

2025 学年第二学期杭州市高三年级教学质量检测

物理试题卷

本试题卷分选择题和非选择题两部分，共8页，满分100分，考试时间90分钟。

考生注意：

1. 答题前，请务必将自己的姓名、准考证号用黑色字迹的签字笔或钢笔填写在答题纸规定的位置上。
2. 答题时，请按照答题纸上“注意事项”的要求，在答题纸相应的位置上规范作答，在本试题卷上的作答一律无效。
3. 非选择题的答案必须使用黑色字迹的签字笔或钢笔写在答题纸上相应区域内，作图时可先使用2B铅笔，确定后必须使用黑色字迹的签字笔或钢笔描黑。
4. 可能用到的相关参数：重力加速度 g 取 10m/s^2 。

选择题部分

一、选择题I（本题共10小题，每小题3分，共30分。每小题列出的四个备选项中只有一个是符合题目要求的，不选、多选、错选均不得分）

1. 下列物理量属于矢量且单位正确的是

- A. 力 $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ B. 功 W C. 电场强度 N/C D. 电流 A

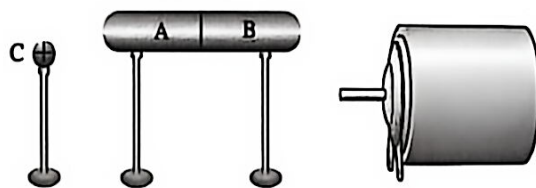
2. 如图为“正义使命-2025”军事演习中导弹发射的情景，则

- A. 研究导弹的飞行轨迹时可将导弹视为质点
B. 飞行的导弹只受重力作用
C. 导弹斜向上加速时处于失重状态
D. 导弹的运动一定是匀变速曲线运动



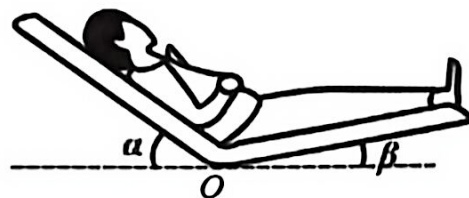
第2题图

3. 如图所示，在带正电的带电体C附近，将带绝缘底座的导体A、B相碰一下后分开，然后分别接触小电动机的两个接线柱，电动机会开始转动。在电动机转动还未停下时，重复上述操作，电动机便能持续转动。关于以上现象，下列说法正确的是



第3题图

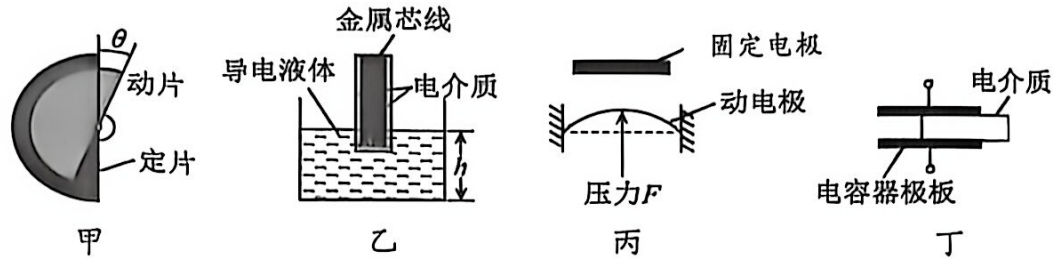
- A. 电动机能够转动是因为A、B带同种电荷
B. 第一次将A、B相碰后分开，A带负电、B带正电
C. 以上操作将导致带电体C的电荷量逐渐减少
D. 小电动机不停转动成为永动机，违背能量守恒定律
4. 某躺椅的简化结构如图所示，左、右两个板面与水平方向的夹角分别为 α 和 β ，人静躺在躺椅上，此时重心恰在支撑点O的正上方。人的质量为 m ，重力加速度为 g ，左、右两个板面对人的支持力分别为 F_{N1} 、 F_{N2} （两板交接处对人体无作用），不计摩擦，下列分析正确的是



第4题图

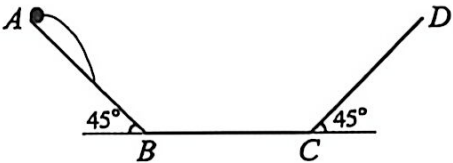
- A. F_{N1} 与 F_{N2} 的合力一定大于 mg
B. F_{N1} 与 F_{N2} 的大小之和一定大于 mg
C. 若 $\alpha > \beta$ ，则一定有 $F_{N1} > F_{N2}$
D. 此时躺椅对地面的压力大小等于 mg

5. 如图是四个电容式传感器的示意图，关于这四个传感器，下列说法正确的是



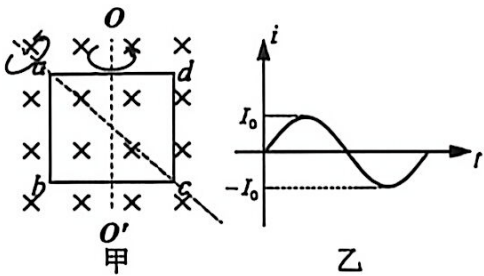
第 5 题图

- A. 图甲中电容 C 与动片转出的角度 θ 成正比
 - B. 图乙中导电液体液面上升时，电容 C 减小
 - C. 图丙中压力 F 增大时，电容 C 增大
 - D. 图丁中电介质右移时，电容 C 增大
6. 某碗状容器的截面如图所示，三边 AB 、 BC 、 CD 长度相等，碗底 BC 水平，侧边与底边的夹角均为 45° 。小球从 A 点水平向右抛出后落在侧边 AB 上，若仅增大初速度后再次将小球抛出并落在碗上。关于第二次抛出的小球，下列说法错误的是

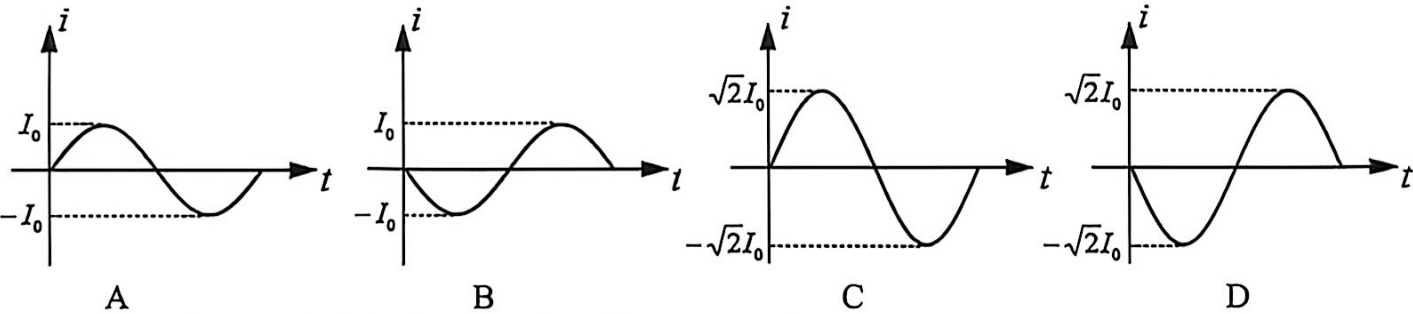


第 6 题图

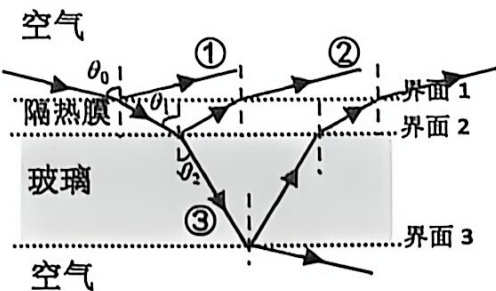
- (不考虑小球反弹，不计空气阻力)
- A. 飞行时间可能与第一次相同
 - B. 动能增量可能比第一次小
 - C. 速度方向可能与第一次相同
 - D. 可能垂直打在侧边 CD 上
7. 为了研究交流电的产生，小明同学进行了如下实验：第一次将矩形线圈放在匀强磁场中，线圈绕转轴 OO' 按图示方向匀速转动 (ab 向纸外、 cd 向纸内)，并从图甲所示位置开始计时，产生的电流图像如图乙所示。第二次仅将转轴改为对角线 ac 以相同的转速匀速转动 (b 向纸外、 d 向纸内) (仍从图甲所示位置开始计时)，则第二次的电流图像是



第 7 题图



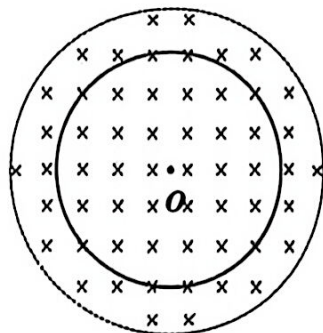
8. 一束单色光射向汽车玻璃时的光路图如图所示，各界面可视为相互平行的平面， θ_0 和 θ_1 分别是界面 1 和界面 2 上的入射角，界面 2 上的反射光线与折射光线相互垂直。已知玻璃对该光的折射率 $n_2=1.6$ ， $\theta_1=53^\circ$ ， $\sin 53^\circ=0.8$ ， $\cos 53^\circ=0.6$ ，则下列说法正确的是



第 8 题图

- A. 出射光线①、②不平行
- B. 增大入射角 θ_0 ，光线③可能在界面 3 发生全反射
- C. 该光在隔热膜中传播速度小于在玻璃中的速度
- D. 汽车隔热膜对该光的折射率 $n_1=1.2$

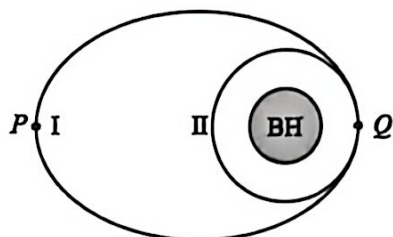
9. 如图所示, 以 O 为圆心的闭合导体圆环置于光滑绝缘水平桌面上, 在水平桌面内以 O 为圆心、半径大于圆环半径的区域, 存在一方向竖直向下的匀强磁场, 磁感应强度大小按 $B=B_0-kt$ 规律均匀减小 (B_0 、 k 均已知), 圆环半径为 r , 电阻为 R , 则



第 9 题图

- A. 图中圆环内电流沿逆时针方向
B. 圆环中感生电场场强大小为 $\frac{k}{2}R$
C. 圆环的发热功率为 $\frac{k^2\pi^2r^4}{2R}$
D. $t=\frac{B_0}{2k}$ 时圆环中的张力大小为 $\frac{\pi k B_0 r^3}{2R}$

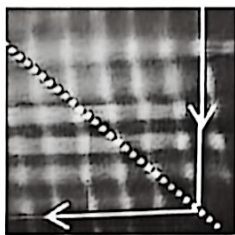
10. 2025 年 9 月, 科学家们的最新研究探讨了向距离地球最近的黑洞发射探测器的可能性。下图为探测器绕黑洞 (BH) 的运动示意图, 椭圆轨道 I 与圆轨道 II 相切于 Q 点。已知探测器质量为 m , 黑洞质量为 M , 半径为 R , 轨道 I 上离黑洞中心最远的 P 点到黑洞中心的距离为 $8R$, 圆轨道 II 的半径为 $2R$ 。若规定无穷远处引力势能为零, 探测器的引力势能 $E_p = -\frac{GMm}{r}$ (r 为探测器到黑洞中心的距离), 探测器在椭圆轨道的总机械能 $E = -\frac{GMm}{2a}$



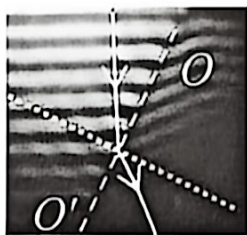
第 10 题图

(a 为椭圆轨道半长轴)。则探测器

- A. 在轨道 I、II 上运动的周期之比为 $2\sqrt{2}:5\sqrt{5}$
B. 在轨道 I、II 上 Q 点的加速度大小之比为 $2\sqrt{2}:5\sqrt{5}$
C. 经过轨道 I、II 上 Q 点的速度大小之比为 $2\sqrt{2}:\sqrt{5}$
D. 在轨道 I 上经过 P 、 Q 点的速度大小之比为 $\sqrt{5}:2\sqrt{2}$
- 二、选择题 II (本题共 3 小题, 每小题 4 分, 共 12 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 4 分, 选对但不全的得 2 分, 有选错的得 0 分)
11. 振动发生器在发波水槽中振动时能够产生水波。下列四幅图是演示水波的传播过程时观察到的现象, 下列说法正确的是



甲



乙



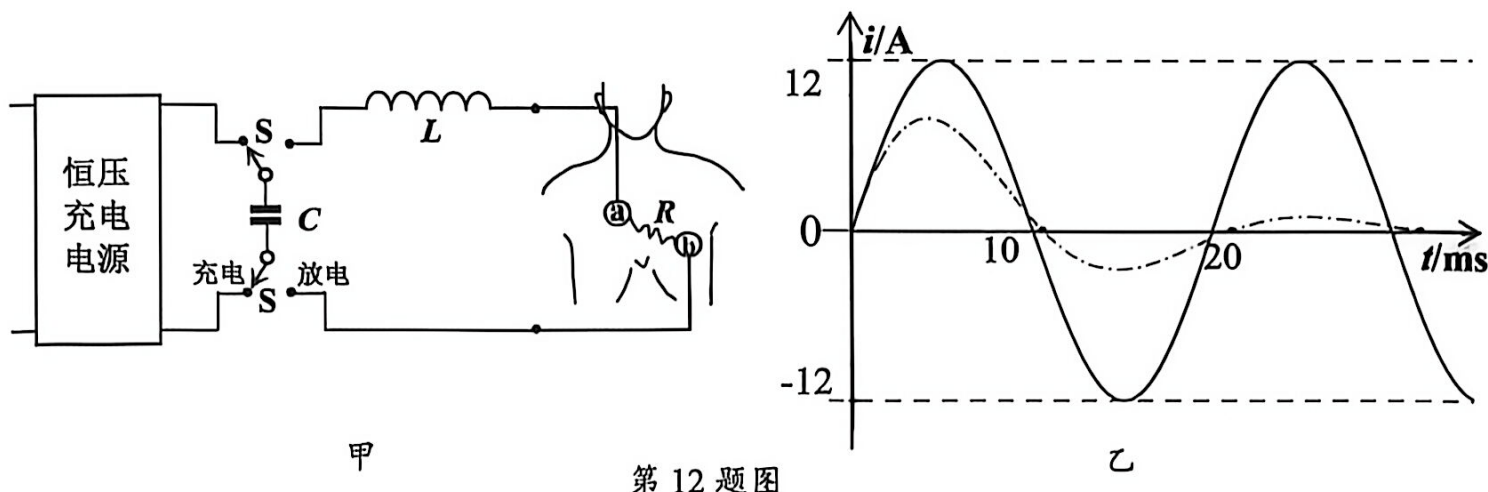
丙



丁

第 11 题图

- A. 图甲演示的是波的折射现象
B. 图乙所示现象产生的原因可能是界面 OO' 两侧水的深度不同
C. 仅增大振动发生器的振动频率可使图丙中的现象更加明显
D. 要观察到图丁所示稳定图样, 两针状振动发生器的振动频率应相同
12. 双相波除颤技术能够实现心脏节律重置, 其简化工作电路如图甲, 工作时先通过恒压充电电源对电容器充电, 再通过 CLR 电路放电实行除颤。小明按图甲电路进行模拟实验, 在电极片 a 、 b 之间接入电阻 R 为 0Ω 、 20Ω 时, 测得放电电流分别如图乙中的实线和虚线所示, 已知电容 $C=100\mu\text{F}$, 电感 $L=100\text{mH}$, 不计电感与电容的漏磁、发热等损耗, 下列说法正确的有
- A. 互换两个电极片 a 、 b 在人体的位置, 除颤仪仍可以正常工作
B. 虚线振荡电流振幅衰减的主要原因是能量以电磁波的形式发射出去了
C. 保持电容 C 和电感 L 不变, 电阻 R 从 0Ω 增大到 20Ω 的过程中振荡电流周期会增大
D. 电容 C 充电完毕后, 开关 S 接通放电电路瞬间电容器两端的电压约为 1200V



第 12 题图

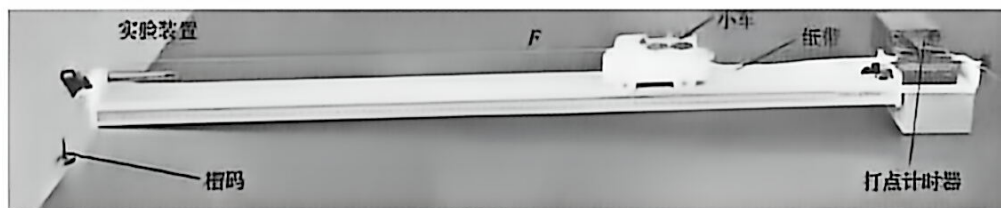
13. 普朗克为了解释黑体辐射现象，第一次提出了能量量子化理论。在任意给定温度 T （热力学温度）下，辐射强度的极大值对应的波长 $\lambda_{\max}$ 满足 $\lambda_{\max} T = b$ （ b 为常量）；黑体单位面积上的热辐射功率 $P = \sigma T^4$ （ σ 为常量）。假定地球、太阳与人体均可视为黑体，当地球接收到的太阳热辐射功率与自身热辐射功率相等时达到热平衡状态。已知：日地距离约为太阳半径的 200 倍，人体温度约为 37°C ， $\lambda_{\max}^{(\text{人体})} = \lambda_1 = 9.3 \times 10^{-6} \text{m}$ ， $\lambda_{\max}^{(\text{太阳})} = \lambda_2 = 5.0 \times 10^{-7} \text{m}$ ，下列说法正确的是
- A. 黑体辐射实验规律表明，随着温度的升高，短波区辐射强度增加，长波区辐射强度减少
 - B. 根据题中所给信息可知太阳表面的温度约为 5500°C
 - C. 地球表面热力学温度 T_E 约为太阳表面热力学温度 T_S 的 $\frac{1}{20}$
 - D. 地球表面热力学温度 T_E 约为太阳表面热力学温度 T_S 的 $\frac{\sqrt{2}}{20}$

非选择题部分

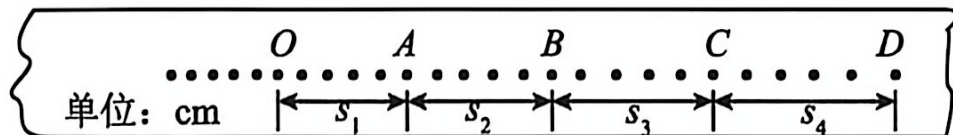
三、非选择题（本题共 5 小题，共 58 分）

14. 实验题（I、II、III 三题共 14 分）

14-I.（6 分）小明同学利用如图甲所示的实验装置“探究加速度与力、质量的关系”。



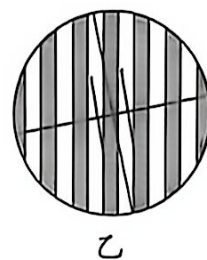
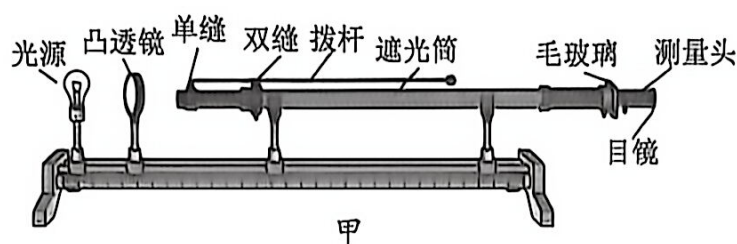
第 14-I 题 图甲



第 14-I 题 图乙

- (1) 本实验采用的实验方法是 ▲ ；
- A. 理想模型法 B. 等效替代法 C. 控制变量法
- (2) 安装好器材后，将小车放在长木板上，不挂槽码，把木板不带滑轮的一端慢慢垫高，直至轻推小车后纸带上打出的点迹分布均匀，该操作的目的是 ▲ ；
- (3) 图乙为打点计时器打出的部分纸带，电源的频率为 50Hz ，测得 $s_1 = 2.40\text{cm}$ ， $s_2 = 2.80\text{cm}$ ， $s_3 = 3.20\text{cm}$ ， $s_4 = 3.60\text{cm}$ ，小车的加速度大小 $a =$ ▲ m/s^2 （结果保留两位有效数字）；
- (4) 本实验方案主要的误差来源于：牵引小车的槽码也在做加速运动，致使小车所受的拉力 ▲ （选填“小于”或“大于”）槽码的重力。

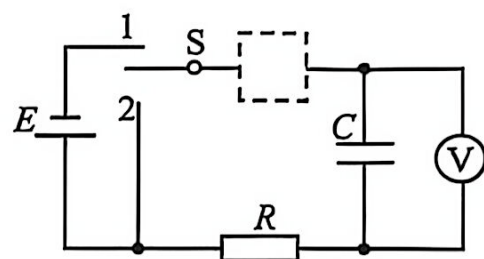
14-II. (2分) 用图甲装置做“用双缝干涉测量光的波长”实验，下列说法正确的有 ▲ (多选)。



第 14-II 题图

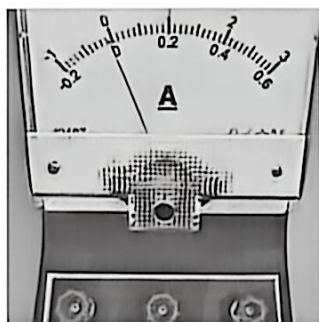
- A. 测量单色光波长时，滤光片应安装在单缝和双缝之间
- B. 用手拨动拨杆可使单缝与双缝平行，从而使干涉图样更清晰
- C. 旋转测量头可使图乙中分划板中心刻线与干涉条纹平行
- D. 换用间距更小的双缝可增加从目镜中观测到的条纹个数

14-III. (6分) 如图甲所示是某实验小组做“观察电容器充、放电现象”的实验电路，实验中采用的器材有：干电池组 ($E=3V$ ，内阻未知)、电容器 ($C=3300\mu F$)、电压表 (量程 $0\sim 3V$ ，内阻约 $10k\Omega$)、定值电阻 ($R=10k\Omega$)、秒表等。



第 14-III 题 图甲

(1) 图甲中虚线框内应选择下列器材中的 ▲；



量程：0~0.6A

A



量程：0~3mA

B



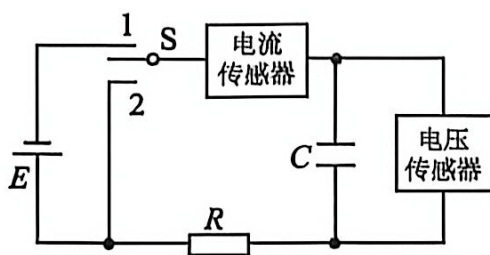
量程：-300 μA ~0~300 μA

C

(2) 按图甲电路进行实验，发现充电过程中电流表的示数始终不为零，其主要原因是 ▲：

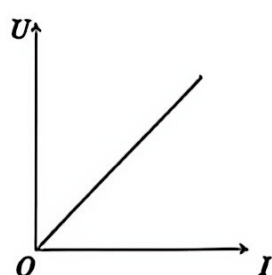
- A. 电源内阻不可忽略
- B. 电压表内阻并非无穷大
- C. 电流表内阻不可忽略

(3) 实验小组改用传感器 (可视为理想电表) 对该实验做进一步探究，电路如图乙所示：

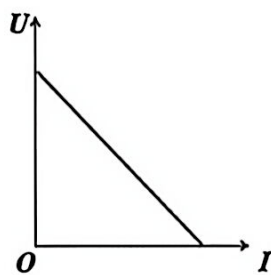


第 14-III 题 图乙

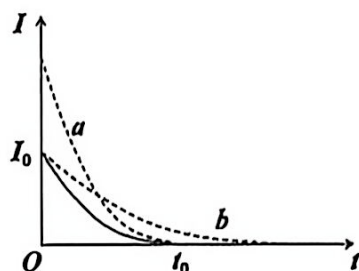
- ①采集传感器数据，用计算机绘制充、放电过程的 $U-I$ 图像，则充电过程的图像是 ▲，
放电过程的图像是 ▲（选填“A”或“B”）；



A



B

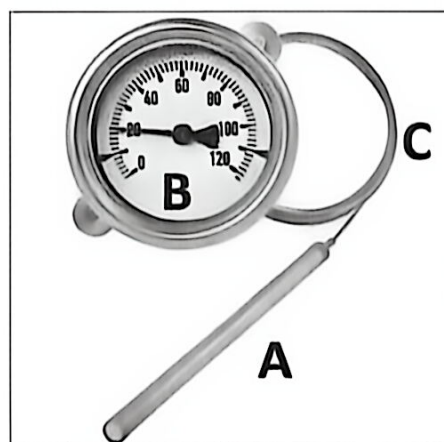


第 14-III 题 图丙

- ②用计算机绘制充电过程中的 $I-t$ 图像如图丙中实线所示，随后将两个相同规格的电容器并联后再次进行实验，则第二次实验充电过程中绘制出的 $I-t$ 图像应为虚线 ▲（选填“a”或“b”）。

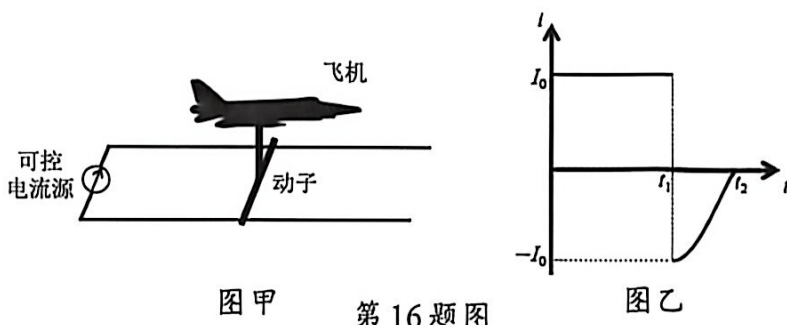
15. (8 分) 一种低温测量中常用的气体温度计如图所示。下端 A 是容积为 V_A 的测温泡，上端 B 是容积为 V_B 的压强计， $V_B=10V_A$ ，压强计 B 导热性能良好，其内部气体温度保持室温 T_1 不变。两者通过导热性能极差的毛细管 C 相连，毛细管容积可忽略不计。测量前，温度计内封闭着压强为 p_1 、温度为室温 T_1 的气体（状态 1），然后将测温泡 A 浸入温度为 T_2 的低温待测物质，A 内气体与待测物质达到热平衡过程中，原先状态 1 下的 B 内有 $0.02V_B$ 体积的气体进入测温泡 A，最后压强计 B 的读数为 p_2 （状态 2），已知 $p_1=1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ ， $T_1=300 \text{ K}$ ， $p_2=0.98 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，从状态 1 到状态 2 的过程中，整个温度计内封闭气体共向外界放出 1.72 J 热量（测温过程中，压强计和测温泡的容积保持不变）。

- (1) 与低温待测物质达到热平衡后，测温泡 A 内气体分子的平均速率 （选填“增大”或“减小”），气体分子的数密度 （选填“增大”或“减小”）；
- (2) 求状态 1 到状态 2 过程中，整个温度计内封闭气体总内能的变化（封闭气体总体积不变）；
- (3) 以状态 2 下 A 中的气体为研究对象，求低温待测物质的温度 T_2 。



第 15 题图

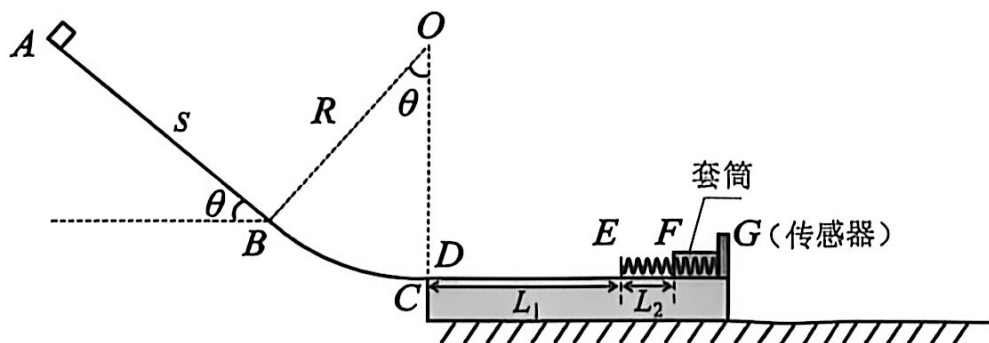
16. (11 分) 为模拟电磁弹射过程, 研究小组设计了如图甲所示的装置。无动力模型飞机起飞前通过绝缘构件与可视为导体杆的动子连接, 动子可在足够长的光滑水平平行导轨上滑动, 同时推动飞机向右加速运动, 整个装置处于竖直方向的匀强磁场中, 导轨左端接有可控电流源, 其输出电流如图乙所示, 图示箭头方向为电流的正方向, 图中 $t > t_1$ 时间内的电流 $i = -I_0 \cos \omega(t - t_1)$ (I_0 、 t_1 均已知)。 $t = 0$ 时刻启动电流源使飞机从静止开始加速, t_1 时刻飞机达到起飞速度并与动子分离, 在 $t_2 = t_1 + \frac{\pi}{2\omega}$ 时刻, 动子速度恰好减为 0, 电流源立即停止工作。已知导轨间距为 d , 磁感应强度大小为 B , 飞机的质量为 M , 动子的质量为 m 、电阻为 R , 不计其他电阻, 不计电流变化及空气阻力的影响。



图甲 第 16 题图

图乙

- (1) 判断磁场的方向, 并求飞机的起飞速度大小;
 - (2) 求 $0 \sim t_1$ 时间内电流源输出的能量;
 - (3) 若要求 $t_1 \sim t_2$ 时间内将动子的部分动能进行回收, 实现为可控电流源充电, 求动子的电阻 R 应满足的条件 (用题中所给物理量的符号表示, 其中圆频率 $\omega = \frac{M+m}{mt_1}$)。
17. (12 分) 某游戏装置的竖直截面如图所示, 由倾斜直轨道 AB 、圆弧轨道 BC 和置于光滑水平地面上的滑板组成。直轨道 AB 与半径为 R 、圆心角为 θ 的圆弧轨道 BC 平滑连接, 圆轨道末端 C 点与滑板上表面水平相切, 滑板右端套筒内安装有一原长等于 EG 的轻弹簧, G 处有传感器可记录弹簧弹力的最大值。现将一滑块在 A 点由静止释放, 若传感器示数不为零且滑块不会从滑板左侧滑出, 则判定游戏成功。已知 AB 长 $s = 2.25\text{m}$, $R = 2.25\text{m}$, $\theta = 37^\circ$, DE 段长度 $L_1 = 1.5\text{m}$, DE 段与滑块间的动摩擦因数 $\mu = 0.5$, 其余接触面均光滑, 弹簧劲度系数 $k = 37.5\text{N/m}$, 露在套筒外的长度 $L_2 = 0.4\text{m}$, 滑块质量 $m = 0.4\text{kg}$, 滑板 (含弹簧、套筒、传感器) 总质量 $M = 2\text{kg}$ 。弹簧弹性势能 $E_p = \frac{1}{2}kx^2$ (x 为形变量), $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$ 。

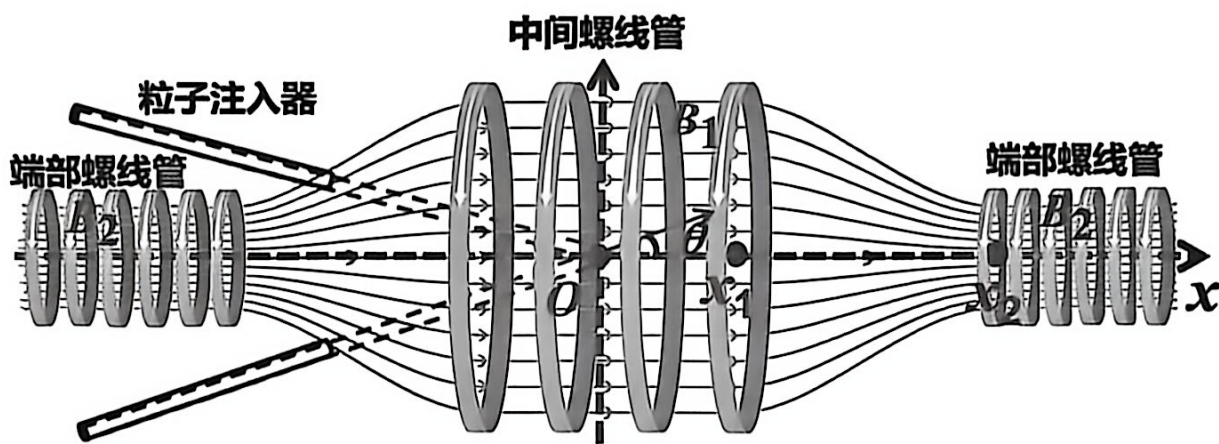


第 17 题图

- (1) 求滑块在 AB 段的运动时间;
- (2) 求滑块运动到圆弧轨道 C 点受到的支持力大小;
- (3) 求弹簧的最大压缩量 x_0 ;
- (4) 若滑块与套筒左端的碰撞为完全非弹性碰撞 (不粘连), 滑块质量 m 在一定范围内可调, 求游戏成功时 m 的取值范围。

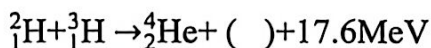
18. (13 分) 受控核聚变(托卡马克装置)中常用磁镜装置约束带电粒子,其简化模型如图所示。

以 x 轴为轴线对称分布着中间长直螺线管与端部长直螺线管,坐标原点 O 点为中间螺线管的几何中点。磁镜装置参数如下:中间和端部螺线管单位长度匝数分别为 n_1 、 n_2 ,分别通入恒定电流 I_1 、 I_2 ,螺线管内部产生沿 x 轴正方向的匀强磁场,磁感应强度分别为 B_1 、 B_2 。一束质量为 m 、电量为 q 的正离子从 O 点与 x 轴夹角为 θ 注入磁镜,离子在磁场中运动仅受洛伦兹力作用,不考虑相对论效应。已知: $m=6.4\times 10^{-27}\text{kg}$ 、 $q=3.2\times 10^{-19}\text{C}$ 、 $n_1=2\times 10^4$ 匝/米、 $n_2=1\times 10^5$ 匝/米、 $I_1=5\text{A}$ 、 $I_2=8\text{A}$,通以电流 I 的螺线管内部磁感应强度 $B=\mu_0 nI$ (真空磁导率 $\mu_0=4\pi\times 10^{-7}\text{T}\cdot\text{m/A}$, n 为单位长度匝数), $\sin 37^\circ=0.6$, $\cos 37^\circ=0.8$ 。



第 18 题图

(1) 氘-氘聚变是目前受控核聚变的主要研究方向,其核反应方程是:



请将方程补充完整,并求磁镜装置中 B_1 和 B_2 的大小 (取 $\pi=3$);

(2) 若入射速率 $v=5\times 10^6\text{m/s}$, $\theta=37^\circ$, 求离子在中间螺线管内运动过程中离 x 轴的最大距离以及第一次返回 x 轴时的“ x ”坐标 (取 $\pi=3$, 离子始终未离开中间螺线管);

(3) 在 x 轴 $x_1\sim x_2$ (x_1 和 x_2 未知) 间存在沿 x 轴正方向缓慢增强的线性梯度磁场,离子能被磁镜捕获的临界条件为:离子运动到端部磁场 x_2 处时沿 x 轴方向速度恰好减为零。已知:离子速度垂直于 x 轴的分量 $v_\perp$ 与所在区域磁感应强度 B 满足 $\frac{1}{2}mv_\perp^2 \propto B$ 。若离子以速度 v_0 从 $x=x_1$ 处注入且恰好满足捕获条件,

①求入射速度方向与 x 轴夹角的临界值 θ_0 (结果可用三角函数表示);

②若磁感应强度分布满足: $B(x)=B_1+k(x-x_1)$, $k>0$, 求离子从 x_1 处运动到 x_2 处所用的时间 t (用字母 v_0 、 θ_0 、 k 、 B_1 表示)。

2025 学年第二学期杭州市高三年级教学质量检测

物理试题卷 参考答案

一、选择题 I

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

二、选择题 II

11	12	13
BD	AC	BC

三、非选择题

14-I. (1) C (2 分) (2) 补偿阻力 (平衡阻力) (2 分)

(3) 0.40 (1 分) (4) 小于 (1 分)

14-II. BC (2 分)

14-III. (1) C (2 分) (2) B (1 分)

(3) ① B (1 分) A (1 分) ② b (1 分)

15. (8 分)

(1) “减小” -----1 分

“增大” -----1 分

(2) 气体体积不变, 不对外做功: $W=0$ J -----1 分

热力学第一定律: $\Delta U=Q+W$ -----2 分

得出: $\Delta U=-1.72$ J -----1 分

(3) $\frac{p_1(0.02V_B+V_A)}{T_1}=\frac{p_2V_A}{T_2}$ -----1 分

解得: $T_2=245K$ -----1 分

16. (11 分)

(1) 竖直向下 -----2 分

动子受到的安培力 $F=BI_0d$ -----1 分

系统的加速度 $a=\frac{F}{M+m}$ -----1 分

(或用动量定理: $BI_0dt_1=(M+m)v$, 给 2 分)

起飞速度 $v=at_1=\frac{BI_0dt_1}{M+m}$ -----1 分

(2) 焦耳热 $Q=I_0^2Rt_1$ -----1 分

飞机和动子的动能 $E_k=\frac{1}{2}(M+m)v^2$ -----1 分

电流源输出的能量 $E_1=Q+E_k=I_0^2Rt_1+\frac{B^2I_0^2d^2t_1^2}{2(M+m)}$ -----1 分

(3) $t_1<t<t_2$ 时间内回收能量要求 $E_2=\frac{1}{2}mv^2-I_{\text{有}}^2R(t_2-t_1)>0$ -----1 分

交流电有效值 $I_{\text{有}}=\frac{\sqrt{2}I_0}{2}$ -----1 分

整理得 $R<\frac{2B^2d^2t_1}{\pi(M+m)}$ -----1 分

17. (12 分)

(1) $A \rightarrow B$ 过程: $mg \sin \theta = ma$ -----1 分

$$s = \frac{1}{2} a t_1^2 \quad \text{-----1 分}$$

求得 $t_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{s}$ -----1 分

(2) $A \rightarrow C$ 过程: $mg \sin \theta + mgR(1 - \cos \theta) = \frac{1}{2} m v_C^2 - \frac{1}{2} m v_A^2$

求得 $v_C = 6 \text{m/s}$ -----1 分

滑块在 C 点受力满足: $F_C - mg = \frac{m v_C^2}{R}$ -----1 分

圆弧轨道 C 点对滑块的支持力 $F_C = 10.4 \text{N}$ -----1 分

(3) 弹簧压缩量最大时, 滑块与滑板共速, 由系统水平方向动量守恒有: $m v_C = (M + m) v_{\text{共}}$

可得 $v_{\text{共}} = 1 \text{m/s}$ -----1 分

设弹簧最大压缩量为 x_0 , 由功能关系可得: $\frac{1}{2} m v_C^2 = \frac{1}{2} (M + m) v_{\text{共}}^2 + \mu m g L_1 + \frac{1}{2} k x_0^2$ -----1 分

求得 $x_0 = 0.4 \text{m}$ -----1 分

(4) 此时仍然有 $v_C = 6 \text{m/s}$

若滑块碰到套筒且最终未能从板的左侧滑出, 则从滑块与套筒完成碰撞到滑块再次相对滑板静止为止, 由动量守恒可知初末状态系统总动能相同, 弹性势能恰好全部转化为滑块弹回过程中的摩擦热, 须满足

$$\mu m g L_1 \geq \frac{1}{2} k L_2^2$$

求得 $m \geq 0.4 \text{kg}$ -----1 分

若滑块未碰到套筒, 由于弹簧最大压缩量变小, 滑块与板第一次共速时的弹性势能小于 $\frac{1}{2} k L_2^2$, 可知滑块返回时与板之间的相对滑行距离一定小于 L_1 , 滑块一定不会从板左侧滑出, 仅需满足滑块能碰到弹簧即可, 即

$$m v_C = (M + m) v_{\text{共}}$$

$$\frac{1}{2} m v_C^2 > \frac{1}{2} (M + m) v_{\text{共}}^2 + \mu m g L_1$$

求得 $m < 2.8 \text{kg}$ -----1 分

综上所述, 可得满足游戏成功条件的滑块质量范围 $0.4 \text{kg} \leq m < 2.8 \text{kg}$ -----1 分

18. (13 分)

(1) $\frac{1}{2}n$ -----2 分

中间磁场 $B_1 = \mu_0 n_1 I_1 = 0.12\text{T}$ -----1 分

端部磁场 $B_2 = \mu_0 n_2 I_2 = 0.96\text{T}$ -----1 分

(2) 速度分解: 横向速度垂直磁场, 纵向速度平行磁场

$$v_{\perp} = v \sin\theta = 3 \times 10^6 \text{m/s}$$

$$v_{\parallel} = v \cos\theta = 4 \times 10^6 \text{m/s}$$

回旋轨道半径: 洛伦兹力提供向心力: $qv_{\perp} B_1 = m \frac{v_{\perp}^2}{r}$ -----1 分

$$\text{得: } r = \frac{mv_{\perp}}{qB_1} = 0.5\text{m}$$

离 x 轴最远: $L = 2r = 1\text{m}$ -----1 分

$$\text{回旋周期: } T = \frac{2\pi m}{qB_1} = \frac{2\pi \times 6.4 \times 10^{-27}}{3.2 \times 10^{-19} \times 0.04\pi} = 1 \times 10^{-6} \text{s}$$

第一次回到 x 轴的坐标: $x_0 = v_{\parallel} T = 4 \times 10^6 \times 1 \times 10^{-6} = 4\text{m}$ -----1 分

(3) ①

洛伦兹力不做功, 离子总动能恒定 -----1 分

$$x_1 \text{ 处: } v_{\perp 1} = v_0 \sin\theta_0 \quad \frac{1}{2}mv_{\perp 1}^2 = k_0 B_1$$

$$x_2 \text{ 处: } v_{\perp 2} = v_0 \quad \frac{1}{2}mv_{\perp 2}^2 = k_0 B_2$$

$$\text{得: } \frac{\frac{1}{2}m(v_0 \sin\theta_0)^2}{\frac{1}{2}mv_0^2} = \frac{B_1}{B_2} \quad \text{-----1 分}$$

$$\text{化简得: } \sin\theta_0 = \sqrt{\frac{B_1}{B_2}} = \sqrt{\frac{0.04\pi}{0.32\pi}} = \frac{\sqrt{2}}{4} \quad \text{-----1 分}$$

②

洛伦兹力不做功, 离子总动能守恒 $E_k = E_{k\parallel} + E_{k\perp}$, 故 $\Delta E_{k\parallel} = -\Delta E_{k\perp}$

由 $E_{k\perp} = k_0 B$ 、 $B = B_1 + kx$, 得 $\Delta E_{k\perp} = k_0 \Delta B = k_0 k \Delta x$, 即 $\Delta E_{k\parallel} = -k_0 k \Delta x$

由功能关系 $\Delta E_{k\parallel} = F_{\parallel} \Delta x$, 得轴向合力 $F_{\parallel} = -k_0 k$ (大小恒定、方向与轴向运动相反)

故离子沿 x 轴做匀减速直线运动 -----1 分

(能说出是匀减速运动得 1 分)

$$\text{有: } E_{k\perp 1} = \frac{1}{2}mv_0^2 \sin^2\theta_0$$

$$\text{由: } E_{k\perp 1} = k_0 B_1 \quad \text{得: } k_0 = \frac{mv_0^2 \sin^2\theta_0}{2B_1}$$

$$\text{将 } k_0 = \frac{mv_0^2 \sin^2\theta_0}{2B_1} \quad \text{代入 } a = \frac{|F_{\parallel}|}{m} = \frac{k_0 k}{m}, \text{ 得:}$$

$$a = \frac{kv_0^2 \sin^2\theta_0}{2B_1} \quad \text{-----1 分}$$

$$\text{由 } v_{\parallel} = v_{\parallel 0} - at \quad \text{得: } t = \frac{2B_1 \cos\theta_0}{kv_0 \sin^2\theta_0} \quad \text{-----1 分}$$