

大学

大学物理实验

DAXUEWULI SHIYAN

贵州人民出版社

大学物理实验

王国华 (主编)	缪连元	
张兆奎	沈毅信	编著
聂柏松	王来添	
	主审	陆元亮

1987

贵州人民出版社

责任编辑 黄绍琨
封面设计 石俊生
技术设计 有 明

大学物理实验

王国华等 编著

贵州人民出版社出版发行

(贵阳市延安中路9号)

贵州新华印刷厂印刷 贵州省新华书店经销

787×1092毫米 16开本 20印张 486千字

1987年9月第1版 1987年9月第1次印刷

印数1——15,000

书号: 13115·87 定价: 4.20元

ISBN 7-221-00087-5/0·02

序

物理实验课是高等工业学校一门独立的、极为重要的基础课，它在培养学生严格的科学态度、严谨的科学作风、严格的科学方法及实验技能等方面有着重要的作用。但是，由于种种原因，目前公开出版发行的物理实验教材很少，这与当前教学改革形势是不相适应的。

随着教学改革不断深入，加强实践性环节已引起普遍的重视，大学物理实验课程在教学计划中的地位及作用也越来越突出了。为此，高等工业学校物理实验课程教学指导小组制订了《高等工业学校物理实验课程教学基本要求（送审稿）》，以进行切实的指导。

由上海科技大学等几所高等学校联合编著的《大学物理实验》一书，根据课程教学指导小组制订的基本要求，以培养能力为主，体现了“三个面向”，将大学物理实验课程内容分为三个阶段，改变了传统的力、热、电、光程序，突出了对实验能力循序渐进的训练，最后又安排了选修实验和实验的设计训练，体现了因材施教方针。在第一阶段中，集中介绍了物理实验的基础知识，安排了供读者复习、巩固基础知识的基本训练实验，这些内容可以根据实际情况选用。书中介绍的微机在物理实验中应用的实例，为微机在后续课程中的应用打下了一定的基础。因此，本书具有一定的新意。

此书难免有不足之处，但以培养能力为主线以及三个面向的要求来组织物理实验的教学内容，无疑是一个大胆的尝试。仅就这点来说，本书的出版对实验教学改革必将有很好的启发和参考价值。

上海师范大学校长 朱鸿猷

1986年10月

前 言

本书是按照高等工业学校物理实验课程教学指导小组1986年制订的《高等工业学校物理实验课程教学基本要求（送审稿）》和大学物理实验的教学实践编著的，可作为高等工业学校大学物理实验课的教材，也可作为其他高等学校物理实验课程和实验技术人员的参考书。

大学物理实验是高等工业学校一门独立的必修基础课程，其主要任务是提高学生的科学实验能力和培养学生的科学作风。本书以能力培养为主线，即培养获取知识的能力；运用知识的能力；综合分析问题的能力；为学习后继课程打下良好的基础。在内容上，按照物理实验的基础知识和基本训练、基础实验、选修与实验设计训练的程序来组织教学。由于测量误差、数据处理和基本实验方法是物理实验课的主要内容，因此本书作了较多叙述，分两章编写，并配以基本训练实验，以使读者具备进行基础实验所必需的知识 and 技能。

在误差估算方面，本书要求尽可能用标准误差来估算实验的结果。但我们认为，在基础物理实验范围内，不可能对每一项实验都用严格的误差理论和教学工具来计算、分析实验的结果。所以，在实验中除规定用某种误差表示测量结果外，对于未作规定的某些实验，本书介绍的几种误差都可用来表示测量结果，各校可视实际情况而定。

本书对部分实验的数据处理应用了微机，从而大大减少了处理实验数据的工作量。计算机程序和操作程序列在有关实验的附录中，各校也可视具体情况作出合理和可行的安排。

本书列出了39项实验，大部分是一些基本的典型性例子。对于每项实验，力求将理论基础和测量技术阐述清楚，考虑到各校仪器设备不尽相同，对实验装置和操作步骤不作具体描述。据此，本书对若干常用仪器在附录中介绍或列表进行比较。这种安排，增加了本书的通用性。在最后的实验设计训练部分，选编了三篇外文资料，以使读者通过阅读中、外文资料及实践获得实验方案的设计能力。各校可视实际情况，按照实验能力循序渐进的训练原则和因材施教方针，对实验内容作出合理和可行的选择。

本书由上海科技大学王国华主编；上海工业大学缪连元，华东化工学院张兆奎，中国纺织大学沈毅信，贵州工学院聂柏松、王来添参加了编著工作；上海科技大学陆元亮审阅了全书；上海机械学院凤宝璠和上海海运学院李云生在本书定稿时提供了宝贵的意见。

本书编著过程中得到了上海科技大学金汴骏、张荣欣、庄表圣、陈锡培、金同发等同志的关心和帮助。上海科技大学、上海工业大学、华东化工学院、中国纺织大学等院校物理实验室的有关同志提供了部分资料。对此，谨致以深切的谢意。

由于作者水平有限，时间仓促，书中不足之处在所难免，恳切希望读者和兄弟院校的同 行批评指正。

作 者

1986年9月

内 容 提 要

本书根据高等工业学校物理课程教学指导小组1986年制订的《高等工业学校物理实验课程教学基本要求（送审稿）》和教学实践编著而成。本书以能力的培养为主，共分六章，有力学、热学、电磁学、光学和近代物理等39项实验。第一章和第二章是物理实验的基础知识，主要介绍测量和误差的基本概念、基本测量方法、常用仪器的基本调整技术和微机在物理实验中的应用等内容。第三章是基本训练，有6项实验，用以巩固基础知识和获得进行基础实验必备的技能。第四章是基础实验，共有18项（两项在附录中）。第五章是选修实验，内容包括综合和近代物理实验两部分。第六章是实验设计训练，其中包括三篇外文资料，使读者通过阅读中、外文资料及实践获得实验设计方面的能力。

对于每项实验，力求将理论基础和测量技术阐述清楚，考虑到各校仪器设备不尽相同，对实验装置和操作步骤不作具体描述。若干常用仪器在附录中介绍或列表进行比较，从而增加了本书的通用性。

本书还附有跟实验有关的仪器技术数据和物理常数表。

对以上内容，各校可按照实验能力循序渐进的训练原则和因材施教方针，视具体情况作出合理和可行的选择。

本书可作为高等工业学校各专业的物理实验教材，也可供函授、业余大学等选用，并可作为其他高校物理实验课程和实验技术人员的参考书。

目 录

绪 论	(1)
第一章 物理实验的基础知识 (一)	(3)
§1-1 测量与误差的基本概念	(3)
一、物理实验与测量误差	(3)
二、测量结果的表示与误差的估算	(5)
§1-2 间接测量结果的误差估算	(8)
一、标准误差的传递	(8)
二、算术平均误差、仪器误差的传递	(10)
三、测量结果的评价	(12)
§1-3 测量结果的有效数字及数据处理	(12)
一、测量结果的有效数字	(14)
二、有效数字运算的一般方法	(23)
第二章 物理实验的基础知识 (二)	(23)
§2-1 数据处理的基本方法	(23)
一、列表法	(23)
二、作图法——图示法和图解法	(23)
三、逐差法	(26)
§2-2 物理实验中的基本测量方法	(27)
一、比较法	(27)
二、放大法	(27)
三、换测法	(28)
四、模拟法	(32)
§2-3 物理实验常用仪器中的某些基本调整技术	(32)
一、零位调整	(32)
二、水平、铅直调整	(33)
三、等高共轴调整	(33)
四、消除视差	(33)
§2-4 电磁学实验基本知识	(34)
一、电 路	(34)
二、电 源	(35)
三、电 阻	(35)
四、电 表	(39)
五、电磁学实验操作规程	(45)
§2-5 光学实验基本知识	(46)
一、光学实验的注意事项	(46)

二、实验室常用光源简介·····	(48)
三、光学实验的某些调节·····	(51)
§2-6 物理实验课的基本程序·····	(53)
一、实验前的预习·····	(51)
二、进行实验·····	(54)
三、书写实验报告·····	(55)
§2-7 微机在物理实验中应用简介·····	(58)
物理实验基础知识小结·····	(59)
误差与有效数字练习题·····	(62)
第三章 基本训练 ·····	(62)
§3-1 基本长度的测量·····	(62)
一、米 尺·····	(63)
二、游标尺·····	(66)
三、螺旋测微计(千分尺)·····	(71)
§3-2 物体密度的测量·····	(77)
§3-3 用单摆测量重力加速度·····	(86)
§3-4 气轨上测量滑块的速度和加速度·····	(98)
§3-5 电路连接练习及万用表的使用·····	(98)
§3-6 薄透镜焦距的测量·····	(103)
第四章 基础实验 ·····	(110)
§4-1 用三线摆测量物体的转动惯量·····	(110)
§4-2 用拉伸法测量金属丝的杨氏弹性模量·····	(115)
§4-3 用冷却法测量金属的比热·····	(121)
§4-4 用电热法测量热功当量·····	(126)
§4-5 用稳恒电流场模拟静电场·····	(130)
§4-6 通用示波器的使用·····	(140)
§4-7 分光计调整与测量三棱镜顶角·····	(152)
§4-8 电桥法测量电阻·····	(159)
§4-9 电位差计的使用·····	(171)
§4-10 灵敏电流计常数测量·····	(179)
§4-11 冲击法测量螺线管磁感应强度·····	(184)
§4-12 霍耳效应法测量通电螺线管内部磁场·····	(189)
§4-13 RC、RL串联电路的暂态过程研究·····	(198)
§4-14 声速测量·····	(203)
§4-15 光的干涉和应用·····	(209)
§4-16 衍射光栅测量·····	(219)
第五章 综合与选修实验 ·····	(223)
§5-1 照相技术·····	(223)

§5-2	不平衡电桥测量电阻·····	(232)
§5-3	氢光谱测量与里德堡常数的计算·····	(236)
§5-4	迈克耳逊干涉仪的使用·····	(240)
§5-5	小型棱镜摄谱仪的使用·····	(247)
§5-6	全息照相·····	(254)
§5-7	光电效应与普朗克常数测量·····	(259)
第六章	实验设计训练·····	(263)
§6-1	科学实验的全过程·····	(263)
§6-2	系统误差的分析与处理·····	(265)
§6-3	实验方案选择原则·····	(275)
§6-4	弹簧振子简谐振动的研究·····	(279)
§6-5	变阻器在电路中的使用和研究·····	(280)
§6-6	伏安法测量电阻误差分析·····	(280)
§6-7	用电位差计校正电阻·····	(287)
§6-8	用电位差计校正毫安表·····	(292)
§6-9	两极管正向特性测量·····	(293)
总附录	国际单位制和某些常用物理数据·····	(296)

绪 论

科学实验是科学理论的源泉，是工程技术的基础。作为培养德、智、体、美全面发展的高级工程技术人材的高等工业学校，不仅要使学生具备比较深广的理论知识，而且要使学生具有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。

物理学从本质上来说是一门实验科学。物理实验是物理学的基础，物理定律、物理学的理论等无一不是建立在实验基础上的。任何物理理论，都必须依靠实验提供精确的材料来验证，如果新的理论与实验事实不一致，则不论理论体系本身在数学上、逻辑上多么严密，都不得不进行修正，甚至于被否定，这已经被历史事实所证明。

事实正是这样，在物理学史上许多关键问题的解释，最后都是诉诸于实验。例如，杨氏双缝光的干涉实验证实光的波动说，迈克耳逊-莫雷实验证实以太不存在，赫兹实验证实麦克斯韦的电磁理论等，实验都起了决定性的作用。近代物理学的例子就更多了。因此，物理实验教学与物理理论教学具有同等重要的地位，它们既有深刻的内在联系和配合，又有各自的任务和作用。

随着科学技术的发展，用于物理实验的仪器越来越精细和广泛，用实验可以验证更深一层的理论，推动理论研究的发展，从而启示新的科学思想，提供新的实验方法。能用精确的数据阐明各类事物的细微差异，证明一定的假设，并使假设转化为理论，指出理论的适用范围。近代科学的历史表明，物理学领域内的所有研究成果都是理论和实验密切结合的结晶。

在学习物理学时，我们务必明了物理学具有上述特点，正确处理理论课与实验课的关系，不可偏废一方。

物理实验课程的地位、作用和任务：

物理实验课是对高等工业学校学生进行实验基本训练的一门独立的必修基础课程，是学生进入大学后受到系统实验知识、实验方法和实验技能训练的开端，也是后继课程和实验的重要基础。

物理实验课程教学的主要任务是：

1. 在中学物理实验的基础上，按照循序渐进的原则，学习并掌握进行物理实验的基础知识、基本方法和基本技能，了解科学实验的主要过程，培养学生初步具有科学实验的能力，为今后的学习和工作奠定良好的实验基础。

2. 通过对物理现象的观察和分析，对物理量的测量，加深对物理学某些概念、规律和原理的理解。

3. 培养学生严肃的工作作风，实事求是的科学态度和勇于探索、勇于克服困难、爱护财产、遵守纪律的优良品德。

应当指出，对于一个工程技术人员来说，如果没有扎实的理论知识，没有足够的现代科学实验能力，不仅不能作出创造性的成果，也难于适应科学技术飞速发展的需要，难以担负起建设社会主义祖国的重任。

具体要求是：

- 1.能够自行阅读实验教材或资料，作好实验前的准备。
- 2.运用实验原理和方法去研究某些物理现象，并对其进行具体测量，从而得出结论。
- 3.从实验要求或课题出发，根据实验原理，确定和选择适当的仪器设备，完成简单的设计性实验，并能获得正确的结果。
- 4.熟悉常用仪器的基本原理，了解其结构和性能，并能正确使用它们，熟悉基本的实验方法。在实验中，注意培养分析和排除故障的能力。
- 5.正确记录和处理实验数据，绘制曲线，分析影响实验结果的原因，撰写合格的实验报告。

只要你能抓住重点，认真刻苦地努力学习，严格按照本课程的要求，我们相信，你一定会获得成功。

第一章 物理实验的基础知识 (一)

进行物理实验,离不开用仪器对物理量进行测量,然后得出结果(或结论),最后用正确的形式把实验结果表达出来。由于仪器都有一定的精确度,用仪器测量的结果,是无法获得被测物理量的“真值”的。换句话说,测量的结果都存在一定的“误差”。

实验时,通过对物理量的测量,总会得到一些“数据”——“有效数字”,这些数据应按照规定进行运算。

为能正确地进行实验,在实验前了解并掌握有关这方面的基础知识是必要的。本章主要介绍测量与误差的基本概念;误差分类;估算和表示各种误差的方法;记录实验数据的基本方法及其运算;表示实验结果的方法等内容。最后,通过几个实例,说明上述基础知识的应用。

§1-1 测量与误差的基本概念

一、物理实验与测量误差

1. 直接测量

进行物理实验,不仅要定性地观察物理变化的过程,而且要定量地测量物理量的大小。为了进行测量,必须规定一些标准单位,如选定质量的单位为千克,长度的单位为米,时间的单位为秒,电流强度的单位为安培等等。测量就是将待测量与这些选作为标准单位的物理量进行比较,获得物理量的测量值。因此,对于所表示的一个物理量,必须有数值的大小和单位。一般仪器都有一定的刻度,以便直接读出待测量的数值。象这样可以用仪器(仪表)直接读出测量值的,称为直接测量,相应的物理量称为直接测得量。如用米尺量得物体的长度为0.510米,天平称得物体质量为121.35克,秒表测得时间为78.3秒等等。

2. 间接测量

对于大多数物理量没有提供直接读数用的仪器,只能由直接测得量代入一定的公式或关系式算出其结果,称这种测量为间接测量。例如,测量圆柱体的密度时,我们可以用卡尺量出它的高 h 及直径 d ,算出体积 $V = \pi d^2 h / 4$,然后用天平称出它的质量为 M ,则圆柱体的密度为:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{4M}{\pi d^2 h}$$

象 ρ 这一类的量称为间接测得量。

3. 测量误差

任何物质都有自身的各种各样的特性,反映这些特性的物理量,具有客观的真实数据,称为真值。测量的目的就是力图要得到这些真值。

但是,测量总是在一定条件下,通过一定的方法、仪器由实验者去完成的。由于仪器的精确度、实验者的测量技术等各种因素的限制,通过有限的实验手段所得测量值与真值总有差别。由此可见,测量值总是真值的近似值。

我们把测量值与真值的差定义为误差,可用下式表示

$$\Delta x_i = x_i - x_0$$

式中 Δx_i 为误差, x_i 为某次测量值, x_0 代表真值。 Δx_i 可为正,也可为负。当 Δx_i 为正时,称正误差, Δx_i 为负时,称负误差。

4. 误差分类

误差的产生有多方面的原因。根据误差的性质及产生的原因,可将误差分为系统误差和随机误差两种。

(1) 系统误差:系统误差一般总是使测量结果向一个方面偏离,其误差数值和符号(+、-)一定或者按照一定的规律变化。它的来源有以下一些方面:仪器的固有缺陷(刻度不准、零点没有调好、法码未经校准等),测量所规定的环境发生变化(如温度、压强等的影响)和个人的习惯与偏向(如有人读数总是偏高,有人读数总是偏低)等。此外,在实验过程中,有关的因素考虑不周全,也会导致系统误差(如精确测量物体的体积时,未考虑物体因受热而膨胀的影响;精密测量某物体的质量时,忽略了空气浮力产生的影响等)。

如果在实验中,对产生系统误差的原因已经明确,那么只要对测量值进行修正,就可以排除这种误差。而在实验中,增加测量次数并不能减少这种误差。

(2) 随机误差(亦称偶然误差):随机误差的特征是误差的数值和符号是随机变化的,它的来源是:人们的感官(如听觉、视觉、触觉)的分辨能力不仅不相同,且表现为每个人的估读能力不一致,外界环境的干扰(如温度不均匀、振动、气流、噪声等),既不能消除,又无法估量,所有影响测量的次要因素不尽全知等,这种误差是无法克服的,但它服从统计规律,可用出现的几率来表示。

实践证明,在一般物理测量中,随机误差的分布服从如图1-1-1的正态分布。图中横坐标是误差 Δx ,纵坐标是误差分布几率密度 $f(x)$,由图可以看出随机误差有下列性质:

- ① 正的随机误差和负的随机误差出现的几率相等;
- ② 绝对值相等的正误差和负误差出现的几率相等;
- ③ 绝对值小的误差出现的几率比大的误差出现的几率大。

根据随机误差性质①和②,我们可以相信下述假设的正确性:当测量次数无限增加时,随机误差的算术平均误差趋向于零。

即

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n \rightarrow \infty} \Delta x_i = 0$$

另外,实验时所用的仪器本身也有误差,该误差称仪器误差。仪器误差的情况比较复杂

杂，一般包括系统误差及随机误差两个方面。仪器误差的计算问题，将在下面叙述。

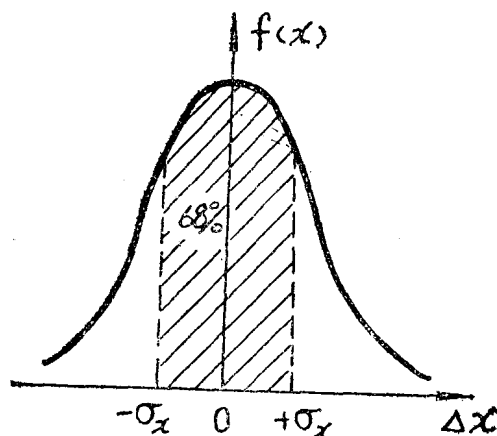


图1-1-1 随机误差的正态分布

综上所述，测量结果的误差，是各个因素所引起的误差的总和，所以误差总是贯穿于实验的始终。只有综合考虑随机误差与系统误差对实验结果的影响才是全面的，忽视任何一个方面，就会使问题说不清楚。当一个问题中存在几种误差时，我们应对不同的误差进行分析比较，用分别得到的误差来表示实验结果。

测量恒有误差，客观真值永远测不到，那么究竟如何表示测量结果？又怎样估算测量误差？下面就加以详细阐述。

二、测量结果的表示与误差的估算

1. 测量结果的最佳值——多次测量的平均值

对于一般实验，在实验前对系统误差均作过处理，（消除或修正）实验中主要解决随机误差问题。由随机误差性质可以证明多次测量值的算术平均值是接近于真值的最佳测量值。

设对某物理量 x 进行了 n 次重复测量，其测量值分别为 $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n$ ，用 $\bar{x}$ 表示平均值，平均值与每次测量值的关系如下：

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i\end{aligned}$$

当测量次数无限增加时，该算术平均值就将无限接近于真值。证明如下：

根据误差定义有：

$$\Delta x_i = x_i - x_0, \quad x_0 = x_i - \Delta x_i$$

则

$$x_0 = x_1 - \Delta x_1$$

$$x_0 = x_2 - \Delta x_2$$

.....

$$x_0 = x_n - \Delta x_n$$

$$nx_0 = \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n \Delta x_i$$

根据随机误差性质，当测量次数无限增加时，随机误差的算术平均误差趋向于零。

故

$$x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \bar{x}$$

所以，为了减少随机误差，在可能情况下，实验总是采用多次测量，将各次测量的算术平均值作为测量的结果。

2. 随机误差的估算

真值无法得到，误差也就无法估算。由于算术平均值是最佳值，因此可以以它作为近真值来估算误差。一般定义测量值与平均值之差为“偏差”或“离差”，它们与误差是有区别的。然而当测量次数很多时，多次测量的平均值 $\bar{x}$ 就会接近于真值，各次测量值与 $\bar{x}$ 的偏差也就接近于它们与真值的差——误差。因此，在一般的讨论中就不去严格区分“偏差”与“误差”的区别，把它们统称为误差。

实验结果的随机误差常用下列几种方法表示：

(1) 算术平均绝对误差：设上述多次测量中每次测量值 x_i 与平均值 $\bar{x}$ 的差。取绝对值，用 Δx_i 表示，则有：

$$\Delta x_1 = |x_1 - \bar{x}|;$$

$$\Delta x_2 = |x_2 - \bar{x}|;$$

$$\dots\dots\dots$$

取

$$\overline{\Delta x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta x_i|。$$

称 $\overline{\Delta x}$ 为算术平均绝对误差，测量结果的表达式可写为：

$$x = \bar{x} \pm \overline{\Delta x}。$$

(2) 标准误差——方均根误差：测量列的标准误差定义是：当测量次数无限多，各次测量值 x_i 与平均值 $\bar{x}$ 差的平方和平均值的平方根，定义为该一系列测量值某一次测量结果的标准误差，以 σ_x 表示。即：

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2}{n}}$$

$$\text{或} \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

当测量次数 n 有限时，根据误差理论，上式应该改写为：

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

由于实验中测量次数都是有限的,因此在以后的误差估算中,我们可用上式来估算实验的随机误差。

应该指出,上式是某列测量结果中某一次测量值的标准误差,若 n 次测量结果平均值 $\bar{x}$ 的标准误差(平均标准误差),则上式应改写成平均值的标准误差。

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

两者的关系为

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

当随机误差用标准误差来表示时,测量结果应写成:

$$x = \bar{x} \pm \sigma_x \text{ 或 } x = \bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$$

式中 x 为某一被测物理量的值, $\bar{x}$ 是多次测量数据的平均值(代表最佳测量值), σ_x ($\sigma_{\bar{x}}$) 为标准误差, $\pm$ 号表示测量值的范围。

标准误差的大小,表示在一组多次测量的数据中各个数据之间的离散程度和测量出现的几率大小。从随机误差遵循的正态分布规律可以证明: σ_x 包含约68%的几率,即测量值 x 在 $\bar{x} \pm \sigma_x$ 范围内的几率约为68%,如图1-1-1所示。

在工科系统的物理实验中,主要是树立正确的误差概念和对实验作粗略的误差估算与分析。对于测量次数,由于受条件限制,只能按有关实验的规定进行。

3. 单次直接测量的误差估算

在物理实验中,常常由于条件不许可,或测量准确度要求不高等原因,对一个物理量的直接测量只进行一次。这时,应该根据仪器实验条件及实验者的技术水平与实际情况,仪器的质量(最小刻度和仪器误差)、测量方法、对测量值的误差,进行合理估算,不能一概而论。在一般情况下,对于随机误差很小的测量值,可用仪器误差作为单次测量的误差。

设 x' 为测量值, $\Delta x_{\text{仪}}$ 为仪器误差,测量结果可表示为:

$$x = x' \pm \Delta x_{\text{仪}}$$

式中 x 为某被测物理量。

4. 相对误差

在表示物理实验的结果时,有时为了全面评价测量的优劣,还需要考虑被测量本身的大小,这显然与绝对误差的概念不同,这一情况,可用相对误差来表示。

相对误差的定义为:

$$E = \frac{\Delta x}{x}$$

式中 Δx 可以是算术平均误差 $\overline{\Delta x}$, 或标准误差 σ_x , 或平均标准误差 $\sigma_{\bar{x}}$ 。

相对误差一般用百分比来表示, 即

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

故又称百分误差, 若用标准误差 σ_x 表示 Δx 则上两式可写成

$$E = \frac{\sigma_x}{\bar{x}}$$

或

$$E_r = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} \times 100\%$$

为了说明相对误差的意义, 下面举一个例子。例如测得两个物体的长度为 $L_1 = (23.50 \pm 0.03)\text{cm}$, $L_2 = (2.35 \pm 0.03)\text{cm}$, 则其相对误差分别为 (设第一物理论值长为 24cm , 第二物为 2.4cm):

$$E_{r1} = \frac{0.03}{24} \times 100\% = 0.1\%$$

$$E_{r2} = \frac{0.03}{2.4} \times 100\% = 1\%$$

从绝对误差来看, 两者相同, 但从相对误差来看, 后者比前者大10倍, 我们自然认为第一个测量更准确些。

当被测量值有公认标准值或理论值时, 在实验结果的数据处理中, 还常常把测量值与其公认值或理论值进行比较, 并用百分误差来表示实验结果, 此时

$$E_r = \frac{|\text{测量值} - \text{理论值}|}{\text{理论值}} \times 100\%$$

5. 仪器误差

测量是用仪器进行的, 有的仪器比较粗糙, 有的比较精确, 但任何仪器都存在误差。所不同的是, 粗糙的仪器其仪器误差大, 精确的仪器其仪器误差小。因此, 仪器误差对实验结果的影响是不可忽略的。我们用 $\Delta x_{\text{仪}}$ 来表示仪器误差。仪器误差的大小, 由生产仪器的工厂决定, 一般写在仪器的标牌上 (或说明书中)。对于未标明误差的仪器, 在处理时可取其分度值的一半作为这些测量工具的仪器误差。用仪器误差表示测量结果时, 可写作:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x_{\text{仪}}$$

式中 $\bar{x}$ 为各次测量的平均值。

§1-2 间接测量结果的误差估算

一、标准误差的传递

直接测得量都是有误差的, 那么, 间接测得量也必然有误差, 间接测量值的误差由误差传递公式进行估算。系统误差、仪器误差、随机误差均有传递问题。