



国家教委中等专业学校规划教材

工科各类专业通用

物理实验

(第二版)

程川吉 编



高等教育出版社

国家教委中等专业学校规划教材

工科各专业通用

物 理 实 验

(第二版)

程川吉 编

高等教育出版社

(京)112 号

图书在版编目(CIP)数据

物理实验/程川吉编.—2 版.—北京:高等教育出版社, 1995

中等专业学校教材·工科各专业通用

ISBN7-04-005177-X

I. 物… I. 程… III. 物理-实验-专业学校-教材 IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 01087 号

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>

经 销 新华书店上海发行所

印 刷 江苏淮安印刷厂

开 本 787×1092 1/32

印 张 4.625

字 数 96 000

版 次 1989 年 3 月第 1 版

1995 年 4 月第 2 版

印 次 1999 年 7 月第 11 次印刷

定 价 4.10 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

内 容 简 介

本书第一版系根据 1987 年原国家教委审定的中等专业学校物理教学大纲编写而成的。按照中专学生的实际水平和培养应用型人才的要求,内容上有所充实,编写形式上有所突破,注意诱发学生的学习兴趣,启发学生思维,培养学生技能,引导学生做好实验数据的处理和分析。本书既重视介绍新的实验方法和手段,又注意了现有器材的利用,以符合当前和今后教学的需要。

本书第二版由作者根据目前中专物理实验教学的实际需要修订而成,修订时保持了原书的主要内容和风格,在教学适用性特别是基本技能的训练方面有所加强。

本书第二版是原国家教委八五教材建设规划中的一种,修订和审稿工作是在全国中专物理课程组和高等教育出版社的主持下进行的。本书可作为中等专业学校工科各专业及其他专业的物理实验课程教材,也可供初、中级技术人员及中学教师参考。

与本书配套使用的《物理》、《物理演示实验》、《物理教学参考书》和《物理解题指导》等,全部由高等教育出版社出版。

目 录

绪论 物理学是以实验为基础的科学	1
有效数字与误差	3
实验一 形状规则固体密度的测定	8
实验二 验证力的平行四边形定则①	14
实验三(A) 用气垫导轨测平均速度和瞬时速度	17
实验三(B) 用打点计时器、小车研究匀变速直线运动的规律	23
实验四(A) 用气垫导轨测加速度	28
实验四(B) 用打点计时器、小车测瞬时速度和加速度	33
实验五(A) 用气垫导轨验证牛顿第二运动定律	36
实验五(B) 用打点计时器、小车验证牛顿第二运动定律	40
实验六 验证机械能守恒定律	44
实验七(A) 验证动量守恒定律	50
实验七(B) 用冲击摆测弹丸的速度	54
实验八 向心力的研究①	58
实验九 研究单摆的振动周期 用单摆测定重力加速度①	62
实验十 验证定质量理想气体状态方程 水银气压计的使用①	66

实验十一	测定冰的熔化热	73
实验十二	静电场的描绘	77
实验十三	电阻串、并联电路的研究	81
实验十四(A)	伏安法测电阻	87
实验十四(B)	研究直流电桥的平衡条件	91
实验十五	电源电动势和内电阻的测定	96
实验十六(A)	研究电源的输出功率与负载电阻的关 系	99
实验十六(B)	扩大安培计、伏特计的量程	103
实验十七	用电流天平研究磁场对电流的作用力	107
实验十八	感应电动势方向的研究①	111
实验十九	观察阴极射线和洛伦兹力①	114
实验二十	测玻璃的折射率①	119
实验二十一	测定会聚透镜的焦距 研究会聚透镜 的成像规律	123
实验二十二(A)	观察光电效应①	126
实验二十二(B)	观察光的干涉、衍射和偏振①	130
实验二十三	光谱的观察①	133
附录一	怎样写实验报告	138
附录二	怎样迎接物理实验考核	141

说明:

1. 某个实验如有(A)、(B)两项的,可选作一项;实验中若有方法一、方法二的,可选择一种作法。

2. 每个实验一般用 2 课时,若标明①的,用 1 课时。

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,鸡蛋上升到最高点后转向下落,越落越快,转瞬间就接近海绵。“哟!”围观的同学们一齐惊呼!原来鸡蛋并没有撞破,它陷入海绵后重又反弹起数十厘米……。

这样有趣的实验还有不少,我们以后要做的实验中有一些也同样有趣。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,同学们将反复地看现象、记数据、作计算、画图线……。在外行人眼里,这些活动显得枯燥无味;但是,对于了解实验意义的人来说,实验是一种极大的乐趣: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。人们根据研究目的,利用科学仪器,人为地模拟自然现象,就成了实验。科学研究中,人们常通过“观察、实验、分析、归纳、演绎等方法”或“实验观测——提出假设——实验验证”等途径寻求规律。实验方法对物理学的建立起了重大作用,翻开物理书籍可看到,电的发现、磁的发现……哪一项不与实验有关?!在 20 世纪,正是对原子的实验研究使我们最终得以利用原子能,对物质导电性的实验研究使我们得以利用半导体。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。

对同学们来说,做物理实验不仅是为了生动地感知物理现象以加深对物理概念的认识,更重要的是培养基本的实验技能,为进一步训练作准备。同学们通过做实验能受到基本的技能训练(包括仪器的使用,数据的读取与分析,写实验报告等),养成爱护仪器的良好习惯,还培养实事求是、严谨细致的科学作风。

物理实验是同学们进校后首先遇到的实验之一,它也是其他有关基础技术课实验训练的基础,应当十分重视,认真学习。在物理实验中要求做到以下几点:

1. 每次实验前认真预习实验指导书,明确实验应达到的目的要求,实验所依据的原理,使用哪些仪器,操作的基本步骤,应记录的数据等等,做到对实验全貌有明确的了解。必要时应先到实验室去认识仪器。

2. 实验中正确使用仪器,按合理的步骤进行操作,并认真观察现象,正确记录观察结果。若观察结果是数据形式,则应事先设计好记录数据的表格,并正确记录数据。

3. 观察与记录完毕后,认真分析观察结果并作出实验结论,最后写出实验报告,简明扼要介绍实验基本情况。

4. 遵守实验室规则。实验完毕后要整理好仪器,关断电源等。

比较精确地做好实验不容易,但入门也并不难。只要严格要求,认真学习,兴趣就会提高,基本技能就会熟练起来。

有效数字与误差

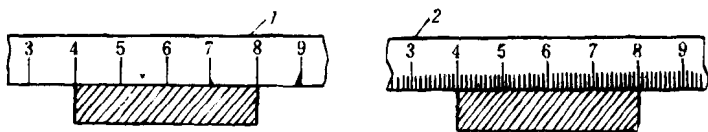
物理实验中常要对物理量作测量,如测量长度、质量、时间等,怎样正确记录实验结果呢?

一、有效数字

物理实验课上,兴华同学用游标卡尺测量校徽的长度,得40.76 mm,她想,若4舍5入记录成40.8 mm也可以吧!

“啊!那可不行。”老师告诉她说:“测量结果为40.76 mm,别人知道你是用游标卡尺测量的;若记录为40.8 mm,别人将误以为你是用米尺测量的了。”

老师拿来三种工具分别测量校徽的长度:



(1) 布卷尺

(2) 米尺

(游标卡尺构造见图 1-2)

图 0-1 几种量尺

用布卷尺测量得	4.0 cm
用米尺测量得	40.5 mm
用游标卡尺测量得	40.76 mm

老师指出,由于测量工具(或测量方法)的精密度有限,测量所得数据的最后一位数字是估计的,称为可疑数字,可疑数字前的数字则称可靠数字。例如用布卷尺测量时,“0”是估计值,为可疑数字;用米尺测量时,“5”是可疑数字,“40”是可靠

数字；用游标卡尺测量时，“6”是可疑数字，“407”是可靠数字。若把 40.76 mm 误记录作 40.8 mm，无意中把“8”变成了可疑数字，可靠数字就由 3 位减为 2 位，降低了测量的精确程度。反过来说，用米尺测量得到的 40.5 mm 也不可写成 40.50 mm，否则就增加了可靠数字的位数，夸大了测量的精确程度。

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。测量时有效数字取几位要视所用工具（及测量方法）而定。

在换用单位时，应注意保持有效数字的位数不变，例如：

$$42.8 \text{ cm} = 428 \text{ mm} = 0.428 \text{ m} = 4.28 \times 10^{-4} \text{ km}$$

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

上面谈到的是直接测量时的有效数字取法。另外一些物理量，如速度等常用间接方法测量。例如测量出某物体的位移 $s = 2.4 \text{ cm}$ ，相应的运动时间 $t = 0.182 \text{ s}$ ，它的速度值应取几位有效数字呢？进一步的分析指出，因 s 的值只有 2 位有效数字，计算出的速度值也只能取 2 位有效数字，即

$$v = s/t = 2.4/0.182 = 13 \text{ cm/s}$$

间接测量中有效数字位数的确定比较复杂，不作详讲，在以后的计算里，计算结果一般只取 2~3 位有效数字便可以了。

二、公认值和平均值

兴华测量一枝铅笔的直径，第一次测得 7.02 mm，她把游标卡尺的两卡脚推紧些，测得 6.98 mm，再用力推紧些测得 6.96 mm。

“铅笔的直径究竟算作多少呢？”她想。

老师说,这种情况下,常取多次测量的平均值作铅笔直径的公认值。平均值可以这样计算:

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

一般地说,若总共测量了 i 次,每次测量出的值记为 x_1 、 x_2 、 x_3 、 $\cdots$ 、 x_i ,那么平均值 $\bar{X}$ 为

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_i}{i}$$

测量次数越多,把平均值当作公认值就越可靠。当然,如果另外有精确程度更高的方法,就应把新方法的测量结果作为公认值。

三、误差

有效数字中最后一位数字是可疑数字,故平均值的最后一位也是可疑数字,这可疑数字的不准确范围多大呢?可用误差来表示。

每次测量值 x_i 与平均值的差的绝对值 $|x_i - \bar{X}|$,称为该次测量的算术误差或绝对误差,各次绝对误差的平均值称作“平均绝对误差”,用符号 Δx 表示。兴华测量铅笔直径时,各次测量的绝对误差可算出如下:

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

$$\text{平均绝对误差 } \Delta x = (0.03 + 0.01 + 0.03) / 3 = 0.02 \text{ mm}$$

Δx 通常只取 1 位有效数字。

写成公式的形式是

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

算出平均绝对误差后,常把测量结果写成以下形式:

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

例如铅笔直径的测量值应记录为

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

这表示铅笔直径为 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

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

测量铅笔直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?

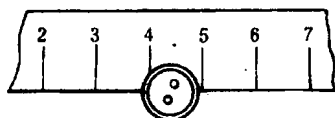
一方面是因为测量工具不完善,测量方法不完善,或测量者个人生理心理特点有差异。这些原因引起的误差称为系统误差。系统误差使测量值总是向某一方向偏离,即总是偏大或总是偏小,就像打靶时弹着点往靶心某边偏离那样。测量时应选择适当的工具及方法,提高人员的技能,以减少系统误差。另一方面,努力排除了系统误差后仍会有原因不明的误差,使测量结果有时偏大有时偏小,这称为偶然误差。用恰当的方法处理测量数据可以减少偶然误差。

估算测量误差及设法减少误差是提高测量精确度的必要

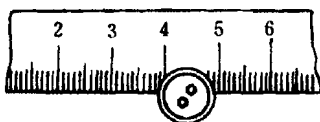
条件,在后面我们还将陆续介绍有关知识。

思考题

1. 读出下图中钮扣直径的测量值



直径 $\phi_1 =$



直径 $\phi_2 =$

图 0-2 测量钮扣直径

2. 下列数据各为几位有效数字?

真空中的光速 $c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$

地球的平均半径 $R = 6371.22 \text{ km}$

3. 甲同学测量一根铜线长,测得平均值为 327 mm,平均绝对误差为 3 mm;乙同学测量一根竹杆长,测得平均值为 4274 mm,平均绝对误差为 9 mm。他们俩的测量结果谁的更精确?

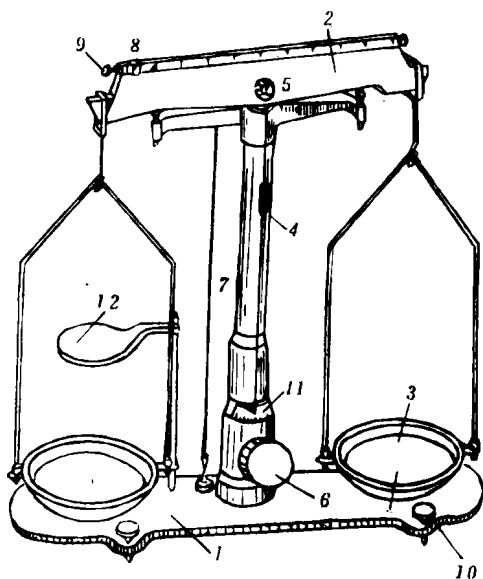
实验一 形状规则固体密度的测定

给你一个塑料圆柱体，你有办法测量出塑料的密度吗^①？

按定义，物质的密度 γ 可如下计算：

$$\gamma = \frac{m}{V}$$

式中 m 为物体质量，可用天平称量； V 为物体体积，用游标卡



1. 底座 2. 横梁 3. 托盘 4. 指针 5. 刀口 6. 横梁升降旋钮
7. 重垂线 8. 游码 9. 平衡螺丝 10. 底座螺丝 11. 标度盘 12. 支架

图 1-1 物理天平

① 也可用金属圆柱体或玻璃弹子球作为测量对象。

尺量出高与直径后便可计算出。

只要用天平及游标卡尺作必要的测量后，就能计算出塑料的密度了。天平及游标卡尺的使用方法简介如下。

一、物理天平

常用的物理天平如图 1-1 所示。秤量(允许称量的最大质量)常为 500 g，感量(可称量的最小质量)常为 0.02 g。

使用天平前要作好准备工作：

1. 调底座水平：调节底座螺丝，至重垂线下端恰对着尖顶记号，即可认为底座已水平。2. 调横梁平衡：把游码拨至“0”位置，旋动抬降旋钮将横梁升起，看指针是否指在标度盘的“0”刻线上；若不，应调节平衡螺丝，使指针指“0”刻线为止。调节时必须降下横梁，以免损伤刀口。

使用天平时，将待测物放在左边托盘上，挑选合适的砝码放在右边托盘上，适当增减砝码，并移动游码，使横梁抬起后仍平衡，右托盘中砝码的总质量数加上游码读数即等于待测物质量数。

操作时要注意：

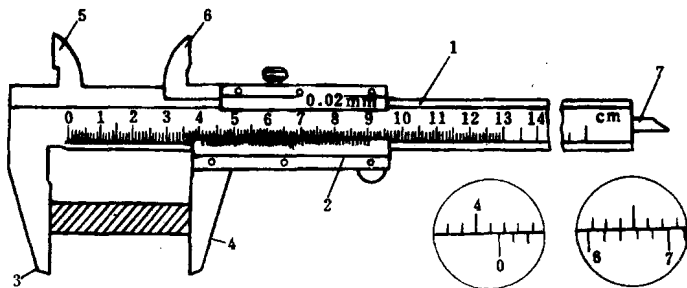
1. 选用砝码时，先选较大的。若估计待测物的质量约为 50 g，则先选用 2 个 20 g 砝码，再加质量较小的砝码，小于 1 g 的砝码可用游码代替。待测物和砝码都应放在托盘中部。

2. 刀口是决定天平灵敏度的关键，要注意保护刀口，只在判定天平是否平衡时才可将横梁抬起让刀口受力，其余任何过程如增减砝码、取下物体等均应在降下横梁后进行。抬降横梁要轻、慢，不可猛撞。

3. 要注意防蚀防锈,不可将高温物体、腐蚀性化学物质或液体直接放在托盘上称量。取砝码时要用镊子。

二、游标卡尺

游标卡尺是测量长度的精密工具之一,常用的精度规格有 0.1 mm 、 0.05 mm 、 0.02 mm 等几种,(精度指主尺上每小格与游标上每小格长度的差值,也是该尺能测量出的最小长度)。本实验中选用精度为 0.02 mm 的游标卡尺,其构造如图 1-2 所示。



1. 主尺 2. 游标 3、4. 外卡脚 5、6. 内卡脚 7. 探条

图 1-2 游标卡尺(精度 0.02 mm)

使用前,先将游标与主尺的卡脚合拢,这时它们的“0”刻度线应该对齐。否则表明该游标卡尺已磨损,需作修理。

测量时,左手持待测物,右手持尺,将待测物夹于两卡脚的刀口间(不要放在凹处),再读数。读数的方法是先读主尺,再对游标。

先读主尺:读出游标的“0”与主尺的“0”刻线间的刻度数 N ,以 mm 为单位时, N 就是测量值的整数部分。

再对游标:看游标上哪一刻度线与主尺上某一刻度线对

齐，就读出游标上该根刻度线的数值 k ，以“mm”为单位时， k 是测量值的小数部分。

测量值 = 主尺示数 + 游标示数

图 1-2 中，主尺示数为 41，游标示数为 64，于是测量值为 41.64 mm。

为什么这样读数呢？以精度 0.02 mm 的游标卡尺为例，它主尺上最小刻度是“mm”，而游标上 50 个长度间隔总长 49 mm，每个间隔长 $49/50$ mm，当游标与主尺的“0”刻度线对齐时，游标上第 1 刻度线在主尺第 1 刻度线的左方，两线位置相差 $\Delta = 1 - 49/50 = 0.02$ mm；类此，游标上第 2 刻度线在主尺第 2 刻度线左方，两线位置相差 0.04 mm，等等。

若在两卡脚间放一张 0.02 mm 厚的薄纸，游标就将向右移 0.02 mm，于是游标的第 1 刻度线将与主尺对齐；若纸厚 0.04 mm，则游标的第 2 刻度线将与主尺对齐。反之若游标上的第 3 刻度线能与主尺对齐，纸厚就是 0.06 mm。若游标的“0”恰对齐主尺的第 N 刻线，表示待测物恰长 N mm，若游标的“0”刻线在主尺第 N 刻线右方一些，表明待测物长度为 N mm 多一些，多的部分可如上述从游标卡尺上读出来。这就是“先读主尺、再对游标”的理由。读数时，游标上究竟哪根刻线对齐是靠估计的，故读出的最后一位数字是可疑数字。

[操作]

用天平把待测物称量 3 次，每次称量前都重新把天平调平衡。

用游标卡尺把需测量的每个长度各测 3 次，每次测量前