

答案

第一章 认识物理实验

【直击高考】

丙、丁两位同学的说法正确。科学是不断发展的，真理具有相对性，牛顿的引力理论虽然在微观、高速领域不再适用，但它在宏观、低速领域与实验事实符合得很好，仍是中学物理学习的重要内容，故甲同学的说法错误；科学不崇尚权威，任何理论的正确性都必须经得起实验和观察的反复检验，所以乙同学的说法错误；任何假说都需要通过实验检验，而且还要经得起实验的反复检验，丙和丁同学的说法正确

第二章 实验数据与误差

第一节 测量与误差

【直击高考】

1. 伏安法是通过测量电压和电流，应用欧姆定律求得电阻，属于间接测量；等效替代法是用比较的方法，属于直接测量。

2. (1) 偶然 (2) B (3) 在重锤 1 上粘适量的橡皮泥平衡摩擦

(4) $\frac{2(2M+m+m_0)H}{mt^2}$ 思考：(1) 减小相对误差 (2) 重锤 1 缓慢下降

3. (1) C (2) 不同 思考：(1) 读出零误差，并根据零误差对测量结果进行修正 (2) 减小偶然误差

第二节 有效数字

【直击高考】

1. 2.04 (或 2.05、2.06) 2.0 4 (或 5、6)

2. (1) 0.02 (2) 85.85

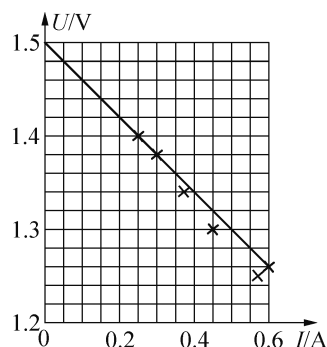
3. (1) 10.05 (2) 检查气垫导轨是否水平 (3) 图略 (4) 1.96 m/s^2 (5) BD 思考：(1) 0.05 (2) 系统误差 (3) 实验装置产生的系统误差 测量仪器产生的系统误差

第三节 处理实验数据

【直击高考】

1. (1) 物理量 U 、 I 没有标明单位；(2) 实验序号③那一列的电流有效数字少一位，同一电流表测得的所有电流值小数点后位数应该相同

2. 作图时选择的坐标比例不恰当，所有点集中在一个很小的范围内，数据的准确度不高。对于直线，其倾斜度最好在 $40^\circ \sim 60^\circ$ 之间，以免图线偏向一侧。因此，该图的纵坐标最好从 1.2 V 取起，如图答 2-1-1 所示。



图答 2-1-1

3. (1) 2.02 (2) 2.01 (3) 48.6 (请同学们尝试自行作图)

第三章 测量性实验

第一节 用基本测量工具直接测量

【实验探究】

实验 长度的测量及测量工具的选用

方法一 用游标卡尺测量螺栓的直径

(1) 不正确，刻度线对齐不是几何意义上的对齐，测量依然存在误差 (2) 不正确，50 分度的游标卡尺精确到 0.02 mm，因此它的读数一定是 0.02 mm 的整数倍 (3) 将内测量爪张开，撑住螺母的内壁，在内壁的不同位置上多次测量取平均值作为内径的测量结果

方法二 用螺旋测微器测量细钢丝的直径

(1) 正值 (2) 应选用螺旋测微器。因为手机屏幕贴膜的厚度只有不到 1 mm，而螺旋测微器的最小分度为 0.01 mm，因此可以较准确地测量其厚度 (3) 读数显微镜，迈克耳孙干涉仪

实验 用多用电表测量电学中的物理量

(1) 交流电压的“250 V”挡 (2) 不合适。测得的电阻值是被测电阻与人体电阻的并联电阻值 (3) 不正确。两同学调整选择开关重新测量前，先要欧姆调零。另外，当指针只偏转少许说明待测电阻阻值很大，因此，乙同学应当改用高于“ $\times 100 \Omega$ ”倍率的欧姆挡

【直击高考】

1. 2.002 0.501

[评析] 游标卡尺读数时，先读主尺的刻度，游标尺上刻度线“0”在主尺刻度线“2”的右侧，可知主尺读数是 2 cm。再读游标尺上的刻度，该尺的精度为 0.02 mm，游标尺上的“0”刻度后的第 1 条刻度线与主尺上的刻度线对齐，其读数应为 0.02 mm。结合主尺及游标尺的读数得到被测长度为 2.002 cm。遮光片通过光电门的时间为 $\Delta t = 40.0 \text{ ms}$ ，

由此可计算出速度 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{20.02 \text{ mm}}{40.0 \text{ ms}} \approx 0.501 \text{ m/s}$

2. (1) 11.5 蓄电池 (2) 小灯

[评析] (1) 该表盘上“50 V”挡对应的最小分度值为 1 V，指针指在 11 V 和 12 V 之间的某个位置，在高中，刻度的最小分度为 1 的按 $\frac{1}{10}$ 估读；刻度的最小分度为 2 的按 $\frac{1}{2}$ 估读；刻度的最小分度为 5 的按 $\frac{1}{5}$ 估读。这里读得的电压值为 11.5 V。开关断开时，在 a、c 两端测得蓄电池有电压，说明蓄电池正常工作

(2) 多用电表测量 b、c 两端电压时，闭合开关后，开关和保险丝与电源正极相通，说明发生断路的是小灯

第二节 用转换法间接测量

【实验探究】

实验 测量做直线运动物体的瞬时速度

方法一 用打点计时器测量瞬时速度

(1) 速度过快、振针过长；缩短振针 (2) 增加测量距离减小测量误差，时间间隔为 0.1 s，方便计算和单位转换；不能，会带来新的误差 (3) 可以作为一种方案，但是小车受到的摩擦力对测量结果有较大影响

方法二 用位移传感器测量瞬时速度

(1) 保持小车所受的拉力不变 (2) 偏大

实验 测量金属丝的电阻率

方法一 用伏安法测定金属丝的电阻率

(1) 电源电压为 3 V，金属丝的电阻约为 $5\ \Omega$ ，选择 ($10\ \Omega$ ，2 A) 的滑动变阻器时，金属丝上的电压可以在 1 V 到 3 V 之间变化，这样的电压变化范围能达到实验目的。当然，选择 ($20\ \Omega$ ，1.5 A) 的滑动变阻器也可以。但若选用 ($500\ \Omega$ ，0.5 A) 的滑动变阻器，一是通过电路的电流最大约为 0.6 A，超出滑动变阻器的最大电流 0.5 A，二是金属丝两端的电压从 1 V 变化到 3 V，1 V 时滑动变阻器连入电路的电阻为 $10\ \Omega$ ，3 V 时滑动变阻器连入电路的电阻为零，因此，如果用 ($500\ \Omega$ ，0.5 A) 的滑动变阻器，只用到了电阻器 2% 的长度，这在实验中很难操作 (2) 在测量长度时，一定要将金属丝拉直，测量连入电路部分的长度；在测量直径时，要注意螺旋测微器的零误差，并且应在金属丝的不同位置进行多次测量，再求出平均值，减少测量误差 (3) 主要取决于待测金属丝的阻值 R_x 与电流表内阻 R_A 、电压表内阻 R_V 的大小关系。若 $R_x \gg R_A$ ，选用电流表的内接法；若 $R_x \ll R_V$ ，选用电流表的外接法。具体原理参照 [知识链接] “电流表外接法和内接法”

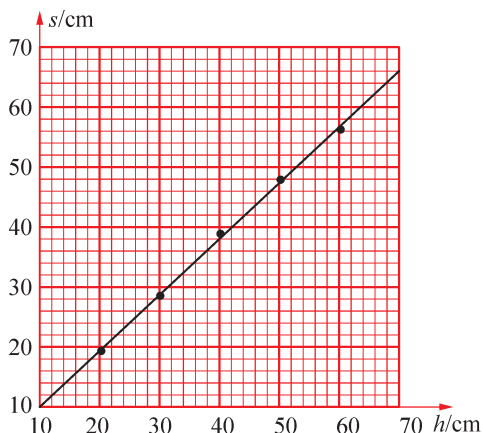
方法二 用等效替代法测定金属丝的电阻率

(1) 不会，因为待测电阻等效替代前后，只需比较电流的相对大小，与电流表的内阻无关 (2) 滑动变阻器连入电路的实际电阻和待测电阻串联，其阻值越小，电流表读数越大，相对误差就越小

【直击高考】

- (1) 减小 B 的质量；增加细线的长度（或增大 A 的质量；降低 B 的起始高度）
(2) 如图答 3-2-1 (3) 0.4 (4) 偏大

[评析] 本题利用考生熟悉的实验装置、实验原理和方法设计了测量动摩擦因数的“新”任务，考查设计实验、处理信息、基于证据得出结论和对探究过程进行反思等科学探究素养，要求学生能结合具体实验情况调整装置、分析数据，利用动能定理和滑动摩擦的知识解决问题。由于动摩擦因数不能直接用仪器测定，因此实验中使用了“转换法”。



图答 3-2-1

在第(1)问中,要使木块 A 释放后不撞到滑轮,应增大 A 受到的摩擦力所做的功或减小 A 受到的拉力所做的功。例如,通过增大木块 A 的质量等方法可以增大摩擦力所做的功,通过减小重物 B 的质量、增加细线的长度降低 B 的起始高度等方法来减小拉力所做的功。解决问题的方法不止一个,具有一定的开放性。第(2)问通过描点作图,考查处理实验数据的能力。在作图过程中,应注意坐标轴标度的合理设置,否则会影响描点和图线的准确性,导致实验误差增大。第

(3)问的动摩擦因数通过“转换法”间接测量得到,运用动能定理推导出 s 和 h 的关系,由 s - h 图线的斜率求出动摩擦因数。具体计算方法:木块 A 从 P 到 O 和从 O 到 Q 的过程中分别有 $Mgh - \mu mgh = \frac{1}{2}(M+m)v^2$ 和 $-\mu mgs = 0 - \frac{1}{2}mv^2$, 可得 s 和 h 的关系为 $s = \frac{M - \mu m}{\mu(M+m)}h$, 因此,所作图像为一直线,其斜率 $k = \frac{M - \mu m}{\mu(M+m)}$, 代入实验数据求得 $\mu = 0.4$ 。在第(4)问中,滑轮轴的摩擦会阻碍木块从点 P 到点 O 过程中的加速,等效于增大木块与桌面间的摩擦力,因此,这将导致 μ 的测量结果偏大。

根据测试结果,学生比较容易出现的典型错误有:

第(1)问回答“换用表面更粗糙的小木块”或“在桌面上铺上棉布”。主要是因为抓不住实验目的。该实验是为了测定木块与桌面之间的动摩擦因数,因此,改变接触面动摩擦因数的做法是不合理的。

第(2)问描点作图不规范,描点不准确、描绘直线时不用直尺、坐标轴的标度不合理等。

第(3)问在分析实验原理时,漏掉重物 B 落地时的动能损失,以为重物 B 的机械能减小量就是其克服摩擦力所做的功,即 $Mgh = \mu mg(s+h)$ 。在分析实验原理时,应仔细弄清物理过程,特别是在用能量守恒定律求解多过程问题时,需要留意中间过程的能量损失。

第三节 在数据处理中导出物理量

【实验探究】

实验 测量电源的电动势和内阻

方法一 测量干电池的电动势和内阻

根据闭合电路的欧姆定律 $U = E - Ir$, 可知 $\Delta U = r\Delta I$ 。新电池的内阻 r 很小,测量得到的电压变化 ΔU 随电流的变化 ΔI 不明显。而旧干电池内阻较大,电压随电流有明显的变化,有利于减小实验误差

方法二 测量水果电池的电动势和内阻

(1)内阻偏小;相对误差约为 0.2%,可以忽略不计 (2)说明电动势与电源的材料有关,与两金属片插入的深度、距离关系不大;根据电阻定律,插入深,导体的横截面积大,电

阻小 (3) 随着两金属片间距离增大, 电动势基本不变, 内阻变大 (距离越大, 导体的长度越长, 电阻越大)

实验 测量玻璃的折射率

(1) 该同学的想法不对。入射角不管有多大, 在另一个平行面上都不会产生全反射现象。但入射角太大, 折射光有可能射在玻璃砖的侧面, 导致不能从另一个平行面的方向找到大头针的像 (2) 根据光的折射定律, 入射光线与另一个平行面射出的折射光线一定平行。实验中, 有可能出现 P_3P_4 不平行于 P_1P_2 , 出现这种现象的原因有可能是玻璃砖上下两个折射面不平行, 也有可能是实验操作错误, 需要仔细检查实验器材和实验操作后作出判断

【直击高考】

(1) 开关未断开 电阻箱阻值为零 (在电学实验中, 连接电路时应将开关断开, 电阻箱的阻值调为最大, 确保实验仪器、仪表的安全) (2) 如图答 3-3-1 所示 1.34 1.2 (此题由于图像误差, 电动势在 1.30 ~ 1.44 V 之间, 内阻在 1.0 ~ 1.4 Ω 之间都可以) (3) 1.34 1.0 (电动势在 1.30 ~ 1.44 之间, 内阻在 0.8 ~ 1.2 之间均可)

[评析] 第(1)问, 要求考生具有基本的电学实验常识, 知道连接电路时要断开开关, 并检查电路, 例如电阻箱的阻值是否调到最大, 电表接线柱的正负连接是否正确等

第(2)问, 要求考生理解用图像法求电源电动势和内阻的实验原理, 并掌握相应的数据处理方法。根据欧姆定律, $E = IR + Ir$, 即 $R = E \frac{1}{I} - r$, 在 $R - \frac{1}{I}$ 图像中, 图线的斜率为 E , 与 R 轴的截距为 $-r$, 从而求得电动势 $E = 1.34$ V, 内阻 $r = 1.2 \Omega$ 。

解: 根据闭合电路欧姆定律, 得

$$E = I(R + r),$$

$$\text{即 } R = \frac{E}{I} - r = E \frac{1}{I} - r,$$

$$\text{即 } R = \frac{1}{I} \text{ 图像为直线。}$$

描点连线后图像如图答 3-3-1 所示。

根据图像可知 $r = 1.2 \Omega$ 。(1.0 ~ 1.4 都算对)

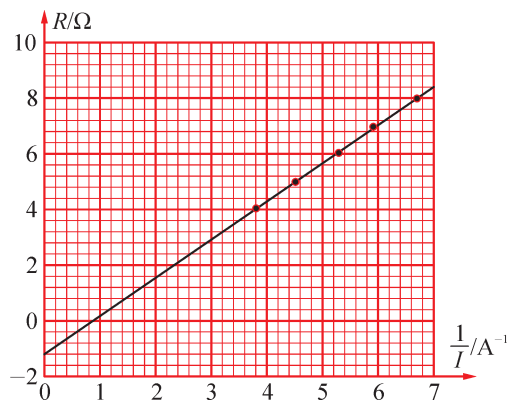
图像的斜率为电动势 E ,

在 $R - \frac{1}{I}$ 图像上取两点 (2, 1.59)、(5, 5.61),

$$\text{则 } E = \frac{5.61 - 1.59}{5 - 2} \text{ V} = 1.34 \text{ V}$$

第(3)问考查基本仪表的读数和误差来源的分析。考生应能判断出电流表的内阻 r_A 是本实验的主要误差来源。电压表的读数为 66 mV, 可知 $r_A = 0.20 \Omega$ 。在第(2)问中, 电路测得的 $R = E \frac{1}{I} - (r + r_A)$, 则内阻应为 $r = 1.2 \Omega - 0.20 \Omega = 1.0 \Omega$ 。 r_A 对 E 的结果没有影响, 因此, 电动势仍为 $E = 1.34$ V。

解: 根据欧姆定律, 得电流表的内阻



图答 3-3-1

$$r_A = \frac{U}{I} = \frac{66 \times 10^{-3}}{0.33} \Omega = 0.2 \Omega,$$

干电池的内阻应为 $r' = r - r_A = 1.0 \Omega$,

$R - \frac{1}{I}$ 图像的斜率仍为电动势 E , 即 $E = 1.34 \text{ V}$ 。

测试结果发现, 学生的典型错误有:

第(1)问中, 大部分考生能指出开关未处于断开状态, 但是较多考生未能指出电阻箱阻值为零的错误, 典型错误回答如下: ①电阻箱没有欧姆调零; ②电阻箱没有选择合适的倍率; ③电流表的“-”接线柱应与电阻箱“ $\times 100$ ”相连, 电流表的“+”接线柱与电阻箱“ $\times 1$ ”相连; ④电阻箱正负极反向; ⑤电阻箱的量程不合适或电阻箱未选用量程; ⑥电阻箱只能调整数电阻等。

出现如此多的错误的主要原因还是考生对于电阻箱太陌生, 或者与一些比较常见的电学实验仪器混淆了, 比如出现①②错误的考生就将电阻箱与欧姆表混淆了; 出现③④⑤错误的考生误认为电阻箱与我们常见电压表或是电流表一样, 有量程、正负接线柱。

第(2)问考查学生对实验数据的处理。首先, 描点画图问题较为简单, 大多数的考生都能正确作答, 但也出现了一些典型的错误: ①点与点之间是用一条平滑的曲线相连; ②点与点之间是用折线相连; ③作图很随意, 本是一条直线, 但作出来的却是两条甚至更多的线交织在一起; ④作图时用的可能不是2B铅笔, 点迹非常不清晰。其次, 要求计算电源电动势与内阻, 绝大多数考生都能做出来, 做不出来的要么是计算问题, 要么是不清楚基本的实验原理。

第(3)问是在第(2)问的基础上, 考查电流表的电阻对电源电动势与内阻测量的误差分析, 这是一个难点。错误答案五花八门, 但总体来看, 考生对电源内阻的误差分析要比对电源电动势的误差分析好得多。

第四节 用累积法测量微小物理量

【实验探究】

实验 测量重力加速度的大小

方法一 用单摆测量重力加速度的大小

(1) 偏小 (2) 不可以, 因为体积大的小球不符合单摆模型的要求 (3) 只有小角度振动的单摆, 才可以看作简谐运动

方法二 用斜长管测量重力加速度的大小

(1) 不合适。塑料管的内壁不如玻璃管光滑; 塑料管容易变形; 塑料管不完全透明, 无法方便地观察到小钢球的运动, 不利于秒表准确停表 (2) 管一端用木夹固定, 另一端手捧着保持管水平, 小球静止在木夹端, 放下管子的同时按下秒表开始计时 (3) 在实验器材方面, 玻璃管内壁不够光滑, 小钢球不够圆且不光滑、直径较大; 在实验操作上, 秒表启停不准确; 小球有转动动能等

实验 用油膜法估测油酸分子的大小

(1) 一是水面受溶液冲击后慢慢恢复平静, 二是酒精溶解和挥发。油酸轮廓收缩后,

要尽快描绘出油膜轮廓 (2) 可以用细目筛把痱子粉均匀地筛到水面上, 还可以把痱子粉装在布袋里均匀地拍撒在水面上 (3) 两种方法都合理, 因为不足半格和多于半格是随机的, 两种方法的结果基本一致

实验 用双缝干涉测量光的波长

方法一 用双缝干涉仪测量光的波长

(1) 单缝与双缝要平行; 将几个组件调节到遮光筒的轴线上 (2) 不正确; 转动手轮, 要使分划板向同一个方向移动, 不可以来回移动, 避免产生回程差

方法二 用传感器通过双缝干涉测量光的波长

(1) 主要是双缝与屏间距离的测量存在误差, 测量条纹距离时测量点的选取有偏差 (2) 转动转轮, 使测量头始终朝一个方向移动

【直击高考】

(1) $\frac{4\pi^2 n^2 l}{t^2}$ (2) AC (3) (b) (4) AC (5) 12.0 (6) BC (7) $\sqrt{l}$ $\frac{4\pi^2}{k^2}$
(8) CD

[评析] 试题的问题设置涉及实验的原理理解、方案设计、器材选择、实验操作、数据获取和处理、误差分析等诸多基本实验技能, 考查内容比较全面。

第(1)问要求会用累积法测量物理量, 测得 n 次全振动的时间, 由 $T = \frac{t}{n}$ 求出周期可以减小测量误差。根据单摆的周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, 得重力加速度 $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = \frac{4\pi^2 n^2 l}{t^2}$ 。

第(2)问中选择结实的细线才能保证摆动过程中摆长保持不变, 而且为了减小空气阻力的影响, 摆球应当选用质量大、体积小的球。故 A、C 正确。

第(3)问用图(b)的方法固定细线, 也是为了避免摆动过程中摆长发生变化。

采用第(4)问所述的固定方式, 松开橡皮夹可以调节摆长, 夹紧后在摆动过程中摆长保持不变, A、C 正确。并不能保证摆球在同一竖直平面内摆动, 且影响周期测量准确性的因素很多, B 说法太绝对, 因此 B、D 不正确。

第(5)问从图片可判断出, 使用的是 10 分度的游标卡尺。游标卡尺的 0 刻度线和主尺的 12 mm 刻度线重合, 读出球的直径为 12.0 mm。

第(6)问选择 B、C。摆长应等于摆线的长度加上摆球的半径, A 错误。只测量一次全振动的时间误差较大, 应采用累积法测量周期, D 错误。

第(7)问, 根据单摆周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, 应当作出 $T - \sqrt{l}$ 图像, 横坐标取 $\sqrt{l}$ 。图线的斜率 $k = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}$, 解得 $g = \frac{4\pi^2}{k^2}$ 。

第(8)问, 由周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, 解得 $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$, 单摆振幅大小与 g 无关, A 错误。计时过早按下秒表, 周期偏大, g 偏小, B 错误。若误将摆球 $(n - 1)$ 次全振动的

时间记为 n 次全振动的时间，周期偏小，则 g 偏大，C 正确。若测量摆长时以悬点到小球下端边缘的距离为摆长，摆长偏大，由 $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$ 知， g 偏大，D 正确。

第四章 探究性实验

第一节 用直接测量确定两个物理量间的关系

【实验探究】

实验 探究弹簧弹力与形变量的关系

- (1) 观察挂上砝码前与移去砝码后指针所指的刻度是否相同，若相同则在弹性限度内
(2) 不影响得出弹力与形变量成正比关系的结论，但无法得到弹簧劲度系数的具体值
(3) 不可行。因为钢丝在外力作用下的形变量很小，不能用刻度尺测量

实验 探究气体等温变化的规律

方法一 用玻意耳定律演示器探究气体等温变化的规律

- (1) 活塞在中间位置，方便压缩体积和增大体积
(2) 他这样操作，气体与外界没有足够的时间进行热交换，不能保证温度不变
(3) 不需要。因为气体的压强通过压强计直接读出，与活塞是否受其他力的作用无关
(4) 漏气是此实验产生误差的主要因素。为了避免漏气，实验前可在活塞上涂食用油或润滑油，增强密封效果

方法二 用压强传感器探究气体等温变化的规律

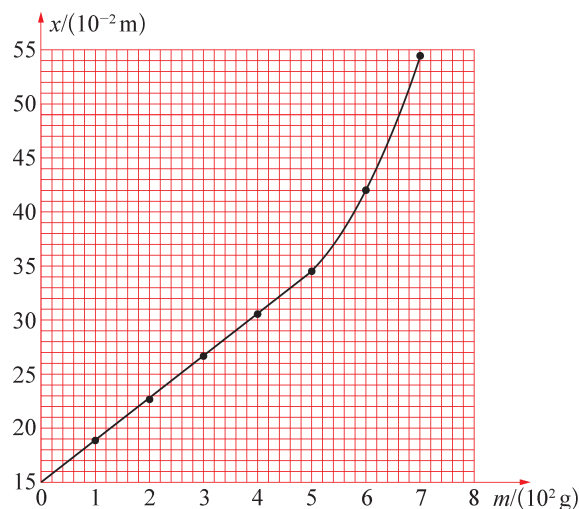
- (1) 不同意。因为图像中的数据点并不是大致均匀地分布在直线两侧，应该不是偶然误差引起的
(2) 可能是实验未考虑压强传感器与注射器连接胶管中气体的体积。有两个论证方案，假设胶管中气体体积为 V_0 ：①先估测 V_0 的大小，将 $V + V_0$ 作为整个气体的体积作图。若图线为过原点的直线，则假设成立；②作出 $V - \frac{1}{p}$ 图线， V 轴的截距为 $-V_0$ 。若与胶管中气体体积相当，则假设成立

【直击高考】

- (1) 见图答 4-1-1 (2) 0~4.9 25.0

[评析] 本题是在实验探究弹簧弹力与形变量关系的情境下考查了用图像法处理实验数据、基于证据得出结论、对探究过程进行反思等科学探究素养。

第(1)问中，要求根据实验数据确定坐标，再根据坐标点画出平滑曲线（见图答 4-1-1），便于研究弹簧弹力与形变量的关系。测试发现，有些同学认为本实验是研究弹簧弹力与形变量的关系，不理解横坐标的物理量为什么是砝码的质



图答 4-1-1

量。其实，在该实验中，如果能得出所挂砝码的质量与形变量成正比，就能证明弹簧弹力与形变量成正比。直接用质量表示，不仅能简化实验数据的处理，也不会影响实验目的的实现。

第(2)问中，根据胡克定律可知弹簧弹力正比于形变量，而该实验得出的不是直线，这就需要对科学探究的实验结果进行评估与反思。从数据分析发现，在所挂砝码质量大于 $5 \times 10^2 \text{ g}$ 后，图线开始发生弯曲，说明弹簧已经超出了弹性限度。求弹簧的劲度系数时，只能用直线部分的数据。

从图线上看，在 $0 \sim 5 \times 10^2 \text{ g}$ 范围内，图线为直线，所以在 $0 \sim 4.9 \text{ N}$ 范围内，弹簧弹力大小与形变量成正比，满足胡克定律。由 $F=kx$ 得 $k = \frac{F}{x} = 25.0 \text{ N/m}$ 。学生最容易出现的错误是，机械地认为弹簧弹力大小与伸长量的关系始终满足胡克定律，勉强地用一条直线拟合所有的坐标点，由此用斜率求得的劲度系数是错误的。

第二节 用间接推理寻找物理量间的关系

【实验探究】

实验 探究平抛运动的特点

方法一 用平抛竖落仪和平抛运动实验器探究平抛运动的特点

(1) 不会。因为每次都从同一个位置开始运动，每一次受到的阻力都是相同的，因此平抛运动的初速度相同 (2) 利用公式 $x=v_0t$ 和 $y=\frac{1}{2}gt^2$ ，可知初速度 $v_0=x\sqrt{\frac{g}{2y}}$ 。代入表中的数据即可求出 (3) 不对。钢球经过接球槽时挤压复写纸留下的点迹是球心的位置，其起点也应该是球心的位置

方法二 用手机的录像功能探究平抛运动的特点

(1) 时间间隔为 $\frac{1}{7680} \text{ s}$ (2) 会。由于视角的原因，当小球在手机镜头左上方时会导致小球 x 和 y 坐标读数都偏小，在手机镜头右下方时会导致小球 x 和 y 坐标读数都偏大。该误差属于系统误差，无法通过多次测量减小

实验 探究两个互成角度的力的合成规律

(1) 不对。因为弹簧有质量，水平使用时必须在水平放置进行调零 (2) 提前在纸上画好两个弹簧测力计的方向，步骤(3)中先记下读数，再写在纸上 (3) 实验前先将橡皮筋反复拉伸几次，然后再开始实验

实验 探究影响感应电流方向的因素

(1) 不会。因为感应电流的磁场是阻碍磁通量的变化，只有在磁通量变大的前提下才会产生一个与原磁场方向相反的磁场。磁通量最终还是会变大，感应电流的磁场只会让原磁通量增大得慢一点 (2) 这个观点是正确的。因为无论磁通量如何变化，感应电流的磁场总是阻碍磁通量的变化，可以认为保持原磁通量这种惯性不变。这种“结果”削弱“原因”的模式叫作“负反馈”。化学中的“勒夏特列原理”与生物学中的“种群增长曲

线”都是遵循“负反馈”模式，它们也可以被认为是化学和生物学的惯性定律（3）这个观点是正确的。磁通量变化时受到阻碍，表明某种能量在减小，感应电流的产生表明电路中的电能增加，这就是能量守恒的表现

实验 观察电容器的充放电现象

方法一 用检流计观察电容器的充放电现象

（1）充电和放电时间都变长。因为较大电容量的电容器可以存储更多电荷，需要更长的时间才能充满。同理，放电时间也会变长（2）较大的电阻会导致充电电流减小，电容器充满需要更长的时间，所以会导致充电时间变长。同理，放电时间也会变长（3）还需要一只秒表。记录不同时刻检流计的示数，然后画出 $I-t$ 图像。也可以将秒表放在检流计旁边，拍下视频，回看视频画面，记录 I 和 t 的数据

方法二 用传感器观察电容器的充放电现象

（1）表示一段时间内电容器放电的电荷量（2）通过 $I-t$ 图像的面积计算出充满电时的电荷量 Q ，由 $U-t$ 图像读出充满电时的电压 U ，用 $C = \frac{Q}{U}$ 估算出电容，与标识值进行比较

【直击高考】

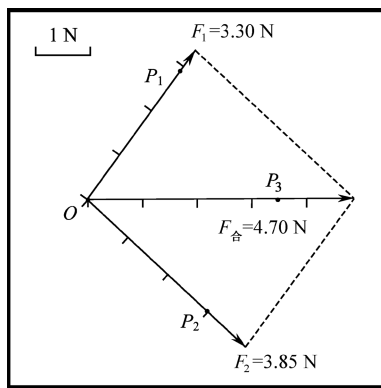
（1）见图答 4-2-1， $F_{\text{合}} = 4.70 \text{ N}$ （4.60~4.90 N 都算对）（2） $F_a = F_b$ （3）BD（4）橡皮筋拉伸不宜过长；选用新橡皮筋（或拉力不宜过大或选用弹性好的橡皮筋或换用弹性好的弹簧，答案合理即可）

[评析] 本题以“验证力的平行四边形定则”实验为背景，考查科学探究素养。试题从实验结果与理论比较中发现，并提出猜想、重新进行实验设计、分析实验数据、得出实验探究结果，而且又将结论应用于解决原有问题。通过上述完整的探究过程，意在考查考生理解实验原理、处理实验数据、能在实验中发现并解决问题、对结论进行分析和评价的探究能力，具有较高的综合性。

第（1）问，根据图中的标度表示 1 N，结合测量得到力 F_1 、 F_2 的大小和图中给定的方向作力的图示，并以 F_1 、 F_2 为邻边作平行四边形，这两个邻边之间的对角线即为合力的大小和方向，用刻度尺测量其长度并根据标度求得合力为 $F_{\text{合}} = 4.7 \text{ N}$ 。

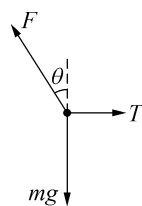
第（2）问，由力的平行四边形定则得到的理论值与实验中测得的合力 $F = 4.25 \text{ N}$ 相比较，发现相对误差达 9.6 %。通过合理的猜测，怀疑橡皮筋的弹性对实验结果有较大影响，需要设计一个新实验用于研究橡皮筋的拉力与其长度的关系。该方案设计采用了间接推理寻找物理规律的方法，以对比两次结点的轨迹是否重合。

将橡皮筋的上端固定，下端挂一重物，在竖直平面内用水平拉力缓慢地拉橡皮筋的下端，即可得出拉力和橡皮筋长度的关系。如图答 4-2-2 所示，实验中橡皮筋的拉力为



图答 4-2-1

$F = \frac{mg}{\cos \theta}$ ，其中 θ 为橡皮筋与竖直方向的夹角，由此可以得出橡皮筋的拉力取决于角度 θ 。随着角度 θ 的增大，橡皮筋受到的拉力 F 增大，从而使得橡皮筋伸长。在 a 、 b 两处， θ 相同，因此橡皮筋两次被拉伸至 a 、 b 处时的拉力相等，即 $F_a = F_b$ 。



图答 4-2-2

第(3)问，根据实验记录下的轨迹，第1次和第2次轨迹不重合，说明橡皮筋两次拉伸时所受的拉力和橡皮筋长度的关系并不相同；由两个轨迹可知，两次受到的拉力相同时，即两次轨迹中 θ 相同时，显然橡皮筋第2次被拉伸时的长度要长一些；若橡皮筋两次被拉伸到相同长度，根据图中的轨迹，要求第2次被拉伸时 θ 比第1次被拉伸时要小，因此橡皮筋第2次被拉伸时所受到的拉力较小；随着拉力的增大， θ 逐渐增大，在相同夹角 θ 下，两条轨迹的间距也逐渐增大，所以两次受到的拉力相同时，拉力越大，橡皮筋两次的长度之差越大。本题正确选项为 B、D。

第(4)问，通过上述探究，考生应该知道橡皮筋被拉伸得太长等因素影响橡皮筋的弹性，而橡皮筋的弹性变化会对验证力的平行四边形定则的实验结果产生影响。考生在做验证力的平行四边形定则实验时，要注意橡皮筋弹性的变化，要选用弹性好的橡皮筋或橡皮筋拉伸不宜过长等

第三节 用控制变量法探究多个物理量间的关系

【实验探究】

实验 探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系

(1) 铁芯可能漏磁，使得通过原副线圈的磁通量不等 (2) 加上负载后，线圈中存在电流，由于线圈有电阻，因而产生焦耳热。另外，铁芯中涡流也产生焦耳热

实验 探究加速度与力、质量的关系

(1) 要注意：①在平衡摩擦力时，纸带要固定在小车上；②缓慢抬高木板一端，轻推小车，观察到小车缓慢下滑 (2) 不需要。误差来源主要是小车与轨道间的摩擦，当第一次补偿摩擦阻力的倾角固定后，因 $Mg \sin \theta = \mu Mg \cos \theta$ ，小车质量与摩擦力等比例变化，只需第一次实验时平衡摩擦力就可以了 (3) 在实验中，用小桶加砝码的总重力 mg 作为对小车的拉力。小车加速运动时，小桶也一同加速运动，故小车所受的拉力要小于小桶和砝码的总重力。但当 $M \gg m$ 时，系统的加速度远小于重力加速度 g ，这时细线的拉力可近似等于小桶和砝码的总重力

实验 探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系

方法一 用向心力演示器定性探究向心力大小

(1) 小球因离心运动而挤压水平槽上的挡板，挡板与标尺外的套筒同时连接着可以绕固定轴转动的角形杠杆。当小球获得挡板对它的向心力增大时，角形杠杆等比例对套筒施加向下的拉力，因而“标尺上露出的标度”能代表向心力的大小 (2) 根据 $v = \omega r$ 可知，将皮带套在两个半径相同的塔轮上，此时转动手柄，两塔轮转动角速度就相等了

方法二 用力传感器对向心力大小进行定量探究

(1) 合理。截距的物理意义是角速度为零时的向心力。物体不转动时，向心力为零。而图像中直线的截距不为零，可判断是实验误差所致 (2) 由于托盘与转动平台之间的摩擦力，使得向心力测量不准确 (3) 为了减小摩擦，可以在托盘与转动平台间涂些润滑油

【直击高考】

(3) 0.39 (4) 见图答 4-3-1 (5) 0.45 (6) BC

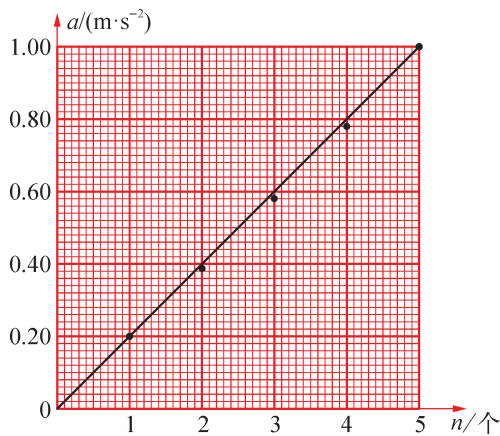
[评析] 第(3)问中，物体每次都做匀加速直线

运动，对应的 $s-t$ 图像满足 $s = \frac{1}{2}at^2$ ，由图像可知，当

$t=2.0\text{ s}$ 时，位移 $s=0.78\text{ m}$ ；则由 $s = \frac{1}{2}at^2$ 得 $a=0.39\text{ m/s}^2$ 。

第(5)问由图答 4-3-1 可知，当 $n=4$ 时，加速度为 0.78 m/s^2 ，由牛顿第二定律可知 $4 \times 0.01 \times 9.8 =$

$(m+5 \times 0.01) \times 0.78$ ，解得： $m=0.45\text{ kg}$ 。第(6)问，若木板水平，则物体将受到木板的摩擦力。由牛顿第二定



图答 4-3-1

律有： $nm_0g - \mu[m + (5-n)m_0]g = (m+5m_0)a$ ，解得 $a = \frac{nm_0g}{m+5m_0} - \frac{\mu[mg + (5-n)m_0g]}{m+5m_0} = \frac{m_0g + \mu m_0g}{m+5m_0}n - \frac{\mu mg - 5\mu m_0g}{m+5m_0}$ 。说明图像仍为直线，但不再过原点，并且斜率增大。故 BC 正确。

第五章 验证性实验

第一节 测量结果必须真实可靠

【实验探究】

实验 验证机械能守恒定律

方法一 用自由落体运动验证机械能守恒定律

(1) 可以。因为物体的质量不变，若机械能守恒，由 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ ，可知 $gh = \frac{1}{2}v^2$ 。

比较 gh 和 $\frac{1}{2}v^2$ 是否相等，也可以验证机械能是否守恒 (2) 这属于系统误差，主要是因为重物下落过程中受到阻力作用。减小该误差的方法有：①选用质量大、体积小的重物，减小空气阻力的影响。②保证限位孔在同一竖直线上，减小纸带与限位孔之间的摩擦等

方法二 用单摆的运动验证机械能守恒定律

(1) 因为小球在摆动中受到空气阻力的作用。可以选用体积更小但更重的小球，以减小空气阻力的影响 (2) 他有选择地测量数据，违背了实验条件一般性和实验数据的真实性原则

【直击高考】

(1) B (2) 1.50 1.50 (3) 不同意，因为空气阻力会造成 ΔE_k 小于 ΔE_p ，但

表中 ΔE_k 大于 ΔE_p (4) 分别测出光电门到悬点的长度 L 和球心到悬点的长度 l , 计算

ΔE_k 时, 将 v 折算成钢球的速度 $v' = \frac{l}{L}v$

[评析] 该题基于真实实验的探究情境编制, 注重考查基本实验素养, 问题设置具有开放性。要求能在理解实验原理的基础上, 定性分析实验误差产生的原因, 进一步思考减小误差的方法。例如第(3)问, 首先要意识到“ $\Delta E_p < \Delta E_k$ ”, 由此, 推断两者的差异不是由空气阻力造成的, 再回到原题中分析导致差异的原因, 从而提出合理的改进建议。

第(1)问中, 小球下落的高度为初末位置球心间的距离, 所以选 B。

第(2)问中, 读数为 1.50 cm, 小球的速度为 $v = \frac{d}{t}$, 代入数据解得 $v = 1.50$ m/s。忘记估读而写成 1.5 是常见的错误。

第(3)问中, 若结果是空气阻力造成的, ΔE_k 应小于 ΔE_p , 反之则不是空气阻力造成的。

第(4)问中, 由于遮光片在小球的下方, 根据 $v = \frac{d}{t}$ 计算的速度其实是遮光条的速度, 该速度大于小球的速度。因此(3)中的 ΔE_k 大于 ΔE_p , 实际上是用遮光片的速度替代了小球的速度造成的差异。又由于它们的角速度相同, 因此可以根据 $v = \omega r$ 求出小球的真正速度为 $v' = \frac{l}{L}v$, 这属于系统误差的修正。考试中发现, 有些学生回答“减小遮光片的宽度”。但实际上, 当遮光片宽度较小时, 对光电门遮光效果减弱, 光电门无法工作。还有些错误回答如: 换用体积更小、质量更大的小球; 重新测一下当地重力加速度 g ; 在细线和轴间打润滑油等。这些都是不正确的。

第二节 实验证据必须丰富多样

【实验探究】

实验 验证动量守恒定律

方法一 在平抛仪上验证动量守恒定律

(1) 这种方法实际是在获得平抛运动水平位移的平均值。多次测量取平均值可以减小测量的偶然误差 (2) 改进措施有: 改用质量大小相差较大的入射球和被碰球; 将入射球从更高的位置释放; 提高斜槽末端相对地面的高度

方法二 用智能小车验证动量守恒定律

(1) 主要是因为小车在运动中受到摩擦作用 (2) 运动学轨道须仔细调整至水平; 换用气垫导轨进行实验; 选取刚刚碰撞到刚刚分离时的数据

【直击高考】

(1) C (2) ADE 或 DEA 或 DAE (3) $m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON = m_1 \cdot OP$ $m_1 \cdot OM^2 + m_2 \cdot ON^2 = m_1 \cdot OP^2$ (4) 14 2.9 1 (5) 76.8

【评析】(1) 由于本实验的碰撞是在同一高度, 在空中的运动时间相同, 因而根据小球做平抛运动的射程就可以知道碰撞后速度的大小之比, 所以选 C。

(2) 本实验必须用天平测量两个小球的质量 m_1 、 m_2 , 分别找到 m_1 、 m_2 相碰后平均落

地点的位置 M 、 N ，测量平抛射程 OM ， ON ，故选 A、D、E。

(3) 由于 $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v$ ，且 $v_1 = \frac{OM}{t}$ 、 $v_2 = \frac{ON}{t}$ 、 $v = \frac{OP}{t}$ ，所以 $m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON = m_1 \cdot OP$ 。若碰撞是弹性碰撞，机械能守恒， $\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v^2$ ，所以 $m_1 \cdot OM^2 + m_2 \cdot ON^2 = m_1 \cdot OP^2$ 。

(4) 由于 $\frac{p_1}{p'_1} = \frac{m_1 v_1}{m_1 v'_1} = \frac{OP}{OM} = \frac{44.80}{35.20} = \frac{14}{11}$ ，

$\frac{p'_1}{p'_2} = \frac{m_1 v'_1}{m_2 v'_2} = \frac{m_1 \cdot \overline{OM}}{m_2 \cdot \overline{ON}} = \frac{45.0 \times 35.20}{7.5 \times 55.68} = \frac{1584}{417.6} = \frac{11}{2.9}$ ，

$\frac{p_1}{p'_1 + p'_2} = \frac{m_1 \cdot OP}{m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON} = \frac{45.0 \times 44.80}{45.0 \times 35.20 + 7.5 \times 55.68} = \frac{2016}{2001.6} = 1.007$ ，近似为 1。

(5) 当两个球发生完全弹性碰撞时，被碰小球 m_2 平抛运动射程 ON 有最大值。由弹性碰撞动量守恒有 $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v$ ，机械能守恒有 $\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v^2$ ，解得： $v'_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v$ ，所以 $ON_m = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \times OP = \frac{2 \times 45.0}{45.0 + 7.5} \times 44.8 \text{ cm} = 76.8 \text{ cm}$ 。被碰小球 m_2 平抛运动射程 ON 的最大值为 76.8 cm。

第六章 活动性实验

第一节 用科学软件进行物理探究

【实验探究】

实验 用 phyphox 手机软件测定自行车启动的加速度

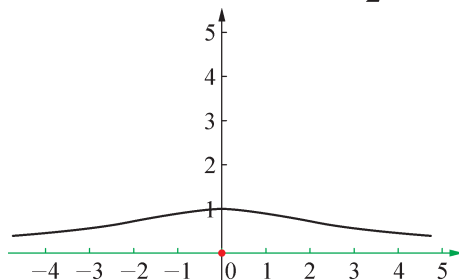
(1) 不可行，因为手机加速度传感器工作的物理基础就是牛顿第二定律，不可以再用来说明牛顿第二定律，这相当于是循环论证 (2) 加速度随时间变化的图像所围的面积是速度的变化量， t 轴上方的面积是速度增加量， t 轴下方的面积是速度减少量，物体从静止开始运动，最终静止，说明速度变化量为零，上、下两部分面积抵消

实验 用 Tracker 软件研究平抛运动的规律

(1) 可以，通过 y 坐标计算重力势能减少量，通过导出的瞬时速度计算动能增加量，比较重力势能减少量与动能增加量是否相等来验证 (2) 二次曲线可表示为 $y = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 + b$ ，对应 $\frac{1}{2} a = -4.8241$ ，则 $a = -9.6482 \approx -9.65 \text{ m/s}^2$

实验 用 GeoGebra 软件描绘点电荷的电势分布

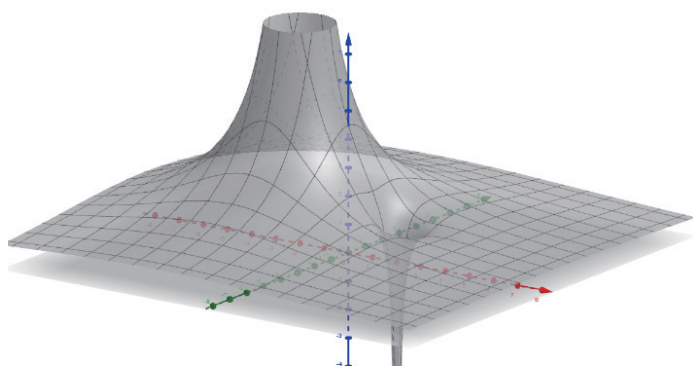
(1) 在输入区输入 $x=0$ ，即 yOz 平面，然后先在工具栏上点击【相交曲线】，再在 3D 绘图区先后点击两个曲线，在代数区的图像方程中，



图答 6-1-1 等量同种电荷连线的中垂线上的电势分布

只选择新增加的交线方程，隐藏其余图像。最后沿 x 轴方向观察，可以得到连线的中垂线上的电势分布情况（见图答 6-1-1）

（2）分析试题的 $\varphi-x$ 图像， O 点附近电势迅速下降，此处应该有一个负电荷。再向右侧的电势先上升再逐渐下降，在 O 的左侧存在一个电荷量更大的正电荷。由此，可设定 $kq_1=-1$ ， $kq_2=10$ ， $r_1=0$ ， $r_2=-2$ 。将电势分布的方程 $z = \frac{-1}{\sqrt{x^2+y^2}} + \frac{10}{\sqrt{(x+2)^2+y^2}}$ 输入后，3D 绘图区出现试题中电场的电势三维分布图，见图答 6-1-2。利用【相交曲线】工具，沿 y 轴方向就可以观察到试题描述的 $\varphi-x$ 图像



图答 6-1-2 不等量异种电荷空间电势三维分布图

实验 用 Algodoo 软件模拟分子热运动

（1）大量水分子的运动方向是随机的，作用在各个容器壁上的作用力是均匀的。但是，仿真实验中只有 200 个水分子，数量还不足够多，作用在容器壁上的作用力不够均匀，容器可能会出现运动的情况 （2）在仿真实验条件下，水分子的密度远小于实际；在运动过程上，仿真水分子和微粒运动都只限定在一个平面内，且水分子的速度大小都相同；实验观察上，仿真实验留有轨迹，方便记录

【直击高考】

AD

【评析】运动过程中，物块的滑动摩擦力大小和方向都保持不变，而弹簧的弹力由开始时的推力变为最终的拉力。开始时弹簧的弹力推动小物块运动，方向与摩擦力的方向相反；当弹簧的弹力变为拉力时，方向与摩擦力的方向相同。所以，由牛顿第二定律可知 A 正确。速度最大时其加速度应为零，弹簧弹力等于摩擦力，由此判断速度最大时的位置并不是弹簧处于原长的位置，B 错误。在 A 到 O 的过程中，弹簧弹力与运动方向相同，弹力做正功；在 O 到 B 的过程中，弹簧弹力与运动方向相反，弹力做负功，故 C 错误。物块初始动能为 0，在最远处 B 位置动能也为 0，根据动能定理，合力做的功也为 0，即弹簧弹力做的功等于克服摩擦力做的功，选项 D 正确。

以上的分析过程综合应用了形变与弹力、胡克定律、牛顿运动定律及其应用、动能定理、功和摩擦力等概念和规律。下面，我们用 Algodoo 软件模拟这个运动过程，对 A、B

两个选项的理论分析结果加以检验。首先，分别按照图答 6-1-3 和图答 6-1-4 设定物块和弹簧的参数，弹簧原长的位置设定为坐标原点。

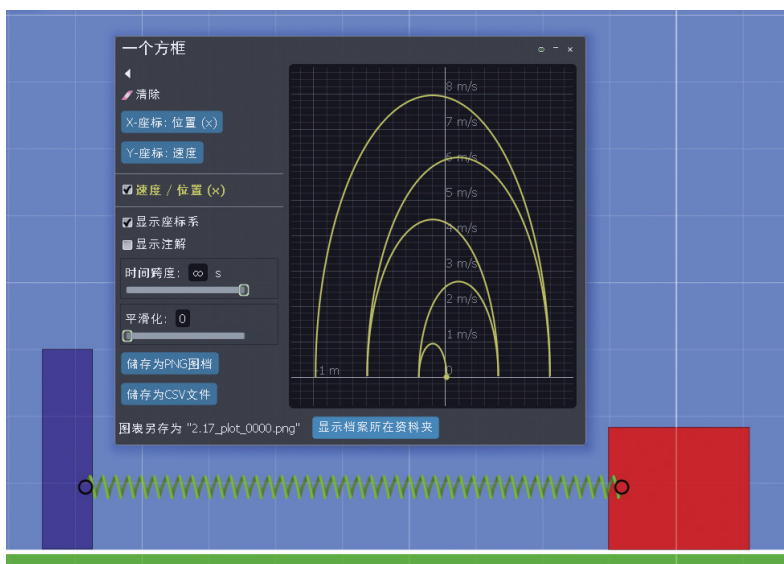


图答 6-1-3 物块参数设定



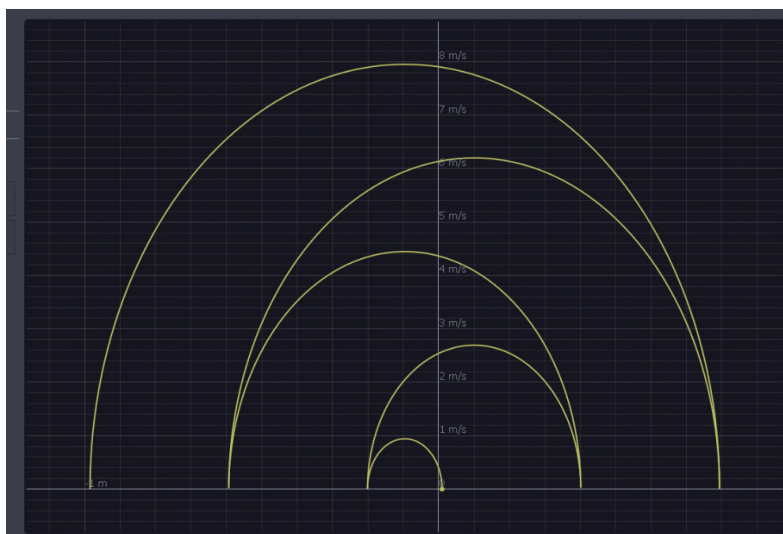
图答 6-1-4 弹簧参数设定

接着，模拟物块运动的完整过程。右键点击物块，点击[显示图表]，[X座标]对应于[位置(X)]，[Y座标]对应于[速度]，显示出速度大小随位置的变化图像，如图答 6-1-5 所示。图像表明，从左向右的过程中，物块的速度先增大后减小，加速度先减小后增大，A 正确。速度的最大值在坐标原点的左侧，说明弹簧还没有恢复原长时，速度已经达到最大值，B 错误。考试结果发现，选错 B 的学生比较多，这部分学生错误地认为 O 点为物块运动过程中受力平衡的位置，没有对物块进行正确的受力分析，忽略了摩擦力的作用。软件模拟详细地描述了物块的运动过程，可以很好地帮助他们反思答错的原因。



图答 6-1-5 运动的速度一位移图像

模拟发现，如果让物块继续运动下去，物块向左运动时速度最大的位置总在弹簧原长的右侧，而且每次位置重合，与往复运动的次数无关（图答 6-1-6）。你能用物理知识证明这一点吗？



图答 6-1-6 速度最大值位置对比

第二节 用身边物品进行物理实验

【实验探究】

实验 探究铅笔芯的电阻随其长度和温度的变化

(1) 这样接入电路的电阻最大，保证电路安全 (2) 不可行。首先，灯泡发热产生光，有热量散失，其明亮程度与功率不成正比关系；其次，小灯泡的功率不与铅笔芯的电阻成反比，而且小灯泡的电阻随灯泡功率的变化也有变化

实验 用茶壶探究最大静摩擦力大小与正压力的关系

(1) 合理。以 G 为单位对压力重新进行标定，以倍数关系巧妙地避开对具体量的测量，在缺少测量仪器的情况下经常采用这种方法 (2) 该同学的看法不正确，实验可以说明最大静摩擦力与正压力成正比。实验表明，最大静摩擦力与正压力是一次函数的关系。两个物体之间无压力时，静摩擦力等于零，所以最大静摩擦力与正压力的关系图线一定是通过原点的直线，即最大静摩擦力与正压力成正比

实验 制作简易的电动机

(1) 旋转方向都与之前相反 (2) 线圈无法连续旋转。因为线圈转过半周后，电流方向相反，线圈受力方向也会相反，阻碍原有转动 (3) 通电导线

实验 旋转的液体

(1) 可以在水面上撒一些小的碎纸片 (2) 可以。液体旋转方向就是安培力的方向，从电极与电池正负极连接的情况确定电流方向后，便可根据左手定则判断出磁场的方向，从而知道磁铁的极性方向 (3) 从上往下看沿顺时针方向旋转

【直击高考】

(1) $\frac{2d}{t^2}$ 保持 F_1 不变测量多次, 取平均值 (2) C (3) BC

【评析】这是一个利用身边的物品设计的实验, 考查了综合运用所学物理知识理解实验原理、设计实验、分析和解释数据的能力。

第(1)问, 由匀加速运动规律 $d = \frac{1}{2}at^2$, 可得 $a = \frac{2d}{t^2}$ 。知道多次测量取平均值是有效减小偶然误差的实验方法。

第(2)问, 由于此实验要求水的质量 m 远小于木板的质量 M , 则由牛顿第二定律可得 $F_1 - F_0 = (M + m)a \approx Ma$, $a = \frac{F_1}{M} - \frac{F_0}{M}$, 因而 $F_1 - a$ 图像是一条以 $(F_0, 0)$ 为起点的直线。但是, 当 m 逐渐增大到不可忽略时, 图线的斜率变小, 会向下弯曲, 图 C 正确。

第(3)问, 由于加入水的质量可以连续变化, 所以可以比较精确地测出摩擦力的大小, 并且方便获取多组实验数据, 所以选项 BC 正确。

测试发现, 主要错误是第(1)问混淆减小偶然误差和系统误差的方法。第(2)问一般会误认为图线的截距为零, 没有考虑到木板与桌面之间存在摩擦力。第(3)问容易漏选 C, 没有真正体会到灵活利用身边物品进行物理实验的优点。

第三节 探究生活中事物的物理规律

【实验探究】

实验 测量电梯上升时的加速度变化

(1) 不可行。因为在电梯的密封空间中, 周围没有参照物, 无法测得电梯的位移变化, 因此无法推算出速度 (2) 合理。从生活常识看, 我们的感觉是正确的, 电梯从启动到停止过程中, 有一段在做匀速运动。从测量结果看, 这段时间力传感器的读数与电梯静止时的读数基本相同。

实验 验证自行车拐弯时的倾角与速度、半径的关系

(1) 应该与车胎和地面间的动摩擦因数有关。由牛顿运动定律, 有 $G \tan \theta = m \frac{v^2}{r}$, 静摩擦力提供向心力, 则 $G \tan \theta = f$ 。设最大静摩擦力等于滑动摩擦力, 有 $G \tan \theta_{\max} = \mu G$, 则 $\tan \theta_{\max} = \mu$ (2) 拐弯时放慢车速; 增大拐弯半径; 及时更换旧车胎

实验 探究直尺摆动周期与摆长之间的关系

刚体绕固定的水平轴在重力作用下做微小摆动的动力学体系称为复摆, 又称物理摆。如图答 6-3-1 所示, 摆在重力作用下做微小振动的动力学方程为:

$$M = mgl \sin \theta \approx mgl \cdot \theta, \text{ 则周期 } T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}}。$$

长为 L 、质量为 m 的匀质直尺绕 O 点的转动惯量为 $I = \frac{1}{12}mL^2 + ml^2$ 。代入周期公式得

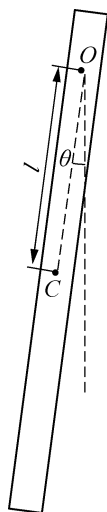
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L^2 + 12l^2}{12gl}}。$$

推论可知：

(1) 当 $l \gg L$ 时, $T \approx 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, 近似为单摆。

(2) 当 $l = \frac{L}{\sqrt{12}}$ 时, 周期 T 有最小值, $T_m = 2\pi\sqrt{\frac{2l}{g}}$, 与实验结果一致。

通过复摆的周期与摆长之间关系的探究, 我们可以推测, 当单摆摆线的质量不可忽略时, 其周期将不能满足 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 关系。因此, 如果用这样的单摆测量重力加速度, 根据实验和理论探究结果, 复摆的周期比相同摆长的单摆小, 因此根据单摆周期公式推算出的重力加速度 g 偏大



图答 6-3-1 复摆

【直击高考】

(1) CD (2) 39.0 (3) 逐渐增大到 39.8 cm/s 逐渐增大到等于重力 (4) 为了说明磁铁在塑料管中几乎不受阻尼作用; 磁铁在铜管中受到的阻尼作用主要是电磁阻尼作用

【评析】在学习楞次定律时, 都观察过小磁块下落通过铜管时受到电磁阻尼的现象。观察后, 不少同学或许有这样的疑问: 小磁块经过铜管时的运动情况具体是怎样的? 真的就是电磁阻尼的作用吗? 试题引用“磁制动器”的情境, 将问题探究与“验证机械能守恒定律”的实验过程结合起来。问题设置既涉及正确使用打点计时器也重视对实验思想的考查。

第(1)问比较容易, 纸带应穿过限位孔压在复写纸下面, 工作时应先接通电源再松开纸带。铜管固定在限位孔的正下方, 小磁块才能沿铜管的中央下落。释放磁块时, 手应拉住纸带末端, 以保证整条纸带在释放时保持竖直, 最大程度地减小纸带与限位孔间的摩擦力, 有利于减小测量误差, 这与验证机械能守恒定律的实验操作要求相同。正确选项为 C 和 D。漏选 C 是典型错误, 不少学生有磁铁与物体相互吸引的概念, 所以会以为只有在释放前用手捏紧磁铁保持静止, 才能防止它与铜管相吸而下落。

第(2)问也比较容易, 用打出的纸带计算速度大小是基本实验技能。由于磁铁做的是非匀变速运动, 选择计数点时要尽可能地选择一段较短的时间, 才能更准确地表示其中间时刻的瞬时速度。试题中, 计数点 4 的前后两个计时点到 O 点的距离分别为 4.04 cm 和 5.60 cm, 则该点的平均速度 $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{5.60 \text{ cm} - 4.04 \text{ cm}}{0.04} = 39.0 \text{ cm/s}$ 。该问的典型错误有两种: 一是没看清数据表中所给的单位是 cm/s, 而是按 m/s 的单位填写数值; 二是机械地按每 5 个计时点取 1 个计数点的方法计算速度。

第(3)问, 磁铁运动速度的变化情况是: 速度的大小在逐渐变大、加速度逐渐减小, 最终速度达到 39.8 cm/s 并保持不变。因此根据牛顿运动定律可推断, 这段时间内磁铁所受的阻尼作用逐渐增大, 最终在匀速下落时与磁铁的重力平衡。此题的主要错误有

语言表述不清晰、不准确，不结合具体问题，例如第二个空格有的同学写成“先排斥后吸引”。

第（4）问是将问题深入，因为至此的实验证据只能表明磁块下落过程中受到阻尼作用，但是否就是电磁阻尼？是否还存在其他形式的阻尼作用？这些问题并未得到回答。因此，实验论证还不够充分。为此采用对照实验的方法，将铜管替换为塑料管，去除产生电磁阻尼的因素。这种情况下，磁块的运动与自由落体运动几乎相同，即几乎不受阻尼，这就充分说明磁块在铜管中受到的的确是电磁阻尼。该问的典型错误是不理解对照实验的目的，例如回答成“为了探究磁体在塑料管中的下落规律”。