



新世纪高等院校物理教材

引导性物理实验

王雪珍 蒋剑莉 刘凤 主编



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

引导性物理实验

主编 王雪珍 蒋剑莉 刘凤

贵州师范学院内部使用

东南大学出版社

· 南京 ·

内 容 提 要

本书是编者在对学生做了充分的问卷调查和多年的教学实践基础上,选取了力、热、电、光各三个基础性实验作为主要内容,同时还包括引言、误差理论初步。书中既有基础性较强的实验,比如固体密度的测量、伏安法测量电阻;也有实验现象很显著的实验,比如液体表面张力的测量、用分光计测玻璃三棱镜的折射率;考虑到学生在高中阶段时牛顿力学基础较为扎实,在书末设置了一个开放性力学实验,学生可在气体力学综合实验平台上自行设计实验内容。不同于其他同类教材,本书在每个实验开头编写了“实验导读”,可使学生充分了解该实验在高中物理实验和大学物理实验中的衔接作用;同时,为提高课堂效率,每个实验都提供了电子课件,大部分实验还提供了操作视频,可扫描实验末的二维码获取。

本书可作为高等学校理工科专业的学生学习引导性(预备性)物理实验课程的教材,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

引导性物理实验 / 王雪珍,蒋剑莉,刘凤主编. —

南京:东南大学出版社,2019.12

ISBN 978-7-5641-8677-7

I. ①引… II. ①王… ②蒋… ③刘… 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(2019)第 278010 号

引导性物理实验 Yindaoxing Wuli Shiyan

主 编 王雪珍 蒋剑莉 刘 凤

出版发行 东南大学出版社

社 址 南京市四牌楼 2 号(邮编:210096)

出 版 人 江建中

责任编辑 吉雄飞(025-83793169,597172750@qq.com)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 虎彩印艺股份有限公司

开 本 700mm×1000mm 1/16

印 张 7.75

字 数 117 千字

版 次 2019 年 12 月第 1 版

印 次 2019 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5641-8677-7

定 价 25.80 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系,电话:025-83791830。

序 言

对理工科学生来说,物理无疑是一门非常重要的基础课程。物理学是一门实验科学,物理实验在物理学的产生、发展和应用过程中起着重要作用。大学物理实验是本科生入学后接触到的第一门实践类课程,但大一新生物理实验基础参差不齐,部分学生不太熟悉一些基本物理仪器,比如游标卡尺、螺旋测微器、电表的使用方法;没有接触过一些基本的实验测量方法,比如比较法、逼近法;不太了解一些基本的实验数据处理方法,比如列表法、作图法;同时,他们也缺乏基本实验素养的训练。如此对于一些学生而言,他们可能无法顺利进行大学物理实验课程的学习。为缩小来自不同地区和学校的学生在物理实验基础上的差距,提高大学物理实验课堂效率,夯实理工科学生的物理实验基础,我们编写了本书。

我们在对学生做了充分的问卷调查和多年的教学实践基础上,选取了力、热、电、光各三个基础性实验作为本书的主要内容,同时还包括引言、误差理论初步。书中既有基础性较强的实验,比如固体密度的测量、伏安法测量电阻;也有实验现象很显著的实验,比如液体表面张力的测量、用分光计测玻璃三棱镜的折射率;考虑到学生在高中阶段时牛顿力学基础较为扎实,在书末设置了一个开放性力学实验,学生可在气体力学综合实验平台上自行设计实验内容。不同于其他同类教材,本书在每个实验开头编写了“实验导读”,可使学生充分了解该实验在高中物理实验和大学物理实验中的衔接作用;同时,为提高课堂效率,每个实验都提供了电子课件,大部分实验还提供了操作视频,可扫描实验末的二维码获取。

本书初稿由王雪珍和蒋剑莉编写。在初稿基础上,蒋剑莉修改了实验1~3;刘凤修改了误差理论初步和实验6;司嵘嵘修改了实验4和

实验 7;冯波和王雪珍共同修改了实验 8 和实验 9;王雪珍修改了实验 5,实验 10~12,并新编了实验 13。王雪珍编写了引言部分,对全书进行了统稿,并对个别部分进行了修改。

本书可作为大一新生第一学期选修引导性(预备性)物理实验课程的教材,24 学时修完。在误差理论基础上,各学校可以根据实际情况从中选取 7~8 个实验进行教学。

限于编者的学术水平,本书难免存在错误和不妥之处,望同行老师和同学们在使用过程中提出宝贵意见,我们将在再版时加以纠正,不断完善。

编者

2019 年 9 月于南京

目 录

引言	1
误差理论初步	10
实验一 固体密度的测量	17
实验二 拉伸法测量金属丝的杨氏模量	26
实验三 用焦利氏秤测量液体表面张力	33
实验四 冷却法测量金属的比热容	40
实验五 混合法测量冰的熔解热	48
实验六 热电偶的定标	54
实验七 测量电阻的温度特性	61
实验八 万用表的使用和电表的改装	68
实验九 伏安法测量电阻	78
实验十 用分光计测玻璃三棱镜的折射率	84
实验十一 马吕斯定理的验证	91
实验十二 薄透镜焦距的测定	97
实验十三 利用气体力桌研究物体的运动	108
参考文献	118

引 言

“引导性物理实验”课程的开设可为高中物理实验基础较差的大一新生提供基本物理实验技能的培训,为其顺利过渡到“大学物理实验”课程奠定基础。作为工科院校学生,培养扎实的实验能力和良好的实验素养对后续课程的学习起着至关重要的作用,而这建立在熟练使用基础实验仪器和掌握基础实验技能的基础上。

一、引导性物理实验的基本内容

本课程从基础实验仪器的使用出发,结合高中物理实验,在对学生兴趣和基础进行充分调研的情况下开设 12 个涉及力、热、电、光的基础实验以及 1 个综合开放性实验,学生可在这 13 个实验中选取 7~8 个实验完成该门课程的学习。根据实验难度和自身基础,可单独或由 2 名学生共同完成 1 个实验,且每个实验 3 个学时。对于每个实验,希望学生能明确实验目的,理解实验原理和方法;能控制实验条件,会使用仪器,会观察、分析实验现象,会记录、处理实验数据并得出结论,会对结论进行分析和评价;能发现、提出问题,并制定解决方案;能运用已学过的物理理论、实验方法去处理问题,包括进行简单的设计性实验。通过这门课的学习,目的是让学生提高动手操作能力,掌握基本实验技能,养成规范有序的实验习惯及培养良好的合作精神。具体而言包括以下几点:

(1) 会正确使用一些基本仪器,包括刻度尺、游标卡尺、螺旋测微器、天平、秒表、弹簧秤、电流表、电压表、万用表、滑动变阻器、电阻箱、热电偶、分光计等。

(2) 会运用一些基本的实验测量方法,如逼近法、补偿法、替换法等。

(3) 认识误差问题在实验中的重要性;了解误差的概念,知道系统

误差和随机误差;知道用多次测量求平均值的方法来减小随机误差;能在某些实验中分析误差的主要来源(不要求计算误差)。

(4) 知道有效数字的概念,会用有效数字表示直接测量的结果(间接测量的有效数字运算不作要求);熟练掌握三种基本的数据处理方法,即列表法、作图法和逐差法。

本书选取的 13 个实验主要涉及基本工具的使用、基本方法的运用和一些常见现象的观察,具体需要掌握的知识点如表 1 所示。

表 1 本书所选实验的主要知识点

序号	实验名称	基本工具的使用	实验测量方法	数据处理方法
1	固体密度的测量	游标卡尺、千分尺、物理天平	比较法	—
2	拉伸法测量金属丝的杨氏模量	刻度尺、千分尺	放大法	逐差法
3	用焦利氏秤测量液体表面张力	游标卡尺	逼近法	逐差法
4	冷却法测量金属的比热容	热电偶	比较法	—
5	混合法测量冰的熔解热	量热器	补偿法	作图法
6	热电偶的定标	热电偶	固定点法	作图法
7	测量电阻的温度特性	—	—	作图法
8	万用表的使用和电表的改装	电流表、万用表	替换法	—
9	伏安法测量电阻	电流表、万用表	伏安法	逐差法 作图法
10	用分光计测玻璃三棱镜的折射率	分光计、角度游标卡尺	逼近法	—
11	马吕斯定理的验证	光功率计	—	作图法
12	薄透镜焦距的测定	光具座	逼近法	—
13	利用气体力桌研究物体的运动	—	—	逐差法

二、引导性物理实验的上课流程

图 1 给出了本实验课的上课流程,图 2 给出了在各个环节需完成的实验报告(以“用分光计测玻璃三棱镜的折射率”实验为例)。下面我们针对流程图中的各个环节加以详细说明。

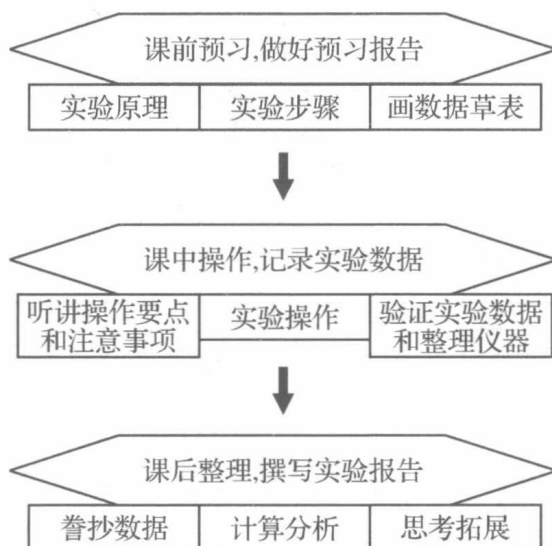


图 1 上课流程

用分光计测玻璃三棱镜的折射率

一、实验目的

- (1) 观察光的色散现象;
- (2) 通过观察分光计的调节了解分光计的作用和工作原理;
- (3) 了解最小偏向角的概念和利用其测量折射率的原理;
- (4) 学会使用分光计测量玻璃三棱镜的折射率。

二、实验仪器

分光计、汞灯、三棱镜。

三、实验原理

课前完成

四、实验内容与步骤

课前完成



课后完成

五、实验记录与处理

(1) 反射法测三棱镜顶角 A

次数	夹角 φ				$\varphi = \frac{ (\theta_2' + \theta_2'') - (\theta_1' + \theta_1'') }{2}$	$A = \frac{\varphi}{2}$	$\bar{A}$
	左游标 θ_1'	右游标 θ_1''	左游标 θ_2'	右游标 θ_2''			
1							
2							
3							

(2) 测量最小偏向角 $\delta_{\min}$

次数	入射光方位		截止方位		$\delta_{\min} = \frac{ (\theta_c' + \theta_c'') - (\theta_i' + \theta_i'') }{2}$	$\bar{\delta}_{\min}$
	左游标 θ_i'	右游标 θ_i''	左游标 θ_c'	右游标 θ_c''		
1						
2						
3						

(3) 计算折射率

$$n = \frac{\sin \frac{\bar{A} + \bar{\delta}_{\min}}{2}}{\sin \frac{\bar{A}}{2}} = \underline{\hspace{2cm}}$$



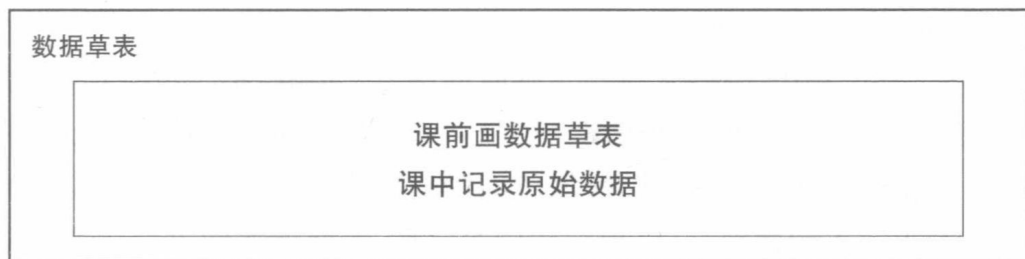


图2 实验报告各部分完成节点

1. 课前预习,做好预习报告

预习对于实验课来讲是至关重要的。只有在实验之前掌握实验原理、了解实验仪器、知晓实验内容,才能在实验过程中充分发挥主观能动性,才能在完成实验任务的同时培养发现问题、解决问题的能力。因为实验常较基础理论复杂,并且在实验过程中会出现一些意想不到的问题,需要我们具有坚实的理论基础和细致的观察力才有可能发现并解决这些问题,从而逐步形成我们的创新能力。

无论是引导性物理实验,还是大学物理实验,预习报告都是要求完成实验报告册中实验原理和实验步骤部分,了解实验内容,并将数据表格画在数据草表页,供课上记录实验数据时使用。实验原理部分要求我们在仔细阅读教材以及相关扩展资料(可通过二维码或上网查阅)并理解的前提下加以总结,提炼文字内容和相应要点(包含一些重要的图以及公式),同时要保证完整性;在充分了解实验内容的基础上,实验步骤部分可适当简练;最后将数据表格中的原始数据部分或将整个数据表格画于数据草表页。需要说明的是,课中记录的数据不可直接写在数据表格部分,必须先填入数据草表页的草表中,这样可避免正式实验报告的数据表格部分出现涂改。

2. 课中操作,记录实验数据

课中的实验时间是2~3小时,其中指导老师讲解的时间约为半个小时,大部分时间都用来进行具体的实验操作。在操作之前务必仔细听讲每个实验的操作要点和注意事项,然后严格按照实验规范进行实验。对于电路实验,必须确保线路正确后才能合上开关;对于光学实验,切记

不可对着强光直接观察。

在实验过程中,有任何疑点可随时向指导老师提问。必须保证实验数据的真实性,严禁抄袭和伪造数据(一旦发现,当次实验成绩以零分计)。实验时如果两人一组,则每位同学必须分工明确,切忌其中一人“袖手旁观”“不劳而获”。完成实验内容之后,需将原始数据交由指导老师查阅;待指导老师确认数据合理,并在报告封面相应位置签字后方可认为完成实验任务。然后,回到座位整理好实验器材,关掉电源,摆好凳子,再到讲台上登记实验仪器使用情况,之后才能离开实验室。

3. 课后整理,撰写实验报告

课后需及时整理实验数据,将数据草表上经指导老师确认无误的数据填入正式数据表格中,并完成相应的数据处理任务;同时,就该实验结果进行分析和拓展思考。

大学阶段的物理实验数据处理不同于高中阶段,需要运用误差理论对数据进行分析 and 处理。本书下一章给出了误差理论初步知识,需要我们了解误差理论一些基本的概念,比如误差、相对误差、有效数字和作图法等。此后,无论是记录数据、处理数据,还是表示最终的结果,均应严格按照误差理论初步知识部分给出的规范要求进行。

一份好的实验报告是我们撰写一篇高质量科技文章的基础,同时撰写实验报告还可以锻炼我们的写作能力和总结工作的能力,而这种能力对我们将来从事任何工作都是大有裨益的。

三、物理实验报告的规范性和常见错误解析

这里,我们以几份具体的实验报告为例来说明。

1. 实验原理部分的描述

实验原理部分需要结合教材上的描述,力求完整、简洁、条理清楚、要点齐全,并需包含重要的公式和图。下面左边的二维码提供了两个不当原理描述示例,其中一个缺少主要公式,另一个原理描述不完整,整体略显不整洁。



原理描述分析
示例(文档)



规范和不规范步骤
描述示例(文档)

2. 实验步骤方面的描述

对于实验步骤,在未做实验之前我们可能体会不深,但随着互联网教育的发展,无论是教材还是网上资源都比较丰富,可在实验之前通过这些资源学习实验内容,事先总结步骤。规范与不规范的实验步骤描述示例请扫描上面右边的二维码获取。

3. 实验数据处理方面的问题

实验数据处理方面的问题较多,主要体现在以下三个方面:

(1) 原始数据和结果的有效数字位数不当

在记录原始数据时,有效数字的位数需遵从仪器的精度;在表示测量结果时,有效数字位数的确定则隐含了测量结果的精确度。因此,原始数据和结果的有效数字位数不可随意添加和舍去。对于计算结果来说,其有效数字位数需遵从有效数字的运算规则。当然,在引导性物理实验阶段,我们尚未涉及有效数字的运算规则,但应该明了每一个具有明确物理意义的测量结果的有效数字位数具有一定的规范要求。下面的二维码给出的示例显示“原始数据的有效数字位数不当”以及“结果表示的有效数字位数不当”。



有效数字分析示例(文档)

(2) 不携带物理量单位

物理实验不同于数学计算,其数值大小取决于单位的选取,因此严格来讲没有携带单位的数据不能称之为一个物理量。然而,实验报告中不携带单位的现象还是时有发生。

(3) 作图不规范

作图法的基本步骤参见下一章误差理论初步。作图法是物理实验课程(包括引导性物理实验、大学物理实验、近代物理实验等)中一个非常重要的数据处理方法,也是实验报告中最容易出现问题的一个环节。

作图的不规范性主要体现在以下几个方面:

- ① 通过实验点代入,而不是通过图本身得出相应参数;
- ② 通过实验点画折线;
- ③ 坐标轴不规范(坐标分度不合适、分度值有效数字不当、坐标轴没有标明物理量单位、坐标轴取值范围不合适);
- ④ 拟合直线或曲线不光滑;
- ⑤ 没有图名。

很多同学不能真正理解作图的意义,为了作图而作图,而不是通过作图来达到相应的目的。作图的宗旨是通过大量个体获得一种总体规律,而这个规律体现了两个物理量之间的制约关系。通常的制约曲线往往是光滑的,因此通过实验点描折线是一种背离作图宗旨的完全错误的做法。

在理解了作图的意义之后,我们需要规范作图的要点,包括坐标轴的规范性、曲线的光滑度,以及图名和一些重要的参数说明。下面的二维码给出了不规范作图示例及解析。



作图不规范分析示例(文档)

4. 其他问题

在实验报告中还会出现的问题包括实验报告涂改严重、所得结果并非原始数据计算结果、未将草表上的原始数据誊抄到数据表格里等等。

下面的二维码给出了一份规范的实验报告示例。一份规范的实验报告有助于我们更加深入地总结实验,展现实验结果,更好地与同行沟通交流。希望同学们在引导性物理实验阶段能有一个良好的开端,为后续学习大学物理实验课程以及专业实验课程奠定良好的基础。



规范的实验报告示例(文档)

误差理论初步

一、误差理论基础

1. 测量与误差的关系

物理实验离不开测量。测量分为两种：由仪器直接读出测量结果的叫做直接测量；利用直接测量的量与待测量之间的已知函数关系，经过运算才能得出结果的叫做间接测量。每一个待测物理量在一定实验条件下具有确定的大小，称为该物理量的真值。在实际测量中，由于测量方法不完善，以及所依据的理论不严密、实验仪器分辨率或灵敏度的局限、实验环境不稳定、实验者感官灵敏度有限等原因的影响，测量结果不可能绝对准确。我们将待测物理量的真值与测量值之间的偏差称为测量误差，即

$$\text{测量误差} = \text{测量值} - \text{真值}$$

误差反映了测量值偏离真值的大小和方向。测量与误差是形影不离的。

2. 系统误差和随机误差

测量误差根据其性质，分为系统误差和随机误差两种。

系统误差是指被测物理量在同一测量条件下的多次测量中，保持恒定或以可预知的方式变化的测量误差的分量。系统误差的产生原因主要是实验方法不够完善、实验仪器存在固有缺陷以及实验环境偏离标准条件等。例如，伏安法测电阻时未考虑电表内阻的影响、电表的示值不准或零点未调好、仪器使用环境的温度或压强偏离标准条件等。其基本特点是具有确定性，即相对于真实值而言，实验结果总是偏大或偏小。

我们可以通过改进实验方法、提高实验仪器的测量精确度等方法来减小系统误差。

随机误差是指在同一被测物理量的多次测量中,以不可预知的方式变化的测量误差的分量。随机误差由各种偶然因素对实验者和实验仪器的影响而产生。例如,用刻度尺多次测量长度时估读值的差异、电源电压的波动引起的测量值微小变化等等。其基本特点是具有随机性,即多次重复同一测量时,随机误差有时偏大,有时偏小,且偏大和偏小的机会比较接近。我们可以通过多次测量取平均值来减小随机误差。

3. 绝对误差和相对误差

一个测量结果的优劣常用绝对误差和相对误差来反映。绝对误差是测量值与真值之差,即

$$\text{绝对误差} = \text{测量值} - \text{真值}$$

它反映了测量值偏离真值的大小和方向。相对误差等于绝对误差的绝对值与真值之比,即

$$\text{相对误差} = \frac{|\text{绝对误差}|}{\text{真值}}$$

它常用百分数表示,反映了误差的严重程度。评价两个测量值优劣时,必须考虑相对误差,而绝对误差大者,其相对误差不一定大。

二、有效数字

任何物理量的测量结果都有一定的精度限制,因此测量结果的数字不需要无限制地写下去,而是采用有效数字方法来表示。一般有效数字由若干位准确数字和一位可疑数字构成。

1. 有效数字的位数

从左侧第一个不为零的数字起到最末一位数字止,共有几个数字,就是几位有效数字。例如,0.0923,0.09230,2.0140 有效数字的位数依次为 3 位、4 位和 5 位。

2. 有效位数与十进制单位的换算

有效数字的位数与十进制单位的换算无关。例如