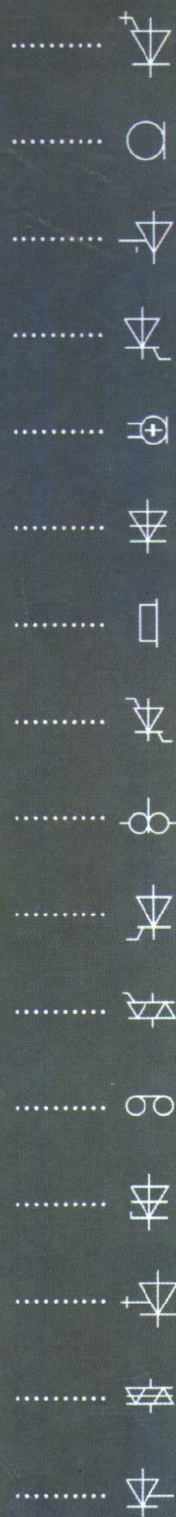
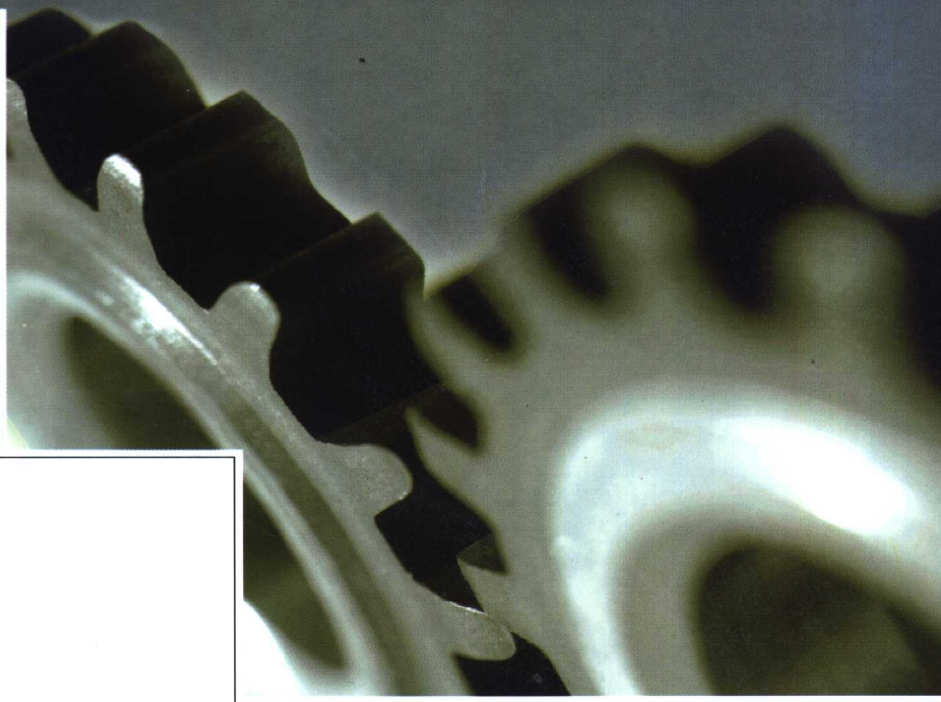




大学物理实验

李恩普 邢凯 曹昌年 周王民 庞述先 编



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

大学物理实验

李恩普 邢 凯 曹昌年 编
周王民 庞述先



国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/李恩普等编. — 北京:国防工业出版社,2004.1

ISBN 7-118-03357-X

I. 大... II. 李... III. 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(2003)第 110938 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15¼ 350 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:24.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

科学家论实验

实验有两个目的，彼此往往互不相关：观察迄今为止未知或未加释明的新事实；以及判断某一理论提出的假说是否符合大量可观察到的事实。

——雷内·杜博斯

除非有定量的实验证据，没有任何一种哲学性的讨论能够作为科学的真理来加以接受。

——杨振宁

一个矛盾的实验就足以推翻一种理论。

——爱因斯坦

没有实验家，理论家就会迷失方向；没有理论家，实验家就会迟疑不决。

——李政道

实验并非万无一失，不能从实验上论证一种假说并不等于这种假说是错误的。

——贝弗里奇

物理实验课学生守则

1. 实验课不得迟到早退，迟到 15 分钟以上者不能参加本次实验课，并以旷课论处。

2. 课前必须认真预习，明确该次实验的目的和测量内容，写出预习报告，经教师审核许可后方能进行实验操作。没有预习者不得进行实验，本次实验成绩记为 0。

3. 实验前仔细清点仪器，如发现缺损应及时向教师报告。实验后必须整理好仪器。

4. 爱护实验室一切仪器设施，不得随意拆卸挪动。正确安排、调整、使用仪器。电学实验接线须经教师检查许可方能通电。

5. 实验中如发生事故，须保护现场，电学实验断开电源，并立即报告教师。当事人应如实填写仪器损坏登记表，由教师签署意见。因违章操作造成仪器损坏者，要负责赔偿。

6. 以认真的态度和求实的作风做好每个实验，按时完成实验任务。测量数据必须当堂交教师审阅签字。

7. 禁止在实验室内喧哗、打闹、抽烟、吃东西、随地吐痰及乱扔纸屑杂物。

8. 课后按教师要求清扫实验室。

9. 按时认真完成实验报告。交报告时应附上有教师签字的原始数据记录。

10. 凡无故缺课三次以上，或缺交报告三份以上者无课程成绩，必须重修。

前 言

本教材根据教学要求以及课程的基本定位和特点,为适应当前对学生能力培养的需求而编写。教材内容充分体现了多年来大学物理实验课程改革及实验室建设的成果。

本教材有以下几个方面特点:

1. 教材体系更加完善和合理。绪论对课程的地位、作用和实施过程作了较为详细的阐述;第一章在误差理论基础上引入了不确定度的概念,特别在运用不确定度解决具体问题上作了一些合理的规定;第二章总结归纳了基本的物理实验测量方法,使学生对实验测量方法有较全面的了解;第三章和第四章是基础实验和综合与近代物理实验,共有 30 个项目 34 个实验;第五章是实验设计知识,通过基本知识、实验项目的学习,使学生在具有了一定实验技能的基础上对新实验的设计以及如何运用已有知识设计实验的过程有更加深入的了解,培养学生创新思维和能力。

2. 实验原理的叙述简洁明了,易于理解,特别突出“实验”内涵。实验内容与方法提示紧密结合实验过程,使学生能够独立进行实验操作。结合教学实践,对实验操作中可能出现的问题作了特别强调,对数据处理单独提出了明确的要求。一些常用仪器在相应的实验中作了专门介绍。增加了“分析与思考”,部分实验之后增加了提高与设计性实验内容,既对实验进行总结,又提出了一些拓宽带有设计性的问题,以启发学生的创造性思维。

3. 淘汰了一些内容陈旧、验证性的实验项目,特别结合计算机的发展增加了计算机应用实验两个,使学生对计算机控制实验以及数据处理有初步的感性认识,在“混合法测定比热容”实验中,通过计算机显示,使学生直观地看到了冷、热物体混合时温度的变化过程。

4. 对一些物理实验中的专有名词和仪器列出了其英文名称,以便于学生学习和对照,提高其英文运用能力。

参加本教材编写的有李恩普、邢凯、曹昌年、周王民、庞述先;全书由李恩普统稿。

大学物理实验教材是全体教师和工程技术人员共同劳动的结晶,夏志先、王六定同志曾参加了前期部分教学讲义的编写,在教材的试用中广大教师和技术人员提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促,作者水平有限,错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2004 年 1 月

目 录

绪论	1
第一章 测量结果的评定及数据处理	4
第一节 测量及其分类	4
第二节 误差及其分类	5
第三节 系统误差的发现与消除	8
第四节 随机误差的统计分布	10
第五节 测量结果的不确定度评定	12
第六节 有效数字及其运算	17
第七节 实验数据处理的常用方法	20
习题	29
第二章 物理实验的基本测量方法	30
第一节 比较法	30
第二节 放大法	31
第三节 补偿法	32
第四节 转换法	33
第五节 模拟法	35
第三章 基础实验	37
实验 1 钢丝杨氏模量的测定	37
实验 2 转动惯量的测量	43
实验 2-1 三线摆测定转动惯量	43
实验 2-2 转动惯量仪测定转动惯量	46
实验 3 混合法测定比热容 (计算机应用实验)	53
实验 4 伏安特性研究	58
实验 5 惠斯通电桥的应用	64
实验 6 灵敏电流计的研究	70
实验 7 热敏电阻温度系数测定	75
实验 8 电位差计的应用	81
实验 9 双电桥测量低电阻	87
实验 10 放电法测量高电阻	92
实验 11 交流电桥测量电容、电感	96
实验 12 空气中声速的测定	101
实验 13 透镜焦距的测定	109

实验 14	分光计的调节和使用	113
实验 15	双棱镜干涉测波长	120
实验 16	折射率的测量	124
实验 16-1	最小偏向角法测折射率	124
实验 16-2	极限法测折射率	128
实验 16-3	瑞利干涉仪测量流体折射率	134
实验 17	光栅常数的测定	138
实验 18	偏振光及其应用	141
第四章	综合与近代物理实验	149
实验 19	导热系数的测定	149
实验 19-1	不良导体导热系数的测定	149
实验 19-2	气体导热系数的测定	152
实验 20	微小形变的电测法	158
实验 21	电表的扩程与校准	162
实验 22	霍耳效应测磁感应强度	169
实验 23	冲击电流计测磁场	176
实验 24	磁滞回线的测绘	179
实验 25	光源辐射能谱的测定 (计算机应用实验)	185
实验 26	迈克耳孙干涉仪	193
实验 27	激光全息照相	201
实验 28	电子电量的测定	206
实验 29	金属逸出功的测量	211
实验 30	光电效应测普朗克常数	216
第五章	实验设计知识	222
第一节	实验系统及设计实验程序	222
第二节	不确定度传递公式在设计实验中的作用	223
第三节	实验方案选择原则	224
附录 A	中华人民共和国法定计量单位	229
附录 B	常用物理参数	231

绪 论

科学实验是科学理论的源泉，是工程技术的基础，是研究自然规律、认识世界、改造世界的基本手段。作为培养德、智、体、美全面发展的高级工程技术人才的工科高等院校，不仅要使学生具备比较深广的理论知识，而且要训练学生具有较强的从事科学实验的能力，以适应科学技术的不断进步和社会主义建设迅速发展的需要。

一、物理实验课程的地位、作用和任务

物理学是自然科学中最重要、最活跃的带头学科之一。物理学的发展不仅在自身的学科体系内生长和发展出许多新的学科分支，而且还是许多新兴学科、交叉学科以及新技术产生、成长、发展的基础和前导。

物理学是一门实验科学。物理理论和实验的发展，哺育着近代高新技术的成长和发展。物理实验的思想、方法、技术和装置常常是自然科学研究和工程技术发展的生长点。物理实验课是学生进入大学后接受科学实验方法和实验技能训练的开端，本课程对学生进行物理实验理论、物理实验方法和物理实验技能方面的基本训练，使学生初步了解科学实验的主要过程和基本方法。它重点训练学生深入观察物理现象，建立合理的物理模型，定性定量研究变化规律，分析、判断实验结果，激发学生的想像力、创造力和创新意识，在培养和提高学生独立开展科学研究的素质和能力方面具有重要的奠基作用。

在物理学发展的过程中，实验物理形成了自己的一套理论、方法和技术，成为进行各类科学实验的基础。物理实验课是工科高等院校唯一独立设课的必修实践性课程，充分反映了该课的必要性和重要性。

本课程的具体任务是：

1. 初步培养学生进行科学实验的能力：

(1) 通过自行阅读实验教材或资料、组织实验，提高阅读和运用资料的能力。

(2) 通过实验熟悉常用仪器的原理、结构及使用方法，在进行具体测试中，提高获得准确实验结果的能力。

(3) 通过对实验现象的观察、判断实验结果的数据处理及误差分析，提高理论联系实际的能力。

(4) 通过在实验过程中发现问题、分析解决问题，拓宽学生视野，培养创新能力。

(5) 通过正确记录及处理实验数据、撰写合格的实验报告，提高正确论述的表达能力。

2. 通过实验，培养学生实事求是、理论联系实际的科学作风，严肃认真、一丝不苟的工作态度，主动研究的探索精神和遵守纪律、爱护公共财物的优良品德。

3. 通过实验加深对物理学理论的理解。

总之，通过每一个实验完成规定的测量任务、获取应有的数据是本课程的教学手段，

而目的是培养和锻炼学生进行科学实验的能力并获取实验知识,提高实验技能。

二、实验课的基本程序

1. 实验前准备: 了解实验目的, 看懂实验原理, 并对所要用的实验仪器的性能、基本工作原理和使用时的注意事项做到心中有数。为此对每个实验中所列的问题应该清楚, 在此基础上写出预习报告。预习报告主要应包括实验中要观察的物理现象和需要测量的物理量, 并列出实验记录表格。

2. 实验操作: 实验时对所要使用的仪器及工具是否完好和可用应进行检查, 经过一定的练习从而能够正确操作。在此基础上正确地组装和调整仪器得以进行实验(包括电路的正确连接、光路的调节等)。实验时一定要先观察现象, 通过观察对被验证的定律或被测的物理量有个定性了解, 而后再进行精确的测量。测量一定如实地记录数据, 有条件可进行重复测量。实验完成后对获得的数据或观察到的现象进行分析, 在肯定结果合理后再整理仪器和工具。

3. 写出实验报告, 整理和分析所获得的实验数据, 从而得出合理的实验结果, 并对所得结果进行一定分析。

三、实验课的基本要求

1. 课前预习实验讲义, 明确实验目的, 了解实验原理, 弄清实验步骤, 初步了解仪器的使用方法, 画好记录表格。未做预习, 不得动手做实验。

2. 上课时, 首先检查和熟悉仪器, 根据操作规程正确安装和调整仪器, 然后按实验程序进行实验。

3. 实验时, 一定要先观察欲研究的物理现象, 在观察的基础上, 再对被研究的现象进行定量测量。测量时, 应如实及时做好记录(记录要整洁, 字迹清楚, 避免错记)。不可事后凭回忆“追记”数据, 更不可为拼凑数据而将原始记录做随心所欲的涂改。

4. 测量完毕后, 要及时整理实验数据, 经指导教师检查签字后, 方可结束实验。

5. 实验完毕, 应把实验仪器整理清点好, 注意保持实验室的整洁, 经指导教师同意, 方能离开实验室。

6. 严格遵守实验室规则, 爱护实验仪器。仪器如有损坏, 应及时报告教师。凡属学生责任事故者根据情节轻重, 要赔偿部分或全部损失。

7. 认真按时完成实验报告。

实验报告是实验的书面总结, 报告应用自己的语言表达出: 所做的内容; 依据的物理思想及反映的物理规律; 实验结果及结果的分析; 自己对实验的见解及收获。怎样写好一份合格的实验报告, 也是实验课的一项重要基本训练。实验报告要在统一的实验报告纸上书写, 除填写实验名称、日期、姓名、班级、组别等项外, 实验报告的内容一般包括以下部分:

(1) 实验目的任务。

(2) 实验仪器: 注明仪器名称、编号、主要技术参数, 必要时画出仪器简图。

(3) 实验原理: 一般只需写出原理概要(包括原理图或测定公式, 注明公式中各量的物理意义及适用条件)。

(4) 操作要点：根据要求及实际操作过程，写出仪器调节及测量中的关键过程和注意事项。

(5) 实验记录：实验数据一般应采用表格形式记录。在预习时，就应设计好记录表格。记录数据时，应特别注意有效数字，并注明测得量的单位。

(6) 实验数据处理：包括计算实验结果及其不确定度，给出实验结果的图示等。

(7) 实验讨论及作业：对实验结果进行分析讨论，也可对实验中出现的一些现象进行分析总结，并完成课后作业题。

第一章 测量结果的评定及数据处理

第一节 测量及其分类

一、测量 (measurement)

在科学实验中，一切物理量都是通过测量得到的，其目的是要获得被测量的定量信息。测量是为了确定被测量的量值，使用专用仪器和量具，通过实验和计算而进行的一组操作过程。

二、直接测量和间接测量

按测量方式的不同，测量可分为直接测量和间接测量两类。

1. 直接测量 (direct measurement) (又称简单测量)

用待测量与同量纲的标准量直接进行比较，或者从已用标准量校准的仪器、仪表上直接读出测量值，其特点是待测量的值和量纲可直接得到。例如用米尺、游标卡尺、千分尺测长度，用秒表测时间，用天平称质量，用电流表测量电流等均为直接测量。而相应的被测量——长度、时间、质量、电流等称为直接测量量。直接测量简单、直观，是最基本的测量方式，也是间接测量的基础。

2. 间接测量 (indirect measurement) (又称复合测量)

多数物理量不便或不能直接测量，而是依据待测量与直接测量量的函数关系，先测出直接测量量，代入函数关系计算出待测量，这种测量称为间接测量，相应的被测量称为间接测量量。例如在用单摆 (simple pendulum) 测量重力加速度中，用秒表、米尺分别对周期 T 和摆长 L 进行直接测量，则重力加速度 g 可通过 $g=4\pi^2 L/T^2$ 计算出来， T 、 L 是直接测量量， g 是间接测量量。

当然，一个物理量是直接测量量还是间接测量量并不是绝对的，要由具体测量的方法和仪器来确定。例如用伏安法测电阻时，电流、电压是直接测量量，电阻是间接测量量；用欧姆表测量时，电阻又成了直接测量量。

三、等精度测量和非等精度测量

根据测量条件的不同，测量又分为等精度测量和非等精度测量。

1. 等精度测量

等精度测量是指在相同测量条件下对同一物理量所做的重复测量。例如，在相同的环境下，由同一个测量人员，用同样的仪器和方法，对同一个待测量，作相同次数的重复测量。由于各次测量的条件相同，测量结果的可靠性是相同的，没有理由认为哪次测量更精确或不精确，所以每次测量的值是等精度的。

应该指出,要使测量条件完全相同、绝对不变是难以做到的,一般测量实践中(包括物理实验),一些条件变化很小,或某些次要条件变化后对测量结果影响甚微,一般可按等精度测量处理。

2. 非等精度测量

在科学研究和其它高精度测量中,为了得到更精确更可靠的结果,特意要在不同的条件下,用不同的仪器、不同的测量方法,由不同的测量人员对同一个待测量进行测量和研究。此时,由于测量条件全部或部分发生了明显变化,每种测量的可靠性、精确度显然不同,这种测量即为非等精度测量。而最后的测量结果,是通过待测量的各种非等精度测量结果的加权处理来获得。

第二节 误差及其分类

一、误差(error)的定义

具有各种特性的物质是客观存在的。反映物质特性的物理量,在一定的条件下,相应有一个确定的客观真实值,这个值在测量上称为物理量的真值。测量者的主观愿望总是希望十分准确地得出物理量的真值。然而,任何实际测量总是在一定环境下,以一定的方法,用一定的仪器,由一定的人员去完成。由于测量环境不理想,测量方法不完善,仪器设备不精密,而且受测量人员技术、经验和能力等因素的限制,使得任何测量都不会绝对精确。测量值与真值之间总有一些差别,这种差别称为测量值的误差。任何测量都有误差,误差贯穿于测量的全过程。

某一物理量的误差,定义为该量的测量值 x 与真值 (true value) μ 之差,即

$$\varepsilon_x = x - \mu \quad (1-1)$$

误差可正 ($x > \mu$),也可负 ($x < \mu$),它反映了测量值偏离真值的程度。误差越小两者越接近。所以,误差的大小标志着测量结果的可靠程度或可信程度的大小。

误差按其表达方式的不同,可分为绝对误差 (absolute error) 和相对误差 (relative error)。

ε_x 表示测量值偏离真值的绝对大小,称为绝对误差。一般来说,绝对误差并不能反映误差的严重程度。所以引入相对误差 E_x 来反映误差的严重程度,它表示误差所占真值的百分比。定义为

$$E_x = \frac{|\varepsilon_x|}{\mu} \times 100\% \quad (1-2)$$

由于真值未知,误差又不可避免,所以测量的目的应当是在给定的条件下,尽可能得到最接近于真值的测量值,并对它的精确程度给予正确的评价。误差理论就是为适应这一需要而发展起来的。误差理论可以帮助我们正确地组织实验和测量,合理地设计实验方案,选用仪器和测量方法,使测量的误差减至最小,获得最好的结果,并定量地判断结果的可靠性。

二、误差的分类

根据误差的来源、性质和特点，一般将误差分为系统误差、随机误差和粗大误差。

1. 系统误差 (systematic error)

在相同的条件下，对同一物理量进行多次测量，测量值总是向一个方向偏离真值，误差的大小和正负保持恒定；或者误差按一定规律变化。这种误差称为系统误差，前一类叫恒定系统误差，后一类叫可变系统误差。可变系统误差按其变化规律，又可分为线性系统误差、周期性系统误差等。

系统误差又可分为可修正系统误差（已定系统误差）和不可修正系统误差（未定系统误差）。凡是大小和符号确定的系统误差称为可修正系统误差，如千分尺、电表的零位误差，伏安法测电阻时的接表误差。实验者根据它产生的原因、大小和符号对测量结果进行修正即可消除它的影响。只能估计出大小而不能确定其符号的系统误差称为不可修正系统误差，如某些仪器的仪器误差。

实验中的系统误差主要来源于以下几个方面：

(1) 仪器误差

仪器误差是由仪器本身固有的缺陷、校正不完善或使用不当引起的。如天平的不等臂、刻度不均匀、砝码实际质量与标称值不等、电表刻度盘与指针转轴安装偏心等引起的误差属前者。而仪器和量具不在规定的使用状态，如不垂直、不水平、零点不准、电表要求水平放置但却垂直放置测量等引起的误差均属后者。前者是由仪器、量具自身带来的系统误差，使用时应尽量消除或修正；而后者则应当避免。

(2) 方法误差

方法误差是由计算公式的近似、没有完全满足理论公式所规定的实验条件，或因测量方法的不完善所带来的误差。例如用单摆测重力加速度时，公式 $g=4\pi^2 L/T^2$ 仅适用于 $\sin\theta \approx \theta$ 的近似条件，当摆角较大时会产生较大的误差；用伏安法测电阻时，忽略了电表内阻的影响等。

(3) 环境误差

由于仪器所处的外界环境如温度、湿度、光照、气压、电磁场等与仪器要求的环境条件不一致引起的误差。如 20℃ 时标定的标准电池在 30℃ 时使用。

(4) 人员误差

这是由于观测者心理、生理条件以及其它个人因素造成的误差。它跟个人的反应速度、分辨能力、固有习惯以及实验技能有关。例如按停秒表时总是超前或滞后；读数时头总是偏向一边。

从理论上讲，系统误差可以通过分析研究其产生的原因，采取一定的方法减小或消除，或按其规律对测量结果进行修正。但事实上，发现和消除系统误差是一个极其复杂的问题，常常成为实验结果是否可靠的主要矛盾。因此这是实验者应努力去解决的问题。

2. 随机误差 (stochastic error)

在测量中，即使系统误差消除后，对同一物理量在相同条件下进行多次重复测量，仍然不会得到完全相同的结果，其测量值分散在一定的范围之内，所得误差时正、时负，绝对值时大、时小，呈无规则的涨落，这类误差称为随机误差。

随机误差是由测量过程中的一些随机的或不确定的因素引起的。如人的感官灵敏度及仪器精密度有限、不可控制的周围环境的干扰以及随测量而来的其它不可预测的随机因素的影响等。由于实验中随机因素很多，再加上各种因素又相互混杂，不能确定各个因素的影响大小，因此，随机误差既不能消除也无法控制。

从一次测量来看，随机误差是随机的，没有确定的规律，也不能预知。但当测量次数足够多时，随机误差服从一定的统计分布，所以人们无需了解各种因素的具体细节，可以用统计方法来研究诸因素的综合作用。

系统误差与随机误差性质不同、来源不同、处理方法不同，在实验中两者往往是并存的。对测量结果的影响，有时系统误差为主，有时随机误差为主。因此，对每一个实验要作具体分析，采用相应的处理方法。

3. 粗大误差 (gross error)

凡是明显歪曲测量结果，又无法根据测量的客观条件作出合理解释的误差，都称为粗大误差，简称粗差。含有粗差的测量值称为坏值（异常值）。

产生粗差的原因是多方面的。由于测量者缺乏经验、粗心大意或过于疲劳而造成测错、读错、记错、算错等过失，是产生粗差的主要原因(亦称疏失误差)；此外，外界的突发性干扰，使实验条件发生不能允许的偏离而未被发现，或者由于实验条件尚未达到预定条件而匆忙测量，也都会造成粗差。对实验者来说，粗差必须避免。

三、测量的正确度、精密度和准确度

1. 正确度 (validity)

表示测量值与真值的接近程度，正确度高表明系统误差小。

2. 精密度 (precision)

表示多次重复测量时所得各测量值的离散程度，精密度高说明数据比较集中，随机误差小。

3. 准确度 (accuracy)

表示系统误差和随机误差的综合结果，准确度高，说明系统误差和随机误差都小，测量数据均集中在真值附近。所以，人们所期望的是准确度高的测量结果。

从图 1-1 中可以形象地理解这些概念：(a) 精密度好，但正确度差，系统误差大；(b) 准确度高；(c) 正确度和精密度均差。

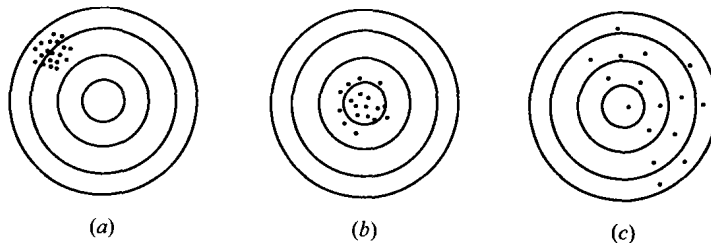


图 1-1 中靶记录

正确度、精密度、准确度只是对测量结果作定性评价，有时不严格区分这“三度”，而泛称为“精度 (trueness)”。

第三节 系统误差的发现与消除

系统误差分为已定系统误差和未定系统误差两类。在实验中必须尽可能地消除或减小已定系统误差。实际测量中,许多情况下系统误差往往对测量结果起主要影响作用。因此,寻找系统误差并设法消除或减小它的影响是提高测量准确度的关键。从理论上讲,系统误差具有确定的规律,但它可能隐含在测量过程的每一步之中,当测量仪器较复杂时,各测量装置的相互干扰也会产生附加系统误差。所以,系统误差的处理是较困难的,必须对实验过程的每一步进行分析,一般与实验者的经验、学识和技巧有着密切的关系,因此,在物理实验的学习过程中,一定要注意这方面知识的积累。下面就简单常用的发现和消除系统误差的方法加以介绍。

一、发现系统误差的方法

1. 理论分析的方法

在测量之前,首先对实验原理、测量方法和仪器进行系统全面的分析。

(1) 注意测量公式成立的条件

测量公式是进行实验的依据,所以测量的每一步必须满足公式的条件。在实验中,往往花费较长的时间调节仪器,通常都是为了达到计算公式的要求。否则,在不满足公式条件下测量的数据带入计算,肯定得不到正确的结果。如利用成像法测量透镜焦距实验中,首先必须进行共轴等高调节,其目的是为了满满足成像公式成立的条件:旁轴近似。

用单摆测重力加速度时,公式 $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$ 只有在摆角 $\theta < 5^\circ$ 时才近似成立,所以测量过程中该条件必须满足。

在伏安法测电阻实验中,电流表内接和电流表外接均会产生系统误差,通过分析可知,内接产生正的系统误差,外接产生负的系统误差;当待测电阻、电流表内阻、电压表内阻三者满足一定条件时,可使系统误差减小;当电流表内阻和电压表内阻已知时可修正系统误差。

(2) 注意仪器的使用条件

任何仪器都有各自的使用状态和环境条件,必须达到这些条件才能得到正确的结果。使用状态由实验者按照仪器的规定调节,如必须调节天平水平和平衡后才能进行称量。而环境条件应满足仪器的要求,当不满足时,应进行修正,如标准电池标明 20°C 时的电动势,当夏天或冬天使用时,必须测出环境温度,并按公式修正。

在实验教学中,经常发现一些同学只注重结果(测出数据),而忽略了实验过程(仪器调节等环节),往往得到的数据是非正常状态的产物。这只能说完成了任务,并没达到真正的教学要求。测数据只是手段,而非目的,只有重视全过程,才能真正提高动手、分析问题和解决问题的能力。

2. 实验对比的方法

对比法是对可能产生系统误差的诸因素进行不同条件的测量,以发现系统误差的存在。

(1) 实验方法的对比

用不同的方法测量同一个物理量，在随机误差允许的范围内对比两个结果，如不一致，则表明至少一种方法存在系统误差。

(2) 仪器对比

对同一个待测物理量，用不同精度的仪器测量。如用两个电流表同时接入同一电路，若它们的读数不同，则说明一个表存在系统误差。当一个表是标准表时，则可以找到另一表的修正值。

(3) 测量条件对比

在测量中，常常使测量过程按正、反两个方向进行。如测物体的变形时，通过加砝码和减砝码两个过程，可以发现物体是否是完全的弹性变形。天平调节平衡后，将物和砝码对调，若天平不再平衡，说明存在不等臂系统误差。同一条件下，使冲击电流计左偏和右偏，则可发现冲击电流计偏转不对称的系统误差。

(4) 人员对比

其它条件均不变的情况下，不同人员测量可以发现人员误差。

3. 数据分析的方法

将同一条件下的多次测量数据按测量顺序排列，观察其变化，当数据呈现规律性的变化时，表明存在系统误差。

二、系统误差的消除方法

系统误差的消除必须以它的产生原因为依据。首先在实验中必须满足测量公式成立的条件，同时调节仪器达到正确的测量状态，并满足对环境条件的要求。对于一些已定系统误差，可以采用特殊的测量方法或仪器的特殊设计来消除。

1. 替代法

在相同的测量条件下，用已知量（可变的标准器）替代待测量，调节已知量使替代前后产生的测量状态完全相同，则已知量的大小为待测量的值。如用天平测质量时，在右盘放待测物，左盘放中介物（一般用干净细砂），改变中介物的量使天平平衡。去掉右盘的待测物，用砝码（已知量）替代，增减砝码使天平再次平衡，则砝码质量为待测物的质量。这种测量方法可以消除天平的不等臂系统误差。再如将待测电阻 R_x 接入电路后使回路有一确定的电流 I ，去掉待测电阻，代之以一电阻箱，在电路状态不变的条件下，调节电阻箱使回路中的电流再次为 I ，则电阻箱的示值即为待测电阻值 R_x ，该方法也可以消除伏安法测电阻时的接表误差。

2. 交换法

交换待测物的测量位置，使产生的系统误差对两次测量值的影响相反，从而抵消系统误差。如天平的交换测量可以消除不等臂系统误差。在电桥实验中，交换待测电阻和比较电阻的位置，可以消除由于比例臂电阻不准及接线不对称所产生的系统误差。

3. 异号法

在测量中使已定系统误差改变符号，取平均值即可消除系统误差。如霍耳效应测磁场实验中，使通过霍耳片的工作电流大小不变，方向相反，将两次测量值平均，即可消除不等位电势。在冲击电流计实验中，改变电流方向，使电流计向左右两个方向偏转，