参考答案与详解

2021 年普通高等学校招生全国统一考试（全国乙卷） · 物理

本站自编 | 共 16 题

本题答案与解析由逐光知理物理教研组依据原卷独立编撰，选择题给出答案键，非选择题给出关键公式与演算过程，供校核使用。公式与物理量按 *Times New Roman* 斜体排版。

1 B	**2** A	**3** B	**4** C	**5** B	**6** BC
7 AD	**8** BCD	**13** AB			

1．答案：B

地面光滑，系统在水平方向不受外力，动量守恒；滑块与车厢底板间有相对滑动，摩擦力做负功，把机械能转化为内能，机械能不守恒。故选 B。

说明：摩擦生热只消耗机械能，不影响内力决定的动量守恒。

2．答案：A

【考点】平行板电容器 $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$，$U=\frac{Q}{C}$；导体达到静电平衡后内部场强为零，整个导体是等势体。

【审题】接地金属平板上方固定一负电荷，静电感应使板面出现感应电荷，板上方等势面如图（b）虚线所示，相邻等势面间电势差相等；把同一正试探电荷先后放在 M、N 两处，比较电场力 F 与电势能 E_p。解题时先由等势面疏密判断场强大小，再由靠近负电荷一侧电势更低判断电势高低，最后用电势能公式定 E_p。

【解析】等势面越密处场强越大。由图（b），N 处等势面比 M 处密，故 $E_N>E_M$，同一正试探电荷在 N 处受力较大，即 $F_M<F_N$。接地金属板是等势体且电势为零，板上方的电场由负电荷与板面感应电荷共同产生，沿电场线方向电势降低，越靠近负电荷处电势越低，故 $\varphi_N<\varphi_M<0$。正电荷的电势能 $E_p=q\varphi$（$q>0$），所以 $E_{pM}>E_{pN}$。两项合起来为 $F_M<F_N$、$E_{pM}>E_{pN}$，A 正确；B、C、D 中至少有一项与上述判断相反。

【选项研判】正确选项为 A；其余选项与上述物理判断不符，逐一排除。

【答案】A

【模型提炼】静电场题按“场强—电势—电势能—做功”顺序分析。

【易错提醒】负电荷在电势高处电势能反而小；电场线弯曲时，粒子轨迹一般不与电场线重合。

3．答案：B

考点：带电粒子在圆形匀强磁场中的偏转（磁发散）。

A. $\frac{1}{2}$——错误：粒子沿直径方向射入半径为 R 的圆形磁场，出射速度偏转角 θ 满足 $\tan\frac{\theta}{2}=\frac{R}{r}$（$r=\frac{mv}{qB}$ 为轨迹半径）。$\theta_1=90^\circ$：$r_1=\frac{R}{\tan 45^\circ}=R$；$\theta_2=60^\circ$：$r_2=\frac{R}{\tan 30^\circ}=\sqrt{3}R$；$\frac{v_1}{v_2}=\frac{r_1}{r_2}=\frac{1}{\sqrt{3}}\neq\frac{1}{2}$。

B. $\frac{\sqrt{3}}{3}$——正确：由上，$\frac{v_1}{v_2}=\frac{r_1}{r_2}=\frac{R}{\sqrt{3}R}=\frac{\sqrt{3}}{3}$，偏转角越大轨迹半径越小，速度越小。

C. $\frac{\sqrt{3}}{2}$——错误：该值对应 $\tan 30^\circ$ 与 $\tan 45^\circ$ 之比的错误运算，量纲上虽无问题但数值不满足上式。

D. $\sqrt{3}$——错误：把分子分母颠倒。偏转 90° 的粒子轨迹半径小、速度小，$v_1<v_2$，比值必小于 1。

答案：B

说明：'沿直径方向射入圆形磁场'的偏转角满足 $\tan(\theta/2)=R/r$，速度比即轨迹半径比。

4．答案：C

考点：放射性衰变图线与半衰期。

A. 67.3 d——错误：$\frac{m}{m_0}-t$ 图线上 $t=67.3$ d 时 $\frac{m}{m_0}=\frac{2}{3}$、$t=182.4$ d 时 $\frac{m}{m_0}=\frac{1}{3}$。67.3 d 只是剩余量为 $\frac{2}{3}m_0$ 的时刻，不是剩余量减半所经历的时间。

B. 101.0 d——错误：从 m_0 衰变到 $\frac{1}{2}m_0$ 才是一个半衰期，图上没有 $\frac{1}{2}$ 对应 101.0 d 的依据。

C. 115.1 d——正确：剩余量从 $\frac{2}{3}m_0$ 降到 $\frac{1}{3}m_0$ 恰好减半，对应时间间隔 $\Delta t=182.4-67.3=115.1$ d，这就是半衰期。

D. 124.9 d——错误：由 $\frac{m}{m_0}=(\frac{1}{2})^{t/T}$ 可知剩余量每减半需要相同的 115.1 d，图线数据只支持 $T=182.4-67.3=115.1$ d，124.9 d 与任何一段读数都对不上。

答案：C

5．答案：B

考点：开普勒第三定律估算黑洞质量。

A. 4×10^4M——错误：量级差了两个数量级：$\frac{M}{M_\odot}=\frac{a^3}{T^2}=\frac{1000^3}{16^2}\approx3.9\times10^6$，不可能低到 10^4。

B. 4×10^6M——正确：由观测位置图，S2 绕黑洞运动的周期约为 $T=16$ 年。以地球绕太阳为参照：$\frac{a^3}{T^2}=\frac{GM}{4\pi^2}$，对 S2 与地球（$a_0=1$ AU，$T_0=1$ 年，中心天体质量 M）相比得 $\frac{M}{M_\odot}=\frac{a^3/T^2}{a_0^3/T_0^2}=\frac{1000^3}{16^2}=\frac{10^9}{256}\approx3.9\times10^6\approx4\times10^6$。

C. 4×10^8M——错误：相当于误用了 $a=10^4$ AU 或周期取 1 年量级，与题给 1000 AU、$T\approx16$ 年不符。

D. $4\times10^{10}M$——错误：同样偏高：除非把半长轴取成 10^4 AU 量级才会得到 10^{10}，与题给 1000 AU 不符。

答案：B

6．答案：BC

考点：恒力启动—撤力滑行模型的功、冲量与摩擦因数。

A. 在此过程中 F 所做的功为 $\frac{1}{2}mv_0^2$——错误：撤力后滑行 $2s_0$ 停止：$\frac{1}{2}mv_0^2=\mu mg\cdot2s_0$，故摩擦力 $f=\mu mg=\frac{mv_0^2}{4s_0}$。拉力阶段动能定理：$W_F-fs_0=\frac{1}{2}mv_0^2$，所以 $W_F=\frac{1}{2}mv_0^2+\frac{1}{4}mv_0^2=\frac{3}{4}mv_0^2\neq\frac{1}{2}mv_0^2$。

B. 在此过程中 F 的冲量大小等于 $\frac{3}{2}mv_0$——正确：加速段平均速度为 $\frac{v_0}{2}$，$t_1=\frac{s_0}{v_0/2}=\frac{2s_0}{v_0}$。对拉力过程用动量定理：$I_F-ft_1=mv_0$，$I_F=mv_0+\frac{mv_0^2}{4s_0}\cdot\frac{2s_0}{v_0}=mv_0+\frac{1}{2}mv_0=\frac{3}{2}mv_0$。

C. 动摩擦因数等于 $\frac{v_0^2}{4s_0g}$——正确：由 $\frac{1}{2}mv_0^2=\mu mg\cdot2s_0$ 解得 $\mu=\frac{v_0^2}{4s_0g}$。

D. F 的大小等于滑动摩擦力的 2 倍——错误：$F=\frac{W_F}{s_0}=\frac{3mv_0^2}{4s_0}=3f$，是滑动摩擦力的 3 倍而不是 2 倍。

答案：BC

说明：撤力前后两段用动能定理接力，摩擦力在两段中大小相同是解题枢纽。

7．答案：AD

考点：带电粒子在匀强电场中的类平抛轨迹与荷质比。

A. 一条向上、两条向下，向上曲线与较深向下曲线镜像对称——正确：粒子做类平抛运动，$y=\frac{qE}{2m}(\frac{x}{v})^2$，偏转大小 $|y|\propto\frac{q}{m}$，四个粒子的 $\frac{q}{m}$ 为 1¤$\frac{1}{2}$¤1¤-1，$(+q,m)$ 与 $(+3q,3m)$ 轨迹重合只能出现一条。图 A 对应电场沿 $-y$：向下两条中偏转大的一条是 $(+q,m)$ 与 $(+3q,3m)$ 的重合轨迹，偏转减半靠近 x 轴的是 $(+q,2m)$，向上的是 $(-q,m)$；图中三条曲线偏转比约为 $1:\frac{1}{2}:1$（上、下镜像对称），符合规律。

B. 向上曲线明显比向下曲线偏转小——错误：B 图中向上的 $(-q,m)$ 轨迹偏转只有向下主轨迹的一半左右，而 $(-q,m)$ 的 $|\frac{q}{m}|=1$，应与向下的主轨迹镜像对称，图不符。

C. 向下画出三条分离曲线——错误：$(+q,m)$ 与 $(+3q,3m)$ 的 $\frac{q}{m}$ 相同，轨迹必须重合为一条，向下只能有两条曲线，C 画成三条，不符。

D. 两条向上、一条向下且镜像对称——正确：对应电场沿 $+y$：向上两条中偏转大的一条为 $(+q,m)$ 与 $(+3q,3m)$ 重合轨迹、偏转减半的为 $(+q,2m)$，向下一条为 $(-q,m)$；图 D 中偏转比约为 $1:\frac{1}{2}:1$ 且上下对称，符合规律。

答案：AD

说明：关键是'同荷质比轨迹重合'与'上下镜像对称'两条，二者同时满足的图才可能正确。

8．答案：BCD

考点：板—块模型中拉力变化下的临界力与运动阶段分析。

A. $F_1=\mu_1 m_1 g$——错误：t_1 时刻整体恰好开始相对地面滑动，需克服地面给木板的摩擦力，正压力是 $(m_1+m_2)g$，故 $F_1=\mu_1(m_1+m_2)g$，而不是只含木板质量的 $\mu_1 m_1 g$。

B. $F_2=\frac{m_2(m_1+m_2)}{m_1}(\mu_2-\mu_1)g$——正确：$t_1\sim t_2$ 阶段两者相对静止一起加速：整体 $a=\frac{F-\mu_1(m_1+m_2)g}{m_1+m_2}$；物块 $F-f=m_2 a$，f 为静摩擦。t_2 时刻 f 达到最大 $\mu_2 m_2 g$，联立解得 $F_2=\mu_2 m_2 g+m_2 a$，代入 a 整理得 $m_1 F_2=m_2(m_1+m_2)g(\mu_2-\mu_1)$，即 $F_2=\frac{m_2(m_1+m_2)}{m_1}(\mu_2-\mu_1)g$。

C. $\mu_2>\frac{m_1+m_2}{m_2}\mu_1$——正确：图(c)显示木板从 t_1 起先随物块一起加速、t_2 后恒定，说明 $F_2>F_1$（物块相对木板滑动发生在整体滑动之后）。由 $F_2>F_1$ 得 $\frac{m_2(m_1+m_2)}{m_1}(\mu_2-\mu_1)g>\mu_1(m_1+m_2)g$，化简恰为 $\mu_2>\frac{m_1+m_2}{m_2}\mu_1$；若不满足此式，物块先滑动而木板所受滑动摩擦不足以令木板运动，与图(c)矛盾。

D. 在 $0\sim t_2$ 时间段物块与木板加速度相等——正确：$0\sim t_1$ 两者均静止，加速度都为 0；$t_1\sim t_2$ 两者相对静止一起加速，加速度相同；故整个 $0\sim t_2$ 时间段二者加速度相等（t_2 之后物块相对滑动，加速度才不同）。

答案：BCD

说明：本题按图(c)所示'先共同加速、后物块相对滑动'的情景推演；C 项正是该情景成立的前提条件。

9．答案：（1）1.0，2.0 （2）9.7

第（1）空（水平分量）：水平方向匀速，$v_x=\frac{\Delta x}{T}=\frac{0.05}{0.05}=1.0$ m/s。

第（1）空（竖直分量）：竖直方向用中间时刻速度公式，

$v_y=\frac{(11.0+8.6)\times10^{-2}}{2\times0.05}=2.0$ m/s。

第（2）空：竖直方向逐差，

$g=\frac{(13.4+11.0-8.6-6.1)\times10^{-2}}{4\times0.05^2}\approx9.7$ m/s^2。

答案：（1）水平分量 1.0 m/s，竖直分量 2.0 m/s；（2）9.7 m/s²。

10．答案：（1）15.0

（3）$\frac{1}{U}=\frac{R_0+R_V}{ER_0R_V}R+\frac{1}{E}+\frac{(R_0+R_V)r}{ER_0R_V}$

（5）1.54，1.1

（6）5.19

第（1）问：电压表与 R_0 并联，等效电阻

$R_{\mathrm{b}}=\frac{R_0R_V}{R_0+R_V}=\frac{20.0\times380.0}{400.0}=19.0\ \Omega$。

为使电压表不超过 1 V，干路电流不得超过约 0.053 A；电源电动势约 1.5 V、内阻小于 2 Ω，故电阻箱至少约 7.5 Ω，应选 15.0 Ω。

第（3）问：设并联部分电压为 U，干路电流 $I=U/R_{\mathrm{b}}$，由闭合电路欧姆定律 $E=I(R+r+R_{\mathrm{b}})$，消去 I 得

$\frac{1}{U}=\frac{R_0+R_V}{ER_0R_V}R+\frac{1}{E}+\frac{(R_0+R_V)r}{ER_0R_V}$。

第（5）问：图线斜率

$k=\frac{1.46-0.86}{22.5-5.0}=\frac{1}{19E}$，得 $E\approx1.54$ V；

截距 $0.86=\frac{1}{E}+\frac{19+r}{19E}$，得 $r\approx1.1\ \Omega$。

第（6）问：若把电压表视为理想表，图线斜率为 $\frac{1}{20E}$，由斜率得 $E'\approx1.46$ V，

误差 $|\frac{E'-E}{E}|\times100\%\approx5.19\%$。

11．答案：（1）$W=4.5$J

（2）$F=9$N

（1）第一次下落：$mgh_1=\frac{1}{2}mv_1^2$；反弹：$mgh_2=\frac{1}{2}mv_2^2$。

碰撞前后动能比为 $\frac{E_1}{E_2}=\frac{h_1}{h_2}=\frac{3}{2}$。

第二次下落并拍球：$W+mgh_3=\frac{1}{2}mv_3^2$；反弹到同高度：$mgh_3=\frac{1}{2}mv_4^2$。

由 $\frac{E_4}{E_3}=\frac{2}{3}$，得 $\frac{mgh_3}{W+mgh_3}=\frac{2}{3}$，解得

$W=\frac{1}{2}mgh_3=4.5$ J。

（2）拍球时恒力向下，篮球做匀加速直线运动：$F+mg=ma$，$x=\frac{1}{2}at^2$，$W=Fx$。

消去 a 得 $F^2+mgF-\frac{2mW}{t^2}=0$，代入数据解得 $F=9$ N（负根舍去）。

12．答案：（1）0.18 N

（2）$m=0.02$ kg，$\mu=\frac{3}{8}$

（3）$x_2=\frac{5}{18}$ m

第（1）问：进入磁场前，棒与框一起以

$a_0=g\sin\alpha=6$ m/s² 下滑，$v_1^2=2a_0s_1$，得 $v_1=1.5$ m/s。

进入磁场后棒匀速，$E=BLv_1$，$I=E/R$，$F_A=BIL=\frac{B^2L^2v_1}{R}=0.18$ N。

第（2）问：棒匀速时 $mg\sin\alpha+\mu mg\cos\alpha=F_A$，得 $\mu=0.375$。

框在棒离开磁场前做匀加速运动，$Mg\sin\alpha-\mu mg\cos\alpha=Ma_1$，得 $a_1=5$ m/s²；

EF 边进入磁场时 $v_2^2-v_1^2=2a_1s_0$，得 $v_2=2.5$ m/s。

此后棒加速，$a_2=g\sin\alpha+\mu g\cos\alpha=9$ m/s²；框在磁场中匀速。

第（3）问：棒从 1.5 m/s 加速到 2.5 m/s 所需

$t_1=\frac{v_2-v_1}{a_2}=\frac{1}{9}$ s。此阶段框匀速，故

$x_2=v_2t_1=2.5\times\frac{1}{9}=\frac{5}{18}$ m。

13．答案：ABE

A．由理想气体的 $p-V$ 图可知，理想气体经历 ab 过程，体积不变，则 $W=0$，而压强增大，由 $pV=nRT$ 可知，理想气体的温度升高，则内能增大，由 $\Delta U=Q+W$ 可知，气体一直吸热，故 A 正确；

BC．理想气体经历 ca 过程为等压压缩，则外界对气体做功 $W>0$，由 $pV=nRT$ 知温度降低，即内能减少 $\Delta U<0$，由 $\Delta U=Q+W$ 可知，$Q<0$，即气体放热，故 B 正确，C 错误；

DE．由 $pV=nRT$ 可知，$p-V$ 图像的坐标围成的面积反映温度，b 状态和 c 状态的坐标面积相等，而中间状态的坐标面积更大，故 bc 过程的温度先升高后降低，故 D 错误，E 正确。

故选 ABE。

14．答案：$\Delta h=1\text{cm}$

对 B 管中的气体，水银还未上升产生高度差时，初态为压强 $p_{1B}=p_0$，体积为 $V_{1B}=l_2S$，末态压强为 p_{2B}，设水银柱离下端同一水平面的高度为 h_2，体积为 $V_{2B}=(l_2-h_2)S$，由水银柱的平衡条件有 $p_{2B}=p_0+\rho gh$。B 管气体发生等温压缩，有 $p_{1B}V_{1B}=p_{2B}V_{2B}$，联立解得 $h_2=2\text{cm}$。

对 A 管中的气体，初态为压强 $p_{1A}=p_0$，体积为 $V_{1A}=l_1S$，末态压强为 p_{2A}，设水银柱离下端同一水平面的高度为 h_1，则气体体积为 $V_{2A}=(l_1-h_1)S$，由水银柱的平衡条件有 $p_{2A}=p_0+\rho g(h+h_2-h_1)$。A 管气体发生等温压缩，有 $p_{1A}V_{1A}=p_{2A}V_{2A}$，联立可得 $2h_1^2-191h_1+189=0$，解得 $h_1=1\text{cm}$ 或 $h_1=\frac{189}{2}\text{cm}>l_1$（舍去）。则两水银柱的高度差为 $\Delta h=h_2-h_1=1\text{cm}$。

15．答案：0.5；0.4；1.2

（1）若波沿 x 轴正方向传播，0.3 s 内波形移动 0.15 m，故

$v_1=0.5\text{ m/s}$，$T_1=\frac{\lambda}{v_1}=0.4\text{ s}$。

（2）若波沿 x 轴负方向传播，0.3 s 内波形移动 0.05 m，故

$v_2=\frac{1}{6}\text{ m/s}$，$T_2=\frac{\lambda}{v_2}=1.2\text{ s}$。

16．答案：（1）$\sqrt{2}$ （2）15°

（1）由几何关系，

$$\sin\alpha=\frac{AM}{\sqrt{AM^2+MO^2}}=\frac{10.0}{\sqrt{10.0^2+20.0^2}}=\frac{\sqrt{5}}{5},$$

$$\sin\beta=\frac{s}{\sqrt{s^2+h^2}}=\frac{5.0}{\sqrt{5.0^2+15.0^2}}=\frac{\sqrt{10}}{10},$$

故玻璃砖的折射率 $n=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\sqrt{2}$。

（2）入射角为 45° 时，设折射角为 γ，由折射定律

$\sin\gamma=\frac{\sin 45^\circ}{n}$，得 $\gamma=30^\circ$。

光在下表面恰好发生全反射，临界角 C 满足 $\sin C=\frac{1}{n}$，得 $C=45^\circ$。

由几何关系 $\theta+30^\circ=C$，故玻璃砖上下表面的夹角 $\theta=15^\circ$。

