发展中有着独特的作用。历史上每次重大的技术革命,大都起源于物理学的发展。热力学、分子物理学的发展,使人类进入了蒸汽机时代;电子学的发展,使人类跨入了电气化时代;原子物理学、量子力学的发展促进了半导体、原子核、激光、电子计算技术的迅猛发展。因此,物理学本质上是一门实验科学。

物理学史上,经典物理学的基本定律几乎全部是实验结果的总结与推广。近代物理的发展则是从所谓“两朵乌云”和“三大发现”开始的。前者是指经典物理学无法解释的两个实验结果,即黑体辐射实验和迈克尔逊—莫雷实验;后者是指在实验室发现了 X 光、放射性和电子。物理实验不仅对于物理学的研究工作极其重要,对于物理学在其他学科的应用也十分重要。在材料科学中,各种材料的物性测试、许多新材料的发现和新材料制备方法的研究都离不开物理学的应用;在化学中,从光谱分析到量子化学、从放射性测量到激光分离同位素,也离不开物理学的应用;在生物学的发展史中,离不开各类显微镜(光学显微镜、电子显微镜、X 光显微镜、原子显微镜)的贡献,近代生命科学更离不开物理学,DNA 的双螺旋结构就是美国遗传学家和英国物理学家建立并为 X 光衍射实验所证实的;在医学中,放射性治疗、激光治疗、 γ 刀等都是物理学的应用。物理学正在渗透到各个学科领域,而这种渗透无不与实验密切相关。

因此,作为一名大学的理工科学生,不仅要有比较深入广博的理论知识,而且需要具备较强的从事科学实验的能力。物理实验是与理论课并行的独立课程,具有自身独特的教学内容、教学方法、教学目的。动手实践能力和观察分析能力都具有独立性,是不能用理论思维能力代替的。物理实验是对学生系统地进行科学实验能力训练的开端和基础,在培养学生运用实验手段去发现、观察、分析、研究和解决问题的能力方面,在提高学生科学实验素养方面,都具有十分重要的作用。同时,它也将为学生今后的学习、工作奠定一个良好的实验基础。

二、物理实验课的目的和任务

作为一名 21 世纪的大学生,要想成为应用型、开拓型、创新型的人才,善于把

新理论、新技术应用到实践中去,就必须要加强实践性学习,系统地接受实验技能的训练,掌握科学的实验研究方法,特别要加强实验思想及实验设计应用内容的学习和训练。而物理实验课程的内涵十分丰富,覆盖的知识面和包含的信息量以及基本的训练内容都很广泛。除物理基础知识外,还涉及数学、测量学、误差理论和计算机科学等方面的知识。作为基础教学的物理实验,它不同于科学实验,一般都是些较为成熟的实验,以教学为目的来传授知识、提高科学素养、培养人才。

物理实验课程的主要任务可概括为以下几方面:

(1) 知识方面。通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量及实验数据的处理,学习和掌握进行物理实验的基本知识、基本方法;学习如何正确使用仪器和用具,安装和调试实验装置,正确掌握实验操作等基本技能;了解实验的新技术和新知识。

(2) 能力方面。培养学生把理论知识与实践相结合的意识 and 能力;培养学生观察和分析实验现象,并从中归纳和总结出规律的思维能力、分析能力和想象能力;培养学生综合实验能力与初步实验设计能力。

(3) 素质方面。培养学生严肃认真的工作作风,实事求是的科学态度,刻苦钻研和团结协作的精神,不畏困难的顽强意志和严守纪律的优良品德。

根据上述实验课程的任务,学生通过物理实验课应达到以下三项基本要求:

(1) 在物理实验的基本知识、基本方法、基本技能方面得到严格而系统的训练,这是做好物理实验的基础。

基本知识包括实验的原理,基本实验仪器的结构与工作机理,实验结果好坏的评定,实验结果的表达方法,实验数据处理基本方法,如何对实验结果进行分析、判断、归纳和总结等。

基本方法包括如何根据实验目的确定实验的思路与方案、如何选择和正确使用仪器、如何减少各类误差因素、如何获得较好的实验结果等。

基本技术包括各种调节与测试技术、电工技术、电子技术、传感器技术及计算机应用技术等。

(2) 学习用实验方法研究物理现象、验证物理规律,加深对物理理论的理解和掌握,并在实践中提高发现问题、分析问题和解决问题的能力。

学生实验能力的培养是实验教学的核心。目前我国实验教学模式、方法、手段和内容在不断改革,分层次、开放式、自主式、网络化的教学方式更利于学生的个性化学习和综合能力培养。同学们应根据学校实验教学安排,明确教学内容、教学目的、实验项目类型,通过实验预习及计算机仿真实验操作预习等学习形式,掌握实验目的、原理机制、实验方法,高质量完成实验,提高实验综合能力。

(3) 养成实事求是的科学态度和积极创新的科学精神。

实验是理论的根基,又是检验理论的标准。实验本身是一个复杂艰辛的过程,来不得半点虚假。因此实验中养成实事求是的科学态度,培养严肃认真的工作作风,积极探索创新、吃苦耐劳团结协作的科学精神是实验教学的目的之一。同学们只有以认真严谨的态度亲历实验过程,才能较好地培养自己的基本实践能力,提高基本的科学素养,为今后从事科学研究、工程实践与其他工作打下坚实基础。

三、物理实验课的基本程序

大学物理实验课所涉及的内容,多数是测量某一物理量或研究某一物理量随另一物理量变化的规律。但是,不管实验内容及要求如何,也无论实验采用哪一种方法,实验课的程序大致相同,一般可以分为以下三个基本程序。

1. 实验预习

根据教材和网上讲义、课件、教学视频等内容进行预习,网上预习网址为 <http://211.70.172.141>(包含讲义、课件、教学视频等内容)。

要想做好物理实验,实验前必须认真预习。预习的内容包括:明确实验目的,看懂实验原理,实验依据的主要公式及线路图,有哪几个待测量,所使用仪器的大概性能及使用注意事项,实验的基本过程,自行设计数据记录表格等;实验前要明确本实验的每一个操作步骤和要点,对迷惑不解的问题,实验前要认真思考,带着问题去实验室,这样才有利于综合能力的提高。在此基础上写成预习报告。

实验预习报告,必须包含**实验原理**(测量公式、电路图、光路图)、**实验基本步骤**、**原始数据记录**(列出待测物理量和原始数据记录表格)这三项内容,其他内容在预习报告中不做要求,但都必须认真预习,否则无法按时、按质完成实验操作。

2. 实验操作

实验操作在实验室完成。实验操作中应注意的问题有:

- (1) 掌握“三先三后”的原则,即先观察后测量,先练习后测量,先粗测后细测。
- (2) 实验操作过程中必须集中精力,全神贯注。学会手脑并用,仔细观察和分析实验现象,判断实验中是否有异常现象和实验数据的正误,严格遵守实验室守则和具体实验操作规程。
- (3) 实验中要贯彻“三严”的原则,即严格的态度、严格的要求、严格的观测。注意安全,爱护仪器。
- (4) 实验结束原始实验数据经实验指导教师审核无误签字后,自觉整理好仪

器设备、清理现场,方可离开实验室。

3. 编写实验报告

实验结束后要及时编写出实验报告。

(1) 实验预习报告、实验报告要写在实验专用报告本上,同一个实验的预习报告和实验报告写在一个本子上。

(2) 实验报告要求叙述清楚、图表规范、字迹工整、计算准确。实验报告必须包含的内容有:

① 实验名称。

② 实验目的。

③ 实验原理,包括物理定律、定理,计算公式,必要的电路、光路图及装置等简图。书写原理时,不应照抄实验指导书,应用自己理解的语言来做概述。

④ 仪器设备及主要器材,包括型号、规格、参数等。

⑤ 实验步骤,概括地写出实验进行的主要过程。

⑥ 实验数据图表。

⑦ 数据处理,包括计算误差分析等。

⑧ 实验结果(结论)。

⑨ 分析、讨论、小结。

(3) 做完实验后,同学们应在三天内把实验报告交到相应实验报告柜内,如有特殊情况可以一周内交;一周后交实验报告的,酌情扣分;两周后交的,报告按0分处理。

四、如何学好物理实验课

大学物理实验课是一门与理论并行的独立课程,它不但要使学生掌握物理实验的基本知识,更重要的是要培养学生的科学实验能力。而该课程的学时及内容有限,要打下坚实的实验基础和具有较强的科学实验能力,学生必须主动地、积极地、创造性地去学习。必须认识到通过实验绝不是仅仅为了得到几个实验数据,而是要通过实验去学习研究问题的方法,培养与锻炼科学实验的能力。

1. 要重视实验教学的每一个环节

在物理实验中,每一个实验的目的、要求和侧重点均不相同。有的侧重于基本测量仪器的使用,基本方法的掌握;有的侧重于基本技能、技巧的训练;有的在于通过实验去总结物理规律。后面的实验往往要用到前面实验所使用过的方法、仪器,但为了让学生能见多识广,每个实验所使用的仪器和方法又不完全相同。所以,在实验过程中,要注意观察、分析、比较,实验结束后要及时撰写实验报告。

2. 注意掌握所采用的实验方法

基本的测量方法在实际中既会经常用到,又是复杂测量方法的基础。学习时

不但要弄清楚它们的原理、运用条件、优点和缺点,而且要通过实验研究,逐步熟悉和牢记,并能运用这些方法设计一些简单的实验。

3. 要注意养成善于分析的习惯

实验时最好是带着问题去做。实验中要善于捕捉和分析实验现象,理论结合实际,指导实验操作。实验最后总要获得一些结果,结果是否正确靠什么来判断?实验数据的好坏说明什么问题?这些问题要靠分析实验来解决。实际上任何理论都是在一定基础上的抽象或简化,都有其适用范围。而客观实际和实验所处的环境要复杂得多,实验结果必然会和理论公式有一定的差异,问题在于差异的大小是否合理,并找出不合理的原因。即必须分析实验的方法是否正确?实验条件是否得到满足?它们带来多大误差?仪器带来多大误差?实验环境有多大影响?等等。千万不可认为实验的目的只是为了“做”出标准的数据结果。

4. 注意锻炼自己的动手操作能力

要学会正确使用各种仪器,并尽力排除实验中出现的故障。应该说,能否发现实验故障并排除是实验能力强弱的一个重要表现,要想提高实验能力,必须自己多动手。只有在每次实验中有意识地加强锻炼,才能养成良好的习惯。

5. 要注意培养自己认真、踏实、细致、坚韧不拔的实验素质和勇于创新的精神

不轻易放过每一个实验现象,不怕挫折和失败,艰苦努力,力求以最小的代价取得最好的实验结果。

总之,实验课有它本身的特点和规律,要学好实验课不是一件容易的事,但也绝非太难的事。只要在学习过程中不断总结经验,逐步掌握规律,培养对实验课的兴趣,就能练好基本功,提高自己的科学实验能力。

五、实验网络预约管理系统简介

21 世纪,人类社会步入了信息化时代,信息技术、网络技术、数字化技术及计算机辅助系统已应用到各个领域。大学物理实验教学中也引入先进信息化技术手段,实现了实验教学计算机网络预约选课、预习、模拟仿真实验操作、实验教学管理等利于学生个性化、自主学习的教学方式。各高校相继开发出很好的物理实验信息化教学系统或计算机软件,极大地丰富了实验教学资源,改变了学生学习和教师教学及管理方式,取得了很好的学习和教学效果。同学们应学会使用实验信息化教学系统或软件,充分利用网络教学资源查看教学信息,应用教育技术手段提高学习效率 and 效果。

1. 实验网络预约管理系统

该系统软件具有学生学习实验功能、学生选课查询功能及教师实验教学管理功能。以下简要介绍前两部分功能的使用。

首先打开学校校园网首页,进入基础物理实验中心网站,再点击网络选课学生入口,显现系统页面如图 1 所示。



图 1

学生输入学号、密码并按确认键,进入选课系统,如图 2 所示。系统提供以下功能:



图 2

- (1) 学生选课:选择实验项目和实验时间(周、天、节)。
- (2) 学生选课查询:查看所选实验项目和时间,并可进行修改。
- (3) 选课情况查询:查看实验项目、时间及人数选择情况。
- (4) 实验成绩查询:查看已做实验的预习、操作、报告成绩。
- (5) 网上预习:通过物理实验网络多媒体课件,对所选实验项目进行预习。
- (6) 修改个人密码。
- (7) 师生互动:学生有什么问题在线询问相应的老师,老师在线可以给予回答。

2. 物理实验信息化教学系统

该软件系统是由中国科学技术大学研制开发的,由实验中心网站、资源库、仿真实验、远程教学、选课系统、教学管理系统及系统管理六大模块组成。

主要用途及特点为:① 教师可利用它开设物理实验网上教学课程,实现教学模式的多元化。学生可利用它进行实验的自学和课前预习、课后复习。② 提供了丰富的实验知识内容,包括教学讲座、各种示范教学录像、各种仪器介绍等。③ 网络上以课程为单位建立起教师与学生一对多的关系,实现教学辅导和互动、作业和实验报告上交、成绩管理、学生网上预习与复习、教学效果评估等功能。

第 1 章 物理实验基本知识

物理实验的任务,不仅是定性地观察物理现象,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,但是误差不可能降为零。以学习为目的的物理教学实验也是如此。因此,作为一个实验结果,不仅应给出被测对象的量值和单位,而且还必须对测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、测量不确定度、测量有效数字及数据处理方法等实验基本知识,掌握这些知识是学好物理实验的基础及前提。

第 1 节 测量及其误差

一、测量及其分类

所谓测量,就是通过仪器或量具,将被测量与一个被选作标准的同类量进行比较,确定被测量是标准量的多少倍,这一过程就叫测量。被选作标准的量就是单位,倍数就是被测量的数值。一个物理量必须由数值和单位两部分组成。

测量通常分为:

(1) 直接测量

将被测量与仪器或量具直接进行比较,从仪器或量具上直接读出被测量的大小,叫作直接测量。例如,用刻度尺测量物体的长度,用量筒测量液体或固体的体积,用天平称量物体的质量,用安培表测量电路的电流,等等。

(2) 间接测量

先测出一个或几个直接测量量,然后通过函数关系式计算出所需要的量,叫作间接测量。例如,通过测直径计算小球的体积,用单摆测重力加速度,用伏安法测

电阻,等等。物理实验中绝大部分属于间接测量。

(3) 等精度测量

仪器的不同、方法的差异、测量条件的改变及测量者素质的参差都会造成测量结果的变化,这样的测量是不等精度测量。同一个人,用同样的方法,使用同样的仪器并在相同的条件下对同一物理量进行的多次测量,叫等精度测量。实验过程中只要某些变化对实验的影响很小乃至可以忽略,就可以认为是等精度测量。

二、误差及其分类

1. 真值的概念

任何一个物理量,在一定条件下都客观地存在一个唯一确定的真实的大小,这个确定的真实的大小就叫作该量在该条件下的真值。例如,一定温度和压强下某物体的体积,一定温度下某导体的电阻等。

2. 误差的概念

任何物理量都必须通过测量才能得到,而测量所用的仪器或量具不可能绝对精确,测量所依据的理论可能有某种近似性,测量方法和手段难以做到尽善尽美,实验条件不可能完全理想化,操作者也可能产生某些错误判断,这些原因都会使得真值在事实上无法得到,测量结果必然会和真值有一定的差异,只能是真值在某种程度上的近似。测量值 x 与真值 a 之差叫作误差,用 Δx 表示,也称为绝对误差,即

$$\Delta x = x - a \quad (1-1-1)$$

某一次的测量误差可表示为

$$\Delta x_i = x_i - a \quad (1-1-2)$$

x_i 可能比 a 大,也可能比 a 小,故 Δx_i 可能为正,也可能为负。

3. 误差的分类

按照性质和产生的原因,通常将误差分为系统误差和偶然误差两类。

(1) 系统误差

由某些确定的不合理的因素产生的误差叫作系统误差。例如,由于直尺刻度不准、电表指针不指零、天平两臂不等长引起的误差;实验原理和方法的近似性(如用单摆测重力加速度)引起的误差;测量本身不符合要求的习惯性行为引起的误差,等等。

系统误差总是有确定的大小和符号,是可以采取措施消除或减小的。

(2) 偶然误差

实验过程中由某些不可预测的偶然因素引起的误差叫偶然误差。例如,突然风动或振动、电压或温度的上下波动、无规律电磁波的干扰、操作者动作或感官的

无规律微小变化等因素引起的误差都属于偶然误差。

4. 多次测量出现的偶然误差的特性

偶然误差出于偶然,不可预知,但测量次数足够多时,出现的偶然误差却具有明显的规律性。若用 $f(\Delta)$ 表示误差出现的概率密度函数, Δ 为误差,则偶然误差服从正态分布,如图 1-1-1 所示。由图可见偶然误差具有以下特性:

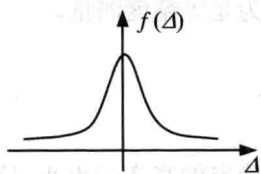


图 1-1-1 正态分布

① 单峰性。服从或大体服从正态分布,出现绝对值小的误差的机会比出现绝对值大的误差的机会多。

② 对称性。绝对值相等的正、负误差出现的概率相等。

③ 有界性。在一定条件下,误差的绝对值不会超过一定的限度。

④ 抵偿性。偶然误差的算术平均值随测量次数的增大而减小,当测量次数 $n \rightarrow \infty$ 时,这一算术平均值趋近于零,即

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i = 0 \quad (1-1-3)$$

除系统误差和偶然误差外,还有可能出现由于操作或记录过失而产生的粗差。含有粗差的测量值称为坏数据,应予以剔除。

在下面的讨论中,我们约定系统误差和过失误差已经被消除或修正,讨论所指的均是偶然误差。

三、多次直接测量的最佳值和标准偏差

1. 算术平均值是真值的最佳估算值

在一定条件下,对某一物理量进行 n 次测量,得测量列 $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$, 定义测量量的算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-1-4)$$

由于真值无法得到,我们就取 $\bar{x}$ 作为该量的最佳估算值(证明略)。

2. 测量列标准偏差(方均根偏差)

对有限次测量,测量列的标准偏差定义为

$$S(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1-1-5)$$

$(x_i - \bar{x})$ 叫作偏差或残差。由于前面的误差定义只有理论上的意义,事实上无法得到,所以引入偏差的概念。但在一般的讨论中,我们往往不去严格区分“偏差”和“误差”的说法。