逐光知理 · 高考物理参考答案与详解

西城区高三统一测试试卷 物理 2026.4

参考答案与详解（本站独立编撰）

北京市西城区2026届高三一模（统一测试） · 14 单选 + 2 实验 + 4 计算 · 100 分

本册答案与解析由逐光知理物理教研组独立编撰，全部推导、数值回代与图示均为本站自行完成，供学习参考。原卷为扫描件，个别图中读数按本站对卷面的判读给出，若与印刷值不符以卷面为准。

答案速查

1 **A**	2 **B**	3 **B**	4 **A**	5 **C**	6 **D**
7 **C**	8 **C**	9 **A**	10 **A**	11 **D**	12 **D**
13 **B**	14 **D**				

题号	主考点	答案摘要
15	测玻璃折射率、多用电表使用与电容器放电	（1）$n=\dfrac{PM}{QN}$　（2）AEDC　（3）=；C
16	用单摆测重力加速度与力传感器验证机械能守恒	（1）AD　（2）19.8 mm　（3）$g=\dfrac{4\pi^2n^2\left(l+\dfrac{d}{2}\right)}{t^2}$　（4）$F_1+2F_2=3F_0$（即 $2(F_0-F_2)=F_1-F_0$）
17	平抛运动与竖直上抛的能量关系	（1）$x=10\,\mathrm{m}$　（2）a. $v=4\,\mathrm{m/s}$；b. $E_k=28.8\,\mathrm{J}$
18	电磁阻拦中的动量守恒、安培力与能量转化	（1）a. $v=\dfrac{Mv_0}{M+m}$；b. $I=\dfrac{BLMv_0}{(M+m)R}$　（2）$E_{电}=\dfrac{M^2v_0^2}{2(M+m)}-fx$
19	动能定理与动压 q-h 关系的建模估算	（1）$W=-Mg(h_1+h_2)$　（2）a. $q(h)=a\left(\rho_0 h-\Delta\rho\, h^2\right)$，图像为开口向下的抛物线；b. $F=9mg+\dfrac{\pi d^2a\rho_0^2}{16\Delta\rho}$
20	带电粒子加速、电子束冲击力与储存环中磁场的时变规律	（1）a. $U=\dfrac{E_k}{e}$；b. $F=nmv$，$\alpha=1$　（2）$B(t)=\dfrac{E_0}{ecR}-\dfrac{\Delta E\,t}{2\pi eR^2}$

第一部分 单项选择题（每题3分，共42分）

1. 选择题 · 3分

答案 A

详解

A. √ A（质子）

核反应 $^{14}_{7}\mathrm{N}+{}^{4}_{2}\mathrm{He}\rightarrow{}^{17}_{8}\mathrm{O}+X$。由电荷数守恒 $7+2=8+Z_X$ 得 $Z_X=1$；由质量数守恒 $14+4=17+A_X$ 得 $A_X=1$。电荷数1、质量数1的粒子即质子 $^{1}_{1}\mathrm{H}$，故 X 为质子。

B. × B（中子）

中子的电荷数为0、质量数为1，与 $Z_X=1$ 不符，排除。

C. × C（电子）

电子的电荷数为−1、质量数为0（$^{2^0}_{-1}\mathrm{e}$），与守恒结果不符，排除。

D. × D（氘核）

氘核 $^{2}_{1}\mathrm{H}$ 电荷数为1但质量数为2，与 $A_X=1$ 不符，排除。

---

2. 选择题 · 3分

答案 B

详解

A. × A（折射现象）

折射是光进入另一种介质时传播方向偏折的现象，不产生明暗相间的条纹，与题述现象不符。

B. √ B（衍射现象）

通过一条狭缝观察日光灯，白光经单缝后不同波长的光衍射程度不同，形成彩色条纹，这是典型的单缝衍射现象。

C. × C（干涉现象）

干涉需要两列相干光（如双缝、薄膜两个反射面），单缝不属于干涉装置，排除。

D. × D（偏振现象）

偏振反映光的横波性，需借助偏振片观察，与彩色条纹无关，排除。

---

3. 选择题 · 3分

> **答案** B

详解

A. × A（压强变小）

水柱缓慢移动时，瓶内气体压强始终与大气压加水柱产生的压强平衡，即 $p = p_0 + \rho g h$（h 为水柱两端高度差），基本不变，不会变小，排除。

B. √ B（内能增大）

手捂烧瓶，热量传入瓶内气体，气体温度升高；一定质量气体温度升高则分子平均动能增大、内能增大。同时气体推动水柱缓慢外移，体积膨胀对外做功，由热力学第一定律 $\Delta U = W + Q$，$Q > 0$、$W < 0$ 且吸热大于做功，内能增大。故 B 正确。

C. × C（对外界不做功）

水柱向外移动说明气体体积膨胀，气体推动水柱对外做功 $W < 0$，排除。

D. × D（分子平均动能不变）

温度是分子平均动能的标志，气体吸热升温，分子平均动能增大，排除。

---

4. 选择题 · 3分

> **答案** A

详解

A. √ A（图示位置电动势为20 V）

由 $e = 20\sin(100\pi t)$ V 知电动势峰值 $E_m = 20$ V。图示时刻线圈平面与磁感线平行（垂直于中性面），磁通量为零但磁通量变化率最大，感应电动势恰为峰值 20 V，正确。

B. × B（AB 边不受安培力）

此时回路中感应电流最大，AB 边与磁感线垂直，所受安培力 $F = BI_{\mathrm{m}}L$ 最大而不为零，排除。

C. × C（电动势有效值为20 V）

正弦交变电流有效值 $E = \dfrac{E_m}{\sqrt{2}} = \dfrac{20}{\sqrt{2}}\ \mathrm{V} \approx 14.1\ \mathrm{V}$，不是20 V，排除。

D. × D（频率为100 Hz）

由 $\omega = 100\pi$ rad/s 得 $f = \dfrac{\omega}{2\pi} = \dfrac{100\pi}{2\pi} = 50\ \mathrm{Hz}$，排除。

---

5. 选择题 · 3分

答案 C

详解

A. × A（波速为1.0 m/s）

由图1读出波长 $\lambda = 1.0\,\mathrm{m}$，由图2读出周期 $T = 2\,\mathrm{s}$，则 $v = \dfrac{\lambda}{T} = \dfrac{1.0}{2}\,\mathrm{m/s} = 0.5\,\mathrm{m/s}$，不是1.0 m/s，排除。

B. × B（经过一个周期质点 P 向右运动到 $x = 1.5\,\mathrm{m}$）

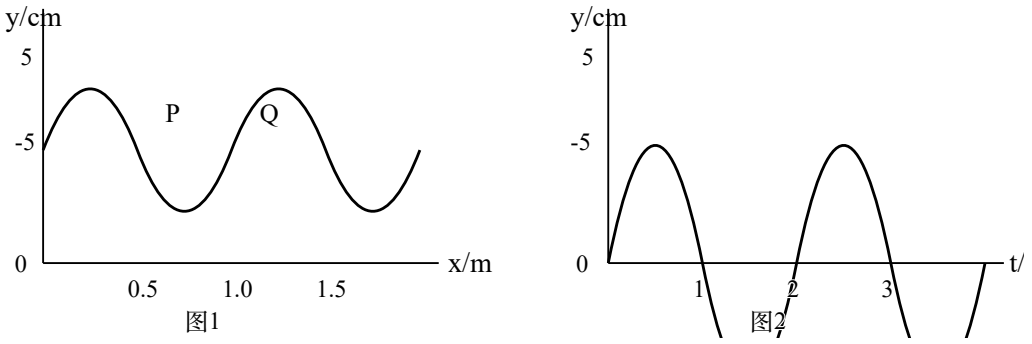
横波中质点只在各自平衡位置附近振动，不随波迁移，一个周期后 P 仍回到原位置，排除。

C. √ C（图2为质点 P 的振动图像）

波沿 x 正方向传播，$t = 0$ 时刻由波形图可知 P 点位于平衡位置且下一时刻向上振动（其处波形斜率为负，$v_y = -v\dfrac{\partial y}{\partial x} > 0$）；图2显示质点 $t = 0$ 时恰在平衡位置并向上振动，两者一致，且 P 到相邻同相点的间距与图2周期自洽，故图2为 P 的振动图像，正确。

D. × D（P、Q 振动步调完全一致）

由图1可知 P、Q 沿传播方向相距约半个波长的奇数倍（$\Delta x \approx \dfrac{\lambda}{2}$），两质点振动步调恰好相反，排除。



题5图：波形图与振动图像（示意重绘）

6. 选择题 · 3分

答案 D

详解

A. × A（角速度能求出）

小球 n 圈用时 t，则 $\omega = \dfrac{2\pi n}{t}$，可以直接算出。

B. × B（线速度能求出）

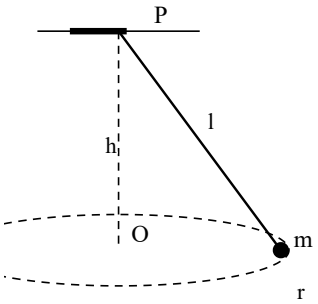
轨道半径由几何关系确定：$r = \sqrt{l^2 - h^2}$，故线速度 $v = \omega r = \dfrac{2\pi n}{t}\sqrt{l^2 - h^2}$，可求。

C. × C（向心加速度能求出）

向心加速度 $a = \omega^2 r = \dfrac{4\pi^2 n^2}{t^2}\sqrt{l^2 - h^2}$；也可由受力得 $a = g\dfrac{r}{h}$，两式一致，可求。

D. √ D（细线拉力不能求出）

拉力 $T=\dfrac{mg}{\cos\theta}=\dfrac{mgl}{h}$，其中小球质量 m 题目未给出，故细线拉力无法算出，选 D。



题6图：圆锥摆示意（重绘）

7. 选择题 · 3分

> **答案** C

详解

A. × A（在轨道1的A点加速进入轨道2）

轨道2为返回用的椭圆轨道，其近地点 B 更靠近地球，轨道2在 A 点的运行需要的是低于轨道1圆速度的速度（做近心运动），故应在 A 点减速点火进入轨道2，加速将进入更高轨道，排除。

B. × B（轨道2和轨道1的机械能相等）

变轨时发动机点火做功，飞船在轨道2上的机械能与轨道1上不同（减速进入低轨道则机械能减小），排除。

C. √ C（从 A 向 B 运动过程中动能增大）

轨道2上从远地点 A 向近地点 B 无动力飞行时，万有引力与速度方向夹角为锐角，引力做正功，动能增大、势能减小，正确。

D. × D（从 A 向 B 运动过程中加速度减小）

加速度 $a=\dfrac{GM}{r^2}$，从 A 到 B 距离 r 减小，加速度增大，排除。

8. 选择题 · 3分

> **答案** C

详解

A. × A（加速过程中摩擦力越大）

加速阶段行李与传送带间为滑动摩擦力 $f=\mu mg$，只由动摩擦因数和压力决定，与传送带速度无关，排除。

B. × B（匀速过程中摩擦力越大）

匀速阶段行李与传送带相对静止且无相对运动趋势，摩擦力为零，与速度无关，排除。

C. √ C（行李加速运动的位移越大）

加速阶段加速度 $a=\mu g$ 恒定，行李加速到与传送带共速所需时间 $t=\dfrac{v}{\mu g}$，加速位移 $x=\dfrac{v^2}{2\mu g}$，随传送带速度 v 增大而增大，正确。

D. × D（行李匀速运动的时间越长）

传送带总长一定，加速位移越大，则剩余做匀速运动的距离越短，匀速时间 $t_2=\dfrac{L-x}{v}$ 反而越短，排除。

---

9. 选择题 · 3分

> **答案** A

详解

A. √ A（安培力始终做负功）

由楞次定律的“来拒去留”，感应电流的效果总是阻碍线圈与磁场的相对运动，线圈下落时安培力的合力始终向上，与运动方向相反，故下落全程安培力始终做负功，正确。

B. × B（机械能先减小后增大）

除重力外只有安培力做功且始终做负功，线圈的机械能一直减少，不存在增大阶段，排除。

C. × C（在B位置感应电流为0）

在 B 处磁感线与线圈平面平行，磁通量 $\Phi=0$，但下落过程中磁通量由正变负经过零点，此时磁通量变化率 $\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 最大，感应电流最大而不为零，排除。

D. × D（俯视电流先逆时针后顺时针）

线圈在 N 极上方时磁通的竖直分量为某一定方向且随下落减小，过 B 后该分量反向增大；由楞次定律，两阶段的感应磁场方向相同，俯视看感应电流方向保持不变（并非先逆后顺），排除。

---

10. 选择题 · 3分

> **答案** A

详解

A. √ A（粒子带负电）

粒子自 ad 边中点垂直于 ad 向下射入，在垂直纸面向内的磁场中向 b（左侧）偏转，即洛伦兹力指向入射方向的左侧。由左手定则：磁感线穿入掌心、四指指向速度方向时，负电荷受力指向四指的反方向一侧，与向左偏转相符，故粒子带负电，正确。

B. × B（磁场中运动时间大于电场中）

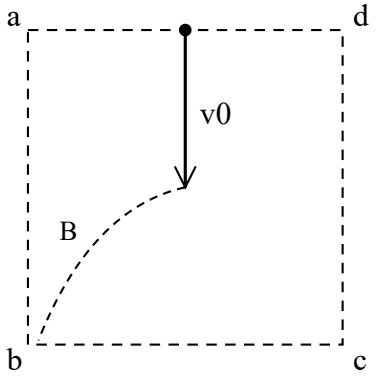
磁场中粒子做匀速圆周运动，速率不变。由几何关系，入射点向下偏左出射于 b，轨道半径 $R=\dfrac{5L}{8}$（L 为正方形边长，$R^2=(L/2)^2+(R-L)^2$），圆心角 θ 满足 $\sin\theta=\dfrac{L/2}{R}=0.8$，$\theta\approx53^\circ$，弧长 $s=R\theta\approx0.58L$，故 $t_{磁}=\dfrac{s}{v_0}\approx\dfrac{0.58L}{v_0}$。电场中沿入射方向做匀速直线运动，位移为 L，$t_{电}=\dfrac{L}{v_0}>t_{磁}$，磁场中时间反而更短，排除。

C. × C（射出磁场的速度大小等于射出电场的速度大小）

洛伦兹力不做功，射出磁场时速率仍为 v_0；电场力做正功，射出电场时动能增大、速率大于 v_0，两者不相等，排除。

D. × D（磁场中受力大小等于电场中受力大小）

磁场中受恒定的洛伦兹力 qv_0B，电场中受恒定的电场力 qE，两者由不同的条件（B、E）决定，没有必然相等关系，排除。



题10图：正方形区域与粒子轨迹示意（重绘）

11. 选择题 · 3分

答案 D

详解

A. × A（换质量较小的滑块）

先建模型：两电源串联给滑动变阻器 PQ 全长供电，PQ 两端电压恒为 $2E$，电压沿 PQ 均匀分布，滑片 M 对中点的电压变化 $\Delta U=2E\cdot\dfrac{x}{L_{PQ}}$，与变阻器总阻值无关；滑块受弹力 $2kx=ma$ 得 $x=\dfrac{ma}{2k}$，故灵敏度 $\dfrac{\Delta U}{\Delta a}=\dfrac{Em}{kL_{PQ}}$。灵敏度与 m 成正比，质量减小则灵敏度降低，不可行。

B. × B（换劲度系数较大的弹簧）

灵敏度与 k 成反比，k 增大则同样加速度下滑片位移变小、ΔU 变小，灵敏度降低，不可行。

C. × C（总阻值较大、PQ 长度不变）

电压分布只由电源电动势和 PQ 长度的比例决定，总阻值不影响 $\dfrac{\Delta U}{\Delta a}$，不可行。

D. √ D（总阻值不变、PQ 长度较小）

由 $\frac{\Delta U}{\Delta a}=\frac{Em}{kL_{PQ}}$，$L_{PQ}$ 减小则单位长度的电压变化增大，灵敏度提高，可行。选 D。

---

12. 选择题 · 3分

答案 D

详解

A. × A（踩压过程中系统机械能守恒）

踩压跳板时运动员肌肉做功，人体内的化学能转化为机械能，系统机械能增加，不守恒，排除。

B. × B（空中先超重后失重）

离开跳板后运动员只受重力，加速度恒为 g 竖直向下，全程处于完全失重状态，不存在超重阶段，排除。

C. × C（上升与下落过程重力的冲量相等）

上升时间 $t_{上}=\frac{v}{g}$（v 为离开跳板时的速率），而入水点在跳板下方 3 m 处，下落从最高点到水面的时间 $t_{下}=\sqrt{\frac{2(h'+3)}{g}}>t_{上}$（$h'$ 为跳板上方弹起高度），两段重力冲量 $I=mg\,t$ 大小不相等，排除。

D. √ D（入水减速至0过程中水的作用力冲量大于重力冲量）

入水减速过程中取向下为正，由动量定理 $mgt-I_{水}=0-mv_0$，得 $I_{水}=mgt+mv_0>mgt$，即水的作用力冲量大小大于重力冲量大小，正确。

---

13. 选择题 · 3分

答案 B

详解

A. × A（Q_1 正、Q_2 负且 $Q_2=-4Q_1$）

由等势线标值：Q_1 周围为 +1.2 V、+0.8 V 的闭合等势线，Q_1 为正电荷；Q_2 周围为 −0.4 V，Q_2 为负电荷，这部分正确。但由 $r=\frac{kQ}{|\varphi|}$，图上 −0.4 V 线的半径明显小于 1.2 V 线的半径，可估得 $|Q_2|<Q_1$，与 $Q_2=-4Q_1$ 矛盾，排除。

B. √ B（$x=6$ cm 处场强为0）

$x=6$ cm 位于 Q_2（$x=1$ cm）右侧 5 cm、Q_1（$x=-4$ cm）右侧 10 cm 处。Q_1（正）在此点的场强向右，Q_2（负）在此点的场强向左，方向相反；按图判读 $|Q_2|\approx\frac{Q_1}{4}$，则 $\frac{kQ_1}{10^2}=\frac{k|Q_2|}{5^2}$ 成立，两场强抵消，场强为零，正确。

C. × C（Q_2 变为2倍后 $x=-1.5$ cm 处电势变为0）

$x=-1.5$ cm 到两电荷距离均为 2.5 cm。若 $|Q_2|=Q_1/4$，则 $\varphi=\frac{kQ_1-k|Q_2|/2}{2.5\text{ cm}}\neq0$（需 $2|Q_2|=Q_1$ 才为零），排除。

D. × D（电荷量均变2倍后 U_{MN} 仍为0.4 V）

各点电势与场源电荷量成正比，Q_1、Q_2 均加倍后 M、N 两点电势各自加倍，电势差 U_{MN} 变为 0.8 V，排除。

本题涉及等势线图上间距的判读，本站按卷面图判读：Q_1 的 1.2 V 与 0.8 V 等势线半径之比约 2 : 3，Q_2 的 −0.4 V 等势线半径约为 1.2 V 线的 3/4，从而 $|Q_2| \approx Q_1/4$。若与原卷印刷刻度有出入，以卷面为准。

14. 选择题 · 3分

答案　D

详解

A. × A（区域1中光速大于区域2中光速）

由图1，光从区域1向4传播时折射角不断增大（光线逐渐远离法线），说明折射率逐渐减小、波速逐渐增大，即 $v_1 < v_2 < v_3 < v_4$，区域1中光速更小，排除。

B. × B（光由区域4射向区域3可能发生全反射）

发生全反射的条件是光从光密介质（折射率大、波速小）射向光疏介质。区域4波速大、折射率小，由4射向3是从光疏到光密，不可能全反射（由3射向4才可能），排除。

C. × C（声波由区域Ⅱ向区域Ⅰ传播过程中波长变短）

由图2，声速随深度先减小后增大，区域Ⅱ处声速最小，向区域Ⅰ传播时声速增大；声波频率由声源决定保持不变，由 $\lambda = \dfrac{v}{f}$ 知波长应变长，排除。

D. √ D（声波由区域Ⅱ向区域Ⅲ传播过程中可能发生全反射）

区域Ⅱ声速最小，向区域Ⅲ传播时声速增大，相当于声波从“波速小”的介质射向“波速大”的介质，入射角足够大时声线将弯折返回，发生类似全反射的现象，正确。

第二部分 实验题与计算题（共58分）

15. 实验题 · 8分

答案　（1）$n = \dfrac{PM}{QN}$　（2）AEDC　（3）=；C

详解

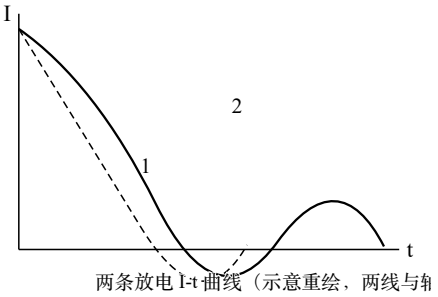
(1) 第（1）问 入射角与折射角的正弦可用同一圆上的垂线段表示：$\sin\theta_1 = \dfrac{PM}{R}$，$\sin\theta_2 = \dfrac{QN}{R}$（$R$ 为所画圆半径，两式分母相同），故折射率

$$n = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{PM}{QN}。$$

由于光从空气进入玻璃，$PM > QN$，$n > 1$，自洽。

(2) 第（2）问 欧姆表刻度右侧为0、左侧为∞，指针指在表盘中央附近读数最准确。待测电阻约 20 Ω，恰在表盘中央刻度附近，应选“×1”挡（选“×10”指针会偏到靠近0的右端，误差大）。正确顺序为：A（选“×1”挡）→ E（两表笔短接调零）→ D（接电阻测量读数后断开）→ C（拨到 OFF）。即 AEDC。

(3) 第（3）问 放电总电荷量等于电容器充电后所带电荷量 $Q = EC$，只改变电阻 R 时 Q 不变，两条 $I-t$ 曲线下的面积（电荷量）相等，故 $Q_1 = Q_2$。改变 R 只改变放电快慢：R 越大，初始电流 $I_0 = \dfrac{E}{R}$ 越小、放电时间越长，与曲线1、曲线2的差异吻合（曲线1初始电流小、延续时间长），而改变电动势或电容都会改变曲线下的面积，与面积相等矛盾。故发生改变的元件参数是 C（电阻 R 的阻值）。



题15(3)图：电容器放电 I-t 曲线示意（重绘）

16. 实验题 · 10分

答案　（1）AD　（2）19.8 mm　（3）$g = \dfrac{4\pi^2 n^2 \left(l + \dfrac{d}{2}\right)}{t^2}$　（4）$F_1 + 2F_2 = 3F_0$（即 $2(F_0 - F_2) = F_1 - F_0$）

详解

(1) 第（1）问 A 正确：细线轻且不易伸长、球密度大直径小，可减小空气阻力影响并使摆长测量准确。B 错误：摆角应小于约 $5^\circ \sim 10^\circ$ 才能近似单摆简谐模型，30° 太大。C 错误：最高点速度小、位置判断误差大，应在最低点（速度最大、经过快）开始计时。D 正确：在最低点计时并测 30~50 次全振动取平均，可减小周期测量误差。故选 AD。

(2) 第（2）问 游标卡尺为10分度，精度 0.1 mm。主尺读数 19 mm，游标第8条刻线与主尺刻线对齐，故 $d = 19\,\text{mm} + 8 \times 0.1\,\text{mm} = 19.8\,\text{mm}$。

(3) 第（3）问 单摆摆长为摆线长加球半径：$L = l + \dfrac{d}{2}$。周期 $T = \dfrac{t}{n}$，由 $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$ 得

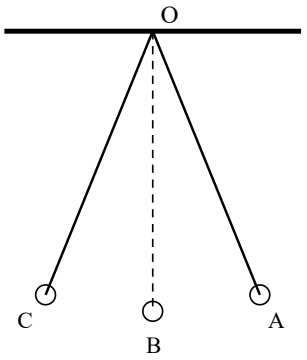
$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2} = \frac{4\pi^2 n^2 \left(l + \frac{d}{2}\right)}{t^2}。$$

单位核对：l, d 取 m、t 取 s，结果单位为 m/s^2。

(4) 第（4）问 设摆长为 L，摆球质量 m，最大摆角为 θ。① 静止在最低点 B 时：$F_0 = mg$。② 在最大摆角处（A 或 C）：$F_2 = mg\cos\theta$，故 $\cos\theta = \dfrac{F_2}{F_0}$，A 到 B 的高度差 $h = L(1-\cos\theta) = L\left(1-\dfrac{F_2}{F_0}\right)$。③ 在最低点 B（速度最大，拉力最大值 F_1）：$F_1 - mg = \dfrac{mv^2}{L}$，得 $\dfrac{1}{2}mv^2 = \dfrac{(F_1-F_0)L}{2}$。④ 机械能守恒要求 $mgh = \dfrac{1}{2}mv^2$，代入得

$$F_0 L\left(1-\frac{F_2}{F_0}\right) = \frac{(F_1-F_0)L}{2} \;\Rightarrow\; 2(F_0-F_2) = F_1 - F_0,$$

即 $F_1 + 2F_2 = 3F_0$ 时验证了 A、B 两点机械能相等。



题16(4)图：单摆 A、B、C 位置示意（重绘）

第（2）空游标读数按本站对卷面放大图的判读给出（10分度卡尺，游标“0”线位于主尺 19 mm 后、第 8 条刻线对齐）；若与原卷印刷值不符，以卷面为准。

17. 计算题 · 9分

答案　（1）$x = 10\,\text{m}$　　（2）a. $v = 4\,\text{m/s}$；b. $E_k = 28.8\,\text{J}$

详解

(1) 第（1）问 “炮弹”离开无人机后做平抛运动。竖直方向自由落体：$h = \dfrac{1}{2}gt^2$，代入 $h = 20\,\text{m}$、$g = 10\,\text{m/s}^2$ 得 $t = \sqrt{\dfrac{2\times 20}{10}}\,\text{s} = 2\,\text{s}$。水平方向匀速：$x = v_0 t = 5\times 2\,\text{m} = 10\,\text{m}$。落地点与释放点的水平距离为 $10\,\text{m}$。

(2) 第（2）问 a 无人机由静止做匀加速直线运动，$4\,\text{s}$ 末“炮弹”离开时的速度 $v = at = 1\times 4\,\text{m/s} = 4\,\text{m/s}$，方向竖直向上。

(3) 第（2）问 b 方法一（能量法）：4 s 内上升高度 $h_1=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\times1\times16\,\mathrm{m}=8\,\mathrm{m}$。离开后“炮弹”只受重力，从离开点到落地全程用动能定理：

$$E_\mathrm{k}-\frac{1}{2}mv^2=mg(h_1+h)$$

其中 $h=20\,\mathrm{m}$ 为无人机离地高度（4 s 末离地 8 m，总高度 $20+8=28\,\mathrm{m}$）。故

$$E_\mathrm{k}=\frac{1}{2}\times0.1\times4^2+0.1\times10\times28=(0.8+28)\,\mathrm{J}=28.8\,\mathrm{J}。$$

方法二（运动学回代）：上升到最高点再 $t'=v/g=0.4\,\mathrm{s}$，最高点高度 $8+\frac{4^2}{20}=8.8\,\mathrm{m}$（相对无人机释放高度），总高度 28.8 m，落地速度 $v_{落}=\sqrt{2\times10\times28.8}=24\,\mathrm{m/s}$，$E_\mathrm{k}=\frac{1}{2}\times0.1\times24^2=28.8\,\mathrm{J}$，两种方法一致。

---

18. 计算题 · 9分

> **答案**　（1）a. $v=\dfrac{Mv_0}{M+m}$；b. $I=\dfrac{BLMv_0}{(M+m)R}$　　（2）$E_{电}=\dfrac{M^2v_0^2}{2(M+m)}-fx$

详解

(1) 第（1）问 a 飞机钩住阻拦索后与金属棒在极短时间内达到共同速度，此过程时间极短，阻力 f 与安培力的冲量可忽略，飞机与金属棒系统动量守恒：

$$Mv_0=(M+m)v\ \Rightarrow\ v=\frac{Mv_0}{M+m}。$$

(2) 第（1）问 b 共同速度 v 时金属棒切割磁感线产生的感应电动势 $E_{感}=BLv$，回路电流

$$I=\frac{BLv}{R}=\frac{BLMv_0}{(M+m)R}。$$

单位核对：T · m · m/s/Ω = V/Ω = A。

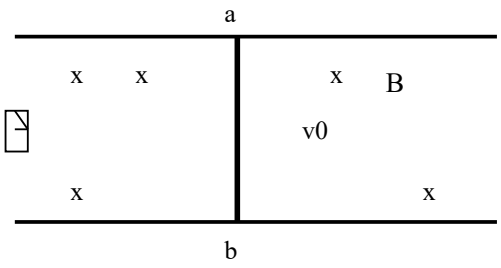
(3) 第（2）问 此后飞机拖金属棒减速滑行，受安培力 $F_{安}=\dfrac{B^2L^2v}{R}$ 与平均阻力 f。由能量守恒，系统动能的减少量一部分转化为克服阻力做的功 fx，其余经电磁感应转化为电路的总电能：

$$\frac{1}{2}(M+m)v^2=E_{电}+fx$$

代入 $v=\dfrac{Mv_0}{M+m}$ 得

$$E_{电}=\frac{(M+m)}{2}\cdot\frac{M^2v_0^2}{(M+m)^2}-fx=\frac{M^2v_0^2}{2(M+m)}-fx。$$

检验：当 $x\to0$ 时 $E_{电}$ 为钩住瞬间的动能，量纲为焦耳，自洽。



题18图：导轨、金属棒与匀强磁场示意（重绘）

19. 计算题 · 10分

答案　（1）$W=-Mg(h_1+h_2)$　（2）a. $q(h)=a\left(\rho_0 h-\Delta\rho\, h^2\right)$，图像为开口向下的抛物线；b. $F=9mg+\dfrac{\pi d^2 a\rho_0^2}{16\Delta\rho}$

详解

(1) 第（1）问 对一级箭体从静止下落到海面速度减为0的全过程用动能定理：初、末动能均为零。全程重力做正功 $Mg(h_1+h_2)$，空气阻力与发动机反推力做的总功为 W，则

$$Mg(h_1+h_2)+W=0\ \Rightarrow\ W=-Mg(h_1+h_2)。$$

即阻力和反推力共做负功 $Mg(h_1+h_2)$。

(2) 第（2）问 a 火箭从静止以平均加速度 a 匀加速上升，高度 h 处速度满足 $v^2=2ah$；空气密度 $\rho(h)=\rho_0-\Delta\rho\cdot\ h$。代入 $q=\dfrac{1}{2}\rho v^2$ 得

$$q(h)=\frac{1}{2}(\rho_0-\Delta\rho\, h)\cdot\ 2ah=a\left(\rho_0 h-\Delta\rho\, h^2\right)。$$

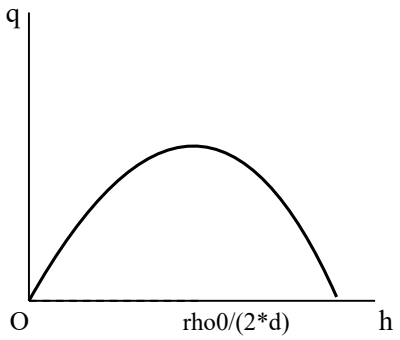
这是关于 h 的开口向下的抛物线：$h=0$ 时 $q=0$，在 $h=\dfrac{\rho_0}{2\Delta\rho}$ 处取最大值 $q_{\max}=\dfrac{a\rho_0^2}{4\Delta\rho}$，至 $h=\dfrac{\rho_0}{\Delta\rho}$ 处回到0。$q-h$ 图像为从原点出发、先增后减、终于横轴的抛物线段。

(3) 第（2）问 b 最危险时刻即 q 最大时刻。载人飞船横截面积 $S=\dfrac{\pi d^2}{4}$，迎面气流的动态冲击力 $f_{气}=q_{\max}S$，方向与飞船运动方向相反（竖直向下）。分离时飞船还需获得至少 $8g$ 的竖直向上加速度，对飞船用牛顿第二定律（向上为正）：

$$F-mg-f_{气}=m\cdot\ 8g$$

$$F=9mg+q_{\max}S=9mg+\frac{\pi d^2}{4}\cdot\ \frac{a\rho_0^2}{4\Delta\rho}=9mg+\frac{\pi d^2 a\rho_0^2}{16\Delta\rho}。$$

各量取国际单位制后 F 的单位为 N。



题19(2)a图：动压 q 随高度 h 的定性图像（重绘）

20. 计算题 · 12分

答案　（1）a. $U=\dfrac{E_{\mathrm{k}}}{e}$；b. $F=nmv$，$\alpha=1$　　（2）$B(t)=\dfrac{E_0}{ecR}-\dfrac{\Delta E\,t}{2\pi eR^2}$

详解

(1) 第（1）问 a 电子在等效匀强电场中加速，电场力做功 eU 全部转化为动能：

$$eU=E_{\mathrm{k}}\ \Rightarrow\ U=\frac{E_{\mathrm{k}}}{e}。$$

(2) 第（1）问 b 模型：电子撞到钨靶后速度减为0（动能全部交给靶），电子束可视为连续的粒子流。取时间 Δt，撞击靶的电子数为 $n\Delta t$，每个电子动量变化量为 mv（m 为电子质量），由动量定理，靶受到的冲击力

$$F=\frac{n\Delta t\cdot\ mv}{\Delta t}=nmv。$$

可见 $F\propto v^1$，即 $\alpha=1$。

(3) 第（2）问 ① 电子以近光速 c 做半径 R 的圆周运动，每圈周期 $T=\dfrac{2\pi R}{c}$，每圈损失 ΔE，故能量损失率 $\dfrac{\Delta E}{T}=\dfrac{\Delta E c}{2\pi R}$，$t$ 时刻电子能量

$$E(t)=E_0-\frac{\Delta E c}{2\pi R}\,t。$$

② 由 $E=mc^2$，t 时刻电子的（相对论性）质量 $m(t)=\dfrac{E(t)}{c^2}$。③ 磁场束缚下圆周运动的向心力由洛伦兹力提供：$evB=\dfrac{m(t)c^2}{R}$（速率近似不变为 c），得

$$B(t)=\frac{m(t)c}{eR}=\frac{E(t)}{ecR}=\frac{E_0}{ecR}-\frac{\Delta E\,t}{2\pi eR^2}。$$

即磁感应强度随时间线性减小；单位核对：$\dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}\cdot\ \mathrm{m/s}\cdot\ \mathrm{m}}=\dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}\cdot\ \mathrm{m^2/s}}=\mathrm{T}$，自洽。