

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

(第三版)

工科中专物理教材编写组 编
陕西省中专物理教材编写组 修订



高等教育出版社

中等专业学校教材
工科各专业通用

物 理 实 验

(第三版)

工科中专物理教材编写组 编
陕西省中专物理教材编写组 修订

高等教育出版社

(京)112号

内 容 提 要

本书系在第二版的基础上根据1987年国家教育委员会审定的《中等专业学校物理教学大纲》的要求修改、补充而成的。这次修订参照了几年来各地在使用中的一些经验和意见,更新了部分实验手段,增加了少量的观察探讨和设计性实验,而原书的体系和风格没变。

本书与中等专业学校《物理》(工科专业通用)教材配套使用,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,中学教师及自学青年参考。

图书在版编目(CIP)数据

物理实验/工科中专物理教材编写组编;陕西省中专物理教材编写组修订. —3版. —北京:高等教育出版社, 1990. 3(1995重印)

ISBN 7-04-002854-9

I. 物… II. ①工… ②陕… III. 物理-实验 IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 16949号



高等教育出版社 出版

新华书店上海发行所发行

复旦大学印刷厂印装

*

开本787×1092 1/32 印张4 字数80 000

1990年3月第3版 1997年7月第18次印刷

印数 1130 031—1 318 039

定价 3.40元

修 订 说 明

本书系根据 1987 年国家教育委员会审定的《中等专业学校物理教学大纲》的要求,在工科中专物理教材编写组编、陕西中专物理教材编写组修订的《物理实验(第二版)》(1985年)基础上进行修改、补充而成。从当前我国教学的实际情况出发,参照几年来各地在使用中的经验和意见,更新了部分实验手段,充实了实验内容。从加强学生实践能力的角度出发,按照循序渐进的教学原则,本书除保留大部分验证性实验内容外,还增加了少量的观察、探讨和设计性实验。本书按力学、热学、电学、光学的顺序,共安排了二十六个实验,其中标有*号和**号的实验,可从中任选一个,标有△符号的,为教师边讲、学生边做的实验。

这次修订,西安仪表工业学校杨博访同志起草了《物理实验》初稿,誊写并绘制了实验书稿和草图。西安航专王银明同志对《物理实验》初稿进行了修改和定稿。

本书可作为中等专业学校工科各专业的教材,亦可供其他专业、中学教师以及初、中级技术人员参考。

与本书配套使用的工科中专物理教材编写组编,陕西省中专物理教材编写组修订的《物理》(第三版)、《物理教学参考书》(第二版)等,均由高等教育出版社出版。

陕西省中专物理教材编写组

1989.9

目 录

绪论	1
实验一 金属圆柱体密度的测定	9
实验二(A) 学习气垫导轨的使用方法	15
实验二(B) 用打点计时器研究匀变速直 线运动	18
实验三 测定匀加速直线运动的即时速度 和加速度	23
△实验四 验证力的平行四边形法则	29
实验五 验证牛顿第二定律	33
△实验六 研究向心力与质量、线速率及半 径的关系	42
实验七 验证机械能守恒定律	45
实验八 验证弹性碰撞过程中动量守恒和 动能守恒	50
实验九 研究单摆的振动周期 用单摆测定重力加速度	58
△实验十 验证理想气体状态方程	61
*实验十一 测定冰的熔解热	67
*实验十二 测定水的汽化热	70
实验十三 静电场的描绘	73
实验十四 验证电阻的串联和并联的规律	78

**实验十五	扩大电流表、电压表量程·····	81
实验十六	测定电源的电动势和内电阻·····	86
实验十七	研究电源输出的功率跟负载电 阻的关系·····	88
**实验十八	用伏安法测电阻·····	91
**实验十九	惠斯通电桥·····	95
实验二十	用电流天平研究磁场对电流的 作用力·····	99
△实验二十一	观察电子束在电场、磁场中 的偏转·····	103
△实验二十二	楞次定律·····	105
实验二十三	测定玻璃的折射率·····	108
实验二十四	测定会聚透镜的焦距并研究 凸透镜成像的规律·····	113
实验二十五	观察光的干涉现象·····	117
实验二十六	光谱的观察·····	119

* 实验十一、十二可任选一个。

** 实验十五、十八、十九可任选一个。

△ 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学科。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。

按照不同的教学目的和要求，本书安排了观察实验、测量实验、验证性实验、探索和设计性实验。这些不同类型的实验，不仅可以加深我们对物理概念和规律的进一步理解，而且能够培养一定的实验能力。具体地说，就是能使我们学会使用有关仪器，掌握一定的实验方法；培养分析和处理实验数据、概括实验现象、总结实验规律的能力。同时，通过实验，还能培养我们严格、细致、实事求是、一丝不苟和理论联系实际的科学态度；勤于动手、善于思考、讲究科学方法的工作作风，以及遵守纪律、爱护国家财产的品德。

如何做好实验，在物理课的“绪论”中已经讲过了，希望同学们认真阅读该部分课文。

在实验中，我们将要直接测量一些物理量，或者通过某些量的测量，再计算出另一些物理量，这就是间接测量。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。误差理论是比较复杂的,这里只作粗浅的介绍。

一、误差:

1. 什么是误差

被测的物理量总有一个客观的真实数值,这个数值叫该量的“真值”,但在实际测量中,由于仪器、测量方法、环境变化和观察者观察能力的差异等原因,往往使测量值与真值之间存在着差值,这个差值叫误差。

2. 误差的产生和分类:

(1) 系统误差: 由于测量仪器本身不完善(如刻度不准、电表零点未调好、砝码未校正、量热器绝热性能差等),环境的改变(如温度、压强的变化),实验方法粗糙以及实验理论与方法本身的近似性等原因,所得测量值,总是有规律地偏高或低于真值,这种误差叫系统误差。

系统误差是可以设法减少的,一般采用的方法有: 选用精度较高的仪器,提高操作技能,正确使用仪器,改进测量原理和方法等。

(2) 偶然误差: 实验中即使排除了系统误差,仍存在一些偶然因素,如风、振动、电压的突然变化等因素对实验者、测量仪器、被测对象的影响,这样造成的误差叫偶然误差。偶然误差具有明显的特点,即测量值有时偏大,有时偏小,且偏大或偏小的机会是均等的,所以,可采用多次测量取其平均值的方法来减少偶然误差。

(3) 过失误差: 主要是由于观察者粗心大意,或违反操

作规程等引起的。例如，读错数值、计算错误等。只要测量者谨慎、细心，认真对待实验，过失误差是可以避免的。

系统误差和偶然误差只能减小，不能完全消除。所以，它们对测量值的精确程度起决定作用。

3. 误差的表示

(1) 绝对误差。测量值与真值间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，所以往往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，如此测量值是 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优劣。例如，用同样方法测得水的密度为 $1.1 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ，水银的密度为 $1.37 \times 10^4 \text{kg/m}^3$ 。它们的公认值分别是 $1.0 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 和 $1.36 \times 10^4 \text{kg/m}^3$ ，所以两次测量的绝对误差都是 $0.1 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ，但水的绝对误差占公认值的 10%，而水银的还不到 1%，显然后者要准确得多。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

$$\frac{\Delta N_1}{A_1} = \frac{|1.1 - 1.0| \times 10^3}{1.0 \times 10^3} = 0.1 = 10\%$$

水银密度测定值的相对误差是

$$\frac{\Delta N_2}{A_2} = \frac{|1.36 - 1.37| \times 10^4}{1.36 \times 10^4} \approx 0.007 = 0.7\%$$

二、有效数字的表示及其运算

测量值只能是近似数。几个近似数的运算结果仍是近似数，为了确切地表示记录和运算结果的近似程度，下面讨论有效数字及其运算规则。

1. 有效数字的表示

仪器的最小刻度(或分度)，叫做仪器的精度。最小刻度的量值愈小，其精度愈高。测量中，由最小刻度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度之间，这时应该怎样读数呢？我们可把最小刻度的间距，凭肉眼分成 2、5 或 10 等份，估计读数所占的份数，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**。例如，图 0-1 和图 0-2 所示两个不同精度的毫安表，前者精度为 10 mA，后者为 1 mA，则前者读数为 45 mA，后者为 44.8 mA。如果指针正对某一刻度，例如图 0-1 和 0-2 中的虚线所示，则在读数时，应读作 30.0 mA。上述 45、44.8、30.0 这几个读数的末位数字都是估计的，因而是可疑数字。

仪器上读出的可靠数字和末位的可疑数字，在测量中都是有效的，叫做**有效数字**。

在单位换算时，必须注意有效数字的写法。例如，测量某物体的质量为 10.0 g，这是三位有效数字。如果用千克作单位，就写成 0.0100 kg，仍应是三位有效数字。可见在小数点

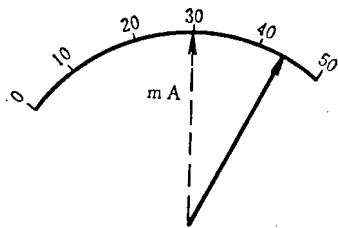


图 0-1

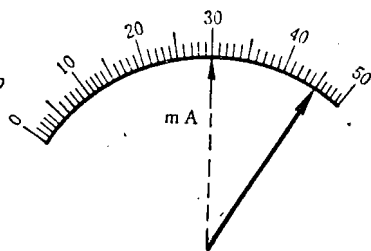


图 0-2

后面,且在非零数字后的“0”是有意义的,它是有效数字。相反,在非零数字前的“0”不是有效数字,它只与单位的换算有关,不表示有效数字的位数。为了避免混淆,并使记录和计算方便,通常写成有一位整数的小数和10的乘方的积的形式。上例中质量可写成 $1.00 \times 10^{-2} \text{kg}$ 或 10.0g ,这就是说,在单位换算时,有效数字的位数要保持不变。

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 由于可靠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。

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

$$\begin{array}{r} 135.\bar{1} \\ 32.2\bar{3} \\ + 1.47\bar{7} \\ \hline 168.\bar{8}\bar{0}\bar{7} \end{array}$$

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

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

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

在运算结果中, 可疑数字仍只保留一位, 所以上例中的结果应为 4.2。

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,准确的整数(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 $\pi=3.1415926\cdots$, 重力加速度 $g=9.80665\cdots\text{m/s}^2$ 等也作类似的处理,运算中取多少位,要看其他量的有效数字来定。

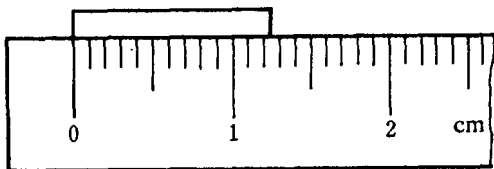
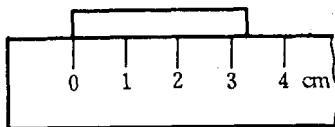
有效数字的规则是相当复杂的。我们在做实验时,只按本实验绪论中所讲的规则去做就行了,而在做中专物理教科书的练习题时,如果没有特别指明,可以不要求按有效数字的运算规则去做,通常在运算结果中只取两位或三位有效数字就可以了。

习 题

1. 下列各数据为几位有效数字?

- ① 真空中的光速 $2.9979\times 10^8\text{m/s}$
- ② 地球的平均半径 6371.22 km
- ③ 热功当量 $J=4.1868\text{J/cal}$
- ④ 西安地区重力加速度 $g=9.7969\text{ m/s}^2$
- ⑤ 18°C 时铜的比热容为 $0.091\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$

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 $25.65 \div 1.5$

4. 改正以下错误(口答)

(1) $2.8 \text{ m} = 280 \text{ cm} = 2800 \text{ mm}$

(2) $32.1 + 3.726 = 35.826$

(3) $26.25 - 3.926 = 22.324$

(4) $10.1 + 1.531 = 11.631$

(5) $69.68 - 55.8448 = 13.835$

5. 什么叫系统误差, 偶然误差、绝对误差和相对误差?

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

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

对金属圆柱体,用物理天平测出其质量 m ,再用卡尺测出圆柱体的直径 D 和长度 l ,便可根据

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{4m}{\pi D^2 l}$$

算出金属圆柱体的密度。测量 D 和 l 时,可在不同位置分别测量 5 次,取其平均值。

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 (mm)	圆柱体直径 D (mm)	圆柱体质量 m (kg)	圆柱体密度 ρ (kg/m ³)
1				
2				
3				
4				
5				
平均值	= $\frac{\text{mm}}{m}$	= $\frac{\text{mm}}{m}$		

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 g 砝码。如果游码由左端移到右端共移动 50 小格, 则每移动 1 小格就代表右盘中增加了 0.02 g 砝码, 因此, 物理天平的最小称量(又称天平的感量)是 0.02 g。在使

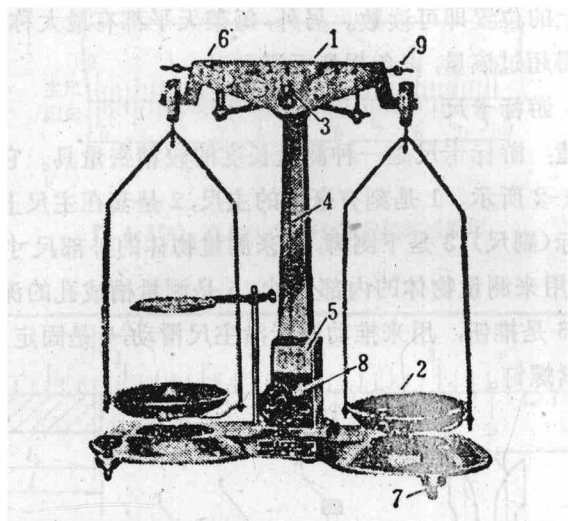


图 1-1

用游码称量时,可估计到 0.01 g。

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