

DAXUE WULI SHIYAN

大学物理实验

马黎君 主编

中国建材工业出版社

大学物理实验

马黎君 主编

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/马黎君主编. —北京:中国建材工业出版社, 2004.5

ISBN 7-80159-605-6

I. 大… II. 马… 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(2004)第 025235 号

大学物理实验

马黎君 主编

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×960mm 1/16

印 张: 17.25

字 数: 318 千字

版 次: 2004 年 5 月第 1 版

印 次: 2004 年 5 月第 1 次

印 数: 1~5000 册

书 号: ISBN 7-80159-605-6/G·111

定 价: 23.00 元

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 68345931

前 言

本教材是依照教育部《高等工业学校物理实验课程的教学基本要求》,结合我院多年大学物理实验教学研究成果及普通工科物理实验室的条件和教学特点,按面向 21 世纪大学物理实验教学改革思路和构想编写的,适用于培养应用型技术人才工科院校的大学物理实验教学。

在科学教育中,人们已越来越深刻地认识到实验教学的作用和地位。物理实验是理工科院校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始,是进行科学训练的重要基础。物理学是具有实践、创造特点的学科,物理教学除了向学生传授物理学的知识,培养学生的观察、实践、分析能力外,也重视对学生进行创新、创造能力的培养。在物理实验教学中,学生在接受一定基础训练的前提下,开展设计性实验训练,在一些特定的要求和条件下,自行查阅资料,设计新的实验方案,完成实验要求,这是培养学生创造能力的有效途径。设计性实验能提高学生的兴趣,使教学过程变成学生发现信息、捕捉信息、加工信息、研究问题、增长知识的过程。设计性实验教学较基础实验教学有更广阔的活动空间和思维空间,具有更大的灵活性,可以激发和满足不同层次学生的探索与创新欲望。本教材在注重基础知识、基本方法和基本技能训练的同时,增大了设计性与课题型实验的内容。

本教材内容分为基本实验与近代综合实验、设计性与课题型实验三大部分。主要特点是:在使用误差概念的同时,主要以不确定度作为实验结果的表达评定;在实验内容设置上,注意吸收最新的实验教学研究成果,引进最新的实验教学内容,为培养学生创新能力提供条件。依照由浅入深的原则,由详到略地给出了实验步骤、数据处理,由基础训练到课题设计,循序渐进,培养和提高学生的分析思维能力、处理问题能力,在注重实验技能训练的同时更强调了对学生创新素质的培养。

本教材由马黎君主编,由北京建筑工程学院物理实验室全体教师共同完成。参加编写工作的教师具体分工如下:

马黎君:绪论,第一章,第二章,第三章(实验二、实验三、实验六、实验七、实验九、实验十),第四章(实验四、实验八),第五章(实验五),第六章(实验二、实验三、实验四、实验五、实验六),第七章;王秀敏:第三章(实验四、实验五),第五章(实验二、实验四);李会容:第四章(实验二、实验六);杨宏:第五章(实验三);宗

保春:第四章(实验七),第六章(实验一);曹辉耕:第三章(实验八),第四章(实验五);黄尚永:第三章(实验一),第五章(实验六);窦轶洋:第四章(实验三),第五章(实验一)。全书由马黎君负责统稿、修改。

实验教材的出版,是实验室全体教师和实验技术人员长期积累的集体劳动成果,我们特别对朱丽中、郭建基、姚贵省、程学平等在教材的形成过程中,在实验教学研究、实验改革等方面所给予的支持和所做工作表示由衷感谢。另外,在编写过程中,我们参阅了有关一些兄弟院校的教材和讲义,对此,我们深表谢意。

鉴于水平和教学经验有限,错误和不足之处在所难免,敬请读者不吝斧正。

编 者

2004.4

目 录

绪 论	1
第一节 物理实验在物理学发展中的作用	1
第二节 物理实验与科学素质培养	2
第三节 物理实验程序	3
第一章 误差与不确定度	6
第一节 测量误差理论	6
第二节 测量结果的不确定度评定	10
第二章 数据处理基本知识	20
第一节 有效数字	20
第二节 列表与作图	22
第三节 差值法与逐差法	24
第四节 线性函数的最小二乘法	25
第五节 作图法和线性回归法的比较	27
第六节 测量结果的处理程序	28
第三章 力学和热学实验	33
实验一 基本测量	33
实验二 重力加速度的测定	44
实验三 拉伸法测金属丝的弹性模量	48
实验四 气垫导轨上牛顿运动定律的研究	52
实验五 气垫导轨上动量守恒定律的研究	61
实验六 气垫导轨上简谐振动的研究	63
实验七 固体线膨胀系数的测定	64
实验八 刚体定轴转动的研究	66
实验九 比热容的测量	70
第四章 电磁学实验	79
实验一 伏-安法测电阻	85
实验二 电表的改装与校准	87
实验三 用惠斯通电桥测电阻	90
实验四 电位差计测量电动势	94

实验五	模拟法测绘静电场	106
实验六	灵敏电流计的研究	110
实验七	示波器的使用	117
实验八	用霍尔效应测霍尔电势和磁感应强度	126
第五章	光学实验	131
实验一	薄透镜焦距的测定	133
实验二	分光仪的调整与使用	139
实验三	等厚干涉	149
实验四	衍射光栅	154
实验五	偏振光的研究	158
实验六	双棱镜干涉	161
第六章	近代物理及综合实验	166
实验一	用光电效应测普朗克常数	166
实验二	全息照相实验	170
实验三	热电偶定标	175
实验四	迈克耳孙干涉仪的使用	178
实验五	声速的测量	183
实验六	照相技术	189
第七章	设计性与课题型实验	199
实验一	动态悬挂法测金属材料的弹性模量	199
实验二	传感器测定空气比热容比	202
实验三	半导体 PN 结的物理特性及弱电流测量	205
实验四	非线性电路混沌现象研究	209
实验五	全息光栅的制作和光栅常数的测定	217
实验六	节能控制型路灯的设计	223
实验七	自行设计非线性混沌电路	227
实验八	电子顺磁共振	231
实验九	数字光纤通讯	236
实验十	超声波测试原理及应用	240
实验十一	计算机虚拟实验设计	254
附 录		261
一、国际单位制		261
二、常用物理数据		263
参考文献		268

绪 论

第一节 物理实验在物理学发展中的作用

科学实验是人类文明发展的积极推动力之一,物理实验在其中占据了重要位置。科学实验同单纯的观察、被动的经验之间存在很大的区别,观察是实验的前提,实验是观察的发展。观察是搜集自然现象所提供的东西,而实验是从自然现象中提取它所要的东西。科学史表明:只有依靠实验的方法,并借助理性思维,才能达到“必然性的证明”。由此可见,实验和观察是两种不同层次的认识手段,起着不同的作用。

物理实验是人们根据研究的目的,运用科学仪器设备,人为地控制、创造或纯化某种自然过程,使之按预期的进程发展,同时在尽可能减少干扰客观状态的前提下进行观测,以探究物理过程变化规律的一种科学活动。物理学是一门实验科学,在物理学中,每个概念的建立、每个定律的发现,都有其坚实的实验基础。实验在物理学的发展中有着重要的意义和巨大的推动作用。当代最引人注目的诺贝尔物理学奖金,从 1901 年至今拥有上百年历史,有 150 多人获奖,其中因为实验物理学方面的伟大发现而获奖的占据三分之二以上。

从物理学发展的历史看,物理实验是物理学理论的基础,也是物理学发展的基本动力。物理实验在物理学发展中的作用主要表现在以下几个方面:在经典物理学发展中,伽俐略的斜面实验、胡克的弹性实验、玻意耳的空气压缩实验等都为经典力学提供了实验事实,并在此基础上建立了新规律。在电学方面,库仑定律、欧姆定律、法拉第电解定律和电磁感应定律等的建立,无一不是在大量的实验中做出来的。在光学方面,光的干涉、衍射、偏振等现象也都是首先在实验中发现。在 19 世纪和 20 世纪之交,正当人们纷纷认为物理学已发展到顶点的时候,也正是 X 射线、放射性和电子等的发现,打破了沉闷的空气,揭示了经典物理的不足,从而开拓了新的领域,诞生了现代物理学。

理论是物理学的主体,理性认识源于感性认识,高于感性认识,更具有普遍性。然而,一种理论是否正确往往要通过实验的验证。例如麦克斯韦提出的电磁理论,尽管其方程优美对称,但人们还是难以置信。直到 20 多年后,他预言的电磁波被赫兹实验验证后,这一学说才为人们所接受。物理学并不单方面轻信理论的美妙,而需要与实验完美的结合。纵观物理学三百余年的发展史,从伽俐

略开创的物理学力学研究的先河到麦克斯韦的电磁波方程;从汤姆孙发现电子到卢瑟福击破原子核,无一不是通过实验才获得成功的。从部分诺贝尔物理奖的颁发,也可以看到物理实验对理论的检验论证作用。爱因斯坦 1905 年就提出了光电子理论,直到 1916 年经实验物理学家密立根用实验检验后才得到人们的承认,时隔 16 年,到 1921 年才颁发这个项目的诺贝尔物理奖,可见物理学尊重实验,并不屈就于权威。同样德布罗意物质波理论是 1923 年提出的,1927 年经实验检验后,到 1929 年才颁发这个项目的诺贝尔物理奖,这期间时隔 6 年。李正道、杨振宁弱相互作用下宇称不守恒原理在 1956 年提出后,同年经吴健雄用实验检验后到 1957 年才获此诺贝尔物理奖项。

现代社会的许多技术,如蒸汽技术、电工和电子技术都离不开实验。各种发明创造,都是经过大量的实验研究才日臻完善的。光谱学、激光、核磁共振、穆斯堡尔谱学、超导器件等都凝聚了实验物理学家的心血。

艺术家们说艺术是“囊刮万殊,裁成一体”,而物理学应该是“囊刮万物,推成一理”。“囊刮万物”的过程就是对世界上的万事万物进行观察,然后又通过实验验证,最后才推导其道理,形成了物理学的理论,逐步地成为体系的。“物含妙理总堪寻”,物理学科有它内在独到的美。物理,有物才有理;辩证唯物主义者认为客观决定主观,认识客观的惟一方法是实践;对于物理学来说,那就是实验的方法,尊物崇理,求真创新是研究物理学的宗旨。

第二节 物理实验与科学素质培养

物理学是研究物质结构与运动一般规律的学科,也是一门以实验为基础的学科,是理论的源泉和学说的检验标准之一。在物理学科的素质教育中,实验教学占有十分重要的地位。物理实验在培养学生独立从事科学技术研究工作的能力、理论联系实际的分析综合能力与思维和表达能力等方面都是绝不能缺少的一课。

在科学研究中,常常是实验中的某些物理现象为我们提供了种种线索,但要从这些线索中做出特有的判断,还需要具有丰富的想像力去对蕴藏在所有线索后面的令人惊讶的简单又奇特的图像进行猜测,然后用实验手段来验证其结果。

实验能够创造最确实、最少受干扰,并保证过程以其纯粹形态进行的物理环境,它创造了理论密切联系实际的学习过程。在这个过程中蕴藏着极其活泼的因素。它不仅能活化学到的物理知识,而且能引导同学像科学家那样去观察周围的事物,用实验手段去验证事物的属性,发现事物的变化、联系和规律,让同学从中学习科学的研究方法,并掌握科学的学习方法。在物理实验过程中,同学们要认识到从事科学实验时动手能力的形成是以实验的基本知识、基本方法、基本

技能的熟练掌握为基础的,还要注意创造性地从事科学实验更需要物理思维能力。

实验能培养实验能力,实验能力是不能仅依靠教师的讲解来传授的,而必须在自身相应的实践活动中才能得到发展,只有通过实验才能培养实验能力。除此之外,通过实验还可以培养学生的想像能力、思维能力等。在观察与实验中,需要用精细敏锐的感知和观察力,去及时捕获一些重要现象,从而培养了观察能力;通过设计实验、分析结果等能锻炼和培养想像能力和分析能力;在研究原因、结果和形成概念的过程中,要进行概括、抽象的逻辑思维和辩证思维,通过分析、比较、判断、推理等能培养逻辑思维能力(归纳能力、分析能力等);通过想像、假设能锻炼和发展想像能力、创造能力;在实际操作和汇报实验结果的过程中,还能培养组织能力、表达能力等等。

科学素质主要由三个方面的因素构成:知识因素、智能因素和非智力因素。物理实验除了对知识的掌握、智能的提高有明显的作用之外,对非智力因素的培养也起着显著的作用。物理实验不仅能培养学生实事求是的科学态度、严谨细致的工作作风和坚忍不拔的意志品质,而且能有助于学生形成正确的观念、优秀的道德品质,培养高尚的思想情操和浓厚的学习兴趣。

物理实验能为学生提供手脑并用的良好机会,对培养学生理论联系实际的科学作风有特殊的功能。实验还是提供学生进行人际交往,开展国际合作的良好机会。如果一个人没有社会交往能力,没有能与他人合作的精神,也将是一事无成。

物理实验涉及到力、热、电、声、光等各种规律和因素。实验教学虽然不同于科学实验研究,但同样是观察现象、分析数据,实验条件决不会像公式推导那样严格不变,各种意外都可能发生,作为学生要有敢于挑战困难的勇气,战胜困难的毅力和心理准备,克服困难。物理实验是艰苦的,往往为了获得一个可靠的数据,需要长时间的观察和测试。教学实验同样要付出艰辛的劳动,几乎每个数据的测量都需要反复多次,这是枯燥而细致的工作,需要有坚忍的意志。

各学科对培养发展学生创造力都有自身的价值。物理学是以实验为基础的学科,物理规律是观察、实验和思维的产物。物理实验由于其自身的教学特点,即主要以实践为主要内容,其在创造素质培养中起着重要作用,是对学生进行创造意识训练和科学方法训练的有效途径。

第三节 物理实验程序

本教材所包括的物理实验,多数是测定某一物理量的数值,也有研究某一物理量随另一物理量变化的规律性。对于同一物理量虽然可用不同方法来测定,

但是无论实验的内容如何,也无论采用哪一种实验方法,物理实验课的基本程序大都相同,一般可以分为如下述三个阶段。

1. 实验前的预习

首先要根据实验室下发的课程表找到自己所在实验组该轮次应做的实验项目,仔细地阅读物理实验教材的有关内容。由于实验课的时间有限,而熟悉仪器和测量数据的任务一般都比较重,不允许在实验课内才开始研究实验的原理,如果不了解实验原理,实验时就不知道要研究什么,要测量哪些物理量,也不了解将会出现什么现象,只是机械地按照教材所定的步骤进行操作,离开了教材就不知道怎样动手。用这种呆板的方式做实验,虽然也得到了实验数据,却不了解它们的物理意义,也不会根据所测数据去推求实验的最后结果。因此,为了在规定时间内高质量完成实验课的任务,学生应当做好实验前的预习。

预习的要求,应以理解本教材所述的原理为主,对于实验的具体过程只要求粗略地了解,以便能够抓住实验的关键,做到较好地控制实验的物理过程或物理现象,及时、迅速、准确地获得待测物理量的数据。为了使测量结果眉目清楚,防止漏测数据,预习时应根据实验要求画好数据表格。表格上标明文字符号所代表的物理量及其单位,并确定测量次数。实验前教师将对预习情况进行检查,教师将对实验内容进行提问,没有预习者禁止进行实验。

2. 实验过程

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,并了解实验的注意事项。依照规定的实验步骤,独立地实施操作,认真观察物理现象,随时注意仪器设备的工作状态,当发现异常现象或故障,应立即断开电源终止实验,及时向教师报告,经妥善处理后,方可继续实验。

在实验时,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测量。每次测量后,立即将数据记录在实验笔记本上,要根据仪表的最小刻度单位或准确度等级决定实验数据的有效数字位数,各个数据之间、数据与图表之间不要太挤,应留有间隙,以供必要时补充或更正。如果觉得数据有错误,可在错误的数字上画一条整齐的直线;如果整段数据都测错了,则画一个与此段大小相适应的“×”号,在情况允许时,可以简单地说明为什么是错误的。错误记录的数据不要用黑圈或黑方块涂掉。

我们保留错误数据,不要毁掉它,是因为“错误”数据有时经过比较后发现有可能是对的,对错误数据的分析往往有助于我们发现问题并解决问题。当实验结果与温度、湿度和气压有关系时,要记下实验进行时的室温、空气湿度和大气压。

在两个和多个人合作做一个实验时,既不要其中一个处于被动,也不要一个人包办代替,应当既有分工又有协作,以便共同达到预期实验要求。

3. 实验报告

实验报告是实验工作的全面总结,要用简明的形式将实验结果完整而又真实地表达出来。写报告时,要求文字通顺、字迹端正、图表规矩、结果正确、认真讨论。应养成实验完成后尽早将实验报告写出来的习惯,因为这样做可以达到事半功倍的效果。

完整的实验报告,通常包括下列几个部分:

(1)实验名称;(2)实验目的;(3)简要原理和计算公式;(4)仪器设备;(5)实验数据处理和计算;(6)不确定度分析;(7)实验结果;(8)讨论。

另外,试验报告要附上实验的原始数据。前面几部分的写法,可以参考教材上的写法,下面就几个重要内容的要求做进一步说明。

(1)实验预习报告

它记录的实验数据是现场记录数据的原始凭证。课后,不允许在原始数据上面作任何修改,应原原本本地交上来。

(2)数据处理与计算

①对各直接测量和最终实验结果都要给出平均值、不确定度、相对不确定度计算与处理。各项计算必须有栏目名称,条理清晰。计算过程必须详细具体,不允许没有数据运算过程而直接写出结果。数据和不确定度的运算过程都必须认真完整书写,要写出相应的步骤。

②实验结果:按实验结果表达式要求,逐项报告各直接测量和最终的实验结果。有些实验还须报告函数图像、解析表达式或其他结论。报告的每一项目必须有栏目名称。

(3)思考题与讨论

讨论包括回答布置的思考题,可写感想,还可以谈实验的心得体会,但不要每个实验都写心得体会,有则写,无则不要勉强写。

实验报告应该在下一次实验课时交给指导教师进行批改。

大学物理实验成绩由两部分组成,即平时成绩和笔试成绩。平时成绩由预习、实验过程和实验报告的成绩确定;笔试内容包括每学期所做实验的实验原理、实验现象、实验方法和技术、实验仪器的调节与操作要点、测量误差与数据处理的基本知识等。

第一章 误差与不确定度

第一节 测量误差理论

一、测 量

科学实验离不开对各种物理量的测量,对物理量进行测量是物理试验极其重要的组成部分,测量的目的在于确定待测量的量值。所谓测量就是借助一定的实验仪器,通过一定的实验方法,把待测量与选作计量标准单位的同类物理量进行比较的全部操作。按获得测量结果的手段来分,可以将测量分为直接测量和间接测量。

直接测得量:是指一些物理量可通过相应的测量仪器直接测得。如用米尺测物体长度。

间接测得量:由一些直接测得量通过一定函数关系计算出来的量。如圆柱的体积可以分别用米尺测其高度和横截面直径,然后由公式求得。

等精度测量:仪器的不同、方法的差异、测量条件的改变以及测量者素质的参差都会造成测量结果的变化,这样的测量是不等精度测量。而同一个人,用同样的方法,使用同样的仪器并在相同的条件下对同一物理量进行的多次测量,叫做等精度测量。尽管各测量值可能不相等,但没有理由认为哪一次(或几次)的测量值更可靠或更不可靠。实际上,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。以后说到对一个量的多次测量,如无另加说明,都是指等精度测量。

二、基本测量方法

1. 比较法

比较法是物理量测量中最普遍、最基本的测量方法。它是将被测量与标准量进行比较而得到的测量值。比较法可分为直接比较法和间接比较法两类。直接比较法是将被测测量与同类物理量的标准值直接进行比较,这就要求事先制成很多供比较用的标准。

比较有定性、定量两种。例如,判断色彩的深浅,天平的平衡是否被破坏等都是定性的比较;定量的比较常常需借助某种特殊标准,当待测量与标定量具有相同的效应时,比较才能完成。标定量是一种不变的标准,例如,长度的标定量

是以 Kr^{86} 的橙红色光波波长标定的米尺。

物理实验中的直接测量,采用的大多是比较法。

2. 等效替代法

通过与待测量之间存在着某方面等效关系的其他替代量的测量来完成物理实验的方法。等效法的依据是变换原理,它通常可分为数值等效和运动等效两大类。

数值等效是指由于替代量在数值上和待测量有某种相等关系而导致的等效,例如测量物体的 m, a 的值,计算它们的积,可以和它们瞬间所受到的合外力在数值上等效。物理实验中的间接测量大多数都采用数值等效。

运动等效是指替代量和待测量都作为运动的某种方式,由于具有共同的量度而导致的等效。共同的量度一般采用能量,例如,用光电效应测定电子的逸出功,利用的就是光、电两种不同宏观运动形式被稳恒电场能量量度时表现出的等效;现代信息技术中大量采用的各种传感器,实质上都是依据运动等效做成的能量变换器;物理实验中常用的有热电偶、压电传感器、光电传感器、霍尔元件等等。

3. 放大法

把微弱信号或超强信号变为可测信号,从而完成物理实验的方法。在测量中,有时由于被测量过分微弱,以至无法被实验者或仪器直接感觉和反应,那么可以先通过某种途径将被测量放大,然后再进行测量,放大被测量所用的原理和方法便称为放大法。常见的放大法有:光杠杆法测量微小长度变化,用镜尺法测量微小角度,视角放大法,螺旋放大法。对超强信号,其放大率小于 1。

4. 模拟法

这是一种通过模型对物理现象或物理过程进行模拟来完成物理实验的方法。由于某些特殊的原因,比如研究对象过分庞大、或者危险、或者变化缓慢使得难以直接测量,于是便制造了与研究对象有一定关系的物理模型,用对模型的测量代替对原型的测量称为模拟法。模拟法包含物理模拟和数学模拟。

5. 补偿法

这是指系统受某种作用产生 A 效应,受另一种同类作用产生 B 效应,如果由于 B 效应的存在而使 A 效应显示不出来,就叫做 B 对 A 进行了补偿。常见如电桥、电势差计等。

三、真值与误差

任何物质都有自身各种各样的特性,反映这些特性的物理量所具有的客观的真实数值,称为真值。在实际测量过程中,由于测量仪器、测量方法、测量条件和测量人员的水平,以及各种因素的局限,不可能使测量结果与客观存在的真值完全相同。

在任何测量中,测量值与真值之间总是存在着差异,这种差异称为误差。

$$\text{误差} = \text{测量值} - \text{真值}$$

误差存在于一切测量之中,而且自始至终贯穿于整个测量过程之中。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、随机误差和过失误差三种。它们对测量结果的影响不同,处理方法也不同。

1. 系统误差

在一定条件下(指仪器、环境、方法和观测者一定),对同一物理量进行多次测量,其误差的大小和符号保持不变或随着测量条件变化而有规律的变化,这类误差称为系统误差。系统误差的特征是它的确定性,它的来源主要有以下几个方面:

①仪器本身的固有缺陷或没有按规定条件使用而引起的误差。如仪器标尺的刻度不准,零点没有调准,等臂天平的臂不等,砝码不准,应水平放置的仪器没有放水平等。

②由于测量所依据的理论本身的近似性或实验条件的局限,不能达到理论公式所规定的要求而引起的误差。如称质量时没有考虑空气浮力的影响,伏安法测电阻时忽略了电表内阻的影响等等。

③由于实验者本身的心理或生理的特点而引起误差。如使用停表计时,有人操之过急,总是计时短;而有人则反应迟缓,总是计时长;又如有的人对准目标时,总爱偏左或偏右,等等。

不同的系统误差由于产生原因不同,其性质也不同。如实验仪器零点不准确,实验方法和理论不完善等原因引起的系统误差,一旦发现,可确定它的大小和正负,从而予以消除或充分修正。另一种系统误差,如反映各种仪器、仪表及量具制造准确程度的仪器极限误差,其特点是只知道使用该仪器误差的极限范围,并不确切知道它的大小和正负,因而是无法忽略又无法消除和修正的。

2. 随机误差

在测量中,若已经消除了系统误差,发现测量值仍杂乱无章地分散在一定的范围内,似乎不存在任何确定的规律性,测量值和真值之间仍然存在着误差,这种误差叫随机误差,又叫偶然误差。

随机误差有时大、有时小,有时正、有时负,即随机误差的符号和数值都是变化的,因此,这种误差使测量结果偏大偏小不定。但同一个人用同一仪器,在同种条件下,对同一物理量进行多次测量,若测量次数足够多,随机误差完全服从统计分布,当测量次数趋于无穷大时,全部可能的随机误差的算术平均值趋零。因此,增加测量次数对减少随机误差有利,这就是我们在实际工作中常常采取重复多次测量的原因,但是随机误差是不能完全消除的。

随机误差的大小取决于观测者感官的限制和测量过程中一系列偶然因素的

影响,它的来源比较复杂,随机误差的处理主要是依靠概率统计方法。

3. 过失误差

过失误差是由于实验者使用仪器的方法不正确,实验方法不合理,粗心大意,过度疲劳记错数据等引起的。过失误差是人为的,只要实验者采取严肃认真的态度、一丝不苟的作风,就完全可以避免过失误差的出现。

四、测量结果的定性评价

对同一物理量进行多次等精度测量,其结果也不完全相同。定性评价测量结果,常用到精密度、正确度和准确度这三个概念。这三者的含义不同,使用时应加以区别。

1. 正确度

反映系统误差大小的程度,是指测量结果的正确性。正确度高是指测量数据的平均值偏离真值较少,测量的系统误差小,但数据分散的情况,即随机误差的大小不明确。

2. 精密度

反映随机误差大小的程度,它是指多次等精度测量各测量值的密集程度。精密度高指测量的重复性好,各次测量值的分布密集,随机误差小,但系统误差的大小不明确。

3. 精确度

反映系统误差与随机误差综合大小的程度,是指测量结果既精密又正确,即随机误差与系统误差均小,则说明测量结果准确度高。

这好比打靶,着弹点会有一定的弥散性,结果比较接近客观实际的测量正确度高;结果彼此相近的测量精密度高;而既精密又正确的测量则为精确度高。一般来讲,正确度显示测量结果系统误差的大小,精密度表示测量结果随机性的的大小,精确度则反映出测量的系统误差与随机误差的大小。图 1-1-1 为三种情况的示意图。

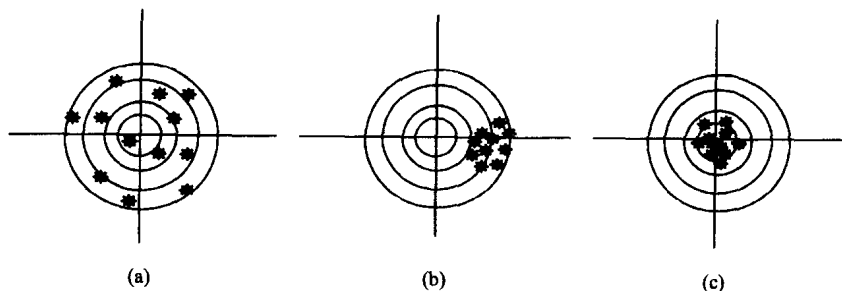


图 1-1-1 测量中的三种情况示意图

影响精确度的主要因素,有时是随机误差,有时是系统误差,具体情况要进行具体分析。测量结果的总误差是系统误差与随机误差的总和。

“精确度”又常常简称为‘精度’,这些词在许多书中使用起来含意不尽统一,应予以注意。

第二节 测量结果的不确定度评定

一、不确定度概念

长期以来,人们用误差来表征测量结果可信程度的好坏。定义误差为测量值与“真值”的偏差。但真值是无法确定的,它只是一个理想值或约定值。在消除了系统误差的情况下,高准确度仪器的测量值就是低准确度等级仪器的相对真值。

那么如何表征测量结果可信任程度呢?国际计量局等七个国际组织于1993年制定了具有国际指导性的《测量不确定度表示指南 ISO 1993 (E)》,几年来国际与国内的科技文献开始采用不确定度概念。1999年,国家技术监督局颁布了《测量不确定度的评定与表示》,标志着我国各技术领域在不确定度的评定和表达方法上,将逐步走向一致,并与国际通行做法接轨。

测量不确定度定义为测量结果带有的一个参数,用以表征合理赋予被测量量的分散性,它是被测量客观值在某一量值范围内的一个评定。测量不确定度是与测量结果相关联的参数,用以表征测量值可信赖的程度,或者说是被测量值在某一范围内的一个评定。不确定度理论将不确定度按照测量数据的性质分类:符合统计规律的,称为A类不确定度或统计不确定度;而不符合统计规律的统称为B类不确定度或非统计不确定度。测量不确定度的理论保留系统误差的概念,也不排除误差的概念。这里的误差指测量值与平均值之差或测量值与标准值(用更高级的仪器的测量值)的偏差。

测量不确定度概念的引入就是为了描述不可确定因素的影响的客观存在而对测量结果不能肯定的程度。换言之,测量不确定度是从概率意义上表示被测量的真值落在某个量值范围内的一个客观评述。

二、A类标准不确定度

1. 测量列的标准差和高斯分布

从理论上说,对物理量 x 做 n 次等精度测量,得到包含 n 个测量值 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 的一个测量列由于是等精度测量,我们无法断定哪个值更可靠,概率论可以证明,其平均值