

辽宁省名校联盟 2025 年高三 12 月份联合考试

物理

命题人:大连市第一中学 徐伟丰 大连市第三十六中学 王艺

审题人:辽宁名校联盟试题研发中心 大庆第一中学 生军

鞍山市第一中学 迟喜庆 大连市第四十八中学 赵玉友

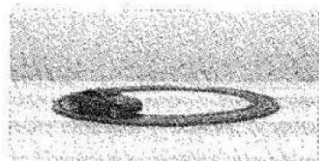
本试卷满分 100 分,考试时间 75 分钟。

注意事项:

- 答卷前,考生务必将自己的姓名、准考证号填写在答题卡上。
- 答选择题时,选出每小题答案后,用铅笔把答题卡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。答非选择题时,将答案写在答题卡上。写在本试卷上无效。
- 考试结束后,将本试卷和答题卡一并交回。

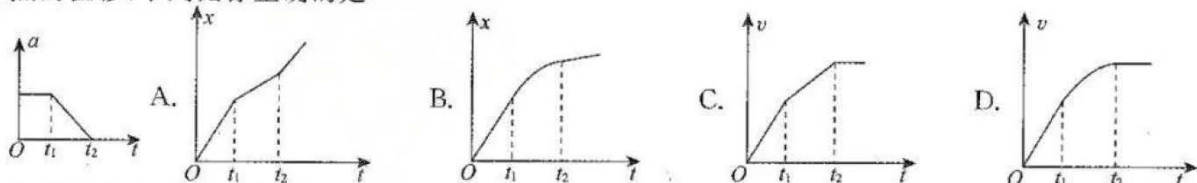
一、选择题:本题共 10 小题,共 46 分。在每小题给出的四个选项中,第 1~7 题只有一项符合题目要求,每小题 4 分;第 8~10 题有多项符合题目要求,每小题 6 分,全部选对的得 6 分,选对但不全的得 3 分,有选错的得 0 分。

1. 如图所示,一辆玩具小车在光滑水平桌面上沿弧形轨道做匀速圆周运动。关于小车的运动,下列说法正确的是

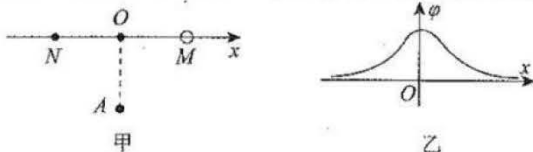


- 线速度方向保持不变
- 加速度大小保持不变
- 合外力方向始终不变
- 属于匀变速曲线运动

2. 航母电磁弹射系统将舰载机在水平轨道上由静止开始加速。某次测试中,舰载机的加速度 a 随时间 t 的变化关系如图所示,轨道长度足够长,以 v 表示舰载机的速度,以 x 表示舰载机相对于出发点的位移,下列图像正确的是

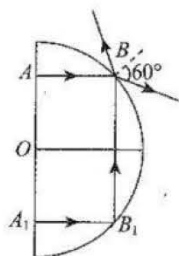


3. 如图甲所示,固定点电荷 A 上方有一水平方向的光滑绝缘细杆,一个带电小环套在细杆上。某时刻,小环从 M 点由静止释放,小环在 MN 间做往复运动,沿细杆方向建立一维坐标系,设坐标原点 O 在 A 正上方, x 轴上各点电势 φ 随 x 变化图像如图乙所示,规定无限远处电势为零,则



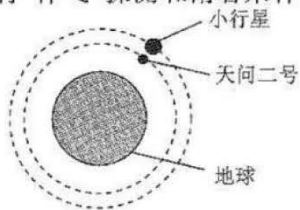
- 点电荷 A 为负电荷
- O 点电场强度为零
- M 到 O 过程中,小环的电势能减小
- 小环的往复运动属于简谐运动

4. 某光学组件由两个半径相同、折射率不同的四分之一圆柱玻璃体组成,如图所示。光线从 A 点垂直射入后,在 B 点折射出去,与法线夹角为 60° ,将光线平移,从关于 O 点对称的 A_1 点垂直入射,在 B_1 位置恰好发生全反射后也从 B 点折射出去,且两次折射角度相同,则上下两玻璃体折射率的比值为

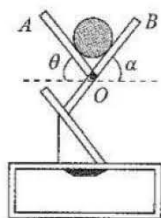


- $\frac{\sqrt{3}}{2}$
- $\sqrt{2}$
- $\sqrt{3}$
- $\frac{\sqrt{6}}{2}$

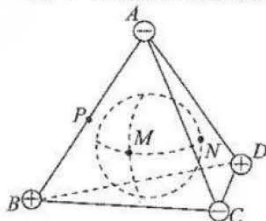
5. 2025年5月,我国发射了“天问二号”探测器,对近地小行星 2016HO3 进行“伴飞”探测和附着采样任务,探测器进行伴飞探测过程,会与小行星保持同步飞行,如图所示,“天问二号”和小行星在固定的轨道上做匀速圆周运动,不考虑“天问二号”对小行星的影响,下列说法正确的是



- A. “天问二号”探测器的线速度大于第一宇宙速度
 B. 伴飞过程,小行星的线速度大于“天问二号”探测器的线速度
 C. 伴飞过程,小行星的向心加速度小于“天问二号”探测器的向心加速度
 D. “天问二号”探测器对小行星进行采样前,需向前喷出气体进行着陆采样
6. 如图所示,树杈形置物架上放置一个质量为 m 的光滑圆球,木板 AO 与水平方向夹角为 θ ,木板 BO 与水平方向夹角为 α ,木板 AO 对圆球的支持力为 F_{N1} ,木板 BO 对圆球的支持力为 F_{N2} ,重力加速度为 g ,则

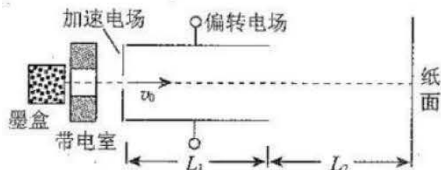


- A. $F_{N1} = \frac{mg \sin \alpha}{\cos(\alpha + \theta)}$
 B. $F_{N1} = \frac{mg \cos \theta}{\sin(\alpha + \theta)}$
 C. $F_{N2} = \frac{mg \cos \alpha}{\cos(\alpha + \theta)}$
 D. $F_{N2} = \frac{mg \sin \theta}{\sin(\alpha + \theta)}$
7. 如图所示, M 、 N 分别为棱长为 a 的正四面体 $ABCD$ 的内切球与 ABC 面和 ACD 面的切点, P 为 AB 边中点,正四面体的顶点 A 、 B 、 C 、 D 分别固定有带电荷量为 $-Q$ 、 $+Q$ 、 $-Q$ 、 $+Q$ 的点电荷,规定无穷远处电势为零,静电力常量为 k ,则下列说法正确的是



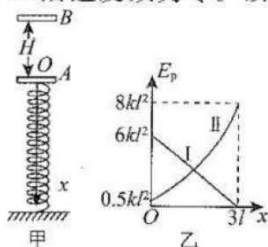
- A. P 点的电场强度大小为 $\frac{16\sqrt{21}kQ}{9a^2}$
 B. M 点的电场强度大小为 $\frac{3\sqrt{5}kQ}{2a^2}$
 C. 正试探电荷沿直线由 P 移动到 M ,电势能增加
 D. 正试探电荷沿直线由 C 移动到 M ,电势能减少
8. 在新型光量子器件的研发中,科学家需要测试不同光电材料的性能。当使用相同频率和强度的绿光照射材料 A 和 B 时,两者都能发生光电效应,从材料 A 逸出的电子最大初动能小,若两种材料的逸出功分别为 W_A 和 W_B ,两种材料对应的遏止电压分别为 U_A 和 U_B ,则
- A. $W_A < W_B$ B. $W_A > W_B$ C. $U_A < U_B$ D. $U_A > U_B$

9. 喷墨打印机的工作原理简化图如图所示,质量为 m 的墨滴经带电室时带上电荷量为 q 的负电荷,随后经加速电场后,以初速度 v_0 垂直射入偏转电场中,经偏转电场后打在纸面上。已知偏转极板长为 L_1 ,板间距为 d ,偏转电压为 U ,偏转极板右端到纸面的距离为 L_2 。不计空气阻力以及墨滴所受重力和偏转电场的边缘效应,下列说法正确的是



- A. 加速电场电压 $U_0 = \frac{mv_0^2}{2q}$
 B. 墨滴落在纸上的位置偏离原入射方向的距离 $r = \frac{qUL_1^2(L_1 + 2L_2)}{2mdv_0^2}$
 C. 若仅 U 减小 20%,则字体缩小 20%
 D. 若仅 L_1 减小 20%,则字体缩小 4%

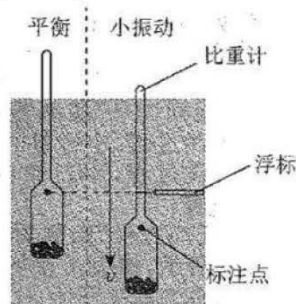
10. 如图甲所示,劲度系数为 k 的轻质弹簧竖直固定在地面上,上端放置薄板 A ,两者并未相连,薄板 A 处于静止状态,弹簧处于压缩状态。薄板 B 与薄板 A 完全相同, B 从距离 A 上方 H 高度由静止释放自由落下, A 、 B 两薄板碰撞时间极短,碰后粘连在一起,共同下落 $3l$ 后速度减为零。以 A 、 B 碰撞位置为坐标原点 O ,竖直向下为正方向建立 x 轴, A 、 B 整体的重力势能随下落距离 x 变化图像如图乙中 I 所示,弹簧的弹性势能随下落距离 x 变化图像如图乙中 II 所示,重力加速度为 g ,则



- A. 薄板 A 的质量为 $\frac{kl}{g}$
 B. 薄板 B 下落的高度 H 为 $3l$
 C. 碰撞后两薄板的最大速度为 $\sqrt{3gl}$
 D. 碰撞后两薄板上升的最大高度在 O 上方 l 处

非选择题:本题共5小题,共54分。

(6分)质量为 m 、上端细长圆管直径为 D 的比重计漂浮于密度为 ρ 的液体中,如图(a)所示。用手向下轻推一下比重计,给它一竖直向下的初速度,使其可以在液体中做小幅振动(液体的阻力不计)。某同学通过实验探究液体密度 ρ 与比重计振动周期 T 之间的关系。

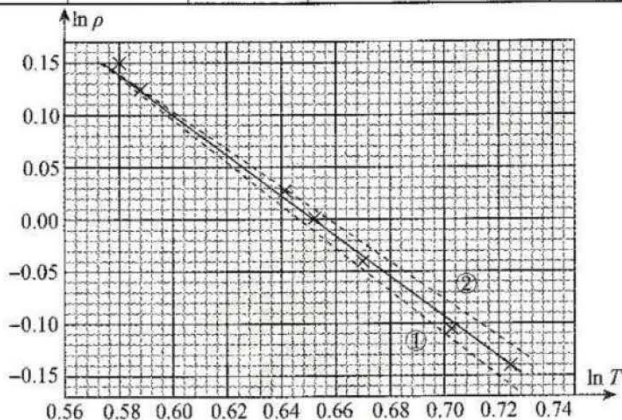


图(a)

(1)在比重计上做好标注点,然后将其放入水中,当其平衡后,在水中与标注点对齐的水平方向某处放置一固定浮标,如图(a)所示。沿竖直方向轻推比重计,当比重计上的标注点某次与浮标等高时记为第0次并开始计时,第20次时停止计时,这一过程中比重计振动了个周期。

(2)换用其他常见液体(汽油、酒精、盐水、豆油、蔗糖水和蜂蜜水)重复上述操作,测得多组数据。为了探究 ρ 与 T 之间的函数关系,可用它们的自然对数作为横、纵坐标绘制图像进行研究,数据如下表所示。

液体	水	酒精	汽油	豆油	盐水	蔗糖水	蜂蜜水
$\ln T$	0.651 6	0.723 6	0.703 2	0.671 8	0.641 6	0.587 4	0.579 1
$\ln \rho$	0	-0.139	-0.104	-0.042	0.026	0.124	0.148



图(b)

根据表中数据绘制出 $\ln \rho - \ln T$ 图像如图(b)实线所示,则 ρ 与 T 的近似关系为_____。

- A. $\rho \propto \sqrt{T}$ B. $\rho \propto T^2$ C. $\rho \propto \frac{1}{\sqrt{T}}$ D. $\rho \propto \frac{1}{T^2}$

(3)在确保比重计仍作小振动的前提下,增大沿竖直向下的推力,而使其偏离浮标的距离变大(比重计保持不完全浸没),所得 $\ln \rho - \ln T$ 图像也近似是一条直线,则该直线可能是图(b)中的(填“虚线①”“虚线②”或者“实线”)。

(8分)某同学制作了一个水果电池,要测量其电动势和内阻,仅找到了以下器材:

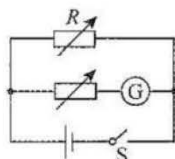
毫安表G:量程 $0 \sim 0.2$ mA,内阻为 500Ω ;

两个电阻箱:阻值范围均为 $0 \sim 9999 \Omega$;

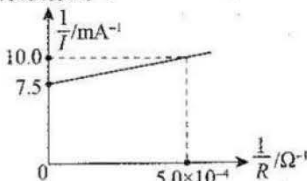
开关S、导线若干。

(1)将毫安表串联一个电阻箱,将其改装成量程为 $0 \sim 0.6$ V的电压表,此电阻箱电阻应调为_____ Ω 。

(2)用改装后的电压表和另一个电阻箱,设计如图甲所示的电路,测得多组 I, R 的值,并做出 $\frac{1}{I} - \frac{1}{R}$ 图像,如图乙所示,要求测量结果尽量精确,那么水果电池的电动势 $E =$ _____ V,内阻 $r =$ _____ Ω 。(计算结果均保留3位有效数字)



图甲



图乙

(3)用这个改装后的电压表直接测量水果电池两极,发现测量结果与(2)中测量的电动势有明显偏差,其原因是

13. (10分)在载人飞船返回任务中,返回舱降至高度 $H=5.72\text{ km}$ 时,速度大小 $v_1=282\text{ m/s}$,方向竖直向下,此时反推发动机精准点火启动制动程序。为保障航天员安全,返回舱先以恒定加速度匀减速直线下落,当速度降至 $v_2=2.00\text{ m/s}$ 后,发动机转为恒定推力控制,返回舱匀速下落,最终以 v_2 速度平稳触地,整个着陆过程总用时 $t=60\text{ s}$ 。已知飞船返回舱(含航天员)总质量为 $3\times 10^3\text{ kg}$,重力加速度 g 取 10 m/s^2 ,在运动过程中重力加速度的变化和返回舱质量的变化都忽略不计。求:

(1)返回舱匀减速运动的加速度大小与方向,以及匀速运动所用时间;

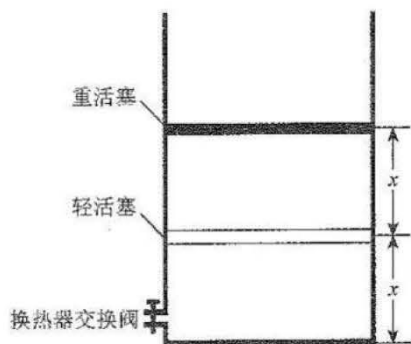
(2)从启动制动程序到触地前,返回舱所受合外力的冲量大小。

14. (12分)某工业余热回收的氦气储能装置如图所示,装置的绝热圆筒内装有两个活塞,顶部重活塞外覆绝热层(热损失可忽略),底部轻活塞(质量可忽略不计)导热性能优异。初始时装置与车间环境处于热平衡,上下两腔各封闭 1 mol 氦气(可视为理想气体),两活塞间距及轻活塞到缸底间距均为 x ,现通过缸底余热换热装置缓慢向气体传递热量 $Q(x$ 和 Q 均为已知量)。设重活塞可以无摩擦地滑动,在整个过程中轻活塞位置保持不变,忽略气体泄漏。(重力加速度为 g ,汽缸横截面积为 S ,阿伏加德罗常数的值为 N_A)

(1)对处在温度为 T 的平衡状态的理想气体,其内能只由气体分子的动能构成。依据能量均分定理,每个气体分子的动能对内能的贡献为 $\frac{3RT}{2N_A}$, R 为气体普适常数,利用该常数可将理想气体

的三个实验定律统一为 $pV=nRT$ (n 为物质的量),即克拉伯龙方程。若上述装置吸收热量前后的温度分别为 T_1 和 T_2 ,试利用上述规律写出热量 Q 与初末态温度间的关系。

(2)求系统再次稳定后轻活塞所受的摩擦力大小。

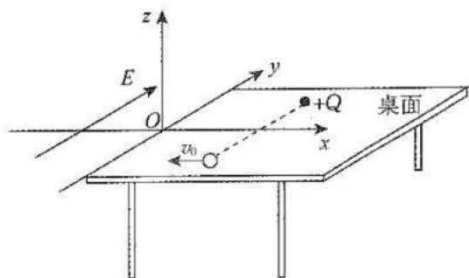


15. (18分)在光滑桌面上,以水平桌面左边缘为 y 轴建立空间直角坐标系如图所示,坐标为 $(\sqrt{3}L, L, 0)$ 处固定一正点电荷,利用屏蔽手段使该点电荷只在 $x>0$ 空间产生电场,坐标为 $(\sqrt{3}L, -L, 0)$ 处有一电荷量大小为 q ,质量为 m 的小球,以初速度 v_0 沿 x 轴负方向射出,小球离开桌面前恰能做匀速圆周运动,在 $x<0$ 的空间存在沿 y 轴正方向大小可调的匀强电场,已知静电力常量为 k ,重力加速度为 g ,取桌面所在平面为零势能面。

(1)求固定点电荷所带的电荷量 Q 的大小;

(2)若小球落地点坐标满足 $|x|, |y|, |z|$ 相等,求匀强电场电场强度的大小;

(3)若匀强电场 $E=\frac{2mg}{q}$,求小球从离开桌面到落地前机械能和动能的最小值。



参考答案及解析

一、选择题

1. B 【解析】匀速圆周运动中,线速度方向始终沿切线方向,时刻变化,A项错误;加速度为向心加速度,大小 $a = \frac{v^2}{r}$ (v 为线速度大小, r 为轨道半径),因 v 和 r 大小不变,故加速度大小保持不变,B项正确;合外力提供向心力,方向始终指向圆心,时刻变化,C项错误;匀变速曲线运动要求加速度恒定(大小和方向均不变),此运动加速度方向变化,不属于匀变速曲线运动,D项错误。
2. D 【解析】 $x-t$ 图像斜率表示速度, $0 \sim t_1$ 时间内斜率应逐渐增大, $t_1 \sim t_2$ 时间内斜率继续增加, t_2 以后斜率恒定,A、B项错误; $0 \sim t_1$ 时间内,加速度恒定且为正,速度随时间均匀增大, $v-t$ 图像为倾斜向上的直线, $t_1 \sim t_2$ 时间内,加速度减小, $v-t$ 图像斜率减小, t_2 以后加速度保持不变, $v-t$ 图像为水平直线,C项错误,D项正确。
3. C 【解析】由于规定无限远处电势为零,从图像可知,电荷周围电势都为正,所以点电荷为正电荷,A项错误;O点只是在沿 x 轴方向电场强度为零,B项错误;由于小环做往复运动,小环带负电,M到O过程中,电势升高,小环电势能减小,C项正确;小环运动过程中回复力不满足 $F = -kx$,D项错误。
4. A 【解析】设光线在B点的入射角为 i ,折射角为 $r = 60^\circ$,由于A与 A_1 点关于O点对称,光线在 B_1 处恰好发生全反射,故全反射临界角 $C = 45^\circ$,所以光线在B点的入射角 $i = 45^\circ$,由折射定律 $n_1 = \frac{\sin r}{\sin i} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{\sqrt{6}}{2}$,利用全反射临界角公式 $\sin C = \frac{1}{n_2}$,求出 $n_2 = \sqrt{2}$,故两种玻璃体的折射率之比为 $\frac{\sqrt{3}}{2}$,故选A项。
5. B 【解析】小行星绕地球旋转,故小行星的线速度小于第一宇宙速度,“天问二号”伴飞过程,两者角速度相同,“天问二号”轨道半径更小,由 $v = \omega r$ 和 $a = \omega^2 r$ 得,“天问二号”线速度和向心加速度都小于小行星,A、C项错误,B项正确;小行星轨道更高,“天问二号”要着陆探测,需加速做离心运动,故需要向后喷出气体做加速运动,D项错误。
6. D 【解析】光滑圆球不受摩擦力,仅受重力 mg 、木板AO的支持力 F_{N1} 、木板BO的支持力 F_{N2} 。将 F_{N1} 、 F_{N2} 沿水平和竖直方向分解,根据平衡条件:水平方向 $F_{N1} \sin \theta = F_{N2} \sin \alpha$,竖直方向 $F_{N1} \cos \theta + F_{N2} \cos \alpha = mg$,解得 $F_{N1} = \frac{mg \sin \alpha}{\sin(\alpha + \theta)}$, $F_{N2} = \frac{mg \sin \theta}{\sin(\alpha + \theta)}$,故选D项。
7. A 【解析】A、B两点电荷在P点产生的电场叠加后为 $\frac{8kQ}{a^2}$,方向由B指向A,C和D两点电荷各自在P点产生的电场大小为 $\frac{4kQ}{3a^2}$,叠加后电场大小为 $\frac{8\sqrt{3}kQ}{9a^2}$,方向垂直ABN平面,与 \vec{DC} 平行,再对以上两个“合电场”叠加,得P点总电场强度大小为 $\frac{16\sqrt{21}kQ}{9a^2}$,其方向指向纸面外,且与ABC面夹角为锐角,A项正确;A、C两点电荷在M点产生的电场叠加后为 $\frac{3kQ}{a^2}$,再与B点电荷在M点产生电场叠加后为 $\frac{6kQ}{a^2}$,方向与有向线段 \vec{BM} 同向,D点电荷在M点产生的电场为 $\frac{3kQ}{2a^2}$,方向与有向线段 \vec{DM} 同向,故M点总电场强度大小为 $\frac{3\sqrt{17}kQ}{2a^2}$,其方向指向纸面外,且与ABC面夹角为锐角,B项错误;由于P点总电场强度方向指向纸面外,与ABC面夹角为锐角,故将正试探电荷沿直线由P移动到M,电场力做正功,电势能减少,C项错误;由于M点总电场强度方向指向纸面外,与ABC面夹角为锐角,故将正试探电荷沿直线由C移动到M,电场力做负功,电势能增加,D项错误。
8. BC 【解析】根据光电效应方程 $E_{km} = h\nu - W_0$, W_0 为逸出功,因入射光频率相同即 ν 相同,材料A逸出电子最大初动能 E_{kmA} 较低,故 $W_A = h\nu - E_{kmA} > W_B = h\nu - E_{kmB}$,A项错误,B项正确;又因 $E_{km} = eU_c$ (e 为电子电荷量, U_c 为遏止电压), $E_{kmA} < E_{kmB}$,故 $U_A < U_B$,C项正确,D项错误。
9. AC 【解析】电场中,由 $qU_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$,得 $U_0 = \frac{mv_0^2}{2q}$,A项正确;偏转电场中,偏转位移 $y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times \frac{qU}{md} \times \frac{L_1^2}{v_0^2}$,由 $\frac{y}{r} = \frac{\frac{1}{2}L_1}{\frac{1}{2}L_1 + L_2}$,得 $r = \frac{qUL_1(L_1 + 2L_2)}{2mdv_0^2}$,B项错误;由 $r = \frac{qUL_1(L_1 + 2L_2)}{2mdv_0^2}$ 可知,C项正确,D项错误。
10. ABD 【解析】碰后两薄板重力势能随高度变化图像斜率为 $2mg$,图像I的斜率为 $2kl$,即 $2mg = 2kl$,解得 $m = \frac{kl}{g}$,A项正确。从高度 H 下落,碰撞前速度 $v_0 = \sqrt{2gH}$,碰撞过程动量守恒 $mv_0 = 2mv$,碰后的动能

$E_{k1} = \frac{1}{2} \times 2mv^2 = mv^2$, 对两薄板从碰后到最低点, 由

能量守恒可得 $E_{k1} + E_{p1} + E_{p12} = E_{p2} + E_{p12}$, 由图像可知 $E_{p1} = 0.5kl^2$, $E_{p12} = 6kl^2$, $E_{p2} = 8kl^2$, $E_{p12} = 0$, 解得

$E_{k1} = 1.5kl^2$, 由 $m = \frac{kl}{g}$, 综上可得 H 为 $3l$, B 项正确。

碰后的最大速度处加速度为 0, 即 $2mg = kx$, 可得碰后

最大速度在压缩量 $x = \frac{2mg}{k} = 2l$ 处, 所以最大速度在

两板碰撞后下落 l 处。从两板碰到最大速度时由动

能定理可得 $2mgl - \frac{kl + 2kl}{2}l = \frac{1}{2} \times 2mv_m^2 - \frac{1}{2} \times$

$2mv^2$, 解得 $v_m = \sqrt{2gl}$, C 项错误。碰后假设最高点处

弹簧已恢复原长, 从最低点到最高点由能量守恒可得

$E_{p2} = E_{p12}$, 即 $8kl^2 = 2mgh$, 解得 $h = 4l$, 恰好恢复原长,

假设成立, 位置在 O 点上方 $4l - 3l = l$ 处, D 项正确。

二、非选择题

11. (1) 10 (2 分)

(2) D (2 分)

(3) 实线 (2 分)

【解析】 (1) 经过浮漂两次为一个周期, 故经过了 10 个周期。

(2) 根据图 (b), 所得图线斜率约为 -0.5 , 故 $\ln \rho$ 与 $\ln T$ 之间的关系近似满足 $\ln \rho = -0.5 \ln T + C$ (其中 C 为常数), 从而可以推知 ρ 与 T 之间的近似关系为 $\rho \propto \frac{1}{T^2}$ 。

(3) 当比重计平衡后, 给其一向下推力后, 设比重计会下沉 x , 然后在浮力的作用下, 再上浮, 比重计做往复小振动的回复力由增加的浮力提供, 为 $F_{回} = -\rho g \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 x$, 即 $F_{回} = -kx$, 回复力系数为 $k =$

$\rho g \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$, 证明此振动为简谐运动, 所有简谐运动的周期均与其振幅无关, 所以图像不变仍为实线。

12. (1) 2 500 (2 分)

(2) 0.514 (2 分) 857 (2 分)

(3) 水果电池的内阻较大 (或改装的电压表内阻不够大, 或水果电池的内电压较大, 导致路端电压变小等) (2 分, 三种表述中回答正确一项原因即可得 2 分)

【解析】 (1) $R_{中} = \frac{U}{I} - R_g = \frac{0.6}{0.2 \times 10^{-3}} - 500 \Omega = 2500 \Omega$ 。

(2) 由 $E = I(R_g + R_{中}) + \left[I + \frac{I(R_g + R_{中})}{R} \right] r$ 得, $\frac{1}{I} = \frac{3000+r}{E} + \frac{3000r}{E} \cdot \frac{1}{R}$, 由图像可知, $\frac{3000r}{E} =$

$\frac{(10.0-7.5) \times 10^3}{5.0 \times 10^{-1}} \cdot \frac{3000+r}{E} = 7.5 \times 10^3$, 得 $E \approx 0.514 V$,

$r \approx 857 \Omega$ 。

13. (1) 7 m/s^2 方向竖直向上 20 s

(2) $8.4 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{s}$

【解析】 (1) 设匀减速运动时间为 t_1 , 位移为 x_1 ; 匀速运动时间为 t_2 , 位移为 x_2

在匀减速阶段 $v_2 = v_1 + at_1$ (1 分)

$x_1 = \frac{v_1 + v_2}{2} t_1$ (1 分)

匀速阶段 $x_2 = v_2 t_2$ (1 分)

总位移 $x_1 + x_2 = H$, 总时间 $t_1 + t_2 = t$ (1 分)

联立解得 $t_2 = 20 \text{ s}$, $a = -7 \text{ m/s}^2$ (1 分)

匀减速加速度大小 $a = 7 \text{ m/s}^2$, 方向竖直向上 (2 分)

(2) 根据动量定理, 合外力冲量等于动量变化量 $I = |\Delta p|$ (1 分)

$\Delta p = mv_2 - mv_1$ (1 分)

解得合外力冲量大小 $I = 8.4 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{s}$ (1 分)

14. (1) $Q = 4R(T_2 - T_1)$

(2) $\frac{Q}{4x}$

【解析】 (1) 在给底部汽缸传递热量前, 设底部汽缸内压强为 p_1 , 由理想气体性质可知, 顶部汽缸内压强也为 p_1 , 故

$p_1 S_1 x = RT_1 \text{ ①}$ (1 分)

由题意可知, 当热量缓慢传递给底部汽缸, 两汽缸温度同步升高, 且顶部汽缸内的气体对重活塞做功, 设热量传递结束后, 两活塞间距为 z , 则上述做功可表示为

$W = p_1 S(z - x) \text{ ②}$ (1 分)

利用能量均分定理, 两个汽缸中的气体总内能的增量为

$\Delta U = 2N_A \times 3 \times \frac{R}{2N_A} \times (T_2 - T_1) = 3R(T_2 - T_1) \text{ ③}$ (2 分)

故由热力学第一定律可知

$Q = p_1 S(z - x) + 3R(T_2 - T_1) \text{ ④}$ (1 分)

当热量传递结束后, 由于重活塞可无摩擦滑动, 故对顶部气体

$p_1 S z = RT_2 \text{ ⑤}$ (1 分)

将①式、⑤式代入④式可得

$Q = 4R(T_2 - T_1)$ (1 分)

(2) 设热量传递结束后, 底部汽缸内气体压强为 p_2 , 则

$p_2 S x = RT_2 \text{ ⑥}$ (1 分)

因此, 为维持轻活塞位置不变, 作用在轻活塞的摩擦力为

$$F_1 = (p_2 - p_1)S \quad (1 \text{ 分})$$

将①式、⑤式代入④式还可得

$$Q = 4p_1 S(z-x) \quad (1 \text{ 分})$$

联立⑤、⑥两式可得

$$p_2 = \frac{z}{x} p_1 \quad (1 \text{ 分})$$

联立⑦、⑧和⑨式解得

$$F_1 = \frac{Q}{4x} \quad (1 \text{ 分})$$

另解:(1)在给底部汽缸传递热量前,设底部汽缸内压强为 p_1 ,由理想气体性质可知,顶部汽缸内压强同为 p_1 ,系统吸热后,两活塞间距离变为 z ,由于上部分气体为等压过程,故由盖-吕萨克定律可得

$$\frac{p_1 Sx}{T_1} = \frac{p_1 Sz}{T_2} \quad (1 \text{ 分})$$

上部气体对外做功

$$W = p_1 S(z-x) \quad (1 \text{ 分})$$

由题意可知,上下两部分气体总内能增量为

$$\Delta U = 2N_A \times 3 \times \frac{R}{2N_A} \times (T_2 - T_1) = 3R(T_2 - T_1) \quad (2 \text{ 分})$$

故由热力学第一定律 $\Delta U = Q - W$ 得

$$Q = p_1 Sx \frac{T_2 - T_1}{T_1} + 3R(T_2 - T_1) \quad (1 \text{ 分})$$

又由题意可知

$$p_1 Sx = RT_1 \quad (1 \text{ 分})$$

联立①、②和③式,可得

$$Q = 4p_1 S(z-x) = 4R(T_2 - T_1) \quad (1 \text{ 分})$$

(2)底部汽缸的下部分气体为等容过程,设吸收热量后,气体压强为 p_2 ,由查理定律可得

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (1 \text{ 分})$$

对轻活塞,由题意可知其所受静摩擦力 F_1 为

$$F_1 = (p_2 - p_1)S \quad (1 \text{ 分})$$

联立⑤和⑥式可得

$$F_1 = \frac{p_1 S(T_2 - T_1)}{T_1} \quad (1 \text{ 分})$$

将③式、④式代入上式,解得

$$F_1 = \frac{Q}{4x} \quad (2 \text{ 分})$$

15. (1) $\frac{2mLv_0^2}{kq}$

(2) $\frac{(\sqrt{3}-1)mg}{q}$ 或 $\frac{(\sqrt{3}+1)mg}{q}$

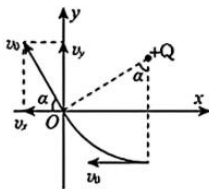
(3) $\frac{1}{8}mv_0^2$ $\frac{1}{5}mv_0^2$

【解析】(1)小球以 $2L$ 为半径做匀速圆周运动有

$$\frac{kQq}{(2L)^2} = \frac{mv_0^2}{2L} \quad (2 \text{ 分})$$

解得 $Q = \frac{2mLv_0^2}{kq}$ (1 分)

(2)小球在桌面上轨迹如图所示,由几何关系可得,小球从原点 O 离开桌面



设离开时速度与 x 轴负方向夹角为 α ,则 $\tan \alpha = \sqrt{3}$, $\alpha = 60^\circ$ (1 分)

小球离开桌面时,沿 x 轴负方向做匀速运动有 $v_x = v_0 \cos \alpha$ (1 分)

$$|x| = v_x t \quad (1 \text{ 分})$$

y 轴方向做匀减速运动有 $|v_y| = v_0 \sin \alpha$ (1 分)

$$|y| = \left| v_y t - \frac{1}{2} a_y t^2 \right| \quad (1 \text{ 分})$$

由牛顿第二定律得 $qE = ma_y$, (1 分)

z 轴负方向做自由落体运动有 $z = \frac{1}{2} g t^2$ (1 分)

联立以上各式得 $E = \frac{(\sqrt{3}-1)mg}{q}$ 或 $E = \frac{(\sqrt{3}+1)mg}{q}$ (2 分)

(每个结果 1 分)

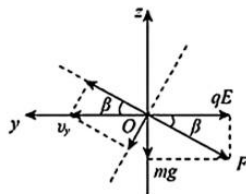
(3) y 轴方向速度减到 0 时,电场力做负功最多,小球机械能最小 (1 分)

故机械能最小值 $E_{\min} = \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{8} m v_0^2$ (1 分)

解得 $E_{\min} = \frac{1}{8} m v_0^2$ (1 分)

(利用电场力做负功,动能定理或其他方法也可得分)

小球在 x 轴负方向做匀速运动,在 yOz 面内做类斜抛运动



设重力与电场力的合力为 F , v_y 与 F 夹角为 β ,则

$$\tan \beta = \frac{1}{2} \quad (1 \text{ 分})$$

将 v_y 沿 F 方向和垂直 F 方向分解,当 F 方向速度减到 0 时,动能最小,即

$$E_{k\min} = \frac{1}{2} m v_0^2 + \frac{1}{2} m (v_y \sin \beta)^2 \quad (1 \text{ 分})$$

解得 $E_{k\min} = \frac{1}{5} m v_0^2$ (1 分)

(利用动能表达式通过数学方法求极值也可得分)