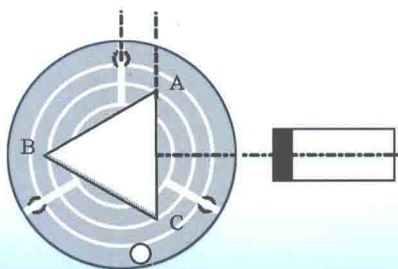
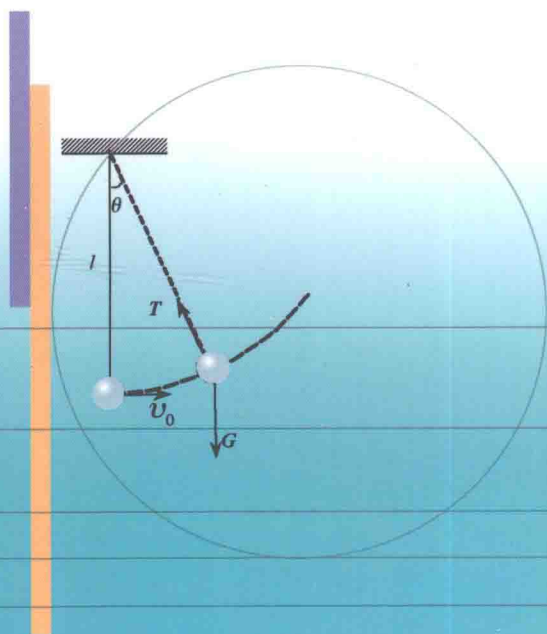




全国高等农林院校“十二五”规划教材

大学物理实验

汤剑锋 林智群 主编



中国农业出版社

全国高等农林院校“十二五”规划教材

大学物理实验

汤剑锋 林智群 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理实验 / 汤剑锋, 林智群主编. —北京:
中国农业出版社, 2011. 1

全国高等农林院校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-109-15299-1

I. ①大… II. ①汤…②林… III. ①物理学-实验
-高等学校-教材 IV. ①04-33

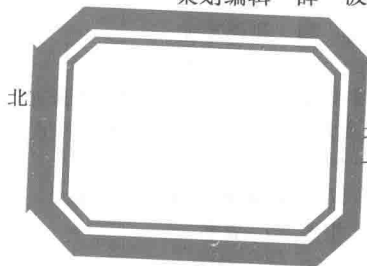
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 249512 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

策划编辑 薛 波



北

店北京发行所发行
北京第 1 次印刷

印张: 13

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)



前言

物理学是自然科学中的基础学科，也是最具活力的带头学科。而实验是物理学的基础，大学物理实验课是理、工、农、医等各专业学生进入大学后系统接受科学实验方法和实验技能训练的开端，是一门必修的重要基础实验课程。物理实验涉及众多的学科领域，具有多样化的实验方法、手段和综合性的基本实验技能，对培养学生严谨的科学态度、科学的思维方式、实践能力、创新意识和能力，都起着十分重要的作用。

实验教材建设与实验室的硬件建设有着密切的联系。在本实验教材编写前，湖南农业大学完成了“中央与地方共建高校基础实验室”建设项目，从硬件上奠定了较好的基础。

本教材根据高等农林院校的特点，结合湖南农业大学物理实验课程建设的实践经验，在校内使用多年的大学物理实验讲义的基础上修改、补充编写而成。全书分为绪论、测量误差与数据处理、力学和热学实验、电磁学实验、光学和近代物理实验等4章，共22个实验。实验项目兼顾了高等农林院校各类专业的需要，书后的附录列举了常用的物理常数表。

在编写中我们努力突出以下特点：

1. 在测量误差与数据处理中注意强调建立正确的概念；在不影响科学性的前提下，对复杂的问题尽可能进行简化；教学上强调严密性与可行性相结合。

2. 每个实验前都写有简短的引言，作为实验知识的扩充。每个实验都有预习思考题，便于学生带着问题预习实验。同时，每个实验之后还有思考题，能让学生更深入分析实验现象，巩固知识，提高分析问题和解决问题的能力。

3. 为便于实验基本技能训练与“模仿”，内容编写比较详细、具

体,数据记录及处理部分包括数据记录表格、数据处理要求、误差计算和结果表示等。也有某些实验简化了具体细节问题,而作为学生自己思考的空间,以培养学生的主动性。

4. 实验内容与现代科学技术接轨,将有关现代科技进步的成果渗透到实验内容之中。例如,将计算机技术、光纤技术、传感器技术、通信技术、激光技术等现代技术寓于实验项目中,从而缩短教材与现代科学技术的距离,有效激发学生的学习积极性和热情。

5. 选择有一定深度、采用了现代测试技术手段、能较好地联系当前的工农业生产和科研的综合性、设计性实验项目,提高学生实验能力与素质,培养学生的创新能力。

本书是由集体合作编写完成的,具体的编写与分工:汤剑锋负责组织和统稿工作,编写绪论、第一章、实验 4.4、实验 4.10、附录;林智群编写实验 4.1、实验 4.2、实验 4.8;龙卧云编写实验 2.2、实验 2.3、实验 2.4;李雪松编写实验 2.1、实验 2.5、实验 3.3、实验 4.5;王勇编写实验 2.7、实验 2.8;欧阳锡城编写实验 2.6、实验 4.9;谭玉编写实验 3.2、实验 3.4、实验 4.6;任文辉编写实验 4.3、实验 4.7;杨学工编写实验 3.1。

在本书编写过程中,参考了许多兄弟院校的同类教材和讲义,同时得到了湖南农业大学教务处、理学院等有关领导的大力支持,在此一并致谢。

受编者知识水平和教学经验所限,书中缺点和错误在所难免,恳请使用本教材者不吝批评、指正,以使本教材得到进一步完善。

编 者

2010 年 11 月



目 录

前言

绪论	1
----	---

第一章 测量误差与数据处理	5
---------------	---

第一节 测量与误差的基本概念	5
----------------	---

第二节 测量的不确定度和测量结果的表示	10
---------------------	----

第三节 实验数据处理方法	21
--------------	----

练习题	27
-----	----

第二章 力学、热学实验	29
-------------	----

实验 2.1 长度测量	29
-------------	----

实验 2.2 用霍尔传感器测杨氏模量	37
--------------------	----

实验 2.3 液体表面张力系数的测定	42
--------------------	----

实验 2.4 液体黏滞系数的测定	47
------------------	----

实验 2.5 刚体转动惯量的测量	51
------------------	----

实验 2.6 热电偶温度特性的研究及应用	60
----------------------	----

实验 2.7 固体线膨胀系数的测量	66
-------------------	----

实验 2.8 声速的测定	69
--------------	----

第三章 电磁学实验	78
-----------	----

实验 3.1 单臂电桥法测电阻	78
-----------------	----

实验 3.2 模拟法测绘静电场	84
-----------------	----

实验 3.3 示波器的原理与使用	90
------------------	----

实验 3.4 霍尔传感器特性研究及磁场测量	110
-----------------------	-----

第四章 光学、近代物理实验	123
---------------	-----

实验 4.1 透镜和透镜组参数的测量与研究	123
-----------------------	-----

实验 4.2	双棱镜干涉	131
实验 4.3	光的等厚干涉现象的观测	135
实验 4.4	分光计的调整和三棱镜折射率的测定	140
实验 4.5	光栅及其应用	152
实验 4.6	夫琅和费单缝衍射	158
实验 4.7	光的偏振	163
实验 4.8	物质旋光性的研究与测量	170
实验 4.9	压电陶瓷特性及振动的干涉测量	177
实验 4.10	光电效应	183
附录	常用物理参数表	195
	主要参考文献	199

绪 论

一、物理实验的地位和作用

物理学一词源于希腊文，意为自然，是指研究物质的一般运动规律和物质基本结构的科学。物理学本质上是一门实验科学。在物理学的创立和发展过程中，实验是决定性的因素。发现新的物理现象，寻找物理规律，验证物理定律等，都不能脱离物理实验。

经典物理学的基本定律几乎全部是实验结果的总结和推广。16 世纪末，伽利略就用实验方法发现了自由落体定律、惯性定律、单摆运动定律等。牛顿创立万有引力定律的过程，绝非仅仅从苹果的下落而悟出的道理。实际上是牛顿在前人无数次观测实验和研究的基础上，总结所得出的结果。电磁学的研究，也是从库仑发明扭秤装置并用来测量电荷之间的作用力开始的。可以说，在 20 世纪以前，没有纯粹的理论物理学家。所有物理学家，即使是对物理学理论的发展有杰出贡献的牛顿、菲涅耳、麦克斯韦等，都亲自从事实验工作。

同样，没有物理实验就没有现代物理学的发展。下面通过两个例子来说明：①爱因斯坦是杰出的理论物理学家，获得诺贝尔物理奖是因为他引入“光量子”的概念，进而正确解释了光电效应的实验事实。但当初他提出的相对论是以“光速不变”的假设为前提的，经过大量的实验证实后，相对论才成为一个被人们普遍接受的理论。②在科学界乃至全社会引人注目的诺贝尔奖，其宗旨是奖励有最重要发现和发明的科学家。因此，获得诺贝尔物理学奖的成果都代表了物理学中划时代的里程碑级的重大发现和发明。从 1901 年第一次授奖至今有着百年历史，有 150 多名获奖者。其中因实验物理学方面的伟大发现或发明而获奖的占 70% 以上。如 1901 年，第一届诺贝尔物理学奖得主德国人伦琴，其因发现 X 射线而获奖；1902 年获奖的是荷兰人塞曼，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可勒尔和居里夫妇，他们发现了天然放射性，以至成为核物理学的奠基人。由此可见，实验物理在物理学发展中的地位是多么重要。

物理实验不仅在推动物理学发展过程中有着明显重要的作用,而且对于物理学在其他学科的应用也十分重要,正是这种应用有力地推动了人类社会的进步和发展。

物理实验中的发现和发明已经对现代物理学各学科的发展、新兴学科的诞生和应用技术的发展起到决定性或巨大的推动作用。例如,电磁感应定律和无线电的发现、晶体管的发明为当今半导体、电子工程、计算机等信息技术学科的诞生和发展奠定了基础;X射线和其他射线的发现被广泛应用到物质结构的研究、现代医学成像和工业无损检测等领域;1908年荷兰莱登实验室将氦液化,发现物质在某一临界温度下变成超导态,由此,超导体材料、超导体技术和应用的研究蓬勃发展;激光器的发明,不仅开辟了激光光谱学这一新学科,而且广泛应用于材料制备、加工、光电通讯、现代医疗技术和新式武器等高新技术;在材料科学中,各种材料的物性测试、许多新材料的发现(如高温超导材料等)和新材料制备方法的研究(如离子束注入等)都离不开物理的应用;在生物学的发展上,离不开各类显微镜(光学显微镜、扫描电镜、X光显微镜、原子力显微镜等)的贡献,近代生命科学更离不开物理学,DNA的双螺旋结构就是美国遗传学家和英国物理学家通过X光衍射实验所证实的,而对DNA的操纵、切割和重组也都需要实验物理学家的参与;在医学上,从X光透视、B超诊断、CT扫描和核磁共振诊断到各种治疗手段,比如放射性治疗、激光治疗等都是物理学的应用。物理学过去是、现在是,将来也是全球科学技术领域和经济发展的主要驱动力,而实验物理学正是从物理学理论渗透到其他应用学科的桥梁。在科学技术高度发展的现代,在多学科领域、多种专业交叉的今天,这种桥梁作用更为突出。

二、大学物理实验课的目的和任务

物理实验课是理、工、农、林、医等各类专业的必修基础课程,是这些专业的学生进入大学后接受系统实验方法和实验基本训练的开始,是培养和提高学生科学素质和科学实验能力的重要课程,又是后续课程实验的基础。本课程的目的和任务是:

(1) 通过对物理实验现象的观察、分析和对物理量的测量,加深和扩充对物理学的某些概念和物理学原理的理解,提高学生理论联系实际的独立工作能力,增强学生将物理学的思想、观点、规律和方法运用到工程技术中的信心,调动其学习的积极性,激发创新能力。

(2) 培养和提高学生的科学实验能力。这些能力包括:①自学能力。能够

自行阅读教材或资料,能正确理解实验原理,并概括出实验原理和方法的要点。②动手能力。正确使用基本实验仪器,掌握基本物理量的测量方法和实验操作基本技能。③分析判断能力。运用物理学原理对实验现象进行分析和判断。④科学实验的书写表达能力。正确记录和处理实验数据,绘制图线,讨论和分析实验结果,撰写实验报告。⑤独立工作能力。根据课题要求,自行设计和完成简单的设计性实验。

(3) 培养和提高学生的科学实验素养。要求学生具有理论联系实际和实事求是的科学态度、严肃认真的工作态度,主动研究和探索的钻研精神,遵守纪律、团结协作和爱护公物的优良品德。

三、大学物理实验课的主要环节

为达到物理实验课的目的,学生应重视进行物理实验的三个重要环节。

1. 实验前的预习 课前预习的好坏是实验中能否取得主动、做好实验的关键。由于每个实验都有理解原理、熟悉仪器、掌握实验方法及数据测量等比较繁重的任务,而实验课的课内时间有限,因此,要求学生必须做好实验前的预习。具体要求:

(1) 预习实验教材。清楚本次实验的目的、基本原理和实验方案的思路;阅读仪器设备使用说明;对实验步骤有个总体了解,解答思考题,如观察什么现象、测量哪些物理量、如何去测量、关键问题在哪儿及注意事项。

(2) 写好预习报告。要求写明实验名称、预习思考题、实验目的、实验原理等。每次实验前由教师检查实验预习报告,未达到要求者,将不允许做实验。

2. 课堂实验 学生进入实验室后要遵守实验室规则,首先由老师检查预习报告,学生回答老师提出的问题。然后,在老师的指导下,进一步理解实验原理、仪器的使用方法、实验的具体步骤和注意事项等。

实验过程中,要多动脑筋,头脑里要有清晰的物理图像,对实验原理有比较深入的理解;实验操作要做到有条不紊,仔细观察实验现象,及时、正确、如实地将实验数据记录在数据表格中,决不允许涂改或抄袭他人数据。若确实为笔误,也不要涂改,应轻轻划上一道,在旁边写上正确值。若遇到疑难问题、仪器出现故障和实验现象异常自己不能解决时,要主动报告老师,在老师的指导下分析问题、解决问题、努力排除故障。总之,要把重点放在实验能力的培养上,而不是测出几个数据就以为完成任务了。希望同学们注意纠正自己的一些不良习惯,从一开始就不断培养严谨的科学作风。

实验结束时,应将实验数据交老师审阅签字,并整理好仪器设备,经老师同意后,方可离开实验室。

3. 完成实验报告 实验结束后,要对实验数据按要求进行及时处理,完成好实验报告。数据处理过程包括计算、作图、误差分析等,计算要有计算式,代入的数据要有依据,便于别人看得懂,也便于自己的分析和检查。作图要按作图规则进行。数据处理后应给出规范的实验结果表示。最后写出一份文字通顺、简明扼要、字迹清晰、数据齐全、图表规范、有见解的实验报告。这也是培养和训练学生科学表达能力的重要环节。实验报告一般包括以下几部分:

- (1) 实验名称;
- (2) 实验目的;
- (3) 实验仪器(必要时应注明仪器规格、型号及仪器编号等);
- (4) 实验原理(简要叙述有关物理原理,包括电路图、光路图或实验装置示意图,测量中依据的主要公式,式中各量的物理含义及单位,公式成立所应满足的实验条件等);
- (5) 实验步骤(概括地写出实验进行的主要过程);
- (6) 实验数据处理(包括完整的原始实验数据记录表格、作图、主要计算步骤、误差分析及测量结果的不确定度表示等);
- (7) 问题讨论(回答思考题,对实验中观察到的异常现象进行记录并作出解释,对实验结果进行分析,对实验装置和方法的改进提出建议及记录心得体会等)。

实验报告一律用专用的物理实验报告本(纸)书写。

第一章 测量误差与数据处理

通过科学实验定量研究自然现象所遵从的规律时,必须进行大量的实验观测,获得大量的实验数据,然后将所得的实验数据进行分析处理,找出实验数据之间的相互关系。数据处理和误差分析是科学实验的重要组成部分,是从事科学研究必须掌握的基本知识和技能。因此有关数据处理及误差分析理论的学习,是培养学生实验能力及提高科学素质不可缺少的教学内容和训练环节。

另外,有关数据处理及误差分析理论的内容很多,不可能在一两次学习中就完全掌握。因此首先对其基本内容做初步介绍,然后在具体实验中通过实际运用加以掌握。

第一节 测量与误差的基本概念

一、测 量

测量是把待测量与体现计量单位的标准量作比较的过程。例如,用米尺确定长度,用天平确定质量,用秒表确定时间,用电压表、电流表结合欧姆定律确定电阻等,都是物理测量。

(一) 直接测量与间接测量

直接测量是指从量具或仪表上直接读出待测量的结果。例如,用米尺测量长度,用电流表测量电流,用电压表测量电压,天平称衡质量,用液体温度计测量温度,等等。

间接测量是指利用直接测量的物理量与待测量之间的已知函数关系,通过公式计算而得到待测量的结果。例如,要测量圆柱体的体积,可先直接测出圆柱体的直径和高的值,然后通过公式进行计算得出圆柱体的体积。其中,圆柱体的直径和高是可直接测量的量,而体积就是间接测量的量。通过测量电流、电压计算电阻或电功率等。

一个物理量能否直接测量不是绝对的。随着科学技术的发展,测量仪器的改进,很多原来只能间接测量的量,现在都可直接测量了。例如,电能的测量本来是间接测量,但后来也可用电度表直接测量。

物理量的测量,绝大部分是间接测量,但直接测量是一切测量的基础。

值得注意的是:一个物理量的测量值(数据)不同于一个数值,它应是由数值和单位两部分组成的。一个数值有了单位,才具有特定的物理意义,这时它才可以称之为一个物理量。因此一个物理量的测量值(数据)应包括数值(大小)和单位,两者缺一不可。

(二) 等精度测量与不等精度测量

等精度测量是指在测量条件完全相同(即同一观察者、同一仪器、同一方法和同一环境)情况下的重复测量。

不等精度测量是指在测量条件不同(如观察者不同、或仪器改变、或方法改变,或环境变化)的情况下对同一物理量的重复测量。例如,用游标卡尺和千分尺测同一钢球的直径,由于两仪器的精度不同,所测结果为不等精度测量。

在等精度测量中,各重复测量值可能不相等,但没有理由认为哪一次(或哪几次)的测量值更可靠或更不可靠。实际上,没有绝对不变的人和事物,只要其变化对实验的影响很少以至可忽略不计,就可认为是等精度测量。后面谈到对一个量的多次测量,都指等精度测量。

值得指出的是:重复测量一定是重复进行测量的整个操作过程,而不只是重复读数。例如,用游标卡尺重复测量圆柱筒的外径6次,每次测量都须用游标卡尺重新卡住圆柱筒的某一位置,然后读数,而不是卡住同一位置不动,重复读数6次。

二、读数与记录

对于不同量具和仪器有多种读数方法,在具体的实验中将分别介绍。在此介绍一般规则:

(1) 对于各类带有游标(或角游标)的仪器读数装置,是通过判断两个刻度盘中哪条线对得最齐来进行读数的,然后记下对齐线的相应数值,不需进行更细的估读。

(2) 对指针式仪表和有刻度或标尺的仪器,要求估读一位(该位是有效数字的可疑位)。估读数一般取最小分度的 $1/10 \sim 1/2$ 。

(3) 若仪表的示值不是连续变化而是以最小步长跳跃变化的,如数字式显

示仪表,则谈不上估读,只要记录全部数据即可。

(4) 有些仪表也有指针和刻度盘,但指针跳动是以最小分格为单位的,比如最常用的钟表,有以秒为最小分度的时钟,也有以 $1/10\text{ s}$ 或 $1/100\text{ s}$ 为最小分度的秒表。对此类仪表不要估读。

三、测量误差

一般来说,测量过程都是某人、在一定环境条件下,使用一定的仪器进行的。由于测量仪器的结构不可能完美无缺,观测者的操作、调整和读数也不可能完全准确,环境条件的变化(如温度的波动、振动、电磁辐射的随机变化),理论的近似性等,都不可避免地对实验测量结果造成各种干扰。因此,任何测量都不可能做到绝对准确。我们把待测物理量的客观真实数值称为真值,记为 μ 。用 x 表示某次测量的测量值,则测量值 x 与真值 μ 之差,就称为误差(也称绝对误差),记为 Δx ,即

$$\Delta x = x - \mu \quad (1.1.1)$$

对同一测量对象,误差的绝对值越小,测量值就越好。而对不同的测量对象,就不能只凭误差来评判测量结果的优劣。例如,分别测量一个长方形的长和宽,若以米尺测量,误差都是 0.5 mm ,那么前者的结果比后者好。因此,在这种情况下,需用相对误差来说明测量精确度的高低。用 E 来表示相对误差,其定义为

$$E = \frac{\Delta x}{\mu} \times 100\% \quad (1.1.2)$$

四、测量误差的分类

测量误差产生的原因是多方面的,根据测量误差产生的来源和性质的不同,可将其分为系统误差和随机误差两类。

(一) 系统误差

1. 系统误差的概念和产生的原因 在相同条件下,多次测量同一物理量时,误差的大小和符号保持恒定,或按规律变化,这类误差称为系统误差。系统误差的特点是具有稳定性,不能用增加测量次数的方法使它减小与消除。比如,用一只未调零(如指针指在 2 mV) 的电压表测电压,不管测量多少次,每次测量由于未调零产生的误差都是 2 mV ,这个误差就是系统误差;用受热膨胀的钢质米尺进行测量,其指示值就小于真实长度,误差值随待测长度成比例地增加。对不同的实验,系统误差产生的具体原因各不相同,其主要来源有:

(1) 测量仪器本身的固有缺陷。比如刻度不准、测量仪器的零点不准、砝码未经校正、等臂天平两臂不等长、分光计刻度盘和游标盘的圆心与仪器主轴的轴心不重合、机械零件连接的间隙(如读数显微镜的螺距差)、需调整水平或垂直等未达到。

(2) 测量方法或理论公式的近似性或测量方法有缺陷。如用伏安法测电阻(电表内阻的影响)、单摆运动周期公式中忽略了周期与摆角的关系、在气垫导轨实验中作为无摩擦的理想情况来处理、单缝衍射采用近似公式等。

(3) 个人习惯。如用秒表计时时,掐表的反应能力(提前或滞后的倾向)。

(4) 测量过程中,环境条件(温度、气压等)的变化。如量具长度随温度的变化、在 20℃ 下标定的标准电阻在 30℃ 的环境下使用。

2. 消除系统误差的原则 系统误差使测量结果具有一定的偏向,或者偏大、或者偏小、或者按一定的规律变化,其来源又是多方面的。消除系统误差是个比较复杂的问题,要很好地分析整个实验中依据的原理及测量的每一环节和所使用的仪器,才能找出产生系统误差的多种原因。分析和查找系统误差产生的原因,发现减小系统误差的途径,也是物理实验教学中的一个重要任务。减小、修正乃至消除系统误差的原则如下:

(1) 消除产生系统误差的根源。例如,采用符合实际的理论公式(如为消除单摆摆角对周期产生的系统误差,将周期公式修正为 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left(1 + \frac{1}{4}\sin^2\frac{\theta}{2}\right)$,可减小 θ 对 T 的影响);保证仪器装置良好且满足规定的使用条件等。

(2) 找出修正值对测量结果进行修正。例如,用标准仪器校准一般仪器,作出校正曲线进行修正(如温度计的校准误差);找出千分尺的“零差”对测量值进行修正等。

(3) 选择适当的测量方法设法抵消系统误差的影响。常用的方法有:①对称交换法。对称交换测量中的某些条件,使产生误差的因素以相反的方向影响测量结果而最大限度减小或抵消系统误差。例如,在霍尔效应法测磁场中,通过四组不同方向的电流和磁场组合来消除负效应的影响。用天平称物时,交换砝码与被称物的左右位置,可消除由于天平不等臂造成的系统误差。②异号法。改变测量中某些条件进行两次测量,两次测量的系统误差符号相反,以两次测量结果的平均值作为测量值。例如,在用拉伸法测杨氏模量实验中,加砝码与减砝码各记一次数,取平均值可消除摩擦等产生的系统误差。③半周期偶数观测法。对于周期性误差,可以每经过半个周期进行一次观测,然后对一周期内测得的两个数据取平均值以消除系统误差。例如,分光计刻度盘偏心带来的角度测量误差是以 360° 为周期的,可采取相距 180° 的一对游标,每次可同时读取两

个读数,即在一个周期内读取了两个数据,角位移将是两个数据的平均值。

④对称观测法。若有随时间线性变化的系统误差,可将观测沿对称的时间顺序再做一次,取两次测量值的平均值以消除系统误差。例如,在测电阻温度系数的实验中,测电阻前记录一次温度,测电阻后再记录一次温度,取两次温度的平均值作为该点的温度值。由于很多随时间变化的误差在短时间内均可认为是线性变化的,因此,对称观测法是一种能够消除随时间变化的系统误差的好方法。

(二) 随机误差

在相同条件下多次测量同一物理量时,出现的误差时大时小、时正时负,没有确定规律,以不可预知的方式变化着,这类误差称为随机误差,或称为偶然误差。其特点是具有随机性。

这种误差是由实验中多种因素的微小变动而引起的,例如实验装置和测量机构在各次调整操作上的变动,测量仪器指示数值的变动,以及观测者本人在判断和估计读数上的变动等。这些因素的共同影响就使测量值围绕着测量的平均值发生涨落,该变化量就是各次测量的偶然误差。偶然误差的出现,就某一测量值来说是没有规律的,其大小和方向都是不能预知的,但对一个量进行足够多次的测量,则会发现它的偶然误差是按一定的统计规律分布的,常见的分布有正态分布、均匀分布、 Γ 分布等。

常见的一种情况是:正方向误差和负方向误差出现的次数大体相等,数值较小的误差出现的次数较多,数值很大的误差在没有错误的情况下通常不出现。这一规律在测量次数越多时表现得越明显,它就是一种最典型的分布规律——正态分布规律。

(三) 系统误差和随机误差的关系

系统误差和随机误差的区别不是绝对的,在一定条件下,它们可以相互转化。例如,上面提到的砝码误差,对于生产厂家来说,它是随机误差,而对于使用者来说,它又是系统误差。又如,待测对象的不规整性(如小球直径、金属丝的直径等),既可以当作系统误差,又可以当作随机误差。另外,有时系统误差和随机误差混在一起,难以严格区分。例如,测量者使用仪器时的估读误差往往既包含有系统误差,又包含有随机误差。这里的系统误差是指读数时总是有偏大或偏小的倾向,随机误差是指每次读数时偏大或偏小的程度不同。

最后需要指出的是:在实验测量过程中,除了系统误差和随机误差之外,还可能出现因实验者的粗心而造成的错误,比如操作不当的错误、读错数、记错数等。这些错误不属于测量误差,但是必须避免。

第二节 测量的不确定度和测量结果的表示

一、测量的不确定度

任何测量过程和一切测量结果都存在着误差,由于测量误差的存在而对被测量值不能确定的程度称为测量的不确定度,记为 U 。它给出了被测量值所处的量值范围。在给出测量结果时,同时要给出相应测量的不确定度,以表明该测量结果的可信赖程度。例如,测得单摆的周期为

$$T = (2.183 \pm 0.002)\text{s} \quad (P = 0.683)$$

其中 0.002 s 为不确定度,括号内的 0.683 是一个表示可能性大小的概率值。其物理意义是:对单摆周期的任一次测量,其测量值出现在 $(2.183 - 0.002, 2.183 + 0.002)$ 范围内的可能性为 0.683 。

目前世界上已普遍采用不确定度来表示测量结果的误差。1992年国际计量大会以及四个国际组织制定了协调的具有国际指导性的《测量不确定表达指南》。1999年1月11日我国国家技术监督局颁布了新的计量技术规范JJF1059—1999《测量的不确定度与表示》,代替了JJF1027—1991《测量误差及数据处理》中的误差部分。

通常不确定度按计算方法分为两类,即用统计方法对具有随机误差性质的测量值计算获得的A类分量 Δ_A ,以及用非统计方法计算获得的B类分量 Δ_B 。

二、随机误差与不确定度的A类分量

(一) 随机误差的分布与标准偏差

随机性是随机误差的特点。但是,在测量次数相当多的情况下,随机误差却表现出一定的统计规律,可以利用统计学原理来分析计算。数学家高斯最初研究了多种因素微小起伏引起的测量值的概率密度分布,并于1795年发表了高斯分布函数,即正态分布函数。正态分布函数可以用概率密度分布曲线形象地表示出来,如图1.2.1所示。测量值 x 的正态分布函数为

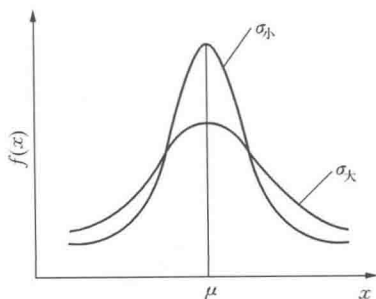


图 1.2.1 正态分布函数