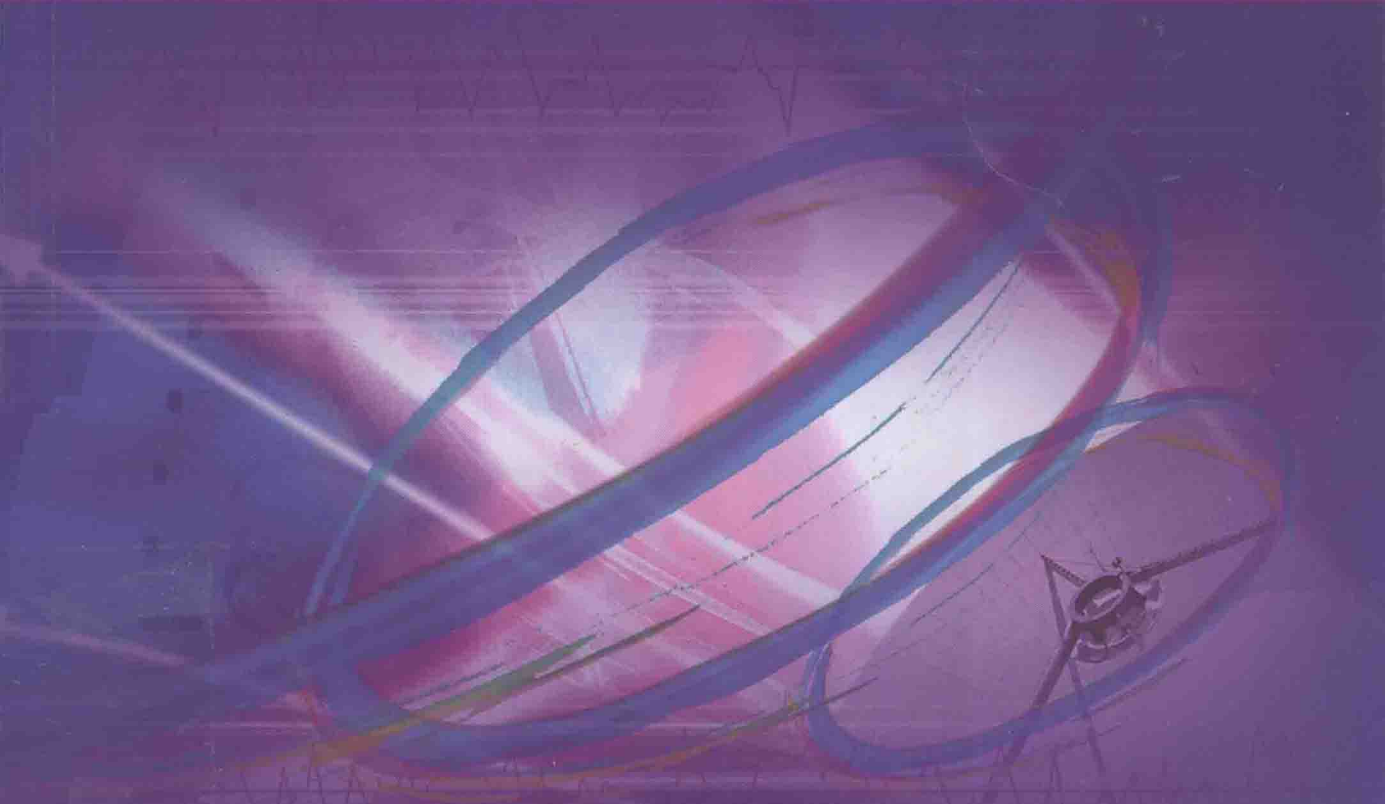
大学物理实验

主　编　莫长涛　吕　加



科学出版社

大学物理实验

主　编　莫长涛　吕　加

科 学 出 版 社
北　京

内 容 简 介

本书是根据《高等工科院校物理实验课程教学基本要求》，结合哈尔滨商业大学多年的教学实践经验编写而成的. 全书内容广泛，共收入36个实验. 这些实验分布在力学、热学、电磁学、光学和近代物理等方面，其中有不少是综合性、设计性的实验. 书中介绍误差及数据处理的基本知识，归纳有关测量器具、测量方法的表格，概括介绍与各种基本物理量的测量有关的一般知识，另外还在全书最后附有物理常量表. 本书对有关的实验方法及其原理的叙述力求繁简适当、深入浅出.

本书适合作为高等院校理工科各专业的物理实验课程的教材或参考书，也可供涉及物理学的广大科技工作者参考.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/莫长涛，吕加主编. —北京：科学出版社，2016.1
ISBN 978-7-03-046228-2

Ⅰ. ①大… Ⅱ. ①莫… ②吕… 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(2015)第264621号

责任编辑：昌 盛 王 刚 于俊杰 / 责任校对：钟 洋
责任印制：霍 兵 / 封面设计：迷底书装

科学出版社 出版
北京东黄城根北街16号
邮政编码：100717
http://www.sciencep.com
大厂书文印刷有限公司 印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销
*
2016年1月第 一 版 开本：787×1092 1/16
2016年1月第一次印刷 印张：17
字数：403 000
定价：37.00元
(如有印装质量问题，我社负责调换)

前　言

大学物理实验课程是理工科院校学生必修的一门重要基础实验课程.本书是按照教育部高等学校物理基础课程教学指导分委员会制定的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》,根据《重点高等学校工科物理实验课程教学改革指南》的精神,在哈尔滨商业大学多年来使用的《大学物理实验讲义》的基础上进行了全面的修改和补充而成的.

大学物理实验课是一门独立设置的全面系统的实验课程,它既要找到合适的起点又要与后续课程相接轨;既要理论联系实际,又要拓宽到实验素养的培养和提高.因此,本书在编排上依然按照物理学学科的内容来安排.为了培养现代理工科人才,我们在精选、改造、充实了那些对物理学本身来说是基本内容的实验的同时,一方面适当增添了一些近代技术、综合性实验和设计性实验,另一方面还考虑了物理原理在工程技术中的应用,并且增设了在工程技术中有用的物理实验内容和方法.为了使大学物理实验课程能够更好地适应新世纪人才培养模式的需要,我们注重在传授基本实验知识的同时,突出能力的培养和创新精神的开拓.

为了通过实验课使学生更好地掌握和运用物理理论知识,我们对每个实验的原理都力求深入浅出地作出简明扼要的论述;为了使学生步入实验后可以很快地达到可以自己设计实验的目的,我们在大多数实验中还介绍了主要仪器的原理、使用方法和实验方法;为了使学生在进行实验时可以认真准备、积极思考,我们还在一些实验的篇末给出了思考题,从而给学生在课内外留下了思考空间和回味的余地.

本书是随着实验室的建设和发展而逐渐完善的,在多年教学实践的过程中,作了多次的调整、修正、拓展和提高.在这本书中凝聚了诸多教师和实验技术人员的智慧与劳动,这是集体创作的结晶,应该说这里的每个题目中都有许多同志先后的贡献,而这贡献是难以在这里完全记载的.参加过原实验讲义编写工作的主要人员除此次参加改编者外还有谌悦逊、陈致国、吴宝璋、李伟生、宋立然、张秀珍、刘淑奋、罗建奋、谌莉、郭发展、王佳菱等.参加本书改编和修订工作的是莫长涛(实验11,实验14)、张黎丽(实验2,实验27)、王会立(实验3,实验22)、王明(绪论,实验5,实验24,实验25,实验26,实验30,实验31,实验34,实验36,演示实验,力学实验预备知识,电学实验预备知识,光学实验预备知识,附录)、吕加(实验7,实验8,实验10,实验13,实验15,实验16,实验17,实验18,实验19,实验23,实验28,实验32,实验33)、杜鑫(实验9,实验29)、贺平(实验1,实验35)、文晶姬(实验4,实验12,实验20,实验21)、郇帅(实验6,实验24).本书由莫长涛、吕加统稿.

在本书付梓之际,我们对在此书前期工作中付出辛勤劳动的所有同志表示由衷的感谢.在本书的编写过程中我们学习和借鉴了兄弟院校的教材,在此我们一并表示衷心的感谢.本书中难免有疏漏之处,祈使用和参阅本书的教师和读者不吝指正.

编　者

2015年6月

目　　录

绪　论

0.1　物理实验课的地位、目的和基本程序

0.1.1　物理实验课的地位

物理学从本质上说是一门实验科学，物理规律的研究都以严密的实验事实为基础，并且在不断受到实验的检验. 在物理学的发展中，物理实验一直起着重要作用，今后在探索和开拓新的科技领域中，物理实验仍然是有力的工具. 在大学里，物理实验课是对学生进行科学实验基础训练的一门重要课程，是继物理学讲课之后单独开设的一门实验课程. 它不仅可以加深对理论的理解，更重要的是使学生获得基本的实验知识，在实验方法和技能诸方面得到较为系统、严格的训练. 可以说，物理实验课是大学里学习或从事科学实验的起步. 同时，在培养科学工作者的良好素质及科学世界观方面，物理实验也起着潜移默化的作用. 因此，学好物理实验对于高等学校理工科的学生是十分重要的.

0.1.2　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、分析和解决实验中问题的方法，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；正确使用基础实验仪器，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、坚韧不拔的钻研精神，以及遵守纪律、团结协作、爱护公物的优良品德.

0.1.3　物理实验课的基本程序

1. 课前预习

若要在指定的时间内较好地完成所要求的实验内容，实验者就必须在课前认真预习，做到明确实验目的和原理，初步掌握实验方法和关键步骤. 为此，要求实验者课前在阅读教材的基础上，写出书面的预习报告. 预习报告的内容包括实验名称、实验目的、实验仪器、实验原理图、实验步骤和设计数据表格.

2. 课堂实验操作

实验者要准时来到实验室开始实验. 首先熟悉仪器设备并检查仪器设备有无缺损. 不能擅自调换仪器. 实验时，要根据给定的操作规程，正确调试仪器设备，严格遵守实验规

则，爱护实验仪器. 实验过程中如发现仪器设备出现故障，应及时报告指导教师. 实验完毕，应请教师检查记录的数据，在签字认可后，方可拆除线路，整理好仪器设备和现场.

3. 课后撰写实验报告书

实验之后，应及时整理实验数据和撰写实验报告书. 如发现原始数据有错、漏等现象，应及时重测或补测. 实验报告书必须在一周内交给指导教师.

实验报告书是学生实验成果的书面反映，因此应力求工整，行文措词简练、通顺，数据齐全，图表规范正确. 一份完整的实验报告应包含下述内容：

（1）实验名称.

（2）实验目的.

（3）实验仪器.

（4）实验原理.

简要叙述相关的物理内容、装置示意图（或电原理图或光路图）、主要的测量和计算公式以及公式中各量的含义、公式限定的条件等.

（5）实验内容及步骤.

根据实际实验的过程写明主要内容关键步骤及安全注意要点.

（6）数据表格及记录.

应该根据实验操作中记录的完整的原始数据，进行整理并重新列出美观的表格. 经教师签字后的实验记录，不得随意改动. 注意要忠实于原始记录.

（7）数据处理及结果.

数据处理应该有完整的计算、作图或不确定度估算，而且计算要有简洁的计算式子；代入的数据要有根有据，一目了然；作图要美观、规范. 最后还应该给出实验结果.

（8）回答问题或讨论.

对实验中的问题、心得、体会及交流讨论的结果以书面形式撰写出来.

0.2 测量、误差和不确定度的基本知识

0.2.1 测量、误差和不确定度的基本概念

1. 测量和误差的概念

物理实验离不开对物理量进行测量. 所谓测量就是借助仪器把待测量的大小表示出来的过程. 按测量方法进行分类，测量可分为直接测量和间接测量两大类.

可以用测量仪器或仪表直接读出测量值的测量称为直接测量. 如用米尺测长度，用温度计测温度，用电表测电流、电压等都是直接测量，所得的物理量如长度、温度、电流、电压等称为直接测量值.

有些物理量很难进行直接测量，而需依据待测量和某几个直接测量值的函数关系求出，这样的测量称为间接测量.

我们把某物理量在一定客观条件下的真实大小称为该物理量的真值. 由于测量仪器、

实验条件、操作测量人员及其他诸多因素的限制，测量不可能是无限精确的，所以测量结果（记为 x）与客观存在的真值（记为 x_0）之间总有一定的差异. 这种差异称为测量误差，且可表示为

$$\Delta x = x - x_0$$

测量误差既可以用绝对误差表示，也可以用相对误差表示. 上述测量误差就是绝对误差，显然，它和测量量有同样的单位. 为了评价测量量的优劣，人们引入了相对误差的概念. 相对误差被定义为“绝对误差与真值的比”，即

$$E_r = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\%$$

由于它常常以百分数的形式出现，故又称为百分误差. E_r 越小，表示测量越准确.

2. 系统误差、偶然误然和过失误差

误差根据其性质和来源可分为三类，即系统误差、偶然误差和过失误差.

1）系统误差

系统误差总是使测量结果向一个方向偏离，其数值恒定或按一定规律变化. 其来源有以下几个方面：

（1）仪器误差.

这是由于仪器本身的缺陷或没按规定条件调整、使用所造成的误差（如天平、砝码、电压电流表未按规定定期送检，以及仪器零点校正不准等）.

（2）方法误差.

这是由于实验方法本身或理论不完善所造成的误差. 例如，用伏安法测电阻时未计入电表内阻就是一个例子.

（3）个人误差.

由于观察者感官或习惯所引入的误差.

（4）环境误差.

由于外界环境（如温度、光照、电磁等）的恒定偏离规定条件而产生的误差.

对实验中的系统误差应该通过校准仪器、改进实验的仪器设备、选择更好的实验方法或进行合理的理论修正来消除或者尽量地使之减小. 对那些既不能修正也不能消除的系统误差，应根据具体情况在测量误差（或测量不确定度）中反映出来.

2）偶然误差

测量时，由于某种偶然的原因使测量结果在测量的平均值附近起伏变化，由此产生的误差，称为偶然误差. 这些偶然的因素（如温度的忽高忽低，气流的飘忽不定，电压的漂移起伏等）在一个实验中有时还较多，会影响实验的结果. 显然，这种偶然误差是不能消除的，我们应该在测量误差（或者在测量不确定度）中反映出来.

偶然误差的特点是：在相同条件下，对同一物理量做多次重复测量（专业术语称为等精度重复测量），其测量值将有时偏大，有时偏小. 每次测量值是偏大还是偏小具有偶然性，但是只要测量的次数足够多，测量所得到的一系列数据的偶然误差就服从一定的统计规律，即正态分布规律. 大量的实验事实和统计理论都证明，在绝大多数物理测量中，当重

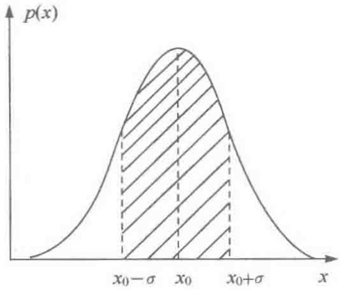


图 0-1　标准正态分布曲线

复测量次数足够多时，随机误差服从或接近正态分布（或称高斯分布）规律. 标准的正态分布曲线如图 0-1 所示，x 代表某一物理量的实验测量值，$p(x)$ 为测量值的概率密度，即

$$p(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\mathrm{e}^{-(x-x_0)^2/(2\sigma^2)}$$

曲线峰值处对应于真值 x_0，而 $x_0-\sigma$ 和 $x_0+\sigma$ 是对应于曲线的两个对称的拐点. 图中阴影部分的面积就是偶然误差落在$\pm\sigma$ 范围内的概率 p_σ，即

$$p_\sigma=\int_{-\sigma}^{+\sigma}p(x)\mathrm{d}x=68.3\%$$

这就是说，测量值 x 落在$(x_0-\sigma,x_0+\sigma)$区间中的概率为 68.3%. 用同样方法计算得到 x 落在$(x_0-2\sigma,x_0+2\sigma)$中的概率 $p_{2\sigma}=95.4\%$；x 落在$(x_0-3\sigma,x_0+3\sigma)$中的概率 $p_{3\sigma}=99.7\%$. 从图 0-1 中，我们看到偶然误差满足的统计规律有如下三个特征：

（1）对称性，绝对值相等的正误差和负误差出现的次数大致相同；

（2）单峰性，绝对值小的误差出现的次数多，绝对值大的误差出现的次数少；

（3）有界性，绝对值很大的误差（除非有错）不出现.

理论已经证明，在测量中如果仅仅存在偶然误差，且测量次数趋于无限大时，测量值的算术平均值 $\bar{x}$ 将趋近于测量的真值 x_0. 也就是说，增加测量的次数可以减小测量的偶然误差，得到较为精确的结果，但是绝不能消除偶然误差.

3）过失误差

那些因为设计错误、操作不当、仪器损坏或测读错误等人为造成的测量错误，将得到一些“坏”记录. 尽管有人把由此而产生的误差归类为过失误差，但在实质上它们不能算作误差. 在工程上，人们制定了若干法则，用来发现及“剔除”那些“坏”记录，以消除过失误差.

3. 测量不确定度

在前面，我们介绍了绝对误差 Δx 的定义. 但是由于真值 x_0 是未知的，所以 Δx 也是不确定的. 我们只能根据某种方法得到被测量的真值 x_0 所处的量值范围$(x-\Delta x,x+\Delta x)$，x 为实际测量的量值，Δx 被称为不确定度，有时简记为 Δ. 显然，不确定度是因为测量误差的存在使被测量的量值不能确定的程度，是误差可能处在某一量值范围内的一种评定. 表示完整的测量结果，应给出被测量的量值 x，同时标出测量的总不确定度 Δ，写成 $x\pm\Delta$ 的形式.

在工科大学物理实验中，对测量不确定度的估算分成两步进行，即先分别进行两类分量的估算，然后再进行合成.

A 类不确定度——在等精度重复测量中用统计方法估算出的分量 $\Delta_{A_i}(i=1,2,\cdots)$.

前面提到的偶然误差是最典型的 A 类分量之一.

B 类不确定度——用其他的非统计方法估算出的分量 Δ_{B_j} $(j=1,2,\cdots)$. 前面提到的一些不能消除的系统误差,如仪器误差就是典型的 B 类分量之一.

不确定度 Δ 是这两类不确定度各个分量的合成. 如若 Δ_{A_i} 与 Δ_{B_j} 互相独立没有关联,并且有相同的置信概率,我们约定合成不确定度 Δ 为

$$\Delta=\sqrt{\sum_i \Delta_{A_i}^2+\sum_j \Delta_{B_j}^2} \tag{0-1}$$

0.2.2　直接测量的数据处理

1. 单次测量的不确定度估算及测量结果的表示

在有些情况下,有的被测量是随时间变化的,我们无法对其进行重复测量,只能进行单次测量. 还有一些被测量,对它们的测量精度要求不高,只要进行单次测量就可以了. 当然,在正常情况下,测量应在发挥仪器精度的情况下进行. 在物理实验中,常常遇到的仪器误差是指国家标准规定的或生产厂家给出的计量工具、计量仪表的准确度等级或允许的误差范围,并且根据测试方法或使用条件的简化约定,常以 $\Delta_{仪}$ 表示. 它属于 B 类不确定度的类型. 通常 $\Delta_{仪}$ 给出的是极限误差(这里仍然用误差这个习惯称呼),它是仪器的最大可能误差,其置信概率为 99.7%. 仪器误差一般可简单地取为最小刻度的一半. 其他的会在实验中都给出. 我们约定,在绝大多数情况下,物理实验中把 $\Delta_{仪}$ 简单地作为不确定度 Δ 中非统计方法的 B 类分量 Δ_{B_j} 之一. 在单次测量的情形,由于不确定度 Δ 中其他非统计方法的 B 类分量大多可以略去,而统计方法估计的 A 类分量自然为零,故合成不确定度 $\Delta=\Delta_{仪}$. 有的时候测量偶然误差可能比较大,此时也可以估计一个误差值来作为单次测量的不确定度 Δ. 例如,用钢卷尺测量较长的距离时,不可能保证尺子拉直拉平,则可依实际情况取 $\Delta=2$ mm 或更大. 有时也可以根据测量的不同情况以及观测者实验技巧的高低来对单次测量的总不确定度做出估计.

单次测量结果的表达式是

$$x\pm\Delta(\text{单位})$$

或

$$x\left(1\pm\frac{\Delta}{x}\times100\%\right)(\text{单位})$$

其中合成不确定度 $\Delta=\Delta_{仪}$,且约定 Δ 取一位有效数字,x 的末尾有效数字与 Δ 值同数量级(俗称为尾数对齐).

2. 多次测量的不确定度估算及测量结果的表示

1) 算术平均值是真值的最佳估计值

在排除系统误差的情况下,设对一个真值为 x_0 的物理量进行 n 次等精度重复测量,其测量值分别为 $x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n$. 根据误差定义,每次测量的误差为

$$\Delta x_i = x_i - x_0 \quad (i = 1, 2, \cdots, n)$$

为求 x_0，首先对 Δx_i 求和，即

$$\sum_{i=1}^{n} \Delta x_i = (x_1 + x_2 + \cdots + x_n) - n x_0 \quad (i = 1, 2, \cdots, n)$$

两边同除以 n（为简洁起见，我们简写 $\sum$ 表示 n 项的求和），有

$$\frac{\sum \Delta x_i}{n} = \frac{\sum x_i}{n} - x_0 \qquad (i = 1, 2, \cdots, n)$$

根据偶然误差统计规律的对称性质，当 $n \to \infty$ 时，数值相等、符号相反的误差出现的概率相同，于是有

$$\lim \sum \Delta x_i = 0$$

所以

$$x_0 = \frac{\sum x_i}{n} = \overline{x}$$

这表明，当测量次数足够多时，算术平均值接近真值. 实际上，在做有限次数的测量时，算术平均值也是真值的最佳估计值. 用平均值表示多次直接测量的结果将是必然的选择.

2）多次测量的标准偏差

由于算术平均值只是真值的近似值，因此偶然误差只是一个理想的概念，根据统计学理论，对有限次数的测量，可以用标准偏差 S 来替代多次测量的偶然误差. 定义单个测量值的标准偏差 S 为

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \overline{x})^2}{n - 1}} \tag{0-2}$$

S 表示在 n 个测量的数据中各个数据间的离散程度. 任意一个 x_i 值，它的误差落在 $-S$ 到 $+S$ 范围内的概率（即置信概率）约为 68.3%. 通常的函数计算器上多带有计算 $\overline{x}$、S（或表示为 σ_{n-1}）的功能，而平均值 $\overline{x}$ 的标准偏差 $S_{\overline{x}}$ 定义为

$$S_{\overline{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \overline{x})^2}{n(n-1)}} \tag{0-3}$$

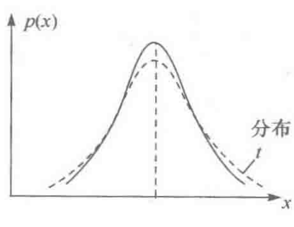


图 0-2　t 分布

平均值的标准偏差 $S_{\overline{x}}$ 反映了平均值接近真值的程度，表示在 $\overline{x} - S_{\overline{x}}$ 到 $\overline{x} + S_{\overline{x}}$ 范围内包含真值的概率为 68.3%. 实验中，测量次数通常有限，因而测量数据的分布将偏离正态分布（规范的统计规律分布），这时的分布称为 t 分布（图 0-2）. 显然，t 分布的曲线比正态分布曲线低而宽，此时应该对平均值 $\overline{x}$ 的标准偏差 $S_{\overline{x}}$ 进行修正. 其办法是将 $S_{\overline{x}}$ 乘以大于 1 的系数 $t_p(n)$，$t_p(n)$ 称为 t 分布系数. 它的值与测量次数 n、置信概率 P 有关，具体数值如表 0-1 所示.

表 0-1　不同置信概率 P、测量次数 n 的分布系数

$t_p(n)$　n / P	3	4	5	6	7	8	9	10
0.683	1.32	1.20	1.14	1.11	1.09	1.08	1.07	1.06
0.95	4.30	3.18	2.78	2.57	2.45	2.36	2.31	2.26
0.99	9.92	5.84	4.60	4.03	3.71	3.50	3.36	3.26

3）测量结果的合成不确定度

根据式(0-1)，如果B类不确定度中只含仪器误差一项，其他的B类不确定度分量为零，并且Δ_{A_i}中只剩下$S_{\bar{x}}$的贡献，于是Δ可简化为

$$\Delta=\sqrt{[t_p(n)\cdot S_{\bar{x}}]^2+\Delta_{仪}^2}$$

又根据不确定度合成的原则，各分量应该有相同的置信概率P(由前所述，$\Delta_{仪}$的置信概率约为99.7%)，这就要求$\Delta_A=t_p(n)\cdot S_{\bar{x}}$亦应有相同的概率. 为了方便估算，当测量次数为$5<n\leqslant 10$时，若我们取$t_p(n)\approx\sqrt{n}$，由表0-1可知，此时置信概率已接近或大于95%，于是$\Delta_A\approx\sqrt{n}S_{\bar{x}}=S$，不确定度$\Delta$合成公式可再次简化为

$$\Delta=\sqrt{S^2+\Delta_{仪}^2} \tag{0-4}$$

注意：

(1) 该式是在特定条件下的粗略近似，而且当S，$\Delta_{仪}$中某一个不足另一个的1/3时，则较小的一个还可以忽略；

(2) 式中S仅仅是特定条件下纯粹数字的巧合，物理意义仍然按Δ_A理解，与S的真实含义不同.

4）测量结果的完整表达式

设x已不再包含能被修正的系统误差，Δ为测量的合成不确定度，则测量结果的完整表达式是

$$x=\bar{x}\pm\Delta(\text{单位})$$

或

$$x=\bar{x}\left(1\pm\frac{\Delta}{\bar{x}}\times 100\%\right)(\text{单位})$$

其中，Δ只取一位有效数字，$\bar{x}$的末尾有效数字应该跟Δ值有相同的数量级(即尾数对齐).

5）举例

用螺旋测微器测量一根金属杆的直径D，测得的数据如下：

$$D/\text{mm}:1.516, 1.519, 1.514, 1.522, 1.513, 1.523, 1.517$$

算出：$\bar{D}=1.518$ mm，$S=0.004$ mm，$S_{\bar{D}}=0.0014$ mm. 当取置信概率为99%时，A类不确定度分量为

$$\Delta_A=t_p(n)\cdot S_{\bar{D}}=3.71\times 0.0014\approx 0.005\ (\text{mm})$$

此值跟S值很为接近. 根据我们的约定，取$\Delta_A\approx S$，结果相差不大.

对 B 类不确定度分量 Δ_B，这里我们仅考虑螺旋测微器的仪器误差 $\Delta_{仪}$. 根据国家标准，一级精度的螺旋测微器的示值误差为±0.004 mm. 在每次使用时，通常均要进行零点修正，即每个测量值是由两次测量结果相减得到(需减去零点读数)，由后面讲到间接测量的误差传播原理，得

$$\Delta_B=\sqrt{\Delta_{仪}^2+\Delta_{仪}^2}=\sqrt{0.004^2+0.004^2}\approx 0.006\ (\mathrm{mm})$$

合成不确定度 Δ 为

$$\Delta\approx\sqrt{S^2+\Delta_B^2}=\sqrt{0.004^2+0.006^2}\approx 0.007\ (\mathrm{mm})$$

所以

$$D=(1.518\pm 0.007)\ \mathrm{mm}$$

注：在今后的实验中，我们可以将包含零点修正后的螺旋测微器的仪器误差定为 $\Delta_B=0.006$ mm，这样可以避免重复计算.

0.2.3　间接测量的结果和不确定度的合成

在实际工作中，多数物理量是通过间接测量得到的. 在计算间接测量结果时，是将各直接测量的量值代入测量公式，以求得测量结果. 由于直接测量值均有一定的测量不确定度，因此，求得的间接测量结果必然也具有测量的不确定度. 表达直接测量不确定度跟间接测量不确定度之间关系的公式，被称为不确定度传播公式.

1. 不确定度的合成——不确定度传播公式

设有物理量 N

$$N=f(A,B,C,\cdots)\tag{0-5}$$

式中，N 是间接测量结果；$A,B,C,\cdots$ 是相互完全独立的直接测量结果，且分别有各自的不确定度 $\Delta A,\Delta B,\Delta C,\cdots$ 由于 $\Delta A,\Delta B,\Delta C,\Delta N$ 等都是"微小量"，相当于数学中的微分元，同时考虑到不确定度合成的统计性质，所以我们在本实验教材中，采用下列不确定度传播公式进行计算，即绝对不确定度

$$\Delta N=\sqrt{\left(\frac{\partial N}{\partial A}\right)^2\cdot(\Delta A)^2+\left(\frac{\partial N}{\partial B}\right)^2\cdot(\Delta B)^2+\left(\frac{\partial N}{\partial C}\right)^2\cdot(\Delta C)^2+\cdots}\tag{0-6}$$

或相对不确定度

$$\frac{\Delta N}{N}=\sqrt{\left(\frac{\partial \ln N}{\partial A}\right)^2\cdot(\Delta A)^2+\left(\frac{\partial \ln N}{\partial B}\right)^2\cdot(\Delta B)^2+\left(\frac{\partial \ln N}{\partial C}\right)^2\cdot(\Delta C)^2+\cdots}\tag{0-7}$$

(1) 显然，宜采用直接测量量 $A,B,C,\cdots$ 的平均值 $\overline{A},\overline{B},\overline{C},\cdots$ 去计算 $N,\Delta N,\Delta N/N$.

(2) 式(0-6)适用于和差形式的函数，式(0-7)适用于商积形式的函数.

(3) 在计算各直接测量结果的不确定度对合成不确定度的影响时，应以最大分量为标准，若有另一项是它的 1/3 或不足 1/3，例如 $\left|\frac{\partial N}{\partial C}\right|\cdot(\Delta C)\leqslant\frac{1}{3}\left|\frac{\partial N}{\partial A}\right|\cdot(\Delta A)$，则计算时即可将 $\left(\frac{\partial N}{\partial C}\right)^2\cdot(\Delta C)^2$ 项略去.