

高等学校规划教材

安徽省高等学校“十二五”省级规划教材

(第2版)



大学物理实验教程

DAXUE WULI SHIYAN JIAOCHENG

主编 许永红



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
安徽大学出版社

高等学校规划教材

安徽省高等学校“十二五”省级规划教材

大学物理实验教程

(第2版)

主 编 许永红

副 主 编 刘晓伟 高光明 宫 昊

参编人员 程荣龙 葛立新 傅院霞

曾爱云 徐 丽 王晴晴



北京师范大学出版集团

BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP

安徽大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验教程/许永红主编.—2版.—合肥:安徽大学出版社,2014.2

ISBN 978-7-5664-0717-7

I. ①大… II. ①许… 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(2014)第 024670 号

大学物理实验教程(第2版)

主 编 许永红 副主编 刘晓伟 高光明 宫昊

出版发行:北京师范大学出版集团

安 徽 大 学 出 版 社

(安徽省合肥市肥西路3号 邮编 230039)

www.bnupg.com.cn

www.ahupress.com.cn

印 刷:安徽省人民印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:184mm×260mm

印 张:13.25

字 数:315千字

版 次:2014年2月第2版

印 次:2014年2月第1次印刷

定 价:27.00元

ISBN 978-7-5664-0717-7

策划编辑:李 梅 张明举

责任编辑:武溪溪 张明举

责任校对:程中业

装帧设计:李 军

美术编辑:李 军

责任印制:赵明炎

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话:0551-65106311

外埠邮购电话:0551-65107716

本书如有印装质量问题,请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话:0551-65106311

第2版 前言

《大学物理实验教程》(第2版)是根据《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010版),在《大学物理实验教程》(第1版)的基础上修订而成。

《大学物理实验教程》(第1版)使用三年以来,取得了较好的人才培养效益。近年来,按照高等院校质量工程建设的要求,我们根据学科专业建设发展的需要,结合新一轮人才培养方案和大学物理实验室的仪器设备更新情况,在总结三年来教学改革和教材使用经验的基础上,按照安徽省普通高等教育“十二五”省级规划教材的要求,组织具有多年教学实践经验的教师对该教材进行了重新编写和修订,再版后的教材必将取得更好的人才培养效益。

本次《大学物理实验教程》(第2版)的编写修订在整体内容结构上未做大的改变,主要对原有实验项目内容作了一定的补充、修订,对第一版中的一些错误及不妥之处作了修改,对实验项目的编排作了一定的调整,更新了部分实验项目内容,增加了部分实验项目,其目的就是为了扩充综合性实验,加强设计性实验,使其更加符合实验教学发展的要求。同时为了更好地发挥大学物理实验课程在培养学生创新能力中的作用,我们用“*”号标出了可供不同学科学生根据专业特点和兴趣爱好选学的部分实验内容,也可以作为开放性实验教学的参考内容。全书由误差的分析及计算方法、力学与热学、电磁学、光学、近代物理实验五个部分组成,共分为5章,32个实验项目。本教材在2013年被评为安徽省高等学校省级质量工程项目——省级规划教材,项目号为2013ghjc293。

参加本次编写修订工作的主要人员有许永红、刘晓伟、高光明、宫昊、程荣龙、葛立新、傅院霞、曾爱云、徐丽、王晴晴等老师,许永红老师对全书进行了统稿和校核。

编者

2013年12月

第 1 版 前 言

本书是根据教育部高等学校物理基础课程教学指导分委会制定的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》，结合蚌埠学院物理实验课程建设和教学改革以及实验室仪器设备的情况，总结多年来的实验教学经验，在对自编试用的《大学物理实验讲义》反复实践、不断改进、充实、完善的基础上改编而成的。它是我院长期从事实验教学的教师辛勤劳动的成果，是集体智慧的结晶。

全书内容共五章，第一章阐述测量误差、不确定度及数据处理的基本知识。第二章至第五章介绍了力学、热学、电磁学、光学、近代物理实验项目 29 个。该书编写时，力求将每个实验原理叙述清楚，计算公式推导完整，便于学生在预习时掌握理论依据；实验内容与实验步骤尽可能具体，并附有思考题，为教师教学和学生学学习提供了方便。实验内容以加强基础训练为主，让学生在学习物理实验知识、掌握物理实验方法和实验技能等方面受到系统的基本训练，为学生今后的学习、工作奠定良好的实验基础。

本书由许永红任主编，刘晓伟、高光明任副主编，参加编写的有吕思斌、汤庆国、葛立新、宫昊、傅院霞、曾爱云、沈国浩、奚永康。其中许永红编写绪论和第一章，许永红、吕思斌、汤庆国编写第二章，刘晓伟、葛立新、傅院霞、沈国浩编写第三章，宫昊、曾爱云、奚永康编写第四章，高光明编写第五章，全书由许永红统稿。

本书在编写过程中还参阅了一些兄弟院校的教材，借鉴和吸取了许多宝贵的经验，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，《大学物理实验教程》不妥之处在所难免，恳请读者和专家批评指正。

编 者

2010 年 5 月

目 录

绪 论	(1)
1 大学物理实验课的基本要求	(1)
2 大学物理实验课的基本教学环节	(2)
3 如何学好大学物理实验课	(5)
4 遵守实验规则	(7)
第一章 测量、测量误差和不确定度	(8)
第 1 节 测量与误差	(9)
1.1 测量和单位	(9)
1.2 误差的定义与分类	(11)
第 2 节 误差的处理	(14)
2.1 系统误差	(14)
2.2 随机误差及其估算	(15)
第 3 节 测量不确定度的估计	(22)
3.1 直接测量值总不确定度的估计	(22)
3.2 间接测量值的结果和不确定度的合成	(23)
第 4 节 常用仪器的误差介绍	(25)
4.1 有关仪器的几个概念	(25)
4.2 常用仪器的仪器误差	(26)
第 5 节 数据处理的基本方法	(29)
5.1 有效数字及其运算法则	(30)
5.2 数据处理的一般方法	(31)
习 题	(36)
第二章 力学和热学实验	(39)
实验一 基本力学量测量	(39)
实验二 用落球法测液体的粘滞系数	(47)
实验三 杨氏模量的测定	(51)

实验四 金属线胀系数的测定	(56)
实验五 用扭摆法测物体的转动惯量	(59)
实验六 声速的测量	(64)
* 实验七 在气垫导轨上测定滑块的速度和加速度	(69)
* 实验八 气轨上动量守恒定律的研究	(72)
* 实验九 液体表面张力系数的测定	(74)
第三章 电磁学实验	(78)
实验十 线性电阻与非线性电阻的伏安特性	(78)
实验十一 电桥法测电阻	(82)
实验十二 示波器的使用	(87)
实验十三 霍尔效应及其研究	(97)
实验十四 箱式电位差计的使用	(102)
实验十五 电表改装与校准	(110)
实验十六 用示波器观测铁磁材料的磁化曲线和磁滞回线	(114)
实验十七 用稳恒电流场模拟静电场	(123)
* 实验十八 电子在电磁场中运动的研究	(127)
* 实验十九 万用电表的原理和初步使用方法	(135)
* 实验二十 LRC 电路的稳态特性研究	(141)
* 实验二十一 滑线变阻器在电路中的应用	(148)
第四章 光学实验	(151)
实验二十二 薄透镜焦距的测量	(151)
实验二十三 光的干涉——牛顿环	(156)
实验二十四 迈克耳逊干涉仪的调节及使用	(161)
实验二十五 迈克耳逊干涉仪测空气折射率	(165)
实验二十六 分光计的调整与三棱镜顶角的测定	(167)
实验二十七 用衍射光栅测定光波波长	(172)
实验二十八 光的偏振——布儒斯特角法	(175)
第五章 近代物理实验	(178)
实验二十九 密立根油滴实验	(178)
实验三十 夫兰克—赫兹实验	(183)
* 实验三十一 氢原子光谱的测定	(186)
* 实验三十二 光电效应及普朗克常数的测定	(191)
附 表	(197)
参考文献	(201)

绪 论

大学阶段物理实验课程的学习,不同于中学阶段的实验课。中学里的物理实验主要是为了扩大视野、丰富感性知识和增加动手机会,从而帮助同学们了解和巩固课堂上所学的理论知识,因此,它仅是物理课程教学的一个附属教学环节。但是,大学阶段开设的物理实验课程是独立于“大学物理”之外、对学生进行科学实验基本训练的一门独立的必修基础实验课程,单独记分,是学生在高等学校受到系统实验技能训练的开端。它在培养学生运用实验手段去分析、观察、发现乃至研究、解决问题的能力方面,在提高学生科学实验素质方面,都起着重要的作用;同时,它也将为学生今后的学习、工作奠定良好的实验基础。

1 大学物理实验课的基本要求

怎样通过物理实验课的教学才能使学生掌握物理实验的基本功、达到培养高素质创新人才的目的呢?概括起来,应通过物理实验课程达到以下三个基本要求:

(1) 在物理实验的基本知识、基本方法、基本技能方面(“三基”)得到严格而系统的训练,这是做好物理实验的基础。

基本知识包括实验的原理、各类仪器的结构与工作机理、实验的误差分析与不确定度评定实验结果的表述方法、如何对实验结果进行分析与判断等。

基本方法包括如何根据实验目的确定实验的思路与方案、如何选择和正确使用仪器、如何减少各类误差、如何采用一些特殊方法来获得通常难以获得的结果等。

基本技能包括各种调节与测试技术(粗调、微调、准直、调零、读数、定标……),电工技术(识别元件、焊接、排除故障、安全用电……),电子技术(微电流检测、弱信号放大……),传感器技术(力传感器、位移传感器、温度传感器、磁传感器、光传感器……),以及查阅文献的能力、自学能力、合作共事的能力、总结归纳能力等。

这种“三基”训练有时可能会比较枯燥,但却是完全必要的,它体现了最基本的实际动手能力,因而必须首先保证这一要求的实现。没有这种严格的基本训练,学生就很难成为高素质的人才。

(2) 学习用实验方法研究物理现象,验证物理规律,加深对物理理论的理解和掌握,并在实践中提高发现问题、分析问题和解决问题的能力。

研究物理现象和验证物理规律是进行物理实验的根本目的,在学习“三基”的过程中要有意识地强化这种能力。一般的“验证性实验”虽然是教师安排好的,但学生应仔细体会其中的奥妙所在,不应只按所规定的步骤操作,记数据、得结果就算完成;要多问几个为什么,

想一想不按规定的步骤去做会有什么问题,或者能否想出别的方法来达到同样的目的。在一定的条件下,经老师同意也可以做自己设计的实验。

在实验中往往会遇到一些意想不到的问题,这些问题虽然可能不是实验研究的主要对象,但也不应轻易放过。这常常是提高分析问题、解决问题能力的好机会;要注意观察、及时记录;认真分析,有必要时可以进行深入研究。实际上,科学史上不少重要发现都是在意想不到的情况下“偶然”出现的。

(3) 养成实事求是的科学态度和积极创新的科学精神。

这是在整个教学过程中都要贯彻的要求,而在物理实验教学中是特别重要的。在物理实验课中最能培养实事求是、严谨踏实的科学态度,任何弄虚作假、篡改甚至伪造数据的行为都是绝对不能允许的,也是比较容易发现的。在物理实验课中,规定了记录数据不准用铅笔,不能用涂改液,误记或错记数据的更改要写明理由并经指导教师认可等,都是为了帮助学生养成实事求是的良好习惯。实际上,实验结果是什么就是什么,没有“好”、“坏”之分。与原来预想不一致的实验结果不仅不应随便舍弃,还要特别重视,它可能是某个新发现的开端。只要认真去做实验,一定会发现许多问题,其中有些问题是教师也未必能解决的。所以,实验室应当而且可以成为培养学生求实态度和创新精神的最好场所。

2 大学物理实验课的基本教学环节

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都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,完成实验内容规定的任务;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在花比较大的功夫的同时,还要有较强的独立工作能力。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。

2.1 实验前的预习

要在规定的时间内高质量地完成实验任务,必须在实验之前做好充分的预习工作。只有这样,才能掌握实验工作的主动性,自觉地、创造性地获得知识。否则,就只能机械地、盲目地照搬实验教材,更谈不上理解物理现象的实质、分析实验中的各种现象了。

实验教材是进行实验的指导书,它对每个实验的目的与要求、实验原理都作了明确的阐述。因此,在上实验课前都要认真阅读,必要时还应阅读有关参考资料;基本看懂实验所用的原理和方法,并学会从中整理出主要实验条件,实验中的关键问题及实验注意事项;根据实验任务在实验数据记录本上画出记录数据的表格。有些实验还要求学生课前自拟实验方案,自己设计线路图或光路图,自拟数据表格等。对于所涉及的测量仪器,在预习时可阅读教材中有关对仪器的介绍,了解其构造原理、工作条件和操作规程等。并在此基础上写好预习报告,回答预习思考题。预习报告内容主要包括以下几个方面:

(1) 实验名称。

(2) 实验目的。

(3) 原理摘要。包括主要原理公式、列出有关测量的条件和将要被验证的规律。其中要明确哪些物理量是直接测量量、哪些物理量是间接测量量,用什么方法和测量仪器等,电

学实验应绘出电路原理图、光学实验应绘出光路图。

(4) 主要仪器设备。

(5) 在实验记录本上列出数据记录表格。

(6) 回答预习思考题。

总之,课前预习的好坏是每次实验中能否取得主动的关键。

上课时,指导教师将检查学生的预习情况,对于没有预习和未完成预习报告的学生,指导教师有权停止该生本次实验。

2.2 实验中的操作

实验室与教室的最大区别就是实验室中有大量的仪器设备和实验材料。在不同的实验室中,还分别有大功率电源、自来水源、煤气、压缩空气,以及放射性物质、激光、易燃易爆物品或其他有毒、有害物品等。因此,进入实验室前必须详细了解并严格遵守实验室的各项规章制度。这些规章制度是为保护人身安全和仪器设备安全而规定的,违反了就可能酿成事故,这是同学们必须牢记的。

实验操作是实验的主要内容。实验时应仔细阅读有关仪器使用的注意事项或仪器说明书;在教师指导下正确使用仪器,注意爱护,稳拿妥放,防止损坏。对于电磁学实验,必须在指导教师检查电路的连接正确无误后,方可接通电源进行实验。对于严重违反实验室规则者,指导教师应停止其实验,并按有关规定处理。

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那样要求自己井井有条地布置仪器,安全操作,注意细心观察实验现象,认真钻研和探索实验中的问题。不要期望实验工作会一帆风顺,在实验中遇到问题时,应该看作学习的良机,冷静地分析和处理它。仪器发生故障时,也要在教师的指导下学习排除故障的方法。总之,要将重点放在实验能力的培养上,而不是简单测出几个数据就以为完成了任务。

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,实事求是地记录客观现象和数据;在编好页码的实验记录本上,写明实验名称,实验日期、同组人,必要时还要注明天气、室温、大气压、湿度等环境条件。接着要记下实验所用仪器装置的名称、型号、规格、编号和性能等情况,以便以后需要时可以用来重复测量和利用仪器的准确度校核实验结果的误差。切勿将数据随意记录在草稿纸上,不可事后凭回忆“追忆”数据,更不可为拼凑数据而将实验记录做随心所欲的涂改。对实验数据要严肃对待,要用钢笔和圆珠笔记录原始数据。如果确实记错了,也不要涂改。应轻轻划上一道,在旁边写上正确值(错误多的,需重新记录),使正误数据都能清晰可辨,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,给自己留有涂抹的余地,也不要先草记在另外的纸上再誊写在数据表格里,这样容易出错,况且,这已经不是“原始记录”了。

要逐步学会分析实验,排除实验中出现的各种较简单的故障。实验最后一般总会有数据结果,这些数据是否正确靠什么去判断、数据的好坏又说明什么、实验结果是否正确,这些问题主要是靠分析实验本身来判断,即必须分析实验方法是否正确,它带来多大误差,仪器带来多大的误差,实验环境有多大的影响等。实验后的讨论是发挥同学们才智、提高学生分析问题和解决问题能力的重要环节,应努力去做。但要注意,不要空发议论,应力求定量地分析问题,做到言之有据。往往有些同学当实验数据和理论计算一致时,就会心满意足,简

单地认为已经学好了这次实验;而一旦数据和计算差别较大,又会感到失望,抱怨仪器装置甚至拼凑数据。这两种态度都是实验教学和一切实验研究活动所不可取的。实际上,任何理论公式都是一定的理论上的抽象和简单化,而客观现实比实验所处的环境条件要复杂得多,实验结果必然带来和理论公式的差异,问题在于差异的大小是否合理。所以不论数据好坏,都应逐步学会分析实验,找出成败的原因。

误差与数据处理知识是物理实验的特殊语言。实验做得好与差、两种方法测量同一物理量其结果是否一致、实验验证或没有验证理论等,这些都不能凭感觉判断,而必须用实验数据和实验误差来下断言。领悟并运用这种语言,才能真正置身于实验之中,亲身感受到成功的喜悦或失败的困惑。

希望同学们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,要把测得的数据交给指导老师审阅签字,对不合理的或者错误的实验结果,经分析后还要补做或重做。离开实验室前要整理好使用过的仪器,做好清洁工作。

2.3 实验后的报告

实验报告可以在预习报告的基础上继续写,也可以重写一份。

对于实验报告,有些同学往往只重视数据处理和得出实验结果,对于实验的记录及原理、步骤等的撰写很不重视。这是很不对的。实验报告的撰写是培养实验研究人才的重要环节。

从事实验研究工作一般都需要有一个实验研究的记录本,用以记录实验中发生的各种现象和数据,这是科学研究的宝贵资料,一般将长期保存在实验室中。为了养成良好的完整记录的习惯,从而掌握从事实验研究工作的基本功,在实验报告中,要求详细记录实验条件、实验仪器、实验环境、实验现象和测量数据。

研究工作取得的成果,一般都要写成论文形式发表。为了训练这种对实验成果的文字表达能力,在实验报告中,要求用自己的语言简要地写明实验目的、原理和步骤,进行适当的讨论。

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,代入的数据都要有根据,便于别人看懂,也便于自己检查。作图要按照作图规则,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。

写实验报告的目的是为了培养和训练学生以书面形式总结工作或报告科学成果的能力。报告是实验成果的文字报告,所以最起码应该做到字迹清楚,文理通顺,图表正确,数据完备和结论明确。报告应予同行以清晰的思路、见解和新的启迪才算得上一份成功的报告。这是每一个大学生必须具备的报告工作成果的能力。一般应写在专用的实验报告纸上,下次实验时交指导教师批阅。

实验报告的内容一般应包括:

- (1) 实验名称。
- (2) 实验目的。
- (3) 实验仪器。应注明所用仪器的型号、规格、精度或分度值。
- (4) 实验原理。应该在对原理理解的基础上用自己的语言简要叙述,要求做到简明扼

要,图(光路图、电路图或实验装置示意图)文并茂,并列出现测量和计算所依据的主要公式,注明公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) 实验内容与步骤。根据实际的实验过程条理分明地写出实验步骤及安全注意要点,不要照搬书上的步骤。如果由几个小实验组成,每个小实验应分开叙述实验步骤。

(6) 实验记录与数据处理。对记录纸中的“原始数据”重新列表整理,并将原始数据记录纸粘在旁边。根据实验要求完成数据计算、曲线图绘制及误差分析等,计算要有过程,结果要明确。如果有误差的计算,最后一定要完整表示实验结果,即写为: $X = \bar{X} \pm \Delta X$; 或是,相对误差 $E_r = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \times 100\%$ 。

(7) 误差分析。要有条理地归纳出影响实验结果的主要因素,从而采取相应措施(例如合理选择仪器,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,应分析相应原因,对误差作出合理的解释。实验过程中的错误做法是应当杜绝的,切不能当作误差产生的原因。

这是实验报告中最开放、最灵活的部分,重在说理,所以能反映实验者的观察和分析能力的高低。

报告无疑应该按照自己的思路来写,特别受赞赏的是自身体会的经验之谈。

3 如何学好大学物理实验课

同学们可能都很欣赏物理理论课程的系统性、逻辑性。在这方面,物理实验课的情况不太相同。两个不同的实验题目之间可能很少有直接的内在联系,所以有时先做哪一个实验无关紧要。这也是实验课和理论课不同的地方。然而,一个物理实验题目涉及的知识领域往往是很宽广的,即使是一个简单的力学实验,也常常涉及电学、光学、热学、机械学等方面的知识。所以物理实验课的特点是综合性。它要求我们在做实验的时候,要根据具体情况灵活应用我们曾经学过的一切知识。一个优秀的实验工作者,他的知识面必须很宽广,不仅要有厚实的理论知识,还要有丰富的实践经验;不仅在某一学科有较深的造诣,而且在其他学科领域也有一定的修养。有的人重理论、轻实验,认为搞理论高深复杂、搞实验低级简单,这实在是一种误解。目前我国的学生与发达国家的学生相比较,在理论知识方面并不比他们差,然而在实验方面和动手能力方面,还存在一定的差距。这种情况应该引起我们的注意。

大学物理实验是一门实践性课程,学生是在自己独立实验的过程中增长知识和提高能力的。因而,上述教学目的能否达到,在很大程度上取决于学生自己的努力。鉴于我国目前中学阶段对学生实验的训练普遍比较薄弱的现状,在大学阶段想学好物理实验课程,不仅要多花力气、下苦功夫,还应当特别注意改进自己的学习方法。

3.1 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既会经常用到,也是复杂的方法和技术的基礎。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,并能运用这些方法

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。

3.2 有意识地培养良好的实验习惯

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,这样你才有可能对将要做的实验工作有具体而清楚的了解;而当你完成一个实验的同时,一定要有一份完整而真实的实验记录,这样,你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,才能帮助你正确地理解自己到底在做什么实验。在实验过程中,凡有必要,应重复测量若干次,多测读几次,一般总要比只读一次好(至少能确保不读错)。要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,有时甚至还要注意纠正自己不正确的操作习惯和姿势。良好的习惯需要经过很多次实验后的总结、反思和回顾才能形成;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,都有积极的作用。如果就单个实验习惯而言,由于比较易于理解,又不难掌握,反而容易被初学者所忽视。无数实践证明,良好习惯,只有在实验的过程有意识地去锻炼,才能逐步养成。

在具体的实验课题中,有些实验的完成需要与其他同学的合作,与他们共同讨论、分析实验的结果,它会使你获得比你独自分析更多的收益;有时,你在做实验时,如果受时间或条件的限制,仅来得及完成实验任务的二分之一或更少,但只要坚持认真去做,也将比仓促而马虎地赶做完全部实验任务获益更多。

3.3 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,力争独立地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,靠什么去判断,数据的“好”或“坏”又说明了什么,实验结果的可靠性和正确性如何,这些问题的解决,主要依靠分析实验的本身和实验的过程去判断。换言之,就是实验方法是否正确、合理,可能引入多大的误差,实验一共又会带来多少误差,实验环境、条件的影响又将如何等。

初学者的实验经验少,还没有掌握一整套分析实验的方法,作为大学基础教学实验的物理实验室往往在实验教材中安排少数已有十分确切理论结论的实验课题,使初学者便于联系和判断实验结果的正确性。但千万不要误认为做实验的目的就是为了得到一个标准的实验结果。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。对于小的故障、小的毛病,实验者应力求自己动手去排除,起码也应留意教师或实验室工作人员是怎样解决的;对于仪器失灵,也要学习教师如何判定仪器失灵或故障所在,怎样修复。在此还应着重指出,能否发现仪器装置的故障,及时迅速修复,这也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。

3.4 掌握好每个实验的重点

每个实验中都有较多的内容,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,可以根据自己的具体实际情况,尝试去分析一下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。当然,不应简单地重复。

总之,物理实验课有着自己的特点和规律,要学好这门课不是一件容易的事情,希望同学们在学习过程中不断提高对它的兴趣。

4 遵守实验规则

为了保证实验教学正常进行,培养严肃认真的工作作风和良好的实验工作习惯,特制定下列规则,望同学们遵守执行。

(1) 学生应在课表或选课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,写好预习报告,在专用的实验数据记录本上绘制好数据记录表格。

(3) 进入实验室后,应将预习报告和数据记录本放在实验桌上,以便指导教师抽查,并回答指导教师的提问。经过指导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纸和铅笔。

(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,应向指导教师或实验室管理员提出。未列入清单的仪器,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;尤其是电学实验,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,应将实验数据交给指导教师检查,实验合格者,教师予以签字通过;实验不合格或请假缺课的学生,由指导教师登记,算作零分处理。

(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。

(9) 如有损坏仪器,应及时报告指导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) 实验报告应在下次实验上课之前由组长收齐交到实验室。

第一章 测量、测量误差和不确定度

物理实验是以测量为基础的。研究物理现象、了解物质特性、验证物理原理都需要进行测量。实践证明,任何测量结果都具有误差,误差自始至终存在于一切科学实验和测量的过程之中。这是由于任何测量器具、测量环境、测量人员及测量方法等都不能做到绝对严密,这就使得测量不可避免地伴随有误差产生。因此分析测量中可能产生的各种误差,尽可能消除其影响,并对测量结果中未能消除的误差作出估计,就是物理实验和许多科学实验中必不可少的工作。为此,我们必须了解误差的概念、特性、产生的原因和估计方法等有关知识。

本章主要是自学材料,主要介绍了物理量的测量、测量误差理论、实验数据处理、实验结果的表示和实验设计等方面的初步知识,作为进入实验前的基础准备。这些知识不仅在每一个物理实验都要用到,而且是今后从事科学实验工作所必需了解和掌握的。由于这部分内容牵涉面较广,新概念又多,若进行深入的讨论,则超出了本课程的范围。因此,我们只能注重介绍一些基本概念,引用一些结论和公式,以满足本课程的教学需要。由于同学们还不具备足够的基础知识,因此,学习这一部分内容时会觉得有些困难,再加上内容又比较多,所以不可能通过一两次学习就全部掌握。这一部分内容非常重要,要求同学们在认真阅读教材的基础上,对提到的问题有一个初步的了解,以后结合每一个具体实验再细读有关的段落,通过运用加以掌握。应当说明的是,对这些内容的深入讨论是普通计量学和数理统计学的任务。我们暂时只能引用它们的某些现成结论和计算公式,详细探讨和证明留待在数理统计课中学习。

通过本章的学习,主要解决以下问题:

- (1) 正确地分析误差,尽可能减小系统误差,合理测量及记录实验数据。
- (2) 正确处理测量数据,从而得到接近于真值的最佳结果。
- (3) 合理评价测量结果的误差,写出测量结果的完整表达式。
- (4) 在设计性实验中,合理选择测量仪器、测量方法和测量条件,从而得到最佳结果。

第1节 测量与误差

1.1 测量和单位

1. 物理量

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量值。所谓“测量”，就是将确定的待测物理量直接或间接地与取作标准的单位同类物理量进行比较，得到比值的过程，称为“测量”。这个比值就是待测物理量的数值，加上相应的单位就构成了一个完整的“物理量”。

在人类历史上的不同时期，不同国家乃至不同地区，同一物理量有着许多不同的计量单位。如长度单位就分别有码、英尺、市尺和米等。为了便于国际贸易及科技文化的交流，单位制的统一成为众望所归。因此，国际计量大会于1960年确定了国际单位制(SI)。它规定了7个基本单位：长度为米(m)、时间为秒(s)，质量为千克(kg)，电流为安培(A)，热力学温度为开尔文(K)、物质的量为摩尔(mol)和发光强度为坎德拉(cd)；还规定了2个辅助单位：平面角为弧度(rad)和立体角为球面度(sr)。其他一切物理量(如力、能量、电压、磁感应强度等)均作为这些基本单位和辅助单位的导出单位。

2. 直接测量与间接测量

按照计量学定义：测量是以确定被测量对象量值为目的的全部操作过程。测量分为直接测量与间接测量。

“直接测量”是指直接将待测物理量与选定的同类物理量的标准单位相比较直接得到测量值大小的一种测量；它不必进行任何函数计算。例如用钢直尺测量长度、用天平和砝码测量物体的质量、用电流表测量线路中的电流等都是直接测量。

“间接测量”是指经过测量与被测量有函数关系的其他量，再经运算得到测量值大小的一种测量。例如通过测量长度确定矩形面积；用伏特表测量导体两端的电压，用电流表测量通过该导体的电流，由已知公式 $R = U/I$ 算出导体电阻的过程等都属于间接测量。

从上面所举的测量导体电阻的例子可以看出，有的物理量既可以直接测量，也可以间接测量，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。

测量结果应给出被测量的量值，它包括数值和单位两个部分(不标出单位的数值不能是量值)。实际上，仪器在测量中是单位的实物体现。

3. 等精度测量与不等精度测量

如果对某一物理量进行重复多次测量，而且设每次测量的条件相同(如同一组仪器、同一种测量方法、同一个观察者及环境条件不变等)，测得一组数据分别为 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 。

尽管各次测得的结果并不完全相同，但我们没有任何充足的理由来判断某一次测量更为精确，只能认为它们测量的精确程度是完全相同的。于是将这种具有同样精确程度的测

量称为“等精度测量”；这样的一组数称为“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。

在物理实验中，凡是要求多次测量均指等精度测量，应尽可能保持等精度测量条件不变。严格地说，在实验过程中保持测量条件不变是很困难的，但当某一条件的变化对测量结果影响不大时，仍可视作等精度测量。在本章中，我们除了特别指明外，都作为等精度测量来讨论。

4. 测量过程中应注意的问题

(1) 测量仪器的量程、精密度和准确度

测量总是通过一定的仪器或量具来完成的。因此，熟悉仪器的性能、掌握仪器的使用方法和准确的读数是完成实验的必要条件。为此，在测量前必须对仪器有一定的认识。这些主要包括：

① 量程。仪器的测量范围称为“仪器的量程”。如 TW-02 物理天平的最大称量是 200g，UJ31 电位差计的量程为 171mV 等。

② 仪器的精密度。仪器的精密度是指仪器所能分辨物理量的最小值，一般与仪器的最小分度值一致，此值愈小，仪器的精密度愈高。如千分尺的最小分度值为 0.01mm，可以认为其分辨率为 0.01mm/刻度，或其仪器的精密度为 100 刻度/mm。

③ 仪器的准确度等级。测量时是以仪器为标准进行比较，当然要求仪器准确。由于测量的目的不同，对仪器的准确程度的要求也不同。比如，测量金戒指的天平必须准确到 0.001g，而粮店卖粮食的台秤差几克却是无关紧要的。国家规定，工厂生产的仪器分为若干准确度等级，各类各等级的仪器，又有对准确程度的具体规定。例如，实验室常用的一级螺旋测微计，测量范围不大于 100mm 时的仪器误差限为 $\pm 0.004\text{mm}$ ；又如 1.0 级电流表，测量范围为 500mA 时的仪器误差限为 $\pm 5\text{mA}$ 。

实验时要恰当选取仪器，仪器使用不当对仪器和实验均不利。表示仪器的性能有许多指标，最基本的是测量范围和准确度等级。当被测量超过仪器的测量范围时首先对仪器会造成损伤，其次可能测不出量值(如电流表)，或勉强测出(如天平)，但误差将增大。对仪器的准确度等级的选择也要适当，一般是在满足测量要求的条件下，尽量选择准确程度低的仪器。减少准确度高的仪器的使用次数，可以减少其在反复使用时的损耗，延长其使用寿命。

(2) 测量的读数规则

① 要如实、全部记录仪器所显示的数值，如仪器的量程、分度值和估读数等。所谓“如实”，就是直接按刻度的标度数字读出并记录，作为原始数据，然后再作单位换算。例如，用一电流表进行测量，首先查明其分度值为 2.5mA/格，然后读出指针指示的格数，如 20.4 格等，测量结束后再逐一换算得到 50.1mA 等。这样既可以减少差错，又可以留待以后适当时换算，如先求出 10 个读数的平均值后再换算。所谓“全部”，就是要将仪器显示的全部有效数字读出。一般在直接测量时要求估读出量具最小分度的 1/10 或 1/2。

② 如仪表的示数不是连续变化而是以一定的最小步长跳跃变化的(如数字显示仪表)，则只能记录所显示的全部数字，无需进行估读。尤其需要指出，有些仪表，如停表等，虽然也有指针和刻度盘，但其指针的跳动是以最小分度(1/10 或 1/100 秒)为单位的，因此不能估读到 1 格以下；还有游标卡尺是依靠判断两个刻度中哪条线对齐进行读数的，这时一般应记下对齐(或接近对齐)线的数值，不进行更细的估读。