

11.3-10 / 263

中等专业学校试用教材

物理实验

工科专业通用

人民教育出版社

库存书

中等专业学校试用教材

工科专业通用

物 理 实 验

工科中专物理教材编写组编

*

人民教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海新华印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/32 印张 1.25 字数 28,000
1979年12月第1版 1980年4月第1次印刷

印数 00,001—200,000

书号 13012·0414 定价 0.12 元

目 录

绪论	1
实验一 测即时速度和加速度	7
实验二 验证力的平行四边形法则	10
实验三 验证牛顿第二定律	12
*实验四 验证向心力公式	14
实验五 测定重力加速度	17
实验六 验证理想气体状态方程	18
**实验七 测定冰的溶解热	20
**实验八 测定水的汽化热	22
实验九 静电场的描绘	24
实验十 验证电阻的串联和并联的规律	27
实验十一 测定电源的电动势和内电阻	30
实验十二 研究电源输出的功率跟负载电阻的关系	31
实验十三 楞次定律	34

* 实验四可以选做。

** 实验七、八可任选一个。

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。另外，人的认识过程总是从感性到理性，而且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，对存在问题做出正确判断。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做合理，以及怎样确定它的精确程度等问题。所以，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,取其平均值作为测量结果,就会大大减小偶然误差。

次数	d(mm)
1	0.797
2	0.798
3	0.802
4	0.801
5	0.802
平均	0.800

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定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比重为 1.1 克/厘米³，水银的比重为 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，水比重测定值的相对误差是

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

水银比重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。在最小刻度上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 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

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

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,所以不能这么表达,而应该写成 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,所以要把绝对误差最大的那个有效数字

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

的末位, 作为加减结果的有效数字的末位。例如

$$135.1 + 32.23 + 1.477 = 168.8$$

135.1	↓	绝对误差最大的 有效数字的末位
+ 32.23		
+ 1.477		
168.807	↓	答案中有效 数字的末位

答案中 0.8 已经是可疑的了, 以后的两位更不可靠, 应该四舍五入 (严格的规定是四舍六入, 如果正好是五, 则前面一位数是奇数就进入, 是偶数就舍去), 所以答案是 168.8, 有四位有效数字。

(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。所以有效数字位数最少的是几位, 乘除的结果就是几位。例如

$$2.1 \times 2.0175 = 4.2$$

2.0175	↓	可疑数字
× 2.1		
4.23675	↓	从这位以后都 是可疑数字
4.23675	↓	答案中有效数 字的末位

其实, 在运算前还可以把位数较多的有效数字简化, 只保留比最少位数多一位再进行运算。在上例中 2.0175 可简化成 2.02, 运算结果仍是 4.2。

应该注意的是,准确数(例如东西的个数、实验的次数等等)同有效数字相乘除时,有效数字是几位,所得结果还是几位。例如把 11.8 升的水分成相同的 20 分,每分是 0.590 升,而不能写成 0.59 升。

对于无限循环或不循环小数,如 π , $\sqrt{2}$, $\frac{1}{3}$ 等等,它们有效数字的位数没有限制,可以根据需要选取。在加减时,可比小数点后位数最少的有效数字多取一位小数点后的位数。乘除时,它们有效数字的位数,要比位数最少的有效数字多取一位。例如,求半径为 20.5 毫米的圆周长,则在公式 $S=2\pi r$ 中的 π 取 3.142,不能取 3.14,也没有必要取 3.1416。

实验一 测即时速度和加速度

目的：(1) 测定运动物体的即时速度和加速度。(2) 巩固即时速度的概念和加速度的概念。(3) 学会使用停表测定时间。

原理：(1) 物体在某一位置或某一时刻的即时速度，就是原来做变速运动的物体，如果它在经过那一位置或在那一时刻以后开始作匀速直线运动时所具有的速度。(2) 速度的改变量跟所用时间的比，叫做运动物体的加速度。即

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

仪器：米尺，带有铁夹的铁架台，停表，长约 150 厘米的带槽木板两块，金属小球，挡板。

步骤：

(1) 取长约 150 厘米的带槽木板 L 、 M ，装置如图 1(a)， L

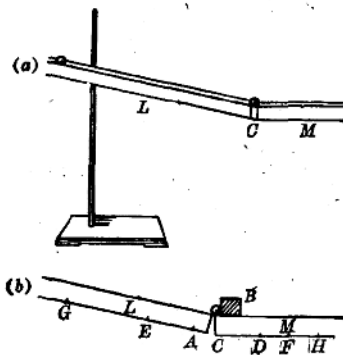


图 1

的上端较底端 C 高出约 5~10 厘米。 M 应水平放置，但为了抵消摩擦力，左端可以稍为垫高一些，使小球能在槽内做匀速运动。

(2) 把挡板 B 放在 L 和 M 接合处的 C 点，如图 1(b)，让小球从 L 上的 A 点滚下 (A 点离 C 点 16 厘米)，用停表测出小球从 A 点滚到 C 点所用的时间 t_1 。重复三次，把每次测得的数值都填入表中。

(3) 把挡板 B 向右移到离 C 点 30 厘米的 D 点处，仍旧让小球从 A 点滚下，测出小球在 L 槽通过 16 厘米、在 M 槽通过 30 厘米所用的时间 t'_1 。重复测三次，并填入表中。

(4) 把挡板 B 移回 C 点，让小球从 L 上的 E 点滚下 (E 点离 C 点 64 厘米)，测出小球从 E 点滚到 C 点所用的时间 t_2 。重复测量三次，并记入表中。

(5) 把挡板 B 向右移到离 C 点 50 厘米的 F 点处，让小球从 E 点滚下，测出小球在 L 上通过 64 厘米、在 M 上通过 50 厘米所用的时间 t'_2 。重复测量三次。

(6) 把挡板 B 移回 C 点，让小球从 L 上距 C 点 144 厘米的 G 点滚下，测出小球从 G 点滚到 C 点所用的时间 t_3 。重复测量三次。

(7) 把挡板 B 向右移到离 C 点 70 厘米的 H 点处，让小球从 G 点滚下，测出小球在 L 上通过 144 厘米、在 M 上通过 70 厘米所用的时间 t'_3 。重复测量三次。

记录：

小球在L槽板上通过的路程	小球在L槽板上经过的时间	小球在M槽板上通过的路程	小球在L和M槽板上经过的时间	小球在M槽板上经过的时间
$s_1 =$		$s'_1 =$		$t'_1 - t_1 =$
	平均 $t_1 =$		平均 $t'_1 =$	
$s_2 =$		$s'_2 =$		$t'_2 - t_2 =$
	平均 $t_2 =$		平均 $t'_2 =$	
$s_3 =$		$s'_3 =$		$t'_3 - t_3 =$
	平均 $t_3 =$		平均 $t'_3 =$	

计算:

小球在M槽板上的运动 速度 $v = \frac{s'}{t' - t}$	小球在L槽板上运动 t 秒末的即时速度 $v_t = v$	小球在L槽板上运动的加速 度 $a = \frac{v_t}{t}$

作业:

(1) $s_1 : s_2 : s_3 =$

$t_1 : t_2 : t_3 =$

(2) 小球在L槽板上的运动是_____运动。

实验二 验证力的平行四边形法则

目的：验证两个互成角度的力合成时的平行四边形法则。

原理：作用于一点而互成角度的两个力，它们的合力的大小和方向，可以用表示这两个力的线段为邻边所画出的平行四边形的对角线来表示。

仪器：直尺，三角板，测力计，砝码，带有铁夹的铁架台，木板，纸，图钉，连接在一起的三条细绳。并且在绳的另一端系一套环。

步骤：

(1) 用图钉将白纸钉在木板上。如图 2 所示，在木板上钉两个钉子，把木板竖直地固定在铁架台的铁夹上。

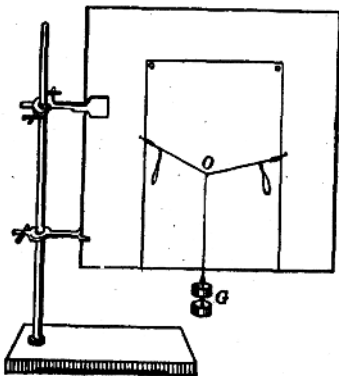


图 2

(2) 把两根细绳的套环分别挂在钉子上，在另一细绳的套环上挂两个砝码。把砝码的总重量和以后测得的各值填入表中。

(3) 用铅笔在纸上记下结子 O 的位置，这个位置将作为力的作用点。画出三条绳子的方向。

(4) 用测力计测定套环在钉子上的绳的拉力。为此，把绳套挂在测力计的钩子上，拉住绳子，调节测力计的位置，使绳结仍然回到 O 点。在这个过程中，要注意使测力计的可动部分完全不跟木板接触。记下测力计所示的力 F_1 ，然后把绳套回到原来的钉子上。如图 3 所示。

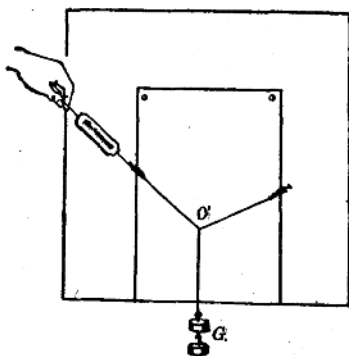


图 3

(5) 用同样方法测定并记下另一绳的拉力 F_2 。

(6) 把绳拿开，用测力计测出砝码的总重量 G 。根据 G 画出 F_1 和 F_2 的合力 R ，并记录下来。

记录：

次数 \ 项目	F_1	F_2	G	R
1				
2				

作图:

(1) 从木板上取下白纸,用笔和直尺从力的作用点 O , 沿着悬挂两条绳的方向画出直线, 选定标度, 并画上箭头来表示绳的拉力 F_1 、 F_2 。

(2) 用同一标度画出合力的大小和方向。

(3) 以代表 F_1 和 F_2 的两个线段作邻边, 用直尺和三角板作平行四边形, 通过 O 点, 连结对角线, 并和表示合力 R 的线段比较。

作业:

(1) 实验的结果证明了什么?

(2) F_1 和 F_2 的合力 R 跟 F_1 和 F_2 的平衡力 G 有什么关系?

实验三 验证牛顿第二定律

目的: (1) 研究加速度跟力的关系。(2) 研究加速度跟质量的关系。

原理: 如图 4 的装置, 测出小车在斜面上滑下的路程和时间, 根据公式 $s = \frac{1}{2}at^2$, $a = \frac{2s}{t^2}$ 可以算出加速度。测出小车沿斜面下滑的力。

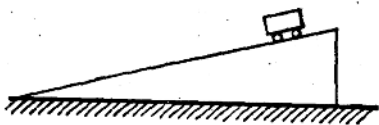


图 4

改变斜面的倾角,再计算加速度,并测出小车沿斜面下滑的力。根据这些数据,研究加速度跟力的关系。

在小车上增加砝码,以增加运动物体的质量,同时减小斜面的倾角,使它受到的沿斜面下滑的力大小不变。算出每次的加速度,测出每次物体的质量。根据这些数据,研究加速度跟质量的关系。

仪器: 带有轨道的木板(长约140厘米),能沿轨道运动的小车,测力计,停表,带有夹子的铁架台,米尺,金属盒,天平和砝码。

步骤:

(1) 把带有轨道的木板的一端夹在铁架台的夹子里,使成一个斜面。

(2) 把小车放在斜面的轨道上,用测力计沿着斜面向上拉着小车,使其匀速下滑,记下测力计上的读数 F_1 。

(3) 把金属盒放在斜面的底端,使小车从轨道上的某一点下滑,用停表测出小车从开始运动到撞到金属盒所用的时间 t_1 ,用米尺测量出在这段时间内小车经过的路程 s_1 ,并算出小车的加速度 a_1 。把测得和算得的结果记入下表。

(4) 改变斜面的倾角,按步骤(2)、(3)测出 F_2 、 t_2 、 s_2 ,并计算出 a_2 。

(5) 在小车上增加砝码,同时减小斜面的倾角,使小车沿斜面下滑的力 F_2 不变(用测力计测出)。

(6) 按步骤(3),测出 t_3 和 s_3 ,并算出 a_3 。

(7) 用天平称出小车的质量。

记录和计算:

实 验 次 数	运动物体的 质量 m (克)	使小车沿轨 道下滑的力 F (克)	小车下滑的 路程 s (厘 米)	所需的时间 t (秒)	加速度 a (厘米/秒 ²)
1					
2					
3					

作业:

(1) 把表中一、二两项之比, 与表中第五项的加速度 a 比较, 可以得出什么结论?

(2) 把表中力的单位换算成达因, 看看每次 F 跟 ma 数值是否近似? 如果有误差, 分析产生误差的主要原因。

实验四 验证向心力公式

目的: 了解物体做匀速圆周运动的原因, 并研究它的运动周期、运动半径、质量和向心力的关系。

仪器: 塑料管一根(外径约 1 厘米, 长约 15 厘米, 两端光滑), 涤纶线一条(约 2 米), 天平一架, 小铁圈 10 个(每个约 10 克), 铁夹两个, 橡皮塞一个, 米尺一根, 停表一只。

原理: 做匀速圆周运动的物体, 时刻受到一个改变线速度方向的且指向圆心的力, 这个力叫向心力。

若物体的质量为 m , 运动半径为 R , 线速度为 v , 则向心力

$$F = m \frac{v^2}{R}$$