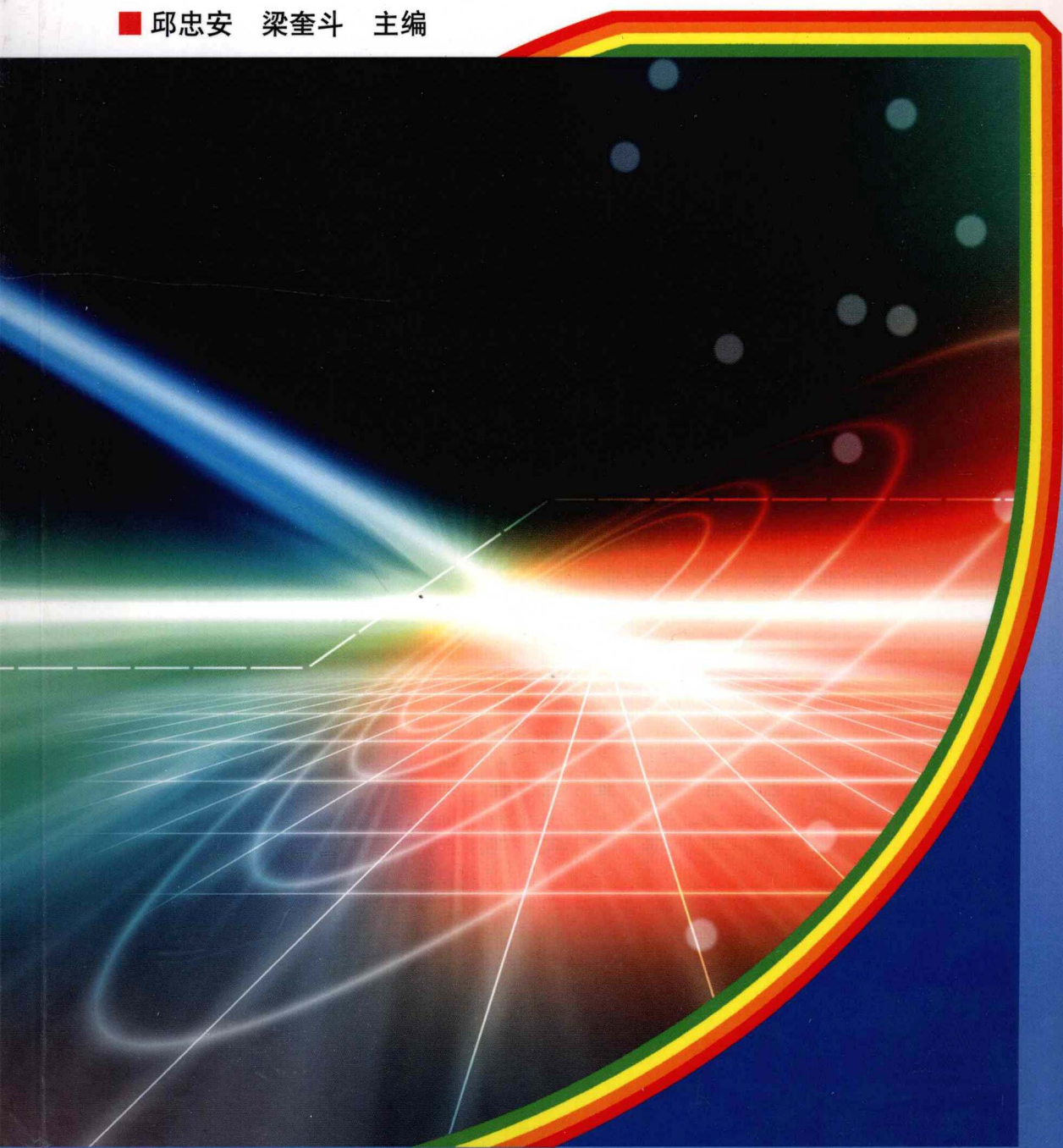


普通 PUTONGWULISHIYAN 物理 实验

■ 邱忠安 梁奎斗 主编

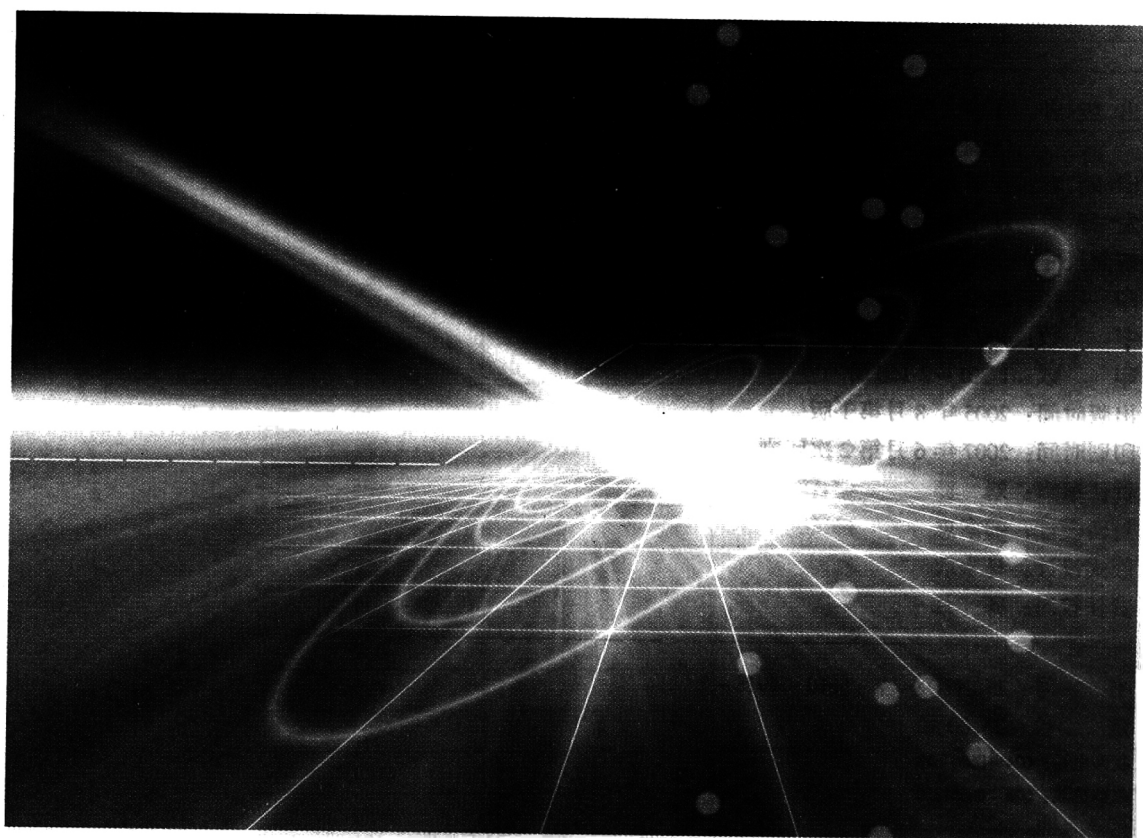


辽宁大学出版社

普通物理实验

PUTONGWULISHIYAN

■ 邱忠安 梁奎斗 主编



辽宁大学出版社

© 邱忠安 梁奎斗 2005

图书在版编目(CIP)数据

普通物理实验/邱忠安,梁奎斗主编.—沈阳:辽宁大学出版社,2005.8(2007.6重印)
ISBN 978-7-5610-4918-1

I. 普... II. ①邱... ②梁... 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 (2005) 第 091880 号

出 版 者: 辽宁大学出版社

(地址: 沈阳市皇姑区崇山中路 66 号 邮政编码: 110036)

印 刷 者: 抚顺光辉彩色广告印刷有限公司

发 行 者: 辽宁大学出版社

幅面尺寸: 185mm×260mm

印 张: 20.25

字 数: 480 千字

印 数: 1 301~2 160 册

出版时间: 2005 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2007 年 6 月第 2 次印刷

责任编辑: 刘 葵

封面设计: 邹本忠

版式设计: 马永政

责任校对: 齐 月

书 号: ISBN 978-7-5610-4918-1

定 价: 35.00 元

联系电话: 024-86864613

邮购热线: 024-86851850

Email: mailer@lnupress.com.cn

<http://www.lnupress.com.cn>

编 委 会

主 编	邱 忠 安	梁 奎 斗			
编 者	邱 忠 安	梁 奎 斗	彭 魁	高 雅 君	
	刘 伶	张 宏	刘 丽	姜 树 森	
	潘 学 玲	李 永 庆	曹 硕	刘 宏 俊	

前 言

本书是根据教育部 1988 年颁发的《普通物理实验》教学大纲和教育部物理教学指导委员会多次提出的有关对普通物理实验的指导性意见以及辽宁大学多年的普通物理实验教学实践和沿用的《普通物理实验讲义》的基础上编写而成的。

普通物理实验作为一门独立课程,就其课程体系、课程内容、教学方法和教学目的都有别于其他理论课程,因而应当有自己的体系和教学目的。因此,本书在内容安排上,力图使每个实验既要有各自的内容和要求,又应当相互关联;在实验内容上,尽力将每个实验的基本原理、基本概念、基本方法阐述清楚;在实验技能训练上,尽量遵循由简单到复杂、由手动操作测量到自动测量、循序渐进、逐步提高的原则。遵照上述原则,我们针对我校理科各不同专业特点和需要以及本实验室现有的仪器设备情况,在本书中共编入 55 个实验选题,其中基本实验 21 个题目,选做实验 22 个题目,设计性实验 12 个题目。这三种类型的题目之间是有一定梯度的,目的在于能使学生在物理实验的过程中更具有系统性、科学性。

实验教材是实验室的基本建设内容之一。建设实验室必须依靠集体的智慧和劳动,因此对这本实验教材的编写工作作出贡献的实际上包括所有先后在普通物理实验室工作过的实验室主任、教师和实验技术人员。多年来,他们根据实验教学的改革需要,在对老实验进行改进的同时还不断开出新实验。与此同时,对原普通物理实验讲义的内容也进行了多次的修改和充实。可见这本实验教材的形成是集体智慧的结晶,也凝聚着许许多多曾经从事过普通物理实验教学的老师和参加过实验室建设的实验技术人员的心血和劳动。

由于编者水平有限,时间仓促,缺点错误之处在所难免,恳请同行及读者提出宝贵意见,以便再版时修订。

编 者

2005 年 7 月 1 日

目 录

绪 论	1
第一章 测量的误差与数据处理	3
第一节 测量及其分类	3
第二节 误差的基本定义	4
第三节 误差的来源与分类	5
第四节 算术平均值和残余误差	7
第五节 精密度、准确度和精确度	8
第六节 标准偏差	9
第七节 极限误差	11
第八节 仪器的精确度	12
第九节 直接测量的误差估计	14
第十节 间接测量结果的误差	16
第十一节 误差传递公式的应用	21
第十二节 微小误差准则	22
第十三节 有效数字	23
第十四节 实验数据的处理	25
第十五节 组合测量与最小二乘法	26
第十六节 最小二乘法结果的误差	31
第十七节 概率和概率密度	33
第十八节 正态分布	33
第十九节 概率积分	34

第二十节 t 分布	36
第二十一节 正态测量值的平均值的误差报道	37
第二十二节 坏值的剔除	39
第二章 力学和热学实验	51
第一节 基本测量仪器介绍	51
第二节 基本实验	60
实验一 规则形状固体密度的测量	60
实验二 气垫导轨	62
实验三 金属线膨胀系数的测定	67
实验四 三线摆	70
实验五 液体的内摩擦系数的测定	73
第三节 选做实验	82
实验六 用伸长法测定杨氏模量	82
实验七 金属的比热	87
实验八 用电热法测定热功当量	90
实验九 用可倒摆测量重力加速度	94
实验十 声速测量实验	99
第四节 设计性实验	106
实验十一 圆环摆的实验研究	106
实验十二 气垫导轨的应用	107
第三章 电磁学实验	108
第一节 电磁学实验基本知识	108
第二节 基本实验	114
实验十三 静电场的研究	114
实验十四 示波器的原理和使用	118
实验十五 铁磁物质的磁滞回线和基本磁化曲线	127
实验十六 三相交流电路电压、电流的测量	133
实验十七 用惠斯通电桥测电阻	136
实验十八 用直流电位差计测定温差电动势	141
实验十九 霍耳效应	144

实验二十 用电视显微油滴仪测电子电荷	151
实验二十一 电子荷质比测量	158
实验二十二 三相电路功率的测量	162
第三节 选做实验	165
实验二十三 用直流电位差计校准微安表	165
实验二十四 RLC 串联谐振电路的研究	173
实验二十五 用双电桥测低电阻	176
实验二十六 用冲击电流计测绘铁磁物质的磁化曲线	180
实验二十七 RLC 串联电路的暂态过程	185
实验二十八 交流电桥	189
实验二十九 检流计的研究	194
实验三十 电表的扩程和校准	202
实验三十一 万用表电阻挡的组装	205
实验三十二 $p-n$ 结的物理特性及弱电流测量实验	211
第四节 设计性实验	216
实验三十三 欧姆定律及伏安法测电阻	216
实验三十四 555 定时器的应用	218
实验三十五 记分显示器的设计和制作	220
实验三十六 直流稳压电源的设计和制作	222
实验三十七 测量二极管的伏安特性曲线	224
实验三十八 用自组电位差计测干电池的电动势 ϵ 及内阻 r_e	225
实验三十九 万用表的设计和组装	226
第四章 光学实验	227
第一节 光学实验预备知识	227
第二节 基本实验	233
实验四十 由牛顿环测透镜的曲率半径	233
实验四十一 用双棱镜研究光的干涉现象	238
实验四十二 薄透镜焦距的测定	243
实验四十三 测量单缝衍射光强分布	246
实验四十四 衍射光栅	250

实验四十五 照相技术	254
第三节 选做实验	263
实验四十六 用最小偏向角法测定玻璃三棱镜的折射率	263
实验四十七 透镜组的焦距和主平面	272
实验四十八 用阿贝折射仪测定液体和透明固体的折射率	276
实验四十九 用小型旋光仪研究旋光现象	281
实验五十 偏振光的研究	286
第四节 设计性实验	291
实验五十一 双棱镜干涉的研究	291
实验五十二 衍射光栅的研究	293
实验五十三 迈克耳逊干涉仪的应用研究	295
第五章 量子物理实验(选做)	297
实验五十四 光电效应及普朗克常数的测定	297
实验五十五 夫兰克—赫兹实验	302
附表	311

绪 论

物理学是一门实验科学，特别是普通物理更与实验密不可分。观察和实验是物理学中的重要研究方法，通过观察可以发现新的物理现象，寻找新的物理规律。而实验则是人们按照一定的研究目的，借助特定的仪器设备，去探索、验证物体内部规律的一种方法。当然，通过实验，学生可以获得基本的实验知识，在实验方法和实验技能诸方面也能得到较为科学的、系统的训练。因此，只有真正掌握了物理实验的基本功，才能把物理原理应用到其他学科而产生质的飞跃。

一、物理实验课的教学目的

物理实验是学生进行科学实验基本训练的一门独立的、必修的基础实验课。物理实验课的目的是：

- (1) 通过对物理现象的观察、分析和对物理量的测量，学习并掌握物理实验的基本知识、实验方法和基本技能，从理论和实际的结合上加深对理论知识的进一步理解。
- (2) 使学生学会阅读仪器使用说明书、学会调整仪器、学会正确使用仪器。
- (3) 使学生初步具备能够科学测量数据、处理数据、会分析实验结果、会概括实验原理、会撰写实验报告的能力。
- (4) 培养学生对待科学实验要有一丝不苟的严谨态度，勇于探索、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

1. 实验课前的预习

预习是上好实验课的基础和前提，因此，课前要仔细阅读实验教材及有关资料，有些实验还要翻阅一些参考书，要弄清实验原理（包括仪器原理及构造）、公式使用的条件、操作规程和注意事项等。

在预习的基础上，还要写出预习报告，其内容主要包括实验名称、实验目的、实验原理和数据记录表格，注意实验原理要概括性地写。此外，根据实验内容要准备好实验时所需的绘图工具、计算器等。

2. 实验操作

学生进入实验室后应遵守实验室规则。在做实验前，首先结合仪器实物，对照实验教材或仪器说明书，熟悉仪器的结构和用法，根据实验内容弄清实验的操作程序，明确怎样做更为科学合理，免得实验前功尽弃。实验测量应遵循“先定性、后定量”的原则，即先观察全过程，摸清整个实验过程工作是否正常、合理，再定量测量。测量时，观测者应集中精力、

细心操作、仔细观察，数据记录要真实、准确、合理。实验数据是否合理，学生应首先自查，然后交给指导老师审查，对不合理的实验数据，应分析原因，要及时补测或重做。在测量中发生故障是常有的事，我们应该在老师的指导下冷静地分析它、处理它。学生离开实验室前，应自觉整理好仪器，并做好卫生清理工作。

3. 实验总结

做完实验以后，每个同学都要写出一份文字通顺、字迹端正、数据完整、图表规范、结果正确的实验报告。书写实验报告是为了培养每一个大学生以书面形式总结工作和报告科学实验成果的能力，因此，要认真做好。实验报告的内容包括：

- (1) 实验名称。
- (2) 实验目的。
- (3) 实验原理。
- (4) 实验步骤。

书写以上内容时，要尽量用自己的语言写，不要完全照抄书本，内容应以别人看懂为准，篇幅应力求简洁、明了。

(5) 数据记录和数据处理过程。数据一般要以列表形式出现，数据处理包括写出数据计算的主要过程、图表和最后结果的讨论和误差分析，还应包括对实验现象的分析与解释以及对实验方案的建议和改进等。

应当指出，实事求是的科学态度和严肃认真的工作作风是科学工作者应具备的品质，在处理数据和书写实验报告时要独立完成，严禁抄袭及伪造实验数据。

第一章 测量的误差与数据处理

第一节 测量及其分类

所谓测量，就是把待测的量和体现计量单位的标准量作比较。测量结果表示为数值和单位的乘积（叫作量值），例如 3.5cm，2.6s。

一、直接测量和间接测量

1. 直接测量

用测量器具直接测出物理量量值的测量方法叫作直接测量，相应的物理量称为直接测量量。例如用米尺测量长度，用天平测量质量，用秒表测量时间，用电流表测量电流等。

2. 间接测量

在物理实验中，能够直接测量的量是不多的，在多数情况下，先直接测出与某些物理量有关的直接测量量，再根据该物理量与这些直接测量量之间的数学关系算出该物理量的量值；该物理量的测量过程称为间接测量，该物理量称为间接测量量。例如根据欧姆定律 $R = \frac{U}{I}$ ，直接测出电压 U 和电流 I ，然后算出待求的电阻 R 。

通常所说的间接测量，都是对于一个待求的量而言。如果得出的待求的量不只是一个，那就要采用组合测量的方法。

二、等精度测量和不等精度测量

1. 等精度测量

如果对某些量重复测量多次，每次测量的条件都相同（同一观测者，同一仪器并且性能稳定，同一环境并且状态稳定，同一方法），则我们没有根据指出其中的哪一次测量比其他次测量更精确些。这种测量就是等精度测量。

2. 不等精度测量

如果进行的多次测量彼此条件不同（例如使用精密度不同的仪器，或者由观测能力不同的实验者进行观测），这种测量就是不等精度测量。

在我们的普通物理实验中仅讨论等精度测量。

确定测量结果的精确程度所采用的方法，对于不同种类的测量是不同的。

第二节 误差的基本定义

测量结果中总是存在着误差的, 因为任何测量仪器、测量方法、测量环境及测量者的观察能力都不可能做到绝对严密, 所以测量就不可避免地伴随有误差产生。分析测量中可能产生的各种误差, 尽可能消除或减少其影响, 并对测量结果的误差作出估计, 是物理实验和其他科学实验不可缺少的工作。

1. 误差

测量值与被测对象的客观真值之差称为测量误差。如果用 x_0 表示被测量的客观真值, 用 x 表示实际测量得到的测量值, 测量误差为

$$\Delta x = x - x_0$$

因为真值是一理想的概念, 一般说来, 它是不可能准确得到的, 所以测量误差也不可能准确知道, 但是我们可以通过各种方法估计它的极限值。

2. 绝对误差

绝对误差就是测量值与被测量真值之差。其值大小反映测量结果的准确程度, 即

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

3. 相对误差

测量误差可以用绝对误差表示, 也可以用相对误差表示。绝对误差有它的不足之处, 那就是在许多场合不能用来比较测量结果的精确程度。例如测量两个长度, 其中一个长度 $L_1 = 1000\text{mm}$, 绝对误差 $\Delta L_1 = 1\text{mm}$, 另一个长度 $L_2 = 10.0\text{mm}$, 绝对误差 $\Delta L_2 = 0.1\text{mm}$ 。从绝对误差上看, L_2 的绝对误差小于 L_1 的绝对误差, 但我们却不能说 L_2 的测量比 L_1 精确。恰恰相反, L_2 的误差相对于被测量值来讲是它的 $0.1/10 = 1\%$, 而 L_1 的误差仅占被测量值的 $1/1000 = 0.1\%$ 。因此, 应该说 L_1 的测量比 L_2 精确。很显然, 评价一个测量结果的准确程度不仅要看误差的绝对大小, 还要看被测量本身的大小, 于是, 又定义出相对误差的概念。

我们定义, 绝对误差与真值的比, 叫作相对误差。

相对误差通常用百分数表示, 如果用 E_r 代表相对误差, 则

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

实际上在很多情况下, 可以用测量结果代替真值来计算相对误差。

由 (2) 式可以看出, 绝对误差大, 相对误差不一定也大; 绝对误差小, 相对误差不一定也小。这是因为, 相对误差的大小还要根据真值或者测量结果本身的大小才能确定。

4. 引用误差

引用误差表示的也是误差的相对大小, 但是用来作比较的基数却不是被测的量值本身, 而是某一个特殊指定的量值。例如我们常用的电流表、电压表和功率表的精确程度, 就是用引用误差表示的。这几种电表的引用误差 γ 定义为: 指示值的绝对误差 Δ 与电表测量上限 A_m 之比的百分数, 即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (3)$$

这里用 Δ 而不用 Δx 代表绝对误差的理由是: 电表上标明的引用误差, 指的是指示值的

引用误差在规定情况下不会超出的范围，而不是指示值的实际引用误差。

电表的准确等级，就以这个引用误差的百分号前面的数字命名，例如 0.5 级的电流表，它的指示值的绝对误差，在规定情况下不会超出测量上限的 $\pm 0.5\%$ 。

对于种类不同的电表，引用误差的具体定义方法并不完全相同。例如我们常用的万用电表电阻挡，就是用标度尺的长度定义引用误差的。

使用电表时，还要注意标度尺上有没有圆点之类的符号标记。这是因为引用误差所给出的误差大小，仅在这些标记所限定的范围以内有效，甚至于（例如万用电表电阻挡）引用误差本身的数值也是按照这些标记所限定的范围计算的，而不是按照标度尺的全长计算的。

第三节 误差的来源与分类

误差的来源是多方面的，主要有仪器方面、环境方面、理论方面和人员方面。

为了便于分析和计算测量中的误差，我们根据误差的性质，将误差分为系统误差、随机误差和粗大误差三类。

1. 系统误差

系统误差特征是在同一条件下多次测量同一物理量时，误差的大小和方向保持不变，或在条件改变时，误差的大小和方向按照某种确定的规律变化。

所谓确定的规律，是指这种误差可归结为某一个或某几个因素（例如温度、电源电压）的函数。这种函数一般可以用解析式、数表或者曲线表示出来。按照变化的规律，又可分为线性的、周期性的和复杂规律的几种。

在许多情况下，系统误差是影响测量结果的主要因素，然而它又不明显地表现出来，多次测量取平均值的办法一般说来不能消除它，主要是靠实验者的知识和经验进行发现，采用适当的实验方法和计算方法加以避免，尽量予以消除和修正。

系统误差的来源大致有以下几方面：

(1) 仪器方面：这是由于仪器本身存在着某种缺陷，或者由于没有调整到规定的状态而引起的。例如：砝码的标称值与实际值不相同；天平的两臂不等长；千分尺的零点读数不为零；电流表通电以前指针不指零；电池电压随时间而下降；360 度分度盘的分度中心不在转动轴线上等。

(2) 环境方面：由环境条件变化所引起的误差，如室温的变化、气压的变化、进行电磁学实验时受到杂散磁场影响等。

(3) 理论或方法方面：总的说来可以归结为理论公式的近似性，其中包括理论公式中没有考虑到而实际起作用的那些因素的影响。例如，用电流表和电压表测电阻时没有将电表内阻的影响考虑在内；用天平测量物体质量时没有将空气浮力的影响考虑在内；在高电压弱电流实验中没有将绝缘漏电的影响考虑在内。

(4) 人员方面：这是由于观测者的固有习惯特点而引起的。例如对准标志线进行读数时，总是偏左或者偏右。

2. 随机误差（也称偶然误差）

在相同的条件下重复多次测量同一量时，误差的绝对值时大时小，符号时正时负，没有确定的变化规律，但总体来说服从一定的统计规律。这种误差叫作随机误差。

随机误差是由多种微小的随机涨落叠加而引起的，就是说，由于多种对测量结果有影响

的因素,各自独立发生的随机而又微小的变化共同起作用的结果。这些因素中可能包括:空气的无规则扰动,大地微振,噪声干扰,电磁场微变,电源电压、温度、湿度的微小起伏等以及观测者每次动作的准确程度的无规则变化,被测对象状态及其与测量仪器相互连接状况的无规则的微小变化。所谓实验条件相同和被测对象稳定那只是宏观意义上的,是从平均意义上讲的。只要测量仪器足够灵敏,那么在任何范围内所作的测量,都会发现测量结果有差异。

随机误差就每一次测量的出现是偶然的,没有规律的,但是当测量次数足够多时,从所有误差组成的总体来看便能发现随机误差的统计规律,这种统计规律表现在以下四点:

(1) 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。

(2) 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。

(3) 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。

(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。

根据以上随机误差分布特征,可以从数学上推导出随机误差出现概率的分布函数,这个函数首先由德国数学家和物理学家高斯(Karl Friedrich Gauss)于1795年导出,因而称为高斯误差分布函数,也称正态分布函数(见本章第十八节),其函数曲线如图1-1所示。在实际工作中,大多数情况的随机误差都是遵从正态分布,但也会遇到遵从其他分布的情况,如均匀分布。

今后谈到随机误差而不特指明遵从哪种分布时,均指正态分布。

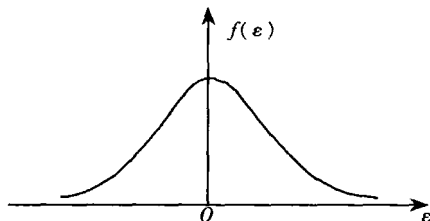


图 1-1

3. 粗大误差(简称粗差)

明显地歪曲测量结果的误差叫作粗大误差,这种误差是由于实验者的粗心和不正确的行为以及实验条件的突然剧烈变化等原因引起的。例如,用了有毛病的仪器,电源电压突然变化,读错、记错、算错、抄错了数据等。含有粗大误差的测量数据叫作坏值,应按照一定的规则予以剔除(见本章第二十二节)。

4. 误差的相互转化

必须注意,误差的性质可在一定的条件下互相转化。例如尺子的分划误差,对于制造尺子的厂家来讲是随机误差。用尺子测量长度时,每个分划误差就变成恒定的系统误差。但是各分划线的误差不会相同,具有随机性,考虑到这一点,测量长度时多次变换尺子的部位,取平均值,又可将系统误差随机化。

第四节 算术平均值和残余误差

1. 假定不存在系统误差

我们先来说明算术平均值, 令 x_0 为真值, $x_1, x_2, \dots, x_n$ 表示具有随机误差的测量值, $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ 表示对应的随机误差, 则进行 n 次测量后, 根据误差的定义可得:

$$\left. \begin{aligned} x_1 - x_0 &= \varepsilon_1 \\ x_2 - x_0 &= \varepsilon_2 \\ &\dots\dots\dots \\ x_n - x_0 &= \varepsilon_n \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

上面的等式共有 n 个, 其中未知数包括 x_0 和 n 个 ε 在内, 共有 $(n+1)$ 个。因此, 用普通的代数方法不能从 (4) 式中求出未知量, 但是真值的最可信赖值 (即最佳估计值) 却可以求出来。为此, 我们将上面的全部等式相加, 得:

$$(x_1 + x_2 + \dots + x_n) - nx_0 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n$$

即
$$\sum x_i - nx_0 = \sum \varepsilon_i \quad (5)$$

我们定义测量值的算术平均为:
$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (6)$$

则 (5) 式变为:
$$x_0 = \bar{x} - \frac{\sum \varepsilon_i}{n} \quad (7)$$

根据随机误差特性的第 4 条可知, 当 $n \rightarrow \infty$ 时, $\frac{\sum \varepsilon_i}{n} \rightarrow 0$ 因而 $\bar{x} \rightarrow x_0$ 。这就是说, 测量的次数越多, 算术平均值越接近于真值。因此, 在没有系统误差的情况下, 算术平均值是真值的最佳估计值。

下面我们定义残余误差 (简称残差)。所谓残余误差 v_i , 是指第 i 次的测量值 x_i 与算术平均值 $\bar{x}$ 的差, 即

$$\left. \begin{aligned} x_1 - \bar{x} &= v_1 \\ x_2 - \bar{x} &= v_2 \\ &\dots\dots\dots \\ x_n - \bar{x} &= v_n \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

将上面的全部等式相加, 得:

$$\sum x_i - n\bar{x} = \sum v_i$$

$$\frac{\sum x_i}{n} - \bar{x} = \frac{\sum v_i}{n}$$

我们知道

$$\frac{\sum x_i}{n} = \bar{x}$$

所以

$$\frac{\sum v_i}{n} = 0$$

即

$$\sum v_i = 0 \quad (9)$$

即测量值的残余误差的代数和为零, 这结论在 $n \neq \infty$ 时也成立 (因为在此式的导出过程中没有引入 $n \neq \infty$ 的条件)。

$\sum v_i = 0$ 常用来检验算术平均值和残余误差计算的正确性。

2. 假定存在着恒定的系统误差

用 θ 代表恒定系统误差, 则 (4) 式变成:

$$\left. \begin{aligned} x_1 - x_0 &= \varepsilon_1 + \theta \\ x_2 - x_0 &= \varepsilon_2 + \theta \\ &\dots\dots\dots \\ x_n - x_0 &= \varepsilon_n + \theta \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

将上面的全部等式相加, 得:

$$\begin{aligned} \sum x_i - nx_0 &= \sum \varepsilon_i + n\theta \\ \frac{\sum x_i}{n} - x_0 &= \frac{\sum \varepsilon_i}{n} + \theta \\ \bar{x} - x_0 &= \frac{\sum \varepsilon_i}{n} + \theta \end{aligned} \quad (11)$$

当 $n \neq \infty$ (11) 式变为

$$\bar{x} - x_0 = \theta \quad (12)$$

或

$$\bar{x} = x_0 + \theta \quad (12')$$

上式表明, 采用取算术平均值的办法不能消除恒定的系统误差, 实际上当存在着变化的系统误差时, 一般说来也不能消除。再来考虑残余误差, 残余误差的定义没有变, 还是测量值与算术平均值的差。因此, (8) 式依然成立。重复 (9) 式的导出过程还会得出 $\sum v_i = 0$ 的结论, 甚至存在着变化的系统误差时也是如此。因此, $\sum v_i = 0$ 不能作为判断是否存在系统误差的依据。

第五节 精密度、准确度和精确度

1. 精密度

在真值未知的情况下, 每个单个的测量值中含有多大的随机误差, 不能确切知道, 但是可以根据测量值的分散程度作出某种判断。例如在两种不同的实验条件下对同一量进行多次测量, 各得一组测量值 (每组测量值叫作一测量列), 将它们表示在坐标轴上, 如图 1-2 所示, 其中 (a) 情况下的测量值彼此距离较近, (b) 情况下的测量值彼此距离较远。我们可以作出判断: (a) 的测量值中含有的随机误差总的说来小于 (b)。



图 1-2

我们常用精密度代表分散程度。当测量值较集中时, 说明测量的精密度高。当测量值较分散时, 说明测量值的精密度低。

但是, 算术平均值也存在着精密度问题。这是因为实际的测量次数总是有限的。从有限个测量值得出的算术平均值中, 还是含有随机误差 (尽管比测量值中的要小)。在相同的实验条件下, 采用相同的测量次数, 所得出的多个算术平均值中含有随机误差也会彼此不相同, 就是说具有一定的分散程度。实验条件变了, 一般说来, 算术平均值的分散程度也要