

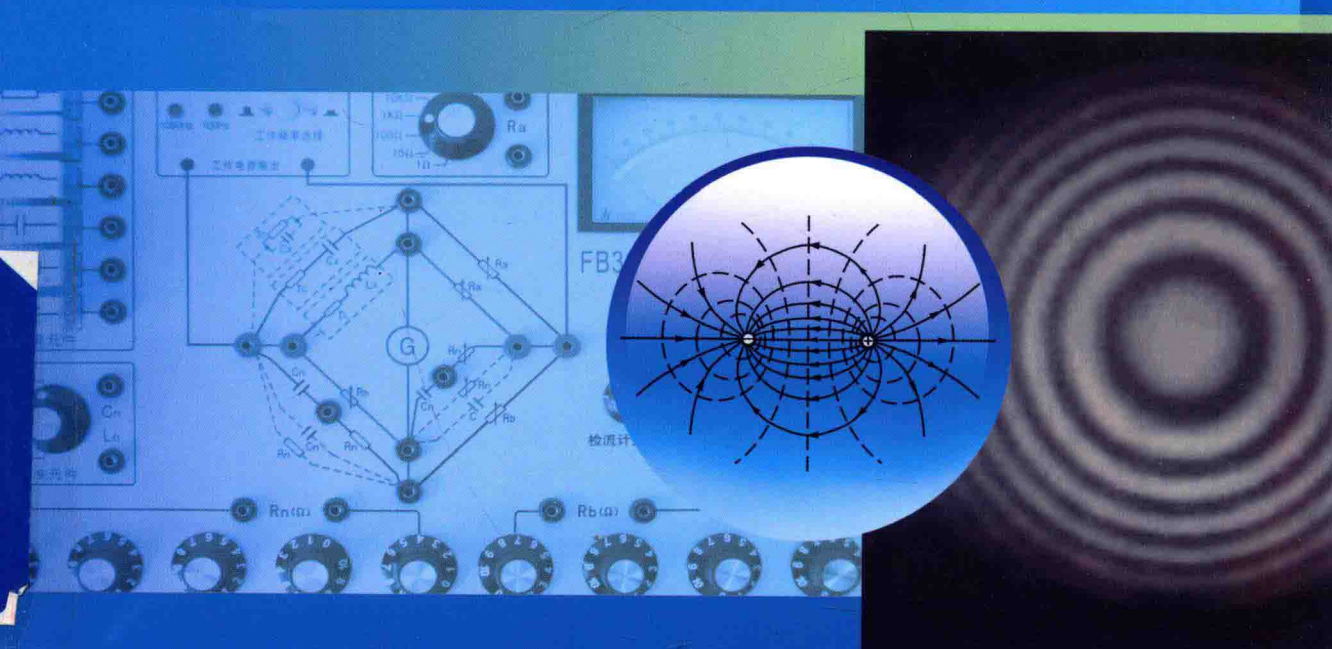


普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

大学物理实验教程

第二版

曹 阳 俸永格 王 赵 主编



普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

大学物理实验教程

第二版

曹 阳 俸永格 王 赵 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理实验教程 / 曹阳, 俸永格, 王赵主编. —
2 版. —北京: 中国农业出版社, 2014. 12 (2015. 9 重印)

普通高等教育农业部“十二五”规划教材 全国高等
农林院校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-109-19853-1

I. ①大… II. ①曹… ②俸… ③王… III. ①物理学
-实验-高等学校-教材 IV. ①O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 308779 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

策划编辑 薛 波

文字编辑 李兴旺

北京万友印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2010 年 7 月第 1 版 2015 年 1 月第 2 版

2015 年 9 月第 2 版北京第 2 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 18.25

字数: 433 千字

定价: 34.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内容简介

本教材是以教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会制定的《非物理类理工学科大学物理实验课程教学基本要求》为指导，结合普通高校近年来的教学改革实践，在原版基础上进行重新编写的。

全书共分5章，系统介绍了实验数据处理知识、基本物理实验方法和操作技术，安排了基础性实验16项，综合与应用性实验17项，设计与研究性实验12项。每部分相对独立，自成体系，循序渐进，可供不同专业学生选做。全书内容的编写力求系统性、应用性和先进性相结合，注重能力的培养，体现了“三段式”课程教学体系的特点。

本书可作为普通高等院校非物理专业物理实验课程的教材，也可供从事实验教学的人员参考。

第二版编写人员

主 编 曹 阳 俸永格 王 赵
副主编 李 劲 魏要丽 巫志玉 虞学红
李 娜 潘 虹
参 编 周 铁 袁 珍 郭 惠 叶志生
肖 丽 张 苹

第一版编写人员

主 编 曹 阳 孙炳全 俸永格

副主编 李 劲 虞学红 魏要丽 李 娜

周 铁 潘 虹

参 编 巫志玉 白 洋 张 苹 叶志生

肖 莉 袁 珍 郭 惠

第二版前言

2010年《大学物理实验教程》第一版出版以后,该书在使用过程中,被普遍认为较为符合当前大学物理实验的教学实际,得到了不少师生的好评。在这四年的时间中,广大读者也对本书存在的一些问题提出了许多宝贵的意见和建议,编者在此表示衷心的感谢。

为了适应高校大学物理实验教学形势的发展和需要,根据广大读者的意见和建议,我们对本书进行了必要的修订,在保留“三段式”课程体系原有风格和特色的基础上,考虑到近几年大学物理实验课程及仪器设备的变化,对全书内容进行了修改、修订和调整,减少了基础性实验,增加了综合性实验和研究性实验。第三章编入基础性实验16项,第四章编入综合性实验17项,第五章编入设计与研究性实验12项。具体修订工作如下:

1. 由于仪器更新,对15个实验项目进行了重新编写。
2. 根据课程发展的形势需要,删除原来的8个实验项目,新增加了7个实验项目。
3. 对全书的其他部分内容进行了认真的梳理和修订,修改错误,重新编排,使其更加明确、精炼,更加符合实验的要求。

《大学物理实验教程》第二版由曹阳、俸永格、王赵担任主编,李劲、魏要丽、巫志玉、虞学红、李娜、潘虹担任副主编,具体分工是:曹阳主要负责第一章和第三章的编写和统稿;俸永格主要负责第二章与第五章的编写和统稿;王赵主要负责第四章与附录的编写和统稿;李劲编写实验一、实验二十一、实验二十四;魏要丽编写第二章第三节、实验二、实验三、实验四、实验五、实验六、实验七、实验八、实验九、实验十;巫志玉编写实验十一、实验十三、实验十七、实验十八、实验二十一、实验二十二、实验二十五、实验二十七、实验二十八、实验三十八;虞学红编写第二章第四节和第五节、实验十四、实验十六、实验二十、实验三十一、实验三十二、实验三十五、实验三十九;李娜编写第二章第一节、实验十五、实验二十三、实验二十六、实验二十九、实验三十三、实验三十四;周铁编写实验三十六、实验四十一、实验四十三;王赵编

写第二章第二节、实验十九、实验三十、实验四十二、实验四十四、实验四十五；潘虹编写实验三十七、实验四十、附录一、附录二、附录三、附录四；参加本书编写、绘图和校对工作的还有张苹、袁珍、郭惠、叶志生、肖丽等同志，王赵负责校对全书。

由于编者水平有限，时间仓促，难免有不足之处，望读者不吝批评指正。

编 者

2014年10月于海口

第一版前言

大学物理实验是高等学校对大学生进行较系统的科学实验基础训练的一门独立的必修课程,它在传授基本实验技能和科学实验基本知识、培养学生实践能力和创新能力、培养学生严谨的科学作风、提高素质等方面具有不可替代的作用,将为学生终身学习和持续发展奠定必要的基础。

本书作者在教学改革实践中,提出了“三段式”的课程教学体系,就是把整个实验教学过程分成基础性实验、综合与应用性实验、设计与研究性实验三个阶段。这个课程体系最显著的特点是低起点、高台阶,既能适应低年级学生的接受能力,又能达到较高的教学培养目标。

全书共分五章,第一章绪论,介绍了实验课前应当做的准备工作及操作课上应注意的事项,这是科技人员应具备的最基本的科学素养,学生在做某一实验课题时,应该经常地反复阅读有关内容,它不仅能使学生会半功倍地完成实验课题,更重要的是能在潜移默化中培养学生严谨的治学态度和科学的思维方法。第二章大学物理实验基础知识较系统地介绍了物理实验数据的处理方法。这部分内容是根据我国《数据处理技术规范》的基本精神,结合本门课程的实际,作了大量的简化编写而成。目前许多高等学校的物理实验教学中都引入了不确定度理论,但对某些概念的理解和运用上还存在一些差异。本书在处理这一类问题时,力求做到科学性、简洁性和通用性的完满结合,使物理实验数据的处理方法与后续实验课程的数据处理方法相一致,也与当代社会生产与科技部门的相关法规相一致。

本书由曹阳、孙炳全、俸永格担任主编,李劲、虞学红、魏要丽、李娜、周铁、潘虹担任副主编,具体分工是:曹阳主要负责第一章和第三章的编写和统稿;俸永格主要负责第二章与第五章的编写和统稿;孙炳全主要负责第四章与附录的编写和统稿;李劲编写第二章第三节、实验二、实验三、实验四、实验八、实验二十五、实验二十六、实验三十一、实验三十二、实验三十五;虞学红编写第二章第四节和第五节、实验一、实验五、实验七、实验二十三、实验二十四、实验三十九;魏要丽编写实验十、实验十一、实验十二、实验二十一、实验

二十二、实验二十九、实验三十七、实验三十八、实验四十三；李娜编写第二章第一节、实验十三、实验十五、实验十六、实验二十七、实验二十八、实验三十、实验三十四、实验四十六；周铁编写第一章、第二章第二节、实验六、实验九、实验三十三、实验三十六、实验四十、实验四十一、实验四十二；潘虹编写实验十四、实验十七、实验十九、实验四十四、附录一、附录二、附录三、附录四；巫志玉编写实验十八、实验二十、实验四十五、实验四十七。参加本书编写、绘图和校对工作的还有白洋、张苹、袁珍、郭惠、叶志生、肖莉等同志，俸永格、李劲负责校对全书。

由于编者水平有限，时间仓促，难免有不足之处，望读者不吝批评指正。

编者

2010年3月于海口

目 录

第二版前言

第一版前言

第一章 绪论	1
第一节 物理实验课程的地位和作用	1
第二节 物理实验课程的教学培养目标	2
第三节 物理实验课程的教学安排	2
第四节 物理实验课的基本程序和要求	3
第二章 大学物理实验基础知识	7
第一节 测量和有效数字	7
第二节 测量误差	9
第三节 测量不确定度	12
第四节 实验数据处理方法	20
第五节 基本物理实验方法简述	24
第三章 基础性实验	30
实验一 长度的测量	30
实验二 密度的测量	36
实验三 用扭摆法测物体的转动惯量	41
实验四 落球法测量液体的黏滞系数	46
实验五 液体表面张力系数的测量	51
实验六 固体线膨胀系数的测定	59
实验七 拉伸法测金属杨氏模量	62
实验八 用模拟法测静电场	70
实验九 惠斯通电桥测电阻	75
实验十 利用霍尔效应测磁场	80
实验十一 亥姆霍兹线圈磁场的测量	85
实验十二 透镜焦距的测定	91

实验十三 牛顿环实验	96
实验十四 双棱镜干涉	100
实验十五 单摆及随机误差分布实验	103
实验十六 非线性电阻的伏安特性	107
第四章 综合性实验	111
实验十七 电表的改装与校正	111
实验十八 示波器的使用	117
实验十九 声速的测量	128
实验二十 热功当量的研究	132
实验二十一 分光计的调整与使用	136
实验二十二 迈克尔孙干涉仪	144
实验二十三 光栅特性与光波波长的测定	149
实验二十四 偏振光的研究	154
实验二十五 光电效应及普朗克常量的测定	158
实验二十六 夫兰克-赫兹实验	164
实验二十七 全息照相	167
实验二十八 PN 结正向压降与温度特性的研究	172
实验二十九 伏安法测电阻及电表的选择	177
实验三十 超声光栅实验	181
实验三十一 压阻力敏传感器定标与固体密度的测量	185
实验三十二 铁磁材料的磁滞与磁化基本特性研究	189
实验三十三 霍尔位置传感器定标与梁的弯曲特性研究	194
第五章 设计与研究性实验	200
实验三十四 热电偶的定标与测温	200
实验三十五 RLC 串联电路暂态过程的研究	203
实验三十六 氢原子光谱研究	209
实验三十七 热敏电阻温度计的设计安装和测试	214
实验三十八 万用表电路的设计与组装	218
实验三十九 超声波探伤	224
实验四十 高温超导材料的基本特性	229
实验四十一 数字信号光纤传输技术	232
实验四十二 数字电表基本原理	240
实验四十三 太阳能电池基本特性研究	246
实验四十四 核磁共振实验研究	251
实验四十五 基于声源定位的 GPS 模拟研究	257

附录	264
附录一 实验室常用仪器的最大允许误差	264
附录二 袖珍计算器的使用	266
附录三 中华人民共和国法定计量单位	269
附录四 常用物理数据表	271
主要参考文献	278

第一章 绪 论

第一节 物理实验课程的地位和作用

物理学是研究物质的运动规律、物质的结构及相互作用的学科。物理学按其研究方法,可以分为实验物理与理论物理两大分支。理论物理从一系列的基本原理(如质量守恒、能量守恒、万有引力定律等)出发,经过数学推演得出结果,并将结果与观测和实验相比较,从而达到理解现象、预测未知的目的。实验物理以观测和实验为手段来发现新的物理规律,校验理论物理的结论,同时也为理论物理提供新的研究课题。现代理论物理和实验物理学的发展,哺育着现代高新技术的成长和发展。以信息技术领域为例,由电子计算机技术和远程通信技术组成的现代信息技术,就在短短几十年里迅速地改变了我们的社会和生活。1947年贝尔实验室的巴丁提出结晶表面理论,1948年他和巴拉顿发明了第一个双点接触式晶体三极管,1949年同实验室的肖克利提出半导体的PN结理论,并发明了结型晶体管。这是他们认识和掌握了半导体中电子的运动规律,并成功加以运用的结果。晶体管的发明可以看作信息时代的开端。1958年杰克·基尔比发明了第一块集成电路,随后集成电路向微型化方向发展,1967年产生了大规模集成电路,1997年诞生了超大规模集成电路。依靠物理知识的深化和工艺技术的进步,使晶体管的尺寸(线宽)仅是原来的 $1/1\,000$ 。今天的超大规模集成电路芯片上,在一根头发丝大小的横截面上,可以制备40个左右的晶体管。世界集成电路市场的年销售额接近1万亿美元。这些高新技术大大促进了物理学的发展,推动着实验物理研究手段、方法和装备的发展。工程技术要不断地探索新理论、新材料、新方法、新工艺,以求提高质量,降低成本,为此要进行科学实验。有关实验的设计、实验方法的确定、仪器的选择、数据的处理等,大多数都是物理实验的移植与推广。工程技术中物理量的测量,其测量方法与技巧,也是物理实验中测量方法与技巧的移植与推广。可见,物理实验推动着科学技术的发展。

20世纪末,我国高等教育掀起了声势浩大的教育改革浪潮,改革的主要任务就是加强对学生创新能力的培养,而为了培养创新能力,首先就要培养实践能力。十几年来,国家不断加大对实践性教学环节的投资力度,几乎所有大学的物理实验课程都成为国家投资的重点。很多学校都把大学物理实验课程作为“重点课程”甚至“核心课程”给予重点扶持。如今,在全国范围内,物理实验室的教学条件都得到了极大的改善,教学水平也有了显著的提高。本门课程在培养创新性人才的浩大工程中,发挥着日益重要的作用。

物理实验是高等学校对学生进行科学基本训练的一门独立的、必修的基础实验课,是学生进入大学后受到系统的实验技能训练的开端,是理、工、农、医、药等各专业学生学习后续实验课程的基础。物理实验的实验方法和思想、实验条件的保证、实验仪器装置、实验技术、实验的数据处理及误差分析等方面都有自身的理论基础和教学内容。即使是文科专业的学生,学习一点物理实验知识,对于提高他们自身的综合素质也大有益处。

第二节 物理实验课程的教学培养目标

通过本课程的学习,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较系统的训练,培养学生初步的实验能力,培养良好的实验习惯以及理论联系实际、严谨求实的科学作风,提高学生的科学素质、创新精神。使学生较早地参加科研活动,为今后用物理方法解决本学科的问题打好基础。同时培养学生认真负责的工作态度,遵守纪律、爱护公共财物的优良品德。

本课程的具体任务:

(1) 通过完成一定数量的力学、热学、电磁学、光学和综合性、设计性等方面的实验,使学生达到:

① 能够自行阅读实验教材或资料,做好实验的准备,能够借助教材或仪器说明书正确使用常用仪器。掌握常用基本物理实验仪器的原理和性能,学会正确使用、调节和读数。

② 了解一些物理量的测量方法,知道如何根据实验要求确定实验方案、选择实验仪器设备、减少实验误差,掌握作图法、逐差法、外推法、补偿法等常用实验数据处理方法。

③ 学习一些常用实验技术,如传感技术、电子技术等,懂得物理实验的安全防护知识。

④ 初步学会用实验去观察、分析、研究物理现象和物理规律。通过实验加深对某些重要物理现象和规律的认识和理解。

⑤ 能够独立完成简单的设计性实验。

⑥ 学会对实验进行不确定度分析的基本方法,培养学生正确处理实验数据、正确表达和评价实验结果的初步能力。

⑦ 学会撰写合格的实验报告。

⑧ 养成良好的实验习惯,树立严谨的科学作风,培养严肃认真对待实验数据、事实求是的科学态度,培养主动探索的创新精神、团结协作的精神和遵守纪律、爱护公共财产的优良品德。

(2) 提高进行科学实验工作的综合能力,包括实际动手能力、分析判断能力、独立思考能力、革新创造能力、归纳总结能力、口头表达能力等。

第三节 物理实验课程的教学安排

所谓教学安排,就长期过程来说,就是教学计划,就短期过程来说,就是课堂设计。做好教学安排的主要原则,就是要符合学生的实际。教师要主动地了解学生,不仅知道学生学了什么,还要知道怎么学的,学的效果如何,通过不断的考察学而改进教。对不同的学生提出不同的教学要求,同时,在不同的教学阶段应采用不同的教学方法,也就是,在不同的教学阶段应该有不同的课堂设计。

本书作者根据自己的教学改革实践,并借鉴了十几年来国内高等学校教学改革优秀成果,提出了“三段式”的物理实验教学体系,这个“三段式”教学体系构筑了本书的写作框架。所谓“三段式”,就是把整个教学过程分成“基础性实验”“提高性实验”“研究性实验”三个阶段。这个课程体系最显著的特点是,低起点、高台阶,既能适应低年级学生的接受能

力,又能实现较高的教学培养目标。

1. 基础性实验阶段

通过物理实验数据处理方法的讲解和练习,以及几个经典物理实验题目的教学,着重对学生进行基本实验技能的训练和数据处理能力的训练,使学生对基本物理实验方法有所了解和认识。教师在这一阶段做课堂设计时,应注意采用启发式、引导式的教学方法。

2. 提高性实验阶段

通过对若干物理量的测量,着重培养学生自主学习的能力和分析解决问题的能力。要求学生通过课前预习,能回答教材中规定的课堂讨论题,独立地提出完整的操作方案。教师在这一阶段做课堂设计时,应注意采用讨论式、提案(提出方案)式的教学方法。

3. 研究性实验阶段

实验室为学生准备了若干带有研究性质的实验题目,学生任选其一,从实验设计到最后答辩,全部由学生独立完成。这一阶段也是考试阶段,着重考察和培养综合素质和能力,包括自学能力、文献检索能力、创新能力、科技写作能力和语言表达能力。教师在这一阶段做课堂设计时要注意采用研究式、答辩式的教学方法。

第四节 物理实验课的基本程序和要求

物理实验进行的程序大致分为:提出任务,确定方案,选择仪器设备,安装调试,按预先设定的实验步骤进行实验,观察、测量、记录数据,总结分析,写出实验报告。物理实验的基本知识、基本方法和基本技能的学习和训练融于各个不同类型的实验中,每个程序都有各自的要求和任务,因此,每一个实验都要认真地完成。

一个实验包括三个教学环节:课前预习,课堂操作,课后撰写实验报告。课堂操作是最基本的环节,预习是课堂操作的必要准备,撰写实验报告是实验成果的书面表达。

1. 课前预习

预习的好坏将决定试验能否顺利完成,务必引起重视。实验课前必须预习,弄清本次实验内容、有关原理,控制物理过程的关键因素和必要的实验条件,并对测量仪器、测量方法有一个基本了解。在此基础上写出实验预习报告,绘出实验数据记录表格。

没有预习报告者不允许进行实验。

预习报告要求简明扼要,内容由学生自行决定,但一般必须包括以下要点:实验名称、实验目的、实验仪器、实验原理、实验步骤和数据记录表格。实验原理部分列出主要公式及其简要的推导过程,画出原理图(光路图、电路图、仪器测量原理图等)。把操作步骤写在纸面上,它就成了张操作路线图,可以指导学生有条不紊地完成实验任务。数据表与操作步骤是密切相关的,数据表中项目栏的排列顺序,应与操作步骤的顺序合理配合,这样,可以随时将实验数据按顺序填入表,也可以随时观察和分析数据的规律性。有的学生喜欢将数据随便记在纸片上,这种做法反映了实验者心态的浮躁,很容易铸成大错,这种做法在实验课堂上是不允许的。

2. 实验操作

进入实验室时应遵守实验室规章制度和学生实验守则;签到并提交预习报告后,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,稳拿轻

放,防止损坏。对于电磁学实验,必须由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。

实验结束,要把原始记录纸交给指导教师检查签字,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。填好实验记录,经教师同意后,方可离开实验室。

(1) 关于仪器

① 实验仪器放置的位置必须合理。实验仪器放在实验台上的位置,以安全和方便为原则。例如,高压电源的输出端钮应远离操作者,经常需要操纵或调节的仪器,应放在便于操纵的位置上,如砝码盒应放在天平的砝码盘附近。一些电学实验,仪器部件较多,实验者首先要把这些仪器部件一一安排在合适的位置,然后再连线。这样才能保证实验台上的仪器既安全又方便。实验完成后,应将所有仪器恢复原位。

② 实验仪器必须处于良好的工作状态。所有仪器必须调整到正确的位置和稳定的状态。在安装和调整仪器时,不得用书本、纸片和木块做垫块,因为这些物品本身就不稳定,容易造成测量数据的分散性,影响实验的质量。

③ 及时发现和排除故障。仪器在使用过程中,难免发生故障,使得仪器不能正常工作,或数据失常,这时应立即停止实验,并设法排除故障。如果学生对所用仪器比较熟悉,可以独立地去排除,否则应报告指导教师,待故障排除后,才能恢复做实验。

(2) 关于读数 测量仪器从被测对象获得的信息以各种形式输出,最常见的输出形式是,在标尺上按指示器的位置得到读数。读数时要注意以下各点:

① 有效数字取位要合理,要读到有估读值的那一位。

② 读数时要注意消除视差。例如,在读取标尺示值时,眼睛要正对示值刻线的上方;在读取指针式仪表的示值时,眼睛要正对指针的上方;在用助视仪器读取线纹(谱线或条纹)的位置时,要将线纹的像调节到助视仪器的分划板平面上。

③ 读数时要有足够的耐心,尤其在重复性测量时,不要以为后面的数据一定和前面的数据相同。当指示器再次临近前面的数据时,不要迫不及待地记录读数,因为指示器可能还在缓慢地移动。要实事求是,不要编造所谓“重复性好”的假数据。

④ 读数出现异常时,立即停止测量。这时应检查测量仪器是否失调,环境条件是否发生了异常突变。如一时找不到原因,应及时报告指导教师。

(3) 关于数据记录 所有做过的实验都应该有完整的原始记录,它是记载物理实验全部操作过程的基础性资料。

① 用专用的原始记录纸记录实验数据,注明实验日期、实验题目、仪器编号以及操作过程中出现的异常现象等,有时还要记下天气、室温、大气压、湿度等环境条件,实验所用仪器装置的名称型号、规格、编号和性能情况以及被测量样品的号码或其他标记等,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。

② 实验数据应记录在表格里。有些同学喜欢将一组数据堆砌在一个地方,将另一组数据堆砌到另外一个地方,到写实验报告时再去整理,这样做很容易造成遗忘和错乱。事先将数据表画好,每次读到一个数据,就把它填写到数据表内相应的空格中,可以使实验者始终保持清醒的头脑,随时知道已经测量了什么,还应测量什么。学会根据测量内容来绘制数据表,也是科技工作者必备的基本技能。如果在一个实验中,有两组以上的数据,则应绘制两