

高等学校物理实验教学示范中心系列教材

# 大学物理实验

郑林 许济金 邱祖强 主编

 高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

C14031668

04-33  
640

高等学校物理实验教学示范中心系列教材

# 大学物理实验

DAXUE WULI SHIYAN

郑林 许济金 邱祖强 主编



04-33  
640



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING



北航

C1720226

888180410

## 内容提要

本书参照教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科大学物理实验课程教学基本要求》(2010版),结合编者多年大学物理实验教学经验编写而成。全书共5章,39个实验;分为基础实验、综合性实验和设计性实验。本书系统地介绍了测量、误差、不确定度、有效数字运算和数据处理的基础知识,所涉及实验包括力学、热学、电学、光学和近代物理各领域的物理实验。

本书可作为高等学校非物理类专业大学物理实验课程的教材,也可作为教师或相关人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/郑林,许济金,邱祖强主编.--北京:高等教育出版社,2014.2

ISBN 978-7-04-039267-8

I. ①大… II. ①郑… ②许… ③邱… 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(2014)第013052号

策划编辑	程福平	责任编辑	程福平	封面设计	丁文燕	版式设计	马敬茹
插图绘制	尹莉	责任校对	张小镝	责任印制	朱学忠		

---

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社址	北京市西城区德外大街4号	网址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
邮政编码	100120		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
印刷	北京鑫丰华彩印有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
开本	787mm×960mm 1/16		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
印张	20.75	版次	2014年2月第1版
字数	370千字	印次	2014年2月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定价	32.50元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物料号 39267-00

# 前 言

“大学物理实验”是一门独立设置的必修基础课程,是本科生接受系统实验方法和实验技能训练的开端。本实验教学的根本目的是“加强基础,重视应用,提高素质,培养能力,开拓创新”,同时培养学生观察、发现、分析、归纳以及解决物理问题的综合能力,让学生系统地掌握物理实验的基本知识、基本方法和基本技能,并通过综合性、设计性、创新性实验的训练,提高学生的科学实验能力和科学素质,为学生今后的学习、工作奠定一个良好的基础。

本书是以教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010版)为依据,参考和吸收各兄弟院校大学物理实验教学的成果和经验,以福建农林大学多年使用的物理实验补充讲义和《大学物理实验教程》为基础,结合大学物理实验中心仪器设备的实际情况编写而成的。

全书共分5章,39个实验。本书系统地介绍了测量、误差不确定度、有效数字运算和数据处理的基础知识,所涉及实验分为基础性实验、综合性实验和设计性实验。本书由浅入深、分步骤、有阶段地培养学生的实践动手能力,并介绍了诺贝尔物理学奖的年代和获奖内容。

本书的第1章、第2章和第5章及实验1、4、8、12、14、15、17、26、27、33、34、35、36由郑林编写,实验6、20、28、29、30、31、32由许济金编写,实验5、10、13、18、22由邱祖强编写,实验23、24、25、37、38由林仁荣编写,实验7、16、19由冯利编写,实验21、39由吕灵燕编写,实验9由谢知编写,实验2由梁真编写,参加本书编写的还有陈丽敏和许雪娥两位老师。

实验教学是一项集体事业,从实验室建设、教材编写到课程内容的不断完善与改进,都是几代实验教师和编者,长期在教学岗位上辛勤耕耘,呕心沥血,将丰富的理论与实践经验,进行持续不断的积累和总结的结果。在本教材付梓之际,我们首先衷心地感谢对本实验室建设和教材编写付出辛勤劳动的实验教师和实验人员!在编写过程中参考了兄弟院校的有关教材和资料,在此向他们表示诚挚的谢意!福建农林大学的领导非常重视基础实验课的建设,给予实验设备较大的经费支持,使物理实验中心的建设上了一个台阶,并且本教材的出版

也获得学校的资助,这也是本书能够出版的重要因素,在此向他们表示衷心的感谢!

我们所做的工作只是一块引玉之砖,由于时间仓促,编者水平有限,书中难免存在错误和不足,恳请同行及读者指正。

编 者

2013年11月

# 目 录

第 1 章 物理实验课程简介 .....	1
第 2 章 测量误差理论及数据处理 .....	5
2.1 测量与误差 .....	6
2.2 不确定度的评定 .....	13
2.3 有效数字及其运算 .....	15
2.4 测量结果的完整表示 .....	19
2.5 测量结果的质量评价 .....	23
2.6 数据处理的基本方法 .....	24
第 3 章 基础物理实验 .....	39
实验 1 长度测量和物体密度测量 .....	40
实验 2 刚体转动惯量的测量 .....	49
实验 3 弦振动的研究 .....	55
实验 4 落球法测量液体的黏度 .....	58
实验 5 超声波传播速度的测量 .....	64
实验 6 液体表面张力系数的测定 .....	71
实验 7 冷却法测量金属比热容 .....	76
实验 8 导热系数的测量 .....	81
实验 9 模拟静电场描绘 .....	87
实验 10 模拟示波器的使用 .....	94
实验 11 用霍尔效应测量磁场 .....	110
实验 12 RLC 电路特性研究 .....	116
实验 13 薄透镜焦距的测量 .....	122
实验 14 牛顿环测透镜曲率半径 .....	133
实验 15 迈克耳孙干涉仪的调节与使用 .....	138
实验 16 单缝衍射 .....	146
实验 17 分光计的调节与棱镜折射率的测定 .....	154
第 4 章 综合性物理实验与仿真实验 .....	164
实验 18 半导体制冷与温度传感器 .....	165

实验 19	液晶电光效应 .....	173
实验 20	光电效应测定普朗克常量 .....	182
实验 21	pn 结正向特性综合实验 .....	188
实验 22	电子束磁偏转及其比荷的测量 .....	197
实验 23	压电陶瓷的电致伸缩系数的测量 .....	205
实验 24	电阻温度计与非平衡直流电桥 .....	211
实验 25	磁阻效应 .....	217
实验 26	光栅常量的测定 .....	222
实验 27	全息照相 .....	227
实验 28	空气热机实验 .....	235
实验 29	波尔共振实验 .....	244
实验 30	密立根油滴实验 .....	252
实验 31	核磁共振 .....	262
实验 32	仿真实验——数字温度计的设计 .....	276
第 5 章	设计性物理实验 .....	282
5.1	设计性物理实验概述 .....	283
5.2	设计性物理实验项目 .....	285
实验 33	不确定度分配和实验仪器的选择 .....	286
实验 34	液体中超声波传播速度与液体温度的关系 .....	288
实验 35	显微镜的组装及放大率的测定 .....	289
实验 36	用迈克耳孙干涉测量薄膜的厚度 .....	289
实验 37	电子秤的设计与制作 .....	290
实验 38	变阻器控制电路特性的研究 .....	293
实验 39	数字多用表设计 .....	294
附录一	常用物理量数值表 .....	308
附录二	诺贝尔物理学奖 .....	314
参考文献	.....	324

# 第 1 章

## 物理实验课程简介



物理学是一门以实验为基础的学科. 物理学的概念、规律和理论的发现、建立,大都以物理实验为基础并受到实验的检验. 物理实验是科学实验的先驱,体现了大多数科学实验的共性,在实验思想、实验方法以及实验手段等方面是各学科实验的基础.

16世纪意大利物理学家伽利略(Galileo Galilei)首先把科学实验方法引入物理学研究中来,从而使物理学走上真正的科学道路. 17世纪牛顿(Isaac Newton)在伽利略、开普勒(Johannes Kepler)工作的基础上,建立了完整的经典力学理论……

当代最引人注目的诺贝尔物理学奖是颁发给物理学中划时代里程碑级的重大发现和发明. 从1901年第一次授奖至今已有一百多年的历史,已有得主约150名,其中主要以实验物理学方面的发现或发明而获奖者约占73%. 例如,1901年首届诺贝尔物理学奖得主是德国人伦琴(W. C. Röntgen),以奖励他于1895年发现X射线;1902年的得主是荷兰人塞曼,奖励他在1894年发现光谱线在磁场中会分裂的现象(更多见附录二)……

因此,“大学物理实验”是一门重要的课程.

### 1. 大学物理实验课的主要任务

大学物理实验课是大学生必修的独立开设的一门公共基础实验课,是大学生进入大学后接受系统实验方法和实验技能训练的开端,使学生在物理实验的基本知识、基本方法和基本技能等方面受到较系统的训练,通过理论联系实际,培养学生初步的实验能力、良好的实验习惯以及严谨求实的科学作风,提高学生科学实验的素质、创新精神,使学生较早地参加科研活动,为今后用物理方法解决本学科的问题打好基础,它与大学物理理论课既紧密联系,又相互独立.

物理实验课的具体任务是:

(1) 通过对实验现象的观察、分析,研究物理现象、验证物理规律,掌握常用基本物理实验仪器的原理和性能,学会正确使用、调节和读数,了解一些物理量的测量方法.

(2) 培养与提高学生的科学实验能力,其中包括:

- ① 自行阅读实验教材或资料,做好实验前的准备;
- ② 借助教材或仪器说明书正确使用常用仪器;
- ③ 运用物理学理论对实验现象进行初步分析和判断;
- ④ 学会对实验进行误差分析和不确定度评定的基本方法,正确记录和处理实验数据,绘制曲线,说明实验结果,撰写合格的实验报告;

⑤ 完成简单的设计性实验,为以后独立设计实验方案和解决新的实验课题创造条件;

⑥ 提高进行科学实验工作的综合能力,包括实际动手能力、分析判断能力、独立思考能力、革新创造能力、归纳总结能力、口头表达能力等。

(3) 培养与提高学生的科学实验素养,使学生具有理论联系实际和实事求是的科学作风,严肃认真的工作态度,主动研究的探索精神和遵守纪律、爱护公共财物的优良品德。

## 2. 大学物理实验课的基本程序及要求

### (1) 课前预习

实验前必须认真阅读教材及有关参考资料,着重理解实验原理,明确实验目的、测量方法和主要实验步骤,并在课前写好预习报告。预习报告的内容主要包括:实验名称、实验目的、原理摘要(在理解的基础上,用简短的文字扼要地阐述实验原理,切忌整篇照抄,写出实验所用的主要公式,公式中各物理量的意义和单位以及公式的适用条件,画出实验原理图、电路图或者光路图,力求做到图文并茂)、实验仪器及装置(仪器应标明规格、型号)、主要实验步骤(对实验中关键性的调整方法和测量技巧应着重写出)、回答预习思考题、写出实验注意事项。

### (2) 实验操作

根据教材或仪器说明书熟悉仪器,在老师指导下了解仪器的正确使用方法,对照仪器,明确要测什么物理量,弄清先测什么、如何测、最后怎么测等,做到心中有数,不可盲目动手。

实验中,应集中精力仔细观察,认真思考观察到的物理现象;正确读数,及时将采集的实验数据和观察到的现象如实地记录下来,尤其是对所谓反常现象更要仔细观察分析,不要单纯追求“顺利”,要养成对观察到的现象和所测得的数据随时进行判断的习惯;对实验过程中出现的故障要学会及时排除。

实验结束后,要将测得的数据交给老师检查和签字,经检查合格并整理好仪器后,方可离开实验室。

### (3) 撰写实验报告

写实验报告是为了培养、训练学生以书面形式总结工作或报告科研成果的能力。实验报告一律用物理实验报告纸书写。一份完整的实验报告一般包括以下内容:

- ① 实验名称和日期
- ② 实验目的
- ③ 实验原理
- ④ 实验仪器(仪器应标明规格、型号)
- ⑤ 主要实验步骤(对实验中关键性的调整方法和测量技巧应着重写出)
- ⑥ 数据表格、实验曲线

⑦ 数据处理及结果分析(要求写出数据处理的主要过程、进行误差分析和不确定度评定,并给出最后结果)

⑧ 问题讨论(包括对实验现象的分析、实验中存在的问题、改进实验的建议、回答思考题等)。

实验报告中前六个部分即为预习报告和实验操作记录的内容,因此只要继续完成后两个部分,整份报告要求做到书写清晰,字迹端正,数据记录整洁,图表合格,文理通顺,内容完整并且简明扼要。

### 3. 学生实验守则

(1) 实验前必须认真预习实验教材及有关参考资料,掌握实验原理和方法,并写出预习报告。

(2) 准时参加实验,无故迟到 10 min 以上禁止进实验室参加实验。

(3) 实验开始时,首先检查和熟悉仪器,根据仪器操作规程正确调试,应在规定的仪器上进行实验,未经教师同意,不得任意调换其他组仪器。

(4) 实验过程中,应集中精力仔细观察和思考所研究的物理现象,实事求是地记录实验数据,不得随意拼凑篡改原始数据。

(5) 实验过程中如发生仪器损坏以及其他异常情况应及时报告指导教师并说明原因。

(6) 实验观测结束不要急于拆卸实验装置,实验记录数据经指导教师检查认可并签字后,方可整理仪器;如果实验数据不正确应找出原因并重新测量。

(7) 实验完毕应整理好实验仪器,桌面整理干净,并填写好实验情况记录表格,经指导教师同意后方可离开实验室。

(8) 实验后及时完成实验报告,并在下次实验前上交。

# 第2章

## 测量误差理论及数据处理

## 2.1 测量与误差

借助专门的实验仪器,通过一定的实验方法,将待测量与选作计量标准单位的同类物理量进行比较,从而确定待测量是标准单位的若干倍,这一过程称为测量.这个倍数叫做测量的读数,读数加上单位记录下来就是数据.测量会有误差,误差的大小必将影响测量的结果.所以,完成一个测量后必须给出测量的不确定度.测量结果应包含数值(度量的倍数)、单位(所选定的物理量)以及结果可信赖的程度(测量不确定度).例如用分度值为 0.01 mm 的螺旋测微器测量小球直径,结果表示为

$$D = \bar{D} \pm u_c = (4.948 \pm 0.005) \text{mm} \quad (p = 0.683)$$

我国所采用的单位是以国际单位制(简称 SI)为基础的法定计量单位. SI 单位有 7 个基本单位:长度的单位 m(米)、质量的单位 kg(千克)、时间的单位 s(秒)、电流的单位 A(安培)、热力学温度的单位 K(开尔文)、物质的量的单位 mol(摩尔)和发光强度的单位 cd(坎德拉).此外,还规定了两个辅助单位:平面角的单位 rad(弧度)和立体角的单位 sr(球面度).在这几个基本单位的基础上,其他一切物理量的单位都可以导出,如体积单位( $\text{m}^3$ )、密度单位( $\text{kg}/\text{m}^3$ )等,与辅助单位一起称为 SI 导出单位.

### 2.1.1 测量的分类

#### 1. 直接测量和间接测量

测量分为直接测量和间接测量.用仪器能直接获得测量结果的测量称为直接测量,相应的物理量称为直接测量量,直接测量是实验中最基本和最常见的一种测量方式(如用米尺量物体的长度,用天平称物体的质量等).有些物理量不能用仪器直接测量,但通过测量若干可直接测量量,再经过一定的函数关系运算后获得结果,这种测量称为间接测量,相应的物理量称为间接测量量(如测圆柱体的密度  $\rho$ ,用游标卡尺或螺旋测微器量出高度  $h$  及直径  $d$ ,用天平称出它的质量  $m$ ,根据  $\rho = 4m/(\pi d^2 h)$  公式计算出圆柱体的密度).

#### 2. 等精度测量与不等精度测量

对某一物理量进行多次重复测量,且每次的条件都相同(同一观察者、同一组仪器、同一种实验方法、同一实验环境等),测得一组数据( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ),虽然各次测得的结果有所不同,但各次测量的精确程度是相同的,这种测量称为等精

度测量. 在这些测量条件中, 只要有一个发生了变化, 这时所进行的测量就成为不等精度测量.

严格地说, 在物理实验中保持测量条件完全相同的多次测量是极其困难的, 但当某一条件的变化对测量结果影响不大可以忽略时, 仍可视这种测量为等精度测量. 在本书中, 所讨论的测量均为等精度测量, 不等精度测量不在本书讨论范围.

## 2.1.2 真值与误差

### 1. 真值

真值是指在十分完善的理想测量条件下所测定的准确值, 或称为该物理量客观存在的量值, 用“ $X_0$ ”表示. 测量的目的就是力图得到真值. 物理量的真值是理想的概念, 由于在具体测量中各种条件的限制(仪器、测量者、客观条件、实验方法等), 测量不可能绝对准确, 即真值永远测不到, 在实际应用中可以用下列某一值替代真值.

- (1) 理论值、公认值或约定真值;
- (2) 用校正过的准确度高一个等级的仪器测量值;
- (3) 近真值或真值的最佳值(修正过的算术平均值  $\bar{X}$ ).

### 2. 误差

误差分为绝对误差与相对误差.

绝对误差定义为测量值  $x$  与真值  $X_0$  之差, 记作  $\Delta x$

$$\Delta x = x - X_0 \quad (2-0-1)$$

$\Delta x$  表示测量值  $x$  与真值  $X_0$  之间差值以一定的可能性(概率)出现的范围, 即真值以一定的可能性(概率)出现在  $x - \Delta x$  至  $x + \Delta x$  区间内, 表达了测量值对真值绝对偏离的程度.

相对误差则能更直观地比较不同测量值的误差大小. 不同的测量对象, 即使误差相同, 测量结果的优劣不一定相同. 相对误差定义为

$$E = \frac{\Delta x}{X_0} \times 100\% \quad (2-0-2)$$

绝对误差和相对误差的大小反映了测量结果的精确程度, 通常只取 1~2 位数字来表示, 本书规定绝对误差取 1 位数字表示, 相对误差取 2 位数字表示.

### 3. 误差的分类

为了得到尽可能接近真值的测量结果, 测量者必须分析和研究误差的来源和性质, 采取措施减小误差. 误差按其产生的原因和性质可以分为系统误差、随

机误差和过失误差三大类。

### (1) 系统误差

系统误差的特点:在同一条件下(实验方法、仪器、环境和观察者等不变),每次测量同一物理量时,误差的大小和符号始终保持恒定或按一定的规律变化。

系统误差的来源有以下几个方面:

① 仪器误差 仪器的固有缺陷或没有按规定条件使用而引起的误差,如刻度不准,零点没调准,仪器水平或竖直未调整好,砝码本身未经校准等。

② 理论误差 实验方法和所依据的原理的不完善,公式的近似性或实验条件达不到理论公式所要求的条件而引起的误差。如称重时未考虑空气浮力,电学实验中忽略接触电阻等。

③ 环境误差 外界环境(如温度、湿度、电磁场等)发生变化或不满足测量仪器规定的使用条件所造成的误差。如标准电池是以  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  时的电动势作为标准值的,若在  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  时使用而不加修正就引入了系统误差。

④ 个人误差 由于测量者感官的不完善或某种不良习惯所引起的误差,如有人习惯估读时造成读数偏大或偏小,几个人同时用秒表计时会因每个人的反应快慢不同而结果不一致等。

系统误差的数值和符号(正、负)一般来说是定值或按某种规律变化,因此系统误差是可以被发现、减小、消除或修正的,但不能通过多次测量来减小或消除。对操作者来说,系统误差的规律及其产生原因可能知道,也可能不知道。已被确切掌握了其大小和符号的系统误差,称为可定系统误差,一般可以在测量过程中采取措施予以消除或在测量结果中进行修正;对大小和符号不能确切掌握的系统误差称为未定系统误差,一般难以作出修正,只能估计出它的极限范围。

### (2) 随机误差

在已消除系统误差的测量中,所测数据仍存在误差,误差时大时小,时正时负,无确定规律,这种大小和符号随机变化的误差,称为随机误差或偶然误差。随机误差的来源可能是外界的干扰等诸多因素,既不能消除又无法精确估量,所有影响测量的次要因素不尽全知等,这种误差是无法控制的。但在同一条件对同一物理量进行多次测量时,随机误差的分布显示出一定的统计规律,大多数情况下遵守正态分布,如图 2-0-1 所示。横坐标表示误差  $\Delta x$ ,纵坐标表示与误差出现的概率有关的概率密度函数  $f(\Delta x)$ 。应用

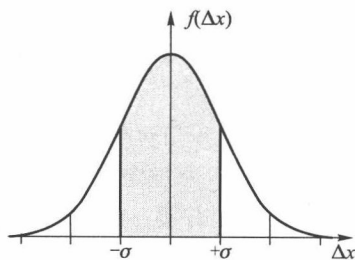


图 2-0-1

概率论的数学方法可导出

$$f(\Delta x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta x^2}{2\sigma^2}} \quad (2-0-3)$$

式(2-0-3)中的特征量  $\sigma$  为

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\sum \Delta x_i^2}{n}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\sum (x_i - X_0)^2}{n}} \quad (2-0-4)$$

$\sigma$  称为标准误差。

服从正态分布的随机误差具有下面一些特性:

- ① 单峰性 小的误差比大的误差出现的机会多,在误差为零附近有最大的概率。
- ② 对称性 大小相等、符号相反的正负误差出现的概率相等。
- ③ 有界性 误差值十分大其出现的概率很小(接近于0),误差有一定限度。
- ④ 抵偿性 随机误差的算术平均值随着测量次数的增加而越来越趋向于0,即

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i \rightarrow 0 \quad (2-0-5)$$

综上所述,系统误差的特点是确定性,随机误差的特点是随机性。它们是两种不同性质的误差,在一定的实验条件下,它们有自己的内涵和界限,但当条件改变时,彼此又可能相互转化。测量时环境温度在短时间内可保持恒定或缓慢变化,但在长时间内却是在某个平均值附近作无规律的变化,因此由于温度变化造成的误差在短时间内可以看成系统误差,而在长时间内则宜作随机误差处理。随着技术的发展和设备的改进,某些产生随机误差的因素能够得到控制,这些随机误差就可以确定为系统误差并得到改善或修正;而有些规律复杂的未定系统误差也可以通过改变测量状态使其随机化,这种系统误差又可以当做随机误差来处理。

### (3) 过失误差

由于测量系统偏离所规定的测量条件和方法,或记录、计算数据时出现失误而产生的误差称为过失误差,这实际上是一种测量错误。过失误差是不允许存在,是可以事先发现和避免的。不应当把有某种异常的观察值都作为过失误差来处理,它可能是数据中固有的随机性的极端情况。判断一个观察值是否为异常值,通常应根据技术上或物理上的原理做出决定。

误差自始至终存在于一切科学测量的全过程之中,作为一个科学实验的结果,不仅要提供被测对象的量值大小和单位,还应当对测量数值本身的可靠程度作出判断(即给出误差范围或不确定度),一个不知道可靠程度的测量值是没有



多大意义的. 因此, 一个正确的实验结果应该包括数值、单位和误差(不确定度), 三者缺一不可.

### 2.1.3 随机误差的统计处理

#### 1. 近真值

随机误差具有抵偿性, 即随机误差的算术平均值随着测量次数的增加而逐渐趋向零, 见式(2-0-5). 用增加测量次数的办法来减小随机误差, 当测量次数  $n \rightarrow \infty$  或足够多时, 测量列的随机误差趋于零, 此时测量结果的算术平均值就趋近于真值.

在相同条件下对某物理量  $x$  进行了  $n$  次重复测量, 测量值分别为  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , 其算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2-0-6)$$

根据误差理论, 在一组  $n$  次测量的数据中算术平均值最接近于真值, 因此定义算术平均值  $\bar{x}$  为测量结果的最佳值或近真值. 测量值与最佳值之差称为偏差. 由于真值永远得不到, 只能用近真值进行误差估算, 严格说是偏差估算(两者在测量次数  $n \rightarrow \infty$  或足够多时一致).

#### 2. 随机误差估算

物理实验中, 多次测量的随机误差可用标准误差(方均根误差)来表示.

##### (1) 标准误差(方均根误差)

随机误差遵守正态分布(高斯分布), 其概率密度函数  $f(\Delta x)$  的特征量  $\sigma$  即为标准误差, 见式(2-0-4), 式中  $X_0$  为真值. 用误差的概率密度函数可以得出, 误差出现在  $(-\sigma, +\sigma)$  区间内的概率为

$$P(-\sigma < \Delta x < +\sigma) = \int_{-\sigma}^{\sigma} f(\Delta x) d\Delta x = \int_{-\sigma}^{\sigma} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta x^2}{2\sigma^2}} d\Delta x$$

通过积分可得

$$P(-\sigma < \Delta x < +\sigma) = 68.3\%$$

标准误差  $\sigma$  所表示的意义是: 任作一次测量, 测量误差落在  $-\sigma \sim +\sigma$  之间的可能性为 68.3%.

真值实际上得不到, 但当测量次数  $n \rightarrow \infty$  或足够多时,  $\bar{x} \rightarrow X_0$ , 此时标准误差  $\sigma_x$  的计算式应为

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum \Delta x_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (n \rightarrow \infty \text{ 或足够多}) \quad (2-0-7)$$