

中等专业学校教材

工科专业通用

物理 实验

工科中专物理教材编写组 编
陕西省中专物理编写组 修订

高等教育出版社

中等专业学校教材
工科专业通用

物 理 实 验

工科中专物理教材编写组 编
陕西省中专物理编写组 修订

高等教育出版社

1984年

内 容 提 要

本书第二版根据一九八四年教育部审定的《中等专业学校物理教学大纲》的要求，对一九七九年出版的工科中专物理教材编写组编《物理实验》初版进行了较大的修订与补充，参照几年来各地在试用中的经验和意见，充实了实验内容，由原来的十三个实验增加到二十一个，改写和充实了部分实验的内容，使之更符合当前教学的需要。本书按力学、热学、电学、光学几个部分顺序安排，其中标有*号和**号部分，可从中任选一个，标有△号部分为教师边讲、学生边做的实验。

本书可作为中等专业学校工科各专业的教材，亦可供初、中级技术人员及中学教师参考。

中等专业学校教材

工科专业通用

物 理 实 验

工科中专物理教材编写组 编

陕西省中专物理编写组 修订

*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海中华印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/32 印张 3.375 字数 68,000

1979年12月第1版

1985年5月第2版 1985年5月第1次印刷

印数 00,001—120,000

书号 13010·01070 定价 0.47 元

目 录

绪论	1
实验一 金属圆柱体密度的测定	8
实验二 气垫导轨简介观察匀速直线运动	13
实验三 测定匀加速直线运动的即时速度和加速度	17
△实验四 验证力的平行四边形法则	23
实验五 验证牛顿第二定律	27
△实验六 研究向心力与质量、线速率及半径的关系	35
实验七 验证弹性碰撞过程中动量守恒和动能守恒	38
实验八 研究单摆的振动周期、用单摆测定重力加速度	47
△实验九 验证理想气体状态方程	50
*实验十 测定冰的溶解热	52
*实验十一 测定水的汽化热	55
实验十二 静电场的描绘	58
**实验十三 验证电阻的串联和并联的规律	64
**实验十四 用伏—安法测电阻	67
**实验十五 扩大电流表、电压表量程	71
实验十六 测定电源的电动势和内电阻	76
实验十七 研究电源输出的功率跟负载电阻的关系	78
△实验十八 惠斯通电桥(研究直流电桥的平衡条件)	81
△实验十九 楞次定律(研究磁场变化引起的电磁感应中感生电流方向的规律)	86

实验二十 测定玻璃的折射率·····	92
实验二十一 测定会聚透镜的焦距并研究凸透镜成 像的规律·····	97

* 实验十、十一可任选一个。

** 实验十三、十四、十五可任选一个。

△ 表示教师边讲,学生边做的实验。

绪 论

物理学是一门建立在实验基础上的科学。物理概念的建立以及物理定律的发现，都是以实验事实作为依据的。已经建立起来的物理定律或理论，也必须经得起非常严格的科学实验的检验，才能被确认。人的认识过程总是以感性认识为基础，由此获得的理论知识还必须应用于实际。所以，不论对物理学的发展，还是对我们学习物理学，实验都是非常重要的。

实验课能够培养我们的实验技能。具体的说，就是能使我们学会使用有关仪器，掌握有关的实验方法和测量技术，学会有效数字的运用和运算以及实验误差的计算，并会分析实验过程和结果，对存在问题作出正确判断。通过实验，还能加深对已学理论知识的理解，从而更牢固地掌握物理概念和定律。同时，通过实验还能够培养我们严肃认真、实事求是的科学态度和工作作风。

在实验中，我们将要直接测量一些物理量，或者通过这些量再计算出另一些物理量。但是，测量是不可能绝对精确的，这就出现了如何表达这些测量值才算作合理，以及怎样确定它的精确程度等问题。为此，我们要采用有效数字，并且要讨论误差。误差理论是很复杂的，这里只作简要介绍。

一、误差

1. 误差的产生

(1) 系统误差。由于仪器有毛病,实验方法不完善,个人观测时的偏向以及环境变化等原因,会引起多次测量结果总是偏高或总是偏低,这种情况的误差叫系统误差。例如,电表的零点没有校准而是高于零点,那么用它来测量的每次读数,就总是偏高的。

(2) 偶然误差。排除了系统误差,仍然存在测量结果时而偏大,时而偏小的情况,这种情况的误差叫偶然误差。实验表明,偶然误差中偏大和偏小的机会是相同的。所以,我们对某一待测的量多测定几次,

次 数	$d(\text{mm})$
1	0.797
2	0.798
3	0.802
4	0.801
5	0.802
平均	0.800

取其平均值作为测量结果,就会大大减小偶然误差。例如,用螺旋测微计测定漆包线的直径时,分别测量5次,将读数列于表格,求得它们的平均值为0.800毫米,这就是我们的测量结果,它比较接近于真实值。

(3) 过失误差。这主要由于观测者粗心大意,或违反操作规程而引起。

2. 误差的表示

(1) 绝对误差。待测物理量的真正大小叫真值。由于误差不可能完全避免,所以测量值与真值间总有一个差值,这个差值的绝对值叫做绝对误差。但是,真值是无法测得的,而被人们公认的精确测量值比较接近于真值,所以我们就用公认值代表真值来求绝对误差。用 A 表示公认值, N 表示测量值,

则绝对误差 ΔN 为

$$\Delta N = |A - N|$$

例如，钢-铸铁间滑动摩擦系数的公认值为 0.18，如果测量值是 0.17，则绝对误差是

$$\Delta N = |A - N| = |0.18 - 0.17| = 0.01$$

(2) 相对误差。用绝对误差往往表达不了实验结果的好坏。例如，用同样方法测得水的密度为 1.1 克/厘米³，水银的密度为 13.5 克/厘米³，其公认值分别是 1.0 克/厘米³和 13.6 克/厘米³，所以绝对误差都是 0.1 克/厘米³，但前者占了公认值的 10%，而后者还不到 1%，显然后者准确得多。因此，我们就用绝对误差与公认值的比 $\frac{\Delta N}{A}$ 来表示实验的准确程度，叫做相对误差。一般用百分比来表示，又叫百分误差。在上例中，水密度测定值的相对误差是

$$\frac{\Delta N_1}{A_1} = \frac{|1.1 - 1.0|}{1.0} = 0.1 = 10\%$$

水银密度测定值的相对误差是

$$\frac{\Delta N_2}{A_2} = \frac{|13.6 - 13.5|}{13.6} \approx 0.007 = 0.7\%$$

二、有效数字的表示及其运算

1. 有效数字的表示

测量的精确程度，决定于仪器的精密程度，仪器的最小刻度反映的量值越小，测量就越精确。由最小刻度线直接读出的数是准确的，可靠的，叫做可靠数字。但是待测的量往往不正好是最小刻度的整数倍，而是读数落于两个刻线之间，这时

应该怎样读数呢？我们可以把最小刻度的间距，凭肉眼分成 2 个、5 个或 10 个等分，估计读数所占的分数，然后把这一位数读出。由于这一位数是估计出来的，是不可靠的，所以叫做可疑数字。

估计出的这一位可疑数字连同前几位可靠数字，在测量中都是有效的，叫做有效数字。例如用米尺测量某一铜棒的长度为 598.4 毫米，由于米尺的最小刻度是毫米，所以前三位是可靠数字，最后一位是估计出来的可疑数字，这个测量结果就用四位有效数字表达。又如前面我们测得漆包线的直径是 0.800 毫米，它表示出这个测量结果有三位有效数字。从这个例子还可以看到，在小数点后面，且在非零数字后的“0”是有意义的，它是有效数字，如果写成 0.8 毫米就错了，因为把本来有三位有效数字的测量值表示成了一位。相反，在非零数字前的“0”不是有效数字，它只与单位的变换有关，不表达有效数字的位数。例如氦-氖激光器发出的红光波长为

$$\begin{aligned} 6328 \text{ 埃}^{\text{①}} &= 0.6328 \text{ 微米} = 0.00006328 \text{ 厘米} \\ &= 0.0000006328 \text{ 米} \end{aligned}$$

都是四位有效数字。为方便起见，可写成指数形式

$$6328 \text{ 埃} = 6.328 \times 10^{-5} \text{ 厘米} = 6.328 \times 10^{-7} \text{ 米}$$

应该注意的是，在单位变换时，有效数字的位数要保持不变。例如 2010 米是四位有效数字，如果用千米作单位，仍然要表示成四位有效数字，写作 2.010 千米。如果用毫米作单位，写成 2010000 毫米，有效数字就变成七位了，所以为了保持四位

① “埃”是光学中常用的表示长度的单位，规定为 1 埃 = 10^{-10} 米。

有效数字,应该写成 2.010×10^6 毫米。

2. 有效数字的运算

在实验中,平均值、绝对误差、相对误差以及间接待测的量等等,都要对直接测得的量经过一定运算才能求得。由于直接测得的量是用有效数字表示的,所以在运算过程中,要遵循有效数字的运算法则。

① 加减法运算 由于有效数字与可疑数字相加减,所得结果就变成可疑的了,所以,诸数相加减,要把绝对误差最大的那个有效数字的末位作为加减结果的有效数字的末位,其余的尾数四舍五入。下面举例说明。为了清楚起见,我们在可疑数字上面加一横线。

$$135.\bar{1} + 32.2\bar{3} + 1.47\bar{7} = 168.\bar{8}$$

$$\begin{array}{r} 135.\bar{1} \\ 32.2\bar{3} \\ + 1.47\bar{7} \\ \hline 168.8\bar{0}7 \end{array}$$

运算结果中 0.8 已经是可疑的了,以后的两位数更不可靠,按四舍五入法舍去,在计算结果中只保留一位可疑数字(但在运算过程中往往多保留一位可疑数字,最后在计算结果中再四舍五入)。

② 乘除法运算 可靠数字与可疑数字相乘除,所得结果也是可疑数字。所以,诸数相乘除时,积或商的有效数字的位数应和各数中有效数字位数最少的相同,其余的尾数四舍五入。例如

$$2.017\bar{5} \times 2.\bar{1} = 4.\bar{2}$$

$$\begin{array}{r}
 2.017\bar{5} \\
 \times 2.\bar{1} \\
 \hline
 2017\bar{5} \\
 4035\bar{0} \\
 \hline
 4.2367\bar{5}
 \end{array}$$

因此,为了简化运算,在运算前可以把位数较多的有效数字简化,按四舍五入法把不必要的位数去掉,使它的有效数字位数比最少位数多一位再进行计算。在上例中,2.0175可简化成2.02,运算结果仍是4.2。

③乘方、开方运算

有效数字乘方时,幂底数有几位有效数字,计算结果中就可保留几位有效数字。

有效数字开方时,被开方数有几位有效数字,计算结果中就可保留几位有效数字。

应该注意的是,准确数(例如东西的个数,实验次数等)的有效位数任意多。另外,公式中的自然数,例如 $g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2}$ 中的“4”,切不可看作一位有效数字,它可以形成任意多的有效位数;其他常数 $\pi = 3.1415926\dots$, 重力加速度 $g = 9.80665\dots$ 米/秒²等也作类似的处理,运算中取多少位,要看其它量的有效数字来定。

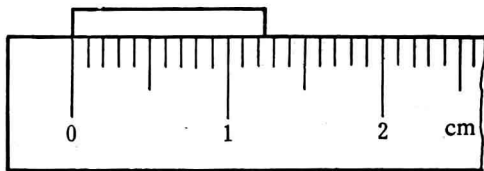
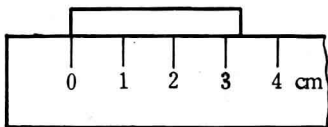
有效数字的规则是相当复杂的。我们在做实验时,只按本实验绪论中所讲的规则去做就行了,而在做中专物理教科书的练习题时,如果没有特别指明,可以不要求按有效数字的运算规则去做,通常在运算结果中只取两位或三位有效数字就可以了。

习 题

1. 下列各数据为几位有效数字?

- ① 真空中的光速 2.9979×10^8 米/秒
- ② 地球的平均半径 6371.22 千米
- ③ 热功当量 $J=4.1868$ 焦耳/卡
- ④ 西安地区重力加速度 $g=9.7969$ 米/秒²
- ⑤ 18°C时铜的比热容为 0.091 卡/克·度

2. 读出下面杆长的测量数值 (分别用毫米、厘米、米作单位表示):



题 2 图

3. 不要计算, 说出下列各题的计算结果应取几位有效数字?

- ① 20.32×0.21
- ② $\frac{1}{4} \pi \times (2.0)^2$
- ③ $25.65 \div 1.5$

实验一 金属圆柱体密度的测定

目的:

1. 学会正确使用物理天平;
2. 学习游标卡尺的使用方法;
3. 练习有效数字的运算。

原理:

根据物质密度的定义

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

用物理天平测出金属圆柱体的质量 m , 再用卡尺测出圆柱体的直径 D 和长度 l , 便可算出金属圆柱体的密度。

仪器:

金属圆柱体, 物理天平, 卡尺。

记录与计算:

测量次数	圆柱体长度 l (毫米)	圆柱体直径 D (毫米)	圆柱体质量 m (克)	圆柱体密度 ρ (克/厘米 ³)
1				
2				
3				
4				
5				
平均值	= 毫米 厘米	= 毫米 厘米		

作业:

1. 你所用的物理天平的感量是多少? 你所测量的金属圆柱体质量的有效数字应取几位?
2. 圆柱体的密度应取几位有效数字?
3. 怎样调节物理天平?

附: 物理天平和游标卡尺

一、物理天平

物理天平是常用的称量质量的仪器, 它是根据等臂杠杆原理制成的, 其外形如图 1-1 所示。主要构造有横梁 1, 秤盘 2 和支柱三部分组成。具有刀口 3 的横梁架在支柱上, 成为天平臂杆。横梁上固定着一根长指针 4, 指针下方有一刻度盘 5, 当指针在刻度盘上左右摆动对称时, 天平处于平衡状

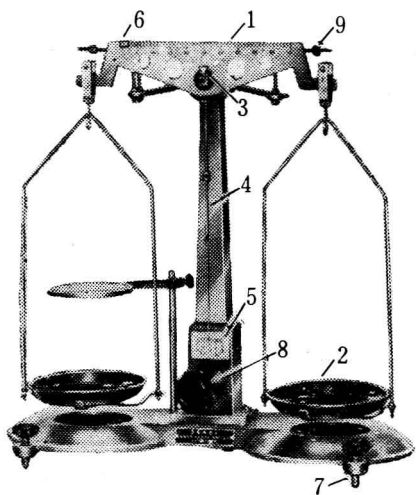


图 1-1

态。天平横梁上装有游码 6, 游码由横梁左端移到右端时, 相当于右盘中增加 1 克砝码。如果游码由左端移到右端共移动 10 小格, 则每移动 1 小格就代表右盘中增加了 0.1 克砝码, 因此, 物理天平的最小称量(又称天平的感量)是 0.1 克。在使用游码称量时, 可估计到 0.01 克。

天平的调节和称量

1. 调水平: 先调节底座螺丝 7, 使天平底盘上的水准泡位于中心。

2. 调平衡: 将游码放在横梁左端, 利用升降螺旋 8 使横梁升起, 调节横梁左方(或右方)的平衡螺母 9, 使天平达到平衡为止。注意每次调节前必须先把横梁放下, 调节后再升起横梁, 观察是否达到平衡, 以免磨损刀口; 称量时, 放置被测物体或加减砝码调节平衡时也必须这样做, 这是使用天平的一条重要规则。

3. 称量: 将被测物体放在左盘中央, 砝码放在右盘中央, 然后调节天平到平衡。根据右盘中砝码的总质量及游码在横梁上的位置即可读数。另外, 每架天平都有最大称量, 使用时不得超过该量, 以免损坏天平。

二、游标卡尺

构造: 游标卡尺是一种测量长度的较精密量具。它的构造如图 1-2 所示。1 是刻有毫米的主尺, 2 是套在主尺上可滑动的游标(副尺), 3 是下测脚, 用来测量物体的外部尺寸, 4 是上测脚, 用来测量物体的内部尺寸, 5 是测量槽或孔的深度的深度尺, 6 是推钮, 用来推动游标沿主尺滑动, 7 是固定主、副尺的锁紧螺钉。

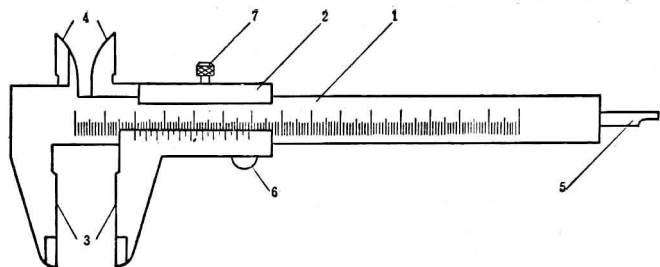


图 1-2

游标原理：常用的游标有 20 分度（精度 0.05 毫米）、50 分度（精度 0.02 毫米）两种。今以 20 分度的游标卡尺为例，说明其原理。如图 1-3(a)，主尺的最小分格为 1 毫米，游标的长度为 39 毫米，分为 20 格，每格长度为 1.95 毫米。因此，主尺每 2 格（2 毫米）与游标每格长度（1.95 毫米）之差为 0.05 毫米，这一差值叫做游标卡尺的精度。

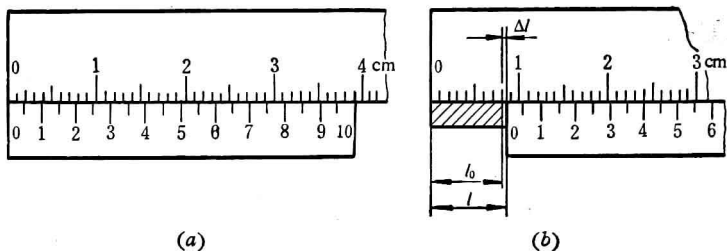


图 1-3

怎样用游标装置读数呢？以图 1-3(b) 为例，先读游标尺“0”刻线左边主尺上的毫米数，图中 $l_0 = 8$ 毫米，然后由游标定出毫米以下的尾数 Δl 。为此，寻找与主尺上某一刻度线

重合(或接近)的一条游标刻度线,图中是第8条游标刻度线。那么,主尺上从8到24刻度线间的距离与游标上从0到8刻度线间的距离之差恰是尾数 Δl 。因主尺上每2格与游标上每格间长度之差(即精度)为0.05毫米,所以

$$\Delta l = 0.05 \text{ 毫米} \times 8 = 0.40 \text{ 毫米}$$

因此,被测物体的长度

$$l = l_0 + \Delta l = 8 \text{ 毫米} + 0.40 \text{ 毫米} = 8.40 \text{ 毫米}$$

由上可见,被测物体长度 l 的表示式为

$$l = l_0 + K \times \text{精度}$$

式中 l_0 代表游标0刻线左侧主尺上的毫米数, K 代表与主尺上某一刻度线重合的第几条游标尺上的刻度线。

其它分度的游标卡尺的使用原理与20分度的原理相同。

在使用游标卡尺测量时,应先使卡尺的两测脚紧密接合,看看游标与主尺的0刻线是否对齐。如果两者对齐,用拇指移动游标向右滑到某一位置,卡住被测物体,读出测量长度^①。

① 如果两条0刻线不能对齐,说明该游标卡尺有系统误差(又叫零误差)。当游标零刻线位于主尺零刻线左侧时,零误差为正,反之,零误差为负。测量时,应在测出的数据中加上零误差。