



大学物理实验

主 编 刘惠莲



科学出版社

大学物理实验

主 编 刘惠莲

副主编 肖 利 陈万金

参 编 李金英 王 丽 陈潇潇

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是吉林师范大学物理基础实验教学中心多年来教学内容和课程体系改革的成果.从强化基本训练、便于学生进行研究性学习和实践、特别是重视学生实验的基本素质和创新意识的培养出发,在力、热、电磁及光学部分分别建立预备性实验、基础性实验、综合性实验和设计性实验四个层次的新模式,淘汰不适应当前科技水平和社会需要的内容,安排一些全新的内容,形成一个符合时代特点的具有师范特色的实验教学课程新体系.全书共7章,涵盖了力、热、光、电等59个实验,误差和不确定度、实验数据的处理方法和物理实验方法单独成章.

本书可作为高等学校理工科各专业的物理实验教材或参考书,适合不同层次的教学需求.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/刘惠莲主编. —北京:科学出版社, 2013

ISBN 978-7-03-036443-2

I. ①大… II. ①刘… III. ①物理学-实验-高等学校-教材 IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 008790 号

责任编辑: 窦京涛 / 责任校对: 钟 洋

责任印制: 阎 磊 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京市农林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年1月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2013年1月第一次印刷 印张: 16 1/4

字数: 424 000

定价: 34.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

大学物理实验是大学物理实践教学中的重要环节,对于培养大学生的实践能力和创新能力有着不可替代的作用.随着科学技术的迅猛发展、社会的不断进步,对人才的培养提出了更高的要求.为了适应这种变化,大学物理实验教学必须与时俱进,不断进行改革,适应社会对人才知识结构和科学素质越来越高的要求.因此我们从培养 21 世纪高素质创新人才的目标出发,构建符合时代特点的具有师范特色的实验教学课程新体系.本书就是按这一新的理念、新的体系编写而成.它具有以下特点:

1. 层次分明,目标明确.作者在实验教学改革的实践中,将力、热、电磁及光学实验化分为预备性实验、基础性实验、综合性实验、设计性实验四个层次,形成从低到高、从基础到前沿、从接受知识到培养综合能力,逐级提高的物理实验课程新体系.各个层次的实验有明确的能力培养定位,后一层次实验以前一层次实验为基础,体现出知识的传承与创新,不同的层次标志着不同的实验技能和科学思维水平.

预备性实验难度较低,以最常用的实验仪器和常规实验为主.开设预备性实验解决低年级学生由于受中学实验条件的限制,实验动手能力参差不齐的问题.通过基本的实验训练,使学生初步掌握长度、质量、基本电学量和基本光学参数等物理量的测量;学会最基本仪器的使用;学习最基本的测量方法和实验数据处理方法,为下一阶段的学习掌握必备的实验基础知识和实验基本技能;提高物理实验课程的起点,激励学生的实验兴趣.预备性实验不占用课内学时,不要求写实验报告,不计实验成绩,属于学生的课外培训,以学生自学为主,实行全开放教学.

基础性实验注重物理学基本规律的验证与运用.通过这一阶段的训练,学生应能独立完成给定原理和仪器的实验项目,掌握基本的实验技能,培养学生严谨的科学作风和实事求是的工作态度.要求学生能根据实验结果,自行设计记录表格,正确进行数据处理,并能对实验方法、结果做初步的分析评价.基础性实验主要为加强学生的“三基”(基本知识、基本技能和基本方法)训练提供平台.

综合性实验是在基础性实验的基础上,提高了仪器设备的复杂程度,提供了许多内容广泛、实验类型齐全、综合性较强,相对于基础性实验来说难度较大的实验课题.在实验过程中,教师只负责提供实验条件、指导咨询及课堂纪律检查等,具体的实验步骤、数据采集及取舍直至做完实验完成报告,均由学生独立完成.其目的是训练学生综合运用多种实验仪器的能力,培养在比较复杂条件下,观察现象、测试数据、解决矛盾及综合分析问题的能力.

设计性实验是培养学生创新思维的一种手段.它是在掌握基础性实验和具备综合实验知识及能力之后,为了进一步活跃学生的物理实验思想,强化学生的思维能力及动手能力,尤其是科学实验素质的培养和提高而开设的.通过设计性实验,促进学生独立思考,强化对学生的实验技能及实验设计思想的培养,是一次再学习、再深化的过程.学生通过自己查找资料,提出各种解决问题的方法,并选择最佳方案做实验,最后对实验数据处理、概括归纳、总结分析,得出正确的结论,为今后从事课题研究打下良好的科学实验基础.

2. 内容丰富,取材新颖.我们对原大学物理实验题目和内容进行了全面审视,站在现代科

学技术水平和现代教育理念的高度上,进行了全新的构建和精心的选择.第一,把我们多年的实验教学改革经验和研究成果,以及国内兄弟院校实验教学改革优秀成果融入到实验教学中,使实验内容具有了先进性;第二,装备了一些先进的教学仪器,提高了实验的科学技术水平,着重培养学生掌握先进的新实验技能;第三,将计算机技术、传感器技术结合起来引入到实验教学和实验数据采集、处理、控制中,提高了实验教学的现代化水平.

3. 知识全面,系统性强.将分散在各实验中的物理实验基本知识、基本物理实验方法、基本物理实验技能,进行了归纳和总结,并在阐述上注意系统性.第1章为测量误差和不确定度,阐述了测量误差的概念、测量误差处理方法、有效数字及其运算、测量结果的不确定度评定;第2章为数据处理方法,主要介绍了物理实验中数据处理的几种常用方法;第3章为大学物理实验方法,比较系统地叙述了大学物理实验中的基本方法和设计性实验的基本设计原则和方法;第4章为大学物理基本仪器的使用,主要介绍了大学物理基本仪器的使用方法和物理实验中的基本调整与操作技术;第5章、第6章和第7章为力、热、电磁及光学实验中的预备性实验、基础性实验、综合性实验和设计性实验.在各章中形成了由低到高、由基础实验到科学研究的系统化能力培养体系.

4. 突出重点,彰显个性.在大学物理实验基础知识的阐述中,对重点内容都列举了实例,加深学生对知识的理解和掌握.在各实验题目编写中,原理部分着重实验思路的引导,突出从提出问题到解决问题的逻辑思维过程.实验步骤由详到略,注重能力培养.在每个实验题目后,都列有预习思考题和实验后思考题,前者引导学生实验前预习,后者供学生实验后分析讨论和巩固提高,给学生一定的思考余地,发挥学生的主观能动性.在实验后思考题中,结合本实验留有一定的设计性小实验,由学生课余时间自主完成,激发学生的创新思维.在设计性实验中,每个学生可以根据自己的兴趣和需要选做不同题目的实验,突出学生的个性化发展.

5. 特色鲜明,实用性强.本书是由长期工作在大学物理实验教学第一线的有一定教学经验的教师编写的,所选的实验题目来自于教学实际,并经过一定的改造提炼,更加适用于教学.高等师范教育是“工作母机”,培养具有创新素质的创新型师资,方能真正发挥培养创新人才的“母机”作用,成为国家创新体系的有机组成部分.因此,除了加强对学生进行“三基”训练的实验外,还加大了具有应用价值的设计性实验题目,通过这一阶段的系统训练,使学生的创新意识、创新思维和创新能力都得到提高,更好地担负起在基础教育中实施创新教育的历史使命.

由于编写时间仓促,编者水平有限,书中难免有缺点和错误,敬请老师和同学们批评指正.

编者

2012年6月

目 录

前言

绪论	1
第 1 章 测量误差和不确定度	6
1.1 测量	6
1.1.1 测量和单位	6
1.1.2 直接测量和间接测量	6
1.1.3 等精度测量与不等精度测量	7
1.1.4 测量的精密度、准确度和精确度	7
1.2 误差	8
1.2.1 真值与误差	8
1.2.2 最佳值与偏差	8
1.2.3 误差分类	8
1.3 误差处理	9
1.3.1 系统误差处理	9
1.3.2 随机误差处理	12
1.3.3 坏值的剔除	14
1.3.4 仪器误差	16
1.4 有效数字及其运算	20
1.4.1 有效数字的定义	20
1.4.2 直接测量的有效数字读取	21
1.4.3 间接测量有效数字的运算	21
1.4.4 有效数字尾数的舍入法则	22
1.5 测量结果的不确定度评定	22
1.5.1 测量不确定度的基本概念	22
1.5.2 直接测量结果的不确定度评定	23
1.5.3 间接测量量的不确定度评定	25
习题与思考题	28
第 2 章 数据处理方法	30
2.1 列表法	30
2.2 作图法	30
2.2.1 作图法的作用和优点	30
2.2.2 作图的基本规则	31
2.2.3 线性关系数据的处理	32

2.3	逐差法	32
2.3.1	逐差法的作用和优点	32
2.3.2	逐差法的使用条件	33
2.3.3	逐差法的应用	33
2.4	最小二乘法	34
2.4.1	用最小二乘法处理数据的条件	34
2.4.2	最小二乘法的作用和优点	34
2.4.3	求一元线性回归方程	34
2.4.4	y_i 、 a 、 b 的误差估算	35
2.4.5	相关系数 γ	36
第3章	大学物理实验方法	38
3.1	基本实验方法	38
3.1.1	放大法	38
3.1.2	比较法	39
3.1.3	模拟法	40
3.1.4	补偿法	40
3.1.5	转换法	41
3.1.6	干涉法	42
3.1.7	示波法	42
3.2	设计性实验方法	42
3.2.1	物理模型的建立	43
3.2.2	物理模型的比较与选择	44
3.2.3	实验方法的选择	44
3.2.4	测量仪器的选择与配套	45
3.2.5	测量条件与最佳参数的确定	45
3.2.6	测量次数的确定	46
3.2.7	实验实施方案的拟定	47
3.2.8	实验准备报告	47
3.2.9	实验操作	47
3.2.10	数据处理及撰写报告	48
第4章	大学物理基本仪器的使用	49
4.1	基本仪器介绍	49
4.1.1	力学基本仪器	49
4.1.2	电学基本仪器	54
4.1.3	光学基本仪器	61
4.2	大学物理实验仪器的基本调整与操作技术	67
4.2.1	大学物理实验仪器的基本调整技术	67
4.2.2	大学物理实验的操作技术	69

第 5 章 力热实验	71
第一部分:预备性实验	71
实验 5.1 基本量测量	71
实验 5.2 移测显微镜的使用	72
实验 5.3 用焦利秤研究简谐振动	73
实验 5.4 用单摆测重力加速度	75
实验 5.5 在气垫导轨上测量加速度	77
实验 5.6 空气、液体介质的声速测量	79
第二部分:基础性实验	84
实验 5.7 精密称量	84
实验 5.8 牛顿第二运动定律的验证	86
实验 5.9 杨氏模量的测定(伸长法)	88
实验 5.10 切变模量的测定	91
实验 5.11 液体黏度的测量(毛细管法)	94
实验 5.12 表面张力系数的测定(拉脱法)	97
实验 5.13 比热容的测量(混合法)	100
第三部分:综合性实验	103
实验 5.14 碰撞实验	103
实验 5.15 三线摆	106
实验 5.16 水的汽化热的测定	110
第四部分:设计性实验	112
实验 5.17 密度的测量	112
实验 5.18 光杠杆法测金属的线膨胀系数	113
实验 5.19 复摆与可倒摆的研究	114
实验 5.20 简谐振动的研究	115
第 6 章 电磁学实验	117
第一部分:预备性实验	117
实验 6.1 滑线变阻器制流和分压特性研究	117
实验 6.2 伏安法测二极管的特性	119
实验 6.3 黑盒子	121
第二部分:基础性实验	122
实验 6.4 用惠斯通电桥测电阻	122
实验 6.5 用电流场模拟静电场	126
实验 6.6 示波器的使用	130
实验 6.7 用双电桥测低电阻	135
实验 6.8 磁场的描绘	140
第三部分:综合性实验	144
实验 6.9 灵敏电流计特性研究	144
实验 6.10 用霍尔元件测量螺线管内的磁场	150

实验 6.11 用交流电桥测电容及电感	154
实验 6.12 RLC 串联电路的暂态过程研究	159
实验 6.13 交流电路的谐振现象	165
实验 6.14 霍尔效应及其应用	168
实验 6.15 铁磁物质动态磁滞回线的测试	172
第四部分:设计性实验	179
实验 6.16 伏安法测电阻与电表内阻	179
实验 6.17 简易万用电表的设计及校准	182
实验 6.18 用电势差计校准电表和测定干电池的电动势及内阻	185
实验 6.19 用冲击电流计测电容和高电阻	188
实验 6.20 通电导线在磁场中受力研究	192
第 7 章 光学实验	193
第一部分:预备性实验	193
实验 7.1 薄透镜焦距的测定	193
实验 7.2 分光计的调整和使用	195
实验 7.3 发光二极管光电特性的研究	201
第二部分:基础性实验	202
实验 7.4 用透射光栅测定光波波长	202
实验 7.5 利用准直管法测薄透镜焦距	205
实验 7.6 单色仪的定标	207
实验 7.7 光具组基点的测定	211
实验 7.8 用掠入射法测定透明介质的折射率	214
实验 7.9 偏振现象的观测与分析	217
实验 7.10 用牛顿环干涉测透镜曲率半径	221
实验 7.11 用分光计测定三棱镜的折射率	225
实验 7.12 用显微镜测量微小长度	226
第三部分:综合性实验	229
实验 7.13 用双棱镜干涉测钠光波长	229
实验 7.14 迈克耳孙干涉仪的调整与使用	232
实验 7.15 阿贝成像原理和空间滤波	238
第四部分:设计性实验	243
实验 7.16 测定椭圆偏振光强度分布图	243
实验 7.17 用 M-干涉仪测量物质折射率和物体长度	245
实验 7.18 光电效应的研究	246
实验 7.19 光的单缝衍射与双缝干涉研究	247

绪 论

1. 物理实验在物理学发展史上的重要性

物理学是自然科学的基础,是当代科学技术的前沿,它的发展与突破总是标志着人类征服自然界的新的里程碑.物理学是建立在实验基础上的科学.无论是物理概念的建立还是物理规律的发现都必须以严格的科学实验为基础,并通过今后的科学实验来证实.整个物理学的发展过程经历了积累和变革的交替发展过程,不论在哪一个阶段,物理实验都起着重要的作用.16世纪意大利物理学家伽利略首先把科学实验方法引入到物理学研究中来,从而使物理学走上真正的科学道路.在他所设计的斜面实验中,有意识地忽略了空气阻力,以便抓住主要问题:改变斜面倾角(即变更实验条件),观测实验结果的变化.在此基础上,他还运用推理概括的方法,得出了超越实验本身的更为普遍的规律:物体在光滑水平面上的运动是匀速直线运动;各种物体沿竖直方向自由下落均作等加速直线运动,且具有相同的加速度.伽利略的这种丰富的实验思想和实验方法对我们当今的物理实验仍有着重要的启示.17世纪,牛顿正是在伽利略、开普勒工作的基础上,建立了完整的经典力学理论.电磁学研究的真正开创人是卡文迪许和库仑,他们用自己试制出的各种测量仪器对静电现象进行定量测量,在1785年总结出了电磁理论的基础——库仑定律.电与磁之间相互联系的突破性实验是奥斯特在1820年发现的,他在一次课堂教学中,观察到通电导线会引起附近小磁针的偏转,这个实验轰动了整个欧洲.接着安培又设计研究了通电导线之间的相互作用,并在1822年建立了安培定律.既然电能产生磁,磁能否产生电呢?理所当然是当时很多科学家的研究课题.其中法拉第进行了10年之久的实验研究,终于在1831年首次发现了电磁感应现象,总结出了电磁感应定律,并建立了场的概念.麦克斯韦将电磁现象统一成完整的电磁场理论,且预言了电磁波的存在,并指出光也是一种电磁波,这是物理学史上一次重大的变革.但这只是一种假说,问题的焦点又回到了实验,1878年夏季在柏林大学任教的亥姆霍兹向他的学生们提出一个物理竞赛题,希望有人用实验来验证电磁波的存在.这一实验课题终于由他的学生赫兹在9年之后完成了,使电磁场理论的地位得以确立.

物理学中的任何理论,都必须由实验来验证,正确的会得到发展,错误的会被摒弃.如在对光的本性的认识中,牛顿倡导的微粒说和惠更斯主张的波动说进行了长期争论,最后托马斯·杨在1800年发表了双缝干涉实验,才使波动说得以确认.由于光电效应实验揭示了光的粒子性,人们又认识到光具有波粒二象性.19世纪初,多数物理学家对光和电磁波的传播不需要介质的观点是不能接受的,因此假设宇宙空间存在着一种称之为“以太”的介质,它具有许多异常而又不合理的特性.正是在这种情况下,1887年迈克耳孙和莫雷合作,用干涉仪进行了有名的“以太风”实验,从而否定了“以太”的存在.在物理学发展过程中,常常出现由于旧理论不能解释新的实验现象,从而促使新理论的诞生.19世纪以来,对黑体辐射、电磁波能量的测量,人们找不到适当理论来解释,普朗克提出量子化的观点,圆满地解释了实验结果,这就是量子理论的开端.又如赫兹在电磁波存在的实验中,还发现了光电效应现象,电磁波理论却不能解释它,

这就促使爱因斯坦提出了光量子假说. 当代获得诺贝尔物理学奖的成果均是物理学中划时代的、里程碑级的重大发现和发明. 从 1901 年第一次授奖至今已有百余年的历史, 有近 190 名获奖者. 其中, 因物理实验方面的伟大发现或发明而获奖的占三分之二以上. 如 1901 年, 首届诺贝尔物理学奖得主德国人伦琴因发现 X 射线而获奖. 伟大的物理学家爱因斯坦在 1921 年因光电效应定律的发现而获得诺贝尔物理学奖. 著名的美籍华人杨振宁、李政道于 1956 年发现在弱相互作用下没有任何实验能说明宇称守恒, 这一学说当时震惊了世界物理学界. 以世界著名的物理大师朗道、泡里为代表的反对派公开反对这一学说, 然而另一位美籍华人吴健雄率领的课题组于 1956 年完成的 ^{60}Co 衰变实验结果显示: 弱相互作用下宇称不守恒. 从而, 杨振宁和李政道于第二年即 1957 年获得诺贝尔物理学奖. 而爱因斯坦的具有划时代意义的相对论却没有获得诺贝尔奖, 究其根本原因是当时这一理论缺乏实验支持. 随着实验技术的提高和完善, 经过 1959 年“光谱线的引力红移”实验及 1964 年“雷达回波延迟”实验的完成, 相对论才最终被人们接受. 这些历史事实雄辩地说明了物理实验结果在物理学概念的提出、理论规律的确立及被公认的过程中所占的重要地位和所起的关键作用. 可以毫不夸张地说, 没有物理实验就没有物理学的发展. 正是由于实验手段的不断进步、仪器精度的不断提高、实验设计思想的巧妙创新等, 才使得人类在认识自然界的历程中不断探索、发现, 进而攀登上更高的高峰.

现在, 物理实验的方法、思想、仪器和技术已经被普遍地应用在从物理学中不断分化出的新分支(如粒子物理、原子核物理、原子分子物理、凝聚态物理、激光物理、电子物理、等离子体物理等), 以及从物理学和其他学科的交叉中生长出来的众多交叉学科(如天体物理、地球物理、化学物理、生物物理等)和各自然科学领域、技术部门, 是推动科学技术发展的有力工具. 计量、激光、半导体、大规模集成电路、电子学、真空等技术无一不与物理实验有着直接或间接的联系. 因有赫兹的电磁波实验, 才导致了马可尼和波波夫无线电的发明; 没有 1909 年卢瑟福的 α 粒子散射实验, 就不可能有 40 年后核能的利用. 单一波长激光器的问世, 带来巨大的技术变革; 半导体的实验结果引起大规模集成电路和计算机技术的出现; 霍尔效应的实验结果, 产生大量以此效应为基础的新元件和新产品. 当然, 强调实验的重要性, 绝不意味着轻视理论. 特别是物理学发展到今天, 用已经确立的理论来指导实验向新的未来领域探索, 就显得更加重要. 比如, 只因有 1917 年爱因斯坦提出受激发射理论, 才可能有 1960 年第一台激光器的诞生. 又如, 1895 年伦琴在实验中发现了新的电磁辐射, 被称为 X 射线. X 射线的发现进一步推动了气体中电传导的研究. 汤姆孙提出了被 X 射线照射的气体具有导电性是由于气体因分子电离而带有电荷, 这给洛伦兹创立电子论提供了实验基础, 而电子理论又给 Zeeman 效应, 即光谱线在磁场中会分裂这一事实以理论解释. 这一连串的事实展示了物理实验和理论之间的密切关系和相互激励而共同推进物理学发展的进程. 因此任何轻视实验或轻视理论的想法都是错误的.

2. 大学物理实验课的教学目的和任务

大学物理实验是对高等学校学生进行科学实验基本训练的一门独立的必修课程, 是学生进入大学后受到系统的实验方法和实验技能训练的开端, 是理、工等各专业学生学习后续实验课程的重要基础.

本课程的教学目的和任务如下:

(1) 通过对实验现象的观察、分析和对某些物理量的测量, 学习和掌握基本的物理实验方法, 加深对物理原理的理解.

(2) 培养学生科学实验的能力、分析判断能力和创新能力。

① 能够通过阅读教材、对照仪器阅读使用说明书,独立做好实验前的准备工作。

② 能够对实验现象做出初步的分析判断。

③ 能够正确记录和处理实验数据,绘制图线,说明实验结果,撰写出有见解的实验报告。

④ 能够完成简单的设计性实验。

(3) 培养与提高学生的科学素质,即严谨的工作作风、严肃认真实事求是的科学态度、遵守纪律及爱护公共财产的优良品德,主动探索、勇于创新的开拓精神。

3. 大学物理实验课的基本教学环节和要求

大学物理实验是学生在教师指导下独立进行实验的一种实践活动。实验课的教学安排不可能像书本教学那样使所有的学生按照同样的内容以同一进度进行,教学方式主要是学生自己动手完成实验规定的任务,教师只是在关键的地方给予提示和指导。因此学习物理实验就要求同学们花比较多的功夫,作较强的独立工作能力训练。学好物理实验课的关键,在于把握住下列三个基本教学环节。

1) 实验前的预习

预习至关重要,它决定着实验能否取得主动和收获的大小。为此,学生在实验前必须了解实验的全貌,要认真阅读实验教材,明确该实验的目的要求、实验原理、待测物理量及其测量方法;并对所用仪器的构造原理、操作方法和注意事项做到心中有数。在此基础上书写预习报告。预习报告内容主要包括以下几方面:实验名称、实验目的、原理摘要(包括主要原理公式、各量代表的物理含义及有关的测量条件。电磁学实验应绘出电路原理图、光学实验应绘出光路图)、主要仪器设备、实验步骤、数据记录表格。

2) 实验中的操作

实验操作是实验的主要内容。进入实验室后首先对所使用的仪器设备进行检查,看其是否完备、齐全,如有问题,应向指导教师提出解决。并将主要仪器的名称、型号、规格和编号记录下来。实验时应遵守实验室规章制度,仔细阅读仪器说明书或有关仪器使用的注意事项,在教师指导下正确地组装和调试仪器,不要盲目操作、急于求成。实验时要先观察实验现象后进行精确测量。做好实验记录是科学实验的一项基本功。在观察测量时,要做到正确读数,用钢笔或圆珠笔将原始数据如实记录在事先准备好的表格中。原始数据要做到整洁而有条理,以便于计算和复核。如确实记错,应轻轻划上一道,在旁边写上正确值,使正误数据都能清晰可辨,以供在分析测量结果和不确定度时参考。不要忘记完成书后思考题中需要观察或测量的实验内容。实验中遇到故障时要积极思考,在教师指导下学习排除故障的方法。实验结束时,将实验数据交教师审阅签字,整理还原仪器后方可离开实验室。

3) 实验报告

实验后要对实验数据及时处理并撰写出一份简洁明了、工整、有见解的实验报告。其目的是为了培养和训练学生书面形式总结工作或报告科学成果的能力,是物理实验基本功训练的重要组成部分。实验报告应该做到字迹清楚、文理通顺、图表正确、数据完备和结论明确。报告应给人以清晰的思路、见解和新的启迪。一般要用统一的实验报告纸书写,除填写实验名称、日期、姓名等项外,还应记录实验环境条件(温度、湿度、气压等)。一般实验报告还包括以下几个部分:实验目的、实验原理(在理解实验原理的基础上,用自己的语言简要叙述有关物理内容。

一般应写出测量中所依据的主要公式,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.必要时画出电路图或光路图)、主要仪器设备、实验步骤(根据实际的实验过程写明关键步骤和安全注意要点)、实验数据与数据处理(以列表形式来反映完整而清晰的原始测量数据.数据处理是对原始数据整理的过程,数据处理过程包括计算、作图、不确定度分析等.计算要有计算式,代入的数据都要有根据,既让别人看懂,也便于自己检查.作图要按作图规则,图线要规矩、美观.最后给出实验结果)、小结或讨论(内容不限,可以是对实验中观察到的现象进行分析,对结果和误差原因进行分析,对实验中的关键问题或感兴趣的问题的研究讨论,也可解答思考题,提出收获或建议等).

4. 怎样学好大学物理实验

大学物理实验是一门实践性课程,学生是在自己独立工作的过程中增长知识、提高能力.

1) 要注意掌握基本的实验方法和测量技术

基本的实验方法和测量技术在实际工作中会经常遇到,并且是复杂的方法和技术的基础.学习时不但要搞清它们的基本道理,还应该逐步地熟悉和记牢它们,且能运用这些方法和技术设计一些简单的实验.任何一种实验方法和测量技术都有着它应用的条件、优缺点和局限性,只有亲自做了一定数量的实验后,才会对这些条件、优缺点和局限性有切身的体会.虽然方法和手段会随着科学技术和工业生产的进步而不断改进,但历史积累的方法仍是人类知识宝库精华的一部分,有了积累才能有创新,因此,从一开始就应十分重视实验方法知识的积累.

2) 要有意识地培养良好的实验习惯

学生进入实验室要遵守实验室操作规程和安全规则.在开始做实验之前,应当先认真阅读实验教材和有关仪器资料,对将要做的实验工作有具体而清楚的了解;在实验过程中要认真并重视观察实验现象,一丝不苟地记录实验数据.记录数据要原始、完整、全面、清楚,要有必要的说明注释等.这样,才有可能在需要时随时查阅这些记录,从而在处理数据、分析结果时,有足够的的第一手资料.在实验过程中,注意记录实验的环境条件(如室温、气压、湿度、仪表名称、规格、量程和精度等),注意实验仪器在安置和使用上的要求和特点,还要注意纠正自己不正确的操作习惯和姿势.需要两人合作时,要密切配合.良好的习惯需要经过很多次实验后的总结、反思和回顾以后才能形成.而良好的实验习惯,对保证实验的正常进行,确保实验中的安全,防止差错的发生,都有很好的作用.

3) 要注意养成善于分析的习惯

实验中要善于捕捉和分析实验现象,力争独立排除实验中各种可能出现的故障,并锻炼自己自主发现问题、分析问题和解决问题的能力.如:实验数据是否合理、正确?实验结果的可靠性和正确性又如何?这些问题的解决,主要依靠分析:实验方法是否正确、合理?它可能引入多大的误差?实验仪器又会带来多大误差?实验环境、条件的影响又将如何?为了帮助初学者克服实验经验少、还没有掌握一整套分析实验的方法等实际情况,大学物理实验课往往在实验中安排少数已有十分确切理论结论的实验项目,使初学者便于判断实验结果的正确性.但千万不要误认为做实验的目的只是为了得到一个标准的实验结果.如果获得的实验数据与标准数据符合了就高兴,一旦有所差别,就大失所望,抱怨仪器或装置不好,甚至拼凑数据,这些表现都是不正确的,是违背科学的.事实上,任何理论公式和结论都是经过一定的理论上的抽象并被简化了的,而客观事实与实验所处的环境条件则要复杂得多,实验结果与理论公式、结论

之间发生差别是必然会有的,问题是差异有多大?是否合理?不论实验结果或数据的好坏,都应养成分析的习惯.当然也不要贸然下结论.首先要检查自己的操作和读数,注意实验装置和环境条件.若操作和读数经检查正确无误,那么毛病可能出现在仪器和装置本身.小的故障、小的毛病,实验者应力求自己动手去排除.能否发现仪器装置的故障、能否及时迅速修复,正是一个人实验能力强弱的重要表现,初学者应要求自己逐步提高这方面的能力.

4)要掌握好每个实验的重点

每个实验的内容都是有弹性的,首先应完成基本内容,这既是基础,也是重点.所以必须注意实验的目的,这样可以提高学习效率.完成基本内容后,如果时间许可,可以根据具体情况,进一步完成其他内容.尝试去分析实验可能存在的一些问题,如使用仪器的精度、可靠性、实验条件是否已被满足?怎样给予证实?或进一步提出改进实验的建议,试做一些新的实验内容等.

5)要注意创新能力的培养

教学实验虽然是经过安排设计的,但同学仍然要多思考一些问题.如每一项实验内容为什么要通过这样的途径(方法)进行测量,有什么改进建议等.激发求知欲望和学习热情,从而提高创新意识、增强创新能力.

第 1 章 测量误差和不确定度

1.1 测 量

1.1.1 测量和单位

一切描述物质状态与物质运动的量都是物理量. 这些量都只有通过测量才能确定其结果. 物理量的测量是物理实验的基本操作过程, 其实质是借助一定的实验器具, 通过一定的实验方法, 直接或间接地将待测物体的某物理量与选作计量标准单位的同类物理量做定量比较. 测量的结果应包括数值(即度量的倍数)、单位(即所选定的物理量)以及结果可信赖的程度(用不确定度来表示). 物理量的计量单位采用中华人民共和国法定计量单位, 即国际单位制(SI). 国际单位制是 1971 年第十四届国际计量大会确定的, 它规定了七个基本单位: 长度——米(m)、质量——千克(kg)、时间——秒(s)、电流——安培(A)、热力学温度——开尔文(K)、物质的量——摩尔(mol)和发光强度——坎德拉(cd), 还规定了两个辅助单位: 平面角——弧度(rad)和立体角——球面度(sr). 有了这几个基本单位, 其他一切物理量的单位就都可以导出, 如体积单位(m^3)、密度单位(kg/m^3)等, 称为国际单位制的导出单位.

1.1.2 直接测量和间接测量

测量分为直接测量和间接测量. 直接测量是指将待测物理量直接与标准量(量具或仪表)进行比较, 直接得到数据的方法. 相应的物理量称为直接测量量. 例如用米尺测量长度, 用天平测量质量, 用欧姆表测量电阻等. 直接测量是测量的基础, 按测量次数分为单次测量和多次测量.

单次测量: 只测量一次的测量称为单次测量. 主要用于测量精度要求不高、测量比较困难或测量过程带来的误差远远大于仪器误差的测量中. 如在杨氏弹性模量实验中, 测钢丝长度可用单次测量.

多次测量: 测量次数超过一次的测量称为多次测量. 多次测量按测量条件主要分为等精度测量和不等精度测量.

有些物理量不能用仪器或量具直接测得, 而需先通过与待测量相关的一个或几个物理量的直接测量, 再依据它们之间的函数关系计算出待测物理量, 这种测量称为间接测量, 相应的物理量就是间接测量量. 例如, 先直接测得圆柱体的高 H 和直径 D , 再根据 $V = \pi D^2 H / 4$ 计算出体积, 圆柱体体积的测量就是间接测量, 圆柱体体积就是间接测量量.

值得注意的是: 有的物理量既可以直接测量, 也可以间接测量, 这主要取决于使用的仪器和测量方法. 随着测量技术的发展, 用于直接测量的仪器越来越多. 但在物理实验中, 有许多物理量仍需要间接测量.

1.1.3 等精度测量与不等精度测量

如果对某物理量进行多次重复测量,而每次的测量条件都相同(即同一观测者,用同一组仪器、同一方法、在同一环境下),测得一组数据分别为 $x_1, x_2, \dots, x_n$. 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,只能认为每次测量的可靠程度都相同,这些测量称为等精度测量,相应的一组数列称为等精度测量列(简称测量列). 在所有的测量条件中,只要有一个发生变化,这时所进行的测量即为不等精度测量. 实际上,一切物质都在运动中,没有绝对不变的人和事物,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. 以后说到对一个物理量的多次测量,如无另加说明,都是指等精度测量,应尽可能保持等精度测量条件不变.

1.1.4 测量的精密度、准确度和精确度

评价测量结果常用精密度、准确度和精确度三个概念,它们之间既有联系,也有区别.

精密度是衡量多次测量数值之间互相接近程度的量,由偶然误差大小决定,与系统误差无关. 测量精密度高是指多次重复测量结果比较集中一致,测量的偶然误差小,系统误差可能较大.

准确度是衡量所测数值与真值接近程度的量. 测量的准确度高是指多次测量的平均值偏离真值较小,系统误差也一定小,偶然误差可能不小.

精确度是指所测数值的精密度与准确度的综合情况的量. 测量的精确度高是指测量数值既比较集中一致,又在真值附近,即测量的系统误差和偶然误差都比较小.

现以射击打靶的弹着点分布为例,形象地说明上述三个概念的意义. 如图 1-1-1 所示,其中图(a)表示准确度高,精密度低;图(b)表示精密度高,准确度低;图(c)表示精密度、准确度均高,即精确度高.

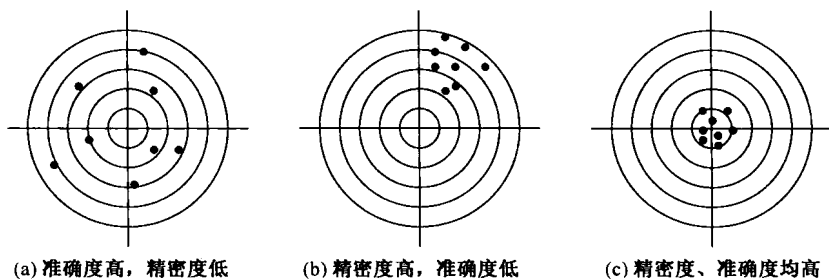


图 1-1-1 测量中的三种情况示意图

对同一物理量进行多次等精度测量,其结果也不完全相同. 这好比打靶,着弹点会有一些的弥散性. 结果比较接近客观实际的测量准确度高;结果彼此相近的测量精密度高;而既精密又准确的测量则为精确度高.

要定量地对一组测量值进行评价,给出测量的最终结果,仅仅用精确度评价还是不够的,需要结合各类误差的分布特点,估算出待测物理量的真值和误差.

1.2 误差

1.2.1 真值与误差

任何一个物理量,在一定的条件下,都具有确定的量值,这是客观存在的,这个客观存在的量值称为该物理量的真值.测量的目的就是要力图得到被测量的真值.我们把测量值与真值之差称为测量的绝对误差.设被测量的真值为 x_0 , 测量值为 x , 则绝对误差 ϵ 为

$$\epsilon = x - x_0 \quad (1-2-1)$$

由于误差不可避免,没有误差的测量结果是不存在的.测量误差存在于一切测量之中,贯穿于测量过程的始终.随着科学技术水平的不断提高,测量误差可以被控制得越来越小,但是却永远不会降低到零.

1.2.2 最佳值与偏差

在实际测量中,为了减少误差,常常对物理量 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,其算术平均值为

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

算术平均值并非真值,但它比任一次测量值的可靠性都要高,称为最佳值,是最可以信赖的,也称期望值.系统误差忽略不计时的算术平均值可作为最佳值,称为近真值.我们把测量值与算术平均值之差称为偏差

$$v_i = x_i - \bar{x} \quad (1-2-3)$$

1.2.3 误差分类

测量误差按其产生的原因和性质可分为系统误差和偶然误差两类,它们对测量结果的影响不同,对这两类误差的处理方法也不同.

1. 系统误差

在同样条件下,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的变化而有规律地变化,这类误差称为系统误差.它的来源主要有以下几个方面:

1) 方法误差

这是由于实验方法或理论不完善而导致的.例如,采用伏安法测电阻时(采用不同的连接方法),电表内阻产生的误差.采用单摆的周期公式 $T = 2\pi \sqrt{l/g}$ 测量周期时,摆角不能趋于零而引起的误差,这些都是方法误差.

2) 仪器误差

这是由于仪器本身的固有缺陷或没有按规定条件调整到位而引起的误差.例如温度计的刻度不准,天平的两臂不等长,砝码标称质量不准确等.