



全国高等农林院校“十一五”规划教材

大学物理实验

姜永超 主编

 中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

大学物理实验

姜永超 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理实验 / 姜永超主编. —北京: 中国农业出版社, 2006. 8

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 7-109-11066-4

I. 大... II. 姜... 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 083773 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)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 朱 雷

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 12.75

字数: 225 千字

定价: 17.30 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

本书介绍了有效数字运算、误差估算、实验数据处理方法和物理实验基本测量方法。精选了力学、热学、电磁学、光学和近代物理学具有普遍性和代表性的实验 33 个。其中既有基础性实验，又有综合性和设计性实验，实验原理叙述清楚，计算公式推导完整，实验方法运用恰当，实验步骤简明齐全，每个实验后还留有思考题。书中还介绍了常用物理仪器，书末附有常用的物理数据。

本书可作为高校农林类、生物类和工程类专业的大学生物理实验教材。

主 编 姜永超
副主编 黄树来 王雨生 徐进栋 薛艳丽
参 编 (按姓氏笔画排序)
于桂凤 王 娟 王建新 史晓凤
刘永萍 李 鹏 杨景东 袁淑立

前 言

物理学是整个自然科学的基础，是培养学生的科学思想、方法和态度并引发学生创新意识和能力的重要基础课。而物理学又是一门实验科学，无论是物理规律的发现，还是物理理论的建立都必须以严格的物理实验为基础，并受到实验的检验。当前，物理学的基础概念、物理实验技术和实验仪器被广泛地应用到自然科学的各个领域，所以，物理实验课程的开设对于培养学生严谨的科学态度和方法，理论联系实际、实事求是的工作作风以及独立工作、改革创新的能力起着非常重要的作用。为此，我们根据自己在农业院校长期讲授《大学物理实验》的经验，并结合全国部分农业院校教学改革的经验编写了此教材。

全书共分六章，第一章绪论，着重讲述有效数字、误差理论和实验数据处理方法；第二、三、四、五章分别为力学与热学、电磁学、光学、近代物理实验与设计性实验；第六章着重介绍常用实验仪器。

误差理论和数据处理方法是实验教学的重点和难点，本书不但在第一章中加以讲解，而且不同的实验要求用不同的方法（如逐差法、最小二乘法，列表、作图等）去处理实验数据。有的要求计算标准误差，有的则要求计算算术平均误差；有的实验给出了表格及计算公式，有的则要求学生自己完成，还有的实验要求学生自己设计，部分实验采用微机辅助。每个实验各有侧重，能够有的放矢地对学生进行综合能力的培养。这样，学生通过学习物理实验课，能对实验数据的处理方法得到较全面的练习，掌握各种测量方法和数据处理方法，为后续课的实验及科研打好基础。每个实验后面还附

有思考题，以增强学生边做边思考、手脑并用、分析问题、解决问题的能力。

本书由莱阳农学院姜永超、黄树来、王雨生、徐进栋、薛艳丽、王娟、杨景东、刘永萍、于桂凤、史晓凤、王建新、袁淑立、李鹏编写，姜永超任主编。编写过程中参阅借鉴了一些兄弟院校的经验，物理实验室官立基老师也给予了积极的配合，在此表示衷心的感谢。

书中有错误和不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2006年6月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 做好物理实验	1
第二节 有效数字	3
第三节 测量与误差	7
第四节 随机误差的估算	9
第五节 数据处理方法	13
第六节 物理实验的基本测量方法	22
第七节 实验规则	25
第二章 力学和热学实验	27
实验一 长度的测量	27
实验二 用单摆测重力加速度	33
实验三 用刚体转动惯量仪测转动惯量	37
实验四 测滑块的瞬时速度和加速度	41
实验五 验证动量守恒定律	44
实验六 验证牛顿第二定律	47
实验七 用毛细管法测液体的表面张力系数	49
实验八 用落球法测液体的黏滞系数	53
实验九 空气比热容比的测定	56
实验十 用量热器测液体的比热容	60
实验十一 用水介质加热法测定金属导体的电阻温度系数	62
第三章 电磁学实验	64
实验一 常用电学仪器的认识和使用	64
实验二 静电场的描绘	70
实验三 用惠斯登电桥测量电阻	74

实验四	用线式电位差计测量电池电动势	80
实验五	示波器的使用	84
实验六	霍尔效应	91
实验七	通电螺线管内的磁场分布	97
第四章	光学实验	102
实验一	测透镜的曲率半径	102
实验二	利用分光计测量光栅常数	106
实验三	偏振光的研究	114
实验四	单缝衍射光强	118
实验五	用小型读(摄)谱仪测定光的波长	123
实验六	黑白摄影及扩印技术	129
第五章	近代物理实验和设计性实验	137
实验一	迈克尔逊干涉仪	137
实验二	夫兰克-赫兹实验	142
实验三	氢原子光谱的测定	147
实验四	黑体辐射实验	154
实验五	欧姆表的组装	165
实验六	露点的测量	165
实验七	AD/DA 转换	166
实验八	恒温控制技术	167
实验九	CD 唱片道间距的测定	168
第六章	常用实验仪器和物理数据	169
第一节	常用实验仪器	169
第二节	国际单位制和常用物理数据	185

第一章 绪 论

第一节 做好物理实验

一、物理实验的地位和作用

物理学是一门实验科学，无论是物理规律的发现，还是物理理论的建立，都必须以严格的物理实验为基础，并受到实验的检验。物理学史清楚地表明，正是在实验和理论两方面相互推动和密切结合下，物理学才得以发展。

当前，物理实验技术和实验仪器被广泛地应用于科学技术和生产部门中。随着生命科学的发展，物理学的许多新技术，诸如光谱技术、波谱技术、热技术、X射线衍射技术、显微技术等，在生物科学和农业科学中得到日益广泛的应用。现代科学实验工作常与物理学中的基本测量有关，与常用的实验仪器、仪表和量具的使用有关，因此在进行任何复杂的实验工作之前，学生必须具有良好的实验基本功训练，否则要得到准确的实验结果，做出科学的判断是不可能的。通过物理实验，学生可以初步学到一些物理实验知识、方法和技能，获得实验基本功的良好训练。

人们所进行的实验和测量，目的在于研究自然界中所发生的量变现象，借以认识客观过程的规律，从而能动地改造世界。然而，由于各种原因，误差存在于一切测量之中，它常常会歪曲客观现象，因此有关数据处理、误差分析、结果表达等方面的知识是从事任何一门科学技术工作所不可缺少的。这些知识可以在物理实验课中得到初步的学习。

农业院校的物理实验课是学生进入大学后受到系统实验技能训练的主要基础课程之一，是后续课程的重要基础。因此，有意识地培养学生良好的实验习惯和科学的实验态度是物理实验课的重要任务。通过物理实验，培养严谨的、周密的，以实际结果为依据，理论与实际紧密结合的工作态度；认真细致、一丝不苟的工作作风；注意观察现象，寻求规律的良好习惯；爱护国家财产，遵守纪律的优良品德。

二、物理实验课的教学目的

农科物理实验课的教学目的是：

(1) 通过观察分析实验现象和测量物理量,学习物理实验基础知识,加深对物理现象和规律的认识,为后续课程打下基础。

(2) 学习物理实验的基本方法,进行实验的基本训练,使学生能够自行阅读实验教材或资料,做好实验前的准备;能够借助实验教材或仪器说明书,熟悉常用仪器的基本原理和性能,并能正确使用;学习和掌握基本物理量测量方法和进行具体测试;能够运用物理学理论知识对实验现象进行初步分析和判断;能够正确记录和处理实验数据,对结果的误差做出分析,写出合格的实验报告。

(3) 培养实事求是的科学态度和严格操作、严密思考的工作作风。

三、物理实验课的要求

物理实验课是一门实践性课程,上述教学目的能否达到,在很大程度上取决于学生的自我努力。在整个物理实验教学过程中,学生要使自己的思维处于积极状态,多想几个为什么,应当在自己独立工作的过程中增长知识,提高能力。

为了保证实验课的正常进行,提出以下要求:

1. 实验前

(1) 通过阅读实验教材,明确实验目的,了解实验原理,弄清实验内容,初步了解仪器的使用方法和注意事项,并对思考题进行认真思考,在此基础上写出预习报告。

(2) 预习报告主要包括实验中要观察的物理现象、计算公式、电(光)路图、数据表格等。

2. 实验时

(1) 认真听讲和积极讨论有关实验原理、实验要求、仪器使用和注意事项等问题。

(2) 认识和检查仪器是否完好,如有问题应及时向教师报告。

(3) 熟悉仪器的使用方法,根据操作规程正确安装和调整仪器,按实验程序进行实验。

(4) 认真观察实验现象,如实记录实验数据。实验中如发现问题,应及时请教教师,不要随意处理,可在实验报告中进行分析讨论。

(5) 如有新的想法或做选做实验,需向教师说明,经同意后方能进行。

(6) 实验完毕要及时整理数据,送教师审阅,并将仪器整理好,经教师同意后方能离开实验室。

(7) 严格遵守实验室规则, 维护实验室整洁, 爱护实验仪器。仪器如有损坏, 要及时报告教师, 凡属学生责任事故视情节酌情赔偿。

3. 实验后 认真书写实验报告, 字体要端正, 文字要简练, 数据要齐全, 图表要规范。实验报告除填写实验日期、姓名、班级、组别等项之外, 还应包括以下几个部分:

- (1) 实验名称;
- (2) 实验目的;
- (3) 实验仪器: 仪器的名称、型号, 必要时绘出仪器简图;
- (4) 实验原理: 简要原理及计算公式, 电路图或光路图;
- (5) 实验简要步骤;
- (6) 实验记录及数据处理;
- (7) 实验讨论: 必要的实验结果分析讨论, 完成作业题等。

第二节 有效数字

一、实验数据的读取

一般来说, 实验中的测量工作是将待测量与标准量相比较, 并求出其比值。这一测量过程可用公式表示为:

$$L = gu$$

式中, L 为被测量, u 为测量单位, g 为比值。在进行长度测量时, 只读取有明确刻度的数值是不够的, 还应应对最小刻度的后一位进行估计。如对图 1.2.1 所示的例子来讲, 不应将线段的长度只读为 11.3, 还应包括最小分度后一位的估计值在内, 而读成 11.34。

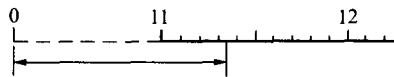


图 1.2.1 读数示例

我们定义凡能反映被测量大小的全部数字为有效数字, 并称包含 n 个能反映被测量大小的数字为 n 位有效数字。对图 1.2.1 中的测量长度值 11.34 来讲, 它是一个四位有效数字。同理, 对于测量值 1.3852 和 0.0038432 来讲, 就都是五位有效数字。规定 0.0038432 为五位有效数字的原因, 是因为其前面 N 个零只反映单位的大小, 而不反映测量量的大小, 例如, 对 0.0038432 m 可等效为 3.8432 mm。所以, 有效数字的位数是从第一个不为零的数字算起的。

当然并不是说零不是有效数字,例如 10.30 中的两个零,虽然其中一个在中间,一个处在末尾,但因为它们都反映被测量的大小,故都属有效数字。

读取测量数据时“应读到最小分度的后一位”,而这后一位又是凭估计得到的,它与前面几位不同,因此一个有效数字中的前面几位是确定的数(假定仪器本身是正确的),而最后一位是存疑的数,这是它与一般纯数学上的数不同的地方。

二、有效数字的运算

为获得实验结果,往往需要对测得的数据进行运算。如欲求长方形的面积,就要将测得的长度与宽度相乘;欲求两个线段的总长,就要将测得的两个线段求和等。既然在读取实验数据时,规定应保留且只保留一位存疑数,那么在有效数字的运算结果中,也规定只保留一位存疑数应该是合理的。这样既不会丢失在测量中所获得的信息,也不会因保留太多不必要的数字而增加麻烦。下面将分别介绍有效数字运算的基本规则。

1. 加减法 在几个有效数字相加(或相减)时,其“和”(或“差”)应保留的末位数,由原来相加数中最大的那个存疑数决定。例如从下面的竖式中可看出:

$$\begin{array}{r} 13.604 \underline{3} \\ + 15.4 \underline{3} \\ \hline 29.0 \underline{3} \end{array} \qquad \begin{array}{r} 29.860 \underline{7} \\ - 28.0 \underline{1} \\ \hline 1.8 \underline{5} \end{array}$$

13.604 3 + 15.43 应为 29.03 及 29.860 7 - 28.01 为 1.85。式中在每个有效数字的最末一位数的下面标一个符号“=”,表示该位是存疑的,显然“和”或“差”数中保留符号“=”以后的数是毫无意义的。

2. 乘除法 “当两个有效数字相乘时,其积的有效数位与两个相乘数中有效数位少的那个相同”。对这一规则的依据可从下面的竖式中看出。

$$\begin{array}{r} 2.323 \underline{5} \\ \times 2.2 \underline{2} \\ \hline 4647 \underline{0} \\ + 4647 \underline{0} \\ \hline 5.1 \end{array}$$

当然也能举出另外的例子来说明上述规定的不全面。如 4.332×3.1 则由竖式中可看出,

$$\begin{array}{r}
 4.332 \\
 \times 3.1 \\
 \hline
 4332 \\
 +12996 \\
 \hline
 13.4
 \end{array}$$

此时只能保留一位存疑数，应取 13.4。而积的有效数位就比乘数中最少的两位数多一位，这多取的一位是由进位得来的。所以将上述规定改为“当两个有效数字相乘时，如果没有进位，则积的有效数位与相乘数中有效数位少的那个数的位数相同，如有进位可多取一位”也是可以的。但考虑到在几个数相乘时，每次要判断有没有进位比较麻烦，且在相乘过程中，原有存疑数的存疑范围会相应的扩大，特别在几个数相乘时存疑范围还会更大，故统一规定，相乘时不管有没有进位，“积的有效数位与相乘数中有效位数少的那一个相同”还是合适的。同时为了不致丢失信息，在运算的过程中，常比规定多保留一位有效数字，是很必要的。

根据以上原则，对一些常用函数的有效数位的选取可按下面的规定进行。如：

乘方是两个相同的数自乘，故 x^2 的有效数字的数位与 x 相同。

除法是乘法的逆运算，故也应该按“两数相除时，其商的有效数位与两数中有效数位少的那个一样”。显然， $\sqrt{x}$ 的有效数位也应该与 x 的有效数位相同。

以上讲的是有效数字的运算规则，但除此之外，计算中还有一些数学常数与物理常数，它们的有效数位可以有很多位。例如数学常数 2，它就是一个有无穷位有效数位的数，与 2.000 0... 等效，所以 2.33 的两倍 2×2.33 显然其积应该等于 4.66，而不应只取一位数等于 5。除数学常数外还有一些物理常数，如 π 与 h (普朗克常量) 等，它们一般有很多位有效数字，但不是无穷位，所以对它们取不同的有效数位时，不能通过加或减一个零来处理，如对 π 取四位有效数字时，应取 3.142，而取五位有效数字时，就有 $\pi = 3.1416$ 。至于到底对它们取几位有效数字，要根据需要来定，一般常取其有效数位比与之参加运算的数多一位，如对 3.56 π 中的 π ，就应取四位。

三、数字的截尾规则

在处理数据时，经常要截去多余的尾数，一般截尾时以“尾数大于五进，

小于五舍，等于五时取偶”来定。这个原则比过去习惯规定的四舍五入的截尾规则更合理，这可由下面的分析看出。如按四舍五入来截尾时，数字 2 可能是由下面这列数 1.5, 1.6, 1.7, ..., 2.0, ..., 2.4, 2.5 截尾得到，平均正好是 2，截尾时尾数的进与舍机会均等，这就更合理了。

“逢五取偶”是为了避免重复而设的。例如对 2.444 45 这个数来讲，如按“逢五取奇”来取舍，则第一次要取五位有效数字，截尾后就应写作 2.444 5，第二次进一步截尾成四位有效数字时，将为 2.445，这就与直接截尾成四位数时所得的 2.444 相矛盾，故规定所需截去的尾数正好等于 5 时，截尾后的最后一位应取偶数。

根据以上的截尾规则，将下列数截去尾数成四位有效数字时，应有：

2.345 26→2.345, 2.345 50→2.346, 2.346 50→2.346, 2.346 501→2.347.

四、数字的科学记数法

在乘除和开方等运算中，对数字采用科学记数法常是比较方便的。所谓数字的科学记数法即是将数字分成两部分。第一部分表示有效数字，且书写时只在小数点前保留一位数，如写成 3.46, 5.894 等。第二部分表示单位，且以 10 的 n 次幂来表示，如写成 10^{-8} , 10^4 等。从下面的例子不难看出这种表示法的优点。

$$0.000\ 345 \div 139 \rightarrow 3.45 \times 10^{-4} \div 1.39 \times 10^2 = (3.45 \div 1.39) \times 10^{-6}$$

$$0.001\ 73 \times 0.000\ 013\ 4 \rightarrow 1.73 \times 10^{-3} \times 1.34 \times 10^{-5} = (1.73 \times 1.34) \times 10^{-8}$$

$$\sqrt{0.000\ 846} \rightarrow \sqrt{8.46 \times 10^{-4}} = \sqrt{8.46} \times 10^{-2}$$

练习

(1) 计算以下几个式子的结果

$$57.634\ 2 \times 1.8 =$$

$$(180.64 - 76.3) \div (11.82 - 10.93) =$$

$$18.64 + 22.36 \times 2.2 =$$

$$5.863\ 1 \times 2.34 - 11.54 =$$

$$(53.46 - 53.28) \div 53.46 =$$

(2) 将下列数据截尾成四位有效数字

$$15.643\ 2 \rightarrow$$

$$15.865\ 0 \rightarrow$$

$$63.451\ \text{kW} \rightarrow$$

$$0.015\ 844\ 9 \rightarrow$$

第三节 测量与误差

一、测 量

物理实验不仅要定性地观察各种物理现象,更重要的是找出有关物理量之间的定量关系,为此,就需要进行测量。测量的意义就是将一个待测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。选来作为标准的同类量称之为单位。一个物理量的大小是客观存在的,选择不同的单位,相应的测量数值就有所不同。单位越大,测量数值越小,反之亦然。根据《中华人民共和国计量法》规定,以国际单位制(SI制)为国家法定计量单位,即以米、千克、秒、安培、开尔文、摩尔、坎德拉作为基本单位,其他量都由以上七个基本单位导出,称为国际单位制的导出单位。

测量可分为两类:一类为直接测量,即用仪器和量具直接测出物理量的测量,如用尺量长度,以表计时间,以天平称质量等。另一类为间接测量,就是由几个直接测量量经过物理公式计算得出的量。如测某一电阻,可用电压表和电流表分别测出电阻两端的电压和通过电阻的电流,再利用欧姆定律求出;也可用欧姆表或电桥直接测量。前一种测量方法为间接测量,后者为直接测量。

在物理量的测量中,直接测量是一切测量的基础。不论直接测量还是间接测量,都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,才能得出应有的结果。因此,在实验过程中,一定要了解实验目的,正确地使用仪器,细心地操作、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。

二、误 差

物理量客观上有着确定的数值,称为真值。测量的目的就是要力图得到真值。然而在实际测量时,由于实验条件、实验方法和仪器精度等的限制,以及实验人员技术水平等原因,使得测量值与客观存在着的真值之间有一定的差值,测量值 x 与真值 x_0 的差值称为测量误差 δ ,简称误差,即

$$\delta = x - x_0$$

测量总是存在着一定的误差,误差自始至终存在于一切测量过程之中,这称为误差公理。所以,一个完整的测量结果应包括测量值和误差两部分。既然测量得不到真值,那么,怎样才能最大限度地减少误差,并估算出这误差的范

围呢？要回答这些问题，首先要了解误差产生的原因及其性质。误差按其产生的原因与性质可分为系统误差和随机误差两大类。

1. 系统误差 系统误差的特点是有规律性的，测量结果都大于真值，或者小于真值，或在测量条件改变时，误差也按一定规律变化，它来源于以下几个方面：

(1) 仪器误差。这是由于仪器本身的缺陷或分辨率限制或没有按规定使用仪器而造成的，如刻度不准、零点不对、天平不等臂、应该水平放置的仪器没有放水平等。

(2) 方法误差。这是由于实验理论和方法的不完善，所引用的理论与实验条件不符所引起的，例如测长度时没有考虑温度使尺长改变，量热时没有考虑热量的散失等。

(3) 环境误差。这是由于环境条件(温度、湿度、电磁场等)的变化带来的误差。如米尺是在 20°C 下刻度的，而测量是在 0°C 下进行的。

(4) 个人误差。这是由于实验者的生理或心理特点导致的习惯性引起的。例如有些人习惯于侧坐斜视读数；计时的时候，有的人习惯于偏早，有的人习惯于偏晚等。

系统误差的消除或减少是实验技能问题，应尽可能采取各种措施将它降低到最小程度。能否识别和降低系统误差与实验者的经验和实际知识有着密切关系。学生在学习过程中要逐步积累这方面的感性认识，结合实验具体情况对系统误差进行分析和讨论。由于系统误差的处理较复杂，本书不作讨论。

2. 随机误差(又称偶然误差) 在相同条件下重复测量同一物理量时，即使修正了系统误差后，每次测量出现的误差仍带有随机性，时大时小，时正时负，但在大量的重复测量中又服从一定的统计分布，即高斯分布，这种误差称为随机误差。它的来源有以下几方面：

(1) 判断误差。这是由于实验者在估读仪表最后一位读数时可能不准带来的误差。

(2) 外界干扰误差。偶然的外界干扰，如测量时由于人的来往引起的气流扰动或温度起伏，周围偶然出现的振动、噪声、电磁场等，使测量结果产生误差。

随机误差的表示方法有标准误差、平均误差等，它们的不同仅在于概率大小的不同，这些误差的估算方法将在下一节中具体介绍。对于初学者来说，首先需要的是建立误差概念以及学会对实验结果进行评价的简单方法。

在测量中还可能出现错误，如读数错误、记录错误、操作错误、估算错误等，错误已不属于正常的工作范畴，应当尽量避免。克服错误的方法除了端正