

高等职业教育通用教材

物理实验 与实训

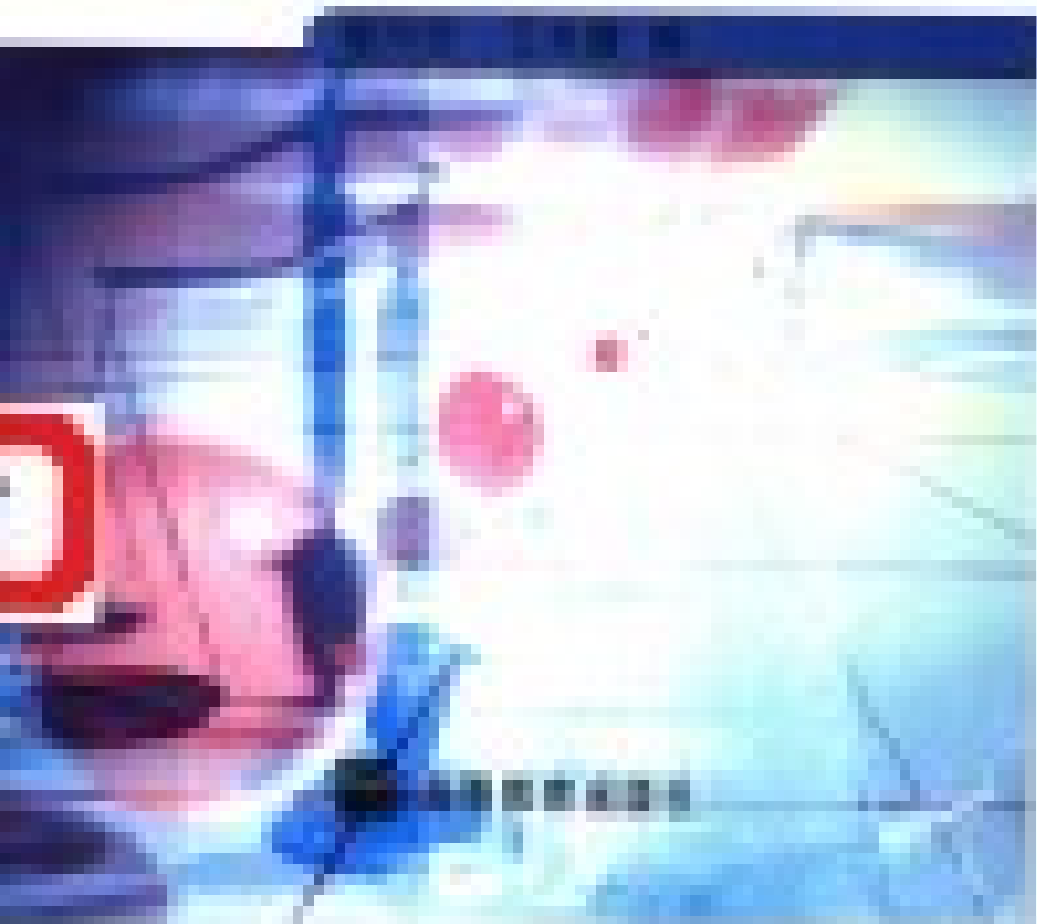
程川吉 王志雄 编



高等教育出版社

高等院校物理实验教材

物理实验 与实训



清华大学出版社

高等职业教育通用教材

物理实验与实训

程川吉 王志雄 编

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理实验与实训/程川吉,王志雄编. —北京:高等教育出版社,2001.7

五年制高职物理实验教材

ISBN 7-04-009641-2

I. 物… II. ①程…②王… III. 物理学-实验-高等教育:职业教育-教材 IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 030606 号

责任编辑 段宝平 封面设计 于文燕 责任绘图 朱 静
版式设计 马静如 责任校对 胡晓琪 责任印制 张小强

物理实验与实训

程川吉 王志雄 编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号 邮政编码 100009

电 话 010-64054588 传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 煤炭工业出版社印刷厂

开 本 850×1168 1/32 版 次 2001 年 7 月第 1 版

印 张 4.75 印 次 2001 年 9 月第 2 次印刷

字 数 110 000 定 价 5.40 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

内 容 简 介

本书是根据全国五年制高等教育公共课开发指导委员会 2000 年审定的《〈技术物理基础〉课程基本要求》编写的,用作该课程的学生分组实验教材。

本书基本落实了高等职业教育教材应有的“科学性、系统性、教学适用性、应用性、先进性”的要求。实验项目的安排,着眼于培养学生基本应用能力和综合实践能力。

书中给出了 16 个实验项目和 3 个综合实践项目。

前 言

本书是根据全国五年制高等职业教育公共课开发指导委员会2000年审定的《〈技术物理基础〉课程基本要求》编写的,用作该课程的学生分组实验教材。

书中给出了16个实验项目(共28学时),3个综合实践训练项目(共1周)。

本书在编写时,努力落实高等职业教育教材应有的“科学性、系统性、教学适用性、应用性、先进性”要求。

科学性是合格教材的必要前提。本书中对每一个实验的实验原理、操作方法等,都从科学性方面作了仔细推敲。

物理实验作为课程内容的一部分,必须与课程整体有机地结合,系统化、结构化的知识,才易为学生所掌握。本书中实验项目的安排,其顺序大体与理论教学内容同步,使学生对实验原理易于理解。作为高等职业教育的实验课程,应该起到训练学生的实验能力、训练基本操作技能的作用,所以书中既有与理论教学内容联系十分紧密的验证性实验,又有能力训练实验。

教学适用性是编写教材时应十分重视的问题。本书从以下几个方面考虑教学适用性:每个实验项目内容的份量适当,能力培养的目标要求适当,使绝大多数学生能在规定的学时内完成该实验;实验能力的培养由简单到复杂,逐步提高,适合大多数学生的能力水平;实验原理的阐述深入浅出,操作方法的指导条理分明,使学生易懂易记;实验仪器容易购得且价格不贵(考虑到高等职业学校的实际情况),绝大多数仪器都可在教育部教学仪器研究所发布的《中学理科教学仪器配备目录》中找到。

应用性是高等职业教育教材应突出的特色。本书在选择实验

项目时,安排了一定的培养学生基本应用能力的项目,如练习使用物理仪器的实验、测量物理量的实验、观察性实验、设计性实验等,让学生学习使用在生产、生活中常用的物理仪器,如游标卡尺、天平、电流表、电压表、读数显微镜等,以培养学生基本的观察能力、分析问题和解决问题的能力.本书还安排了3个综合实践训练项目,以培养学生的综合实践能力.

因受到诸多条件的制约,物理实验只能开设基础性实验.除了开发某些新的实验项目、更新某些实验仪器外,本书的先进性主要表现在教育思想上,即着重考虑如何培养学生的实验能力.

由于编者水平所限,以及某些客观方面的原因,教材中不当之处在所难免.尤其本教材系首轮使用,定会发现许多不足之处.恳请广大师生不吝赐教,我们在此诚恳致谢!

编者	程川吉	于江西九江职业技术学院
	王志雄	于湖北黄梅县小池教育组

2001年1月

目 录

绪论 物理学是以实验为基础的科学	1
实验一 用游标卡尺测量长度(附:有效数字和误差)	3
实验二 形状规则固体密度的测定	12
实验三 互成角度的两个共点力的合成(1学时)	16
实验四(A) 用气垫导轨测速度和加速度	20
实验四(B) 用打点计时器测速度和加速度	27
实验五(A) 用气垫导轨验证牛顿第二定律	32
实验五(B) 用打点计时器、小车验证牛顿第二定律	36
实验六 用冲击摆测弹丸的速度	41
实验七 用单摆测重力加速度	45
实验八 研究气体的等温变化和等容变化	50
实验九 多用表的使用	55
实验十 伏安法测电阻	62
实验十一 测电源电动势和内阻(设计性实验)	68
实验十二 研究电源的输出功率与负载电阻的关系 (设计性实验)	72
实验十三 磁通量变化率对感应电动势大小的影响 (1学时)	76
实验十四 测玻璃的折射率(1学时)	80
实验十五 测凸透镜的焦距 观察凸透镜成像特点	84
实验十六 观察光的干涉衍射和偏振(1学时)	89
综合实践训练 I 自行车的拆装	94
综合实践训练 II 摄影技术初步	102
综合实践训练 III 家用电风扇的拆装	112

附录一	怎样写实验报告	122
附录二	本书中物理实验所需的主要仪器目录	125
附录三	法定计量单位	127
附录四	思考题提示	131

说明:

1. 物理实验项目中,有 4 个实验各只需用 1 学时;其余 12 个实验,每个各需 2 学时.16 个实验共需 28 学时.

2. 实验四和实验五各提供了 A、B 两种方法.各学校可根据情况选择其中一种方法.

3 每个综合实践训练均应安排 1 天半左右的时间,3 个综合实践训练共需 1 周时间.

绪论 物理学是以实验为 基础的科学

一位同学在地面上铺垫好厚约 20 cm 的海绵,然后拿起一个鸡蛋竖直向空中抛去,鸡蛋上升到最高点转向下落,越落越快,转瞬间已接近海绵。“哟”!围观同学的惊呼转为欢笑,原来,鸡蛋并没有撞破,它陷入海绵后重又弹起……

这样有趣的实验还有不少.不过并非所有的实验都是一下子就能引人入胜的.许多实验中,同学们将反复地观察现象,记数据,作计算.在外行人眼里这似乎枯燥无味,但对于了解实验意义的人来说,其中却有一种巨大的乐趣:这是在探索自然界的奥秘!

实验是研究自然的一种科学方法.人们按预定目的,利用科学仪器,人为地模拟自然现象,就成了实验.实验方法对物理学的建立起了重大作用,电的发现、磁的发现……都与实验有关,对原子的实验研究使人类得以利用原子能,对物质导电性的实验研究使半导体乃至计算机工业得以发展,相对论、量子论也都起源于实验.有人指出,纵观物理学的发展史,物理学中带根本性的发现,不是在书桌上而是在实验室里开始的.所以说,物理学是以实验为基础的科学的科学.

在工程技术中,实验又是一种常用的方法手段,常需通过实验来解决工程中遇到的问题.

对同学们来说,做物理实验不仅是为生动地感知物理现象、深入理解物理概念,更是培养基本的实验能力(如何正确使用仪器、正确读取与分析数据、写实验报告等),培养基本的实验素质(如爱护仪器的良好习惯),以及严谨细致、实事求是的科学精神,团结协

作的良好作风等。

物理实验是同学们进校后首先遇到的实验之一,应十分重视。在学习中要求做到以下几点:

(1) 每次实验前认真预习实验指导书,明确实验的目的要求,实验所依据的原理、使用的仪器和基本操作步骤等,以对实验全貌有所了解。

(2) 在实验过程中,要遵照教师的指导,正确使用仪器,按合理步骤进行操作,并认真观察现象,正确记录观察所得。若有创新设想,应及时报告教师,以取得帮助。

(3) 分析观察到的现象,做出实验结论,写出实验报告。

(4) 遵守实验室规则。

(5) 实验完毕要收拾整理好仪器,关断电源、水源等。经教师许可后,方可离开实验室。

精确做好实验不容易,但入门也并不难。只要自己严格要求,认真学习,能力就会逐步提高,兴趣也会日益增长。

实验一 用游标卡尺测量长度

(附:有效数字和误差)

物理实验可分两大类,一类是定性的观察,对事物的物理变化过程获取感性认识.另一类是定量测量,借助测量工具取得测量数据,并整理分析数据作出结论.随着物理学的日益成熟,定量测量更显得重要.

长度的测量是物理实验中的一项基本测量,在生产与生活中也都经常用到.测量不同的长度应使用不同的测量工具.本实验中我们学习使用游标卡尺来测量几毫米至几百毫米的长度.

一、游标卡尺的构造

游标卡尺是测量长度的精密工具之一,它由主尺和游标尺两部分构成.

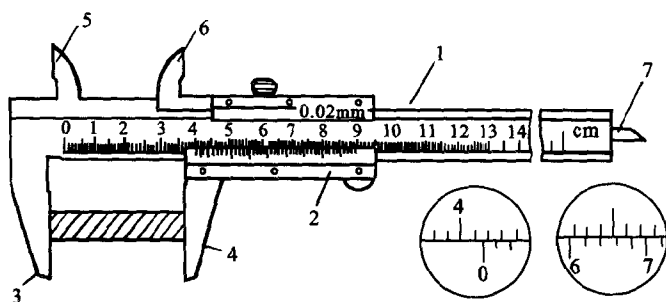
主尺是一把毫米刻度尺,其上附有内、外卡脚.毫米刻度尺的长度通常在 170 mm 左右.刻度尺的长度也就是游标卡尺的量程(最大测量范围).

游标尺简称游标,附在主尺上,可沿主尺滑动.因游标上刻度不同,各种游标尺有不同的测量精度(能测量的最小长度).

图 1-1 所示是精度 0.02 mm 的游标卡尺,它的游标上共有 50 个刻度,总长 49 mm.每个刻度比主尺上的毫米刻度短 0.02 mm.

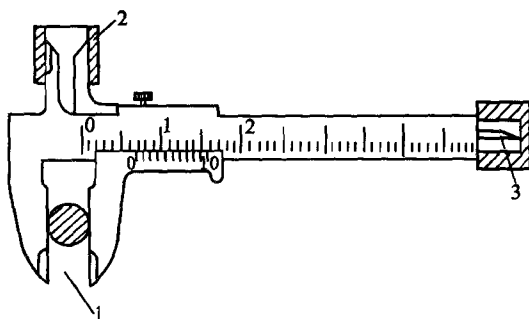
图 1-2 所示是精度 0.1 mm 的游标卡尺,它的游标上共有 10 个刻度,总长 9 mm,每个刻度比主尺刻度短 0.1 mm.(图上还画出了用外卡脚测量圆柱直径、用内卡脚测量圆筒内径和用探针测量孔深的方法.)

还有一种精度 0.05 mm 的游标卡尺,它的游标上共有 20 个



1—主尺 2—游标 3、4—外卡脚 5、6—内卡脚 7—探条

图 1-1 游标卡尺(精度0.02 mm)



1—测量外径 2—测量内径 3—测量孔深

图 1-2 用游标卡尺(精度0.1 mm)测量

圆柱外径、圆筒内径和孔深

刻度,总长 19 mm,每个刻度比主尺刻度短 0.05 mm.

二、游标卡尺的读数方法

游标卡尺的读数方法是:先读主尺,再对游标.

——先读主尺:读出主尺上的“0”刻线与游标的“0”刻线间的毫米数.以毫米为单位时,它就是测量值的整数部分.

——再对游标:看游标上哪一根刻度线能与主尺上的某根刻度线对齐,就在游标上读出该刻度线的相应值.以毫米为单位时,它是测量值的小数部分.

测量值 = 主尺读数 + 游标读数

例如,图 1-1 中,两个圆框内分别示出游标左、中两部分位置.由左边圆框可见,主尺读数 41 mm;由右边圆框可见,游标读数 0.64 mm(“6”字右边第 2 根刻线与主尺上的刻线对齐).故测量值为 41.64 mm.

又如图 1-2 中,主尺读数 6 mm,游标读数 0.80 mm(游标上第 8 刻度线与主尺刻线对齐),故测量值为 6.80 mm.

以毫米为单位时,游标卡尺的测量值应取小数点后 2 位.其中最后 1 位,是据估计哪根刻线对齐而读出的.

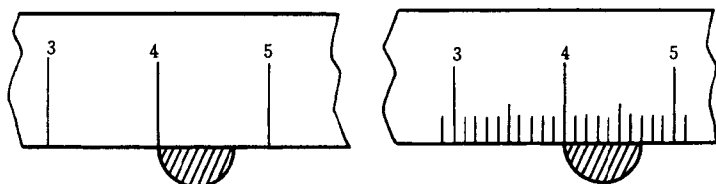
为什么这样读数呢?以精度 0.02 mm 的游标卡尺为例作说明.上文中已说过,在构造游标时,已经使游标上每 1 刻度比主尺上的毫米刻度短 0.02 mm.

设游标的 0 刻度线恰与主尺上第 N 刻度线对齐,表示待测物恰长 N mm.若再向两卡脚间塞入一张 0.02 mm 厚的纸,则游标就向右移 0.02 mm,其第 1 刻度线将与主尺上的刻度线对齐;若纸厚 0.04 mm,则游标上第 2 刻度线将与主尺刻度线对齐.反之,若游标上的第 3 刻度线能与主尺刻度线对齐,表示纸厚 3×0.02 mm = 0.06 mm.依此类推,若游标上第 k 刻度线能与主尺刻度线对齐,就表明待测物长度为 $L = (N + 0.02k)$ mm.这就是“先读主尺、再对游标”的理由.

三、有效数字

图 1-2 中,游标尺的正确读数是 6.80 mm.能不能记录为 6.8 mm 呢?不行.若记录为 6.8 mm,别人将误以为是用毫米刻度尺作测量的.

图 1-3 中示出用不同工具测量同一圆柱体直径:



(a) 布卷尺

(b) 毫米刻度尺

图 1-3 用不同工具测量长度

用布卷尺测量得 0.7 cm

用毫米刻度尺测量得 6.8 mm

用游标卡尺测量得 6.80 mm(见图 1-2)

由于测量工具的精度有限,测量所得数据的最后一位数字是估读出的,称可疑数字,前几位数字称可靠数字.例如用布卷尺测量时“7”是可疑数字;用刻度尺测量时“8”是可疑数字;用游标卡尺作测量时,“0”是可疑数字.若把 6.80 mm 误记作 6.8 mm,无意中把“8”变成了可疑数字.

测量值的可靠数字和可疑数字统称有效数字.有效数字位数越多表示可靠数字越多,测量结果越精确.

在换用单位时,应注意保持有效数字的位数不变,例如:

$$4.28 \text{ m} = 428 \text{ cm} = 4.28 \times 10^3 \text{ mm} \neq 4\ 280 \text{ mm}$$

$$3.10 \times 10^{-3} \text{ t} = 3.10 \text{ kg} = 3.10 \times 10^3 \text{ g} \neq 3\ 100 \text{ g}$$

有时需用间接方法测量某些物理量.例如测量某物体的速度,应先测出位移和运动时间,假设分别测得 $s = 2.40 \text{ cm}$, $t = 0.18 \text{ s}$,那么计算出来的速度值应取几位有效数字呢? 因为 t 的值仅有 2 位有效数字,那么计算得出的速度值也只能取 2 位有效数字,即

$$v = s / t = 2.40 / 0.18 \text{ cm/s} = 13 \text{ cm/s}$$

间接测量中,因需计算,测量结果有效数字位数的确定比较复杂,这里不详述.在以后的计算里,计算结果一般取 3~4 位有效数字就可以了.现在同学们常用电子计算器,更要注意计算结果只应

保留合理位数的有效数字。

四、误差

用游标卡尺测量某钢管内径时,第一次测得 7.02 mm,将钢管稍转过一个角度重测一次,测得 6.98 mm,再测一次,得 6.96 mm。

这样的事例在工程技术测量中很常见。这种情况下,应取多次测量的平均值作为测量结果,即“标称值”。平均值可以这样计算:

$$\bar{x} = \frac{7.02 + 6.98 + 6.96}{3} \text{ mm} = 6.99 \text{ mm}$$

一般地说,若总共测量了 i 次,每次测得的值分别记为 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i$, 那么平均值 $\bar{x}$ 为

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_i}{i}$$

既然有效数字中最后 1 位是可疑数字,故平均值的最后 1 位数字也是可疑数字,它的不准确范围多大呢? 可以用误差来表示。

某次测得值 x_i 与平均值 $\bar{x}$ 的差的绝对值 $|x_i - \bar{x}|$, 称为该次测量的绝对误差; 各次绝对误差的平均值称作“平均绝对误差”, 用 Δx 表示。上例中 3 次测量钢管内径的平均值及每次测量的绝对误差见表 1-1。

表 1-1

序 次	1	2	3	平均值/mm
测量值/mm	7.02	6.98	6.96	6.99
绝对误差/mm	0.03	0.01	0.03	0.02

平均绝对误差 $\Delta x = (0.03 + 0.01 + 0.03)/3 \text{ mm} = 0.02 \text{ mm}$, Δx 通常只取 1 位有效数字。

写成公式的形式是

$$\Delta x = (|x_1 - \bar{x}| + |x_2 - \bar{x}| + \dots + |x_i - \bar{x}|)/i$$

算出平均绝对误差后,常把测量结果写成以下形式:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x$$

例如钢管内径的测量值应记录为

$$x = 6.99 \pm 0.02 \text{ mm}$$

这表示钢管内径为 6.99 mm 左右,极可能在 6.97~7.01 mm 范围内.

还可以用“平均相对误差”来表示测量的精密程度,它指的是平均绝对误差对平均值的百分比

$$\delta x = (\Delta x / \bar{x}) \times 100\%$$

测量钢管内径的平均相对误差为

$$\delta x = (0.02/6.99) \times 100\% = 0.3\%$$

平均相对误差小,表示测量的精密度高.

为什么测量中会产生误差呢?大致可有三类原因.

(1) 系统误差.这是指因测量工具不完善、测量方法不完善,或测量者个人生理心理特点差异而产生的误差.例如说,若游标卡尺的卡脚有磨损就会引起测量误差.系统误差的特点是使测量值总是偏大或总是偏小.改进测量工具,改进测量方法,提高操作技能,是减少系统误差的办法.

(2) 随机误差.努力排除了系统误差后,仍然会有原因不明的误差,使测得的值有时偏大有时偏小,这称为随机误差,也称偶然误差.增加测量次数,并用恰当的方法处理数据(例如取平均值)可以减小随机误差.

测量者因操作错误或观察错误会引起过失误差,也称错误.例如读数时误将游标的边缘当作 0 刻度线.过失误差是可以避免的,只要我们在实验操作中认真、细心,就可避免过失误差.

[操作]

使用游标卡尺测量物体长度之前,先应作好准备工作“用前三看”:

看所用游标卡尺的量程多大,能否纳下待测物体?