



全国高等农林院校“十一五”规划教材

大学物理实验

徐 秋 李士军 主编

 中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

(科学出版社北京) 徐秋 李士军 主编

大学物理实验

(学大农业林吉) 李士军

(科学出版社北京) 徐秋 李士军 主编

(科学出版社北京) 李士军

(科学出版社北京) 李士军

(科学出版社北京) 李士军

(科学出版社北京) 李士军

(学大农业林吉) 李士军

(科学出版社北京) 李士军

(学大农业林吉) 李士军 审主

(科学出版社北京) 李士军

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理实验 / 徐秋, 李士军主编. —北京: 中国农业出版社, 2007. 1

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-11024-3

I. 大… II. ①徐…②李… III. 物理学-实验-高等学校-教材 IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 150640 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 卫 洁

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 12.25

字数: 213 千字

定价: 17.00 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

本书结合高等农林院校理、工、农科各科类专业大学物理实验特点,在保留经典的传统实验基础上,增加了部分综合性实验及近代物理实验;为开发学生自主学习和创新研究能力,编写了近 20 个设计性实验;为拓展学生的视野,在基础实验中有选择地编写了两种常用仪器和实验方法,便于不同仪器配备的各院校选用。

本书可作为高等农林院校理工类和生命科学类各专业以及普通院校和师范院校非物理专业大学物理实验教学用书,也可作为从事实验教学的教师和工程技术人员的参考书。

主 编 徐 秋 (河北科技师范学院)

李士军 (吉林农业大学)

副主编 王鸿雁 (河北科技师范学院)

史焕芝 (吉林农业大学)

霍印林 (河北科技师范学院)

参 编 (以姓氏笔画为序)

王晓昱 (河北科技师范学院)

任海良 (河北北方学院)

刘宝海 (河北科技师范学院)

杨栋梁 (吉林农业大学)

韩宝亮 (河北科技师范学院)

主 审 刘雅娟 (吉林农业大学)

额尔敦朝鲁 (河北科技师范学院)

前言

社会的进步、科学技术的发展,加速了高等学校大学物理实验教学改革的发展与更新,为适应改革发展的需要,编者借鉴国内外同类教材的经验,将基础实验、近代物理实验、综合性实验和设计性实验有机结合构成本书基本框架,本书是高等农林院校“十一五”规划教材之一。

本书结合高等农林院校理、工、农各科类专业的大学物理实验特点,在保留经典的传统实验基础上,增加了部分综合性实验及近代物理实验;为开发学生自主学习和创新研究能力,编写了20个设计性实验;为拓展学生的视野,在多项基础实验中编写了基于两种常用仪器的两种不同实验方法,可以满足不同仪器配备的各院校理工类和生命科学类的各专业的教学选用。

本教材由徐秋、李士军主编,具体分工如下:徐秋担任策划和统稿工作、编写了绪论、第一章、实验2.4、实验2.14、实验2.16、实验2.17、实验2.22、实验3.2、实验3.6、实验3.8、实验4.2、实验4.10、实验4.11、实验4.12、实验4.13和附录1~8;李士军担任策划与统稿工作、编写实验2.1、实验2.8、实验2.13、实验2.19、实验3.14、实验4.1、实验4.3、实验4.8、实验4.9、与徐秋合作编写第一章;王鸿雁协助徐秋担任部分统稿工作,编写实验2.7、实验2.9、实验2.10、实验3.5、实验3.10、实验3.11、实验3.12、实验4.7、实验4.17;史焕芝协助李士军统稿工作,编写实验2.12-2、实验2.15、实验2.21、实验3.3、实验3.13和实验4.4;霍印林协助徐秋统稿和部分项目电子插图绘制工作,编写实验2.2、实验2.12-1、实验3.7、实验4.5、实验4.14、实验4.19、实验4.20;韩宝亮编写实验2.2、实验2.3、实验2.5、实验2.6、实验2.11、实验2.23和附录12;王晓昱编写实验2.18、实验3.1、实验3.10和附录9、附录10,并协助徐秋统稿;任海良编写实验4.10、实验4.16,并与刘宝海合作编写实验3.1;杨栋梁编写实验2.20、实验3.4、实验3.9和实验4.6;刘宝海编写实验4.15、实验4.18、实验3.1和附录11,并与王鸿雁

合作编写实验 4.17。

本书由刘雅娟、额尔敦朝鲁主持审定。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请教师和读者不吝指正。

编者

2006 年 8 月

目 录

前言

绪论..... 1

第一节 大学物理实验的地位与作用 1

第二节 大学物理实验课的任务 1

第三节 物理量的几种测量方法 2

第四节 物理实验课的基本程序 5

第一章 误差理论与数据处理简介 8

第一节 测量与误差 8

第二节 随机误差的估算与测量结果表示 11

第三节 间接测量的误差估算 13

第四节 测量结果的评定和不确定度 17

第五节 有效数字及其运算 22

第六节 实验数据的图表表示法 25

第二章 基本实验 32

实验 2.1 单摆 32

实验 2.2 长度测量 34

实验 2.3 密度的测定 39

2.3-1 规则固体密度的测定 39

2.3-2 不规则固体和液体密度的测定 40

实验 2.4 用自由落体法测定重力加速度 42

实验 2.5 转动惯量的测定 45

2.5-1 用恒力矩转动法测定刚体的转动惯量 45

2.5-2 用扭摆法测定转动惯量 48

实验 2.6 液体表面张力系数的测定 51

2.6-1 用毛细管法测定液体的表面张力系数 51

2.6-2 用焦利秤法测液体的表面张力系数 53

实验 2.7 液体动力黏度的测定	56
2.7-1 用落球法测液体的动力黏度	56
2.7-2 乌氏毛细管黏滞器法测动力黏度	58
实验 2.8 数字式万用表的使用	60
实验 2.9 静电场的模拟与描绘	62
实验 2.10 用电位差计测量电动势	65
实验 2.11 杨氏模量的测定	69
实验 2.12 霍耳效应法测定螺线管轴向磁感应强度分布	72
2.12-1 测定螺线管轴向磁感应强度分布	72
2.12-2 测定点的磁感应强度	76
实验 2.13 示波器的原理与使用	79
实验 2.14 薄透镜焦距的测定	88
实验 2.15 用双棱镜干涉法测光波波长	92
实验 2.16 用劈尖干涉法测微小厚度	95
实验 2.17 牛顿环的测定	97
实验 2.18 单缝衍射光强分布的测定	99
实验 2.19 分光计的调整与使用	102
实验 2.20 衍射光栅	106
实验 2.21 布儒斯特角的测定	108
实验 2.22 照相技术	110
实验 2.23 暗室与扩印技术	115
第三章 综合性实验与近代物理实验	121
实验 3.1 电表的改装与校准	121
实验 3.2 线性电阻和非线性电阻的伏安特性曲线	124
实验 3.3 用非平衡电桥测量温度	128
实验 3.4 温度自动控制	130
实验 3.5 固体线膨胀系数的测定	132
实验 3.6 夫兰克-赫兹实验	135
实验 3.7 密立根油滴实验	140
实验 3.8 光电效应法测定普朗克常数	145
实验 3.9 音频信号光纤传输技术	148
实验 3.10 气轨上简谐振动研究	150
实验 3.11 迈克耳逊干涉仪的原理与使用	152

实验 3.12	不良导体导热系数的测量	154
实验 3.13	声速的测定	158
实验 3.14	液体黏滞系数随温度变化的研究	161
第四章	设计性实验	164
实验 4.1	不确定度分配和实验仪器的选择	167
实验 4.2	红外光电自动控制设计与组装	168
实验 4.3	欧姆表的组装	168
实验 4.4	重力加速度的研究	168
实验 4.5	变阻器的使用与电路控制	169
实验 4.6	硅光电池特性的研究	169
实验 4.7	RC 串联电路暂态过程的研究	170
实验 4.8	光栅特性的研究	170
实验 4.9	超声光栅的构建与观察	171
实验 4.10	组装望远镜和显微镜	171
实验 4.11	用电谐振法测膜层厚度	172
实验 4.12	用干涉法测量载流康铜丝的温度	172
实验 4.13	用补偿法测电源的电动势和内阻	173
实验 4.14	测量中心不规则薄板的表面积	173
实验 4.15	单相桥式整流及 Π 型滤波电路	174
实验 4.16	补偿法、电桥伏安法测电阻	174
实验 4.17	用霍尔器件测量地磁水平分量	175
实验 4.18	温度传感器的设计与应用	175
实验 4.19	电炉丝电阻率测量的设计	175
实验 4.20	微小电阻的测定的设计方案	176
附录		177
附录 1	常用基本物理常量	177
附录 2	在 20 °C 时常用品体和液体的密度	177
附录 3	在标准大气压下不同温度的水的密度	178
附录 4	在海平面上不同纬度处的重力加速度	179
附录 5	在 20 °C 时与空气接触液体的表面张力系数	179
附录 6	不同温度下与空气接触的水的表面张力系数	179
附录 7	不同温度下水的动力黏度	180

附录 8 常用液体的动力黏度	180
附录 9 液体的比热容	180
附录 10 物质的导热系数	181
附录 11 常用光源的谱线波长	182
附录 12 几种常用的黑白片显影液、定影液配方	182

参考文献	184
------------	-----

绪 论

第一节 大学物理实验的地位与作用

物理学是以实验为基础建立起来的学科，是一门实验科学。实验的作用不仅表现于通过实验发现物理规律，还表现于物理理论的正确性和普遍性必须由多方面的大量实验事实来证实。在近代物理发展中常以假说的形式提出理论，假说的提出虽然是以某些实验事实为基础，但还不能认为是真理，只有通过大量实验的证实才能成为科学理论，而一些实验问题的设计、分析和概括还必须应用已有的理论。总之，物理学是在实验和理论两方面相互推动和密切结合中发展起来的。

在大学阶段的物理实验理论和技能的基本训练是终身受益的教学环节，将物理实验技术知识渗透到其他学科，符合培养学生各方面素质全面发展的要求。著名的物理学家麦克斯韦对物理实验的教育功能早有阐述，他说：“这门课程，除了在实践中保持在大学里长期培养的注意力和分析力外，也促进学生锤炼自己观察的敏锐和动手操作的能力。”物理实验在能力培养、素质培养方面具有不可替代的作用。因此，各学校对物理实验都很重视。在学习物理学时，必须正确处理好理论课和实验课的关系，两者具有同等的重要性。

物理实验有它自己的特点和规律，有它的一整套实验理论、方法和技能。例如，测量误差及其计算、测量数据的处理等都是专门的学问，因此，实验也是一门科学。要掌握好这门实验科学，需要通过认真地进行实验，由浅入深，由简到繁地加以培养和锻炼，逐步提高对实验重要性的认识，有意识地培养自己良好的实验习惯，实事求是地按科学方法处理实验中的问题。

第二节 大学物理实验课的任务

大学物理实验课是大学生接受系统的实验技能训练的开端，是后续实验课程的基础。大学物理实验课的任务是：

1. 在具有一定的物理知识和中学物理实验的基础上，使学生在物理实验的基本知识、基本方法和基本技能方面得到较系统的、科学的训练。具体内容是基本物理量的测量原理和方法，基本仪器的合理选择和正确使用，误差和有

效数字的运算,数据处理和实验结果的分析、判断以及写出实验报告等,从而使使学生具有初步科学实验的能力。

2. 培养并逐步提高学生观察和分析实验现象的能力、理论联系实际的独立工作能力和创造能力。通过对实验现象的观察、测量和分析,掌握实验理论的基础和验证理论的正确方法,从理论和实验的结合上加深对物理基本概念、规律和理论的理解。

3. 培养严肃认真的工作作风,实事求是的科学态度和协作精神;培养爱护国家财产、遵守纪律的良好品德。

以上物理实验课的三项任务,是理论课所不能代替的。作为一个合格的大学生在素质上必须具备较深广的物理理论知识和较强的物理实验能力。因此,学好物理实验课是早期渗透和培养科研素质的需要。

第三节 物理量的几种测量方法

在大学物理实验中物理量的测量方法种类繁多,究其共性可以概括出一些基本实验方法,如比较法、模拟法、放大法、补偿法、混合法和仿真法等。

一、比较法

物理量的测量、实验多数是采用比较的方法。比较的方法简称比较法,是将被测量与标准量进行比较而得出测量值的。比较法可分为直接比较法和间接比较法两种。

(一) 直接比较法

将待测物理量与经过校准的仪器或量具进行直接比较,读出其大小的方法称为直接比较法。直接比较法所使用的测量仪表,通常是直读式仪表,直接比较法所测量的物理量,一般为基本量。

广义地说,零示测量也属于直接比较法的范畴。当两个物理量大小相等或者成某一比例时,用一个指零仪表加以判别,这就是零示测量。

零示比较测量的典型实例是用天平测量物体的质量。被测物体的质量与砝码质量相等的判据是天平的指针是否指零。

用零示法进行比较测量的另一个典型例子是电桥。当惠斯通电桥的四个桥臂上的电阻关系满足平衡公式时,电桥达到平衡,检流计的指示为零。由惠斯通电桥可改为交流电桥,用于测定电容、电感和其他交流参数的大小。电桥是有效的零示比较测量仪器。直接比较的零示测量,是基本的测量方法,也是验

证物理规律的重要手段。

(二) 间接比较法

当一些物理量无法进行直接比较测量时,可以利用物理量之间的对应关系,将被测物理量转换为能与已知标准量进行直接比较的另一种物理量的方法,称为间接比较法。例如,电流表就是利用电磁力矩与机械力矩平衡时,电流大小与电流表指针偏转量之间的对应函数关系制成的,测量时可用电流表指针的偏转间接比较出电流强度。

间接比较法的巧妙构思在于把无法直接比较的量转换成可以比较的量,把不可测的量转换成可测的量,把不易测准的量转换成容易测得很准的量。用阿基米德原理测量不规则物体的体积就是典型例子。

二、模拟法

模拟法是一种间接的测量方法。模拟法是以相似理论为基础,在实验室中模仿物理现象或过程,制造一个与研究对象的物理现象或过程相似的模型来进行研究的方法。它是一种对研究对象的物理属性或变化规律进行综合研究的实验方法。

当由于测量仪表的介入而可能对研究对象产生干扰时,也可用模拟法仿造一个不受干扰的研究对象,对研究对象进行间接测量。

模拟法能使现象重现,可以重复所需要研究的过程,也可以很方便地改变某个因素,进行单因素或多因素的交叉试验,以取得比较准确的数据。模拟法按其性质可分为物理模拟和数学模拟两类。

(一) 物理模拟

物理模拟是人为制造的模型与实际研究对象保持相同物理本质的模拟。例如,研制设计新型的飞机。通常是用按比例缩小了的飞机或部件在风洞中进行模拟,在较短的时间内以较小的代价获取关于机身各处产生的层流、涡流或其他数据,掌握飞机在空中高速飞行时的动力学特性。物理模拟也可以对某些科学推测进行研究。

(二) 数学模拟

数学模拟是对两个具有相同数学形式、不同物理本质的物理现象或过程的模拟。例如,研究静电场直接测量是相当困难的。电流场与静电场虽然是两种不同的场,然而它们所遵循的规律在形式上相似,具有相同的数学形式,那么,利用其相似性,用容易测量的电流场研究代替不容易进行测量的静电场的研究,这属于数学模拟的方法。

运用模拟法要注意两个问题：一是要找到对应的物理量或物理规律，二是要满足一定的物理条件。

三、放 大 法

在物理量测量中，对那些难以用普通测量仪器进行准确测量的微小量，在一定的测量条件下，增加被测物理量的有效数字，降低测量误差而采用的扩展、延伸、倍增或累加被测物理量的方法叫放大法。根据扩展、延伸、倍增或累加的不同方式，可以把放大法分为机械放大法、光学放大法和电子放大法。

(一) 机械放大法

机械放大是物理实验、工程技术以及日常生活中经常采用的直观的一种放大方法。

例如，测量薄如纸张的金属片厚度，直接用螺旋测微计难以得到较多的有效位数。如果把 100 张同样的金属薄片叠在一起，测量其总厚度再除以 100，有效位数就增多了，测量的相对误差也相应地减少了。

在长度测量实验中所使用的螺旋测微计，其测微原理就是一种典型的机械放大。在用劈尖干涉测量微小厚度、牛顿环测量透镜曲率半径等实验中所使用的读数显微镜的测微装置，实际上就是利用机械放大原理制成的螺旋测微计。

机械放大法中有两个重要的物理思想：一个是展延，另一个是累加。它们在物理测量和工程技术中获得了广泛应用。

(二) 光学放大法

1. 视角放大法。由于人眼分辨率的限制，当被测物对眼睛的张角小于 $1'$ 时，人眼将不能分辨被测物体的细节。利用放大镜、显微镜、望远镜的视角放大作用，可增大被测物体对眼的视角，使人眼能看清物体，提高测量精度。这种使被测物体通过光学仪器形成放大像来观察测量的方法叫视角放大法。

2. 角放大。根据光的反射定律，入射于平面反射镜的光，当平面镜转过 θ 角时，反射光相对原入射方向转过 2θ 角，每反射一次使将变化的角度放大一倍，这相当于一只无质量的甚长指针——光指针。光的几次反射大大加长了光指针的长度。由此构成的镜尺结构，可使微小转角得以明显的显示。这种利用光学装置将待测微小物理量进行间接放大，获得微小物理量的测量方法叫角放大。

在用伸长法测金属丝的杨氏模量实验中所使用的光杠杆属于典型的角放大实验装置。

(三) 电子放大法

在物理实验中往往需要测量微弱的电信号，或者用微弱的电信号去控制某

些机构的动作,必须用电子放大器将微弱电信号放大后才能有效地进行观察、测量和控制。电信号的放大可以是电压放大、电流放大或功率放大,可以是交流放大,也可以是直流放大。把电信号放大几个至十几个数量级已是不难的事了。

四、补偿法

在某一系统中,当调整与被测物理量有相应关系的同类标准物理量来补偿(或抵消)被测物理量的作用而使系统处于平衡状态时,依被测物理量与标准物理量的确定关系获得被测物理量大小的测量方法叫做补偿法。例如,可用电压补偿法弥补因用电压表直接测量电压时而引起被测支路工作电流的变化;用湿度补偿法可弥补因某些物理量(如电阻)随温度变化而对测试状态带来的影响;用光程补偿法可弥补光路中光程的不对称等。补偿法往往要与零示比较法结合使用,电位差计就是用补偿法精确测量电压和电动势的。

五、仿真法

在现代的物理实验中,利用计算机进行仿真实验,是一种新兴的实验方法。随着计算机的迅速发展与普及,计算机提供了强大的数学运算能力、绘图能力及存储能力。对于一些物理实验,可以先在计算机上进行模拟,快速调节各实验参数,综合数据进行结果分析,从而找出其中的一般规律。

以上介绍了在物理实验中得到广泛应用的几种基本测量方法。实际上,在物理实验中还有其它方法,而且各种方法往往是相互联系、综合使用、无法截然分开的。

第四节 物理实验课的基本程序

无论实验的类型和内容如何,也无论采用哪一种实验方法,物理实验课的基本程序大体相同,一般可以分为如下三个阶段:

一、实验前的预习

由于实验课的时间有限,而熟悉仪器和测量数据的任务一般都比较重,不允许在实验课内才开始研究实验的原理。如果课前不预习,实验时就不知道要

研究什么问题,要测量哪些物理量,需要哪些注意事项,也不了解将会出现什么现象,实验时不知所措,容易产生错误或发生事故。因此,为了在规定时间内,高质量地完成实验课的任务,学生必须做好实验前的预习。

预习的要求,应以理解本书所述的原理为主,对于实验的具体过程要求清楚主要步骤和注意事项,以便能够抓住实验的关键,做到较好地控制实验的物理过程或物理现象,及时、迅速、准确地获得待测物理量的数据。为了使测量结果眉目清楚,防止漏测数据,预习时应根据实验要求在预习报告册上做好准备记录原始数据的表格。表格上标明文字符号所代表的物理量及其单位,并确定测量次数。

二、实验操作

在了解仪器的工作原理和用法后,首先将仪器安装调整好,然后请教师检查后方可做实验。实验中要认真观察实验现象,仔细读取数据,并将原始数据及时记录,实验记录数据必须经教师签字认可。各个数据之间,数据与图表之间不要太挤,应留有间隙,以供必要时补充或更正。如果觉得测量的数据有错误,可在错误的数字上画一条整齐的直线;如果整段数据都错了,则画一个与此段大小相适应的“×”号。错误记录的数据不要用黑圆圈或黑方块涂掉。我们保留“错误”数据,不毁掉它,是因为这些“错误”数据有时经过比较甄别后竟然是对的。当实验结果与温度、湿度和气压有关系时,要记下实验进行时的室温、空气湿度和大气压等环境数据。

在两人或多人合作做一个实验时,既不要其中一人处于被动,也不要一个人包办代替,应当既有分工又有协作,以便共同达到预期的实验要求。

总之,测量实验数据时要特别仔细,以保证读数准确,实验数据的优劣往往决定实验工作结果的成败。未经教师同意重复实验绝不允许修改教师已签字后的实验数据。

三、撰写实验报告

实验报告是实验工作的全面总结,要用简明的形式将实验结果完整而又真实地表达出来。写实验报告时,要求文字通顺,字迹工整,图表规矩,结果正确,讨论认真。应养成实验完成后尽早将实验报告写出来的习惯。

完整的实验报告,通常包括下列几个部分:

一、实验名称;二、实验目的;三、简要原理或计算公式;四、仪器设