

五年制高等职业教育通用教材

技术物理基础实验与实训

卢灿华 主编



高等教育出版社

五年制高等职业教育通用教材

技术物理基础 实验与实训

卢灿华 主编
卢灿华 伍振铭 编

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

技术物理基础实验与实训/卢灿华主编. —北京:
高等教育出版社, 2005. 7
ISBN 7-04-016915-0

I. 技... II. 卢... III. 物理学-实验-高等
学校: 技术学校-教材 IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 058927 号

策划编辑	段宝平	责任编辑	段宝平	封面设计	李卫青
责任绘图	朱 静	版式设计	王艳红	责任校对	杨雪莲
责任印制	韩 刚				

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大 街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landaco.com
经 销	北京蓝色畅想图书发行 有限公司		http://www.landaco.com.cn
印 刷	北京原创阳光印业有限公司		
开 本	850 × 1168 1/32	版 次	2005 年 7 月第 1 版
印 张	5.75	印 次	2005 年 7 月第 1 次印刷
字 数	140 000	定 价	8.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 16915-00

内 容 简 介

本书是卢灿华主编的五年制高等教育通用教材《技术物理基础》(上、下册)的配套实验用书。

为培养学生的实践能力,本书以课堂实验为主,课外实训为辅,设置了系列实验与实训内容。“课堂实验”内容与主教材的教学内容相对应。在内容的设置中充分考虑了高等职业院校的实验条件和学生的动手能力。许多实验项目还设置了 A、B 两种方法供选用。“课外实训”为课外选做内容。这部分内容趣味性、操作性强,有利于提高学生的实践能力,可供教师和学生选用。

本书适用于初中起点的五年制高等院校的物理实验教学,也可供同一层次的其他院校在物理实验教学中使用。

前 言

本书是卢灿华主编的《技术物理基础》的配套实验教材,适合五年制高等职业院校使用。

物理实验是物理课程的重要组成部分,是培养学生科学素质,实现对学生动手能力培养的重要途径。本书以课堂实验为主,课外实训为辅。课外实训内容为课外选做内容。

本书对应主教材三个层次的教学内容,设置了18个实验。对应第一层次的力学和电学内容,设置了13个实验;在第二层次上(在第一层次的基础上,增加了光的反射和折射、机械振动和机械波、热学)增设了4个实验(标有“*”号);在第三层次上(在第二层次的基础上,增加了光的本性、原子核物理)增设1个实验(标有“**”号)。三个层次的实验所需要的学时数分别为25、33、35学时。

考虑到各院校实验条件的不同,许多实验编写了A、B两种使用不同仪器的实验方法,各院校可根据本校条件选用。

从目前高职院校的生源实际出发,本教材在编写实验内容时,注意了加强对实验操作的指导,有利于学生的实验操作。

每个实验的教材内容分三部分。第一部分为复习预习内容,目的是通过相关知识的复习和预习,弄清实验目的和实验原理。第二部分为实验操作过程,有仪器的使用方法、操作原理、实验指导、注意事项等。这些不仅可供教师讲解实验课时参考,还可系统地指导学生规范操作。第三部分为“实验报告”,可供学生填写。写实验报告的过程,也是一种能力的培养过程。有的学生不知道实验报告要写哪些内容,以怎样的格式写。因此,我们根据实验的

不同类型,设置了不同的格式和表格,使学生在写实验报告的过程中,得到规范训练。通过这些实验报告的填写,获得设计和写作各种不同类型实验报告的能力。

为了提高学生的动手实践能力,在课外实训内容中,我们以照明电路为主题安排了几次操作训练。在日常生活中,虽然照明电路比较简单常见,但许多学生面对电路中出现的小问题却束手无策。课外实训内容中把学生所学的电学知识与实际电路相联系,不仅架起了帮助学生理解电学知识的桥梁,还能指导学生进行实践训练。

本书由卢灿华、伍振铭编写,卢灿华修改统稿。在编写中得到了高等教育出版社的大力支持,特此致谢。

欢迎广大师生对本书提出宝贵意见。

编 者

2005 年 4 月

目 录

绪论	1
第一部分 课堂实验	11
实验一 长度的测量	11
* 实验二(A) 用插针法测玻璃的折射率	20
* 实验二(B) 用读数显微镜测玻璃的折射率	25
* 实验三 测凸透镜的焦距 研究凸透镜的成像规律	30
实验四(A) 用气垫导轨测运动物体的速度和加速度	36
实验四(B) 用打点计时器测运动物体的速度和加速度	46
实验五 互成角度的两个共点力的合成	51
实验六 研究有固定转轴物体的平衡条件	55
* 实验七(A) 用气垫导轨验证牛顿第二定律	59
* 实验七(B) 用打点计时器验证牛顿第二定律	65
实验八(A) 用气垫导轨验证动量守恒定律	71
实验八(B) 用碰撞实验器验证动量守恒定律	77
实验九(A) 用气垫导轨验证机械能守恒定律	82
实验九(B) 用打点计时器验证机械能守恒定律	87
实验九(C) 用冲击摆测量弹丸的速度	92
* 实验十 研究单摆的振动周期 用单摆测定 重力加速度	97
* 实验十一 验证理想气体状态方程	102
实验十二(A) 用电压表测绘静电场的等势线	107
实验十二(B) 用静电场描绘仪测绘静电场的等势线	112
实验十三 多用表的使用	117

实验十四(A) 用伏安法测导体电阻	123
实验十四(B) 用电桥法测导体电阻	130
实验十五 测定电源的电动势和内阻	136
实验十六 研究电源的输出功率跟负载电阻的关系	141
实验十七 感应电流方向的研究	145
** 实验十八(A) 光电效应的观察	151
** 实验十八(B) 光谱的观察	155
第二部分 课外实训——照明电路	163
课外实训一 常用电工工具的使用	163
课外实训二 配线	166
课外实训三 配电系统的安装	168
课外实训四 白炽灯与日光灯的安装	171
课外实训五 家用照明电路的常见故障	173

绪 论

物理实验是研究自然现象、探索自然规律的有效途径,也是验证物理理论的最基本的科学方法。物理学的进步和发展离不开物理实验,物理实验本身就是物理学的重要组成部分。

实践出真知,许多物理规律都是在物理实验的实践中发现和总结出来的。贝可勒尔在实践中发现了放射性现象;居里夫妇又通过物理实验发现了放射性元素;卢瑟福在用 α 粒子轰击氮原子核的实验中打出了质子,发现了实现人工核反应的途径。可以说,没有物理实验就不可能有物理学的进步和发展。

实践是检验真理的唯一标准。任何经过假设和推理得出的物理理论都要经得起物理实验的实践检验,否则就得不到公认。1864年,物理学家麦克斯韦从理论上预言了电磁波的存在,但由于缺乏实验依据,23年未得到公认,直到另一位物理学家赫兹所做的实验验证了他的预言,这一理论才被科学界所公认。物理学发展史上,类似的事例很多。

物理课程的物理实验是一种重要的科学实践,它不仅可以验证我们所学的物理理论,让我们感知物理现象,体验物理规律,加深对物理概念的理解,还能使我们获得物理实验的基本技能训练,学会理论联系实际的学习方法,培养我们的创新思维能力,培养我们热爱科学,团结协作的精神,实事求是、严肃认真的科学态度和遵守纪律的优良品质。因此,我们要认真做好每一个实验。

在物理实验中,几乎每一次都要从仪表或测量工具上读取数据(有效数字),计算实验误差,写出实验报告。下面将有关这方面的知识分别做简要介绍。

一、有效数字

在物理实验中,无论是直接测定某物理量的值(直接测量),还是根据所测值计算另一物理量的值(间接测量),都需要正确地读取和运用有效数字。有效数字由可靠数字和一位可疑数字组成。有效数字的最后一位数字是估计读数,也称可疑数字,其余数字皆为由刻度线示数直接读出的准确数,称可靠数字。如图 0.1 所示,我们用最小刻度为 1 cm 的布卷尺测量小铁块的长度时,结果为 2.7 cm;其中的数字“2”是由刻度线示数读出的可靠数字,而“7”为可疑数字。如图 0.2 所示,用最小刻度为 1 mm 的米尺测量同一小铁块的长度,结果为 2.65 cm;其中的“2”和“6”是可靠数字,“5”是可疑数字。

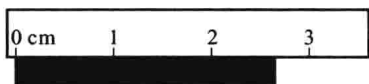


图 0.1

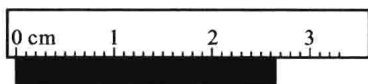


图 0.2

进行测量时,读取数据的精确度与所用仪器的最小刻度有关,最小刻度的单位越小,读数的精确度越高。

由图 0.1 和 0.2 所示的测量还可以看出,用不同精确度的仪器测量同一物体的长度时,读取的有效数字的位数不同。仪器越精密,读得的有效数字位数越多。

在测量物体的长度时,还有一点需要特别指出,如果物体的边缘恰好正对某一刻度线时,仍须读取一位可疑数字“0”,如图 0.3 所示的读数应是 2.60 cm 而不能读成 2.6 cm。

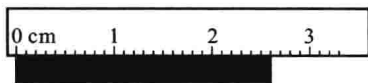


图 0.3

可疑数字是不能缺失,不能省略的。如果读得有效数字是 2.60 cm,不可省略为 2.6 cm。因为这样会把可靠数字“6”变成可疑数字;也会把测量仪器本为最小刻度 1 mm 的刻度尺误解为最小刻度为 1 cm 的布卷尺。同理,在有效数字后面也不能随意增加数字“0”。

在进行单位换算时,要注意保持原有效数字的位数不变。例如 2.60 cm 可记作 0.026 0 m 或 2.60×10^{-2} m,但它们的有效数字位数是相同的。这就是说,第一个非零数字前面的“0”和 10 的整数次幂都不是有效数字。

在进行间接测量时,常需对有效数字进行运算。可靠数字与可靠数字进行四则运算所得的数是可靠数字;可疑数字与可疑数字及可疑数字与可靠数字进行四则运算所得的数仍为可疑数字,总的运算结果只需保留一位可疑数字。总之,有效数字之间的运算有一定的运算法则,其位数的确定比较复杂,在这里不作详细介绍。在本课程实验数据的运算中,一般只要求在计算结果中保持 3~4 位有效数字便可。

二、误差

某量的实际测量值与该量的真值之偏差称为误差。产生误差的原因很多,根据误差产生的原因不同,将误差分为系统误差、偶然误差和过失误差三种。

系统误差 由于测量仪器本身精确度的限制、实验方法的不完善、实验理论的近似性、实验环境(如温度、压强、磁场等)的变化等因素的影响而引起的误差称系统误差。可以通过选用精密仪器、改进测量方法和减少环境影响等来设法减少系统误差,但系统误差是无法避免的。系统误差会使测量数据总是偏大或总是偏小。

偶然误差 在测量过程中,由于偶然的、不确定的外界因素

(如风吹、振动等)的影响,或在估读可疑数字时受偶然心理因素的影响,使测量值偏大或偏小而引起的误差称为偶然误差。偶然误差使测量数据偏大或偏小的机会均等,故偶然误差可以采取多次测量取其平均值的方法来减少,但也是无法完全避免的。

过失误差 测量过程中,由于疏忽大意,或违反操作规程等主观因素造成的误差称为过失误差。例如,没有按操作规程的要求对仪表校零,读数时视线的位置和方向不符合操作要求,计算中出现错误等,都会造成过失误差。但只要正确理解实验原理,测量时正确使用仪器,提高操作技能,认真、谨慎、细心地进行操作,过失误差是可以避免的。

根据误差与真值间内在联系的不同,误差的大小可用绝对误差和相对误差表示,它们有着不同的物理意义。

绝对误差 测量值与真值之差的绝对值称绝对误差。所谓真值,是人们经过多次精确测得的平均值,因为它很接近真实值而被人们公认,故称公认值或真值。在实验中,常将多次测量的平均值看作公认值,把某次测量值与平均值之差的绝对值作为该次测量的绝对误差。把多次测量的绝对误差的平均值叫做平均绝对误差。

若测量次数为 n , 每次测量值为 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, 其平均值为 $\bar{x}$, 平均绝对误差为 $\overline{\Delta x}$, 那么

$$\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n)}{n}$$

某次测量的绝对误差为

$$\Delta x_n = |x_n - \bar{x}|$$

n 次测量的平均绝对误差为

$$\overline{\Delta x} = \frac{(|x_1 - \bar{x}| + |x_2 - \bar{x}| + |x_3 - \bar{x}| + \dots + |x_n - \bar{x}|)}{n}$$

$\overline{\Delta x}$ 只取一位非零数字,在对同一量测量时,其值越小,说明测量的准确度越高。

测量结果应表示为 $x = \bar{x} \pm \overline{\Delta x}$, 它表示测量结果在 $(\bar{x} - \overline{\Delta x})$ 与

$(\bar{x} + \overline{\Delta x})$ 之间。

例 1:4 次测量某物体的长度,测量值分别为 2.65 cm、2.66 cm、2.67 cm、2.65 cm,求平均绝对误差,并写出测量结果。

解:4 次测量的平均值 $\bar{x}$,为

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + x_4)}{4} \\ &= \frac{2.65 + 2.66 + 2.67 + 2.65}{4} \text{ cm} = 2.66 \text{ cm}\end{aligned}$$

每次测量的绝对误差 Δx_n 为

$$\Delta x_1 = |2.65 - 2.66| \text{ cm} = 0.01 \text{ cm}$$

$$\Delta x_2 = |2.66 - 2.66| \text{ cm} = 0$$

$$\Delta x_3 = |2.67 - 2.66| \text{ cm} = 0.01 \text{ cm}$$

$$\Delta x_4 = |2.65 - 2.66| \text{ cm} = 0.01 \text{ cm}$$

4 次测量的平均绝对误差 $\overline{\Delta x}$ 为

$$\overline{\Delta x} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \Delta x_4}{4} = \frac{0.01 + 0 + 0.01 + 0.01}{4} \text{ cm} = 0.01 \text{ cm}$$

该物体的长度测量结果为

$$x = (2.66 \pm 0.01) \text{ cm}$$

它表明该物体的长度在 2.65 cm 到 2.67 cm 之间。

相对误差 绝对误差显示不出测量值的精确程度,因此,人们还常用到相对误差。相对误差是(平均)绝对误差占真值(或测量的平均值)的百分比。相对误差能显示出测量结果的精确程度。

例如,已知水和水银密度的公认值分别为 $\rho_1 = 1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $\rho_2 = 1.360 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$ 。实验中测得水的密度为 $1.04 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,水银的密度为 $1.364 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$,二者的绝对误差为

$$\Delta \rho_1 = |1.00 \times 10^3 - 1.04 \times 10^3| \text{ kg/m}^3 = 0.4 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta \rho_2 = |1.364 \times 10^4 - 1.360 \times 10^4| \text{ kg/m}^3 = 0.4 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$$

可以看出,二者的绝对误差是相同的。然而二者的绝对误差占其公认值的百分比,即二者的相对误差却不同,分别为

$$\delta\rho_1 = \frac{\Delta\rho_1}{\rho_1} \times 100\% = \frac{0.4 \times 10^2}{1.0 \times 10^3} \times 100\% = 4\%$$

$$\delta\rho_2 = \frac{\Delta\rho_2}{\rho_2} \times 100\% = \frac{0.4 \times 10^2}{1.36 \times 10^4} \times 100\% = 0.3\%$$

显然,后者的测量精确度比前者更高。

三、怎样做好物理实验

要做好物理实验应注意以下几点:

(1) 实验前充分进行相关知识的预习,明确本次实验的目的、要求、实验原理、仪器的使用方法以及实验步骤;

(2) 遵守实验室规则,严格遵守仪器操作规程,听从老师指导,仔细观察现象,正确而详细地记载实验数据;

(3) 实验内容完成后,对实验数据及现象进行检查、分析,若发现问题应及时询问老师并重新进行实验;

(4) 认真完成实验报告。

实验结束后,应收拾、整理和清点好仪器与器材,切断电源与水源,清扫实验现场。

四、实验报告

人们在完成一项实验工作后,往往要把实验中记录的情况进行整理和总结,形成实验报告,作为生产应用、信息交流和研究参考的资料。因此,写实验报告是科学实验的重要组成部分。

实验报告中几个主要部分都有其各自的不同意义和作用,要在认真阅读实验教材中相关内容的基础上,明确各部分的重点内容、重要意义和作用。

(一) 实验名称

本课程包括三种基本类型的实验,即测定物理量,验证物理定

律和观察研究物理现象。具体的实验名称,一般应反映该实验的基本类型和实验的主要目的(或实验的典型方法),而且要尽量文简意明。例如,“验证理想气体状态方程”,明确反映了该实验属第二种基本类型,实验的主要目的也一目了然。又如“用伏安法测导体电阻”,它既反映出该实验属第一种基本类型,又反映出该实验的典型方法和主要目的。

(二) 实验目的

物理实验的开设是从教学的目的要求出发的,由于学时限制,往往在一项实验里要求达到多项的实验教学目的,其中1~2项是主要的。例如实验一“长度的测量”,它的主要目的是学会测量物体长度,此外,学会刻度尺、游标卡尺、螺旋测微器这些测量工具的使用方法,练习读取有效数字和误差的计算方法,也是本次实验的目的,它们与主要目的相互关联,相互影响。

(三) 实验原理

实验原理是实验方法的理论依据,是指导实验的基础,也是决定实验成败的关键。所以每进行一次物理课堂实验前,都要求先预习实验教材,重点是掌握实验原理。掌握了实验原理,实验者在整个实验过程中才会胸有成竹,心里有数,才能避免盲目性和被动状态。本实验教材中的有关实验原理都是理论教学中刚学过的物理知识点,所以都只作了简明扼要的叙述。要求在预习实验教材或写实验报告时,要结合对教科书中有关知识的复习进行。

(四) 实验仪器与器材

实验仪器的规格、型号、精密度、先进性,器材的质量和性质等都会直接或间接地影响实验结果,因此要在实验报告中列出实验仪器与器材的名称、型号、规格等。

(五) 主要操作步骤

这一部分主要是报告实验的操作过程,内容应体现出明显的实验思路,主要的实验阶段,重要操作步骤的方法。有时还要配以装置图、流程图、电路图等图示说明。这部分要求文字上条理清

楚、重点突出、避免琐碎。

(六) 实验记录与实验结果

为了展示各步实验的准确性,必须如实地展示实验过程中记录和计算的具体数据。所展示的数据不光是原始记录,还包括一些经过计算和数据处理的数据。实验报告中应当展示哪些数据,以怎样的形式展示实验结果,要根据不同实验的不同目的进行恰当的选择,有表格式的,有图像式的,也有表格图像结合式的。本实验教材中的每一项实验,都设计好了相应的实验记录与实验结果表格。填写数据时要注意,单位应与表格中的要求一致。

(七) 实验结论与分析

对于测量物理量的实验,应说明测量值的准确程度及分析误差产生的主要原因。对于验证物理定律的实验,应说明实验显示的结果与理论规律的一致性。对于观察与研究物理现象的实验,应写出实验中观察到的现象或所测数据,以及显示的规律或所研究物理量间的关系。

理论应接受实践的检验,若在反复的科学实验中,在充分考虑了产生的误差影响下,理论值与实验值仍然不一致,理论应当受到怀疑、修正或否定。不过,在我们课堂实验中被验证的理论,都是久经前人实践检验过的经典理论,不要轻易地怀疑它。当我们的实验值与理论值,实验规律与理论规律发生偏差时,应当从实验可能发生的系统误差、偶然误差、过失误差中寻找原因,总结在实验结论与分析中。

思 考 题

1. 物理学是一门以()为基础的科学。测量可分为()和间接测量。
2. 按误差产生的原因分类,可将其分为()、()和过失误差三种。

3. 有效数字由()数字与()数字组成。
4. 测量值的有效数字位数取决于测量工具的()。
5. 减小实验过程中的偶然误差的常用方法是()。
6. 某同学对一物体的长度一共进行了四次测量,结果分别是: $L_1 = 14.6 \text{ mm}$,
 $L_2 = 14.8 \text{ mm}$, $L_3 = 14.7 \text{ mm}$, $L_4 = 14.7 \text{ mm}$ 。

试求:(1)测量的平均值;(2)每次测量的绝对误差;(3)平均绝对误差;
(4)平均相对误差;(5)测量结果表示。