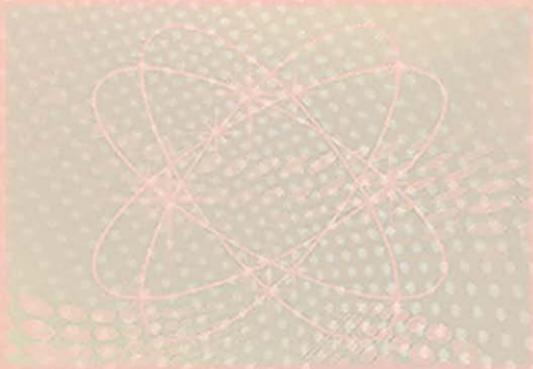


科学实验动手做·物理
力学实验改进设计实践



目 录

1 仪器的读数数据处理

- 实验中正确读数的有关问题····· (1)
误差计算对初中物理实验的指导····· (5)

2 力学实验的操作与实验改进设计

- 长度的测量····· (12)
游标卡尺的读数····· (23)
游标卡尺的读数方法和零误差的纠正····· (27)
力的合成与分解实验的操作与改进设计····· (31)
土法制作长弹簧····· (36)
“微小形变”演示实验的放大设计····· (37)
弹簧秤的零点校正与修正····· (40)
“超重”与“失重”的实验演示····· (44)
用打点器测 g 值的一种新方法····· (48)

3 运动学实验操作与改进设计

- 测平均速度实验的改进····· (51)

平抛运动演示实验	(53)
向心力演示器	(57)
匀速圆周运动投影演示实验的改进	(60)
平抛、竖落演示试验的改进	(62)

4 机械振动与机械波实验的操作与改进设计

用示波器演示行进的横波	(67)
水波干涉和衍射的实验	(70)
两个声学实验的改进	(73)
弹簧共振演示仪	(75)
单摆振动实验的改进	(77)
“单摆等时性”的演示方法改进	(79)

5 质量、密度实验的操作与改进设计

用氢气球测量空气密度	(81)
空气有质量的简易演示方法	(83)
物质密度测定的小实验	(83)
测空气质量实验的改进	(88)

6 动量与功能实验的操作与改进设计

一个力学实验题的设计和解答	(91)
---------------------	------

改滑轮演示实验为探索性实验	(96)
利用经验公式指导学生组装滑轮组	(99)
重力做功跟路径无关的实验演示	(101)
“碰撞中的动量守恒”实验的改进	(105)
“反冲炮”的演示实验	(108)

7 牛顿定律实验的操作与改进设计

演示惯性定律的简单装置——气垫飞碟	(113)
鸡蛋与惯性的演示实验	(114)
验证牛顿第二定律实验的改进	(117)

8 压力与压强实验的操作与改进设计

在室内演示帕斯卡的实验	(120)
演示潜水艇模型的改进	(121)
简易压强计的制作及相关实验	(122)
低重心平底玻璃管	(125)
“汽车重力发电”的原理和模拟实验	(128)
演示大气压的实验	(131)
利用大气压把水抽到高处的实验	(136)
水能被吸到多高	(136)

9 浮力与阿基米德定律实验的操作 与改进设计

“浮力”演示器·····	(140)
物体沉浮实验的改进·····	(142)
两个“浮力产生的原因”简易实验装置·····	(143)
在空气中演示和验证阿基米德定律·····	(148)

1

仪器的读数数据处理



❁ 实验中正确读数的有关问题

① 教学标准精神

全日制中学物理教学标准规定,在物理实验中要求学生了解误差概念,同时指出:高中要求理解有效数字的意义,测量中能按有效数字的要求读数。根据标准的精神,近些年高考试题中反复出现关于测量仪器(工具)读数的试题,据了解这类题得分率不高。在教学中要贯彻标准精神,让学生在了解误差概念的基础上能够正确的读数,这是实验教学中必须注意的问题。

② 目前存在的问题

在教学及教研活动中常能听到学生(包括一些老师)说:

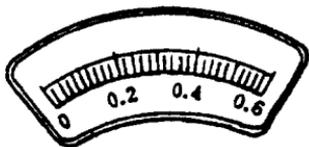


图 1

“读数要读到最小分度的下一位。”这种说法是不科学的、是错误的。在一些教材及教学参考书中关于读数的问题常有这样的叙述:测量仪器的读数一般分为三种情况,一种是不做估读,例如游标卡尺、秒表;一种是仪器精密度较高,可按 $\frac{1}{10}$ 或 $\frac{1}{5}$ 估读;第三种是仪器精密度不高,可按 $\frac{1}{2}$ 做估读。问题在于就中学实验中使用的仪器而言,哪些是精密度高的仪器,哪些是精密度不高的仪器很难划分,也很难向学生介绍。

③ 误差出现在哪一位是由仪器本身所决定的

按照有效数字的概念,有效数字的最后一位是有误差的,因此读数规则是:读到误差位。哪一位数字出现误差是由测量仪器本身所决定的,例如目前中学物理实验室使用的J0407型、J0408型安培表和伏特表,其准确度等级是2.5级,即在正常使用的条件下最大的绝对误差不超过满刻度的2.5%。例如使用量程为0.6安的安培表,最大误差为 $0.6 \times$

$2.5\%(A)=0.015A$, 误差出现在安培的百分之一位上; 使用量程为 3 安时最大误差为 $3 \times 2.5\%(A)=0.075A$, 误差出现在安培的百分之一位上。又例如伏特表的两个量程为 3 伏、15 伏, 使用量程为 3 伏时的最大误差为 $3 \times 2.5\%(V)=0.075V$, 误差出现在伏特的百分之一位上; 使用量程为 15 伏时的最大误差为 $15 \times 2.5\%(V)=0.37V$, 误差出现在伏特的十分之一位上。例如实验室用的米尺最大绝对误差为 0.15 毫米, 误差出现在毫米的十分之一位上。

④ 快速可行的确定误差位的方法

在不向学生介绍仪器准确度等级的情况下, 如何向学生介绍确定读数误差的方法呢? 具分析和比较发现, 对于中学物理实验中几乎所有的测量仪器(除天平、欧姆表外)都可用简单的方法定出误差位, 给读数带来很大的方便。方法如下: 第一步确定仪器的最小分度; 第二步将最小分度除以 2, 所得数字与测量仪器的最大误差在同一数量级, 这样立刻可显示误差出现在哪一位。

例如米尺, 最小分度为 1 毫米, 除以 2, 结果为 0.5 毫米, 误差出现在毫米的十分之一位上。

例如 10 分度的游标卡尺(游标的 10 个等分刻度总长为

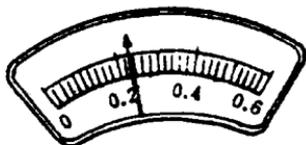


图 2

9 毫米),游标的读数值为 0.1 毫米,即可认为最小分度为 0.1 毫米,除以 2,结果为 0.05 毫米,即误差出现在毫米的百分之一位上。

例如 20 分度的游标卡尺(游标的 20 个等分刻度总长为 19 毫米),游标的读数值为 0.05 毫米,即可认为最小分度为 0.05 毫米,除以 2,结果为 0.025 毫米,误差出现在毫米的百分之一位上。

例如 50 等分的游标卡尺(游标的 50 个等分刻度总长为 49 毫米)游标的读数值为 0.02 毫米,即可认为最小分度为 0.02 毫米,除以 2,结果为 0.01 毫米,误差出现在毫米的百分之一位上。

例如千分尺,最小刻度为 0.01 毫米,除以 2,结果为 0.005 毫米,误差出现在毫米的千分之一位上。

例如 J0407 型安培表量程为 0.6 安的表盘如图 1 所示。最小分度为 0.02 安,除以 2,结果为 0.01 安,误差出现在安培的百分之一位上。其它测量工具的误差这里不再赘述。

定出误差位,读数读到误差位,这就是读数原则。不必再向学生介绍 1/10、1/5、1/2 估读的问题。仍以 J0407 型安培表为例,若指针指在图 2 所示的位置。在 0.22~0.24A 之间的百分之一位上数字仅有“3”,而读数只能读到百分之一位上,因此读数应为 0.23 安,若指针指在如图 3 所示的位置上,有的同学可能会认为这个读数比 0.22 安大些而比 0.23 安又小些,应读为 0.225 安,这种想法是不对的。因为此表的误差位出现在安培的百分之一位上,即在百分之一位上已经出现误差,因此可读为 0.22 安或 0.23 安均可,从而保证了读到误差位的原则。



图 3

要确保读数正确当然还需了解仪器、正确使用仪器、单位换算、读数的先后顺序等其它技术性问题,这里不做讨论。

❀ 误差计算对初中物理实验的指导

误差计算对物理实验工作的指导作用是显而易见的。但是,如何将其用于指导初中物理实验教学,研究却较少。可以从下列四个方面来说明误差计算对初中物理实验教学工作的指导作用:

① 评判学生的实验结果

在每一次学生分组实验中,尽管所有的学生都是用相同的仪器、相同的方法、对同一物理量进行测量,但不同实验小组的实验结果往往会有较大的差异。面对这些不同的结果,教师怎样判断它们的可靠程度呢?解决这一问题的可靠途径是:教师事先根据学生所用仪器的规格、等级、待测量的大小、实验方案及表示实验结果的公式,通过误差计算和分析来确定实验结果的误差范围是多大,这样,面对学生的实验结果,教师就能很快地作出判断。若学生的实验结果不在误差允许

的范围内,则说明学生在操作过程中或计算中出现过错误。教师可帮助学生找到错的原因,让学生重新正确地进行实验。例如,在“测定物质的密度”这一实验中,称物体质量用的托盘天平,设其称量为 500 克,感量为 0.5 克,根据直接测量的误差估计原则知道:测质量 m 的最大不确定量为 $\Delta m = 0.25$ 克*。测物体体积用的量筒,设其最小分度值为 1 毫升,则用它测体积的最大不确定量(测量一次)为 $\Delta V = 0.5$ 毫升。设被测物体为铝块,体积约为 20 厘米³,质量约为 54 克,密度的表示公式为 $\rho = \frac{m}{(V-V_0)}$,式中 m 为物体的质量, V_0 为量筒内水的体积, V 为待测物和水的总体积,密度 ρ 的相对误差为:

$$E = \frac{\Delta m}{m} + \frac{2\Delta V}{V - V_0} \quad (1)$$

将上述数据代入(1)式得: $E = \frac{0.25}{54} + \frac{2 \times 0.5}{20} = 5.5\%$ 。

根据计算知:学生的实验结果 ρ 的值应当在 2.55 克/厘米³ ~ 2.85 克/厘米³ 之间,若学生的实验结果不在这个范围内,则说明学生在操作或计算过程中出现了错误,实验应重新进行。

② 帮助选择正确的方案

在有些初中物理实验中,为了能在相同的实验条件下,使实验结果的误差尽量地小,这就要求能合理地选择实验方案。要做到这一点,首先要对各种方案进行误差计算;然后再对计算结果进行分析比较,进而合理地选择实验方案。例如,初中物理中的“伏安法测电阻”这一实验,设 R_V 为电压表内阻, R_x 为电流表内阻、 R_s 为待测电阻,这里就有一个实验方案选择

的问题。

①内接法,原则如图 1 所示,测量结果 $R' = \frac{U}{I} = R_x + R_g$ 。

式中 U 为电压表的示数, I 为电流表的示数,该方案引起的相对误差为:

$$E_1 = \frac{R' - R_x}{R_x} = \frac{R_g}{R_x} \quad (2)$$

②外接法,原理如图 2 所示,测量结果

$R' = \frac{U}{I} = \frac{R_x R_v}{(R_v + R_x)}$, 该方案引起的相对误差为:

$$E_2 = \frac{R' - R_x}{R_x} = \frac{-R_x}{R_x + R_v} \quad (3)$$

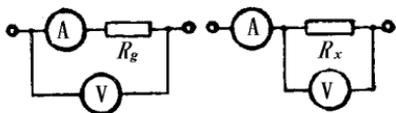


图 1

由上面的分析知道:对同一待测电阻 R_x ,用不同方案测量引起的误差不同。根据计算可知:当

$R_x = R_0 = \frac{1}{2} [R_g + (R_g^2 + 4R_v R_g)^{1/2}]$ 时,用两种方案所引起的

误差相同。所以,在此实验中,若 $R_x = R_0$,两种方案可任选一种;若 $R_x > R_0$,选用内接法引起的误差较小;若 $R_x < R_0$,选用外接法引起的误差较小。

③ 指出实验改进的方向

通过误差分析可找出实验误差的主要来源,以便采取措施达到减小误差的目的,一般的方法是:首先计算出各直接测

量的误差对实验结果总误差影响的大小,若发现某一直接测量值的相对误差比其它几项都要大,则它就是实验误差的主要来源;其次是找出误差产生的原因,如仪器的精度偏低或是被测量过小不易测量等等;最后是通过合理地选择仪器,适当地加大被测量的值或改进测量方法,以达到减小实验误差的目的。例如:九年级教材中“测定物质的比热”这一学生分组实验,在不计量热器内筒、搅拌器及温度计吸热的条件下,计算物质比热的公式为:

$$c = \frac{m_1 c_1 (t - t_1)}{m_2 (t_2 - t)} \quad (4)$$

式中 m_1 、 t_1 、 c_1 分别为加入量热器内筒的液体的质量、初温和比热, m_2 、 c 和 t_2 分别为待测物体的质量、比热和放入量热器内筒前加热后的温度, t 为混合终温。由误差传递公式可求得测量结果的相对误差为:

$$\begin{aligned} E &= \frac{\Delta c}{c} \\ &= \frac{\Delta m_1}{m_2} + \frac{\Delta m_2}{m_2} + \frac{\Delta c_1}{c_1} + \frac{2\Delta t}{t - t_1} + \frac{2\Delta t}{t_2 - t} \end{aligned} \quad (5)$$

现在来分析误差的主要来源,(5)式中 Δm_1 、 Δm_2 分别为用天平直接测量 m_1 和 m_2 所产生的误差,设所用天平的称量为 500 克,感量为 0.5 克,则根据直接测量误差的估计原则知: $\Delta m_1 = \Delta m_2 \leq 0.25$ 克, Δt 是用温度计一次直接测量温度所引起的误差,中学常用温度计的最小分度值为 1°C ,则 $\Delta t \leq 0.5^\circ\text{C}$, c_1 一般用理论值,所以 Δc_1 不考虑,实验中的待测物体常用 $m_2 \approx 75$ 克的圆柱体铁块,加入量热内筒的液体通常是水,其质量约为 30 克,设水的初温为 20°C ,则水的终温 t 约

$$\begin{aligned} \text{为 } 30^{\circ}\text{C}, t_2 \approx 100^{\circ}\text{C}, \text{ 则有: } \frac{\Delta m_1}{m_1} &= \frac{0.25}{75} \approx 0.3\%, \frac{\Delta m_2}{m_2} = \frac{0.25}{30} \\ &\approx 0.8\%, \frac{2\Delta t}{t_2 - t} = \frac{2 \times 0.5}{100 - 30} \approx 1.4\%, \frac{2\Delta t}{t - t_1} = \frac{2 \times 0.5}{30 - 20} = 10\%. \end{aligned}$$

这表明由于天平称质量的精度远高于温度测量的精度,即误差的主要来源在温度的测量,所以(5)式可近似地写成: $E = \frac{\Delta c}{c} \approx \frac{2\Delta t}{t - t_1} + \frac{2\Delta t}{t_2 - t}$ 。根据极值理论知: Δt 一定时,若 $t = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$, 则 E 有极小值,由此可见,设法提高终温 t 是减小误差的关键。另外,在 t_1 、 t_2 和 t 一定时,减小 Δt 也可减小误差,综上所述,本实验减小误差的途径有:①在加入量热器内筒里的液体尽可能少的前提下,尽量使用比热较小的液体,如煤油、蓖麻油等;②选择金属块时,应尽量选择其密度与比热的乘积值较大的金属。例如,在体积、形状相同的情况下,选择铁块比选铝块好,因为在降低相同温度时,铁块放出的热量比铝块多,能使混合终温提高更多。③尽量选用最小分度值更小的温度计以达到减少 Δt ,进而减小误差的目的。

④ 帮助合理地选择实验器材与仪器匹配

在给定了间接测量误差的大小和表示测量结果的公式后,合理地选择仪器与器材就显得至关重要的了。在选择器材时应特别注意与仪器之间的匹配,这是以合理地分配测量误差为基础的,测量误差分配的一般方法是等效法,即假定各个直接测量误差对实验结果总误差的贡献相等。在按等效法进行误差分配后,也可以根据实际测量时,各直接测量误差达到给定要求的困难程度,适当地进行调整,对不容易达到的直接测量项的误差适当放宽。而对容易达到要求的直接测量项

的误差,分配得再小一些,以保证各直接测量项的误差要求难易程度基本均匀。例如,八年级教材中安排的“研究物体浮在液面的条件”这一学生实验。若要求测量结果的误差不大于5%,应当怎样选择实验仪器与器材呢?根据教材的安排,先用天平称出物体的质量 m ,再由 $G=mg$ 求得物体的重量 G_1 ;然后用量筒测出物体排开液体的体积 $V=V_2-V_1$,再由 $G=\rho Vg$ 求得物体排开液体的重量 G_2 , V_1 是加入量筒内液体的体积, V_2 是物体浮在液面时,量筒内液面的示值。 ρ 、 g 是公认值,最后再比较 G_1 与 G_2 的大小,在实验误差允许的范围内应当有 $G_1=G_2$ 的结论,现在分析此实验中怎样选择仪器及器材才能满足要求。测量 G_1 的相对误差为: $E_1 = \frac{\Delta G}{G_1} =$

$\frac{\Delta m_1}{m_1}$, 测量 G_2 的相对误差为: $E_2 = \frac{\Delta G_2}{G_2} = \frac{2\Delta V}{(V_2-V_1)}$ 。上面

两式中 Δm_1 是用天平称质量而引起的误差, ΔV 是用量筒一次直接测体积而引起的误差,实验结果的总误差应为: $E = E_1$

$+ E_2 = \frac{\Delta m_1}{m_1} + \frac{2\Delta V}{(V_2-V_1)} \leq 5\%$, 根据等效法应有: $E_1 = E_2 \leq$

2.5% 。设使用的天平是称量为500克,感量为0.5克的托盘天平,则 $\Delta m_1 \leq 0.5$ 毫克;所用量筒的最小分度值为1毫升,则 $\Delta V \leq 0.5$ 毫升,即物体排开液体的体积应大于或等于40

毫升。由 $E_1 = \frac{\Delta m}{m_1} \leq 2.5\%$ 得: $m_1 \geq \frac{\Delta m_1}{2.5\%} = \frac{0.25}{0.025} = 10$ 克;

由 $E_2 = \frac{2\Delta V}{(V_2-V_1)} \leq 2.5\%$ 得: $V_2 - V_1 \geq \frac{2\Delta V}{2.5\%} = \frac{2 \times 0.5}{0.025} = 40$

毫升。若取水的密度 $\rho = 1$ 克/厘米³,则浮在液面上的物体质量 m_1 应大于或等于40克。只有这样才能满足要求。用量

程为 100 毫升的量筒测体积大于 40 毫升的物体体积,在实际操作中有一定困难,为此可对误差的分配作适当调整。这里可以取 $\frac{\Delta m_1}{m_1} \leq 1\%$, $\frac{2\Delta V}{(V_2 - V_1)} \leq 4\%$, 这样可得:浮在液面上的物体质量应大于或等于 25 克,这为实际操作提供了方便。

除了上述四点外,误差计算还能正确地选择实验步骤和方法,为使实验能合理地进行提供理论上的指导。

* 此处取单次测量误差为仪器最小分度值的一半。

2

力学实验的操作与实验改进设计



✿ 长度的测量

实验 1: 正确测量方法的练习

(1)用学生尺测量桌子的长度,重复做三遍;再用米尺测量,把两次测量所得的结果作比较,看用哪一种尺测量桌子的长度比较好?

(2)分别用米尺、钢皮尺来测量一块橡皮的厚度,也把两次测量所得的结果作比较,看哪次最精确。

(3)为了测量身高,你背靠墙壁以立正姿势站在地上,测量的人用一块衬板压紧你的头发,在墙上画下标记,然后量出标记到地之间的长度。请三个人都用这个方法测量你的身