

高等院校“十四五”规划教材

大学物理实验教程

主编 薛建忠 眭永兴

**College
Physics
Experiment**



南京大学出版社



高等院校“十四五”规划教材

大学物理实验教程

编写委员会

主 编	薛建忠	眭永兴		
编 委	薛建忠	眭永兴	张剑豪	吴卫华
	刘 波	裴明旭	袁 丽	吴世臣
	朱小芹	唐 煌	胡益丰	郑 龙
	孙月梅	吴晓庆	翟良君	王 帅
	高 琪	侯丽丽	王凤飞	张 勇
	於文静	方 涛	许晓军	左旭东
	张建东	沈大华	张冬梅	



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验教程 / 薛建忠, 眭永兴主编. — 南京:
南京大学出版社, 2021. 12

ISBN 978-7-305-24836-8

I. ①大… II. ①薛… ②眭… 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(2021)第 156114 号

出版发行 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093
出 版 人 金鑫荣

书 名 大学物理实验教程
主 编 薛建忠 眭永兴
责任编辑 王南雁 编辑热线 025-83595840

照 排 南京南琳图文制作有限公司
印 刷 南京人文印务有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 20 字数 500 千
版 次 2021 年 12 月第 1 版 2021 年 12 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-305-24836-8
定 价 50.00 元

网址: <http://www.njupco.com>
官方微博: <http://weibo.com/njupco>
官方微信号: njupress
销售咨询热线: (025) 83594756

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

前 言

根据高校人才培养目标,总结近30年教学改革实践,我们认为大学物理实验的教学应贯彻因材施教的原则,创造各种有利条件,充分调动学生学习的主动性和积极性,让不同层次的学生各有所长,各得其所.教学中应注重学生基本实验素养的训练和培养,提高学生分析问题、解决问题的能力以及创新能力.实验内容的选择既要有一定的面(广度),又要有一定的点(深度).一个好的物理实验不仅能让 学生学到先进的实验方法和技能,又能促使学生勤动手,在不同条件下对实验结果进行准确分析.

近30年的基础实验教学实践中,前10年我们通过自编讲义进行实验教学,于1999年正式出版了高等工科大学试用教材《普通物理实验》,后又经过多年的实践和探索,分别于2004年出版了21世纪应用型本科院校规划教材《普通物理实验》、2016年出版了高等院校“十三五”规划教材《大学物理实验》.随着教学仪器设备项目的不断研发,以及实验室建设力度不断加大,我们教学团队对实验物理研究的成果也日趋丰富,重新编写新的实验教材也是势在必行.

本教材是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会最新制定的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》、高校人才培养目标以及作者教学团队近30年的实验物理研究成果编著的.全书包括绪论、预备实验、基本实验、选修实验及附录五部分.

误差分析与数据处理基础知识、实验基本仪器、实验课基本要求等在“绪论”部分系统介绍,对测量的评定,采用了“标准不确定度”,并且浅涉了测量统计标准及其在认可论证中的应用,引导学生能尽快适应现代技术规范.

设计编排5个入门实验作为“预备实验”,采用开放实验室的教学形式,为学生后续正式实验打基础.

各实验内容的选取与设计重视面与点的结合,实验内容体系强调实验过程与实验方法设计,强调基础性、综合性、设计性和研究性,强调分层次教学,同时增加了培训排除故障等技能的教学内容.我们设计编排了22个“基本实验”项目来系统训练学生实验技能,这些实验项目大多安排有必做与选做内容,选做内容通常

是设计性或综合性内容. 另外再安排 20 多个“选修实验”项目, 让学生了解新技术新方法, 提高综合实验能力. 资料性内容与知识性介绍等放在“附录”部分.

双频调相, 显微成像, 微机测量, 双振动合成、相位及相差, 偏振态等科研成果渗透在全书相关部分. 另外还设计了部分无害破坏性实验内容, 依据科研成果也设计或编排了选修实验项目.

作者团队近 30 年的实验开放教学及其教学管理手段等, 也在书中有所体现.

本教材的编著出版, 得到了江苏理工学院的领导尤其是教务处的大力支持, 谨致深切的谢意.

我们感谢读者给予的支持. 由于水平有限, 错误与不妥之处在所难免, 诚恳地希望使用本教材的师生提出宝贵意见.

作者

2021 年 6 月于江苏理工学院

教学建议

要提高实验教学质量,仅有合适的教材和实验仪器是不够的,还应注重实验内容的安排及教学方式方法的选取.对如何使用本书进行实验教学作如下建议,供参考.

由于物理实验一般来说是工科学校学生进入大学后的第一门独立开设的基础实验课,实验教学宜分几个阶段进行,以达到最佳效果.

第一阶段先做“预备实验”部分的五项实验内容,采用实验室全面开放的形式进行实验教学(建议实验室开放3~4周),让学生在极短时间内为“基本实验”的顺利进行打下基础.

第二阶段让学生在实验上入门,可做“基本实验”中的必修实验部分内容.“基本实验”中的选修实验部分内容可不做,留待下一阶段进行,但要求学生在各次实验完毕后对照仪器在实验室预习或设计等.这阶段的实验要求学生写出完整的实验报告,教学方法重在“传授型”,引导学生入门.

第三阶段“分层次”教学,巩固提高.这阶段实验室开放4~5周,实验内容是:(1)学生自由地、选择性地复习第二阶段做过的实验,要求做到融会贯通,巩固提高;(2)安排学生尽可能多地选做第二阶段基本实验中的选修实验内容(包括思考题提及的实验设计内容等)和“选修实验”内容,以拓宽知识面,多掌握几种实验方法.由于有了第二阶段的基础,这阶段可有意识地将配套仪表打乱集中存放在实验室的一张桌子上,让学生按需取用(用完后要求仍放回原仪器桌上),这样可促进学生领会实验各个细节.这阶段重点是培养独立操作的实验技能,这些实验可不要求写实验报告,但要求学生写出自己设计的实验操作方案.这阶段可安排基础好的同学做较深入的测试内容,对基础差的同学要求强化练习基本实验,以做到因材施教.这阶段的管理可采用学生先登记后实验,所需小型仪器、工具等可采用“借还制”(由各班排定值日生协助教师进行各项管理).

作者

2021年6月于江苏理工学院

目 录

绪 论	1
第 1 节 物理实验课的目的和任务	1
第 2 节 误差分析与数据处理基础知识 不确定度	1
一、测量与误差的基本概念	1
二、随机误差的高斯分布 标准误差与算术平均误差的关系	4
三、等精度测量的近真值	6
四、直接测量的标准偏差与算术平均偏差	7
五、置信区间和置信概率	9
六、绝对误差 相对误差 测量的统计结果表达	10
七、单次直接测量的误差估算	12
八、间接测量的误差估算	13
九、有效数字及其运算	17
十、实验数据的图示法和图解法	20
十一、回归分析研究二变量的关系(计算法)	24
十二、系统误差	27
十三、测量不确定度评定与表示	29
十四、非等精度测量	35
十五、小结	36
十六、练习题	43
第 3 节 力学和热学实验基本仪器	45
一、游标卡尺 角游标 螺旋测微计	45
二、物理天平	49
三、气垫导轨	51
四、电脑通用计数器	55
五、温度计 气压计 湿度计	60
六、思考题	63

第4节 电磁学实验基本仪器	64
一、实验室常用电源	64
二、电阻	65
三、电表	67
四、万用表	74
五、仪器布置和线路连接	76
六、标准电池及标准器	77
七、通用信号发生器	79
八、BS-II型双频调相信号仪	82
九、双通道函数/任意波形信号发生器	84
十、思考题	92
第5节 光学仪器的使用和维护规则	93
第6节 物理实验课的基本要求	93
预备实验	96
实验1 游标卡尺、螺旋测微计和物理天平的使用	96
实验2 电学实验基本训练	99
实验3 指针式检流计的使用	102
实验4 气垫导轨和电脑通用计数器的使用	103
实验5 薄透镜焦距的测定	105
基本实验	111
实验6 单摆法测定重力加速度	111
实验7 用拉伸法测金属丝的杨氏弹性模量	115
实验8 液体表面张力系数的测定	120
实验9 三线摆法测刚体的转动惯量	123
实验10 固体线膨胀系数的测定	128
实验11 气体比热容比的测定	131
实验12 电学元件的伏安特性研究	136
实验13 用惠斯登电桥测电阻	141
实验14 电位差计的使用	148
实验15 示波器的使用	153
实验16 声速的测量	165
实验17 开尔文双臂电桥测低电阻	170
实验18 模拟法描绘静电场	174

实验 19	电子束的电偏转和电聚焦	178
实验 20	用磁控法测电子的比荷	185
实验 21	用霍尔元件测量磁场	189
实验 22	RLC 电路特性的研究	195
实验 23	分光计的调整与使用	202
实验 24	等厚干涉	207
实验 25	迈克耳逊干涉仪的调整与使用	211
实验 26	偏振现象的实验研究	217
实验 27	硅半导体太阳能电池基本特性测定	224
选修实验		230
实验 28	单摆法测定重力加速度	230
实验 29	用高压火花打点计时法测重力加速度	231
实验 30	物体密度的测定	235
实验 31	平均速度和瞬时速度	237
实验 32	牛顿第二定律	241
实验 33	动量守恒定律	243
实验 34	弹簧振子的简谐振动	245
实验 35	用电流量热器法测定液体的比热容	248
实验 36	理想气体状态方程的研究	251
实验 37	水的汽化热的测定	254
实验 38	电桥法测微安表内阻和二极管正向伏安特性	256
实验 39	双踪示波器	257
实验 40	示波器作 XY 图示意	260
实验 41	电子束的磁偏转	263
实验 42	磁场的描绘	265
实验 43	光栅衍射	269
实验 44	用极限法测固体和液体的折射率	271
实验 45	密粒根油滴实验	274
实验 46	夫兰克-赫兹实验	279
实验 47	光电效应法测普朗克常数	283
实验 48	燃料电池综合特性研究	286
实验 49	其他选修实验项目目录	293

附 录	295
附录 1 实验报告范例	295
附录 2 分压电路和限流电路的初步分析	298
附录 3 物理实验中常用的实验测量设计方法简介	300
附录 4 物理实验数据处理的基本方法简介	301
附录 5 普通物理实验室常用光源	302
附录 6 基本物理常数	304
附录 7 不同温度 t 下与空气接触的水的表面张力系数	304
附录 8 在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时与空气接触的液体的表面张力系数	305
附录 9 几种固体材料在常温范围内的线膨胀系数	305
附录 10 在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时常用固体和液体的密度	305
附录 11 常用光源的谱线波长表	306
附录 12 汞灯谱线波长	306
附录 13 在常温下某些物质的折射率	307
参考书目	308

绪 论

第 1 节 物理实验课的目的和任务

物理学从本质上来说是一门实验科学,物理概念的建立和物理规律的发现,都必须概括大量的实验事实,都必须以严格的科学实验为基础;另一方面,物理规律的正确与否、适用范围如何,也必须通过实验的检验才能正确回答.物理学上新的突破常常是通过新的实验技术得以实现的.物理实验的方法、思想、仪器和技术已经被普遍地应用在自然科学各个领域和技术部门.

物理实验课,是学生进入大学后受到系统的实验技能训练的开端,是后续课程实验的基础.其教学目的和基本任务是:

1. 通过系统的物理实验训练,使学生具有一定的物理实验基础知识和基本技能,通过实验要求学生做到:弄清实验原理,了解一些物理量的测量方法,熟悉常用仪器的基本原理和性能,掌握其使用方法;能够正确记录、处理实验数据,分析判断实验结果,并能写出比较完备的实验报告.

2. 培养和提高学生的观察与分析实验现象的能力以及理论联系实际的独立工作能力.通过实验中的观察、测量和分析,加深对物理概念、物理规律的理解.

3. 培养安装、调整实验装置的技能,培养设计实验方案和实验步骤、选取实验条件、分析实验故障等方面的能力,逐步建立创新意识.

4. 培养学生严肃认真的工作作风与实事求是的科学态度.

第 2 节 误差分析与数据处理基础知识 不确定度

一、测量与误差的基本概念

进行物理实验时,不仅要定性地观察物理变化的过程,而且还要定量地测量物理量的大小.测量是指为确定对象的量值而进行的被测物与仪器相比较的实验过程.例如一棒长与米尺相比较,得出长度为 0.85 m;通过天平将一铜块的质量与砝码相比较得出 20.85 g.

测量给出被测物的量值,必须包括数量大小及单位.

(一) 测量的分类

1. 直接测量与间接测量

一般仪表都按一定的规律刻度,以便直接读出待测量的数值.可以用仪表直接读出测量值的测量,称为直接测量,相应的物理量称为直接测量量.例如用米尺测长度,天平称质量,停表测时间,伏特计测电压,安培计测电流等,都是直接测量.但对于大多数物理量来说,需要借助于一些原理、公式,用间接的办法,由直接测量得到有关量后进行计算得出.例如,测量铜柱的密度时,我们可以用米尺量出它的高 h 和直径 d ,算出体积 $V = \pi d^2 h / 4$,用天平称出它的质量 M ,则铜柱的密度 $\rho = M / V = 4M / \pi d^2 h$.像这样一类测量称为间接测量,相应的物理量称为间接测量量.直接测量量与间接测量量,二者的界限不是绝对的,在很大程度上,取决于实验方法和选用的仪器.例如,测电阻 R ,运用电压表、电流表分别测加在电阻上的电压和电流,由 $R = V / I$ 算出的电阻,则为间接测量量;如用万用表直接测阻值 R ,则 R 为直接测量量.通常的实验过程是:直接测量出一些物理量后,再通过物理量间的联系公式,求得另一些物理量或验证某一规律;或者反过来,当规律未知时,通过实验数据的分析去建立它们之间的联系规律.

2. 测量的其他分类

按照测量次数来分,可分为单次测量和多次测量.对被测量只测一次便满足要求或受条件限制只能测一次的测量,称为单次测量;为了提高精确度,对被测量进行多次测量,然后取平均值表示测量结果的测量,称为多次测量.按照测量精度分,测量又可分为等精度测量和非等精度测量.在进行重复测量时(多次测量),都在同一条件下进行的一系列独立测量,称为等精度测量(也叫多次等精度测量);有时由于条件的限制,每次测量的条件不能相同,或者人们有意地通过改变测量条件,采用不同方法,变换测量人员,使用不同仪器等途径,对同一物理量进行测量,以进行比较和分析,这就称为非等精度测量(也叫多次非等精度测量).

(二) 误差的基本概念

任何测量都不可能进行得完全准确,无论选择怎样良好的实验方法、如何设法提高实验技术以及选择最佳的精密仪器等,实验的结果总会有一定的不准确性;当对某一物理量进行多次重复测量时也会发现,得出的一系列数据都存在细微的不同,我们说任何测量都存在误差.下面介绍一下有关测量误差的基本概念.

1. 真值

任何物质都有自身的特性,反映自身特性的物理量所具有的客观的真实的量值,称为真值.测量的目的就是力图要得到真值.但是,由于测量仪器、测量方法、环境条件、人的感官的限制以及测量程序等都不能做到完美无缺,故真值是无法测得的,只可能得到一个近似于真值的数值(称之为近真值).通常情况下,我们一般把前人和一些科学家所得到的某些物理量的标称值作为真值(也只是近似为真值).例如,黄铜密度 $\rho = 8.44 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,在干燥空气中 0°C 时声速 $v = 331.4 \text{ m/s}$,电子电荷 $e = 1.6020 \times 10^{-19} \text{ C}$ 等,可视其为真值.某些物理量不知其真值,可在消除系统误差后对其测量无限多次,将各次观测值求算术平均,则这算术平均值极近于真值.后面将证明,多次等精度测量值的算术平均值是真值的最佳估计值(简称近真值).

2. 误差与残差

观测值与真值的差值称为误差,观测值与近真值的差值称为残差,即

$$\text{误差 } \delta_i = x_i - a, \text{残差 } d_i = x_i - \bar{x},$$

式中, a 为被测物理量的真值; x_i 为对该物理量多次测量时,第 i 次的测量值; \bar{x} 为被测量的算

术平均值(近真值); δ_i 为第*i*次测量值的误差, d_i 为第*i*次测量值的残差。

由于真值不可知,所以测量的误差也不能确切知道.在此情况下,测量的任务是:

- (1) 给出被测量真值的最佳估计值(近真值).
- (2) 给出真值最佳估计值的可靠程度的估计.

通常情况下,残差也叫误差,但严格地讲,误差与残差在意义上是不完全相等的.残差也叫偏差.

3. 误差的分类

误差产生的原因有多方面,根据误差的性质及产生原因,可将误差分为三类,即系统误差、随机误差和过失误差.

(1) 系统误差

其特征是误差具有确定性.即在恒定的条件下或在条件改变时,误差按照一定的规律变化;也即在对同一物理量的测量中,误差数值的大小、方向一定或者按一定规律变化的误差,称为系统误差(简称系差).产生系统误差的原因大致是:

① 仪器的固有缺陷.如米尺刻度不准,天平砝码质量偏大或偏小,电表零点没调好,天平两臂不等长等.

② 测量方法或理论的不完善.如用单摆法测重力加速度,周期公式 $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ 是在摆角 θ 甚小时,忽略了摆线质量、摆球线度等推得的;当 $\theta \leq 2^\circ$ 时,误差在万分之一以内,当 $\theta = 10^\circ$ 时,误差可达到 1%,这可通过周密考虑和计算,推出它的修正项,适当修正公式,使系统误差尽可能地减小.

③ 个人的习性、生理特点以及其他经常的单方面的外来影响,如有人掀表测时间总是提前,估计数值总是偏高或偏低.这需要观测者长期训练及提高实验技术加以纠正.

系统误差应设法减小或消除.为此,在设计实验时应加以考虑,做完实验后就作出估计.

(2) 随机误差

其特征是误差具有随机性.经过实验者精心观察,测得的数据时大时小,不遵循固定的规律,这种在测量中具有随机性的误差为随机误差.产生的原因可能是:人们感官分辨力不尽一致,表现为每个人的估读能力不一致;外界环境条件的干扰(如温度不均匀、振动、气流等偶然因素的影响),干扰不能消除,又不能估量,便产生随机误差.随机误差也叫偶然误差.在消除了系统误差后,尽管在某一次或某几次测量中,随机误差的大小和方向没有规律,但是,许多次重复测量中,符号相反、大小相等的误差出现的机会相等,随机误差服从统计规律.由统计规律可推知,多次等精度测量的平均值更接近于待测物理量的真值.因此,可以用增加重复测量的次数使随机误差减至最小.

(3) 过失误差

也叫粗差,它是由于实验者过失或粗心造成,或使用仪器方法不当,实验方法不合理等引起.这种误差是人为的,只要实验者采取严肃认真的态度,具有一丝不苟的作风,掌握一定的理论知识及实验技能,过失误差是可以避免的.

(三) 评价测量结果的几个术语

1. 精密度

表征测量结果的重复性.重复性好,则表明测量的随机误差小.因此,精密度反映测量随机误差的大小.精密度高,则随机误差小.

2. 正确度(真实度)

表征测量值与真值的符合程度. 正确度反映系统误差的大小. 正确度高, 则系统误差小.

3. 精确度(准确度)

是测量列的精密度与正确度的总称. 显然, 只有与真值符合得很好, 而且彼此离散程度又不大的一组数据, 也就是测量精确度高的数据, 才是好的测量数据.

(四) 随机误差的表示方法

对于一系列等精度测量结果的随机误差的大小, 我们主要介绍两种估计形式.

1. 标准误差 σ

对同一物理量进行多次等精度测量, 得到一测量列 (x_1, x_2, \dots, x_n) , 将各次测量的误差 $(x_1 - a, x_2 - a, \dots, x_n - a)$ 的平方取平均值再开方, 即定义为该测量列的标准误差, 也称作方均根误差. 我们用符号 σ 表示

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - a)^2},$$

式中 n 为对同一物理量进行多次等精度测量的次数, a 为物理量的真值, x_i 为第 i 次测量的测量值.

2. 算术平均误差 η

对物理量 x 进行多次等精度测量, 各次测量误差的绝对值的算术平均值, 定义为算术平均误差, 也叫平均绝对误差. 我们用符号 η 表示

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - a|.$$

必须注意, 标准误差与算术平均误差反映的都是同一测量列数据的精密程度(随机误差), 因此, 就这个意义上来说, 不论用哪一种方法来表示误差的大小都是可以的. 由于算术平均误差具有计算比较简单的特点, 容易为初学者掌握, 因此, 在实验的初期教学中, 常常采用这种方法. 而标准误差能较好地反映测量数据的离散程度, 它对测量值中较大误差或较小误差的出现, 感觉比较灵敏, 因此, 在科学文献报告中, 更通用的是标准误差.

算术平均误差 η 与标准误差 σ 的数值关系, 按随机误差的统计特性可以推得其关系式为 $\eta = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sigma \approx 0.7979 \sigma$ (见第 6 页推导). 关于标准误差与算术平均误差的物理意义, 我们放到后面相关部分介绍.

二、随机误差的高斯分布 标准误差与算术平均误差的关系

假设没有系统误差的情况下, 对同一物理量进行 n 次等精度测量, 可得到一个测量列: $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$, 则各次测量的误差分别为 $(x_1 - a, \dots, x_i - a, \dots, x_n - a)$. 由于随机因素的影响, 测量列的 n 个结果都有一些微小差异, 各次测量的误差也有一些微小差异. 当测量次数相当多时, 这些随机误差就有规律可循. 研究具有随机性的误差理论的数学理论基础是概率论、数理统计和随机过程理论. 根据实验情况的不同, 随机误差出现的分布规律有高斯分布(又称正态分布)、 t 分布、均匀分布以及反正弦分布等等. 我们仅简单介绍随机误差的高斯分布.

(一) 随机误差的高斯分布

大量实验事实得出随机误差的公理有三点:

1. 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的概率大。
2. 大小相等,正负相反的误差出现的机会相等。
3. 超过某一极限的误差,实际上不会出现。

根据以上三点,高斯于1795年找到了随机误差的概率密度分布函数 $f(\delta)$,我们称之为高斯分布:

$$f(\delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}, \quad (0-1)$$

式中 σ 是标准误差,其定义式为

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - a)^2}, \quad (0-2)$$

式中, n 为测量次数(相当多), $\delta_i = x_i - a (i = 1, 2, 3, \dots, n)$, 为各次测量值的误差。

随机误差的高斯分布,其特征可以用高斯分布曲线形象地表述,如图0-1(a)所示。横坐标为误差 δ ,纵坐标为误差的概率密度分布函数 $f(\delta)$ 。

测量值的随机误差出现在 δ 到 $\delta + d\delta$ 区间内的概率为 $f(\delta)d\delta$,即图0-1(a)中阴影线所包含的面积元。

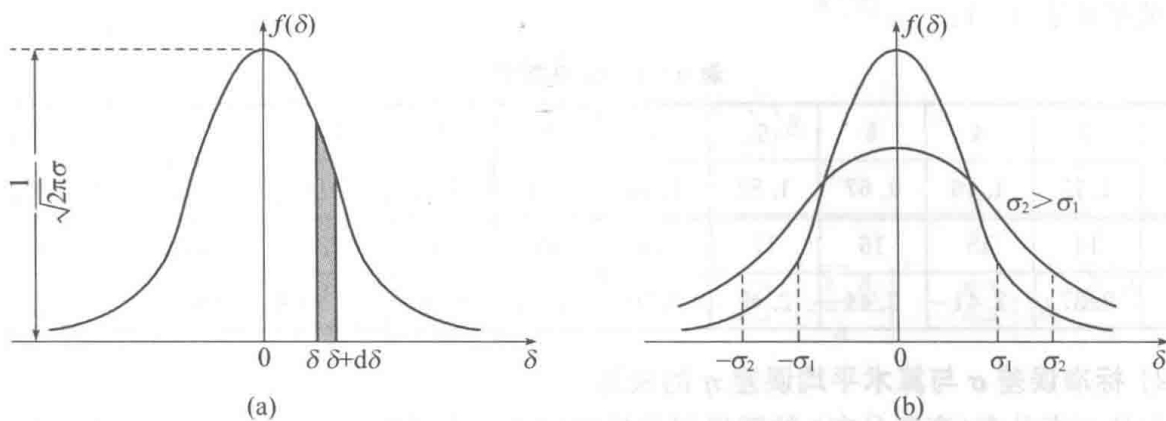


图0-1 随机误差的高斯分布曲线

(二) 标准误差的物理意义

由式(0-1)可知,随机误差正态分布曲线的形状取决于标准误差 σ 值的大小。 σ 值愈小,分布曲线愈陡峭, $f(\delta)$ 的峰值愈高,说明绝对值小的误差占多数,且测量值的重复性好,分散性小;反之, σ 值愈大,曲线愈平坦, $f(\delta)$ 的峰值愈低,说明测量值的重复性差,分散性大。如图0-1(b)所示。因此,标准误差反映了测量列测量值的离散程度。

由于 $f(\delta)d\delta$ 是测量值的随机误差出现在小区间 $(\delta, \delta + d\delta)$ 的概率,则测量值误差出现在区间 $(-\sigma, \sigma)$ 内的概率是

$$P(-\sigma < \delta < \sigma) = \int_{-\sigma}^{\sigma} f(\delta) d\delta = \int_{-\sigma}^{\sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} d\delta = 68.3\%.$$

这说明对任一次测量,其测量值误差出现在 $-\sigma$ 到 $+\sigma$ 区间内的概率为 68.3%。也就是说,假如我们对某一物理量在相同条件下进行了 1000 次测量,则测量值误差可能有 683 次落在 $-\sigma$ 到 $+\sigma$ 区间内。这里要特别注意标准误差的统计意义,它并不表示任一次测量值的误差就是 $\pm\sigma$,也不表示误差不会超出 $\pm\sigma$ 的界限。标准误差只是一个具有统计性质的特征量,用以