

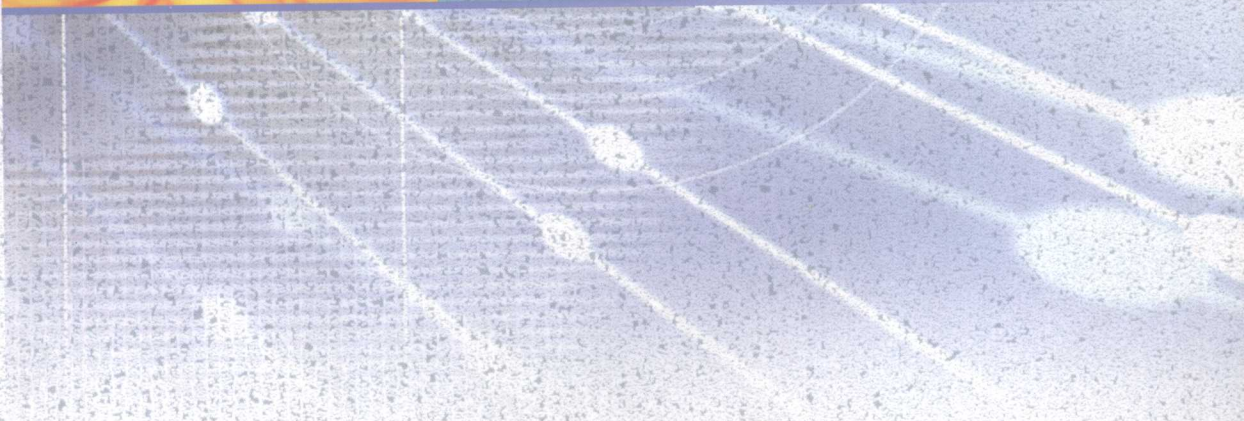
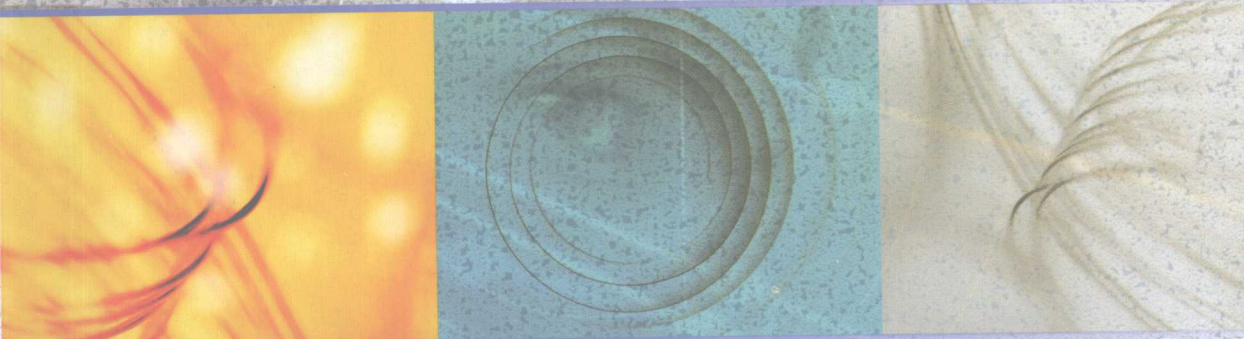


全国高等农林院校“十一五”规划教材

# 大学物理实验

DAXUE WULI SHIYAN

姚虹 主编



 中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

# 大学物理实验

姚虹 主编

中国农业出版社

（北京）

（100026）

北京

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理实验 / 姚虹主编. —北京: 中国农业出版社,  
2007. 12

全国高等农林院校“十一五”规划教材  
ISBN 978-7-109-11970-3

I. 大… II. 姚… 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 (2007) 第 177082 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 卫 洁

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 11.5

字数: 200 千字

定价: 17.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

# 编写人员

主 编 姚 虹

参 编 (以姓氏笔画为序)

么 强 王 焕 孔生贵

李凤敏 张梅树 赵保利

## 前 言

本教材是为适应普通高等农林院校农林类和工科类各专业的大学物理实验课教学而编写的实验教材。

物理学是一门实验科学，它是研究物质的基本结构、相互作用和物质最基本最普遍的运动形式及其相互转化规律的学科。它的基本理论已渗透到自然科学的许多领域，它是现代自然科学和工程技术科学的基础。大学物理实验是大学物理课程中的重要组成部分，是培养学生观察能力、实际操作能力的重要手段，也是提高学生整体素质的一个重要环节。它通过对物理实验现象的观测和分析，学习运用理论指导实验，学习分析和解决在实验中所出现问题的方法，从理论和实际的结合上加深对理论的理解。它对培养学生从事科学实验的初步能力，培养学生实事求是的科学态度，严谨踏实的工作作风，勇于探索、坚忍不拔的钻研精神，以及遵守纪律、团结协作、爱护公物的优良品德，都起着十分重要的作用。

为了适应新形势下注重对学生科学素质和创新能力培养的需要，更好地发挥物理学的基础作用，在本教材的编写中注意了以下两个方面：

1. 介绍了不确定度与数据处理的基本知识，并对其作了必要的简化，使学生既能掌握不确定度的基本理论，又不至于陷入繁琐的计算之中，以适合大学物理实验的教学要求。

2. 将实验内容分为基础性实验、综合性实验、设计性实验等三类，在保证学生掌握基本的实验技能的基础上，拓展学生的思维，以强化和提高学生理论联系实际的能力和综合创新的能力。

考虑各院校课时不同、实验室条件不同，本教材编写的实验个数较多，以供选择。

本教材是由集体合作编写而成的，在整体框架确定的基础上，具体内容由个人分工负责编写。具体分工如下：

姚虹：前言，绪论，1-1，1-2，1-3，1-4中的一、二、三；  
么强：2-7；王焕：2-9，2-10，2-12，2-13，2-14，3-2，3-5，4-1，4-2；孔生贵：2-5；李凤敏：2-6，2-8，2-11，3-1，3-3，3-4，3-6，3-7，4-5，4-6；张梅树：2-1，2-3，2-4，3-8，3-9，3-10，3-11，4-3，4-4；赵保利：1-4中的四，2-2。全书由姚虹组织编写和统稿。

本教材是在内蒙古农业大学物理教研室编写的《物理学实验指导》的基础上，吸收了近年来大学物理实验教学改革成果和内蒙古农业大学物理教研室讲授大学物理实验的教学经验编写的，是所有参编人员共同努力的成果。在编写过程中，得到了内蒙古农业大学教务处和理学院的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢！

由于时间仓促且水平有限，书中的缺点和错误之处，恳请读者批评指正。

编者

2007年9月

# 目 录

前言

绪论 ..... 1

第一章 测量误差、不确定度与数据处理 ..... 4

1-1 测量与误差 ..... 4

1-2 不确定度评定与测量结果的表示 ..... 11

1-3 有效数字及其运算法则 ..... 17

1-4 实验数据处理方法 ..... 21

第二章 基础性实验 ..... 27

2-1 长度测量 ..... 27

2-2 液体黏度的测定 ..... 34

2-3 用毛细管升高法测定液体的表面张力系数 ..... 38

2-4 驻波实验 ..... 42

2-5 用惠斯登电桥测电阻 ..... 46

2-6 用电位差计测电源电动势 ..... 51

2-7 用模拟法描绘静电场 ..... 53

2-8 用冲击法测量磁场 ..... 61

2-9 铁磁性材料磁滞回线的测量 ..... 69

2-10 测定铁磁材料的居里点 ..... 74

2-11 牛顿环及劈尖干涉实验 ..... 77

2-12 分光计的调整和使用 ..... 83

2-13 用衍射光栅测定光波波长 ..... 89

2-14 偏振光的研究 ..... 93

第三章 综合性实验 ..... 100

3-1 电阻应变传感器测定液体的表面张力系数 ..... 100

3-2 声速的测定 ..... 105

3-3	电冰箱制冷系数的测量 .....	110
3-4	霍尔元件特性的研究并测螺线管磁场 .....	114
3-5	示波器的调整和使用 .....	124
3-6	迈克尔逊干涉仪的调整与使用 .....	130
3-7	全息照相 .....	137
3-8	数码摄影技术 .....	141
3-9	光电效应及普朗克常量的测定 .....	147
3-10	电子束磁聚焦及电子比荷的测定 .....	152
3-11	密立根油滴实验 .....	157
<b>第四章 设计性实验 .....</b>		<b>163</b>
4-1	伏安法测电阻 .....	163
4-2	电表的改装和校准 .....	164
4-3	万用表的使用 .....	166
4-4	电子门铃的组装 .....	168
4-5	硬币起飞 .....	170
4-6	望远镜的组装 .....	172
<b>参考文献 .....</b>		<b>173</b>



## 绪 论

物理学研究方法通常是在观察和实验的基础上，对物理现象进行分析、抽象和概括，建立物理模型，探索物理规律，进而形成物理理论。因此，物理规律是实验事实的总结，而物理理论的正确与否也需要实验来验证。

我们学习物理学，要认识各种物理现象，掌握物理现象形成与演变的规律，了解各种实验方法，在实验过程中，通过理论的运用与现象的观测、分析，理论与实验相互补充，加深和扩大对物理知识的理解。

在实验课上，学生借助于自己动手组建的测量系统，得到被测量的具体量值及其变化规律，加强对被测量的认识。著名物理学家开尔文（Kelvin）曾说：“当你能把所讲的东西测量出来并用数字表示时，那么你对这个东西已有所认识。但是如果不能用数字表示，那么你的认识是不够的，不能令人满意的，可能只是初步的认识，在你的思想上，还没有上升到科学的阶段，不论你所讲的是什么东西。”

因此，物理实验是一门重要的基础课程，也是素质教育的重要环节。它在培养学生运用实验手段观察、分析、发现、研究和解决问题，进行科学实验基本训练，提高动手能力和科学实验素养等方面都起着重要的作用。同时也为学生今后的学习、工作奠定良好的实验基础。

### 一、物理实验课的目的

1. 通过对物理实验现象的观测和分析，学习运用理论指导实验，学习分析和解决在实验中所出现问题的方法，从理论和实际的结合上加深对理论的理解。

2. 培养学生从事科学实验的初步能力。这些能力是指：通过阅读教材或资料，能概括出实验原理和方法的要点；正确使用基本实验仪器，掌握基本物理量的测量方法和实验操作技能；正确记录和处理数据，分析实验结果和撰写实验报告；自行设计和完成某些不太复杂的实验任务等。

3. 培养学生实事求是的科学态度、严谨踏实的工作作风，勇于探索、坚忍不拔的钻研精神以及遵守纪律、团结协作、爱护公物的优良品德。

## 二、物理实验课的主要教学环节

为达到物理实验课的目的，学生应重视物理实验教学的三个重要环节。

1. **实验预习。**课前要仔细阅读实验教材或有关的资料，基本弄清实验所用的原理和方法，并学会从中整理出主要实验条件、实验关键及实验注意事项，根据实验任务写好预习报告、画好记录数据的表格。有些实验还要求学生课前自拟实验方案，自己设计线路图或光路图，自拟数据表格等。因此，课前预习的好坏是实验中能否取得主动的关键。

2. **实验操作。**学生进入实验室后应遵守实验室规则；在实验开始前应注意听教师对实验所作的必要讲解，以保证在规定的时间内高质量安全地完成实验课任务；实验开始后，学生要按照一个科学工作者那样要求自己，井井有条地布置仪器，安全操作，注意细心观察实验现象，认真钻研和探索实验中的问题；不要期望实验工作会一帆风顺，在遇到问题时，应看做是学习的良机，冷静地分析和处理；仪器发生故障时，要在教师指导下学习排除故障的方法。总之，要将着重点放在实验能力的培养上，而不是测出几个数据就以为完成了任务。对实验数据要严肃对待，要用钢笔记录原始数据；如确系记错了，也不要涂改，应轻轻画上一道，在旁边写上正确值（错误多的，需重新记录），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；不要用铅笔记原始数据，给自己留有涂抹的余地；也不要先草记在另外的纸上再誊写在数据表格里，这样容易出错，况且这已不是“原始记录”了。希望同学们注意纠正自己的不良习惯，从一开始就不断培养良好的科学作风。实验结束时，将实验数据交教师审阅签字，整理还原仪器后方可离开实验室。

3. **撰写实验报告。**实验后要对实验数据及时进行处理，如果原始记录删改较多，应加以整理，对重要的数据要重新列表；数据处理过程包括计算、作图、误差分析等，计算要有计算式（或计算举例），代入的数据都要有根据，便于别人看懂，也便于自己检查；作图要按作图规则，图线要规矩、美观；数据处理后应给出实验结果。最后要求撰写出一份简洁、明了、工整、有见解的实验报告。这是每一个大学生必须具备的报告工作成果的能力。

实验报告内容包括：

- (1) 实验名称。
- (2) 实验目的。
- (3) 实验仪器。
- (4) 实验原理。简要叙述有关物理内容（包括电路图、光路图或实验装置

示意图)及测量中依据的主要公式,式中各量的物理意义及单位,公式成立所应满足的实验条件等。

(5) 实验步骤。根据实际的实验过程写明关键步骤和安全注意要点。

(6) 数据表格与数据处理。记录中应有完整的实验数据。要完成数据计算、曲线图绘制及误差分析,最后写明实验结果。

(7) 小结或讨论。内容不限,可以是实验中现象的分析,对实验关键问题的研究体会,实验的收获和建议,也可解答思考题。

### 三、实验室规则

1. 学生在课前应完成指定的预习内容,进入实验室需带上预习报告和记录实验数据的表格,经教师检查同意后方可进行实验。

2. 遵守课堂纪律,保持安静的实验环境。

3. 使用电源时,务必经过教师检查线路后才能接通电源。

4. 爱护仪器。进入实验室不能擅自搬弄仪器,实验中严格按仪器说明书操作,如有损坏,照章赔偿。公用工具用完后应立即归还原处。

5. 做完实验,学生应将仪器整理还原,将桌面和凳子收拾整齐。经教师审查测量数据和仪器还原情况并签字后,方能离开实验室。

6. 实验报告要独立完成,按时交教师批阅。

# 第一章 测量误差、不确定度 与数据处理

物理实验的任务不仅是定性地观察物理现象，更重要的是对物理量进行定量的测量，并找出各物理量之间的内在联系。由于测量仪器、测量方法、测量条件、测量人员等诸多因素的影响，对一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。本章从实验教学的角度出发，主要介绍测量与误差、误差分析、有效数字、测量结果的不确定度评定等基本知识，这些知识不仅在物理实验课中要经常用到，而且对于今后从事科学实验也是必须了解和掌握的。

## 1-1 测量与误差

### 一、测量及其分类

所谓测量就是将待测物理量与选作计量标准的同类物理量进行比较，得出其倍数的过程。倍数称为待测物理量的数值，选作的计量标准称为单位。因此，表示一个被测对象的测量值必须包括数值和单位。

根据测量方式，测量可分为直接测量和间接测量。直接测量是指可直接从仪器或量具上直接读出待测量大小的测量。例如，用米尺测长度，用温度计测温度，用电压表测电压，用天平测物体的质量等都属于直接测量。有些物理量无法进行直接测量，待测量的量值是由若干个直接测量量经过一定的函数关系运算后才能获得，这样的测量称为间接测量。例如，测铜柱的密度，是先用电尺直接测得它的高  $h$  和直径  $d$ ，用天平测得它的质量  $m$ ，然后由关系式  $\rho = 4m/(\pi d^2 h)$  计算出铜的密度  $\rho$ ，这就是间接测量， $\rho$  称为间接测量量。大多数的物理量都是间接测量量，但直接测量是一切测量的基础。

根据测量条件是否相同，测量又可分为等精度测量和不等精度测量。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，使用同一仪器，采用同样的方法，对同一待测量连续进行多次重复测量，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。应该指出：重复测量必须是重复进行测量的整个操作过程，而不是仅仅为重复读数。在对某一物理量进行多次测量时，若测量条件完全不同或部

分不同,则各次测量结果的可靠程度自然也不同的一系列测量称为不等精度测量。例如,在对某一物理量进行多次测量时,选用的测量仪器不同,或测量方法不同,或测量人员不同等都属于不等精度测量。处理不等精度测量的结果时,需根据每个测量值的“权重”,进行“加权平均”。不等精度测量在一般物理实验中很少采用,本书所介绍的误差和数据处理知识都是针对等精度测量的。

## 二、真值与误差

在一定条件下,任何一个物理量的大小都是客观存在的,都有一个实实在在、不以人的意志为转移的客观量值,称为真值。测量的目的就是要力图得到被测量的真值,但由于受测量方法、仪器、条件以及观测者水平等多种因素的限制,只能获得该物理量的近似值,也就是说,一个被测量值  $x$  与真值  $x_0$  之间总是存在着差值,这种差值称为测量误差,即

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1.1.1)$$

由测量所得的一切数据,都毫无例外地包含有一定数量的测量误差,没有误差的测量结果是不存在的。测量误差存在于一切测量之中,贯穿于测量过程的始终。随着科学技术水平的不断提高,测量误差可以被控制得越来越小,但是却永远不会降低到零。

从式(1.1.1)我们可以看出,测量误差  $\Delta x$  显然有正负之分,因为它是指与真值的差值,常称为绝对误差,这就是术语“绝对误差”的来历。

绝对误差是一个有量纲的数值,它表示测量值偏离真值的程度,一般保留一位有效数字。一般来讲,真值仅是一个理想的概念,只有通过完善的测量才能获得。但是,严格完善的测量难以做到,故真值在很多情况下都难以得到,所以绝对误差的概念只有理论上的价值。这正是人们放弃难以实际定量操作的“误差”和与绝对误差有关的概念,转而使用不确定度概念的基本原因。

“相对误差”术语也是我们常常会听到的,它同样也是一个很难定量操作的词。测量的相对误差定义为测量误差的绝对值与真值的比值

$$\frac{|\Delta x|}{x_0} \times 100\% \quad (1.1.2)$$

“相对误差”是一个无量纲量,常常用百分比来表示测量精确度的高低,一般保留一至二位有效数字。

## 三、误差的分类

正常测量的误差,按其产生的原因和性质,一般可分为系统误差、随机误

差和过失误差三大类。这种划分及其相应的概念，虽然与现在广泛采用的描述测量结果的不确定度概念之间不一定存在简单的对应关系，甚至有些概念可能还是不太严格的。但是作为思维和理解的基础，还是应该有所了解。

**1. 系统误差。**系统误差的特征是在同一条件下多次测量同一量时，误差的大小和方向保持恒定，或以可预知的方式变化的测量误差的分量。它来源于以下几个方面：(1) 由于实验原理和实验方法不完善带来的误差；(2) 由于仪器本身的缺陷或没有按规定条件使用仪器而造成的误差；(3) 由于环境条件变化所引起的误差；(4) 由于观测者生理或心理特点造成的误差。

对实验中的系统误差如何处理呢？可以通过校准仪器、改进实验装置和实验方法，或对测量结果进行理论上的修正加以消除或尽可能减小。发现和减小实验中的系统误差是一个困难任务，需要对整个实验依据的原理、方法、测量步骤、所用仪器等可能引起误差的因素一一进行分析。一个实验结果是否正确，往往就在于系统误差是否被发现和尽可能消除，因此对系统误差不能轻易放过。

**2. 随机误差。**在极力消除或修正一切明显的系统误差之后，在同一条件下多次测量同一物理量时，测量结果仍会出现一些无规律的起伏。这种在同一量的多次测量过程中，绝对值和符号以不可预知的方式变化着的测量误差分量为随机误差，随机误差有时也称偶然误差。随机误差是实验中各种因素的微小变动引起的，例如，环境的温度、气压、电场、磁场的微小扰动；读数时，每次对准标志（刻线、指针等）的不一致，以及估读数的不一致；被测对象本身的微小起伏变化等。这些因素的共同影响使测量结果围绕测量的平均值发生涨落变化，这一变化量就是各次测量的随机误差。

随机误差的出现，就某一次测量而言是没有规律的，当测量次数足够多时，随机误差服从统计分布规律，可以用统计学方法估算随机误差。

**3. 过失误差。**实验中，由于实验者操作不当或粗心大意，例如看错刻度、读错数字、记错数或计算错误等都会使测量结果明显地被歪曲，这种由于错误引起的误差称为过失误差或粗大误差。

由定义可以看出，严格地讲，过失误差应叫做错误，它是通过实验者的主观努力能够克服的，错误不是误差，要及时发现并在数据处理时予以剔除。而系统误差和随机误差是客观的，不可避免的，只能通过实验条件的改善和实验方法的改进予以减小，它们是由客观环境和人的感官的局限决定的。

#### 四、随机误差的分布规律与特性

随机误差的出现，就某一测量值来说是没有规律的，其大小和方向都是不

能预知的,但对同一物理量进行多次测量时,则发现随机误差的出现服从某种统计规律。理论和实践证明,等精度测量中,当测量次数  $n$  很大时(理论上),测量列的随机误差多接近于正态分布(即高斯分布)。标准化的正态分布曲线如图 1.1.1 所示。图中横坐标  $\Delta x = x_i - x_0$  表示随机误差,纵坐标表示对应的误差出现的概率密度  $f(\Delta x)$ ,应用概率论方法可导出

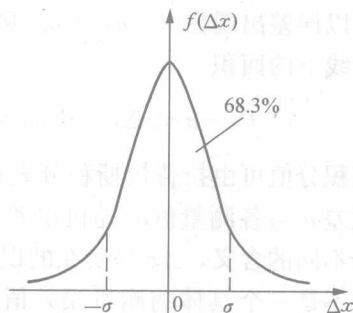


图 1.1.1 随机误差的正态分布

$$f(\Delta x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta x^2}{2\sigma^2}} \quad (1.1.3)$$

式中的特征量  $\sigma$  称为标准误差

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta x_i^2}{n}} \quad (n \rightarrow \infty) \quad (1.1.4)$$

其中  $n$  为测量次数,  $\Delta x_i = x_i - x_0$ 。

服从正态分布的随机误差符合如下特征:

(1) 单峰性。绝对值小的误差出现的概率比绝对值大的误差出现的概率大;

(2) 对称性。绝对值相等的正误差和负误差出现的概率接近相等;

(3) 有界性。绝对值很大的误差出现的概率为零,即误差的绝对值不会超过一定的界限;

(4) 抵偿性。由于绝对值相等的正、负误差出现的概率接近相等,因而随着测量次数的增加,随机误差的算术平均值将趋于零,即  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i = 0$ 。

也就是说,若测量误差只有随机误差分量,即随着测量次数的增加,测量列的算术平均值越来越趋近于真值。因此增加测量次数,可以减小随机误差的影响。抵偿性是随机误差最本质的特征,原则上具有抵偿性的误差都可以按随机误差的方法处理。

由概率论可知,服从正态分布的随机误差落在  $[\Delta x, \Delta x + d(\Delta x)]$  区间内的概率为:  $f(\Delta x)d(\Delta x)$ 。由此可见,某次测量的随机误差为一确定值的概率为零,即随机误差只能以确定的概率落在某一区间内。概率密度函数  $f(\Delta x)$  满足下列归一化条件

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(\Delta x)d(\Delta x) = 1 \quad (1.1.5)$$

所以误差出现在  $(-\sigma, +\sigma)$  区间内的概率  $P$  就是图 1.1.1 中该区间内  $f(\Delta x)$  曲线下的面积

$$P(-\sigma < \Delta x < +\sigma) = \int_{-\sigma}^{+\sigma} f(\Delta x) d(\Delta x) = 68.3\% \quad (1.1.6)$$

该积分值可由拉普拉斯积分表查得。标准误差  $\sigma$  与各测量值的随机误差  $\Delta x$  有着完全不同的含义， $\Delta x$  是实在的误差值，而  $\sigma$  并不是一个具体的测量误差值， $\sigma$  表示在相同条件下进行一组测量后，随机误差出现的概率分布情况，只具有统计意义，是一个统计特征量，其物理意义为代表测量数据和测量误差分布离散程度的特征数。

图 1.1.2 是不同  $\sigma$  值时的  $f(\Delta x)$  曲线。 $\sigma$  值小，曲线陡且峰值高，说明测量值的误差集中，小误差占优势，各测量值的分散性小，重复性好。反之， $\sigma$  值大，曲线较平坦，各测量值的分散性大，重复性差。

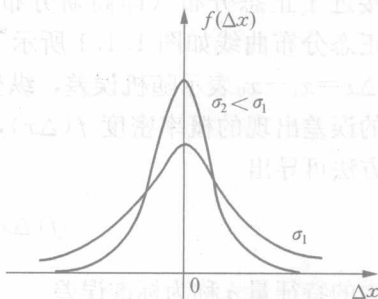


图 1.1.2 不同  $\sigma$  的概率密度曲线

(1.1.6) 式表明，做任一次测量，随机误差落在  $(-\sigma, +\sigma)$  区间的概率为 68.3%。区间  $(-\sigma, +\sigma)$  称为置信区间，相应的概率称为置信概率。显然，置信区间扩大，则置信概率提高，若置信区间分别取  $(-2\sigma, +2\sigma)$ 、 $(-3\sigma, +3\sigma)$  时，相应的置信概率分别为  $P(2\sigma) = 95.4\%$ 、 $P(3\sigma) = 99.7\%$ 。定义  $\delta = 3\sigma$  为极限误差，其概率含义是在 1000 次测量中只有 3 次测量的误差绝对值会超过  $3\sigma$ 。由于在一般测量中次数很少超过几十次，因此，可以认为测量误差超出  $3\sigma$  范围的概率是很小的，故称为极限误差，一般可作为可疑值取舍的判定标准，也称作剔除坏值标准的  $3\sigma$  法则。

然而，实际测量总是在有限次内进行，如果测量次数  $n \leq 20$ ，误差分布明显偏离正态分布而呈现  $t$  分布形式。 $t$  分布函数已算成数表，可在数学手册中查到， $t$  分布曲线如图 1.1.3 所示。数理统计中可以证明，当  $n \rightarrow \infty$  时， $t$  分布趋近于正态分布（图 1.1.3 中的虚线对应于正态分布曲线）。由图可见， $t$  分布比正态分布曲线变低变宽了； $n$  越小， $t$  分布越偏离正态分布。但无论哪一种分布形式，

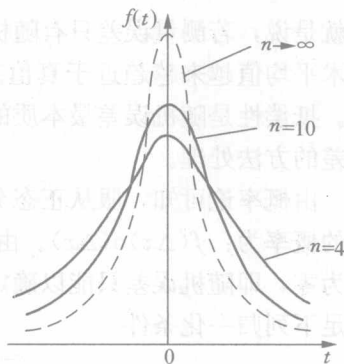


图 1.1.3  $t$  分布曲线



一般都有两个重要的数字特征量，即算术平均值和标准误差。

## 五、有限次测量的平均值和标准偏差

设在某一物理量的  $n$  次等精度测量中，得到测量列为  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ，这  $n$  个测量值都带有随机误差，首先要解决的问题是：从这  $n$  个测量值的信息中，取怎样的值作为客观真值  $x$  的最佳估计值呢？

解决这个问题是根据最小二乘法原理：一个等精度测量列的最佳估计值是能使各次测量值与该值之差的平方和为最小的那个值。设这个值为  $X$ ，则差值平方和可写成

$$S = \sum_{i=1}^n (x_i - X)^2 = \min$$

即有

$$\frac{dS}{dX} = -2 \sum_{i=1}^n (x_i - X) = 0$$

从而得到

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \bar{x} \quad (1.1.7)$$

所以测量列的算术平均值  $\bar{x}$  是真值  $x_0$  的最佳估计值。故可以用算术平均值来表示测量结果。

其次，要解决的问题是：从这  $n$  个测量值的信息中，怎样估算随机误差的大小呢？为此引入残差和标准偏差的概念。

将每一次测量值  $x_i$  与平均值  $\bar{x}$  之差  $(x_i - \bar{x})$  称之为残差。显然，这些残差有正有负，有大有小。

根据误差理论： $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ ，则单次测量的标准偏差  $S_x$  为

$$S_x = \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1.1.8)$$

式 (1.1.8) 称为贝塞尔公式。其意义表示某次测量值的随机误差在  $-\sigma_x \sim +\sigma_x$  之间的概率为 68.3%。也即表示测量值  $x_1, x_2, \dots, x_n$  及其随机误差的离散程度。标准偏差  $S_x$  (或  $\sigma_x$ ) 小表示测量值密集，即测量的精密度高；标准偏差  $S_x$  (或  $\sigma_x$ ) 大表示测量值分散，即测量的精密度低。我们可以用这一标准偏差表示测量的随机误差。