

大学物理实验

(第2版)

主编 李保春 周海涛 董有尔

中国科学技术大学出版社

大学物理实验

(第2版)

主编 李保春 周海涛 董有尔

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书将物理实验分为基本实验、综合设计性实验和研究性实验,形成从低到高、从基础到前沿、从接受知识型到综合能力型逐级提高的一、二、三级基础物理实验课程新体系。一、二级物理实验适用于理、工科各专业的学生,为普及性课程;三级物理实验对物理类专业学生开课。在选择实验内容时,力求站在现代科学技术水平的高度,注重时代性,有效地引入先进的科学技术方法和新概念,使传统的实验内容与现代技术很好地结合起来。

本书可作为高校的物理实验教材。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/李保春,周海涛,董有尔主编. —2版. —合肥:中国科学技术大学出版社,2016.8

ISBN 978-7-312-03999-7

I. 大… II. ①李… ②周… ③董… III. 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(2016)第 128328 号

出版 中国科学技术大学出版社

安徽省合肥市金寨路 96 号,230026

网址: <http://press.ustc.edu.cn>

印刷 合肥市宏基印刷有限公司

发行 中国科学技术大学出版社

经销 全国新华书店

开本 710 mm×960 mm 1/16

印张 23.25

字数 465 千

版次 2006 年 7 月第 1 版 2016 年 8 月第 2 版

印次 2016 年 8 月第 5 次印刷

定价 46.00 元

前 言

物理学是以实验为基础的科学,物理实验在物理学发展史上占有重要的地位.在物理本科教学大纲中,普通物理(包括力、热、电、光)、电子线路、近代物理等实验,占本科阶段4年教学总课时的1/5左右,分别安排在一到三年级完成.开设这些物理实验课程的目的是通过全面、系统、严格的实验技能的训练,丰富和活跃学生的物理思想,提高学生科学地观察、分析、研究和解决实际问题的创新能力,培养实事求是的科学态度,为今后的学习和工作打下坚实的基础.物理实验教学曾经为培养20世纪的优秀人才做出了卓越的贡献.但随着科学技术的迅猛发展及社会的不断进步,为培养21世纪高素质创新人才,传统的物理实验教学体系和教学内容已经不能适应新观念、新思维方法及时代发展的需要,为此,物理实验教学的课程体系、教学内容、教学方法等必须改革.我们在几十年物理实验教学实践的基础上,加之近几年的改革探索,编写了本书.本书是我们几十年教学经验的总结,更是近几年教学改革经验的总结.

传统的物理实验课程体系是按普通物理实验(力、热、电、光)、电子线路实验和近代物理实验分别安排的封闭体系,学生用3年时间完成这些物理实验,由于各学科相互独立,限制了学生跨学科思维能力和创新能力的培养,我们打破旧的实验课程体系,实行各门实验课重组与融合,将物理实验分为基本实验、综合设计性实验和研究性实验,形成从低到高、从基础到前沿、从接受知识型到综合能力型的逐级提高的一、二、三级基础物理实验课程新体系.每一级实验用一年左右的时间完成,不同的级标志着不同的实验技能和科学思维水平.

一级物理实验主要是学习基础物理量的测量、基本实验仪器的使用,常用电子器件与传感器测试,基本实验方法和技术的训练,基本测量方法与误差的分析等,这些基础实验内容涉及力、热、电、光、电子线路、近代物理各个学科,将过去二、三年级才完成的电子线路和近代物理部分实验内容移植到基本实验中.本级实验要求学生在理解实验原理的基础上,不仅要学会仪器的使用,而且还要掌握其内部结构和相关的电子线路知识,掌握运用该原理解决实际问题的方法.本级我们安排了32个基础实验.

二级物理实验为综合设计性实验,本级实验逐步增加综合性实验和设计性实

验的比例和难度,改变过去由教师排好实验、准备好仪器、学生来做实验的状态,而是由学生在教师的指导下,自己设计实验、选择仪器、查阅资料文献,写出实验原理、实施方案,连接电路和调试仪器等每一个实验的环节全部由学生独立完成,以此培养和提高学生的综合思维和创造能力.学生通过设计实验,从成功与失败中受到训练,整体素质得到提高.三级物理实验体系的建立,使综合、设计性实验出现了一个良性循环状态,同学们在研究性实验中开发的新实验项目和制作的新实验仪器,投入到综合设计性实验教学之中,不仅增加了综合、设计性实验的数量,而且还提高了质量.

三级物理实验为研究性实验.本级实验以科研实践为主题,以课题组为组织形式,让学生直接参加到新实验的设计和传统实验的更新和改造之中,本级实验与专业研究接轨,缩短了教与学、教学与科研、教科书与现代科学技术之间的距离,使学生的独立科研能力得到锻炼.研究性物理实验选题一般是在实验教学中提出来的,具有明显的研究价值,也具有较好的研究条件.在教师的指导下,学生通过自己的努力就可以完成这些题目.为了搞好研究性物理实验,我们采用导师制,每一个学生根据自己的情况,选择实验指导教师,教师要加强指导,与学生共同进行研究性实验.做好研究性实验,充分发挥每个学生的才能,提高学生的实际操作能力,培养创新能力,是我们建立三级物理实验教学体系的最终目标.

本书在选择实验内容时,力求站在现代科学技术水平的高度上,注重时代性,有效地引入先进的科学技术方法和新概念,使传统的实验内容与现代技术很好地结合起来.第一,将传感器技术、微波技术、激光技术、磁共振技术等现代技术进一步引入实验教学中,不仅使物理实验的项目增加,而且使物理实验的内容得以扩充.第二,将计算机技术深入实验教学和实验数据采集、处理和控制中,让计算机的应用贯穿在实验教学的始终,不同的级也标志着有不同的计算机应用水平.第三,充分利用学院、研究所的科研成果,不断增加新的实验内容,改进实验技术,开发新的实验仪器设备,使基础物理实验具有学院的特色,为科研工作打下坚实的基础.第四,对于受到经费限制、价格昂贵暂时不能购置和一些复杂、精密无法对其内部结构、设计思想进行剖析的实验仪器,我们可以建立数学模型,利用计算机仿真方式模拟物理实验的各个环节,达到实际实验难于实现的效果,不仅增加了实验的趣味性,而且提高了物理实验的教学水平.

从基本实验到综合设计性实验再到研究性实验,对学生的要求更高,目标更明确,用传统的实验教学方法,很难完成本书的教学任务,为此,实行开放式实验教学.不同的级对开放实验有不同的目的和要求,如在基本实验教学中,要求学生除了完成课表安排的基本实验之外,每个学生可根据自己学习的需要,随时到实验室进行预习或进行实验操作,时间、内容不受限制.开放实验教学为学生创造一个能

够发挥自身特长的教学环境,有利于鼓励学生个性发展和勇于探索精神的培养,也是我们顺利完成三级物理实验教学任务的保证。

与本书相配套的考核方法也需要改革,不同的学习内容采用不同的考核方法,一级物理实验实行平时成绩+操作考试+答辩成绩;二级物理实验实行平时成绩+答辩成绩;三级物理实验实行科学报告+答辩成绩。等级答辩能够调动学生学习的积极性和主动性,强化了因材施教,突出了创新能力的培养。

在课程安排上,一、二级物理实验适用于理、工科各专业的学生,为普及性课程;三级物理实验对物理类专业学生开课。物理实验教学体系的改革,是全体实验课教师和实验技术人员集体智慧和劳动的结晶。在本书出版之际,我们感谢几十年来在山西大学物理实验教学中做出过贡献的所有老师和实验技术人员。本书共收进基础物理实验 32 个,综合性物理实验 19 个,设计性物理实验 40 个,研究性物理实验专题 2 个。参加编写的人员为:宿星亮(1-1,1-2,1-3,1-4,1-6),李保春(绪论、1-5,1-7,1-8,1-9,1-10,1-11,1-12,2-5,2-6,2-7,2-8,2-12,第 3 单元),杨利民(1-10),王申(1-13,1-14,1-15,1-16,1-17,1-22,2-13,2-14),王月明(1-18,1-19,1-20,1-21,2-3,2-4),周海涛(1-23,1-24,1-31,1-32,2-1,2-2,2-9,2-10,2-11,第 4 单元),董宏伟(2-11),杨保东(绪论、1-25,1-26,1-27,1-28,1-29,1-30,2-15,2-16,2-17,2-18,2-19),董有尔审阅了全书。

2006 年,山西大学物理实验教学中心被教育部批准为国家级实验教学示范中心。本书在编写过程中得到了学校和学院各级领导的关心和支持,在此深表感谢。实验教学改革是一个长期和复杂的系统工程,还有许多不完善和需要改进之处。由于我们的水平和条件所限,书中难免存在错误和不妥之处,我们真诚欢迎使用本书的教师、学生和各位读者批评指正。

编 者
2016 年 4 月

目 录

前言	(i)
绪论	(1)
0-1 大学物理实验的任务与要求	(1)
0-2 测量的不确定度和数据处理	(7)
第 1 单元 基本物理实验	(29)
1-1 用流体静力称衡法测定固体的密度	(29)
1-2 冰的熔解热的测定	(33)
1-3 用落球法测液体的黏滞系数	(37)
1-4 分析天平的使用	(40)
1-5 单摆实验	(48)
1-6 复摆实验	(51)
1-7 重力加速度的测定	(57)
1-8 测定金属丝的杨氏模量	(61)
1-9 声速的测量	(64)
1-10 气体比热容比的测量	(67)
1-11 金属比热容的测定	(70)
1-12 弹簧振子的研究	(73)
1-13 电学实验基本知识	(75)
1-14 电表的改装和校准	(88)
1-15 示波器的使用	(91)
1-16 集成运算放大器的应用	(96)
1-17 RLC 串联电路的稳态特性	(100)
1-18 用模拟法测绘静电场的分布	(104)
1-19 伏安法测电阻及误差分析	(111)

1-20	电桥法测量电阻	(115)
1-21	学生式电位差计	(118)
1-22	交流电桥	(124)
1-23	薄透镜成像及其焦距的测量	(128)
1-24	用分光计测三棱镜顶角	(132)
1-25	用阿贝折射仪测定物质的折射率	(141)
1-26	显微镜实验	(146)
1-27	调节分光计并测定三棱镜折射率	(151)
1-28	等厚干涉——牛顿环	(155)
1-29	迈克耳逊干涉实验	(159)
1-30	单缝衍射实验	(166)
1-31	光栅衍射	(171)
1-32	偏振光实验	(175)
第2单元	综合性物理实验	(185)
2-1	密立根油滴实验	(185)
2-2	夫兰克-赫兹实验	(192)
2-3	光速的测量	(199)
2-4	微波的光特性	(208)
2-5	核磁共振的稳态吸收(NMR)	(218)
2-6	电阻应变式传感器特性的研究	(230)
2-7	霍尔传感器实验	(242)
2-8	光纤传感器实验	(248)
2-9	超声波特性及主要参数的测量	(257)
2-10	非线性混沌实验	(263)
2-11	亥姆霍兹线圈磁场测量实验	(275)
2-12	温度的检测与控制	(279)
2-13	铁磁材料的磁化曲线和磁滞回线	(285)
2-14	RLC 串联电路的暂态过程	(294)
2-15	测定空气折射率	(301)
2-16	夫琅禾费衍射及光强分布的记录	(306)
2-17	利用光电效应现象测定普朗克常数	(310)

2-18	用光电法测定介质的光谱透射曲线	(316)
2-19	空间滤波与光信息处理	(320)
第 3 单元	设计性物理实验	(327)
3-1	设计性实验的特点与实验方案的制订	(327)
3-2	设计性实验题目举例	(330)
第 4 单元	研究性物理实验	(338)
4-1	激光技术的研究和应用	(339)
4-2	黑体辐射实验的研究	(353)

绪 论

0-1 大学物理实验的任务与要求

一、物理实验的重要性

物理学是一门以实验为基础的科学,物理学概念的形成、规律的发现以及理论的建立,都以实验为基础,并受到实验的检验.可以说,没有物理实验,就没有物理学,没有物理实验的重大突破,就没有物理学的发展.

正是 16 世纪伟大的物理学家伽利略,把实验方法发展到一个科学的、崭新的高度.从此物理学作为一门学科,才真正地形成和发展起来.力学中的许多基本定律,如自由落体定律、惯性定律等,都是由伽利略通过实验发现和总结出来的.电磁学的研究,也是从库仑发明扭秤并用来测量电荷之间的作用力开始的.经典物理学的基本定律几乎全部是实验结果的总结与推广.在 19 世纪以前,没有纯粹的理论物理学家,所有物理学家,包括对物理理论的发展有重大贡献的牛顿、菲涅耳、麦克斯韦等,都亲自从事实验工作.

当代获得诺贝尔物理学奖金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.据统计,1901 年以来,实验物理学家获得诺贝尔奖的人数是理论物理学家人数的 2 倍;而近 30 年来,前者的人数超过后者的 6 倍以上.如 1901 年,首届诺贝尔物理学奖金获得者德国人伦琴(W. C. Rontgen)因发现 X 射线而获奖;1902 年获奖者是荷兰人塞曼(P. Zeeman),他在 1894 年发现光谱线在磁场中分裂的现象;1903 年的获奖者是法国人贝可勒尔(H. A. Becquerel)和居里夫妇(P. Curie, M. S. Curie),他们发现了天然放射性,由此成为核物理学的奠基人.由此可见,物理实验在物理学发展中的地位是多么重要.

物理实验不仅对于物理学的研究工作极其重要,对于物理学在其他学科的应用也十分重要.物理学是技术的基础.没有热学、热力学的研究就不会有以蒸汽机的发明和广泛应用为标志的第一次工业革命;没有电磁学的研究和电磁理论的建

立,就不会有今天的工业电气化和现代的无线电通信;没有 20 世纪以来以相对论和量子力学作为理论基础的近代物理学的巨大进展,就不会有今天的微型计算机、激光和光通信、核能、纳米科学和技术等各种各样的高新技术.在化学中,从光谱分析到量子化学、从放射性测量到激光分离同位素,也无不是物理的应用;在生物学的发展史中,离不开各类显微镜的贡献,也就离不开物理学的应用.物理学正在广泛应用到各个学科领域,而这种应用无不与实验密切相关.显然,实验正是物理学应用到其他学科的桥梁.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,才能顺利地把物理原理应用到其他学科而推动社会向前发展.

综上所述,要研究与发展物理学,要把物理理论应用到各行各业的实际应用中,都必须重视物理实验,学好物理实验.因此要正确处理实验与理论的关系,努力掌握科学实验技术,为服务社会打下坚实的基础.

二、物理实验课的目的和任务

物理实验是理工科大学生独立设置的一门必修基础课程,是培养和提高学生科学素质和能力的重要课程之一,它的主要目的和任务是:

(1) 通过对物理实验现象的观察分析和对物理量的测量,使学生在物理实验的基本知识、基本方法和基本技能等方面受到严格而系统的训练,并能运用物理学原理、物理实验的方法研究物理现象和规律,加深对物理理论的理解和掌握,在实践中提高发现问题、分析问题和解决问题的能力.

(2) 在实验中培养与提高科学实验能力.在实验过程中,正确使用实验仪器,认真观察实验现象,一丝不苟地记录实验数据.记录数据要原始、完整、全面、清楚,要有必要的说明注解,要用已掌握的知识去分析现象、处理数据、分析结果以及写实验报告等,在此基础上,着重培养学生的探索精神、创新精神、自主学习能力和科学研究的方法.

(3) 培养学生严格、细致、刻苦从事科学实验的素质,培养学生理论联系实际和百折不挠的科学精神,以及爱护公共财物的优良品德,培养学生善于动脑、乐于动手、讲究科学方法、遵守操作规程、注意安全等科学习惯.使学生在获取知识的自学能力、运用知识的综合分析能力、动手实践能力、设计创新能力以及严肃认真的工作作风、实事求是的科学态度等方面得到训练与提高.

三、物理实验教学对学生的基本要求

实验课与理论课不同,它的特点是学生在教师的指导下,自己动手,独立完成实验任务,对学生有以下基本要求.

1. 实验预习

实验前必须仔细阅读实验教材或有关的资料,了解实验所用的原理和方法,并学会从中整理出主要实验条件、实验关键及实验注意事项,根据实验任务画好记录数据的表格。有些实验还要求学生课前自拟实验方案,自己设计电路图或光路图、自拟数据表格等。因此,课前预习的好坏是实验中能否获得主动的关键。要求学生实验前必须预习并写出预习报告。

2. 实验操作

学生进入实验室后应遵守实验室规则,按照一个科学工作者要求自己。井井有条地布置仪器,安全操作,细心观察实验现象,认真钻研和探索实验中出现的問題。不要期望实验工作会一帆风顺,在遇到问题时,应看作是学习的良机,冷静地分析和处理它。仪器发生故障时,也要在教师指导下学习排除故障的方法。总之,要将着重点放在实验能力的培养上,而不是测出几个数据就完成了任务。对实验数据要严肃对待,如确系记错了,也不要涂改,应轻轻划一道,在旁边写上正确值(错误多的,需重新记录),使正误数据能清晰可辨,以供在分析测量结果和误差时参考。不要用铅笔记录原始数据,留有涂抹的余地,也不要先草记在另外的纸上再誊写到数据表格里,这样容易出错,况且,这已不是“原始记录”了。注意纠正自己的不良习惯,从一开始就不断培养良好的科学作风。实验结束时,将实验数据交给教师审阅签字,整理还原仪器后方可离开实验室。

3. 实验总结(实验报告)

实验后要对实验数据及时进行处理。如果原始记录删改较多,应加以整理,对重要的数据要重新列表。数据处理过程包括计算、作图、误差分析等。计算要有计算式(或计算举例),代入的数据要有根据,便于别人看懂,也便于自己检查。作图要按作图规则,图线要规矩、美观。数据处理后应给出实验结果。最后要求撰写出一份简洁、明了、工整、有见解的实验报告,这是每一个大学生必须具备的报告工作成果的能力。实验内容包括:

(1) 实验名称。

(2) 实验目的。

(3) 实验原理。简要叙述有关物理内容(包括电路图、光路图或实验装置示意图)及测量中依据的主要公式,式中各物理量含义及单位,公式成立所应满足的实验条件等。

(4) 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。

(5) 数据表格与数据处理。记录中应有仪器编号、规格及完整的实验数据。完成数据计算、曲线图绘制及误差分析。最后写明实验结果。

(6) 总结或讨论。内容不限,可以是实验中现象的分析、对实验关键问题的研

究体会、实验的收获和建议,也可解答思考题。

4. 遵守实验室规则

为了保证实验正常进行,以及培养严肃认真的工作作风和良好的实验工作习惯,要求同学们遵守以下实验室规则。

(1) 学生应在课表规定时间内进行实验,不得无故缺席或迟到。实验时间若要更动,须经实验室同意。

(2) 学生在每次实验前对排定要做的实验应进行预习,并在预习的基础上作出预习报告。

(3) 进入实验室后,应将预习报告放在桌上由教师检查,并回答教师的提问,经过教师检查认为合格后,才可以进行实验。

(4) 实验时,应携带必要的物品,如文具、计算器和草稿纸等。对于需要作图的实验应事先准备毫米方格和铅笔。

(5) 进入实验室后,根据仪器清单核对自己使用的仪器是否缺少或损坏,若发现问题,应向教师或实验室管理员提出。未列出清单的仪器,另向管理员借用,实验完毕时归还。

(6) 实验前应细心观察仪器构造,操作时动作应谨慎细心,严格遵守各种仪器仪表的操作规则及注意事项,尤其是电学,线路接好后,先经教师或实验室工作人员检查,经许可后才可接通电源,以免发生意外。

(7) 实验完毕应将数据交给教师检查,实验合格者,教师予以签字通过。余下时间在实验室内进行实验计算与做作业题。待下课后方可离开实验室。

实验不合格或请假缺课的学生,由指导教师登记,通知学生在规定时间内补做。

(8) 实验时,应注意保持实验室整洁、安静。实验完毕,应将仪器、桌椅恢复原状,放置整齐,经老师检查同意后,方能离开实验室。

(9) 如有损坏仪器,应及时报告教师或实验室工作人员,并填写损坏单,说明损坏原因,赔偿办法根据学校规定处理。

(10) 实验报告应在实验后一周内交给实验室。

四、基本物理实验教学的要求

一级物理实验主要是学习基本物理量的测量、基本实验仪器的使用,常用电子器件与传感器测试,基本实验方法和技术的训练,基本测量方法与误差的分析等,这些基本实验内容涉及力、热、电、光、电子线路、近代物理各个学科,将过去二、三年级才完成的电子线路和近代物理部分实验内容移植到基本实验中。本级实验要求学生在理解实验原理的基础上,不仅要学会仪器的使用,而且还要掌握其内部结

构和与其相关的电子线路知识,以及运用该原理解决实际问题的方法。

做好基本实验,对学生进行基本实验方法和技术的训练,是实验教学的主要任务。基本实验要求学生必须认真预习,仔细阅读教材,掌握实验原理,了解实验中的物理思想及实验中应完成哪些工作和实验的关键性措施,在此基础上,写出预习报告。实验操作前,教师要检查学生的预习情况,根据学生的预习情况,教师提出问题和学生一起讨论,进一步引导学生领会实验原理和物理思想。在此基础上教师重点讲解有关实验理论,使学生更好地理解实验原理,体会实验方法的思路和适用条件以及教学具体要求等;同时教师也要对仪器设备进行操作示范,让学生在正式做实验之前,有机会了解实验装置,学会仪器的使用,以便进一步考虑如何做好实验。最后由学生独立完成实验操作、数据处理、误差分析,直到写出实验报告。整个实验过程要充分体现学生的主体作用和教师的主导作用。

物理类学生在基本实验阶段,学期末,学生汇报本学期基本实验仪器、基本实验测量方法、基本实验技能等掌握情况,并回答师生的提问,根据答辩情况和平时考核计算出总成绩,两学期都合格,可进入二级物理实验学习,否则继续学习一级物理实验,直到合格为止。非物理专业的学生根据其专业,在一级实验中,选取一定的实验项目完成,考核方式采用平时成绩+理论考试+操作考试。

五、综合设计性实验教学的基本要求

二级物理实验为综合设计性实验,本级实验逐步增加综合性实验和设计性实验的比例和难度,改变过去由教师排好实验、准备好仪器、学生来做实验的状态,过渡到学生在教师的指导下,自己设计实验,选择仪器,查阅资料、文献,写出实验原理、实施方案,包括连接电路和调试仪器等每一个实验环节,全部由学生独立完成,以此培养和提高学生的综合思维和创造能力。学生通过做设计实验,从成功与失败中受到训练,整体得到素质提高。三级物理实验体系的建立,使综合设计性实验出现了一个良性循环状态,如同学们在研究性实验中开发的新实验项目和制作的新实验仪器,投入到综合设计性实验教学之中,不仅增加了综合设计性实验的数量,而且还提高了质量。在综合设计性实验内,增加了一定数量的近代物理、应用性和综合性的物理实验,以利于学生理解近代物理概念,了解物理实验技术应用,提高进行综合实验的能力。

设计性实验是在基本训练的基础上,提出一些有利于启发思维,有应用价值的实验课题,让同学们进行实验。课题内容介绍,以提出任务、要求和阐述应用背景为宜,而如何解决问题,解决问题的原理、方法和所用仪器等由同学自行提出并实践。做实验前,要求先广泛查阅有关资料,论证和了解课题原理,提出解决问题的方法,并选择最佳方案,最后对实验数据处理、概括归纳、总结分析,得出正确的结论。这

一过程相当于一个小型、初步的科研工作过程,也是一次创新能力的培养过程.创新能力,简单来说就是善于发现问题,提出问题,进而解决问题的能力.创新能力的培养包含在平时的教学过程中.设计性实验正为此创造出良好的条件,提供一个锻炼和实践的机会.设计性实验的要求和大体步骤是:

(1) 了解题目要求,明确任务.

(2) 查阅有关资料,寻求各种解决问题的方法.从原理、方法和仪器等多方面提出完成课题任务的依据及实验步骤.

(3) 做实验,记录与处理数据,测量结果评价,总结分析.

(4) 按科学论文的要求,写出实验报告.

综合性应用物理实验,旨在训练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、探索研究、解决问题以及综合分析能力,有些实验着重在训练实验技能上.

综合设计性实验阶段考核实行平时成绩+答辩成绩.近代物理实验与综合性应用性实验,根据学生的预习、实验操作、实验报告等情况,计算平时成绩;设计性实验和开放实验,学生要根据实验室提供的仪器、实验题目、实验目的要求,自己设计实验,选择仪器设备,连接线路调试、测量等,直到写出实验报告.物理类学生学期末每位同学要进行二级物理实验答辩汇报,答辩的题目要写成论文,根据答辩情况,由答辩组成员确定二级物理实验是否达标.非物理类学生只计算每学期成绩,不要求二级物理实验达标.

六、研究性物理实验的基本要求

三级物理实验为研究性实验.本级实验以科研实践为主题,以课题组为组织形式,让学生直接参与到新实验的设计和传统实验的更新和改造之中,与专业研究接轨,要缩短教与学、教学与科研、教科书与现代科学技术之间的距离,使学生的独立科研能力得到锻炼.研究性物理实验选题一般是在实验教学中提出来的,具有明显的研究价值,也具有较好的研究条件,在教师的指导下,通过自己的努力就可以完成的题目.为了搞好研究性物理实验,我们采用导师制,每个学生根据自己的情况,选择指导教师,教师要加强指导,与学生共同进行研究性实验.做好研究性实验,充分发挥每个学生的才能,提高学生的实际操作能力,培养创新能力,是我们建立三级物理实验教学体系的最终目标.

研究性实验阶段,每位学生根据所学物理知识及自己的兴趣和能力,选择1~3个研究性实验题目进行专题研究,在一年内完成,写成论文并进行成果展示和答辩,如果达到了三级物理实验的标准,就有了一定的独立工作能力和科研能力.三级物理实验一环紧扣一环,哪一级都不能松懈,通过等级答辩,检验学生每一级物

理实验掌握情况。

在物理实验教学中,利用一年的时间,开设研究性实验,是我们改革的重点,学生在研究性实验教学中,通过选题、开题、初研、实验调试、总结答辩等训练,了解科研的环节和方法,学到更多的书本以外的知识,培养了科研能力。与此同时,教师与学生讨论的机会增多了,也为培养学生良好的道德品质和心理素质,引导学生拼搏进取、勇于创新提供了有利时机,不仅利于教会学生如何学习,而且利于教会学生如何做人,帮助学生树立正确的人生观,增强学生的事业心、使命感,树立起艰苦创业的优良品质和执著追求的科学精神。

0-2 测量的不确定度和数据处理

物理实验的任务不仅是定性地观察各种自然现象,更重要的是定量地测量相关物理量。在物理实验中可以获得大量的测量数据,这些数据必须经过认真的、正确的、有效的处理,才能得出合理的结论,从而把感性认识上升为理性认识,形成物理规律。因此误差分析和数据处理是物理实验课的基础。本节将介绍一些误差分析、不确定度评定和实验数据处理方法的基本知识。

一、测量与误差

1. 测量

物理实验基本内容包括三部分,一是设计或选用仪器,为测量准备条件,使得物理现象再现;二是测量;三是数据处理,找出物理量之间的数学关系,从而得出物理规律。可以说,物理现象的再现是物理实验的基础,进行测量是物理实验的核心,数据处理是物理实验的结果。

(1) 测量。测量就是将待测的物理量与一个选来作为标准的同类量进行比较,得出它们之间的倍数关系。倍数称为待测量的数值,所选的计量标准称为单位。因此,一个物理量的测量值应有数值和单位两部分组成,缺一不可。

(2) 单位。按照中华人民共和国法定计量单位的规定,物理量的单位均是以国际单位制(SI)为基础的,其中米(长度)、千克(质量)、秒(时间)、安培(电流强度)、开尔文(热力学温标)、摩尔(物质的量)和坎德拉(发光强度)是基本单位,其他物理量的单位可由这些基本单位导出,称为国际单位制的导出单位。

(3) 测量分类。根据获得数据的方法不同,测量可分为直接测量和间接测量。

用测量仪器或仪表直接读出测量值的测量称为直接测量。如用米尺测长度、用

温度计测温度、用电压表测电压等都是直接测量,所得的物理量如长度、温度、电压等称为直接测量值。

在物理实验中,大多数物理量没有直接测量的量具,不能直接获取数据,但能够找到它与某些直接测量的函数关系.这种通过测量某些直接测量值,再根据某一函数关系而获取被测量数据的测量,称为间接测量,相应的测得量就是间接测量量.如单摆法测量重力加速度 g 时, $g=4\pi^2 l/T^2$, T (周期)、 l (摆长)是直接测量值,而 g 就是间接测量值.间接测量是建立在直接测量基础上的,也就是说间接测量是通过直接测量获得的,不论直接测量或间接测量,都需要满足一定的实验条件,按照严格的方法及正确地使用仪器,细心地进行操作、读数和记录,以达到巩固理论知识和加强实验技能训练的目的。

2. 误差

一个待测物理量的大小,在客观上应该有一个真实的数值,叫作“真值”.在实际测量过程中,人们对于客观事物的认识的局限性,测量工具的不准确性,测量手段不完善、受环境影响或测量工作中的疏忽等,都会使测量结果与被测量的真值在数值上存在差异,这个差异就是测量误差.测量误差可以用绝对误差表示,也可以用相对误差表示。

绝对误差 = 测量结果 - 被测量的真值

相对误差 = 绝对误差 / 被测量的真值(用百分数表示)

任何测量都不可避免地存在误差,所以一个完整的测量结果应该包括测量值和误差两个部分.测量误差按其产生的原因与性质可分为系统误差、随机误差和过失误差三大类。

(1) 系统误差.在多次测量同一物理量时,符号和绝对值保持不变的误差,或按某一确定的规律变化的误差称为系统误差.如仪器的缺陷,或测量理论不完善,或环境变化等对测量结果造成的误差,都可以认为是系统误差。

系统误差是有规律的,在测量条件不变时有确定的大小和方向,增加测量次数并不能减少系统误差.对实验中的系统误差应如何处理呢?可以通过校准仪器,改进实验装置和实验方法,或对测量结果进行理论上的修正加以消除或尽可能减少.发现和减少实验中的系统误差通常是一个困难的任务,需要对整个实验所依据的原理、方法、测量步骤及所用仪器等可能引起误差的各种因素一一进行分析,在实验过程中逐渐积累经验、掌握技术、提高实验素养,分析系统误差应当是实验必须要讨论的问题之一。

(2) 随机误差.在相同的条件下,多次测量同一个量值时,误差的绝对值和符号均以不可预知方式变化的误差称为随机误差.产生这种误差的原因有:①测量仪器中零部件配合的不稳定或有摩擦,仪器内部器件产生噪声等;②温度及电源电压