

高职高专“十一五”规划教材

● 公共基础课系列

物理实验

主编 高海林 周军

本书从培养21世纪创新人才的目标出发，在用现代观点审视教学内容的基础上，注重与基础教育的衔接，并增加了设计性实验等内容。全书共分四大部分，分别介绍了物理实验基础知识、基础实验、综合实验以及设计性实验。书后附录为实验报告示例及常用的物理数据等。本书可作为高职院校初中后五年制和高中后三年制各专业学生的物理实验用书。

 大象出版社
全国优秀出版社

高职高专“十一五”规划教材·公共基础课系列

物理实验

主 编 高海林 周 军



大象出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理实验/高海林,周军主编. —郑州:大象出版社,2007.8

高职高专“十一五”规划教材·公共基础课系列

ISBN 978-7-5347-4667-3

I. 物… II. ①高…②周… III. 物理学-实验-高等学校:
技术学校-教材 IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 120911 号

本书编委会名单

主编 高海林 周 军

编委 李 翔 安存胜 田 睿

责任编辑 陈洪东

特约编辑 李会轩

责任校对 钟 骄

封面设计 杜晓燕

出 版 大象出版社(郑州市经七路25号 邮政编码450002)

网 址 www.daxiang.cn

发 行 全国新华书店

制 版 河南第二新华印刷厂

印 刷 河南第二新华印刷厂

版 次 2007年8月第1版 2007年8月第1次印刷

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13.25

字 数 303千字

印 数 1—3000册

定 价 19.80元

若发现印、装质量问题,影响阅读,请与承印厂联系调换。

印厂地址 郑州市商城路231号

邮政编码 450000

电话 (0371)66202901

前言

本书是根据教育部制定的《高等学校工程专科物理实验课程教学基本要求》,并结合当前高职高专物理实验教学的现状以及学生的特点编写而成的。为方便不同层次职业院校的使用,本教材着重安排了两个层次的实验内容,最后安排了一个设计性实验,各院校可根据实验设备和学生的实际情况从中选用。

从编写体例上看,与传统实验教材相比,本教材“基础实验”和“综合实验”部分的每一个实验前都添加了“预习提示”和“预习测试”,以帮助学生搞好实验预习。预习提示指出了该实验的要点和应重点掌握的内容,预习测试则可以督促和检查学生的预习情况。“观测内容”部分列出了实验中要观察的具体现象和要测定的具体数据,使学生明白每个实验的具体任务。“步骤提示”中只给出了重要步骤的提示,并未对实验的具体步骤作硬性的、详细的规定,从而既保证学生能顺利完成实验任务,又给学生留出创新思维的余地。

本教材结构体系新颖,各部分相对独立又相互联系,实验部分设计简繁得当,给学生留有充分的思考余地。

本书由高海林、周军任主编,李翔、安存胜、田睿老师参加编写。全书由高海林、周军统稿。

由于编写时间紧张,加之编者业务水平有限,错误和疏漏之处恳请斧正。

编者

2007年6月

目 录

绪 论	(1)
[阅读材料]	(3)
第 1 部分 物理实验基础知识	(6)
第一节 测量与误差	(6)
第二节 数据处理	(8)
第三节 基本的实验方法	(21)
第 2 部分 基础实验	(26)
实验 1 长度的测定	(26)
[阅读材料]	(32)
实验 2 规则物体密度的测定	(34)
[阅读材料]	(37)
实验 3 匀变速直线运动瞬时速度和加速度的测定	(43)
实验 4 牛顿第二定律的验证	(51)
实验 5 机械能守恒定律的验证	(56)
实验 6 动量守恒定律和动能守恒定律的验证	(60)
实验 7 静电场的描绘	(65)
实验 8 多用电表的使用	(70)
[阅读材料]	(78)
实验 9 伏安法测电阻	(83)
实验 10 用惠斯登电桥测电阻	(88)
实验 11 示波器的使用	(93)
实验 12 电源的输出功率跟负载电阻的关系研究	(105)
[阅读材料]	(108)
实验 13 线性电阻和非线性电阻伏安特性曲线研究	(111)
实验 14 薄透镜焦距的测量	(117)
第 3 部分 综合实验	(124)
实验 15 恒力矩转动法测刚体转动惯量	(124)
[阅读材料]	(130)
实验 16 拉伸法测金属杨氏模量	(133)
[阅读材料]	(138)
实验 17 电子束的偏转和聚焦	(143)
实验 18 霍尔效应及其应用	(154)
实验 19 分光仪的调节	(161)

[阅读材料]	(167)
实验 20 光的干涉现象研究	(172)
实验 21 光电效应	(177)
[阅读材料]	(187)
第 4 部分 设计性实验	(189)
实验 22 数字万用表的设计	(189)
附 录	(199)
附录 1 实验报告示例	(199)
附录 2 常用物理数据与公式	(202)
参考文献	(204)

绪 论

一、物理实验的意义

科学的理论来源于科学的实验。物理学是一门建立在实验基础上的自然科学,物理概念的确立、物理规律的发现,都是通过大量观察、实验等研究方法,并通过实验的进一步检验而建立起来的。

观察和实验是物理学中的重要研究方法。观察就是对自然界中发生的某种现象,在不改变自然条件的情况下,按照原来的样子加以观察、研究;而实验则是人们按照一定的研究目的,借助特定的仪器设备,人为控制或模拟自然现象,使自然现象以比较纯粹或典型的形式表现出来,进而对其反复进行观察和测试,探索其内部规律的一种方法。

科学实验在物理学的发展中具有重要的意义。例如,在物理学的发展史上,著名的迈克尔逊—莫雷实验,对相对论的建立起了重要的奠基作用;伽利略实验否定了亚里士多德“力是维持物体运动的原因”的论断;麦克斯韦根据电磁学的实验定律建立电磁场理论,并预言了电磁波的存在;20世纪初光电效应、黑体辐射等一系列物理实验事实与经典理论发生了矛盾,导致了相对论和量子力学的产生。特别是发展到现在,离开了科学实验,要进一步揭示宏观世界和微观世界的奥秘是不可能的。

实验又是理论付诸应用的桥梁。热核聚变理论指出,通过热核聚变可以获得巨大的能量。但是,要想很好地利用它,还需要通过许多艰苦的实验才能实现。当然,科学实验既是理论研究活动的基础,又接受理论的指导。实验研究课题的选择、实验的构思和设计、实验方法的确定、实验数据的处理,以及由实验结果中提出的科学假设和科学结论等,都始终受理论支配。总之,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。

物理实验不仅在物理学的发展中占有重要的地位,而且在推动其他自然学科、工程技术发展的过程中也起着重要的作用。特别是在很多交叉学科中,物理实验的构思、方法和技术与化学、生物学、天文学等学科相互结合,已取得了丰硕的成果。此外,物理实验还是众多高新技术发展的源泉,原子能、半导体、激光、超导和空间技术等最新科技成果都是与物理实验密切相关的。

作为高职高专教育基础的物理实验,是使学生接受系统的实验训练、加强理论联系实际能力的重要途径之一。因此,要掌握系统的基础实验知识,熟悉基本仪器及其使用,具备牢固的实验基本功,进行适量的训练是必不可少的。

二、实验课的基本程序及要求

(一) 实验预习

实验预习是为实验操作做准备的。为了在规定的时间内顺利地完成任务,学生在

实验前必须做好预习工作,通过预习明确要做什么、怎样做,以及为什么这样做。

(1)认真阅读实验教材及相关参考资料。实验教材是实验的指导书,对每一个实验的目的、要求、实验原理都作了明确的阐述。因此,在上实验课前必须认真地阅读实验教材。在做设计性实验时,根据实验的要求,还需查阅有关参考资料。

(2)认真阅读实验教材中的仪器介绍。实验中涉及的仪器很多,在预习时需要认真阅读教材中的仪器介绍,弄清仪器的原理、构造、操作规程和注意事项等。特别是注意事项,不仅要仔细看,还要牢记。否则,实验过程中会造成仪器损坏,严重的甚至危及人身安全。对仪器的构造,应尽可能地去理解、想象,必要时还需要去实验室观察实物。

(3)在预习的基础上写好预习报告,其内容包括实验名称、实验目的、实验原理和数据记录表格。此外,还应根据实验内容,准备好实验中所需的绘图工具、计算器等。

(二) 实验操作

实验操作是整个实验教学中最重要的一个环节,主要是培养学生的动手能力、分析问题和解决问题的能力。为达到这一目的,必须注意以下几个问题:

(1)实验时应严格遵守实验室的规章制度。在实验正式进行前,首先结合仪器实物,对照实验教材或仪器说明书,认识和熟悉仪器的结构和用法;其次,要全面地想一想实验的操作程序,考虑一下怎样做更为合理,不要急于动手。

(2)仪器的安装和调节是决定实验成败的关键一环。使用仪器时,必须满足仪器的正常工作条件(如螺旋测微器的调零、天平调水平和平衡等)。不重视对仪器的调节而急于进行测量是易犯的毛病,应予以纠正。

(3)实验测量应遵循“先定性、后定量”的原则。先定性地观察实验全过程,确认整个实验装置工作是否正常,对所测内容做到心中有数。在可能的情况下,对数据的数量级和走向作出估计之后,再定量地读取和记录测量数据。测量时,观测者应集中精力,细心操作,仔细观察,积极发挥主观能动性,以获得所用仪器可能达到的最佳结果。

(4)认真做好原始数据的记录。原始数据是宝贵的第一手资料,是以后计算和分析问题的依据,应按有效数字的规则正确记录。实验记录的内容应包括时间、地点,合作者,仪器的编号、名称和规格,原始数据及有关现象。

(5)做好实验检查和整理工作。实验数据是否合理,学生应首先自查,然后交给指导教师审查。对不合理的或错误的实验结果,应认真分析原因,及时补测或重做。离开实验室前,应自觉整理好仪器,并做好清洁工作。

(三) 实验报告

书写实验报告的目的是为了培养学生以书面形式总结工作和报告科学成果的能力。它是科学实验能力培养的组成部分,是学生综合思维能力和文字表达能力的训练过程,将为他们今后在科学研究、工作实践中打下基础。应注意以下问题:

(1)实验报告要求文字通顺、字迹端正、数据完整、图表规范、结果正确。

(2)实验报告应规范完整。一份完整的实验报告应包括实验名称、实验目的、实验原理、实验步骤、原始数据、数据处理和讨论等内容。实验原理应在理解教材内容的基础上用自己的语言来阐述,做到简明扼要。实验步骤只要写出关键性的仪器调节方法和测量技巧即可,不要照抄教材中的操作步骤。原始测量数据一般要求以列表形式出现。数据处理要

写出数据计算的主要过程、图表和最后结果的误差分析。对实验过程和结果的讨论要具体深入,有分析,有见解,不要泛泛而谈,其内容一般不受限制,可以对观察到的实验现象进行分析,也可以对结论和误差原因进行分析,还可以对实验方案提出改进意见。

(3) 实事求是,严禁伪造实验数据。实验报告的核心特征就是实事求是,科学的态度和严肃认真的工作作风是科学工作者应具备的品德。在处理数据和书写实验报告时,对实验过程中所应记录的实验条件、实验现象、实验数据应严格地如实记录,不得伪造和增删实验数据。

[阅读材料]

黑体辐射实验

任何物体都具有不断辐射、吸收电磁波的本领。辐射出去的电磁波在各个波段是不同的,具有一定的谱分布。这种谱分布与物体本身的特性及其温度有关,因而被称为热辐射。为了研究不依赖于物质具体特性的热辐射规律,物理学家们定义了一种理想物体——黑体,并以此作为热辐射研究的标准物体。

所谓黑体,是指入射的电磁波全部被吸收,既没有反射,也没有透射的物体。显然,自然界不存在真正的黑体,但许多物体在某些波段上是较好的黑体。

基尔霍夫辐射定律告诉我们,在热平衡状态的物体所辐射的能量与吸收的能量之比与物体本身特性无关,只与波长和温度有关。按照基尔霍夫辐射定律,在一定温度下,黑体必然是辐射本领最大的物体,可叫做完全辐射体。

普朗克辐射定律则给出了黑体辐射的具体谱分布,即在一定温度下,单位面积的黑体在单位时间、单位立体角内和单位波长间隔内辐射出的能量符合以下规律:

(1) 黑体的谱辐射亮度存在一个极值,这个极值的位置与温度有关。据此我们可以估算,当 $T = 6\,000\text{ K}$ 时, $\lambda_m = 0.48\,\mu\text{m}$ (绿色),这就是太阳辐射中大致的最大谱辐射亮度处。

(2) 在任一波长处,高温黑体的谱辐射亮度绝对大于低温黑体的谱辐射亮度,不论这个波长是不是光谱最大辐射亮度处。

但现实世界不存在这种理想的黑体,那么用什么来刻画这种差异呢? 对任一波长,定义发射率为该波长的一个微小波长间隔内,实物体的辐射能量与同温下黑体的辐射能量之比。显然,发射率为介于 0 与 1 之间的正数,一般发射率取决于物质特性、环境因素及观测条件。如果发射率与波长无关,那么可把物体叫做灰体,否则叫做选择性辐射体。

赫兹实验

赫兹在柏林大学随赫尔姆霍兹学物理时,受赫尔姆霍兹的鼓励研究麦克斯韦电磁理论。当时德国物理界深信韦伯的电力与磁力可瞬时传送的理论,所以赫兹就决定以实验来证实韦伯与麦克斯韦谁的理论正确。

依照麦克斯韦理论,电扰动能辐射电磁波。赫兹根据电容器经由电火花隙会产生振荡原理,将一感应线圈的两端接于电容器两铜棒上,设计了一套电磁波发生器。当感应线圈的电流突然中断时,其感应高电压使电火花隙之间产生火花。根据麦克斯韦理论,



赫兹

此火花应产生电磁波,于是赫兹设计了一个简单的检波器来探测此电磁波。他将一小段导线弯成圆形,线的两端点间留有小电火花隙。因电磁波应在此小线圈上产生感应电压,而使电火花隙产生火花,所以他坐在一暗室内,检波器距振荡器 10 米远,结果他发现检波器的电火花隙间确有小火花产生。赫兹在暗室远端的墙壁上覆有可反射电波的锌板。入射波与反射波重叠应产生驻波,他也以检波器在距振荡器不同距离处侦测加以证实。赫兹先求出振荡器的频率,又用检波器测得驻波的波长,二者的乘积即为电磁波的传播速度。正如麦克斯韦预测的一样,电磁波传播的速度等于光速。

1888 年,赫兹的实验成功了,而麦克斯韦理论也因此获得了无上的荣誉。赫兹在实验时曾指出,电磁波可以被反射、折射,也可以如同可见光、热波一样地被偏振。由他的振荡器所发出的电磁波是平面偏振波,其电场平行于振荡器的导线,而磁场垂直于电场,且两者均垂直于传播方向。1889 年在一次著名的演说中,赫兹明确指出,光是一种电磁现象。

第一次以电磁波传递信息是从 1896 年意大利的马可尼开始的。1901 年,马可尼又成功地将信号送到大西洋彼岸的美国。20 世纪无线电通讯有了惊人的发展。赫兹实验不仅证实了麦克斯韦电磁理论,更为无线电、电视和雷达的发展找到了途径。

物理学家——吴健雄



吴健雄

吴健雄(1912—1997),核物理学家,江苏太仓县人。出身于书香门第。1929 年考入南京国立中央大学数学系,一年后转入物理系。1934 年受聘到浙江大学任物理系助教,后进入中央研究院从事研究工作。1936 年进入美国加利福尼亚大学,1944 年参加了“曼哈顿计划”(研制原子弹)。1958 年当选为美国科学院院士,曾任中国科学院高能物理研究所学术委员会委员。

吴健雄是世界上最杰出的女性实验物理学家之一,有“核物理女皇”、“中国的居里夫人”和“物理科学第一夫人”之称,她的主要贡献有以下几方面:

(1) 1957 年用 β 衰变实验证明了在弱相互作用中的宇称不守恒。1956 年李政道、杨振宁提出在 β 衰变过程中宇称可能不守恒之后,吴健雄立即带领她的小组进行了一个实验,实验结果证实了弱相互作用中的宇称不守恒,在整个物理学界产生了极为深远的影响。

(2) 1963 年用实验证明了核 β 衰变中矢量流守恒定律。吴健雄对 β 衰变的一系列实验工作,特别是 1963 年证明的核 β 衰变中矢量流守恒定律,在物理学史上第一次由实验证实了电磁相互作用与弱相互作用有密切关系,对后来电弱统一理论的提出起到了重要作用。

(3) μ 子、介子和反质子物理方面的实验研究。从 20 世纪 60 年代中期开始的 10 年间,吴健雄集中力量从事这一中、高能物理领域的实验工作,发表了大量论文,有不少工

作具有首创性和很高的学术价值。

吴健雄在实验核物理方面的研究工作涉及面极其广泛。她尤其注意实验技术的不断改进,曾对多种核辐射探测器的开发、改进作出了贡献,例如薄窗盖革计数器、某些塑料闪烁探测器、Ge(Li)半导体探测器等。

第1部分 物理实验基础知识

第一节 测量与误差

一、测量和测量的种类

(一) 测量

物理实验总离不开对某些物理量的测量。测量是指为确定被测量对象的量值而进行的被测物与仪器相比较的实验过程。测量任一物理量必须同时给出该物理量的数值和单位,缺一不可。例如,一张桌子的长度与米尺相比较,得出桌子的长度为1.248m;一块铁块的质量与砝码相比较(通过天平),得出铁块的质量为31.85g。

(二) 测量的种类

测量可分为直接测量和间接测量。直接测量就是该物理量可以用仪器直接进行测量而读出其数值。如用米尺测长度、天平测质量、秒表测时间等。在物理实验中,也有许多物理量不易或不能直接测得,而是通过对某些有关的物理量直接测量,然后根据一些原理、公式计算出待测物理量,这种测量称为间接测量。如测量密度,可先测得物体的质量 m 和体积 V ,由公式 $\rho = \frac{m}{V}$ 求出密度。但是,直接测量和间接测量二者间的界限不是绝对的,在很大程度上取决于选用的实验方法和仪器。

根据测量的条件和过程,可以把测量分为等精度测量和非等精度测量。如果对某物理量重复测量多次,而每次的测量条件都完全相同(同一观察者、同一仪器、同一测量方法、同一环境等),我们没有理由说其中的某次测量比其他测量更准确,即这些测量的精度都是同等的,我们称这种测量为等精度测量。但是,如果测量中有条件发生变化,就称为非等精度测量。例如,原来用米尺测长度,现改用游标卡尺或螺旋测微器测量,就是非等精度测量。

二、误差和误差的种类

(一) 误差

任何测量都不可能进行得完全正确。无论怎样选择实验方法,提高实验技术,选择精密的仪器,测量的结果总有一定程度的不准确性。

在测量中,我们要测量的物理量在一定条件下总有一个客观存在的量值,这一量值叫做该物理量的真值。与真值相对应,对于某一物理量实验观测所得的值叫做观测值。在实际测量中,由于测量原理、仪器和方法的不完善等原因,观测值和真值之间总是存在差别,这种观测值与真值之差称为误差。设观测值为 $x_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$, 真值为 x , 则误差 a_i 为

$$\alpha_i = x_i - x \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1-1-1)$$

通常,一个物理量的真值是不知道的,可以用 n 次观测值 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 的算术平均值

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

近似代替真值 x , 并定义观测值与算术平均值之差称为残差, 则残差

$$v_i = x_i - \bar{x} = x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-1-3)$$

当测量次数足够多时, 误差 α_i 与残差 v_i 之间的差是很小的。因此, 在后面往往不加区别地把残差也称为误差。

(二) 误差的种类

根据误差的性质和产生的原因, 可将误差分为两类, 即系统误差和偶然误差。

1. 系统误差

误差的绝对值和符号恒定或按一定规律变化的误差称为系统误差。其特点是具有方向性, 即每次测量结果恒偏大或偏小。产生的原因主要包括仪器误差、理论误差和个人误差。

(1) 仪器误差。因仪器制造不精确或使用调节不当等原因所产生的误差。如米尺因温度变化产生热胀冷缩, 天平砝码偏轻造成称衡结果偏大, 温度计刻度偏小造成测量温度偏高等。

(2) 理论误差。由实验公式或实验方法不完善所引起的误差。如在得出单摆周期公式 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$ 时, 假定摆角 α 很小, 则用 α 代替 $\sin\alpha$ 。但若 α 在 10° 左右, 则误差将达百分之一。又如, 在测量物体重量时, 没有考虑空气对物体产生的浮力。这类误差可以通过精密考虑和计算, 尽可能地减小。

(3) 个人误差。由于观察者的习惯和实验技能不好产生的误差, 如估计读数时偏大或偏小, 停表测时间时偏早或偏迟。这种误差需要长时间的训练加以纠正。

因为系统误差有一定的规律性, 所以我们可以根据仪器的缺点尽可能准确地校正, 对实验理论和方法的不完善进行误差的修正、改正个人偏向等, 从而使误差降低。除个别实验提出系统误差的校正要求外, 一般情况下不考虑系统误差的修正。但必须明确的是, 在测量结果中包含着系统误差的因素在内。

2. 偶然误差

在相同条件下多次测量同一物理量时, 误差的绝对值和符号的变化时大时小, 时正时负, 没有明显确定的规律, 也不可预定, 但具有补偿性, 这类误差称为偶然误差。产生的原因主要包括主观因素和客观因素两大方面。

(1) 主观因素。主观因素包括实验者本人技术水平和感觉器官分辨能力的限制等。例如, 在仪器读数 (尤其是快速读数) 时由于受到眼睛分辨能力的限制, 最后一位读数可能偏大或偏小。

(2) 客观因素。实验要求的温度、湿度、气流、压强等外来因素在实验过程中不断变化, 对实验产生干扰, 使每次测量值不稳定。

偶然误差虽然是随机产生的, 但也包含着必然性, 服从一定的统计分布规律。在等精度

测量下,偶然误差有以下几个规律:

- (1) 绝对值相等的正误差与负误差出现的概率几乎相等。
- (2) 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的概率要多,趋近于零的误差出现的概率最多。
- (3) 误差绝对值不会超过一定的界限。
- (4) 误差的算术平均值随着观测次数的增加而趋近于零。

虑及偶然误差的性质,在实验中我们虽不能完全排除偶然误差的影响,但可以进行多次重复测量,求其算术平均值,这个值比所有各次测量结果更接近于真值。其次,我们还可以根据偶然误差服从的统计分布规律,对偶然误差的大小以及测量结果的可靠性作出合理的估计。

练一练

1. 测量就是比较。试说明下面的测量是如何体现比较的。
 - (1) 用杆秤称量一个西瓜的质量。
 - (2) 用停表测摆动时间。
 - (3) 用万用表测一电阻器的阻值。
2. 你知道如何去做下面的测量吗?
 - (1) 跑百米的时间。
 - (2) 子弹的速度。
 - (3) 声音的速度。
3. 工厂生产的仪器经检验为合格,用它测量会有误差吗?
4. 一组测量值相互差异很小,此测量值的误差一定很小吗?
5. 虽然测量不可能没有误差,但实验者应当使进行的实验尽量减小误差。请就用单摆测重力加速度的实验,设想如何减小误差。
6. 指出下列情况产生的误差是系统误差还是偶然误差。
 - (1) 因气温变化引起米尺伸缩。
 - (2) 天平的零点漂移。
 - (3) 仪表的零点不准。
 - (4) 水银温度计的毛细管不均匀。
 - (5) 电表读数时的视差。

第二节 数据处理

一、有效数字及运算

(一) 有效数字

在实验中,由于仪器精度和估读能力等的限制,所测结果的精度是一定的,即位数是一定的。如用最小刻度为毫米的米尺测量,则只能估读到毫米的下一位,如 $L = 7.34\text{cm}$, 只有 3 位数字,而在这 3 位数字中,前两位“7”、“3”是从米尺上直接读出的,是可靠的,称为可靠

数字;而后一位的“4”是估读的,不完全可靠,称为可疑数字。尽管最后一位数字是可疑数字,但在实验中还是有意义的。但是,若在“4”后面还想得到更多的数字就没有意义了。数值中的可靠数字和保留的可疑数字合称为有效数字。有效位数是指有效数字的个数。在今后的实验中,所有测量结果必须根据测量对象及所采用的测量仪器的精度用正确的有效位数表示。对一定的测量对象而言,有效位数的多少实际上反映了所使用测量仪器的精密程度。

(二)有效数字处理的基本原则

根据有效数字的意义,在进行数据处理时应注意以下几点:

(1)因实验误差本身是可疑数字,根据一般只保留一位可疑数字的原则,表示误差一般只取一位,至多取两位(取两位的情况是,当误差的第一位数值较小,利用进位法,处理引起的附加误差在整个误差中占的百分比较大时,保留两位),多余的位数用进位法处理。而测量结果的有效位数应根据和绝对误差对齐的办法决定,多余的位数用四舍六入,五的前一位是奇数就入,偶数则舍。

(2)直接测量时,凡是可以进行估读的仪器必须在仪器的最小刻度下估读一位。估读时,即使刚好是“0”,该“0”也涉及有效位数,不能任意取舍。例如测得的结果为3.00cm和3.000cm,分别表示估读的可疑值在1/10mm和1/100mm上的两种不同精度的测量。在仪器的最小分度下进行估读时,一般估读到最小分度的1/10。如最小分度很小,估读到1/10有困难,则可估读到1/5或1/2。

(3)单位换算时,应保持有效位数不变。例如把3.70m换算成以mm为单位,不应写成3700mm,因为这样就是四位有效数字了,而应当用指数表示法写成 3.70×10^3 mm,这样仍是三位有效数字。这种在小数点前只保留一位数的写法称为标准式。

(4)公式中的常数,如 π 、 e 、 $\sqrt{2}$ 、 $1/3$ 等,它们的有效位数可以认为是无限制的,可根据运算需要选定。

(三)有效数字的运算法则

在测量结果的数值计算中,应该做到既不损害测量的精确度,又不浪费精力和时间。为此,合理地采用近似算法是必要的。根据上述误差与有效数字的概念,实验数据处理中的运算可采取下面两种方法。

(1)不同精密度的数据相加减或乘除时,所得结果的最后一位数只保留参加运算的数中都有的一位为止。过多的位数在运算前就可按四舍五入法去掉。

【例1-2-1】 $1.389 + 17.2 + 8.67 + 94.12$ (数字下有下划线者为可疑数字)

近似计算:

$$\begin{array}{r} 1.4 \\ 17.2 \\ 8.7 \\ + 94.1 \\ \hline 121.4 \end{array}$$

准确计算:

$$\begin{array}{r} 1.389 \\ 17.2 \\ 8.67 \\ + 94.12 \\ \hline 121.379 \end{array}$$

按有效数字规则,应当保留一位可疑数字。因此121.379应写为121.4,与近似计算结果相同。

【例 1-2-2】 $9.2814 \times 6.25 = 58.0$

由纵列式求得其结果为 58.008 750。因为每一个数据只需保留一位可疑数字,所以结果应为 58.0,有三位有效数字,与乘数 6.25 的有效数字位数相同。

(2) 进行混合运算时,运算过程中间应比按有效数字运算规则规定的位数多保留一位,多余位数最后再舍去。

二、数据处理的基本方法

由实验测得的数据,必须经过科学的分析和处理,才能揭示出各物理量之间的关系,成为有用的结论。数据处理包括记录、整理、计算、作图、分析等过程,是物理实验的重要组成部分。在进行物理实验数据处理时,主要有列表法、图示法、图解法和逐差法等常用方法。

(一) 列表法

通过实验测量获得实验数据后,对数据进行处理的第一项工作就是记录数据。在记录数据时,将数据排列成表格形式,可以清楚地反映出有关物理量之间的一一对应关系,有助于及时发现和检查实验中存在的问题,判断测量结果的合理性;有助于分析结果,找出有关物理量之间存在的规律性;有助于提高数据处理的效率,减少或避免错误。

在进行数据处理时,应注意以下几点:

(1) 表格各栏目应注明名称和单位。应使用国家标准规定的物理量的表示符号。若用自定义符号,则需加以说明。

(2) 列入表中的数据主要是原始测量数据,处理过程中一些重要的中间计算结果也可列入表中。

(3) 表格设计力求简单明了,便于分析各物理量之间的关系。

(4) 表中数据要按有效数字规则正确记录。

(5) 表格一般都要有编号和表名。

列表法是最基本的数据处理方法。一个好的数据处理表格,往往就是一份简明的实验报告。例如表 1-2-1 就是一个典型的实验数据表。

表 1-2-1 用螺旋测微器测量钢球直径

(单位:mm)

测量次数 n	零点读数 d_0	测量读数 d'	钢球直径 $d = d' - d_0$	平均值 $\bar{d}$	误差 Δd
1	0.005	8.009	8.004	8.004 2	0.000 89
2	0.005	8.007	8.002		
3	0.004	8.008	8.004		
4	0.005	8.011	8.006		
5	0.004	8.009	8.005		
6	0.005	8.009	8.004		

(二) 图示法

利用实验数据将实验中各物理量之间的函数关系用几何图线表示出来的方法称为图示法。图示法是一种广泛用来处理实验数据的方法,特别是在还没有完全掌握物理量的变化

规律或还没有找到适当的函数表达式时,用图示法表示实验结果是一种很有效的方法。

在图示法中,实验图线不仅能直观、形象地显示物理量之间的关系,而且有助于我们研究物理量之间的变化规律,找出定量的函数关系或所求的参量。同时,所作的图线对测量数据起到平均的作用,从而减小了偶然误差的影响。此外,还可以作出仪器的校正曲线,帮助发现实验中的某些测量错误等。因此,图示法不仅是一种数据处理方法,而且是实验方法中一个不可分割的部分。

图示法既要用图线来表示从实验中得到的物理量之间的关系,同时还要反映出测量的精确程度,因而作图时必须遵循一定的步骤及规则。

1. 图纸的选择

图纸通常有线性直角坐标纸(毫米方格纸)、单对数坐标纸、双对数坐标纸、极坐标纸等。应根据具体实验情况选取合适的坐标纸。

2. 坐标的分度和标记

绘制图线时,应以自变量作横坐标,因变量作纵坐标,并标明各坐标轴所代表的物理量(可用相应的符号表示)及单位。

坐标的分度要根据实验数据的有效数字和对结果的要求来确定。原则上,数据中的可靠数字在图中也应是可靠的,而最后一位的估读数在图中亦是估计的,不能因作图而引进额外的误差。

在坐标轴上每隔一定距离应均匀地标出分度值,标记所用有效数字位数应与原始数据的有效数字位数相同,单位应与坐标轴的单位一致。坐标的分度应以不用计算便能确定各点的坐标为原则。为便于读图,通常只用能被10整除的1、2、5进行分度,而不用3或7等进行分度。

3. 标点

标点又称实验数据点。根据测量数据,用“+”或“○”记号标出各数据点在坐标纸上的位置,记号的交叉点或圆心应是测量点的坐标位置,“+”中的横竖线段大小及“○”中的半径大小应是测量点的误差范围。

在同一图纸上画不同图线,应该用不同符号以便区分(见图1-2-1)。同时,应在不同的曲线旁加有文字标注,以便识别。还可用不同颜色对不同的曲线加以区分。

4. 连接实验点

实验曲线是将实验点连线而成的。作实验点的连线时必须使用工具,所绘的曲线或直线应光滑均匀,而且尽可能使所绘的图线通过较多的测量点,但不能连成折线。对那些严重偏离曲线或直线的个别点,应检查一下标注是否有误。若没有错误,在连线时可舍去不用。其他不在图线上的点,应使其均匀地分布在实验曲线或直线的两侧(见图1-2-2)。

5. 注解和说明

在图纸的明显位置处应写清图的名称,注明作者、作图日期、必要的简单说明或计算公式、计算结果。

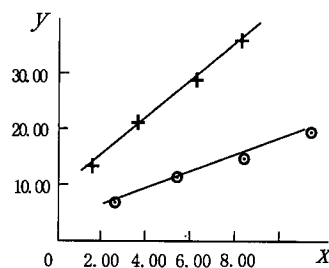


图1-2-1 在同一图纸上画不同图