

运用联系思想 速解实验问题*

张燕飞 (上海师范大学附属中学 上海 200124)

摘 要 物理教学和高考物理都离不开实验,如何让学生学好实验并在高考中取得好成绩呢?文章运用联系思想,从五个方面进行了说明并结合例题予以分析。

关键词 联系 物理实验 高考

文章编号 1002-0748(2024)9-0028

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

实验是物理教学的重要组成部分,也是高考考察的重点内容。那么,如何让学生学好实验并在高考中取得好的成绩呢?最好的方法就是让学生运用联系的思想,因为物理知识之间都是相互依赖、相互制约、相互渗透、相互转化有机关联的,运用联系思想,可以加深对实验的深层次理解,更有利于快速求解实验问题。

1 联系概念和规律,确定原理

物理实验的关键是实验原理,实验原理是实验设计依据的理论根据,是指建立在大量观察和实践的基础上,经分析、推理、归纳、概括得到的概念和规律。实验原理用概念和规律所得的物理公式来呈现。实验测量某一物理量如同求解物理题目中的未知量,就要根据物理规律列出含有此未知量的方程。例如,由含有重力加速度的单摆周期计算公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 变形得到的 $g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2}$,就是用单摆测重力加速度实验的实验原理。故在设计实验时,就要依据已知的一个或几个公式,得出实验原理。

例 1 “神舟十号太空播课”中有一项是测量太空中宇航员的“体重”,测量设备以恒定拉力拉动宇航员,同时测量两个物理量:设备提供的拉力和_____,根据_____得出宇航员的质量。

解析:要测量航天员的质量,在已知力的情况下,我们首先想到含有质量和力的公式就是牛顿第二定律。由于在太空飞船中,物体处于完全失重状态,此时拉力就是合外力,所以根据牛顿第二定律 $F = ma$,可得 $m = \frac{F}{a}$,所以只要测出宇航员的加速度,根据

牛顿第二定律这一原理,就可以得出宇航员的质量了。故答案为:宇航员的加速度,牛顿第二定律。

例 2 某次实验要求用如图 1 所示装置测量铁块与木板间的动摩擦因数。实验时,让铁块从静止开始沿木板滑下,打点计时器打点点迹清晰的一条纸带如图 2 所示,图中每两个相邻的计数点间还有 4 个点未画出。已知 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, $\theta = 30^\circ$,则测出的铁块与木板间的动摩擦因数为多少?

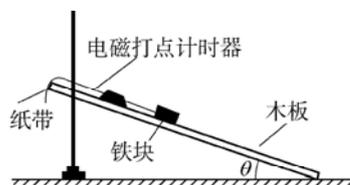


图 1

器打点点迹清晰的一条纸带如图 2 所示,图中每两个相邻的计数点间还有 4 个点未画出。已知 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, $\theta = 30^\circ$,则测出的铁块与木板间的动摩擦因数为多少?

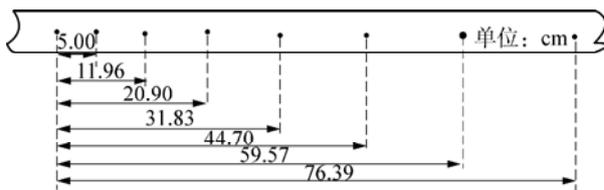


图 2

解析:要测量动摩擦因数,就必须找出含有动摩擦因数的公式,也就是实验原理。含有动摩擦因数的公式就是滑动摩擦力 $f = \mu N$,但题目所给的器材无法直接测量 f 和 N ,所以必须继续利用物理规律进行分析。对铁块进行受力分析,由牛顿第二定律得: $mg \sin \theta - f = ma$, $N = mg \cos \theta$,可解得: $\mu = \frac{g \sin \theta - a}{g \cos \theta}$,所以只需知道铁块运动的加速度大小即可求得摩擦因数。

根据实验中打出的纸带,结合逐差法公式法可

* 基金项目:本文系上海市浦东新区教育科研重点课题“信息技术背景下高中物理混合式实验教学的实践研究”(课题批准号 2023A07 的研究成果。

求得物体的加速度为

$$a = \frac{(s_5 + s_6 + s_7) - (s_2 + s_3 + s_4)}{9T^2} = 1.97 \text{ m/s}^2$$

将已知数值和此加速度数值代入 $\mu = \frac{g \sin \theta - a}{g \cos \theta}$ 得 $\mu = 0.35$ 。

2 联系原理和用途,确定器材

根据原理公式中所涉及各个物理量,我们就可以联系各种器材的用途来选择器材。如测量金属丝电阻率的原理就是电阻定律公式,由 $R = \rho \frac{l}{S}$ 得:

$$\rho = \frac{RS}{l} = \frac{\pi \cdot d^2 U}{4lI}$$

此原理公式中有 U 、 I 、 d 、 l 四个量,我们就可以选择测量电压和电流的电压表和电流表、测量直径的螺旋测微器和测量长度的刻度尺,给电路提供电流的学生电源、连接电路的若干导线、连通或断开电路的开关、多次改变电路电流的滑动变阻器和被测金属丝这些器材了。当然,测量电流和电压也可以使用电流传感器和电压传感器,但这就要同时再选用与传感器配套的数据采集器和计算机了。为了正确地选择器材,对高中物理实验常用的基本仪器要明白其用途,掌握操作方法,对测量类仪器要会正确读数、明确使用注意事项等。

例 3 要探究用不同方法测定干电池的电动势和内阻,除了有导线、开关还有被测量的干电池外,现在给出如下四组器材。为使实验结果尽可能准确,下列几组器材中最不可取的是 ()

- (A) 一个滑动变阻器、一个伏特表、一个安培表
- (B) 一个电阻箱、一个安培表
- (C) 一个电阻箱、一个伏特表
- (D) 一个滑动变阻器、两个安培表^[1]

解析: 要使测量结果尽可能准确,最好的办法是测量多组数值,然后利用图象法来求解。由 $E = U + Ir$ 得实验原理 $U = E - Ir$, 据此原理,可以选择一个安培表、一个伏特表分别测 I 和 U , 并和一个滑动变阻器连接成如图 3 所示电路,改变滑动变阻器的数值可以得到多组 U 、 I , 从而作出 $U - I$ 图象,则图线与纵轴截距为 E , 斜率绝对值为 r , 从而求出 E 和 r , 故 A 组仪器可取。

由全电路欧姆定律和部分电路欧姆定律可得 $E = U + Ir = IR + Ir$, 变形得实验原理 $\frac{1}{I} = \frac{r}{E} + \frac{1}{E}R$, 据此原理,可选择一个安培表和一个电阻箱

(或多个定值电阻)连成如图 4 所示的电路,改变电阻箱阻值可以得到多组 I 和 R , 从而做出 $\frac{1}{I} - R$ 图象,则图线与纵轴截距为 $\frac{r}{E}$, 斜率为 $\frac{1}{E}$ 。从而根据图象数据可以求出 E 和 r , 故 B 组仪器可取。

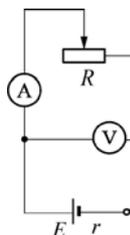


图 3

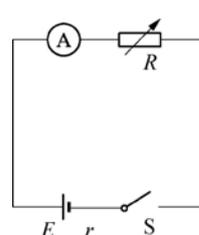


图 4

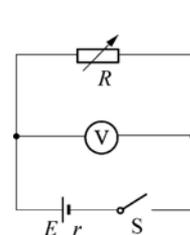


图 5

由全电路欧姆定律和部分电路欧姆定律可得 $E = U + Ir = U + \frac{U}{R}r$, 变形后得实验原理 $\frac{1}{U} = \frac{1}{E} + \frac{r}{ER}$, 据此原理,可选择一个伏特表和一个电阻箱(或多个定值电阻)连成如图 5 所示的电路,改变电阻箱阻值可以得到多组 U 和 R , 从而做出 $\frac{1}{U} - \frac{1}{R}$ 图象,则图线与纵轴截距为 $\frac{1}{E}$, 斜率为 $\frac{r}{E}$, 根据截距和斜率数值从而可以求出 E 和 r , 故 C 组仪器可取。

由于滑动变阻器电阻未知,所以得不出能选择两个安培表和一个滑动变阻器的实验原理,因此 D 组仪器不可取。

答案选 D。

3 联系方法,确定步骤

常规的实验步骤是安装器材、观察现象或者测量数据、分析现象或数据得出结论、整理仪器,另外还需联系一些常见的物理思想方法。如“探究加速度与物体受力、物体质量的关系”时用到的控制变量法,“探究平抛运动的特点”时用到的留迹法,“用单摆测当地重力加速度”时测周期和“用单分子油膜估测油酸分子大小”时测油酸体积时用到的累积法等等。

例 4 如图 6 所示为“研究共点力的合成”实验中的实验器材。

(1) 请简要写出

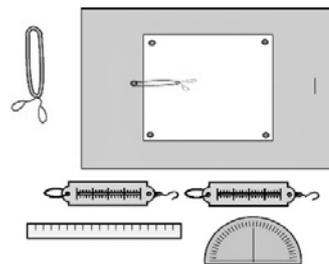


图 6

实验步骤。

(2) 某同学实验使用的弹簧测力计量程均为 0~5 N。他用两个测力计互成锐角地将橡皮条与细绳的连接点拉到 O 点,记录下橡皮条固定端 P 到 O 的距离为 7 cm 以及两测力计读数分别为 3.8 N 和 4.2 N。请对以上实验步骤、测量数据做出点评:_____。

(3) 实验中若用两根橡皮条代替两根细绳套,将_____ (选填“仍能”或“不能”)按原方案完成实验。

解析:(1)本题实验中使用了等效法,即两个分力的作用效果与合力的作用效果相同,按照常规的实验步骤和等效法,实验步骤为:

① 用图钉分别将白纸和橡皮条的一端固定在水平木板上。

② 用两个弹簧秤互成角度地拉绳套,使橡皮筋伸长到一定的位置,记下橡皮筋与绳套结点的位置 O,画出两绳套的方向,记录两弹簧秤的示数 F_1 和 F_2 。

③ 用一只弹簧秤,通过细绳套把橡皮条的结点拉到同样的位置 O,记下细绳套的方向和弹簧秤的读数 F 。

④ 选取合适的力的标度,作出 F_1 、 F_2 与 F ,以 F_1 和 F_2 为邻边作出平行四边形,得到其对角线 F' ,比较 F' 和 F 的大小。

⑤ 改变两力 F_1 、 F_2 的夹角和大小再做几次^[2]。

⑥ 由实验结果得出结论。

(2) ①不必测量 P、O 间的距离;②漏记两个测力计的拉力方向;③按该记录数据可推测出,这两个力的合力大于 5.6 N,所以如果以此要求往下做,用一个测力计拉橡皮条,将无法在量程范围内将连接点拉到 O 点。

(3) 由于细绳套的作用是连结弹簧秤和被拉伸的橡皮筋及确定力的方向,使用两根橡皮条仍能起到相同的效果,所以选填“仍能”。

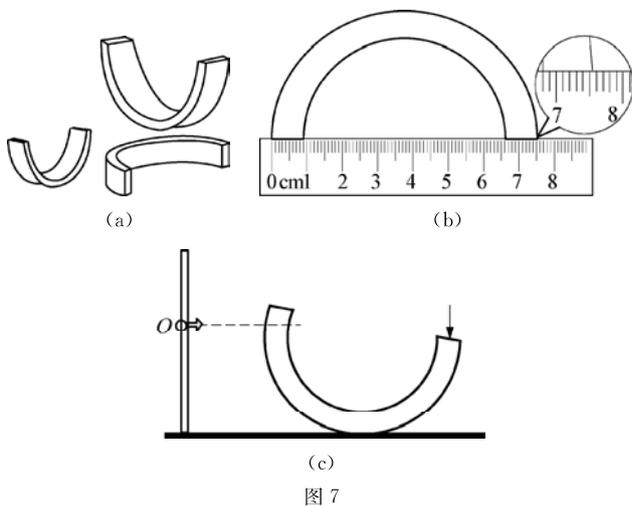
4 联系现象或数据,得出结论

物理实验的目的,就在于根据现象或数据得出结论。高中学生实验得到的结论一部分是高中学到的物理概念或者规律,另一部分就是根据数据求取未知量。实验数据处理主要采用公式法(用测定的数据代入公式求解)、图象法(根据实验数据选取适当的自变量,通过作图确定对应量的函数关系,找出其中的规律或得出测量结果)、列表法(将数据列成表格,简明地显示出有关物理量之间的关系)和平均值法(用多次测量的算术平均值作为测量结果)。如

在“研究匀变速直线运动”的实验中,一般利用逐差法求得 $a = \frac{(s_4 + s_5 + s_6) - (s_1 + s_2 + s_3)}{9T^2}$,实际上

这里面既有平均值法又有公式法。再如在“研究一定质量的气体压强与体积的关系”的实验中,就利用了图象法。当然为了证明对一定质量的气体在温度不变时, p 与 V 成反比,若作 $p-V$ 图象,根据已有数据点绘出“ $p-V$ ”关系图象,则为双曲线的一支,不易分析结论,若改为 $p-1/V$ 图象,则“化曲为直”,变成一条倾斜的直线,比较直观,容易得出结论。

例 5 如图 7(a)所示为一套多色拱形积木示意图,不同颜色的积木直径不同。某同学通过实验探究这套积木小幅摆动时周期 T 与外径 D 之间的关系。



(1) 用刻度尺测量不同颜色积木的外径 D ,其中对蓝色积木的某次测量如图 7(b)所示,从图中读出 D 为_____ cm。

(2) 将一块积木静置于硬质水平桌面上,设置积木左端平衡位置的参考点 O,将积木的右端按下后释放,如图 7(c)所示。当积木左端某次与 O 点等高时记为第 0 次并开始计时,第 20 次时停止计时,这一过程中积木摆动_____个周期。

(3) 换用其他积木重复上述操作,测得多组数据。为了探究 T 与 D 之间的函数关系,可用它们的自然对数作为横、纵坐标绘制图象进行研究,数据如表 1 所示。

表 1

颜色	红	橙	黄	绿	青	蓝	紫
$\ln D$	2.939 2	2.788 1	2.595 3	2.484 9	2.197	1.990	1.792
$\ln T$	-0.45	-0.53	-0.56	-0.65	-0.78	-0.92	-1.02

请根据表中数据绘制出 $\ln T - \ln D$ 图象,并得出 T 与 D 的近似关系为_____。

解析:(1) 刻度尺读数约为 7.55 mm。

(2) 由于连续两次经过 O 点为一次全振动,故第 20 次时停止计时,这一过程中积木摆动了 10 个周期。

(3) 根据表格数据,选取合适的标度,作出 $\ln T - \ln D$ 图象,如图 8 所示。由图象可以得出:

$\ln T = 0.5 \ln D - 1.1 = \frac{1}{2} \ln D - \ln e^{1.1} = \ln \frac{\sqrt{D}}{e^{1.1}}$, 所

以 $T = \frac{\sqrt{D}}{e^{1.1}} \approx \frac{\sqrt{D}}{3}$ 。

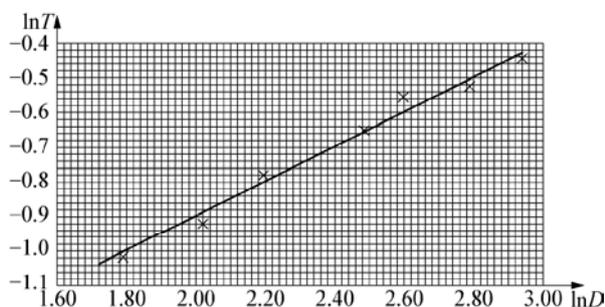


图 8

5 联系误差,确定注意事项

实验误差分为系统误差和偶然误差。系统误差是由于实验方法粗略、实验仪器不够精确或者实验原理不够完善而产生的误差。系统误差只能通过设计更精巧的实验方法,提高实验仪器的测量精确度,改善实验原理以达到减小的目的。而偶然误差是由于各种偶然因素对实验者和实验仪器或被测物理量的影响而产生,减小这种误差的办法是按实验的要求进行操作、读数、作图,进行多次测量,取其平均值。实验中要对误差进行分析,并采取方法尽量减少误差^[3]。如在“探究求合力的方法”实验中,主要误差来源于读数、作图,此外还有弹簧秤本身的误差,因此,首先应检查弹簧秤的零点是否准确,在实验中拉细绳时必须与木板平行,读数时眼睛一定要正对刻度,按有效数字记录示数,作图时要准确,两个分力 F_1 和 F_2 间的夹角不能太大或太小等等。

例 6 如图 9 所示是“探究加速度与力、质量的关系”的实验装置。

(1) 该实验过程中操作正确的是_____;

(A) 补偿阻力时小车未连接纸带。

(B) 先接通打点计时器电源,后释放小车。

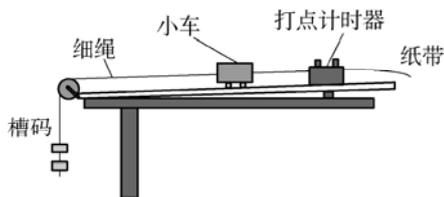


图 9

(C) 调节滑轮高度使细绳与水平桌面平行。

(2) 在小车质量_____ (选填“远大于”或“远小于”)槽码质量时,可以认为细绳拉力近似等于槽码的重力。上述做法引起的误差为_____ (选填“偶然误差”或“系统误差”)。为减小此误差,下列方案中可行的是_____;

(A) 用气垫导轨代替普通导轨,滑块代替小车。

(B) 在小车上加装遮光条,用光电计时系统代替打点计时器。

(C) 在小车与细绳之间加装力传感器,测出小车所受拉力大小。

解析:(1) 由于小车拉动纸带运动过程中也有阻力,所以补偿阻力时小车要连接纸带;在使用打点计时器打点时为了提高纸带利用效率,都要先接通打点计时器电源,后释放小车;调节滑轮高度使细绳与轨道平行,由于平衡阻力,导致轨道倾斜,所以细绳不可能与水平桌面平行。根据以上分析,答案选 B。

(2) 在平衡摩擦力后,对小车有 $F = Ma$,对槽码有 $mg - F = ma$,联立两个方程得:加速度 $a = \frac{mg}{M+m}$,绳子拉力为 $F = Ma = M \frac{mg}{M+m} = \frac{mg}{1 + \frac{m}{M}}$,

故只有小车质量远大于槽码质量时,绳的拉力才可以看成等于槽码的重力,因此这种误差为系统误差。为了消除此系统误差,就只能改变实验原理和器材,直接把拉力测量出来,因此可行的方案为 C。

在快速求解常见实验问题时,还需联系高中物理实验的一些常规注意事项。如读数,就要联系测量仪器读数时需不需要估读,应该如何估读;如电路实验要联系仪器连接,特别是电表和滑动变阻器的连接方式等。

参考文献

- [1] 陶昌宏. 物理: 示学生以“亲切”和“鲜活”[J]. 北京教育(普教版), 2016(7): 35—37.
- [2] 李树祥. 高一上学期实验学习应注意的问题[J]. 中学生数理化(高一使用), 2020(1): 15—20.
- [3] 邹学洪. 谈谈高中物理实验的误差[J]. 考试周刊, 2016(33): 135.