

高三年级物理学科试卷

考生须知：

1. 本卷共 8 页，满分 100 分，考试时间 90 分钟；
2. 答题前，在答题卡指定区域填写学校、班级、姓名、考场号、座位号及准考证号；
3. 所有答案必须写在答题卡上，写在试卷上无效；
4. 考试结束后，只需上交答题卡。

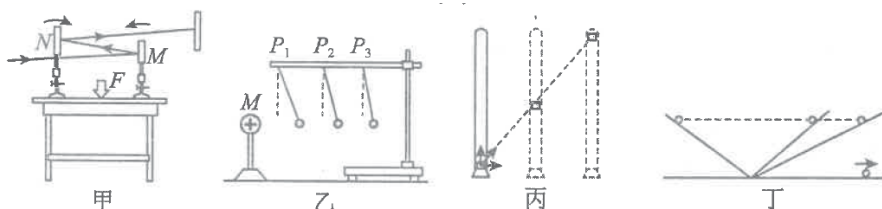
第 I 卷（选择题共 45 分）

一、选择题 I（本题共 13 小题，每小题 3 分，共 39 分。在每小题给出的四个选项中，只有一项是符合题目要求的，选对的得 3 分，选错的得 0 分）

1. 日本拟向太平洋排放核废水引发国际社会的广泛关注与谴责。辐射的危害程度常用“当量剂量”这一物理量衡量，其国际单位是希沃特，记作 Sv。每千克 (kg) 人体组织吸收 1 焦耳 (J) 为 1 希沃特。下列选项中用国际单位制的基本单位表达希沃特，正确的是

- A. m^2/s^2 B. W/kg C. J/kg D. m^2/s

2. 下列四幅图中包含的物理思想方法叙述错误的是

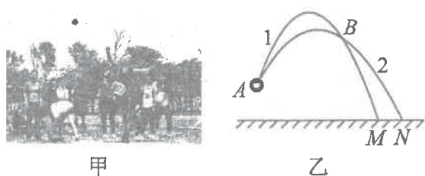


- A. 图甲：观察桌面微小形变的实验，利用了放大法
 B. 图乙：探究影响电荷间相互作用力的因素时，运用了控制变量法
 C. 图丙：利用红蜡块的运动探究合运动和分运动的实验，体现了类比的思想
 D. 图丁：伽利略研究力和运动的关系时，运用了理想实验方法

3. 下列说法不正确的是

- A. 无线电波的接收，需要先调谐再解调
 B. 照相机镜头玻璃的颜色是光的干涉造成的
 C. 汤姆孙求出了阴极射线的比荷，并粗略测到了该种粒子的电荷量，发现了电子
 D. 核子结合成原子核释放的能量叫作结合能，结合能越大，原子核越稳定

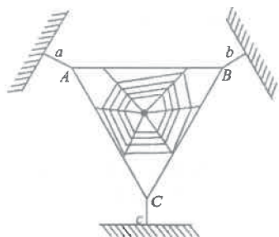
4. 学校运动会上，某同学参加铅球比赛，他将同一铅球从空中同一位置 A 先后两次抛出，第一次铅球在空中轨迹如图乙中 1 所示，第二次铅球在空中轨迹如图乙中 2 所示，两轨迹的交点为 B 。已知铅球两次经过 B 点时机械能相同，不计空气阻力，不计铅球大小，则关于两次抛出，下列说法正确的是



- A. 两次抛出的初速度相同 B. 两次铅球落地时重力的瞬时功率相同

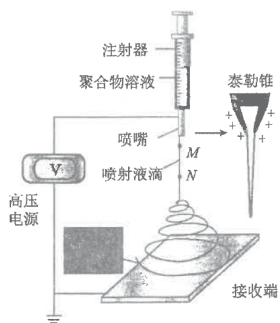
C. 两次铅球在空中运动过程中重力做功平均功率 2 更加大 D. 两次铅球在最高点机械能 2 更加大

5. 蜘蛛网是由部分种类的蜘蛛吐丝所编成的网状物，如图所示，竖直平面内蜘蛛网上 A 、 B 、 C 三点的连线构成正三角形，三根蜘蛛丝 a 、 b 、 c （可视为弹性绳）的延长线均过三角形的中心，蜘蛛丝 c 沿竖直方向，且 c 中有张力。蜘蛛静止在蜘蛛网（不计重力）中央，下列说法正确的是



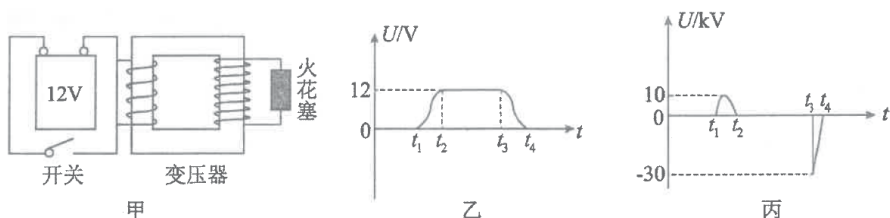
A. a 中张力大于 b 中张力 B. a 中张力大于 c 中张力
C. 若 c 突然断开，则蜘蛛仍能保持静止 D. 若 c 突然断开，则断后瞬间蜘蛛的加速度竖直向下

6. 利用静电纺丝技术制备纳米纤维材料是近年来材料领域的重要技术。如图所示，初始时无电场，喷嘴处的球形液滴保持静止；随着高压电场逐渐增强，液滴带上正电荷且由球形变为圆锥形（即“泰勒锥”）；当电压增至某个临界值时（假设此后电压保持不变），液滴从尖端喷出，在非匀强电场的作用下向下方运动， M 、 N 为直线路径上的两点。以下说法正确的是



A. 喷嘴处的球形液滴在无电场的情况下只受重力 B. 液滴从 M 到 N 的过程做匀加速直线运动
C. 液滴从 M 到 N 的过程电场力做负功 D. 液滴向下做螺旋运动时电势能减小

7. 如图甲所示为汽车的传统点火装置，称之为蓄电池点火系统。此装置的核心部件是一个变压器，该变压器的原线圈通过开关连接到 12V 的蓄电池上，副线圈连接到火花塞的两端。在开关闭合或断开的瞬间，将会在副线圈中产生脉冲高电压形成电火花，点燃可燃混合气体。图乙和图丙分别是原线圈、副线圈电压随时间变化的图像，则下列说法正确的是

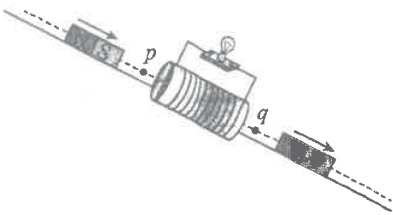


A. 原线圈的匝数比副线圈的匝数多
B. t_2 至 t_3 间穿过副线圈的磁通量为零
C. 开关断开与闭合瞬间副线圈产生的感应电动势方向相同
D. 开关断开时比开关闭合时，更容易点燃混合气体

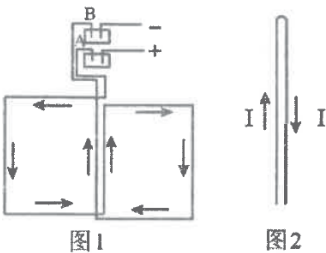
8. 如图所示，甲、乙、丙、丁所示是四种常见的磁场，下列分析不正确的是



- A. 矩形线框放置在甲图中异名磁极间所制成的磁电式电表，表盘刻度均匀
 B. 矩形线圈在乙图两异名磁极间转动，可产生正弦式交流电
 C. 图丙中马蹄形磁铁的两个异名磁极之间，除边缘外可认为是匀强磁场
 D. 图丁中相距一定距离的两个平行放置的线圈通电时，其中间区域的磁场不可以认匀强磁场
9. 如图所示，一块永磁体在光滑斜面上沿着一螺线管的轴线做直线运动。螺线管外的轴线上存在 p 、 q 两点 (p 、 q 两点到螺线管边缘的距离相等)。一灯泡与螺线管串联，灯泡在永磁体通过 p 点时的亮度要大于永磁体通过 q 点时的亮度。忽略永磁体的尺寸，下列说法中正确的



- A. 永磁体在 p 点时的速度小于在 q 点时的速度
 B. 永磁体在 p 点时的机械能小于在 q 点时的机械能
 C. 若将灯泡换成一发光二极管，则永磁体在通过 p 和 q 时该二极管不会都发光
 D. 若将永磁体的极性对调，则在其通过 q 点时灯泡的亮度将大于其通过 p 点时的亮度
10. 安培在研究电流之间的相互作用时，用一根硬导线弯成如图 1 形状的线圈，这线圈是由两个形状和大小相同、但电流方向相反的平面回路组成一个整体，线圈的端点 A 、 B 通过水银槽和固定支架相联，这样，线圈既可通入电流，又可自由转动，被称为无定向秤。则通电后

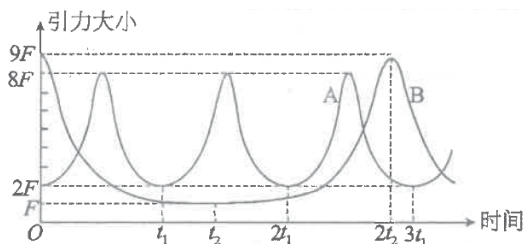


- A. 当处于非匀强磁场中，线圈可能会发生转动
 B. 当处于平行线圈平面的匀强磁场中，线圈可能会发生转动
 C. 当处于垂直线圈平面的匀强磁场中，线圈可能会发生转动
 D. 将如图 2 那样的通电硬导线靠近该秤，线圈可能会发生转动
11. 雨打芭蕉是中国古代文学中常见的抒情意象，为估算雨滴撞击芭蕉叶产生的平均压强 p ，小华同学将一圆柱形的量杯置于院中，测得一段时间 t 内杯中水面上升的高度为 h ，查询得知当时雨滴下落的速度为 v 。设雨滴竖直下落到水平的芭蕉叶上后以原来的速率竖直反弹。已知水的平均密度为 ρ ，不计雨滴重力。则 p 的大小为



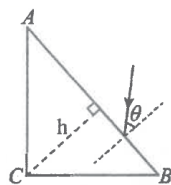
- A. $\rho v \frac{h}{t}$ B. $2\rho v \frac{h}{t}$ C. ρv^2 D. $2\rho v^2$

12. 某行星的卫星 A、B 绕以其为焦点的椭圆轨道运行，作用于 A、B 的引力随时间的变化如图所示，其中 $t_2 = \sqrt{2}t_1$ ，行星到卫星 A、B 轨道上点的距离分别记为 r_A 、 r_B 。假设 A、B 只受到行星的引力，下列叙述正确的是



- A. B 与 A 的绕行周期之比为 $\sqrt{2}:1$ B. r_B 的最大值与 r_B 的最小值之比为 $2:1$
 C. r_B 的最小值与 r_A 的最小值之比为 $2:3$ D. 卫星 A 与卫星 B 的质量之比为 $8:9$

13. 截面如图所示的直角棱镜 ABC，其中 BC 边和 CA 边镀有全反射膜。一细束白光以入射角 $\theta = 60^\circ$ 从 AB 边入射，然后经过 BC、CA 反射，又从 AB 边射出。已知三角形 AB 边的高为 h ，真空光速为 c 。对经过两次反射，并从 AB 边射出的光束，有



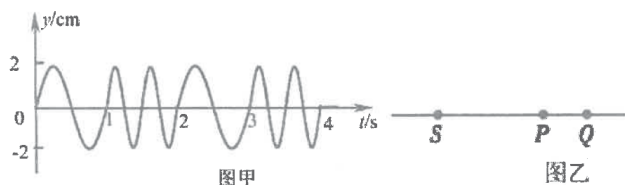
- A. 出射方向相对于入射方向的转角大小与光的颜色有关 B. 紫光在出射位置与入射位置间距最大
 C. 光在棱镜中用时最短的光的折射率为 $\sqrt{3}$ D. 光在棱镜当中传播用时最短为 $\frac{2\sqrt{3}h}{c}$

二、选择题题 II（本题共 2 小题，每小题 3 分，共 6 分。每小题列出的四个备选项中至少有一个是符合题目要求的。全部选对的得 3 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分）

14. X 射线管中，由阴极发射的电子（初动能忽略不计）被加速后打到阳极，会产生包括 X 光在内的各种能量的光，若只考虑电子被阳极材料吸收后产生的光，其中光的能量最大值等于到达阳极电子的动能。则（已知阳极与阴极之间的电势差为 U 、普朗克常量为 h 、电子电量为 e 和光速为 c ）

- A. X 光的最大波长为 $\frac{ch}{eU}$
 B. X 光频率是不连续的
 C. 用 X 射线管发出的光入射钠金属能产生光电效应，则产生光电子的最大初动能为 Ue
 D. 用波长为 λ 的 X 光照射钠金属，在散射光中有频率比 $\frac{c}{\lambda}$ 小的成分

15. 波源 S 自 $t=0$ 时刻起开始振动，每隔 1s 做两种不同频率的简谐运动，振幅均为 2cm ， 4s 后波源 S 停止振动，其振动图像如图甲所示。产生的简谐波沿 SP 方向传播，波速为 4m/s ， P 、 Q 是介质中两质点，已知 $SP=8\text{m}$ ， $SQ=10\text{m}$ ，如图乙所示。下列说法正确的是

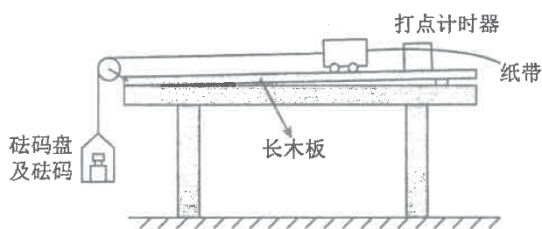


- A. $t=7.0\text{s}$ 时，质点 P 点振动方向沿 y 轴正方向
- B. $t=3.5\text{s}$ 时，质点 P 、 Q 的振动方向相反
- C. 在前 4s 内，质点 P 经过路程为 24cm
- D. 在前 4s 内，质点 P 、 Q 经过的路程相差最大的时刻出现在 3.5s 到 4.0s

第 II 卷（非选择题共 55 分）

三、非选择题（本题共 5 小题，共 55 分）

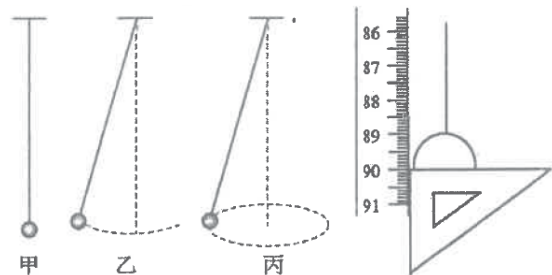
16. I. 某实验小组利用如图所示的装置探究小车及车中砝码的加速度与其质量、与其所受合力的关系。砝码盘及盘中砝码总质量用 m 表示，小车及车中砝码总质量用 M 表示。



(1). 安装器材时要调整长木板的倾斜程度使得被轻推出的小车在_____（选填“挂”或“不挂”）砝码盘的情况下，能沿斜面匀速下滑，实验时应调整长木板左端滑轮的高度让牵引小车的细线_____（选填“水平”或“与木板平行”）

- (2). 实验时满足 m 远小于 M 是为了_____
- A. 减小实验的偶然误差
 - B. 让绳对小车的拉力大小近似等于小车的合外力
 - C. 让绳对小车的拉力大小近似等于砝码盘及盘中砝码的总重力
 - D. 砝码盘及盘中砝码的总重力大小近似等于小车的合外力

II. 科技文化节中，某兴趣小组做了如下实验。利用单摆测量重力加速度，实验操作如下：



- (1) 使用游标卡尺测量实芯钢球的直径，钢球直径为 d ；
- (2) 将器材按甲图方式连接，用刻度尺测量出悬点与钢球最上端间细线长度为 l ；使钢球按照乙图方式运动，摆角小于 5° ，钢球第 1 次经过最低点处开始计时，第 n 次经过最低点时的总时间为 t ，则重力加速度

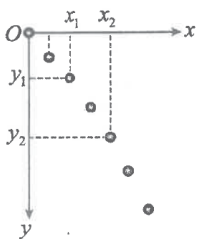
$g = \underline{\hspace{2cm}}$ ；（用测得的物理量表示）

（3）若钢球实际按图丙方式在水平面内做圆周运动，但仍然视作单摆，则测量出的重力加速度值 $\underline{\hspace{2cm}}$ （填“偏大”或“偏小”）。

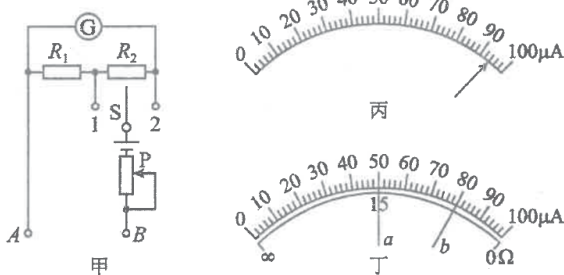
（4）另一位同学直接用米尺和三角板测量了单摆的摆长，如图，则单摆摆长是 $\underline{\hspace{2cm}}$ m；

III. 用频闪照相记录平抛小球在不同时刻的位置，探究平抛运动的特点。

某同学实验时忘了标记重垂线方向，为解决此问题，他在频闪照片中，以某位置为坐标原点，沿任意两个相互垂直的方向作为 x 轴和 y 轴正方向，建立直角坐标系 xOy ，并测量出另外两个位置的坐标值 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) ，如图所示。根据平抛运动规律，利用运动的合成与分解的方法，可得重垂线方向与 y 轴间夹角的正切值为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。



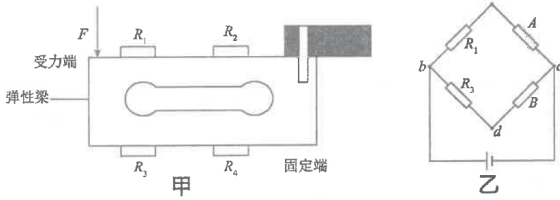
IV. 某同学为了研究欧姆表的改装原理和练习使用欧姆表，设计了如下实验。利用一个满偏电流为 $100\mu\text{A}$ 的电流表改装成倍率可调为“ $\times 1$ ”或“ $\times 10$ ”的欧姆表，其电路原理图如图甲所示。



（1）使用时进行欧姆调零发现电流表指针指在如图丙所示位置，此时应将滑动变阻器的滑片 P 向 $\underline{\hspace{2cm}}$ （选填“上”或“下”）移动；

（2）将单刀双掷开关 S 与 2 接通后，先短接，再欧姆调零。两表笔再与一电阻 R_0 连接，表针指向表盘中央图丁中的 a 位置处，然后用另一电阻 R_x 代替 R_0 ，结果发现表针指在 b 位置，则 $R_x = \underline{\hspace{2cm}}$ ；（结果用 R_0 表示）

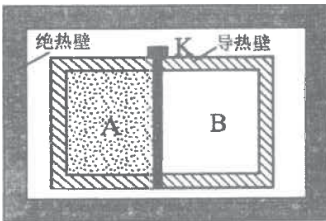
（3）该同学为了研究力传感器的原理，查阅相关原理，发现力传感器内部的核心结构是如图甲所示的装置，四个电阻 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ 贴在右侧固定的弹性梁上。其主要原理是在弹性梁左侧施加外力 F 时，弹性梁发生形变，引起贴在弹性梁上的四个电阻形状发生改变，引起电阻值大小发生变化，使输出的电压发生变化，把力学量转化为电学量。其电路简化图如图乙所示。施加如图甲所示的外力 F ，若要 ad 两点输出的电压尽量大，则图乙中 A 处电阻应为 $\underline{\hspace{2cm}}$ （填“ R_2 ”或者“ R_4 ”）



V. 下列说法正确的是_____ (多选)

- A. “用油膜法估测油酸分子的大小”实验中，用一滴油酸酒精溶液体积除以油膜面积即得油酸分子直径
- B. “探究弹簧弹力与形变量的关系”实验中，若作弹力和弹簧长度的关系图像也能求出弹簧的劲度系数
- C. “用双缝干涉测量光的波长”实验中，若通过目镜发现里面的亮条纹与分划板竖线未对齐，应调节双缝与单缝平行
- D. “观察光敏电阻特性”和“观察金属热电阻特性”实验中，光照强度增加，光敏电阻阻值减小；温度升高，金属热电阻阻值增大

17. 如图所示，浸没在水中的容器被隔板 K 隔开成相等的 A、B 两部分，水与外界绝热。已知 A 内有一定量的稀薄气体，达到平衡状态时温度为 T_0 ，压强为 P_0 ；B 内为真空。抽开隔板 K 后，A 内气体进入 B，在此过程中水温不变，最终达到新的平衡状态。若容器内气体内能与温度的关系为 $\Delta U = \alpha \Delta T$ (α 为已知常量)。



- (1) 求达到新平衡态过程中气体吸收的热量 Q 和所做功 W ；
- (2) 求达到新平衡态时容器的压强 p ；
- (3) 若抽开隔板 K 后再将水温升至 $1.5T_0$ ，求容器内最终的压强 p' 和吸收的热量 Q' 。

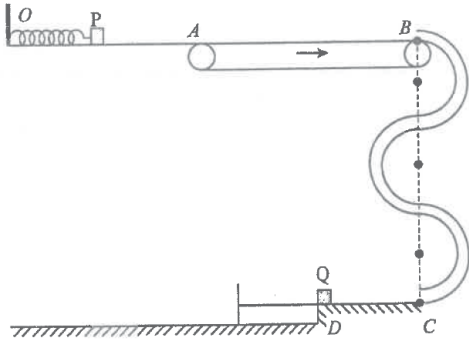
18. 一自上而下的传送装置可简化为如下模型。如图所示，水平光滑轨道 OA 上安装了一理想弹簧发射器，弹簧原长小于 OA 间距离，弹簧左端固定在 O 处，弹簧右端放置一小滑块 P ，使滑块向左压缩弹簧且不拴接，在轨道右侧有一顺时针转动的水平传送带，其左右端分别与轨道 A 点和细管道 B 点等高相切，水平固定粗糙平台 CD 与细管道最低点 C 等高相切，在水平地面上有一左端带挡板的木板，木板上表面与平台 CD 等高且木板与平台紧密接触。将滑块 P 由静止释放， P 经过水平传送带和三个竖直的半圆形光滑细管道，与静止在 CD 平台末端的小滑块 Q 发生弹性碰撞，碰后 P 恰好能返回 C 点，碰后 Q 滑上木板，然后 Q 与木板左端挡板发生弹性碰撞。已知管道半径均为 R ，滑块 P 、木板质量分别为 $m_p = m$ 、

$m_{\text{木}} = 6m$ ，释放滑块 P 时弹簧弹性势能的大小为 $E_p = 3mgR$ ，传送带长度为 $L_1 = 4R$ ，传送带速度大小为 $v = \sqrt{3gR}$ ，平台 CD 长度为 $L_2 = 2R$ ，木板长为 $L_3 = 1.5R$ ，滑块 P 与传送带间的动摩擦因数为

$\mu_1 = 0.5$ ， P 与平台 CD 间的动摩擦因数为 $\mu_2 = 0.75$ ，滑块 Q 与木板间的动摩擦因数为 $\mu_3 = 0.4$ ，木板

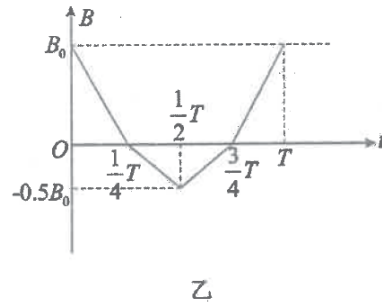
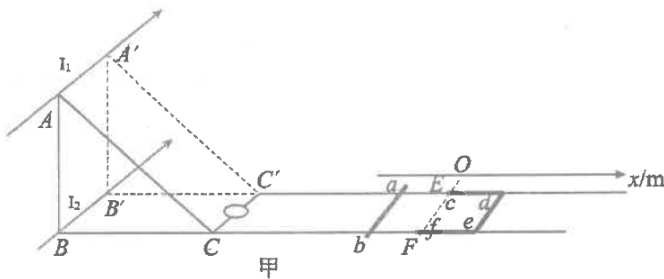
与地面间的动摩擦因数为 $\mu_4 = 0.2$ 。

与地面间的动摩擦因数为 $\mu_4 = 0.2$ ，重力加速度为 g ，滑块 P、Q 均可视为质点，所有碰撞时间极短。



- (1) 求滑块 P 到达 B 点过程中传送带对滑块 P 做的功 W ；
- (2) 求滑块 Q 的质量 m_Q ；
- (3) 求滑块 Q 与木板间因摩擦而产生的热量 $Q_{热}$ 。

19. 如图甲所示，无限长的两根通电直导线安装在横放的绝缘直三棱柱架子的 AA' 和 BB' 两条棱边上 ($AB \perp BC$)，在架子右侧一条棱边 CC' 的中点上水平固定一面积为 S (面积足够小)、电阻为 R 的 n 匝线圈，线圈到 AA' 和 BB' 的距离分别为 L_1 和 L_2 ，另外将足够长的平行绝缘轨道固定水平地面上 (轨道分别位于 BC 和 $B'C'$ 的延长线上)，轨道间距为 L ，



- (1) 如果 AA' 和 BB' 上通电导线的电流大小分别为 I_1 和 I_2 ，方向如图中箭头所示，求线圈中的磁通量 (已知通电直导线周围激发的磁场满足关系: $B = k \frac{I}{r}$ ，其中 I 为电流大小， r 为到直导线的距离， k 为某已知常数。另外线圈面积足够小时，通电导线在线圈中激发的磁场可当成匀强磁场)；
- (2) 如果通电导线在线圈处激发的磁感应强度的竖直分量 B_y 与时间的关系如图乙所示，图中 B_0 已知，求 0 到 $\frac{1}{2}T$ 时间内，流过线圈导线横截面的电荷量；
- (3) 在第 (2) 题的前提条件下，已知 $t = 0$ 时刻线圈中磁场方向为竖直向上，假设以俯视观察时逆时针方向为电流正方向。求 $\frac{1}{4}T - \frac{1}{2}T$ 时间内线圈中的电流瞬时表达式及 0 到 T 时间内线圈中电流有效值；
- (4) 撤去两根通电直导线，现将一质量为 m 、长度为 L 、接入轨道部分电阻为 R 的金属棒 ab 垂直放置在轨道上，右方还有质量为 $3m$ 、边长均为 L 的 U 形框 $cdef$ ，其中 U 形框 $cdef$ 的电阻为 $3R$ 。沿绝缘轨道方向建立 x 轴，虚线与坐标原点 O 在同一水平线上，虚线 EF 左侧轨道光滑，让虚线 EF 右侧所在空间存在竖

直向上的磁场，磁感应强度的分布为 $B = k'x + B_0 (k' > 0)$ 。现在给金属棒 ab 一个水平向右的瞬时冲量

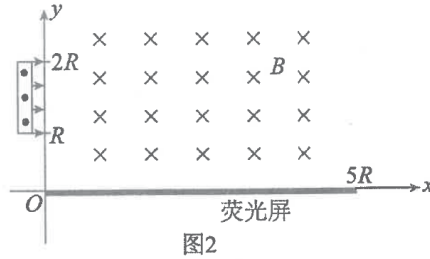
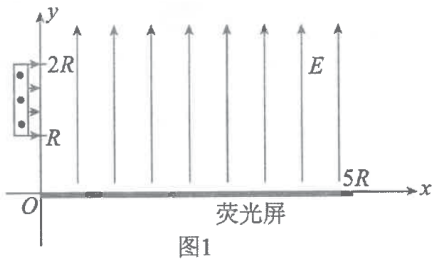
I_0 ，一段时间后金属棒 ab 与 U 形框发生完全非弹性碰撞，整体进入到 EF 右侧运动时会受到阻力，阻力

大小与速度满足 $f = \frac{3k'^2 L^4}{4R} v$ ，求 ab 与 U 形框整体最终静止时 ab 边的坐标 x 及 U 形框在运动过程中产生的

的焦耳热 Q_U 。

20. 如图 1 所示，在 xOy 平面上的第一象限全部区域有大小为 $E = \frac{2mv^2}{eR}$ ，方向竖直向上的匀强电场，有

一位于第二象限的电子源持续不断地沿 x 轴正方向发射速率均为 v 的电子，形成沿 y 轴方向均匀分布的电子流，电子源所在位置的纵坐标分布范围为 $R \sim 2R$ 。荧光屏的上端固定于 x 轴上，其横坐标分布范围为 $0 \sim 5R$ ，荧光屏上被电子碰撞的位置均会显示荧光。电子每次碰撞过程中机械能损失 75%，碰撞前后速度方向与荧光屏的夹角相等（与竖直方向对称）。已知电子的质量为 m ，电荷量为 e ，不计电子重力，忽略电子子间的相互作用。



(1) 求荧光区域的横坐标的最小值；

(2) 若从 $y = R$ 沿 x 轴正方向射出的电子与荧光屏第一次碰撞的作用时间为 t_0 ，求第一次碰撞过程中荧光屏对该电子的作用力大小；

(3) 求荧光区域的横坐标的最大值；

(4) 现把匀强电场撤去，在第一象限全部区域加上方向垂直向里的匀强磁场 B ，如图 2 所示。若所有电子最终均静止在荧光屏上（没有离开第一象限），求 B 的取值范围。

高三年级物理学科答案

一、选择题 I（本题共 13 小题，每小题 3 分，共 39 分。在每小题给出的四个选项中，只有一项是符合题目要求的，选对的得 3 分，选错的得 0 分）

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A	C	D	C	B	D	D	B	C	A	B	D	D

二、选择题 II（本题共 2 小题，每小题 3 分，共 6 分，每小题给出的四个选项中至少有一个是正确的，全部选对得 2 分，选对但不全的得 1 分，有选错的得 0 分）

14	15
BD	CD

三、非选择题（本题共 5 小题，共 55 分）

16. I (1) 不挂 与木板平行 (2) C

II (2) $\frac{\pi^2(l+\frac{d}{2})(n-1)^2}{t^2}$ (2分) (3) 偏大 (4) 0.9000

III $\frac{x_2-2x_1}{y_2-2y_1}$ (2分)

IV (1) 上 (2) $\frac{R_0}{4}$ (3) R_4

V BD (2分)

17. (8分) (1) $Q=0, A=0$; (2) $p=\frac{p_0}{2}$; (3) $p'=\frac{3}{4}p_0, Q'=0.5\alpha T_0$

【详解】(1) (2分) 由于 B 内为真空，当抽开隔板 K 后，气体将发生扩散，充满整个气室，此过程气体不对外做功，即 $A=0$ ，而根据热力学第一定律

$$\Delta U = Q + W$$

可知式中 $W=0$ ，而水与外界绝热，则浸没在水中的容器内的气体温度不变，即 $\Delta U=0$ ，由此可知

$Q=0$ ，即气体既不对方放热也不从外界吸热。

(2) (3分) A 室中的气体经扩散再次达到平衡的过程中，发生等温变化，设容器的体积为 V ，则由波义耳定律有

$$p_0 \cdot \frac{V}{2} = pV$$

解得

$$p = \frac{p_0}{2}$$

(3) (3分) 根据题意由理想气体的状态方程有

$$\frac{p_0 V}{2T_0} = \frac{p' V}{1.5T_0}$$

解得

$$p' = \frac{3}{4} p_0$$

而根据容器内气体内能与温度的关系为

$$\Delta U = \alpha \Delta T$$

可知此过程中吸收的热量

$$Q' = \Delta U = \alpha \Delta T = 0.5 \alpha T_0$$

18. (11分) (1) (3分) $-1.5mgR$; (2) (4分) $m_Q = 3m$; (3) (4分) $Q_{\text{热}} = 3mgR$

【详解】(1) 假设 P 在传送带上一直匀减速，则由动能定理

$$E_P - \mu_1 m_P g s = \frac{1}{2} m_P v_B^2$$

解得

$$v_B = \sqrt{3gR}$$

由于

$$v_B = \sqrt{3gR} > \sqrt{gR}$$

则假设成立，即

$$v_B = \sqrt{3gR}$$

(2) 设 P 与 Q 碰撞前的速度大小为 v_1 ，碰后 P 的速度大小为 v_2 ，Q 的速度为 v_3 ，则 P 从 B 到 C 由动能定理

$$m_P g \cdot 6R = \frac{1}{2} m_P v_C^2 - \frac{1}{2} m_P v_B^2$$

解得

$$v_C = \sqrt{15gR}$$

从 C 到 D 过程中由动能定理

$$-2\mu_2 m_P g R = \frac{1}{2} m_P v_1^2 - \frac{1}{2} m_P v_C^2$$

解得

$$v_1 = 2\sqrt{3gR}$$

对 P 滑块从 D 到 C 根据动能定理

$$-2\mu_2 m_P g R = 0 - \frac{1}{2} m_P v_2^2$$

解得

$$v_2 = \sqrt{3gR}$$

根据动量守恒和机械能守恒可知

$$m_p v_1 = -m_p v_2 + m_Q v_3$$

$$\frac{1}{2} m_p v_1^2 = \frac{1}{2} m_p v_2^2 + \frac{1}{2} m_Q v_3^2$$

解得

$$v_2 = \frac{m_Q - m_p}{m_p + m_Q} v_1$$

解得

$$m_Q = 3m$$

(4) 由 (2) 可得, Q 碰后速度

$$v_3 = \sqrt{3gR}$$

进入长木板上表面, 先判断长木板是否移动, Q 对长木板摩擦力向左

$$f_2 = \mu_3 m_Q g = 1.2mg$$

地面对长木板最大静摩擦力

$$f_{地M} = \mu_4 (m_Q + m_{木}) g = 1.8mg$$

故长木板先不动, Q 做匀减速运动, 可得

$$-\mu_2 m_Q g L_3 = \frac{1}{2} m_Q v_4^2 - \frac{1}{2} m_Q v_3^2$$

解得

$$v_4 = \sqrt{1.8gR}$$

Q 以速度 v_4 与长木板弹性碰撞, 可得

$$m_Q v_4 = m_Q v_5 + m_{木} v_6$$

$$\frac{1}{2} m_Q v_4^2 = \frac{1}{2} m_Q v_5^2 + \frac{1}{2} m_{木} v_6^2$$

可得碰后 Q 的速度大小

$$v_5 = -\frac{1}{3} v_4$$

长木板的速度大小为

$$v_6 = \frac{2}{3} v_4$$

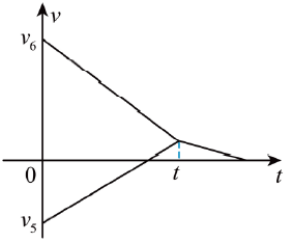
Q 向右减速

$$a_2 = \mu_3 g = 0.4g$$

长木板向左减速

$$a_3 = \frac{\mu_3 m_Q g + \mu_4 (m_Q + m_{\text{木}}) g}{m_{\text{木}}} = 0.5g$$

Q 向右做减速运动直至速度减为零后再向左做加速运动直到两者共速，再一起减速，做出 $v-t$ 图像如图



可得

$$v = -\frac{v_4}{3} + a_2 t = \frac{2v_4}{3} - a_3 t$$

相对位移

$$\Delta x = \frac{1}{2} \left(\frac{v_4}{3} + \frac{2v_4}{3} \right) t$$

可得

$$\Delta x = R < 1.5R$$

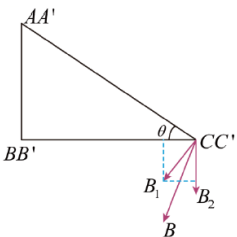
则滑块未滑离木板，滑块 Q 与木板间因摩擦产生的热量为

$$Q_{\text{热}} = \mu_3 m_Q g (\Delta x + 1.5R) = 3mgR$$

19. (11分) (1) (2分) $\left(\frac{I_1 L_2}{L_1^2} + \frac{I_2}{L_2} \right) kS$; (2) (2分) $\frac{3nB_0 S}{2R}$; (3) (3分)

$$i = \begin{cases} \frac{4nB_0 S}{RT} \left(0 < t, \frac{1}{4} T \right) \\ \frac{2nB_0 S}{RT} \left(\frac{1}{4} < t, \frac{1}{2} T \right) \\ -\frac{2nB_0 S}{RT} \left(\frac{1}{2} T < t, \frac{3}{4} T \right) \\ -\frac{4nB_0 S}{RT} \left(\frac{3}{4} T < t, T \right) \end{cases}, \quad I_{\text{有效}} = \frac{\sqrt{10} n B_0 S}{RT}; \quad (4) (4分) \quad x = \frac{R_0 I}{K' L^4} \quad Q_U = \frac{3I_0^2}{128m}$$

【详解】(1) 根据安培定则可知， AA' 和 BB' 上通电导线在线圈处产生的磁感应强度方向如图所示：



由题可得两通电导线在线圈处产生的磁感应强度大小为

$$B_1 = k \frac{I_1}{L_1}, \quad B_2 = k \frac{I_2}{L_2}$$

则线圈处磁感应强度垂直与线圈平面的分量大小为

$$B_y = B_1 \cos \theta + B_2$$

$$\cos \theta = \frac{L_2}{L_1}$$

线圈中的磁通量

$$\Phi = B_y S$$

解得

$$\Phi = \left(\frac{I_1 L_2}{L_1} + \frac{I_2}{L_2} \right) k S$$

(2) 由图乙可知, 0 到 $\frac{1}{2}T$ 时间内穿过线圈的磁通量的变化量为

$$\Delta \Phi = (B_0 + 0.5B_0)S = 1.5B_0S$$

流过线圈导线横截面的电荷量

$$q = \bar{I} \cdot t = \frac{n \cdot \Delta \Phi}{R} = \frac{3nB_0S}{2R}$$

(3) 当 $0 \leq t < \frac{T}{4}$ 时, 线圈中的磁感应强度均匀变化, 则感应电流的大小不变, 为

$$I_1 = n \frac{\Delta \Phi_1}{R \cdot \Delta t_1} = \frac{nB_0S}{R \cdot \frac{T}{4}} = \frac{4nB_0S}{RT}$$

由楞次定律可知, 线圈中感应电流方向为逆时针, 即此过程电流为正;

同理可得, 当 $\frac{T}{4} < t < \frac{T}{2}$ 时, 线圈中的感应电流大小为

$$I_2 = n \frac{\Delta \Phi_2}{R \cdot \Delta t_2} = \frac{n \cdot 0.5B_0S}{R \cdot \frac{T}{4}} = \frac{2nB_0S}{RT}$$

线圈中感应电流方向为逆时针, 即此过程电流为正;

当 $\frac{T}{2} < t < \frac{3T}{4}$ 时, 线圈中的感应电流大小为

$$I_3 = n \frac{\Delta \Phi_3}{R \cdot \Delta t_3} = \frac{n \cdot 0.5B_0S}{R \cdot \frac{T}{4}} = \frac{2nB_0S}{RT}$$

线圈中感应电流方向为顺时针, 即此过程电流为负;

当 $\frac{3T}{4} < t < T$ 时, 线圈中的感应电流大小为

$$I_4 = n \frac{\Delta\Phi_4}{R \cdot \Delta t_4} = \frac{n \cdot B_0 S}{R \cdot \frac{T}{4}} = \frac{4nB_0 S}{RT}$$

线圈中感应电流方向为顺时针，即此过程电流为负。

综上可得，线圈中的电流瞬时表达式为

$$i = \begin{cases} \frac{4nB_0 S}{RT} \left(0 \leq t < \frac{1}{4}T \right) \\ \frac{2nB_0 S}{RT} \left(\frac{1}{4} < t < \frac{1}{2}T \right) \\ -\frac{2nB_0 S}{RT} \left(\frac{1}{2}T < t < \frac{3}{4}T \right) \\ -\frac{4nB_0 S}{RT} \left(\frac{3}{4}T < t < T \right) \end{cases} \quad \square$$

由交变电流有效值的定义可得

$$I_{\text{有效}}^2 RT = I_1^2 R \cdot \frac{T}{4} + I_2^2 R \cdot \frac{T}{4} + I_3^2 R \cdot \frac{T}{4} + I_4^2 R \cdot \frac{T}{4}$$

解得

$$I_{\text{有效}} = \frac{\sqrt{10}nB_0 S}{RT}$$

$$(4) \quad x = \frac{R_0 I}{K' L^4} \quad Q_U = \frac{3I_0^2}{128m}$$

20. (11分) (1) (2分) R ; (2) (2分) $\frac{\sqrt{37}mv}{2t_0}$; (3) (3分) $2\sqrt{2}R$; (4) (4分)

$$\frac{3mv}{5eR} \quad \frac{(3+2\sqrt{2})mv}{6eR}$$

【详解】(1) 根据题意，电子做类平抛运动，有

$$x_{\min} = vt$$

$$R = \frac{1}{2} \frac{Ee}{m} t^2$$

解得

$$x_{\min} = R$$

(2) 电子打在荧光屏上时竖直方向的速度为

$$v_y = \frac{Ee}{m} t = 2v$$

当电子与荧光屏碰撞过程有

$$25\% \cdot \frac{1}{2} m(v^2 + v_y^2) = \frac{1}{2} m(v_{x1}^2 + v_{y1}^2)$$

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v} = \frac{v_{y1}}{v_{x1}}$$

解得

$$v_{y1} = v, \quad v_{x1} = \frac{v}{2}$$

根据动量定理，有

$$-F_x t_0 = mv_{x1} - mv$$

$$-F_y t_0 = -mv_{y1} - mv_y$$

所以

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \frac{\sqrt{37}mv}{2t_0}$$

(3) 电子从 $y = 2R$ 沿 x 轴正方向射出，有

$$x_0 = vt_1$$

$$2R = \frac{1}{2} \frac{Ee}{m} t_1^2$$

解得

$$x_0 = \sqrt{2}R$$

第一次碰撞后电子的速度为

$$v_{y1} = \frac{1}{2} v_y = v = gt_2, \quad v_{x1} = \frac{1}{2} v_x = \frac{1}{2} v$$

第一次碰撞后电子的水平位移为

$$x_1 = 2 \times \frac{1}{4} x_0 = \frac{1}{2} x_0$$

第二次碰撞后电子的水平位移为

$$x_2 = 2 \times \frac{1}{4} x_1 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 x_0$$

第 n 次碰撞后电子的水平位移为

$$x_n = 2 \times \frac{1}{4} x_{n-1} = \left(\frac{1}{2}\right)^n x_0$$

所以

$$x_{\max} = x_0 + x_1 + \dots + x_n = \frac{\sqrt{2}R}{1 - \frac{1}{2}} = 2\sqrt{2}R$$

(4) 根据洛伦兹力提供向心力有

$$evB = m \frac{v^2}{r}$$

由于每次碰撞过程动能变为原来的四分之一，所以速度大小应变为原来的二分之一，即

$$r_n = \frac{1}{2} r_{n-1}$$

电子与荧光屏第一次碰撞时速度方向与荧光屏的夹角为 θ ，则

$$r_{\min}(1 + \cos \theta) = 2R$$

$$r_{\min} \sin \theta = \frac{1}{2} r_{\min}(1 - \sin \theta)$$

联立解得

$$r_{\min} = \frac{6R}{3 + 2\sqrt{2}}, \quad B_{\max} = \frac{(3 + 2\sqrt{2})mv}{6eR}$$

根据几何关系

$$x_1 = r \sin \theta$$

$$x_n = 2 \cdot \frac{1}{2} x_{n-1}$$

所以

$$x = x_1 + x_2 + \dots + x_n = r \sin \theta + 2 \cdot \frac{\frac{1}{2} r \sin \theta}{1 - \frac{1}{2}} = 3r \sin \theta, \quad 5R$$

所以

$$r_{\max} = \frac{5R}{3}, \quad B_{\min} = \frac{3mv}{5eR}$$

所以 B 的取值范围为

$$\frac{3mv}{5eR} \leq B \leq \frac{(3 + 2\sqrt{2})mv}{6eR}$$