

21世纪高等院校规划教材

大学

DAXUE WULI SHIYAN

物理实验

■ 主编 樊志琴



郑州大学出版社

21世纪高等院校规划教材

大学

DAXUE WULI SHIYAN

物理实验

■ 主编 樊志琴

 郑州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/樊志琴主编. —郑州:郑州大学出版社,
2011.2
ISBN 978-7-5645-0028-3

I. ①大… II. ①樊… 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 (2011) 第 015023 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:王 锋

全国新华书店经销

河南省中景印务有限公司印制

开本:787 mm×1 092 mm

印张:16.5

字数:383 千字

版次:2011 年 2 月第 1 版

邮政编码:450052

发行部电话:0371-66966070

1/16

印次:2011 年 2 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-0028-3

定价:27.00 元

本书如有印装质量问题,请向本社调换

编者名单

主 编 樊志琴

副主编 欧海峰

编 委 王世建 李 瑞 程仁志

蔡根旺 符建华

前言

QIANYAN

物理实验课是高等理工科院校对学生进行科学实验基本训练的必修基础课程,是本科生接受系统实验方法和实验技能训练的开端。它要求学生在实验教材和任课教师的指导下通过独立的思考和实际工作来学习物理实验知识,培养科学实验素养和提高科学实验能力,并为今后更高层次的学习和创造性的工作奠定一个良好的初步的实验基础。

要达到上述目的,就实验教材来说,它是学生学习物理实验课的指南。因而,物理实验教材应当是为特定范围的学生编写的。这里面包含下面几层意思:一是教材内容的取舍最低限度要求符合国家教育委员会公布的《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》;二是在同一实验项目上取材的难易要适合工科学生目前的实验水平,并适当地顾及因材施教;三是叙述上要求原理简明、文字精练而准确、实验操作要领突出,避免烦琐,便于学生预习;四是在实验仪器的选型上要选择有较大通用性的典型仪器,并适当照顾本地区工科院校仪器、设备的实际情况。

基于以上因素并在教学评估的促进下,河南工业大学物理实验教学中心在实验内容和实验项目的先进性上有了极大改进,并根据新的实验内容编写了教材,在校内胶印多次并出版一次。但经过多次使用,又发现一些新问题,需要进一步完善和添加一些新内容,故申请重新出版。

本教材按照循序渐进的认识规律,内容编排由浅入深,从详细列出实验步骤、数据表格与误差估算公式,过渡到学生自己列表格、自推公式进行误差分析,逐步培养学生独立

从事科学实验和撰写实验报告的能力。在大多数实验项目中,以实验简介的形式介绍了该实验的历史背景、实验技术、方法和应用前景等知识,能使了解实验的历史,学会科学思维的方法和一般规律。本教材每个实验都有一定量的思考题,它将有助于学生实验前有的放矢和对实验的深入理解。

本教材包括实验基础知识、基础实验 6 个、提高与综合性实验 16 个(其中周期信号波形傅立叶分析实验包括四个实验内容)、技术性实验 4 个(其中传感器系列实验包括七个实验内容)、设计性实验 7 个、仿真实验 10 个。通过这样的编排,学生能观察到更多的物理现象,认识其科学规律,学习到更多的实验和测量方法,掌握更多基本仪器的使用调节方法,并能够运用实验理论去分析处理实验数据,得到一个科学的实验结果。

实验教学工作是一项群体性工作,从实验室的建设、教材的编写到实验内容的改进、改革,都凝聚着众多同志的心血。在这本书的编写过程中,我校、院领导给予了大力支持。物理实验教学中心的全体人员参与了教材的编写工作。

本教材的绪论由樊志琴和王世建编写,第一章由欧海峰编写,第二章由李瑞编写,第三章由欧海峰、程仁志编写,第四章由蔡根旺编写,第五章由符建华编写。樊志琴拟定了本书的编写大纲,并负责全书的审阅、修改和定稿。

由于我们的水平所限,书中难免有不妥之处,敬请指正。

编者

2010 年 12 月

目录

MULU

绪论	1
第一章 实验基础知识	5
1.1 数据处理基础知识	5
1.2 常用测量仪器介绍	22
1.3 电磁学实验基础知识	26
1.4 光学实验基础知识	38
第二章 基础实验	42
实验 1 液体表面张力系数的测定	42
实验 2 热传导实验	47
实验 3 电表的改装与校准	52
实验 4 电桥	57
实验 5 示波器的认识及应用	62
实验 6 分光计的调整与使用	68
第三章 提高与综合性实验	77
实验 7 用拉伸法测定金属材料的杨氏弹性模量	77
实验 8 刚体转动惯量的测定	82
实验 9 声速的测量	87
实验 10 用传感器测量气体绝热指数	93
实验 11 电位差计	96
实验 12 霍尔效应及其应用	100
实验 13 等厚干涉及其应用	108
实验 14 用分光计测三棱镜的折射率	112
实验 15 光栅衍射的观测	116
实验 16 迈克尔逊干涉实验	119
实验 17 光全息照相	125

实验 18	光电效应及普朗克常数测定	132
实验 19	夫兰克-赫兹实验	136
实验 20	密立根油滴实验	143
实验 21	混沌现象研究	153
实验 22	周期信号波形傅里叶分析实验	156
实验一	BPF 带通滤波器幅频特性的研究	156
实验二	周期电信号的分解与合成	159
实验三	非正弦周期信号的傅里叶级数合成	162
实验四	RLC 串联谐振电路选频特性与信号的分解	164
第四章	技术性实验	167
实验 23	硅光电池特性研究	167
实验 24	光纤音频信号传输技术实验	174
实验 25	液晶电光效应	182
实验 26	传感器系列实验	192
实验一	金属箔式应变片	192
实验二	差动变压器的性能测定	198
实验三	差动变压器零点残余电压测定及补偿	199
实验四	激励频率对差动变压器特性的影响	201
实验五	电容式传感器的位移特性实验	202
实验六	直流激励时霍尔传感器位移特性实验	204
实验七	集成温度传感器的特性	205
第五章	设计性与仿真实验	207
第一部分	设计性实验	207
实验 27	用浮力法测密度	207
实验 28	组装热敏电阻测温电桥	208
实验 29	组装 PN 结数字电桥	209
实验 30	自组电位差计测电池电动势	212
实验 31	劈尖干涉测水中光速与薄膜厚度	212
实验 32	用板式电桥测电阻	213
实验 33	电子秤实验	214
第二部分	仿真实验	215
大学物理仿真实验简介		215
大学物理仿真实验的基本操作方法		216
实验 34	凯特摆测量重力加速度	220
实验 35	法布里-珀罗标准具实验	221
实验 36	固体热膨胀系数的测量	222
实验 37	居里温度的测量	224
实验 38	空气比热容比测定	225

实验 39 真空实验	227
实验 40 介电常数的测量	228
实验 41 偏振光实验	230
实验 42 高温超导	232
实验 43 扫描隧道显微镜 (STM)	237
总附录表	239

绪 论

一、物理实验课的地位和任务

物理学从本质上说是一门实验科学。物理规律的发现、物理理论的建立,都必须以严格的物理实验为基础并受到实验的检验。例如,杨氏干涉实验使光的波动学说得以确立,赫兹电磁波实验使麦克斯韦的电磁场理论获得普遍承认,等等。当然,一些实验问题的提出,以及实验的设计、分析和概括等也必须应用已有的理论作为依据。总之,历史表明,物理学的发展是在实验和理论两方面相互推动和密切结合下进行的。

我们在学习物理学时,要正确处理好理论课与实验课的关系。高等工科院校的物理实验课是一门独立设置的重要基础课,物理实验本身有它自己的一套实验理论、实验方法和实验技能。物理实验课内容丰富而广泛,不少实验在物理学发展史上起过非常重要的作用,是由实验总结出理论或由实验验证理论的典范;同时,物理实验本身的性质和特点决定了它对其他实验领域的基础作用。

物理实验课教学,按照循序渐进的原则,通过学习物理实验知识、方法和技能,使学生了解科学实验的基本过程和方法,为今后的学习和工作奠定良好的实验基础。

物理实验课教学的具体任务是:

(1)通过对实验现象的观察、分析,以及对物理量的测量,学习物理实验知识,加深对物理学原理的理解。

(2)培养学生的科学实验能力,能够自行阅读实验教材或资料,做好实验前的准备工作;能够运用物理学的基本理论对实验现象进行初步分析和判断;能够正确记录和处理实验数据,绘制图线,说明实验结果,并撰写合格的实验报告;能够完成简单的设计性实验。

(3)培养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作风、严肃认真的工作态度、主动研究探索的创新精神,并培养学生遵守纪律、团结协作和爱护公共财产的优良品德。

二、物理实验课的基本程序

本书所包括的物理实验,多数是测定某一物理量的数值,也有一些是研究某一物理量随另一物理量变化规律的。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,一般可以分为以下三个环节:

(1)实验前的预习。因实验课的时间有限,故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。如不了解实验原理,实验时就不知道要研究什么问题,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,离开了教材就不晓得怎样动手。用这种方式去做实验,又有

什么意义呢?虽然也得到了实验数据,却不了解它的物理意义,也不会根据所测数据去推求实验的最后结果,这岂不是自欺欺人?因此,为了在规定的时间内高质量地完成实验课的教学任务,学生应当做好实验前的预习,并写出预习报告(即实验报告的前几部分)。

预习的要求,应以理解本书所叙述的原理为主,对于实验的具体过程只要求粗略地了解,以便能抓住实验的关键,在实验中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。

(2)进行实验。动手实验前要熟悉仪器,了解仪器的工作原理和使用方法,然后将仪器安装调整好。例如,调节气垫导轨达到水平,调整自由落体仪跟地平面垂直,调节光具座上各光学元件处于同轴等高,等等。

每次测量后,应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。各个数据之间及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。若觉得测量的数据有错误,则可在错误的数字上画一条整齐的直线;若整段数据都测错了,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圆圈或黑方块涂掉。我们要保留“错误”数据,不毁掉它,是因为“错误”数据有时经过比较后竟是对的。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。

总之,测量实验数据时要特别仔细,以保证读数准确。因为实验数据的优劣,往往决定了实验工作结果的成败,未经重复测量时,不允许修改原始实验数据。

(3)撰写实验报告。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、讨论认真。应养成实验完成后尽早将实验报告写出来的习惯,因为这样做可以收到事半功倍的效果。

完整的实验报告,通常包括实验名称、实验目的、实验原理、仪器设备、测量数据、数据处理(包括计算、作图、误差分析、实验结果表达等)、讨论等部分,前面几部分的写法并不困难,这里毋庸赘述。现仅数据处理中的一些问题略加说明。

误差分析包括两方面的内容:一是确定实验结果的误差范围(不确定度),因为在精确测量中判定实验结果的不确定范围跟获得实验结果同等重要;二是找出影响实验结果的主要因素,从而采取相应的措施(例如,合理选择仪器以实现最有利的测量条件等)以减小误差。显然,对于不同的实验,因所用的实验方法或所测量的物理量不同,误差分析的方式亦不尽相同。误差过大时,应分析原因,对误差作出实事求是的解释。

在表达实验结果时,一般包括不可分割的三部分,即结果的测量值 $\bar{A}$ 、绝对误差 ΔA 和相对误差 E_r ,综合起来可写为

$$A = (\bar{A} \pm \Delta A), \quad E_r = \frac{\Delta A}{\bar{A}} \times 100\%$$

如果实验是观察某一物理现象或验证某一物理定律,则需要扼要地写出实验的结论。

在最后的讨论中,包括回答实验的思考题、实验过程中观察到的异常现象及其可能的解释、对于实验仪器装置和实验方法的选择等,还可以谈实验的心得体会。但不要求每个实验都必须写心得体会,有则写,无则不要勉强写。

三、如何学好物理实验课

实验课与理论课不同,在实验课堂上,除了教师必要的讲解,大部分时间是学生自己在工作(调整仪器、使用仪器进行观察测量等)。但对于低年级的学生,其独立工作能力比较差,这也正是需要大力培养的。当然,教师对学生给予启发式的辅导或引导是非常必要的,但对于学生来说,也必须做到以下几点:

(1)思想重视。要充分认识物理实验课的重要性,克服重理论轻实验的思想。

(2)目的明确。必须充分明确实验的目的和要求,并紧紧把握住目的与要求,以指导整个实验过程。

(3)手脑并用。动手操作是实验课的主要特点,但一定要反对盲目动手和试试看的做法。比如要对某个仪器进行调整,先要根据实验需要,考虑如何对该仪器进行调整?可能出现什么问题?总之,要学会动脑子考虑实验中的问题,并以此指导操作,以增强独立思考、独立工作的能力。

(4)严肃认真。要认真对待实验中的每一个环节、每一个数据的测量;要有条有理地、一丝不苟地、实事求是地对待测量和数据记录;要做到在做第一百次重复测量时仍像第一次测量时那样认真负责。

(5)互相协作。两人或两人以上共同做一个实验时,一定要彼此配合,轮流操作,人人动手动脑,共同得到锻炼。要克服一人做、其他人看的消极作风。

通过实验课不仅要学到书本上所要求的各种实验的知识和技能,更重要的是培养学生勤于动脑,善于分析、善于解决实验中的问题的独立工作能力,要把所学和掌握的知识转化为能力,从而在祖国的建设事业中进行创造性的工作。

四、实验报告内容

实验报告内容包括:

(1)实验名称、实验者姓名和学号、实验日期等。

(2)实验目的。

(3)实验仪器。

(4)实验原理。用自己的语言对实验所依据的理论作简要叙述,不要照抄书本,并附有必要的公式和原理图(包括电路图或光路图)。

以上4项内容要求在课前写在实验报告上。

(5)实验内容。概括地、条理分明地说明实验所进行的主要程序,观察了哪些物理现象,测量了哪些物理量,并说明这些观测中所采用的方法。

(6)数据记录与处理。将原始记录数据记录在原始数据记录纸上,教师还要检查并签字,再整理后才能填入报告表格中,该列表的要列表,该作图的要作图。计算按照有效数字的运算法则进行,推导误差公式并计算误差,并按要求的格式写出结果表

达式。

(7)结果及讨论。该部分要明确给出实验结果,并对结果进行讨论(如实验中观察到的现象分析、误差来源分析、实验中存在的问题讨论、回答实验思考题等)。也可对实验本身的设计思想、实验仪器的改进等提出建设性意见。

五、学生实验制度

为了培养学生良好的实验素质和严谨的科学态度,保证实验顺利进行和进一步提高教学质量,特制定以下实验制度:

(1)凡参加物理实验的学生,实验前必须认真预习,写出预习报告,经教师检查同意后方可进行实验。

(2)上课时不准迟到,不准无故缺课。无正当理由迟到 15 分钟者,实验要扣分;超过 30 分钟者,教师有权取消其本次实验资格;无故缺课者本次实验记零分。

(3)必须严格按照实验要求和仪器操作规程,积极认真地进行实验,并做好相关实验记录。

(4)爱护仪器设备,不得随意从他组乱拿仪器,不准擅自拆卸仪器;仪器发生故障时应立即报告,不得自行处理;仪器如有损坏,照章赔偿。

(5)室内严禁吸烟、吐痰、大声喧哗和乱扔纸屑。

(6)做完实验后,学生应将仪器整理还原,将桌面和凳子收拾整齐,经教师审查测量记录并签字后,方可离开实验室。每个班都要分组轮流值日打扫卫生,保持实验室整洁。

(7)实验报告应在实验后一周内交给老师。

第一章 实验基础知识

1.1 数据处理基础知识

1.1.1 测量与误差

一、测 量

(一)测量的概念

在物理实验中,一切物理量都是通过测量得到的。所谓测量,就是用一定的仪器(或工具),通过一定的方法,直接或间接地与被测对象进行比较,以确定被测量的量的数值大小。物理测量的内容很多,大到日、月、星辰以至茫茫宇宙,小到分子、原子以至诸多基本粒子。现代人类能够观察和测量的范围:在空间方面,大到百亿光年,小至 $10^{-14} \sim 10^{-15} \text{cm}$,二者相差 10^{40} 倍以上;在时间方面,长到百亿年,短至 $10^{-23} \sim 10^{-24} \text{s}$,二者相差也在 10^{40} 倍以上;在质量、电流、电压、光度等许多方面的测量精度也已达到很高的水平。在促进理论发展、验证理论等方面,需要进行大量的测量工作。只有进行认真的测量,才便于对物理规律进行定量研究,所以,测量工作是科学实验极为重要的内容。正如著名物理学家伽利略所说:凡是可能测量的,都要进行测量,并且要把目前无法度量的东西变成可以测量的。

(二)测量的分类

进行物理量测量的形式和方法各有不同。

凡是用仪器可以直接测量出结果的测量,叫做直接测量。如用米尺测长度、用天平称质量、用秒表记时间、用温度计测温度、用电流表测电流等,都是直接测量。凡是不能从所使用的仪器上直接读出大小而需要测出一些与待测量有关的量,再由它们之间的函数关系而求出待测量的,叫做间接测量。如用单摆法测量重力加速度、用伏安法测量电阻、用光栅法测量光波波长等,都是间接测量。

凡是在测量过程中保持相同条件(如仪器精度、环境条件等)的所有测量,叫做等精度测量;反之,在不同条件下对某物理量进行的测量,叫做非等精度测量。对此二者,在计算该量的平均值时所用的方法是不同的。前者可直接计算其算术平均值,而后者则要用加权平均的方法计算其平均值。

测量结果的好坏,不仅与仪器有关,而且还与实验环境条件以及实验者的技能素质

有关。

本课程的实验中所进行的测量一般都是基础性的测量,所用仪器多是各种基本仪器,实验方法和技能也都是很基本的,但必须引起足够的重视。事实上,正因为是基本的,所以是非常重要的,它是今后学习和掌握高、精、尖技术的基础,如果没有这个牢固的基础就不可能有将来高水平的发展。

二、误差

(一)误差的概念

当我们对某一物理量进行测量时,由于受到仪器、测量方法、人的感觉器官及其周围环境的限制,测量是不能无限精确的,测量值与客观存在的真值之间总有一定的差异,测量值只能是真值的近似值,所以一般的测量都存在误差,我们把真值与测量值之差叫做测量误差。

如一物理量的真值为 N_0 ,测得值为 N ,则测量误差 ΔN 为

$$\Delta N = N - N_0 \quad (1)$$

由于真值 N_0 是未知的,所以误差 ΔN 也求不出来,必须引入一个新的名词——偏差,即

$$\text{偏差} = \text{测量值} - \text{平均值}$$

这是因为每次测量的偏差很容易测量出来,理论可以证明测量次数越多,平均值越接近真值。当仪器没有系统误差时,测量次数为无穷多次,这时平均值趋近于真值,所以通常人们把平均值叫做最近真值,习惯把偏差叫做误差。

要特别提醒注意的是,误差存在于一切测量之中,而且贯穿测量过程的始终,测量误差的大小反映我们的测量接近于客观真实值的程度。我们的任务是在给定的条件下,尽量减小测量误差,提高测量精度。

(二)误差的分类

误差的产生有多方面的原因,从其性质和来源上可分为“系统误差”与“偶然误差”两大类。

1. 系统误差

系统误差的特点是,在相同的实验条件下,对同一物理量进行多次测量时,误差的大小和正负总保持不变,或按一定规律变化,这样的误差叫系统误差。例如,千分尺零点的正负、电表的接入误差等就是系统误差的典型例子。它的来源主要有以下几方面。

(1) 仪器误差:仪器设备由于制造不够精良或装置调节不妥而使数据不可能读得很准确。例如,米尺的刻度不均匀、天平的两臂不等、刻度盘的中心不正、砝码的质量不准、测微螺旋尺的螺距不均匀、电表的零点没调准或磁铁失磁,等等。仪器误差的定义是:在正确使用仪器的前提下,测量值与真值可能出现的最大误差。

(2) 理论或实验方法的误差:由于测量原理本身不够严密或测量方法与理论的要求有出入等产生。例如,在用天平称质量时,没考虑空气浮力的影响,利用周期公式

$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 测量重力加速度 g 时,要求摆线 L 的摆角 θ 很小 ($\theta < 5^\circ$),实验过程中不一定

总能得到满足,等等。

(3)外界条件引起的误差:是指外界环境固定的、单方面的影响或干扰。例如,精密天平受阳光单方面的照射而引起不等臂,液体压强计和气体压强计由于外界温度的影响,都会使测量值产生误差。

(4)个人误差:由于观察者的视觉、听觉等感觉器官的限制,以及观察者本身的不良习惯和缺乏实验训练等原因而产生的误差。例如,在按停表时,有的人习惯于早按,有的人习惯于迟按。在读取仪表的示数时,眼睛没有正对指针刻度,总是从上、下或左、右一方来读数等。

在实验中,系统误差的发现和消除是一个复杂的问题,原则上可以通过改善仪器、改进测量方法、纠正个人的偏差或通过计算等加以改正或修正。

2. 偶然误差

在测量时,即使采用了没有系统误差的测量过程,或排除了产生系统误差的因素(实际上不可能绝对排除),进行了精心的多次观测,每次测量值也还是有差异的。例如用平行光法测凸透镜的焦距,每次判断像的清晰程度,以及在光具座上对准透镜架及光屏所处位置,并读出毫米以下的一位估读值,都有一定的偶然性,都会带来误差,产生这种误差的原因有:

(1)由于观察者的感觉器官(视觉、听觉)的限制,以及手脚灵活性的限制等,使得观察结果有时比较大,有时比较小。

(2)由于实验条件无规则的起伏和周围环境无规则变化的影响。例如,温度和气压的起伏、地基的振动、光线的闪动、电磁场的干扰等等,使观察结果时大时小。这些由于偶然的或不确定的因素所造成的每一次测量值的无规则的涨落,称为偶然误差,也称为随机误差。

偶然误差的特点是在相同的实验条件下进行多次测量时,各测量值有的比真值偏大,有的比真值偏小。换句话说,偶然误差无论在数值的大小或符号上都是不固定的,似乎纯属偶然的,但若测量次数很多,测量结果中也显示出一定的规律性,即服从一定的统计规律,符号相反、大小相等的误差出现的概率是相同的;绝对值小的误差较绝对值大的误差出现的概率大;偶然误差的算术平均值随着测量次数的增加而越来越趋向于零等。也就是说,在数学上偶然误差符合正态分布,其分布曲线如图1所示。

图1中, $f(\Delta x)$ 表示偶然误差出现的概率, Δx 表示误差, σ 表示标准误差, η 表示平均误差。

由于某些偶然误差是人所不能完全控制的偶然因素所引起的,所以不可能通过改善仪器、改进实验方法或修正测量原理等办法来消除,但是可以适当增加测量次数取其平均值来减少偶然误差。

根据偶然误差的性质,有多种处理偶然误差的理论和方法。

总之,系统误差与偶然误差性质不同,来源不同,处理方法也不同。我们所说的测量精密度高是指偶然误差小,测量准确度高是指系统

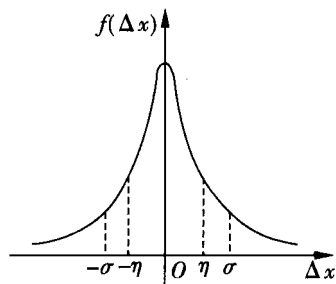


图1 偶然误差分布

误差小,精确度是把两者都包括进去了。影响测量结果精确度的,有时主要因素是偶然误差,有时主要因素是系统误差,对于某个具体实验,需要进行具体分析。测量结果的总误差是系统误差和偶然误差的总和。

有时候,系统误差和偶然误差要加以区别、分别处理,在精密测量时尤其如此,有时候,只是为了说明总误差的限度,就不需要加以区别。许多不太精密的仪器的最大允许误差(如电表的精度级别)就是既包括系统误差又包括偶然误差。有时候,也难于划分和区别它们。

最后必须指出,“错误”与误差不同,错误完全是人为的。例如,记录数据时将“3.51”记为“35.1”,读数时将“43”看成“48”,演算时将数值算错,以及操作方法不正确等,错误是可以完全避免的,而误差只能设法尽量降低,没办法全部消除。

三、偶然误差的估算

实验后,为了正确评价和表示实验结果,必须对实验中的误差进行估算,而实验前可以根据对实验精确度的要求,通过误差估算选择恰当的实验方法和仪器。在本课程所涉及的多数实验中,由于选择了恰当的实验方法与相应精度的仪器,实际上使得系统误差大大降低了或者基本消除了,所以我们今后误差的估算主要是偶然误差。

(一) 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,或对测量精确度要求不高等原因,对一个物理量的直接测量只进行了一次。这时,可根据实际情况,对测量值的误差进行合理的具体估计,不能一概而论。在一般情况下,对于偶然误差很小的测定值,可按仪器出厂鉴定书或仪器上直接注明的误差作为单次测量的误差。如果没有注明,可以从书末附录二《常用仪器的仪器误差》中查找分析确定。在某些特殊情况下,一次测量的有效数字位数应根据具体条件加以确定。如在测一较长距离或实验情况不允许正确放置米尺时,测量误差显然会超过仪器的最小分度值,因此,其结果的有效数字位数应按实际测量的情况合理确定。

(二) 多次测量的误差估算

1. 算术平均值

前面说过,由于测量误差的存在,在计算测量中,真值总是不能确切知道,对于某一物理量 N 进行多次测量的结果不会完全一样,那么怎样才能使测量结果最合理地代表真值呢? 常用的办法是,在测量条件相同的情况下,对某物理量 N 进行 n 次测量,其测量值分别为 $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$, 则其算术平均值为

$$\bar{N} = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{n} \quad (2)$$

根据误差的统计理论,在一组 n 次测量的数据中,算术平均值 $\bar{N}$ 最接近于真值,称为测量的最佳值或最近真值。当测量次数无限增加时,算术平均值就将无限接近于真值。

我们在实际测量中,由于测量次数并不能无限增加,真值也就不能确定,误差也就只能估算,所以测量值的误差就可用算术平均偏差或均方根偏差(标准偏差)来表示。