



哈尔滨师范大学优秀教材出版基金资助项目

普通物理实验

主编 王景聚 吕守林 焦秀烨

东北林业大学出版社

 哈尔滨师范大学优秀教材出版基金资助项目

普通物理实验

主编 王景聚 吕守林 焦秀烨

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

普通物理实验/王景聚, 吕守林, 焦秀烨主编. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2009. 7

ISBN 978-7-81131-539-4

I. 普… II. ①王…②吕…③焦… III. 普通物理学—实验—高等学校—教材 IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 133494 号

责任编辑: 付 佳 倪乃华

封面设计: 彭 宇



NEFUP

哈尔滨师范大学优秀教材出版基金资助项目

普通物理实验

Putong Wuli Shiyan

主编 王景聚 吕守林 焦秀烨

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

东 北 林 业 大 学 印 刷 厂 印 装

开本 787 × 960 1/16 印张 16.5 字数 286 千字

2009 年 7 月 第 1 版 2009 年 7 月 第 1 次 印刷

印数 1—2 000 册

ISBN 978-7-81131-539-4

定价: 36.00 元

内 容 简 介

本书打破了传统实验教材的编写体系,建立了适应 21 世纪发展的普通物理实验课程的新的教材体系.全书共分四章,第一章讨论实验误差及数据处理,为物理实验打下理论基础;第二章为基础性实验,介绍力学、热学、电磁学和光学实验中的基础性实验,通过基础性实验训练,学生可以加强对物理实验方法和数据处理部分的理解,初步掌握物理实验技能;第三章为综合性实验,注重对学生综合实验能力、科学素质和创新能力的培养;第四章为设计性实验,通过设计性实验训练,激发学生强烈的学习热情,变学生的被动学习为主动学习,提高学生的创新思维能力.

本书可作为高等学校本科物理及相近专业普通物理实验课教材,也可供高等专科学校相关专业使用和社会读者阅读.

编者的话

普通物理实验是高等师范院校对学生进行科学实验基本训练的一门必修基础课，是大学生接受系统实验方法和技能训练的开端，是对学生进行科学训练的重要基础。在过去的较长一段时间里，这一观点一直是物理实验教学的指导思想。通过物理实验，学生掌握了一定的基本知识、基本技能和基本方法，接受了科学实验的初步训练，为以后的学习打下了一定的实验基础。但是，这种实验教学也引起了一些不容忽视的问题，既容易把基本训练的“三基”（基本知识、基本技能和基本方法）教学要求统得过死，把“训练”看得过重，在每个实验中，都定要求、定内容和定步骤，学生只能循规蹈矩、按部就班，思维定势严重，学生的学习积极性受到严重制约。另外，常规实验大都是一些经典的、传统的，而反映现代高新技术内容的比较少；验证性的实验较多；实验技术比较陈旧；力、热、电、光各自独立的实验多，而综合的实验少。常规实验在教学内容、教学模式、教学方法上的种种弊端已引起人们的充分重视。近几年，全国高校已开始进行实验教学的改革，一方面不断充实和加强现代高科技内容，转变教学观念、教学思想，另一方面积极探索各种教学模式和教学方法。现在已出现基础性实验、综合性实验、开放性实验、设计性实验、应用性实验、专门化实验等各种不同类型的实验，并且它们正在被不断实践和改进。

传统的普通物理实验课程体系是由各自独立的力学、热学、电磁学和光学实验构成的，限制了学生跨学科思维能力和创新能力的培养。本书打破了传统的实验教材编写体系，建立了适应 21 世纪发展的普通物理实验课程的新的教材体系。在保留了传统实验教学内容的基础上，突出了现代技术在传统实验中的应用。本书的编写设想是建立基础性（验证性）实验、综合性实验和设计性实验教学体系，注意加强学生的基本训练，特别是加强操作技能的训练，适当扩充了一些新的实验选题，对仪器介绍和实验步骤做了适当的简化处理，以利于学生主动地思考问题。本着培养学生“厚基础，强能力，高素质”的原则，为了适当提高基础实验的起点，对于验证性实验，应选择物理实验思想和方法较为典型，对培养学生的思维能力和科学研究方法效果显著的实验项目。在实验内容安排上按照由浅入深和循序渐进原则进行。如测定金属的杨氏模量实验中，基础性实验可以采用传统的光杠杆法，

而综合性实验采用动态法或霍耳位置传感器方法,使学生在不同的实验方法中体会到现代实验方法的魅力。

全书共分四章,第一章为讨论实验误差及数据处理,为物理实验打下理论基础;第二章为基础性实验,介绍力学、热学、电磁学和光学实验中的基础性实验,通过基础性实验训练,学生可以加强对物理实验方法和数据处理部分的理解,初步掌握物理实验技能;第三章为综合性实验,注重对学生综合实验能力、科学素质和创新能力的培养;第四章为设计性实验,通过设计性实验训练,激发学生强烈的学习热情,变学生的被动学习为主动学习,提高学生的创新思维能力。

本书的绪论、第一章和第二章(实验2-1至实验2-22)由哈尔滨师范大学王景聚编写,第三章和第四章由哈尔滨师范大学吕守林编写,第二章(实验2-23至实验2-33)及全书插图和习题由哈尔滨师范大学焦秀烨编写,最后全书由王景聚统稿和审稿。本书编写过程中,参阅了兄弟院校的有关教材,汲取了其中的宝贵经验,在此对它们的作者深表谢意。由于时间仓促,书中的缺点在所难免,诚恳希望广大同行给予批评指正。

本教材为哈尔滨师范大学优秀教材出版基金资助项目。

编 者

2009年6月

目 录

绪 论	(1)
第一章 实验误差与数据处理	(4)
第一节 测量与误差	(4)
第二节 误差的来源及分类	(5)
第三节 偶然误差	(7)
第四节 粗大误差的判别与剔除	(11)
第五节 系统误差	(13)
第六节 测量结果的不确定度	(17)
第七节 有效数字	(21)
第八节 作图法处理数据	(23)
第九节 直线拟合	(24)
第十节 电磁学实验基本知识	(25)
第二章 基础性实验	(33)
实验 2-1 气轨上直线运动研究	(33)
实验 2-2 长度测量	(38)
实验 2-3 固体密度的测量	(42)
实验 2-4 分析天平	(45)
实验 2-5 单摆	(48)
实验 2-6 自由落体测定重力加速度 (火花计时法)	(49)
实验 2-7 扭摆法测定物体的转动惯量	(51)
实验 2-8 三线摆	(54)
实验 2-9 杨氏模量的测定 (伸长法)	(57)
实验 2-10 气垫导轨上简谐振动研究	(59)
实验 2-11 弹簧振子的受迫振动	(61)
实验 2-12 液体粘度的测定 (落球法)	(64)
实验 2-13 金属线胀系数的测定	(66)
实验 2-14 弦振动的研究	(67)
实验 2-15 静电场的描绘	(69)
实验 2-16 学习使用万用电表	(71)

2 普通物理实验

实验 2-17	铜丝电阻温度系数的测定	(78)
实验 2-18	用惠斯登电桥测电阻	(79)
实验 2-19	用板式电位差计测量干电池的电动势和内阻	(82)
实验 2-20	学习使用示波器	(84)
实验 2-21	交流电桥	(95)
实验 2-22	霍耳系数的测定	(99)
实验 2-23	薄透镜焦距的测定	(104)
实验 2-24	平行光管的调节与使用	(109)
实验 2-25	分光计的调节与使用	(113)
实验 2-26	棱镜玻璃折射率的测定	(118)
实验 2-27	液体折射率的测定	(121)
实验 2-28	用棱镜摄谱仪测定光波波长	(123)
实验 2-29	用牛顿环测定透镜曲率半径	(130)
实验 2-30	用双棱镜测定光波波长	(133)
实验 2-31	全息照相	(136)
实验 2-32	偏振现象的观察与分析	(142)
实验 2-33	迈克尔逊干涉仪的调节与使用	(148)
第三章	综合性实验	(154)
实验 3-1	声速的测量	(154)
实验 3-2	液体表面张力系数的测定	(157)
实验 3-3	用稳态平板法测定不良导体的导热系数	(158)
实验 3-4	用霍耳位置传感器测量杨氏模量	(161)
实验 3-5	空气比热容比的测定	(163)
实验 3-6	动态法测定杨氏模量	(166)
实验 3-7	LRC 电路稳态特性的研究	(167)
实验 3-8	用电位差计校准精密电表	(171)
实验 3-9	动态法测定铁磁物质的磁化曲线	(177)
实验 3-10	螺线管磁场的测量与描绘	(179)
实验 3-11	RC 及 RL 电路暂态特性的研究	(183)
实验 3-12	RLC 串联电路谐振特性的研究	(187)
实验 3-13	用双臂电桥测低电阻	(194)
实验 3-14	单色仪的定标和滤光片光谱透射率的测定	(196)
实验 3-15	利用光电效应测定普朗克常量	(201)
实验 3-16	单缝衍射光强的分布	(204)

实验 3-17	超声光栅	(208)
实验 3-18	蔗糖溶液旋光性的研究	(211)
实验 3-19	半导体 PN 结的物理特性	(215)
实验 3-20	居里温度的测量	(219)
实验 3-21	金属箔式应变片传感器实验	(222)
实验 3-22	电涡流式传感器实验	(225)
第四章	设计性实验	(229)
实验 4-1	设计性实验基础知识	(229)
实验 4-2	弹簧振子的简谐振动研究	(231)
实验 4-3	万用表的设计与制作	(232)
实验 4-4	用伏安法测定二极管的特性曲线	(237)
实验 4-5	凹透镜焦距的测定	(241)
实验 4-6	光栅特性及光波波长的测定	(242)
实验 4-7	伏安法测电阻	(245)
实验 4-8	电表内阻的测量	(246)
实验 4-9	黑盒子实验	(249)
实验 4-10	数字电压表的改装	(249)
实验 4-11	电流表扩程与校准	(252)
实验 4-12	测定钠光 D 双线的波长差	(254)
实验 4-13	利用钢板尺测量激光的波长	(255)

绪 论

物理学是一门建立在实验基础上的学科，无论是物理概念的建立还是物理规律的发现都必须以严格的科学实验为基础，并通过今后的科学实验来证实。可以说科学实验是人类文明发展的积极推动力之一。

物理学史上首先把科学的实验方法引入到物理学研究中来，从而使物理学走上真正科学道路的，是16世纪意大利物理学家伽利略（Galileo Galilei, 1564—1642）。在他所设计的斜面实验中，蕴藏着丰富的物理思想。牛顿在伽利略的斜面和落体实验基础上建立了运动三定律。麦克斯韦在奥斯特的“电生磁”实验和法拉第的“磁生电”实验基础上建立了统一的电磁场理论。实验设备、实验方法和实验技术的不断完善和提高，进一步推动了物理学的发展。综观当代最引人注目的诺贝尔奖，宗旨是奖给有最重要发现和发明的人。据统计，1901年以来，因实验物理学方面的伟大发现或发明而获奖的科学家就有100多人。如1901年，首届诺贝尔物理学奖得主是德国人伦琴（W. C. Röntgen），他因发现X射线而获奖；1902年的得主是荷兰人塞曼（P. Zeeman），他在1894年发现光谱线在磁场中分裂的现象；1903年的得主是法国人贝克勒尔（H. A. Becquerel）和居里夫妇（P. Curie, M. S. Curie），他们发现了天然放射性。由此可见，这些实验方面的发现已被公认为物理学发展中的最伟大的成就。正如丁肇中教授在1976年荣获诺贝尔物理学奖时在一封信中说的那样：“事实上，自然科学理论不能离开实验的基础。物理学是从实验中产生的。”

物理实验在物理学的创立和发展中占有十分重要的地位，通过实验可以提出、建立和检验物理理论，物理实验也是学习和研究物理理论的重要方法。因此，在物理系普通物理实验是一门独立的专业基础课。

一、普通物理实验课的目的

物理实验教学必须贯彻理论联系实际的原则，加强实验教学。特别是对物理系本科生而言，必须经过系统严格的物理实验训练。本课程在选题上顾及了一般的基本物理量的测量，所使用的仪器的特点是基本的、简单的，其目的是训练学生的动手能力，启发学生的思维，搞清物理概念，从而初步培养学生学会用实验手段解决实际问题的能力。概括起来，这门课程的教学目的是：

2 普通物理实验

- (1) 通过观察、测量和分析, 培养学生学习物理实验的基本知识、基本方法, 培养基本实验技能;
- (2) 通过实验加强学生对物理概念和理论的认识;
- (3) 通过实验培养学生严肃认真, 实事求是的科学态度和工作作风;
- (4) 为以后学习近代物理实验及专业物理实验打下扎实的基础。

二、实验课的过程及要求

物理实验是学生在教师指导下独立进行实验的一项实践活动, 因此在实验过程中应当充分发挥学生的主观能动性, 有意识地培养他们独立的工作能力和严谨的工作作风。做物理实验应做好以下工作。

1. 实验预习

实验前的准备是保证实验顺利进行, 并能取得满意结果的重要步骤, 主要包括以下几个方面的准备。

(1) 理论的准备 学生在实验前要反复阅读实验教材及其他有关的参考书, 弄清实验原理, 否则实验将是盲目的, 难以达到预期的效果。

(2) 实验仪器的准备 了解实验仪器的工作原理、工作条件及操作规程, 了解实验室为何选用这样的装置和仪表, 是否还有其他的实验装置可用。

(3) 观察的准备 掌握实验步骤、注意事项和设计记录表格。

实验预习一般由学生在实验前独立完成, 要求学生在充分做好预习的基础上, 写出实验预习报告。预习报告主要包括实验步骤及记录表格等内容。实验前教师要检验每个学生的预习报告, 并通过提问和讨论的形式检查预习的质量。

2. 实验的观测与记录

实验时应遵守实验室规章制度; 仔细阅读有关仪器使用的注意事项或仪器说明书; 在教师指导下正确使用仪器, 注意爱护, 稳拿妥放, 防止损坏。对于电磁学实验, 必须经教师检查电路的连接正确无误后, 方可接通电路进行实验。实验进行时, 应合理操作, 认真思考, 仔细观察, 把实验数据细心地记录在预习报告的数据表格内。记录时用钢笔或圆珠笔, 不要用铅笔。如需要删去已记入的数据, 可用笔划掉, 同时注明原因。切勿先将数据随意记在草稿纸上, 然后再誊写在表格上, 这是一种不科学的习惯。此外, 还要记下所用仪器的型号、规格, 并写进正式的实验报告, 便于以后核对数据时查用。

在测量之前, 要对仪器进行安装和调试, 必须满足仪器的正常工作条

件.如使用千分尺时要注意调整好零点,使用天平时要把天平立柱调铅直等.有些学生不注意耐心细致地去调试仪器,而忙于进行测量,结果使测量的误差较大,不得不重新进行调试仪器和重做实验.

在观测中要做到精神集中、细心和耐心,只有这样才能避免观测的错误.实验记录是以后计算与分析问题的依据,要求学生把测得的数据记录在预习报告的表格中.要求实验记录简洁、清楚,要注明单位,不得涂改,实验结束教师要在记录表格上签字.

3. 数据处理与实验报告

数据处理包括计算实验结果和计算误差等工作,一般可在实验中进行,这样有利于发现实验中存在的问题,以便在反复的操作中得到解决.写实验报告是对实验记录、总结和深入理解的过程,这对培养学生分析、总结问题的能力是十分必要的.实验报告要求独立完成,决不允许互相抄袭,报告应字迹清楚、文理通顺、图表美观.

实验报告的内容应包括:

- (1) 题目名称、实验者姓名、实验日期;
- (2) 实验目的;
- (3) 实验原理摘要(用自己的语言简要叙述);
- (4) 实验仪器及装置;
- (5) 数据记录(将预习报告所记录的数据仔细转记于此)、实验数据处理;
- (6) 实验结果与讨论(实验中观察到的现象的分析,特别是异常现象及其解释;改进实验的建议;实验后的体会;实验中存在的问题;回答实验思考题等).

三、实验室学生守则

(1) 学生实验前要做好预习,写出实验预习报告,经教师检查后方可进行实验.

(2) 遵守课堂纪律,保持实验室整洁、肃静.

(3) 使用电源时务必经过教师检查电路后才能接通电源.

(4) 爱护实验仪器.使用仪器必须按操作规程进行,不得随意拆卸仪器,如发现仪器有故障或异常现象,要立即停止使用并请教师检查.实验中如有仪器损坏,要按照有关规定赔偿.

(5) 实验结束,要把仪器整理还原,并在卡片上简要说明仪器的使用情况,经教师检查并在实验原始数据上签字后,方可离开实验室.

(6) 实验室的一切器材,非经允许一律不得带出实验室.

第一章 实验误差与数据处理

第一节 测量与误差

实验误差是一门专门的科学，深入地研究它，需要有丰富的实验经验和较多的数学知识，这里仅介绍有关测量误差的基本知识，要求学生着重了解它的物理内容，学会简单的计算，领会误差分析的思想对于做好实验的意义。

1. 直接测量和间接测量

物理实验大致可以包括两方面的内容，即既定性地观察物理现象和定量地测量物理量的大小，进而用实验的方法研究各种物理规律。

所谓测量，就是用物理的方法，将被测量与作为单位的标准量相比较的认识过程。被测量是单位量的倍数，称为被测物理量的测量值。从获得测量结果的一般方法来分类，所有测量可以分为直接测量和间接测量两大类。

使被测物理量与作为标准的单位量直接比较，或者使用预先按标准量刻度的测量仪器进行测量，从而直接获得被测物理量的测量值（不需要通过物理公式进行计算），此种测量称为直接测量，如用天平测量物体的质量，用游标卡尺测量物体的长度，用安培表测量电流等。有些测量在直接测量的基础上通过计算才能得到测量结果，这类测量是间接测量，如用单摆测重力加速度等。显然，直接测量是间接测量的基础。

2. 等精度测量和不等精度测量

如果对某一物理量重复测量多次，每次测量条件都是相同的（同一观察者、同一仪器、同样的实验方法、相同的实验条件），那么我们没有理由说某一次（或某几次）的测量更可靠或更不可靠，这种测量叫做等精度测量。实际上，一切物质都在运动中，没有绝对不变的人和事物。只要其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。如果在每次测量中，有一个或几个条件是不同的，这种测量就是不等精度测量。本书后面提到的对一个量的多次测量都是指的等精度测量。

3. 测量误差

每一个物理量都是客观存在的，我们把被测量在一定条件下的真实大小

称为该量的“真值” (True value) 记为 x_0 ，而把某次对它的测量得到的值记为 x 。在任何测量中，我们称 x 与 x_0 之差为测量误差，用 Δx 表示，即

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1.1-1)$$

Δx 称为绝对误差 (Absolute Error)。

测量结果误差的大小，反映了我们认识客观真实的程度，反映了测量结果的可靠程度。要比较不同大小的物理量，或者要比较对同一物理量在不同条件下的测量工作的质量，仅用测量结果的绝对误差 Δx 的大小来衡量是不够的，还应考虑测量量本身的大小，这里引入一个相对误差的概念。相对误差 (Relative Error) 的定义为

$$E = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% \quad (1.1-2)$$

误差存在于一切测量之中，而且贯穿过程的始终。每使用一种仪器，进行一次测量，都会引入误差。测量所依据的方法和理论越繁多，所用的仪器装置越复杂，所经过的时间越长，引入误差的可能就越大。弄不好，就不一定能达到提高测量精确度的目的。所以，无论在实验中进行测试或者处理数据时，都要着眼于减少误差，尽可能使测量结果接近真值。

第二节 误差的来源及分类

误差根据产生原因和性质一般可以分为三类，即系统误差、偶然误差和粗大误差。

1. 系统误差

在相同条件下多次测量同一量时，测量结果出现固定的偏差，这种误差叫做系统误差或定值误差。在重复测量中，误差的大小及符号均不改变，或是按一定的规律（如线性规律等）改变。误差的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，或仪器安装调节不当，或测量时外界条件改变所引起的。如温度计的零点不准，天平砝码不准确，等臂天平的两臂实际不完全相等，使用电表时指针的实际转轴偏离表盘的圆心，在 20℃ 下标定的标准电阻在 30℃ 下使用等。

(2) 理论（方法）误差 这是由于对测量方法研究不够，测量所依据的理论公式本身的近似性，或实验条件达不到理论公式所规定的要求，或测量方法带来的。如用精密天平作精密称量时没有考虑空气浮力对测量的影响，伏安法测电阻由于电表内阻的影响，使测量值比实际值总是偏大或偏小。

(3) 环境条件误差 在测量过程中, 由于周期性的温度、气压、电磁场等外界环境按一定规律变化而引起的误差。

(4) 个人误差 这是由于实验者本人生理或心理特点造成的。如用停表时, 有的人总是计时提前, 有的人总是计时滞后。

应该指出的是, 个人误差不包括由于实验者粗心所造成的错误。如将数字读错或写错单位等。

系统误差是由一些确定的因素引起的, 在相同条件下, 通过增加测量次数并不能发现和消除系统误差, 必须从产生系统误差的根源上, 或用实验的方法, 或用符合实际的测量方法消除它。在处理系统误差时, 常将它分为两类来考虑, 即已定系统误差和未定系统误差。前者指其误差的符号和绝对值均已确定, 而后者则是指误差符号或绝对值尚未确定。因此, 在实验前应对测量中可能产生的系统误差做充分的分析和估计, 并采取必要的措施尽量消除其影响。发现和减小实验中的系统误差是一项困难的任务, 需要对整个实验的原理、方法、测量步骤、所用仪器等引起误差的因素逐一进行分析。一个实验结果是否正确, 往往就在于系统误差是否已被发现和尽可能消除。

2. 偶然误差

如果实验中已理想地消除了系统误差, 在对某一物理量进行多次等精度测量时, 还是发现每次测量值之间有差异。显然, 这种差异是由于各次测量存在不同的误差所引起的。这种误差的大小和符号不固定, 叫做偶然误差。这类误差的起因是多方面的, 主要是由于测量过程中一些偶然的或不确定的因素所引起的。如测试者感官的分辨能力不尽相同, 表现为每个人的估读能力的不一致; 外界环境的干扰既不能消除又无法估计。这些因素一般无法预知, 也难以控制。有时偶然误差称为随机误差。因此, 对于任何一次测量, 可能出现的偶然误差, 其绝对值的大小和符号, 都是不可能预先确定的。然而, 当测量次数足够多时, 偶然误差服从正态分布 (或称高斯分布) 规律。

3. 粗大误差

由于实验者读数或计算时发生错误、测量的仪器故障和实验条件失常而引入的明显偏离实验曲线的误差叫粗大误差。这种误差明显超出统计规律预期值。粗大误差的实验数据是不可靠的, 关于这种误差的判别方法见本章第四节粗大误差的判别与剔除。

由于系统误差与偶然误差的来源和性质各不相同, 为了表示它们对测量结果的影响, 通常用精密度、正确度和准确度评价测量结果的优劣。测量的精密度高表示测量数据比较集中, 多次测量时重复性好, 因此偶然误差小, 但系统误差不明确; 测量的正确度高, 表示测量数据的平均值偏离真值较

少, 测量结果的系统误差较小, 但数据分散, 偶然误差大小不明确; 测量的准确度 (或精确度) 高表示测量数据比较集中在真值附近, 即综合反映测量结果的系统误差和偶然误差都比较小. 这里我们以射击打靶时的弹着点分布 (图 1.2-1) 为例, 说明三个词的意义. 图 1.2-1 (a) 的弹着点明显偏离靶心, 存在系统误差, 但弹着点比较集中, 离散程度不大, 因此可以说射击的精密度高但正确度较差; 图 1.2-1 (b) 的弹着点比较分散, 说明精密度不高, 但是弹着点分布没有出现明显的固定偏离, 说明正确度较高; 图 1.2-1 (c) 的弹着点反映系统误差和偶然误差都很小, 因此精密度和正确度均好, 即精确度高.

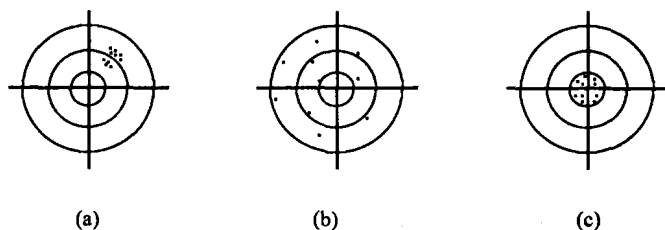


图 1.2-1 精密度、正确度和准确度表示的意义

第三节 偶然误差

1. 多次测量的算术平均值

假定实验已消除了系统误差, 在相同测量条件下, 对某量 N 进行 n 次等精度、独立的测量, 得到测量值为 $x_1, \dots, x_i, x, \dots, x_n$, 则测量值的算术平均值定义为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.3-1)$$

可以证明 $\bar{x}$ 是真值 x_0 的最佳估计值.

2. 偶然误差的正态分布规律

大量实践证明, 偶然误差服从正态分布 (高斯分布) 规律.

- (1) 有界性: 偶然误差的绝对值不能超过一定的限度;
- (2) 单峰性: 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的概率大;
- (3) 对称性: 当测量的次数无限多时, 绝对值相等的正误差和负误差出现的概率相等;

(4) 抵偿性: 当测量的次数无限多时, 由于正负误差互相抵消, 偶然误差的算术平均值为零。

在实际问题中, 测量的次数总是有限的, 测量值的算术平均值比较接近真值, 我们可以把它叫做真值的最佳估计值。

3. 偶然误差几率密度分布函数

根据实验和统计理论可知, 正态分布的几率密度分布函数为

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (1.3-2)$$

式中 σ 是标准误差。

图 1.3-1 为几率密度分布曲线。误差是否符合正态分布, 可以用正态性检验方法检查。

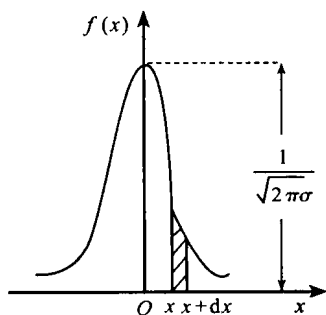


图 1.3-1 偶然误差的正态分布函数

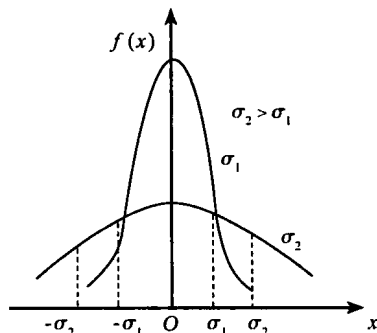


图 1.3-2 具有不同 σ 值的两个正态分布

在一定条件下对同一量进行多次测量, 随机误差的统计分布是确定的, 即 σ 有一确定值。测量条件不同的随机误差的离散性不同, 也就是概率密度函数 σ 不同 (如图 1.3-2)。 σ 小表示测量的离散性小 (数据集中), 精密度高; σ 大表示测量的离散性大 (数据分散), 精密度低。

4. 标准误差 σ 的统计意义和计算方法

根据误差的定义, 由于真值不能确定, 那么误差只能估计, 通常以标准偏差来表示偶然误差, 其定义为

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2} \quad (1.3-3)$$

式中 σ 称为测量列中单次测量的标准偏差, σ^2 称为方差, n 代表测量次数, 当 $n \rightarrow \infty$ 时上式成立。由式 (1.3-2)、式 (1.3-3) 及误差的定义可以证明: