

物理试卷

注意事项：

1.答卷前，考生务必将自己的姓名、准考证号填写在答题卡上，并将条形码粘贴在答题卡指定位置。

2.回答选择题时，选出每小题答案后，用铅笔把答题卡上对应题目的答案标号涂黑.如需改动，用橡皮擦干净后，再选涂其他答案标号.回答非选择题时，将答案写在答题卡上，写在本试卷上无效。

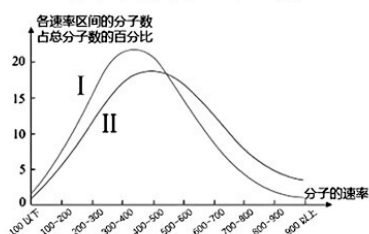
3.考试结束后，将本试卷和答题卡一并交回。

一、选择题：本题共 10 小题，共 46 分。在每小题给出的四个选项中，第 1~7 题只有一项符合题目要求，每小题 4 分；第 8~10 题有多项符合题目要求，每小题 6 分，全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

1. 在纪念中国人民抗日战争暨世界反法西斯战争胜利 80 周年大会上，接受检阅的导弹车匀速驶过天安门前。在描述此宏伟场景时，下列叙述正确的是

- A. 以天安门为参考系，导弹车是静止的
- B. 测算导弹车经过标兵的时间时，可将车视为质点
- C. 导弹车与承载的导弹之间没有相互作用力
- D. 导弹车所受合外力的功率时刻为零

2. 对下列各图的理解，正确的是



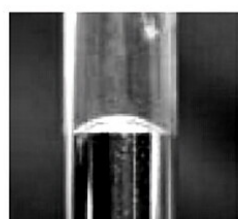
甲



乙



丙

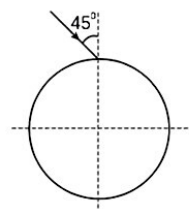


丁

- A. 图甲是同一部分气体在不同温度下的图线，可知温度 $t_I > t_{II}$
- B. 图乙冰箱的工作原理表明热量可以自发地从低温物体传到高温物体
- C. 图丙方解石的双折射现象体现了其光学性质的各向异性
- D. 图丁玻璃管中的水银液面呈凸形，表明水银能浸润玻璃

3. 如图所示，折射率为 $\sqrt{2}$ 的玻璃圆柱轴线水平，平行于其横截面的一束光线从顶点入射，光线与竖直方向的夹角为 45° 。不考虑光线在圆柱内的反射，则出射光线与入射光线的夹角为

- A. 0°
- B. 15°
- C. 30°
- D. 45°



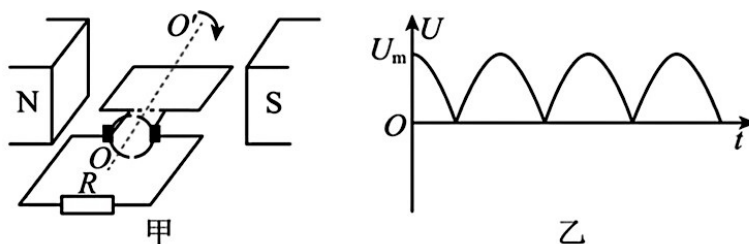
4. 如图所示，水平放置的木板上放有匀质光滑球，球用细绳拴在木板右端。现将木板以左端为轴，抬起右端缓慢转至竖直状态，在转动过程中绳与木板之间的夹角保持不变，则

- A. 木板对球的支持力先增大后减小
- B. 木板对球的支持力先减小后增大
- C. 细绳对球的拉力先减小后增大
- D. 细绳对球的拉力先增大后减小

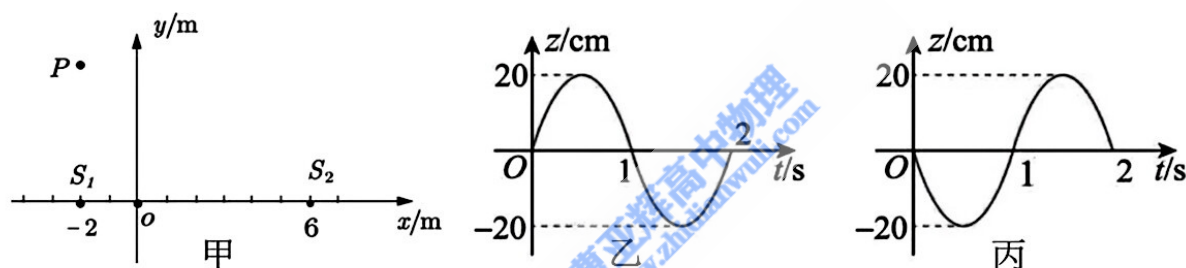


5. 某发电机原理如图甲所示，金属线框匝数为 N ，阻值为 R ，在匀强磁场中绕与磁场垂直的 OO' 轴匀速转动。阻值为 R 的电阻两端的电压如图乙所示，其周期为 T 。则线框转动一周的过程中

- A. 线框内电流方向不变
- B. 线框电动势的最大值为 U_m
- C. 流过电阻的电荷量为 $\frac{2TU_m}{\pi R}$
- D. 流过电阻的电荷量为 $\frac{4TU_m}{\pi R}$



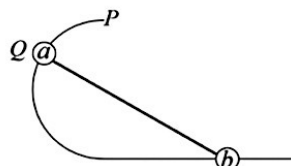
6. 如图甲所示，在三维直角坐标系 $O-xyz$ 的 xOy 平面内，两波源 S_1 、 S_2 分别位于 $(-2m, 0, 0)$ ， $(6m, 0, 0)$ 处，且垂直于 xOy 平面振动，振动图像分别如图乙、丙所示。 xOy 平面内有均匀分布的同种介质，波在介质中波速为 $v=2m/s$ 。 P 点的坐标为 $(-2m, 6m, 0)$ ，则



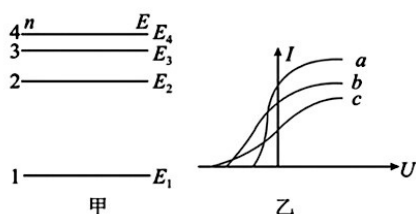
- A. $(1m, 0, 0)$ 处质点开始振动方向沿 z 轴负方向
- B. 两列波叠加区域内， $(1m, 0, 0)$ 处质点振幅为 $40cm$
- C. 若从两列波在 P 点相遇开始计时，则 P 处质点的振动方程为 $z=0.4\sin(\pi t+\pi)$ m
- D. 两列波叠加区域内，公众号悦爱学堂 P 处质点的振幅为 $40cm$

7. 如图所示的竖直面内，半径为 $1m$ 的光滑半圆轨道在最低点与水平光滑轨道相切，小球 a 和 b 分别套在圆轨道和水平轨道上，中间用长度为 $3m$ 的轻杆连接。初始时保持 a 球位于半圆轨道最高点 P ，现给 a 球一个向左的微小扰动，它下落了 $0.5m$ 时到达了轨道上的 Q 点。在 a 球从 P 点运动到的 Q 点的过程中，下列说法正确的是

- A. a 球、 b 球组成的系统动能先增大后减小
- B. 轻杆对 a 球始终不做功
- C. 轻杆对 b 球先做正功后做负功
- D. 当 a 球的机械能最小时， b 球对轨道的压力大于 b 球的重力

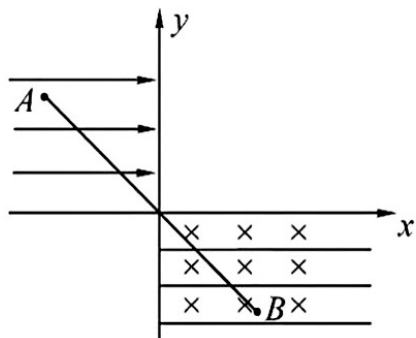


8. 氢原子的部分能级图如图甲所示，大量处于 $n=3$ 能级的氢原子向低能级跃迁，能辐射出多种频率的光，这些光照射到同种材料后发生光电效应，产生的光电流与电压关系如图乙所示。下列说法正确的是



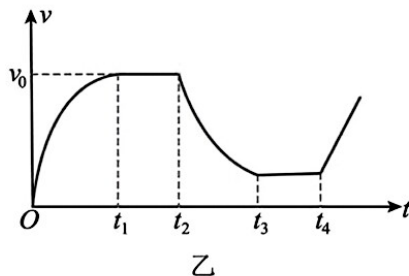
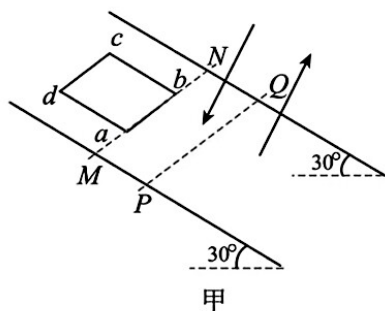
- A. 由于跃迁时辐射的光子能量不连续，因此氢原子光谱是线状谱
 B. 氢原子从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级，核外电子动能增大
 C. a 、 b 、 c 三种光子的波长关系满足 $\frac{1}{\lambda_a} = \frac{1}{\lambda_b} + \frac{1}{\lambda_c}$
 D. 图线 c 的光对应从 $n=3$ 能级向 $n=2$ 能级的跃迁

9. 如图所示，在竖直平面内建立平面直角坐标系 xoy ，其中 x 轴沿水平方向。在第二象限存在大小为 E 、沿 x 轴正方向的匀强电场，在第四象限存在平行于 x 轴的匀强电场（图中未画方向）和垂直于纸面向内的匀强磁场，一个带电小球沿着第二、第四象限的对角线，从图中 A 点运动到 B 点的过程中，下列说法正确的是



- A. 小球带负电
 B. 小球一直做匀加速运动
 C. 第四象限内的匀强电场大小为 E ，方向沿 x 轴负方向
 D. 小球受到的洛伦兹力是其重力的 $\sqrt{2}$ 倍

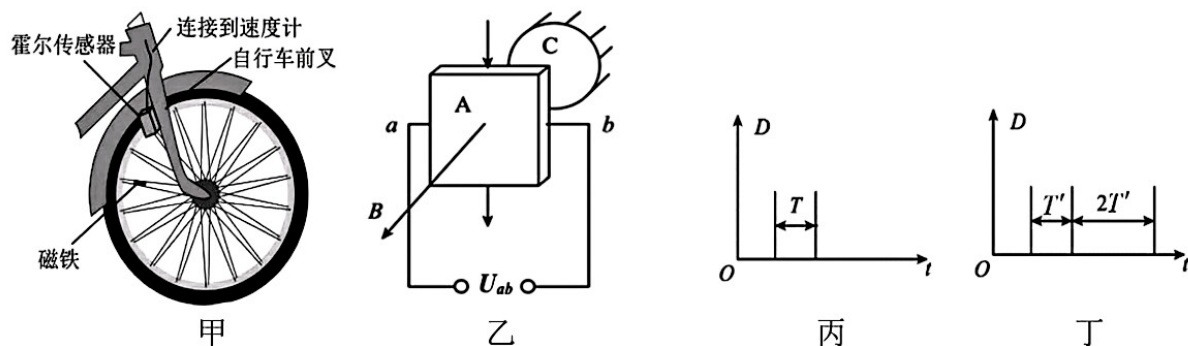
10. 如图甲所示，光滑且足够长的固定斜面与水平面的夹角为 30° ，斜面上两平行水平虚线 MN 和 PQ 之间有垂直于斜面向下的匀强磁场； PQ 以下区域有垂直于斜面向上的匀强磁场， PQ 两侧匀强磁场的磁感应强度大小相等。正方形导线框 $abcd$ 四条边的阻值相等， $t=0$ 时刻将处于斜面上的导线框由静止释放，开始释放时 ab 边恰好与虚线 MN 重合，之后导线框的运动方向始终垂直于两虚线，其运动的 $v-t$ 图像如图乙所示， $t_1 \sim t_2$ 时间内导线框的速度大小为 v_0 ，重力加速度为 g ，下列说法正确的是



- A. 线框宽度 ad 小于第一个磁场宽度 MP
 B. $t_3 \sim t_4$ 时间内，导线框的速度大小为 $\frac{v_0}{4}$
 C. $t_3 \sim t_4$ 时间内，导线框 b 、 d 两点间的电势差为 0
 D. $t_2 \sim t_3$ 时间内，导线框的位移大小为 $\frac{v_0}{4}(t_3 - t_2) + \frac{3v_0^2}{8g}$

二、非选择题：本题共 5 小题，共 54 分。

11. (6 分) 图甲中磁铁安装在自行车的前轮辐条上，车轮半径为 R 。磁铁每次经过固定在前叉上的霍尔传感器，传感器就将此很短时间内产生的一个电压信号输出到速度计上。



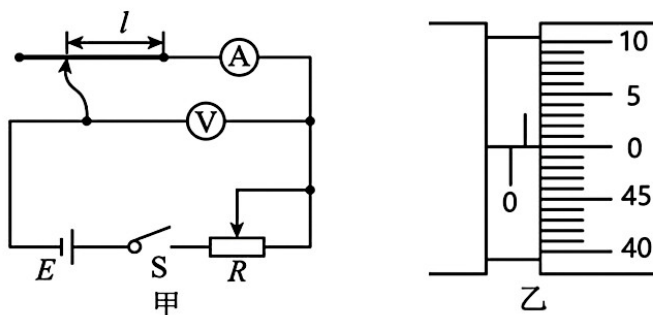
(1) 载流子（即霍尔元件中的自由电荷）为电子的霍尔传感器简化的工作原理如图乙，电流从上往下通过霍尔元件 A 。则在图乙状态时

- A. 磁铁 C 的 N 极靠近元件且 $U_{ab} > 0$
- B. 磁铁 C 的 S 极靠近元件且 $U_{ab} > 0$
- C. 磁铁 C 的 N 极靠近元件且 $U_{ab} < 0$
- D. 磁铁 C 的 S 极靠近元件且 $U_{ab} < 0$

(2) 自行车匀速运动时，某段时间内测得电压信号强度 D 随时间 t 的变化如图丙所示，两信号间的时间间隔为 T ，则自行车速度的大小 $v =$ _____；

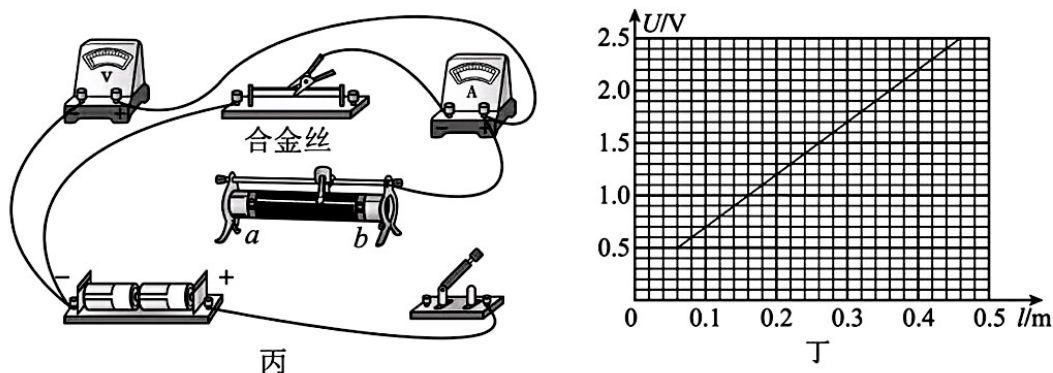
(3) 自行车匀变速直线运动时，某段时间内测得电压信号强度 D 随时间 t 的变化如图丁所示，两信号间的时间间隔分别为 T' 、 $2T'$ ，则自行车加速度的大小 $a =$ _____。

12. (8 分) 图甲是测量某合金丝电阻率的原理图。



(1) 用螺旋测微器测量合金丝的直径如图乙，其读数 $d =$ _____ mm。多次测量后，得到直径的平均值恰好与 d 相等；

(2) 图丙中滑动变阻器上少了一根连线，请用笔画线代替导线在图中将电路连接完整，使得滑片向左移动时滑动变阻器接入电路的阻值变大；



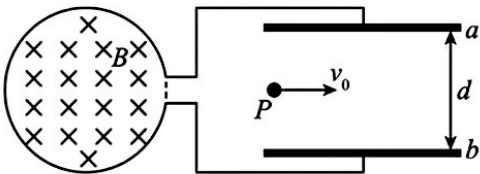
(3) 多次改变合金丝接入电路的长度 l ，调节滑动变阻器 R 的阻值，使电流表示数都为 0.20A 时记录电压表相应示数 U ，作出 $U-l$ 图像如图丁。由此可算出该合金丝的电阻率为_____ $\Omega \cdot \text{m}$ (结果保留 3 位有效数字)；考虑到电流表不是理想表，这一因素是否会导致在上述电阻率的测量中产生系统误差?_____ (填“是”或“否”)。

13. (10 分) 如图，在竖直平面内有匝数为 N ，半径为 R 的圆形线圈，线圈内有水平方向的匀强磁场，磁感应强度 B 随时间 t 均匀减小，其变化率的绝对值为 k 。线圈的右端通过导线连接水平放置的、正对的平行金属板 a 、 b ，两板间距为 d 。一个质量为 m 、电荷量大小为 q 的带电小球 P 从左侧两板中央以初速度 v_0 水平向右射入， P 恰好沿直线飞出金属板，在此过程中磁感应强度始终未减小到零，已知重力加速度为 g ，忽略变化的磁场对带电小球的影响，忽略金属板的边缘效应。

(1) 判断 P 的电性 (无需写判断过程)；

(2) 求 k 值；

(3) 若磁感应强度 B 随时间 t 的变化率的绝对值变为 $\frac{k}{3}$ ，则小球 P 恰好能从 b 板的右侧边缘飞出，求金属板的长度 L 。



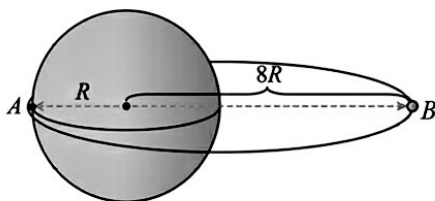
14. (12 分) 如图，某同学研究卫星先环绕地球运动，之后再变轨的过程。设卫星质量为 m ，先在近地圆轨道上绕地球运行。已知地球质量为 M ，引力常量为 G ，地球半径为 R 。

(1) 公众号悦爱学堂求卫星变轨前的运行速率 v_0 ；

(2) 研究变轨时，在地表附近的 A 点短暂启动发动机，使卫星进入椭圆轨道，该轨道的远地点 B 距地心为 $8R$ 。已知卫星的引力势能可表示为 $E_p = -\frac{GMm}{r}$ (r 为卫星到地心的距离，设无限远处引力势能为零)

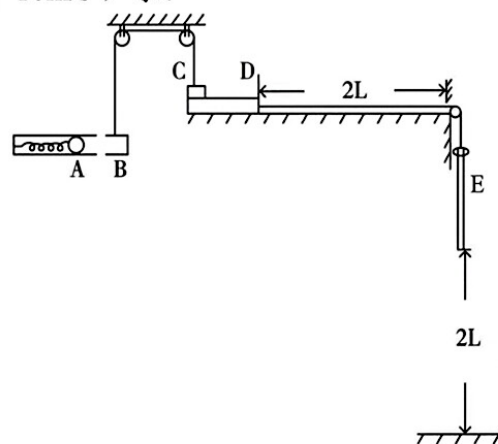
a. 求变轨前卫星的机械能 E_A ；

b. 结合开普勒第二定律，求短暂启动过程中发动机对卫星做的功 W ；



15. (18分) 某兴趣小组设计的连锁机械游戏装置如图所示。左侧有一固定水平弹射管道，在靠近管口等高处放置一质量为 m ($m=0.5\text{kg}$) 的“”形小盒 B (可视为质点)，小盒 B 与大小可忽略、质量为 $3m$ 的小物块 C 用跨过光滑定滑轮的轻绳相连，左侧滑轮 (忽略滑轮直径) 与小盒 B 之间的绳长为 $L=0.8\text{m}$ ；小物块 C 压在质量为 m 的木板 D 左端，木板 D 上表面光滑，下表面与水平桌面间动摩擦因数 $\mu=0.5$ (最大静摩擦力等于滑动摩擦力)，木板 D 右端到桌子右边缘固定挡板的距离为 $2L$ ；质量为 m 且粗细均匀的细杆用跨过桌子右边缘的光滑定滑轮的轻绳与木板 D 相连，木板 D 与定滑轮间轻绳水平，细杆下端到地面的距离也为 $2L$ ；质量为 $0.25m$ 的圆环 (可视为质点) 套在细杆 E 上端，环与杆之间滑动摩擦力和最大静摩擦力相等，大小为 $0.5mg$ 。开始时所有装置均静止，现将一质量为 m 的小球 A (可视为质点) 由弹射管道以 $v_0=4\text{m/s}$ 的速度水平弹出，之后小球 A 立即进入小盒 B ，且进入后立即被卡住 (作用时间很短可不计)。木板 D 与挡板相撞、细杆与地面相撞均以原速率反弹。不计空气阻力，重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$ ，求：

- (1) 小球进入小盒后的瞬间小物块 C 对木板 D 的压力 N ；
- (2) 木板 D 与挡板碰后，第一次向左运动的最大位移 x_1 ；
- (3) 为使圆环最终不滑离细杆，细杆的最小长度 $x_{\min}$ 。



物理试卷

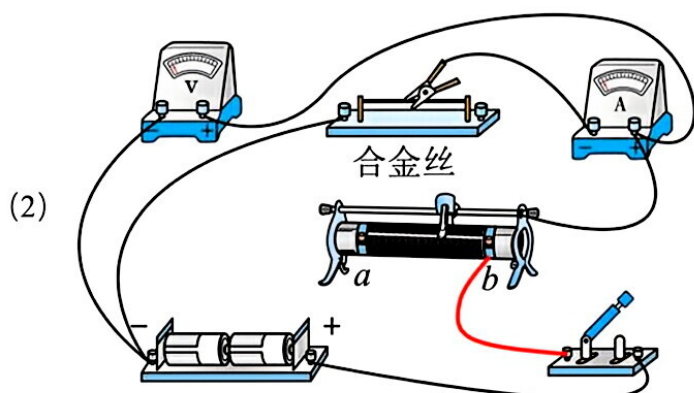
一、选择题（共 46 分；其中单选每题 4 分，共 28 分；多选每题 6 分，共 18 分，选对但不全给 3 分，只要选错就给零分）

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
答案	D	C	C	A	D	B	C	AB	CD	BCD

二、实验题（共 14 分）

11、C ; $\frac{2\pi R}{T}$; $\frac{2\pi R}{3T'^2}$ （共 6 分，每空 2 分）

12、(1)1.000



(3) 1.96×10^{-5} 否

（共 8 分，每空 2 分，连线题 2 分）

三、计算题（共 40 分）

13、(10 分)

(1) 负电荷----- (1 分)

(2) 其中 a、b 两板间电势差 $U_{ab} = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = N \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot S = Nk \cdot \pi R^2$ ----- (1 分)

P 所受重力和电场力为一对平衡力，有 $F_{\text{电}} = mg$ ----- (1 分)

$F_{\text{电}} = qE$ ----- (1 分)

$E = \frac{U_{ab}}{d}$ ----- (1 分)

$$\text{解得 } k = \frac{mgd}{Nq\pi R^2} \text{----- (1 分)}$$

(3) 磁感应强度 B 随时间 t 的变化率变为原来的三分之一，则 P 受到的电场力也为原来的三分之一，设 P

在竖直方向的加速度为 a ，有： $mg - \frac{1}{3}mg = ma$ ----- (1 分)

$$\text{可得 } a = \frac{2}{3}g$$

将 P 在电场中的运动分解为水平、竖直两个方向，

$$\text{水平方向有 } L = v_0 t \text{----- (1 分)}$$

$$\text{竖直方向有 } \frac{d}{2} = \frac{1}{2}at^2 \text{----- (1 分)}$$

$$\text{联立可得 } L = \sqrt{\frac{3d}{2g}} \cdot v_0 \text{----- (1 分)}$$

14 . (12 分)

(1) 卫星变轨前在近地轨道上环绕地球做匀速圆周运动，公众号悦爱学堂根据万有引力提供向心力得

$$G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v_0^2}{R} \text{----- (1 分)}$$

$$\text{解得 } v_0 = \sqrt{\frac{GM}{R}} \text{----- (1 分)}$$

$$(2) \text{ a. 变轨前卫星的动能为 } E_{kA} = \frac{1}{2}mv_0^2 \text{----- (1 分)}$$

$$\text{变轨前卫星的引力势能为 } E_{pA} = -\frac{GMm}{R} \text{----- (1 分)}$$

$$\text{变轨前卫星的机械能为 } E_A = E_{kA} + E_{pA} \text{----- (1 分)}$$

$$\text{解得 } E_A = -\frac{GMm}{2R} \text{----- (1 分)}$$

b. 变轨后卫星在椭圆轨道上运动，设其在 A 、 B 点的速度大小分别为 v_A 、 v_B 。变轨后卫星从 A 到 B 的过程，根据机械能守恒定律有

$$\frac{1}{2}mv_A^2 + \left(-\frac{GMm}{R}\right) = \frac{1}{2}mv_B^2 + \left(-\frac{GMm}{8R}\right) \text{----- (2 分)}$$

根据开普勒第二定律，取极短时间 Δt ，有：

$$\frac{v_A \Delta t \times R}{2} = \frac{v_B \Delta t \times 8R}{2} \text{----- (2 分)}$$

$$\text{联立解得 } v_A^2 = \frac{16GM}{9R}$$

变轨的瞬间卫星的引力势能不变，根据功能关系，点火过程中发动机对卫星做的功为

$$W = \frac{1}{2}mv_A^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 \text{----- (1 分)}$$

解得 $W = \frac{7GMm}{18R}$ ----- (1 分)

15、(18 分)

(1) 由 AB 系统动量守恒, 有: $mv_0 = 2mv$ ----- (1 分)

得 $v = 2\text{m/s}$

对 AB 整体, 由牛顿第二定律有: $F - 2mg = 2m\frac{v^2}{L}$ ----- (1 分)

得 $F = 3mg$

对 C, 由平衡有: $F + N' = 3mg$ ----- (1 分)

得 $N' = 0$

由牛顿第三定律: $N = N'$ ----- (1 分)

得 $N = 0$ ----- (1 分)

(2) 小球被盒卡住后, 木板、圆环和细杆一起运动

对板: $T_1 - \mu mg = ma_1$ ----- (1 分)

对杆和细环整体: $(m + 0.25m)g - T_1' = (m + 0.25m)a_1$ ----- (1 分)

且 $T_1' = T_1$

【以上三个方程如果按等效整体法书写正确, 一并给 2 分, 如错误给零分】

得 $a_1 = \frac{1}{3}g$

由运动学规律: $v_1^2 = 2a_1 \times 2L$ ----- (1 分)

第一次撞地后, 细杆与环发生相对滑动

对板: $\mu mg + T_2 = ma_2$ ----- (1 分)

对杆: $0.5mg + mg - T_2' = ma_2$ ----- (1 分)

且 $T_2' = T_2$

【以上三个方程如果按等效整体法书写正确, 一并给 2 分, 如错误给零分】

得 $a_2 = g$

木板向左的最大位移 $x_1 = \frac{v_1^2}{2a_2}$ ----- (1 分)

得 $x_1 = \frac{2}{3}L$

即 $x_1 = \frac{8}{15}\text{m}$ ----- (1 分)

(3) 第一次撞地后, 对圆环: $0.5mg - 0.25mg = 0.25ma_3$ ----- (1 分)

得 $a_3=g$,

板向左匀减, 环向下匀减, 两者加速度大小相等,

所以同时速度减为零, 之后两者再一起加速运动至第二次撞地

第一次撞地后直至速度减为零的过程, 圆环向下的位移 $x_1' = \frac{v_1^2}{2a_3}$ ----- (1 分)

$$\text{得 } x_1' = \frac{2L}{3}$$

第一次撞地后直至速度减为零的过程, 圆环与细杆最大相对位移

$$\Delta x = x_1 + x_1' \text{----- (1 分)}$$

$$\text{即 } \Delta x_1 = 2 \times \frac{2L}{3}$$

同理, 第二次撞地后, 圆环与细杆最大相对位移 $\Delta x_2 = 2 \times \frac{2L}{3^2}$

第 n 次撞地后, 圆环与细杆最大相对位移 $\Delta x_n = 2 \times \frac{2L}{3^n}$ ----- (1 分)

则细杆的长度至少为 $x_{\min} = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \cdots + \Delta x_n$ ----- (1 分)

$$x_{\min} = 2 \times 2L \times \left[\frac{1}{3} + \frac{1}{3^2} + \cdots + \frac{1}{3^n} \right] = 2 \times 2L \times \frac{\frac{1}{3}}{1 - \frac{1}{3}}$$

$$x_{\min} = 2L$$

$$\text{即 } x_{\min} = 1.6\text{m} \text{----- (1 分)}$$

【说明：1、15 题牛顿第三定律只给一次采分；2、上述三道计算题中，如有不同但正确的解答，等价给分。】

物理试卷

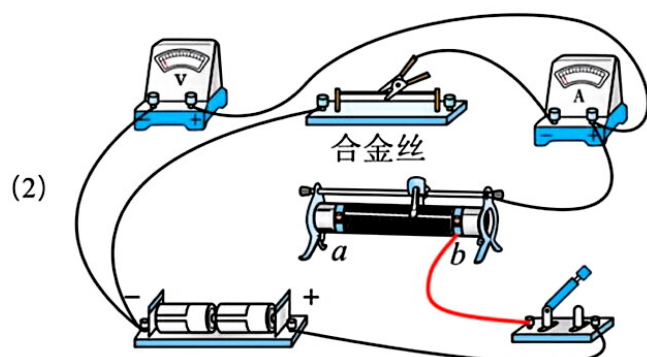
一、选择题（共 46 分；其中单选每题 4 分，共 28 分；多选每题 6 分，共 18 分，选对但不全给 3 分，只要选错就给零分）

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
答案	D	C	C	A	D	B	C	AB	CD	BCD

二、实验题（共 14 分）

11、C ; $\frac{2\pi R}{T}$; $\frac{2\pi R}{3T'^2}$ （共 6 分，每空 2 分）

12、(1)1.000



(3) 1.96×10^{-5} 否

（共 8 分，每空 2 分，连线题 2 分）

三、计算题（共 40 分）

13、(10 分)

(1) 负电荷----- (1 分)

(2) 其中 a、b 两板间电势差 $U_{ab} = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = N \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot S = Nk \cdot \pi R^2$ ----- (1 分)

P 所受重力和电场力为一对平衡力，有 $F_{\text{电}} = mg$ ----- (1 分)

$F_{\text{电}} = qE$ ----- (1 分)

$E = \frac{U_{ab}}{d}$ ----- (1 分)

$$\text{解得 } k = \frac{mgd}{Nq\pi R^2} \text{----- (1 分)}$$

(3) 磁感应强度 B 随时间 t 的变化率变为原来的三分之一, 则 P 受到的电场力也为原来的三分之一, 设 P

在竖直方向的加速度为 a, 有: $mg - \frac{1}{3}mg = ma$ ----- (1 分)

$$\text{可得 } a = \frac{2}{3}g$$

将 P 在电场中的运动分解为水平、竖直两个方向,

$$\text{水平方向有 } L = v_0 t \text{----- (1 分)}$$

$$\text{竖直方向有 } \frac{d}{2} = \frac{1}{2}at^2 \text{----- (1 分)}$$

$$\text{联立可得 } L = \sqrt{\frac{3d}{2g}} \cdot v_0 \text{----- (1 分)}$$

14 . (12 分)

(1) 卫星变轨前在近地轨道上环绕地球做匀速圆周运动, 根据万有引力提供向心力得

$$G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v_0^2}{R} \text{----- (1 分)}$$

$$\text{解得 } v_0 = \sqrt{\frac{GM}{R}} \text{----- (1 分)}$$

$$(2) \text{ a. 变轨前卫星的动能为 } E_{kA} = \frac{1}{2}mv_0^2 \text{----- (1 分)}$$

$$\text{变轨前卫星的引力势能为 } E_{pA} = -\frac{GMm}{R} \text{----- (1 分)}$$

$$\text{变轨前卫星的机械能为 } E_A = E_{kA} + E_{pA} \text{----- (1 分)}$$

$$\text{解得 } E_A = -\frac{GMm}{2R} \text{----- (1 分)}$$

b. 变轨后卫星在椭圆轨道上运动, 设其在 A、B 点的速度大小分别为 v_A 、 v_B 。变轨后卫星从 A 到 B 的过程, 根据机械能守恒定律有

$$\frac{1}{2}mv_A^2 + \left(-\frac{GMm}{R}\right) = \frac{1}{2}mv_B^2 + \left(-\frac{GMm}{8R}\right) \text{----- (2 分)}$$

根据开普勒第二定律, 取极短时间 Δt , 有:

$$\frac{v_A \Delta t \times R}{2} = \frac{v_B \Delta t \times 8R}{2} \text{----- (2 分)}$$

$$\text{联立解得 } v_A^2 = \frac{16GM}{9R}$$

变轨的瞬间卫星的引力势能不变, 根据功能关系, 点火过程中发动机对卫星做的功为

$$W = \frac{1}{2}mv_A^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 \text{----- (1 分)}$$

解得 $W = \frac{7GMm}{18R}$ ----- (1 分)

15、(18 分)

(1) 由 AB 系统动量守恒, 有: $mv_0 = 2mv$ ----- (1 分)

得 $v = 2\text{m/s}$

对 AB 整体, 由牛顿第二定律有: $F - 2mg = 2m\frac{v^2}{L}$ ----- (1 分)

得 $F = 3mg$

对 C, 由平衡有: $F + N' = 3mg$ ----- (1 分)

得 $N' = 0$

由牛顿第三定律: $N = N'$ ----- (1 分)

得 $N = 0$ ----- (1 分)

(2) 小球被盒卡住后, 木板、圆环和细杆一起运动

对板: $T_1 - \mu mg = ma_1$ ----- (1 分)

对杆和细环整体: $(m + 0.25m)g - T_1' = (m + 0.25m)a_1$ ----- (1 分)

且 $T_1' = T_1$

【以上三个方程如果按等效整体法书写正确, 一并给 2 分, 如错误给零分】

得 $a_1 = \frac{1}{3}g$

由运动学规律: $v_1^2 = 2a_1 \times 2L$ ----- (1 分)

第一次撞地后, 细杆与环发生相对滑动

对板: $\mu mg + T_2 = ma_2$ ----- (1 分)

对杆: $0.5mg + mg - T_2' = ma_2$ ----- (1 分)

且 $T_2' = T_2$

【以上三个方程如果按等效整体法书写正确, 一并给 2 分, 如错误给零分】

得 $a_2 = g$

木板向左的最大位移 $x_1 = \frac{v_1^2}{2a_2}$ ----- (1 分)

得 $x_1 = \frac{2}{3}L$

即 $x_1 = \frac{8}{15}m$ ----- (1 分)

(3) 第一次撞地后, 对圆环: $0.5mg - 0.25mg = 0.25ma_3$ ----- (1 分)

得 $a_3=g$,

板向左匀减, 环向下匀减, 两者加速度大小相等,

所以同时速度减为零, 之后两者再一起加速运动至第二次撞地

第一次撞地后直至速度减为零的过程, 圆环向下的位移 $x_1' = \frac{v_1^2}{2a_3}$ ----- (1 分)

$$\text{得 } x_1' = \frac{2L}{3}$$

第一次撞地后直至速度减为零的过程, 圆环与细杆最大相对位移

$$\Delta x = x_1 + x_1' \text{----- (1 分)}$$

$$\text{即 } \Delta x_1 = 2 \times \frac{2L}{3}$$

同理, 第二次撞地后, 圆环与细杆最大相对位移 $\Delta x_2 = 2 \times \frac{2L}{3^2}$

第 n 次撞地后, 圆环与细杆最大相对位移 $\Delta x_n = 2 \times \frac{2L}{3^n}$ ----- (1 分)

则细杆的长度至少为 $x_{\min} = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \cdots + \Delta x_n$ ----- (1 分)

$$x_{\min} = 2 \times 2L \times \left[\frac{1}{3} + \frac{1}{3^2} + \cdots + \frac{1}{3^n} \right] = 2 \times 2L \times \frac{\frac{1}{3}}{1 - \frac{1}{3}}$$

$$x_{\min} = 2L$$

$$\text{即 } x_{\min} = 1.6\text{m} \text{----- (1 分)}$$

【说明：1、15 题牛顿第三定律只给一次采分；2、上述三道计算题中，如有不同但正确的解答，等价给分。】