

物理试卷

本试卷共6页,共15题。全卷满分100分,考试时间75分钟。

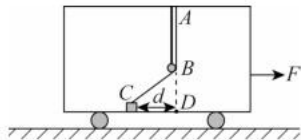
注意事项:

1. 答题前,先将自己的姓名、准考证号、考场号、座位号填写在试卷和答题卡上,并将准考证号条形码粘贴在答题卡上的指定位置。
2. 选择题的作答:每小题选出答案后,用2B铅笔把答题卡上对应题目的答案标号涂黑。写在试卷、草稿纸和答题卡上的非答题区域均无效。
3. 非选择题的作答:用黑色签字笔直接答在答题卡上对应的答题区域内。写在试卷、草稿纸和答题卡的非答题区域均无效。在列式计算、逻辑推理以及回答问题过程中,须给出必要的图示、文字说明、公式、演算等。
4. 考试结束后,请将本试卷和答题卡一并上交。

第I卷 选择题

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. 我国“九章三号”量子计算机成功模拟了氢原子在激光照射时的能级跃迁。实验中,科研人员先将一群处于基态 $n=1$ 的氢原子置于真空靶室,用频率为 ν_1 的激光照射时,氢原子吸收光子后只跃迁到 $n=2$ 的激发态。现将频率调整为 $\nu_1/4$,继续照射相同的氢原子群体,可能出现的观测结果是
 - A. 氢原子跃迁到 $n=4$ 的激发态, $\nu_1/4$ 的能量恰好匹配 $n=1$ 到 $n=4$ 的能级差
 - B. 仍有部分氢原子跃迁到 $n=2$ 的激发态,跃迁与入射光子频率无关
 - C. 没有氢原子发生跃迁,屏幕上没有显示出氢原子的特征谱线
 - D. 大量氢原子发生电离,能够捕捉到自由电子信号
2. 如图,在光滑的水平地面上,一辆小车在水平恒力 F 作用下向右运动。小车内部固定有垂直顶部的带光滑定滑轮的轻杆, ABC 为弹性轻绳,其一端固定在顶部,另一端与在光滑底板上的物块相连。物块的质量为 m ,车和滑轮的总质量为 M ,物块与车保持相对静止。 B 点紧挨滑轮, AB 为弹性轻绳的原长, BC 的长度为 x ,物块与 B 点正下方 D 点的距离为 d ,弹性轻绳的劲度系数为 k ,则 F 的大小为



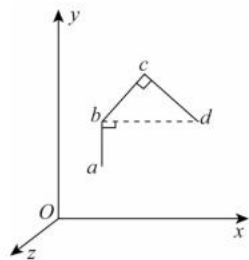
A. $\frac{kx}{m}(M+m)$

B. $\frac{kd}{m}(M+m)$

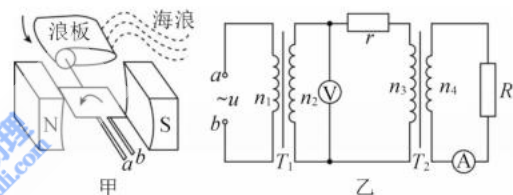
C. $\frac{kx}{M}(M+m)$

D. $\frac{kd}{M}(M+m)$

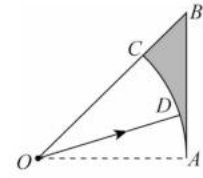
3. 如图,在 $O\text{-}xyz$ 空间坐标系中,有一硬质轻导线 $abcd$,其中 $\triangle bcd$ 是等腰直角三角形, $bc \perp cd$,
 $ab \perp bd$, bc 、 cd 长均为 $\sqrt{2}l$, ab 长为 l 。该导线始终在 xOy 平面内,以 a 点为圆心、角速度 ω 做
 顺时针转动,在 xOy 平面内存在沿 z 轴正方向、磁感应强度为 B 的匀
 强磁场。 a 、 c 、 d 各点电势关系为



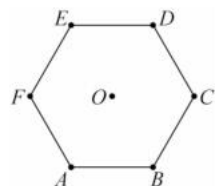
- A. $U_a > U_c > U_d, U_{ad} > 5Bl^2\omega/2$
 B. $U_a < U_c < U_d, U_{ad} < 5Bl^2\omega/2$
 C. $U_a > U_c = U_d, U_{ad} = 5Bl^2\omega/2$
 D. $U_a < U_c = U_d, U_{ad} = -5Bl^2\omega/2$
4. 某同学自制的波浪发电装置,浪板在波浪的作用下,带动线框转动(如图甲)。将该发电装置
 连接到输电电路中(如图乙),输电线路的总阻值 $r = 12 \Omega$,用户用电器可等效为 $R = 5 \Omega$ 的纯
 电阻, T_1 、 T_2 为两理想变压器, T_1 原、副线圈的匝数比为 $n_1 : n_2 = 1 : 10$ 。当发电机转子以某
 一角速度匀速转动,闭合开关后,测得电压表的示数为 13.8 V ,电流表的示数为 0.6 A ,电流
 表和电压表均为理想电表,则



- A. $n_3 : n_4 = 3 : 2$
 B. $n_3 : n_4 = 3 : 1$
 C. 用电器 R 获得的功率为 5 W
 D. 用电器 R 获得的功率为 1.8 W
5. 如图, AC 为一半径为 0.3 m 的 $1/8$ 圆弧, O 为圆弧的圆心, OAB 构成等腰直角三角形,图中
 阴影部分 ABC 为某种透明材料的横截面。在圆心 O 处有一束激光 OD 垂直照射在 $1/8$ 圆弧
 上,并以一定的角速度从 OA 开始逆时针转过 45° ,激光在真空中的波长为 690 nm ,在材料中
 的波长为 345 nm ,不考虑光线的多次反射。透明材料对该激光的折射率为 n ,光束在旋转过
 程中, AB 截面上没有光线直接射出部分的长度为 l ,则

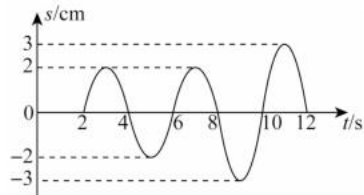


- A. $n = 2, l = \frac{3 - \sqrt{3}}{10} \text{ m}$
 B. $n = \sqrt{2}, l = \frac{3 - \sqrt{3}}{10} \text{ m}$
 C. $n = \sqrt{2}, l = \frac{\sqrt{3}}{10} \text{ m}$
 D. $n = 2, l = \frac{\sqrt{3}}{10} \text{ m}$
6. 如图,在水平面上的绝缘正六边形顶点固定着 6 个点电荷,点电荷到中心 O 点距离均为 R 。
 其中 3 个电荷 A 、 C 、 E 带电量均为 $+Q$,另外 3 个电荷 B 、 D 、 F 带电量均为 $-2Q$,在中心 O 正
 上方 $2R$ 处有一点 P (图中未画出)。已知静电力常量为 k ,则 P 点的电场强度大小和方向分
 别为

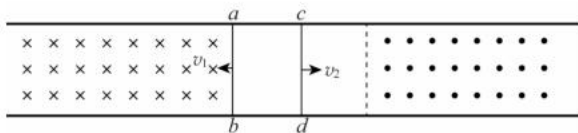


- A. $\frac{6\sqrt{5}kQ}{25R^2}$, 竖直向上
 B. $\frac{2\sqrt{5}kQ}{25R^2}$, 竖直向下
 C. $\frac{18\sqrt{5}kQ}{25R^2}$, 竖直向上
 D. $\frac{6\sqrt{5}kQ}{25R^2}$, 竖直向下

7. 频率相同的两列简谐波源 A_1 、 A_2 位于 x 轴上, A_1 坐标为 $(-4 \text{ m}, 0)$ 。 $t=0$ 时, 波源 A_1 、 A_2 同时垂直 xOy 平面开始振动, 并在均匀介质中向各方向传播。 在原点 O 处放置一可显示图像的接收器, 其振动图像 $s-t$ 如图, 则



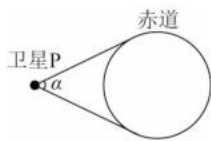
- A. 两列波的波速一定为 2 m/s
 B. 在 y 轴上有偶数个加强点
 C. 两列波的起振方向相反
 D. 两列波的振幅为 2 cm 、 5 cm
8. 如图, 水平面内固定一间距为 0.5 m 、电阻不计且足够长的光滑平行金属导轨, 中间区域没有磁场。 导轨左、右两侧分别处于竖直向下、向上的匀强磁场中, 磁感应强度大小均为 0.2 T 。 金属棒 ab 、 cd 垂直静置于导轨上, 其质量均为 0.1 kg , 电阻均为 0.1Ω 。 ab 棒静止在左侧的磁场边界, cd 棒静止在中间区域的某一位置, 当 ab 棒以 $v_1 = 5 \text{ m/s}$ 初速度水平向左运动, 同时 cd 棒以 $v_2 = 4 \text{ m/s}$ 的初速度水平向右运动。 在 ab 棒向左运动 2 m 时, cd 棒刚好向右进入磁场, 忽略两棒间的作用力。 则



- A. ab 棒向左运动 2 m 时的速度大小为 4 m/s
 B. 最终 ab 棒与 cd 棒处于静止状态
 C. 全过程中通过 ab 棒的电量为 2 C
 D. 全过程中 ab 棒产生的热量为 0.225 J
9. 我国高通量通信卫星进入高速时代, 可实现偏远地区的移动通信基站接入及其他行业应用。 已知地球半径为 R , 自转周期为 T , 地球表面重力加速度为 g 。 假设在地球赤道上空有一颗运动方向与地球自转方向相同的卫星 P , 对地球赤道覆盖的最大张角为 α , 开始时 $\alpha = 60^\circ$, 为增强信号变轨至 $\alpha = 90^\circ$ (绕地球作匀速圆周运动的轨道半径由 $r = 2R$ 变为 $r = \sqrt{2}R$), 赤道上有一个卫星观测站 Q (图中未画出)。 在两个轨道上, 观测站 Q 能连续观测到卫星 P 的最长时间分别为

A.
$$\frac{2\pi T \sqrt{\frac{2R}{g}}}{3(T - 6\pi \sqrt{\frac{2R}{g}})}$$

B.
$$\frac{4\pi T \sqrt{\frac{2R}{g}}}{3(T - 3\pi \sqrt{\frac{2R}{g}})}$$



C.
$$\frac{\pi T \sqrt{\frac{2\sqrt{2}R}{g}}}{2(T - 2\pi \sqrt{\frac{2\sqrt{2}R}{g}})}$$

D.
$$\frac{4\pi T \sqrt{\frac{2R}{g}}}{3(T - 4\pi \sqrt{\frac{2R}{g}})}$$

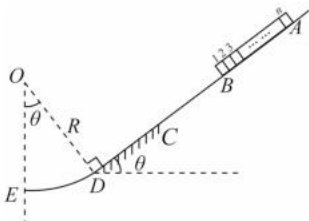
10. 如图, 在竖直平面内, 斜面 $ABCD$ 倾角为 θ , AC 段光滑, CD 段粗糙, DE 段是半径为 R 、圆心角为 θ 的光滑圆弧, E 点处切线水平。 现有 n 个质量为 m 的相同小物块依次紧挨, 第 1 个物块置于 B 点, 第 n 个物块置于 A 点, $AB = BC = CD = L$ 。 当每个小物块运动到 CD 段时, 其与 CD 间的动摩擦因数均为 $\mu = \tan\theta$ 。 研究单个小物块时可视为质点。 n 个小物块静止释放, 则

A. 第 1 个物块到达 C 点时的速度大小 $v_c = \sqrt{2gL\sin\theta}$

B. 第 1 个物块到达 D 点的过程中, 摩擦力对 n 个物块所做的功 $W_f = -nmgL\sin\theta$

C. 第 1 个物块到达 D 点时的速度大小 $v_D = \sqrt{3gL\sin\theta}$

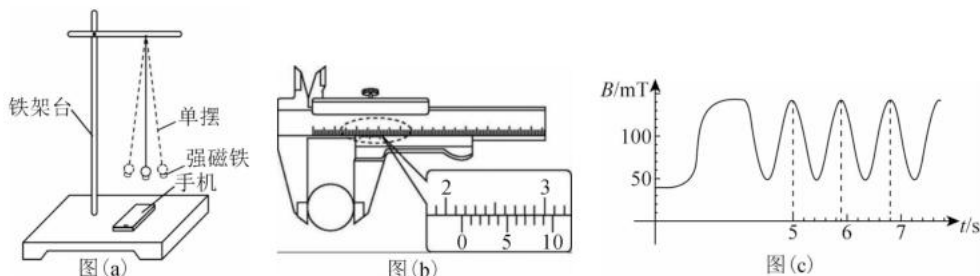
D. 第 n 个物块到达 E 点时的速度大小 $v_{E} = \sqrt{g(R + 2L\sin\theta - 2R\cos\theta)}$



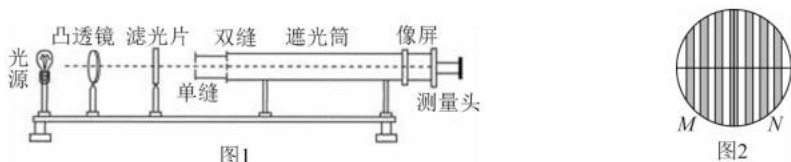
第 II 卷 非选择题

二、非选择题: 本题共 5 小题, 共 54 分。

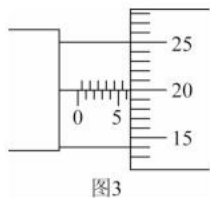
11. (7 分) 某兴趣小组在“用单摆测量重力加速度”的实验中, 装置如图(a): 在摆球下方固定一个小磁铁(厚度、磁场力可忽略), 将手机水平放置在单摆平衡位置的正下方, 利用手机中的磁场传感器测量磁感应强度随时间变化情况。



- (1) 用米尺测量摆线长度 L 为 80.00 cm , 用游标卡尺测量摆球直径 d , 卡尺示数如图(b)所示, 则摆球直径 $d = \underline{\hspace{2cm}}$ cm, 摆长 $l = \underline{\hspace{2cm}}$ cm。
- (2) 打开手机磁场测量软件, 单摆从摆角小于 5° 的位置由静止释放, 软件记录磁感应强度随时间变化的图像如图(c), 由此可知单摆的周期 $T = \underline{\hspace{2cm}}$ s, 当地重力加速度 $g = \underline{\hspace{2cm}}$ m/s^2 。(π^2 取 9.86 , 结果均保留三位有效数字)
12. (8 分) 某实验小组对电热丝发热进行探究, 其设计了一个测电热丝电阻率的实验。这种电热丝是“用双缝干涉测量光的波长”实验中光源灯丝的材料, 将实验仪器按要求安装在光具座上(图 1), 并选用缝间距 $d_0 = 0.25\text{ mm}$ 的双缝。已知像屏与双缝间的距离 $L_0 = 750\text{ mm}$, 接通电源使光源正常工作。



- (1) 用螺旋测微器测出电热丝的直径如图 3 所示, 其直径 $d = \underline{\hspace{2cm}}$ mm。
- (2) 先用欧姆表粗测电热丝的电阻, 其电阻为 $300\ \Omega$ 。再用伏安法测电热丝的电阻, 现有以下实验器材:
- A. 电流表 A_1 (量程 $0 \sim 100\text{ mA}$, 内阻 $r_1 = 10\ \Omega$);
 - B. 电流表 A_2 (量程 $0 \sim 120\text{ mA}$, 内阻 $r_2 \approx 200\ \Omega$);
 - C. 电压表 V (量程 $0 \sim 15\text{ V}$, 内阻 $r_3 \approx 20\text{ k}\Omega$);
 - D. 滑动变阻器 R_1 ($0 \sim 10\ \Omega$);
 - E. 滑动变阻器 R_2 ($0 \sim 100\ \Omega$);
 - F. 定值电阻 $R_3 = 50\ \Omega$;
 - G. 定值电阻 $R_4 = 2\ 990\ \Omega$;
 - H. 稳压电源 30 V , 内阻不计;
 - I. 开关一个, 导线若干。



为了尽可能精确地测量该电热丝的电阻,要求读数最大值可达到满偏刻度的三分之二以上,请回答以下问题:

- ①为了更好地调节且满足要求,则滑动变阻器选择_____ (填器材前的字母);
- ②设计一个满足要求的实验电路图,画在线框内(注意标注代号,电热丝用 R_x 表示);
- ③若测出的电热丝长度为 L 、电阻为 R_x ,则其电阻率 $\rho =$ _____ (用 d 、 L 、 R_x 表示)。



- (3)在“用双缝干涉测量光的波长”实验中,操作手轮,使分划板中心刻度线与某条纹中心对齐(图2),测得条纹 M 到条纹 N 共 7 条亮条纹间的距离为 9.00 mm。利用上述测量结果,计算可得到,经滤光片射向双缝的色光的波长 $\lambda =$ _____ m(保留 2 位有效数字)。

13. (9 分)在中国空间站的生命维持系统中,加压氧气瓶为舱内提供了一个除电解以外的备用氧气源。某氧气瓶的容积为 V_1 ,瓶内初始氧气压强为 p_1 ,温度为 T_1 。在完成某次太空行走任务中,宇航员消耗了部分氧气,导致瓶内压强降至 p_2 ,此时瓶内温度因环境变化升至 T_2 ,瓶内氧气可视为理想气体,求此时瓶内氧气质量与原有质量之比。

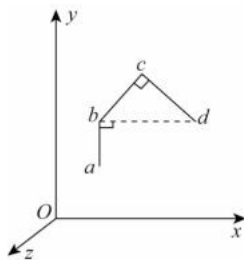
14. (12分)宇宙射线到达地表前会经过各种各样的电场和磁场。假设射线由一个个质量为 m 、电荷量为 q 、重力不计的带正电粒子组成,在南北方向有一条直线将左侧垂直纸面向外的匀强磁场和右侧沿纸面向正西方向的匀强电场分割。若射线中的一个粒子在磁场中与分割线的距离为 l 、沿正西方向以初速度 $v = \sqrt{2}v_0$ 开始运动,粒子经过一段时间运动后,速度方向与分割线成 45° 角进入电场,粒子第一次进入电场运动到离南北分割线最远的位置,恰处在粒子起始点的正东方向。求:
- (1)粒子在磁场中的运动半径 r ;
 - (2)磁感应强度 B 和电场强度 E 的大小;
 - (3)粒子从开始运动到第三次经过分割线的时间 t 。

15. (18分)如图,在光滑水平面相距足够远的 M 、 N 处分别固定两个竖直的弹性挡板(碰撞时无能量损失,碰撞时间不计),半径为 $R = 0.6\text{ m}$ 的光滑四分之一圆弧槽 A 静止放在水平面上,圆弧的最低点相切于水平面上 N 点,小球 B 从距圆弧槽最高点的正上方 $h = 1.8\text{ m}$ 处由静止释放,无碰撞地沿切线进入圆弧轨道。已知圆弧槽的质量是小球质量的 3 倍, A 、 B 运动时始终在同一竖直面内,小球可看成质点,重力加速度 g 为 10 m/s^2 ,求:
- (1)小球第一次、第二次分别到达圆弧最低点时距 N 点的距离;
 - (2)假设小球从第二次到第三次经过圆弧最低点的时间间隔为 t_0 ,此过程中圆弧槽 A 和小球 B 位移的大小分别为多少?(结果可用 t_0 表示)
 - (3)小球从圆弧槽上端滑离时的速度大小。

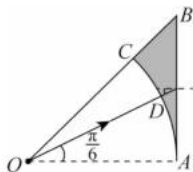


一、选择题:本题共 10 小题,共 46 分。在每小题给出的四个选项中,第 1~7 题只有一项符合题目要求,每小题 4 分;第 8~10 题有多项符合题目要求,每小题 6 分,全部选对的得 6 分,选对但不全的得 3 分,有选错的得 0 分。

1. C 【解析】氢原子能级差具有量子化特征,当入射光子能量 $h\nu$ 恰好等于某两个能级的能量差时,跃迁才可能发生(h 为普朗克常量)。基态 $n=1$ 到 $n=2$ 的能级差为 10.2 eV,对应频率 $\nu_1=10.2$ eV/h;当频率变为 $\nu_1/4$ 时,光子能量为 2.55 eV。该能量小于 $n=1$ 到 $n=2$ 的能级差(10.2 eV),且不匹配 $n=1$ 到 $n=3$ (12.09 eV)、 $n=1$ 到 $n=4$ (12.75 eV)等更高能级的差值,也远小于电离能(13.6 eV),故无法引发跃迁。故选 C 项。
2. B 【解析】对物块受力分析可得,根据牛顿第二定律: $kx \frac{d}{x} = ma$;整体法,根据牛顿第二定律: $F = (M+m)a$,联立两式可得, $F = \frac{kd}{m}(M+m)$,故选 B 项。
3. C 【解析】由图可知, $ad=ac=\sqrt{5}l$,以 a 点为圆心做顺时针转动,产生的感应电动势 $E=B(ad)^2\omega/2$, $U_a > U_c = U_d$,故选 C 项。



4. D 【解析】由题意可知 $I_1=0.6$ A,令 $n_3 : n_1 = k$,则 $U_3 = kU_1 = kI_1R$, $I_3 = I_1/k$, $U_2 = I_3r + U_3$,解得 $k=4$;或者根据能量守恒可知 $U_2I_3 - I_3^2r = I_1^2R$,解得: $I_3=0.15$ A,又 $n_3 : n_1 = I_1 : I_3 = 4 : 1$,AB 项错误;发电装置的输出功率为 $P_2 = U_2I_3 = U_2I_3 = 2.07$ W,用户用电器等效纯电阻 R 获得的功率为 $P_1 = I_1^2R = 1.8$ W,C 项错误,D 项正确。
5. A 【解析】设激光在材料中的传播速度为 v ,有 $c = \lambda_0 f$, $v = \lambda_1 f$,又 $n = \frac{c}{v}$,联立得 $n=2$ 。设激光发生全反射时的临界角为 C ,则有 $\sin C = \frac{1}{n}$,得临界角 $C = \frac{\pi}{6}$,刚好不从 AB 直接射出的光线如图所示, AB 截面上没有光线直接射出部分的总长度 $l = R(1 - \tan C)$,得 $l = \frac{3-\sqrt{3}}{10}$ m,故 A 项正确。



6. D 【解析】6 个点电荷在圆盘边缘呈正六边形分布(相邻间距相等), A 与 D , B 与 E , C 与 F 关于圆对称,通

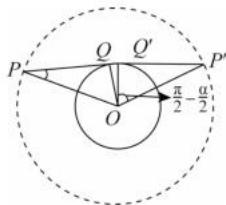
过对称性简化电场叠加计算: P 到各点电荷距离 $r = \sqrt{R^2 + (2R)^2} = \sqrt{5}R$, 每个点电荷与 P 的连线与竖直方向的夹角 θ 满足: $\cos\theta = \frac{2R}{r} = \frac{2}{\sqrt{5}}$, $\sin\theta = \frac{R}{r} = \frac{1}{\sqrt{5}}$, 单个电荷在 P 点场强大小: $E_1 = k \frac{Q}{r^2} = \frac{k}{5R^2}Q$, $E_2 = \frac{2Q}{r^2} = \frac{2k}{5R^2}Q$, 单个电荷在竖直分量: $E_{1y} = E_1 \cos\theta = \frac{kQ}{5R^2} \cdot \frac{2}{\sqrt{5}} = \frac{2\sqrt{5}kQ}{25R^2}$, $E_{2y} = E_2 \cos\theta = \frac{2kQ}{5R^2} \cdot \frac{2}{\sqrt{5}} = \frac{4\sqrt{5}kQ}{25R^2}$, 3 个正电荷电场强度竖直分量向上, 3 个负电荷竖直分量向下, 由对称性知水平方向实际场强为 0, 合电场强度: $E = 3(E_{2y} - E_{1y}) = 3 \times \frac{2\sqrt{5}kQ}{25R^2} = \frac{6\sqrt{5}kQ}{25R^2}$, 方向竖直向下。故选 D 项。

7. C 【解析】分析振动图像可知, 第一列波在 $t=2$ s 时到达 O 点, 第二列波在 $t=8$ s 时到达 O 点, 题中所给信息不足以判断是哪列波先到, 可能为 A_1 引起的简谐波先到, 则 $v = \frac{4}{2} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2$ m/s, 也可能为 A_2 引起的简谐波先到, 则 $v = \frac{4}{8} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0.5$ m/s, 故 A 项错误; 加强/减弱线在 xOy 平面的分布应为一列以 A_1 、 A_2 为焦点的双曲线, 关于 x 轴上下对称。 O 点在 $t=8$ s 时的振动相位不变且振幅变大, 可以判断出 O 点一定为加强点, 因此在 y 轴上一定有奇数个加强点(上下对称的偶数个加 O 点), 故 B 项错误; 由振动图像可知, $t=2$ s 时 O 点向上起振, 可以判断到达的第一列波起振方向向上, $t=8$ s 时振动相位不变且振幅变大, 可以判断第二列波到达 O 点且引起 O 点向下振动, 故第二列波起振方向向下, C 项正确; 由前述选项分析可知 O 点一定为加强点, 加强点振幅 $A = A_1 + A_2 = 3$ cm, 故两列波的振幅不可能是 2 cm, 5 cm。

8. AD 【解析】当 ab 棒向左运动 $s=2$ m 时, ab 棒的速度为 v_3 , 对 ab 棒向左运动 $s=2$ m 过程, 根据动量定理: 设向左为正方向, $-BLt = mv_3 - mv_1$, 可得: $-BLq = mv_3 - mv_1$, 再由 $q = \frac{\Delta\Phi}{2R} = \frac{BLs}{2R} = 1$ C, 可得 $v_3 = 4$ m/s, 当 ab 棒向左运动 $s=2$ m 时, cd 棒刚好向右进入磁场, 根据右手定则, $E = BLv_3 - BLv_2 = 0$, 回路的总电压为零, 总电流为零, 接下来 ab 棒向左以 $v_3 = 4$ m/s 做匀速运动, cd 棒向右以 $v_2 = 4$ m/s 做匀速运动, 全过程中 ab 棒产生的热量为 $Q = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} mv_1^2 - \frac{1}{2} mv_3^2 \right) = 0.225$ J, 故选 AD 项。

9. CD 【解析】设地球质量为 M , 卫星 P 的质量为 m , 根据万有引力提供向心力, 有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T_1^2} r$, 轨道半径为 $r=2R$, 在地球表面根据万有引力等于重力, 有 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$, $r=2R$, $T_1 = 4\pi \sqrt{\frac{2R}{g}}$, 通讯信号视为沿直线传播, 由于地球遮挡, 使卫星 P 和地面测控站 Q 不能一直保持直接通讯, 也就监测不到。设无遮挡时间为 t , 则它们转过的角度之差最多为 2α 时就不能通讯, 根据几何关系可得: 当 $\alpha = \pi/3$ 时, $\cos\alpha = \frac{R}{r} = \frac{R}{2R} = \frac{1}{2}$, $\frac{2\pi}{T_1} t -$

$$\frac{2\pi}{T} t = \frac{2}{3} \pi, \text{ 联立解得: } t = \frac{4\pi T \sqrt{\frac{2R}{g}}}{3 \left(T - 4\pi \sqrt{\frac{2R}{g}} \right)}, \text{ 当 } \alpha = \pi/2 \text{ 时, } t = \frac{\pi T \sqrt{\frac{2\sqrt{2}R}{g}}}{2 \left(T - 2\pi \sqrt{\frac{2\sqrt{2}R}{g}} \right)}, \text{ 故选 CD 项。}$$



10. AC **【解析】** 由机械能守恒 $mgL\sin\theta = \frac{1}{2}mv_c^2$ 解得 $v_c = \sqrt{2gL\sin\theta}$, 故 A 项正确; 摩擦力随这些物块进入 CD 段的距离 x 的变化规律为 $f_x = \frac{nmgx\mu\cos\theta}{L} = \frac{nmgx\sin\theta}{L}$, 摩擦力做功 $W_f = -\frac{nmgL\sin\theta}{2}$, 故 B 项错误; 小物块 1 到 D 点时这些物块的速度满足 $2nmgL\sin\theta + W_f = \frac{1}{2}nmv_D^2$, 解得 $v_D = \sqrt{3gL\sin\theta}$, 故 C 项正确; 第 n 个小物块匀速通过 CD 段, 在 DE 段由机械能守恒定律得 $mgR(1 - \cos\theta) = \frac{1}{2}mv_{nE}^2 - \frac{1}{2}mv_D^2$, $v_{nE} = \sqrt{g(2R + 3L\sin\theta - 2R\cos\theta)}$, 故 D 项错误。

二、非选择题: 本题共 5 小题, 共 54 分。按括号后分值给分。

11. (7 分)(1)2.18(2 分) 81.09(1 分)

(2)1.80/1.8(2 分) 9.87(或 9.86)(2 分)

【解析】 (1) 游标卡尺的主尺读数为 2.1 cm, 游标尺读数为 $0.1 \times 8 = 0.8 \text{ mm} = 0.08 \text{ cm}$, 所以摆球直径 $d = 2.1 + 0.08 = 2.18 \text{ cm}$; 摆长 $l = L + \frac{d}{2} = 81.09 \text{ cm}$ 。

(2) 从图像中可以看出, 相邻两个磁场强度峰值之间的时间间隔即为单摆的周期, 所以 $T = 1.80 \text{ s}$ 。根据

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ 可得 } g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = 9.87 \text{ m/s}^2.$$

12. (8 分)(1)6.200 mm(1 分)

(2)①D(1 分)

②如图所示(2 分)

$$\textcircled{3} \rho = \frac{\pi d^2 R_x}{4L} \text{ (2 分)}$$

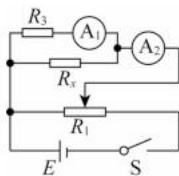
(3) 5.0×10^{-7} (2 分)

【解析】 (1) 螺旋测微器读数为 $6 \text{ mm} + 20.0 \times 0.01 \text{ mm} = 6.200 \text{ mm}$ 。

(2)①粗测其电阻约为 300Ω , 大于滑动变阻器总阻值, 采取分压式接法, 滑动变阻器选择较小的 D。

②电压表量程不合适, 待测电阻最大电流 $I = \frac{E}{R_x} = 100 \text{ mA}$ 。

故采用双安法, 电路图如图所示。



$$\textcircled{3} \text{ 根据 } R = \rho \frac{L}{S}, \text{ 得 } \rho = \frac{SR_x}{L} = \frac{\pi d^2 R_x}{4L}.$$

(3) 由 $\Delta x = \frac{L_0}{d_0} \lambda$ 得, $\lambda = \frac{d_0}{L_0} \Delta x = 5.0 \times 10^{-7} \text{ m}$

13. (9 分) $\frac{\rho_2 T_1}{\rho_1 T_2}$

【解析】 对原气体, 由理想气体状态方程有 $\frac{\rho_1 V_1}{T_1} = \frac{\rho_2 V_2}{T_2}$ ①

$$\text{解得 } V_2 = \frac{p_1 T_2}{p_2 T_1} V_1 \quad (2)$$

因同种气体同温同压下气体的质量与体积成正比,则

$$\text{根据 } \frac{m_2}{m_1} = \frac{V_1}{V_2} \quad (3)$$

$$\text{得 } \frac{m_2}{m_1} = \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2} \quad (4)$$

评分标准:得出①②④式各给2分,得出③式给3分。

$$14. (12 \text{ 分}) (1) r = \sqrt{2} l$$

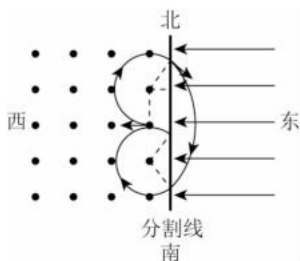
$$(2) B = m v_0 / q l \quad E = \frac{(\sqrt{2}-1) m v_0^2}{q l}$$

$$(3) t = (2 + 2\sqrt{2} + \frac{11\pi}{4}) \frac{l}{v_0}$$

【解析】(1)粒子的运动轨迹如图所示 ①

由图可得, $r \cos 45^\circ = l$

$$\text{可得, } r = \sqrt{2} l \quad (2)$$



(2)粒子在磁场中做匀速圆周运动,有 $qBv = mv/r^2$

$$\text{可得, } B = m v_0 / q l \quad (3)$$

粒子从第一次进入电场到运动至最东边点过程中,

$$\text{南北方向上,有 } r + r \sin 45^\circ = t_1 v \cos 45^\circ \quad (4)$$

$$\text{东西方向上,有 } L = (v \sin 45^\circ + 0) t_1 / 2 \quad (5)$$

其中 L 为粒子到达最东边点到分割线的距离。

$$\text{由动能定理得: } -EqL = \frac{1}{2} m v_L^2 - \frac{1}{2} m v^2 \quad (6)$$

$$\text{联立可得, } t = \frac{\sqrt{2}+1}{v_0} l,$$

$$L = \frac{\sqrt{2}+1}{2} l,$$

$$E = \frac{(\sqrt{2}-1) m v_0^2}{q l} \quad (7)$$

(3)粒子在磁场中运动轨迹对应的圆心角

$$\theta = \left(\frac{5\pi}{4} + \frac{3\pi}{2} \right) = \frac{11\pi}{4}$$

$$\text{粒子在磁场中运动的总时间 } t_2 = \frac{\theta \cdot r}{v} \quad (8)$$

粒子从开始运动到第三次经过分割线的时间 $t=2t_1+t_2$ ⑨

$$\text{联立可得 } t = \left(2 + 2\sqrt{2} + \frac{11\pi}{4}\right) \frac{l}{v_0} \quad \text{⑩}$$

评分标准: 得出①②④⑤⑥⑧⑨⑩式各给 1 分, 得出③⑦式各给 2 分。

15. (18 分)(1)0.3 m

$$(2)3t_0$$

$$(3)6 \text{ m/s}$$

【解析】 (1)(6 分) 设小球第一次离开圆弧槽时小球的速度大小为 v_1 , 圆弧槽的速度大小为 v_2 , 以小球第一次离开圆弧槽时小球的速度方向为正方向, 则由水平方向动量守恒可得: $0 = mv_1 - 3mv_2$ ①

$$\text{由机械能守恒可得: } mg(h+R) = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}3mv_2^2 \quad \text{②}$$

$$\text{联立①②代入数据联立可得: } v_1 = 6 \text{ m/s} \quad v_2 = 2 \text{ m/s}$$

$$\text{根据人船模型可知: 圆弧槽 A 的位移大小为 } x_A = \frac{mR}{m+3m} = 0.15 \text{ m} \quad \text{③}$$

也即小球第一次到达圆弧最低点时距 N 点的距离为 0.15 m

设再经过时间 t 小球第二次到达圆弧最低点, 由运动学公式得

$$v_1 t = 2x_A + v_2 t \quad \text{④}$$

$$\text{该过程圆弧槽 A 的位移大小为 } x'_A = v_2 t = 0.15 \text{ m} \quad \text{⑤}$$

$$\text{得小球第二次到达圆弧最低点时距 N 点的距离为 } x_A + x'_A = 0.3 \text{ m} \quad \text{⑥}$$

(2)(4 分) A、B 系统在水平方向上动量守恒, 小球第二次到达槽最低点至第三次到达槽最低点过程中, 有

$$3mv'_A + mv'_B = 3m(-v_2) + m(-v_1) \quad \text{⑦}$$

两边同乘以时间 t_0 , 得

$$3mv'_A \cdot t_0 + mv'_B \cdot t_0 = [3m(-v_2) + m(-v_1)]t_0$$

$$\text{即 } 3mx_A + mx_B = -12mt_0 \quad \text{⑧}$$

又因此过程

$$x_A = x_B \quad \text{⑨}$$

由⑧⑨联立可得

$$x_A = x_B = -3t_0$$

所以小球在第二次到第三次经过圆弧最低点的过程中圆弧槽 A 和小球 B 位移的大小均为 $3t_0$ 。 ⑩

(3)(8 分) 设小球第一次滑至圆弧槽最高点时, 小球水平速度为 u_1 , 竖直速度为 v_{y1} ,

$$\text{则由水平方向动量守恒可得: } m(-v_1) + 3m(-v_2) = (m+3m)u_1 \quad \text{⑪}$$

$$\text{由机械能守恒可得: } \frac{1}{2}(m+3m)u_1^2 + \frac{1}{2}mv_{y1}^2 = mgh \quad \text{⑫}$$

得 $v_{y1} = 0$, 说明小球未滑离圆弧槽。

设小球第三次到达圆弧最低点时小球的速度大小为 v_3 , 圆弧槽的速度大小为 v_4 ,

$$\text{则由水平方向动量守恒可得: } m(-v_1) + 3m(-v_2) = mv_3 + 3mv_4 \quad \text{⑬}$$

$$\text{由机械能守恒可得: } \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}3mv_2^2 = \frac{1}{2}mv_3^2 + \frac{1}{2}3mv_4^2 \quad \text{⑭}$$

$$\text{联立⑬⑭代入数据得 } v_3 = 0 \quad v_4 = -4 \text{ m/s} \quad \text{⑮}$$

A 与左侧弹性挡板碰后,小球第四次到达圆弧最低点时 A 的速度变为向右的 4 m/s,接着又与球发生相互作用,设小球第二次滑至圆弧槽最高点时,小球水平速度为 u_2 , 竖直速度为 v_{y2} ,

则由水平方向动量守恒可得: $3m(-v_1) = (m+3m)u_2$

由机械能守恒可得: $\frac{1}{2}(m+3m)u_2^2 + \frac{1}{2}mv_{y2}^2 = mgh$

得 $v_{y2} = 0$, 说明小球仍未滑离圆弧槽。

设小球第五次到达圆弧最低点时小球的速度大小为 v_5 , 圆弧槽的速度大小为 v_6 ,

由水平方向动量守恒可得: $mv_5 + 3m(-v_4) = mv_5 + 3mv_6$ ⑮

由机械能守恒可得: $\frac{1}{2}mv_5^2 + \frac{1}{2}3mv_4^2 = \frac{1}{2}mv_5^2 + \frac{1}{2}3mv_6^2$ ⑯

联立⑮⑯代入数据得 $v_5 = 6 \text{ m/s}$ $v_6 = 2 \text{ m/s}$

接着小球与右侧挡板再次发生碰撞, 反弹后继续与圆弧槽 A 发生相互作用, 设小球第三次到达圆弧槽最高点时, A、B 水平方向速度大小为 u_3 , B 的竖直方向速度大小为 v_{y3} ,

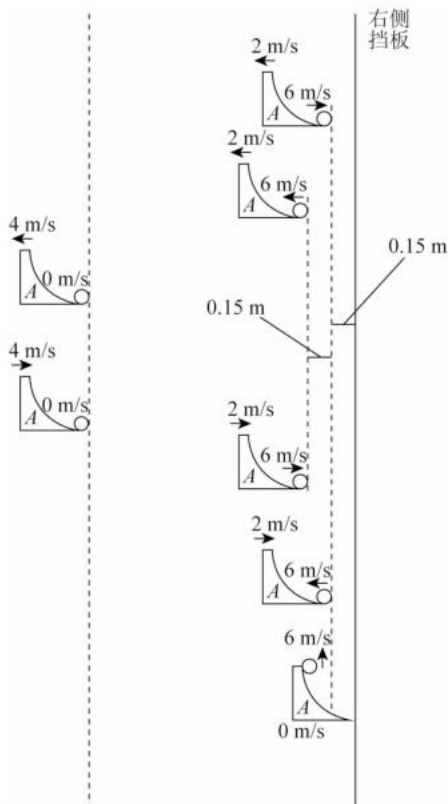
由水平方向动量守恒可得: $m(-v_5) + 3mv_6 = 4mu_3$ ⑰

由机械能守恒可得: $\frac{1}{2}(m+3m)u_3^2 + \frac{1}{2}mv_{y3}^2 = mgh$ ⑱

联立⑰⑱代入数据得 $u_3 = 0$ $v_{y3} = 6 \text{ m/s}$ ⑳

所以小球从圆弧槽上端滑离时的速度大小为 6 m/s。 ㉑

特别说明, 由对称性知前述过程中圆弧槽始终未与右侧挡板碰撞, 情境图如下:



评分标准: 得出①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑式各给 1 分。