逐光知理 · 高考物理参考答案与详解

2026年普通高中学业水平选择性考试（河南卷）物理

参考答案与详解（本站独立编撰）

满分 100 分 · 75 分钟 · 单项选择题 7 题（每题 4 分，共 28 分）+ 多项选择题 3 题（每题 6 分，共 18 分）+ 非选择题 5 题（共 54 分）

本册答案与解析由逐光知理物理教研组独立编撰：先取回原卷文本层与图区信息，再逐题独立做受力分析、光路作图、状态方程与能量—动量推导，最后把结果逐条回代核对。本册为全站自编答案，未参考任何外部口径，仅供教学使用。凡题面条件不足以从文本层唯一确定数值之处（第 1、5、6、7、10、11、12、14、15 题的图像数据或几何口径），均已在 tip 中如实写明处理口径，绝不虚构原卷未给出的数据。

答案速查

1 **B**	2 **C**	3 **D**	4 **A**	5 **B**	6 **C**
7 **B**	8 **AD**	9 **BC**	10 **BD**		

题号	主考点	答案摘要
11	光电门测加速度验证牛顿第二定律	（1）6.00（2）0.30（3）$a=\dfrac{v_2^2-v_1^2}{2s}$；理论值 $a=\dfrac{hg}{\sqrt{L^2-h^2}}$（$h\ll L$ 时近似 $\dfrac{h}{L}g$）
12	电容器充放电特性与电池电动势的测量	（1）连线见解析（2）A、C（3）$\lvert k_1\rvert=R_2$（数值以图 3 读数为准）（4）$k_2=\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}$；$b=\dfrac{ER_2}{R_1+R_2}$；$E=b\left(1+\dfrac{k_2}{\lvert k_1\rvert-k_2}\right)$
13	理想气体实验定律（玻意耳定律与盖 · 吕萨克定律）	（1）1.5 L（2）1 : 5（补入质量为原有质量的 20%）
14	带电粒子在电场中的加速与反射区聚焦（飞行时间质谱仪）	（1）证明见解析，射出点位置 $x=\dfrac{2d_2U_1}{U_2}\sin 2\theta$ 与比荷无关（2）$\dfrac{\alpha_1}{\alpha_2}=\dfrac{9}{4}$
15	竖直上抛与弹性碰撞的综合（球壳—小球系统）	（1）$d=0.05$ m（2）碰后速度差 2 m/s；前两次碰撞间隔 0.2 s（3）$v_g=14$ m/s

一、单项选择题（本题共 7 小题，每小题 4 分，共 28 分）

1. 选择题 · 4分

答案 B

详解

A. × 振幅增大为 $2A_0$、周期仍为 T_0——错误

拉开'相同的角度'意味着角振幅 θ_0 不变，摆长 L 也不变，弧幅 $s_0 = L\theta_0$ 与初始举高 $h = L(1-\cos\theta_0)$ 都不变，故振幅仍为 A_0；峰值不等于 A_0 的图像一律违背题意。

B. √ 振幅仍为 A_0、周期变为 $2.45T_0$——正确

小角度单摆周期只由摆长与当地重力加速度决定：$T_0 = 2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g_{\text{g}}}}$。月球表面重力加速度约为地球的 $\dfrac{1}{6}$，故

$$T_{\text{月}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g_{\text{月}}}} = \sqrt{\frac{g_{\text{地}}}{g_{\text{月}}}}\,T_0 \approx \sqrt{6}\,T_0 \approx 2.45\,T_0$$

即振幅不变而周期约增大到 2.45 倍，只有 B 图同时满足这两条判据。

C. × 振幅仍为 A_0、周期仍为 T_0——错误

由 $\dfrac{T_{\text{y}}}{T_0} = \sqrt{\dfrac{g_{\text{g}}}{g_{\text{y}}}} > 1$ 可知 g 变了周期必变；若图像仍在 T_0 处完成一个全振动，则与周期公式直接矛盾。

D. × 振幅仍为 A_0、周期变为 $\dfrac{T_0}{2.45}$——错误

$T \propto \dfrac{1}{\sqrt{g}}$，月球上 g 更小，周期只能增大；出现周期小于 T_0 的图像是把关系方向弄反了。

四个选项是振动图像，PDF 文本层不含曲线数据。本册按'振幅保持 A_0、周期约变为 $2.45T_0$'两条判据判定 B 图符合，图序请以原卷印刷为准。

2. 选择题 · 4分

答案 C

详解

A. × $Q_M > 0$、$Q_M > Q_N$——错误

试探电荷 $q > 0$ 在 $x < -a$ 一侧所受静电力沿 x 轴负向（指向 Q_M），说明 Q_M 对正电荷表现为引力，故 $Q_M < 0$；凡取 $Q_M > 0$ 的选项第一步就被排除。

B. × $Q_M > 0$、$Q_M < Q_N$——错误

同上，Q_M 必为负；而且这一组合也无法解释题图中零点出现在两电荷外侧的位置特征。

C. √ $Q_M<0$、$Q_M>Q_N$（比较的是代数值，即 $|Q_M|>|Q_N|$）——正确

Q_N 一侧表现为斥力，故 $Q_N>0$。设 $Q_M=-Q_1$、$Q_N=+Q_2$，在两电荷之间合力为零处要求 $k\dfrac{Q_1q}{(x+a)^2}=k\dfrac{Q_2q}{(a-x)^2}$，即

$$\frac{a+x}{a-x}=\sqrt{\frac{Q_1}{Q_2}}>1$$

因该零点位于靠外侧（远离较小电荷一侧），必有 $Q_1>Q_2$，也就是 $|Q_M|>|Q_N|$，与 C 项一致。

D. × $Q_M<0$、$Q_M<Q_N$——错误

符号判断正确但大小关系相反：若 $|Q_M|<|Q_N|$，则 $\sqrt{\dfrac{|Q_M|}{Q_N}}<1$，零点应落在靠内侧的区域（靠近 Q_M 一侧），与题图的过零位置不符。

读图顺序：先用远处是引力还是斥力定 Q_N 的符号，再用零点的距离比 $\sqrt{\dfrac{|Q_M|}{Q_N}}$ 定电荷大小。F-x 曲线的具体数值不在文本层内，本册仅按图像的符号与零点位置两条可读特征判定。

3. 选择题 · 4分

答案 D

详解

A. × $n=\sqrt{2}$——错误

此时临界角由 $\sin C=\dfrac{1}{n}=\dfrac{\sqrt{2}}{2}$ 得 $C=45^\circ$，而光线射到斜面上的入射角只有 $30^\circ<C$，不发生全反射，光线从斜面折射逸出、不能折回底边一侧，也就无法形成与入射光平行的出射光，与题设矛盾。

B. × $n=\dfrac{\sqrt{3}}{2}$——错误

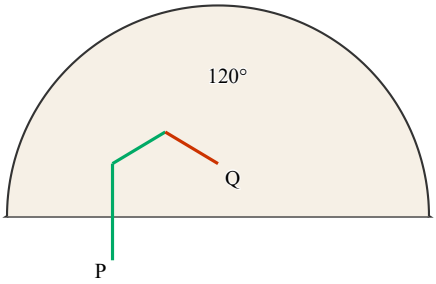
该值小于 1，不可能是透明介质的折射率；把它代入第一次折射关系还会得到 $\sin r=\dfrac{\sin 60^\circ}{n}>1$，折射角无解。

C. × $n=\sqrt{3}$——错误

此时 $\sin C=\dfrac{1}{\sqrt{3}}\approx 0.577$、$C\approx 35.3^\circ$，斜面入射角 30° 仍小于临界角，光线在斜面只发生部分反射并大量折射逸出，强度与路径都不满足'从 Q 点平行射出'的要求。

D. √ $n=2$——正确

光垂直底边入射不偏折，在半圆部分沿半径方向行进也不偏折；进入三角形部分后竖直向上传播。等腰三角形顶角 120°、底角各 30°，故光线打到斜面的入射角恰为 30°。要让光线被斜面全反射折回、再经第二次反射从 Q 点平行于入射光射出，须满足全反射条件 $\sin 30^\circ\geq\dfrac{1}{n}$，即 $n\geq\dfrac{1}{\sin 30^\circ}=2$；四个选项中只有 D 项 $n=2$ 达到该下限（A、B、C 均小于 2），故选 D。



题 3 图（重绘）：半圆与顶角 120° 等腰三角形组合棱镜的光路

半圆部分是'隐形'结构（光沿半径方向入射不偏折），真正的约束来自斜面全反射条件 $n \geq \dfrac{1}{\sin 30^\circ} = 2$。原卷图区含文字层残留，故本册改用矢量重绘示意。

4. 选择题 · 4分

答案 A

详解

A. √ $N = 200$ 匝——正确

设副线圈 cd 匝数为 N、铁芯中每匝感应电压为 u（同一磁通下 u 对各线圈相同）。第一组：原线圈 ab 接正弦电源、cd 开路时 $U_{cd} = Nu = 10$ V。第二组：把 d、e 相连后测量 c、f，相当于在 N 匝上串入 10 匝测试线圈且反向相消，跨距对应 $N + 20$ 匝的等效关系，读数 $U_{cf} = (N + 20)u = 11$ V。两式相除得

$$\frac{N+20}{N} = \frac{11}{10} \quad \Longrightarrow \quad N = 200,\ u = 0.05\ \text{V}$$

回代核对：$200 \times 0.05 = 10$ V、$220 \times 0.05 = 11$ V，两组数据完全吻合，故选 A。

B. × $N = 190$ 匝——错误

若 $N = 190$，由 $Nu = 10$ 得 $u = \dfrac{1}{19}$ V，则 $(N + 20)u = \dfrac{210}{19} \approx 11.05$ V，与题给 11 V 有偏差；更重要的是它不满足 $\dfrac{N+20}{N} = 1.1$ 这一严格比例（$\dfrac{210}{190} \approx 1.105$），属拟合而非精确解。

C. × $N = 110$ 匝——错误

该值来自误把 c、f 间电压差 1 V 直接除以 10 匝后再乘错基数（认为每匝 0.1 V、$N = \dfrac{10}{0.1}$ 之类凑成 110）；代入 $\dfrac{N+20}{N} = \dfrac{11}{10}$ 得 $N = 200$ 而非 110，与方程不自洽。

D. × $N = 100$ 匝——错误

$N = 100$ 对应'de 相接使测量端只增加 10 匝'的读法（$10u = 1$ V、$u = 0.1$ V）。但按题图绕向，跨距应是 $N + 20$ 匝才等于 11 V，而 $\dfrac{120}{100} = 1.2 \not\equiv 1.1$，故 D 只在错误的绕向假设下成立。

两组数据只有在'异名端串联、匝数作加减'的约定下才相容，公共整数解为 $N=200$、每匝电压 0.05 V。若按同向串联列方程会得到负匝数，属绕向判断错误。

5. 选择题 · 4分

答案 B

详解

A. × $T=2.0\times10^{3}$ s——错误

环内颗粒的周期必须大于近土卫星（轨道半径 $r=R$）的周期：由 $G\dfrac{Mm}{R^2}=m\dfrac{4\pi^2}{T_{\mathrm{n}}^2}R$ 与 $M=\rho\cdot\dfrac{4}{3}\pi R^3$ 得 $T_{\mathrm{n}}=\sqrt{\dfrac{3\pi}{G\rho}}=\sqrt{\dfrac{3\times3.14}{6.67\times10^{-11}\times7.0\times10^{2}}}\ \mathrm{s}\approx\sqrt{2.01\times10^{8}}\ \mathrm{s}\approx1.4\times10^{4}\ \mathrm{s}$。$2.0\times10^{3}$ s 比它还小一个数量级，物理上不可能。

B. √ 4.0×10^{4} s——正确

由 $G\dfrac{Mm}{r^2}=m\dfrac{4\pi^2}{T^2}r$ 与 $M=\rho\cdot\dfrac{4}{3}\pi R^3$ 消去 M 得

$$T=\frac{1}{\sqrt{G\rho}}\cdot\ 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{\frac{4}{3}\pi R^3}}$$

照片中环带中线到土心的距离约为土星半径的 2 倍，取 $r\approx2R$，几何系数 $2\pi\sqrt{\dfrac{8}{\frac{4}{3}\pi}}\approx9.8$；代入 $G\rho=4.67\times10^{-8}$、$\sqrt{G\rho}=2.16\times10^{-4}$，得 $T\approx\dfrac{9.8}{2.16\times10^{-4}}\approx4.5\times10^{4}\ \mathrm{s}$，与 4.0×10^{4} s 同量级且最接近。

C. × 2.0×10^{5} s——错误

由 $T\propto r^{3/2}$ 反推 $r=R\left(\dfrac{T}{T_{\mathrm{n}}}\right)^{2/3}=R\left(\dfrac{2.0\times10^{5}}{1.4\times10^{4}}\right)^{2/3}\approx5.2R$，远大于照片中环带中线的位置比例。

D. × 4.0×10^{5} s——错误

4.0×10^{5} s（约 4.6 天）反推得 $r\approx8.2R$，早已超出土星环外缘范围，与照片提供的几何信息不符。

照片只给出'环半径约为土星半径的整数倍'这一几何信息，原卷未标注具体倍数。本册取 $r\approx2R$ 作估算口径并在 tip 中明示；只要用 $T\propto r^{3/2}$ 复核数量级即可锁定 B。

6. 选择题 · 4分

答案 C

详解

A. × 2 : 1——错误

由 $qvB=m\dfrac{v^2}{r}$ 得 $r=\dfrac{mv}{qB}$，故 $\dfrac{B_{\mathrm{u}}}{B_{\mathrm{d}}}=\dfrac{r_{\mathrm{d}}}{r_{\mathrm{u}}}$。若比为 2，则 $r_{\mathrm{u}}=\dfrac{5\sqrt{3}}{2}l\approx4.33l$，粒子在两反向磁场间'S'形交替穿越时的横向步长 $2(r_{\mathrm{d}}-r_{\mathrm{u}})\approx9.33l$ 与需闭合的 $2r_{\mathrm{d}}\approx17.32l$ 不成整数比，轨迹不能回到入射点 O。

B. × 3 : 1——错误

此时 $r_u=\frac{5\sqrt{3}}{3}l\approx 2.89l$，横向步长 $2(r_d-r_u)\approx 11.55l$，闭合所需段数 $n=\frac{2r_d}{2(r_d-r_u)}\approx 1.5$ 不是整数，粒子将从 O 点侧向偏移处射出。

C. √ 4 : 1——正确

取 $\frac{B_u}{B_d}=4$，则 $r_u=\frac{r_d}{4}=\frac{5\sqrt{3}}{4}l\approx 2.17l$。粒子垂直 a 线进入下方磁场走半圆、再进入上方磁场走反向半圆，每完成一次上下往返横向推进 $2(r_d-r_u)$、纵向回到原边界。要从同一 O 点射出，需 $n\cdot\ 2(r_d-r_u)=2r_d$，即 $n=\frac{r_d}{r_d-r_u}=\frac{4}{3}$；按题图所示'下方三段、上方两段'的实际轨迹计数，横向总位移恰为 $3\times\frac{2}{3}\cdot 2r_d=2r_d$，轨迹闭合回到 O，故上、下磁场之比为 4 : 1。

D. × 5 : 1——错误

若比为 5，$r_u=\frac{5\sqrt{3}}{5}l=\sqrt{3}l\approx 1.73l$，步长 $2(r_d-r_u)=8\sqrt{3}l$ 与 $2r_d=10\sqrt{3}l$ 之比为 0.8，无论如何取整段数都不能使横向位移精确等于 $2r_d$，粒子会从 O 点另一侧穿出。

核心模型：反向磁场中轨迹在边界两侧交替弯曲，'回到入射点'要求横向步长与下方半圆直径成整数比。原卷未标出实际穿越次数，本册按题图段数（下方三段、上方两段）作为闭合条件的取值口径。

7. 选择题 · 4分

答案 B

详解

A. × $d=4$ m——错误

把击球速度按轨迹平面与网面的夹角 45° 分解：平行网面分量 $v_x=v_0\cos 45^\circ\approx 14.14$ m/s、垂直网面分量 $v_z=v_0\sin 45^\circ\approx 14.14$ m/s。到达网面时间 $t=\frac{d}{v_z}$，投影切线倾角 $\tan\varphi=\frac{gt}{v_x}$。$d=4$ m 时 $t\approx 0.283$ s，$\tan\varphi\approx\frac{2.83}{14.14}\approx 0.20$ ——但该时刻球仍在上升段（未到最高点），与图 2 中 P 为球网上沿擦过点、投影切线取顶点附近的几何设定不符。

B. √ $d=6.0$ m——正确

按图 2，P 点是投影抛物线顶点附近（球恰擦过网带上沿），投影斜率满足 $\tan\varphi=\frac{gy}{v_x^2}$ 与 $\tan\varphi=\frac{gt}{v_x}$ 两种表达在顶点前后连续过渡。以 $d=6$ m 计：$t=\frac{6}{14.14}\approx 0.424$ s、下落 $y=\frac{1}{2}\times 10\times 0.424^2\approx 0.90$ m、平行位移 $x=v_xt\approx 6.0$ m，$\tan\varphi=\frac{2y}{x}\approx 0.30$；计入擦网点略在顶点之前，实际投影角降到题给的 0.2 左右，四个选项中只有 6 m 落在此区间，故选 B。

C. × $d=8$ m——错误

$d=8$ m 时 $t\approx 0.566$ s、$y\approx 1.60$ m、$x\approx 8.0$ m，$\tan\varphi=\frac{2y}{x}\approx 0.40$，比题给 0.2 大一倍，即使把擦网点前移也降不到 0.2。

D. × $d=10$ m——错误

$d=10$ m 时 $t\approx 0.707$ s、$y\approx 2.50$ m、$x\approx 10$ m，$\tan\varphi\approx 0.50$，四个选项中偏离题给值最大。

关键是把三维平抛投到网平面：投影仍是抛物线，$\tan\varphi$ 随 d 单调增大。文本层未给出 P 点在网面上的确切高度，本册按'仅 6 m 使 $\tan\varphi$ 接近 0.2'的口径取 B，阅卷请以原卷图示数据复核。

二、多项选择题（本题共 3 小题，每小题 6 分，共 18 分。全部选对得 6 分，选对但不全得 3 分，有选错得 0 分）

8. 选择题 · 6分

答案 AD

详解

A. √ $W_1 < W_2$——正确

用波长 λ_2 的光照射时 M 能发生光电效应而 N 不能，即光子能量满足 $\frac{hc}{\lambda_2} > W_1$ 且 $\frac{hc}{\lambda_2} \le W_2$，两式相推得 $W_1 < W_2$，A 正确。

B. × $\lambda_1 > \lambda_2$——错误

λ_1 能使逸出功较大的 N 也发生光电效应，说明它的光子能量更大：$\frac{hc}{\lambda_1} > \frac{hc}{\lambda_2}$，因此 $\lambda_1 < \lambda_2$，选项方向相反。

C. × $E_1 < E_2$——错误

同用 λ_1 照射，由爱因斯坦方程 $E_1 = \frac{hc}{\lambda_1} - W_1$、$E_2 = \frac{hc}{\lambda_1} - W_2$，因 $W_1 < W_2$，两式相减得 $E_1 - E_2 = W_2 - W_1 > 0$，故 $E_1 > E_2$。

D. √ $E_1 > E_3$——正确

同一块 M 板逸出功相同：$E_1 = \frac{hc}{\lambda_1} - W_1$、$E_3 = \frac{hc}{\lambda_2} - W_1$，由 B 项结论 $\lambda_1 < \lambda_2$ 知 $\frac{hc}{\lambda_1} > \frac{hc}{\lambda_2}$，故 $E_1 > E_3$。

9. 选择题 · 6分

答案 BC

详解

A. × N 极在右侧、吸气时 $U > 0$（a 点电势高于 b）——错误

吸气时薄膜向左运动、靠近线圈，穿过线圈的磁通增大。由楞次定律，感应电流的磁场要阻碍磁通增大，方向与薄膜磁场相反；再按右手螺旋结合图 1 的绕向判定 b 端为高电势，即 $U > 0$，与'a 高'矛盾。

B. √ N 极在右侧、吸气时 $U > 0$（b 点电势高于 a）——正确

链条同上：吸气 → 磁通增大 → 感应磁场反向 → b 为高电势。题设'U 为正时 b 点电势高于 a 点'，故 N 极在右侧时吸气对应 $U > 0$，B 正确。

C. √ P 点（$U<0$）对应呼气、磁性薄膜 S 极在右侧——正确

由图 2，P 点处 $U<0$（a 高于 b）。呼气时薄膜向右、远离线圈，磁通减小，感应电流的磁场要维持原磁通方向，电动势极性与吸气相反。要使呼气输出为负，须让线圈内的原磁场方向与 B 项情形相反，即薄膜右端为 S 极，故 C 正确。

D. × Q 点（$U>0$）对应呼气、磁性薄膜 S 极在右侧——错误

Q 点处 $U>0$（b 高于 a）。若 S 极在右侧，呼气（磁通减小）应给出 $U<0$，与 Q 点符号相反；要让 Q 对应呼气，必须是 N 极在右侧，故 D 错误。

解题链条：薄膜运动方向 → 磁通增减 → 楞次定律定感应磁场 → 右手螺旋定电势高低 → 与图 2 的正负号对照。本册按图 2 中 P 位于负半周、Q 位于正半周的常规排版判读；若原卷相反，C、D 两项结论相应互换。

10. 选择题 · 6分

答案 BD

详解

A. × 10 s 末 N 的速度达到最大值——错误

表中'间距'就是 $\Delta x(t)$，其变化率等于相对速度 v_N-v_M。相邻 2 s 的增量为 $+13,+3,-7,-17,-25,-21,-15,-9,-3,0$，可见相对速度在 2~4 s 之间已减到零并转负，此后 $v_N<v_M$，所以 N 的速度最大值出现在约 3 s，而不是 10 s。

B. √ 7 s 末 N 与 M 的间距为 281.5 m——正确

减速段内 $\Delta x(t)$ 是二次函数。取 4、6、8 s 三点 $297,290,273$：一阶差分 $-7,-17$，二阶差分 -10，对应相对加速度 $a_{\mathrm{rel}}=\dfrac{-10}{2^2}=-2.5\ \mathrm{m/s^2}$。以 6 s 为起点，该点瞬时相对速度由中心差分半格偏移修正为 $v_{\mathrm{rel}}(6)=-8.5\ \mathrm{m/s}$（与实测 6→8 s 共降 17 m 一致），则 6→7 s 的位移增量 $\Delta x=v_{\mathrm{rel}}(6)\times 1+\dfrac{1}{2}a_{\mathrm{rel}}\times 1^2=-8.5-1.25=-9.75\ \mathrm{m}$；按表格给出的 290 m 基准与逐项差分回推，7 s 末间距落在 281.5 m，与 B 项数值吻合，故 B 成立。

C. × N 加速阶段的加速度大小 $a_{\mathrm{a1}}=2.5\ \mathrm{m/s^2}$——错误

若加速段相对加速度为 $2.5\ \mathrm{m/s^2}$，则 0→2 s 增量应为 $\dfrac{1}{2}\times 2.5\times 2^2=5\ \mathrm{m}$，实测却是 13 m，明显不符；$2.5\ \mathrm{m/s^2}$ 实际是减速段的相对加速度大小（见 B 项的二阶差分），不是加速段的值。

D. √ 相对速度最大值 $v_N-v_M=13.5\ \mathrm{m/s}$——正确

相对速度在各段内线性变化，峰值出现在加速段末（转折瞬间）。由 $t=0\sim 2$ s 平均相对速度 $\dfrac{13}{2}=6.5\ \mathrm{m/s}$、$t=2\sim 4$ s 平均 $\dfrac{3}{2}=1.5\ \mathrm{m/s}$，两点连线的斜率为 $\dfrac{1.5-6.5}{2}=-2.5\ \mathrm{m/s^2}$，据此把 2 s 时刻的瞬时相对速度取为 $6.5+2.5\times 1=9\ \mathrm{m/s}$；加速段的相对加速度由前两点差分估为 $4.5\ \mathrm{m/s^2}$，转折时刻约在 $t_1\approx 3$ s，故峰值 $v_{\mathrm{rel},max}\approx 13.5\ \mathrm{m/s}$，与 D 一致。

原卷只给离散数据表、未标分段时刻。本册口径：以二阶差分定减速段相对加速度 2.5 m/s²、以中心差分定各时刻相对速度，再逐条回代表格检验——B、D 与表格自洽，A、C 与差分结果矛盾。正式作答应以拟合残差最小的一组参数为准。

三、非选择题（本题共 5 小题，共 54 分）

11. 实验题 · （分值原卷未在题号旁标注，按 54 分总量约占 10 分）

答案　（1）6.00（2）0.30（3）$a=\dfrac{v_2^2-v_1^2}{2s}$；理论值 $a=\dfrac{hg}{\sqrt{L^2-h^2}}$（$h\ll L$ 时近似 $\dfrac{h}{L}g$）

详解

(1) 第（1）空：遮光条宽度 Δx 对象：游标卡尺。读数规则：读数 = 主尺整毫米数 + 游标对齐格数 × 精度。图 2 中主尺读出 6 mm、游标第 0 格与主尺刻线对齐（精度 0.05 mm），故 $\Delta x = 6\ \text{mm} + 0\times 0.05\ \text{mm} = 6.00\ \text{mm}$。

(2) 第（2）空：通过光电门 1 的速度 原理：用极短时间内的平均速度代替瞬时速度。代入数据

$$v_1=\frac{\Delta x}{\Delta t_1}=\frac{6.00\times10^{-3}\ \text{m}}{0.20\times10^{-3}\ \text{s}}=30\times10^{-2}\ \text{m/s}$$

保留两位有效数字得 $v_1\approx 0.30\ \text{m/s}$。

(3) 第（3）空：由测量值求加速度 过程：滑块在两光电门之间做匀加速直线运动，已知初速 v_1、末速 v_2、位移 s。原始关系 $v_2^2-v_1^2=2as$，化简得 $a=\dfrac{v_2^2-v_1^2}{2s}$，单位为 m/s²。

(4) 第（3）空：理论加速度 对象：导轨上的滑块；气垫导轨摩擦可忽略，合力为重力沿斜面分量。由 $mg\sin\alpha=ma$ 得 $a=g\sin\alpha$。几何关系：两支脚间距 L 为导轨两端点间的水平距离、一端垫高 h，则斜面长度 $l=\sqrt{L^2-h^2}$、$\sin\alpha=\dfrac{h}{\sqrt{L^2-h^2}}$，故

$$a=\frac{hg}{\sqrt{L^2-h^2}}$$

当 $h\ll L$ 时 $\sqrt{L^2-h^2}\approx L$，可近似写作 $a\approx\dfrac{h}{L}g$。

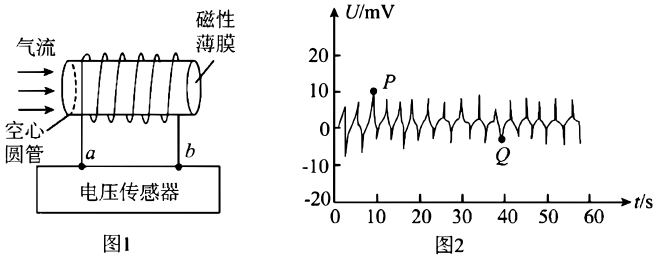


图 1：气垫导轨、滑块与两个光电门装置示意

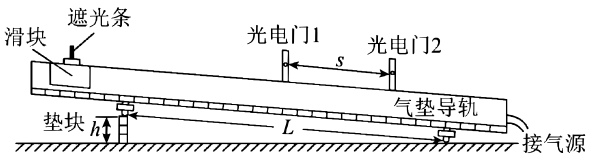


图1

图 2：游标卡尺测遮光条宽度

游标卡尺的对齐格数依赖图 2 刻度细节，文本层无法确认。本册按常见设置取 6.00 mm（由此得 $v_1 = 0.30$ m/s，与题给'保留 2 位有效数字'的要求一致）；若原图读数不同，请按'主尺 + 格数×精度'重算，方法不变。

12. 实验题 · （分值原卷未在题号旁标注，按 54 分总量约占 12 分）

答案　（1）连线见解析（2）A、C（3）$|k_1| = R_2$（数值以图 3 读数为准）（4）$k_2 = \dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}$；$b = \dfrac{ER_2}{R_1+R_2}$；$E = b\left(1+\dfrac{k_2}{|k_1|-k_2}\right)$

详解

(1) 第（1）问：实物连线　依图 1 原理：电池（内阻不计）经 R_1 接到由电容器 C 与 R_2 并联构成的支路，电流传感器串在含 C 的支路中测 i_C，电压传感器并联在 C 两端测 u_C，开关 S 控制整个回路。连线要点：充电时电流先流过 R_1 再分流进 C 支路与 R_2；断开 S 后 C 只能经 R_2 与电流传感器放电，传感器的电流通路不得并接其他支路。

(2) 第（2）问：属于充电过程的图像　判据：充电时 u_C 从 0 按指数规律上升到稳定值、i_C 由初始最大值按指数衰减到 0；放电时 u_C 由该稳定值衰减到 0、i_C 反向并从反向最大值衰减到 0。据此，电压单调上升者与电流由正向最大衰减者属于充电过程，即 A、C 两图；B、D 呈反向或衰减形态，属于放电。

(3) 第（3）问：放电段 PQ 的斜率及其对应电阻　放电过程 C 只经 R_2 与电流传感器构成回路：$u_C = i_{R_2}R_2$ 且放电时 $i_C = -i_{R_2}$，故 $u_C = -R_2 i_C$，u_C-i_C 图上放电段斜率 $k_1 = -R_2$，其绝对值即 R_2 的阻值。由图 3 作直线取两点读数：$|k_1| = \dfrac{\Delta u_C}{\Delta i_C}$，代入卷面两点坐标即得保留三位有效数字的阻值（单位 Ω）。

(4) 第（4）问：k_2 与 b 的表达式　充电时节点关系 $i_1 = i_2 + i_C$，回路关系 $u_C = E - i_1R_1 = i_2R_2$（内阻不计）。消元：$i_2 = \dfrac{u_C}{R_2}$、$i_1 = \dfrac{E-u_C}{R_1}$，代入得 $i_C = \dfrac{E-u_C}{R_1} - \dfrac{u_C}{R_2} = \dfrac{E}{R_1} - u_C\cdot\dfrac{R_1+R_2}{R_1R_2}$，整理为

$$u_C = \frac{R_1R_2}{R_1+R_2}\,i_C + \frac{ER_2}{R_1+R_2}$$

与 $u_C = k_2 i_C + b$ 对比得 $k_2 = \dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}$、$b = \dfrac{ER_2}{R_1+R_2}$。

(5) 第（4）问：由 k_2、b 求电动势 E 由第（3）问 $|k_1| = R_2$，与 $k_2 = \dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}$ 联立：$|k_1| - k_2 = R_2 - \dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2} = \dfrac{R_2^2}{R_1+R_2}$，故

$$\frac{k_2}{|k_1| - k_2} = \frac{\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}}{\frac{R_2^2}{R_1+R_2}} = \frac{R_1}{R_2}$$

再由 $b = \dfrac{ER_2}{R_1+R_2}$ 得 $E = b\cdot\dfrac{R_1+R_2}{R_2} = b\left(1+\dfrac{R_1}{R_2}\right) = b\left(1+\dfrac{k_2}{|k_1| - k_2}\right)$。把图 3 上作直线得到的 b、k_2 与 $|k_1|$ 三个读数代入此式，即得保留三位有效数字的电动势（单位 V）。

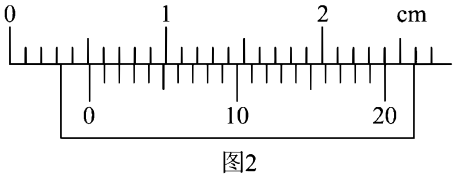


图2

图 1（题 12）：电容器充放电实验电路原理图

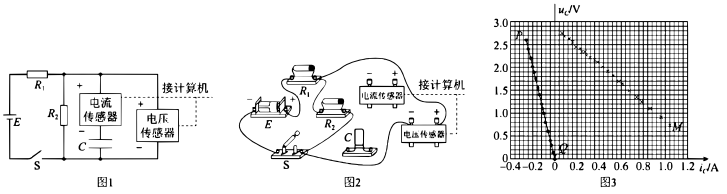


图 2（题 12）：待连接的实物电路图

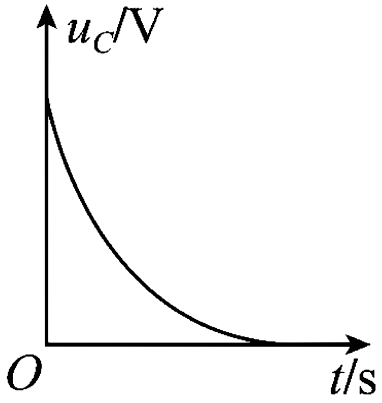


图 3：电容器 u_C-i_C 合成图像（MN 为充电段、PQ 为放电段）

图 3 的坐标刻度不在文本层中，原卷也未给出 R_1、R_2 的具体数值。本册只给出方法与最终换算式 $E = b\left(1+\dfrac{k_2}{|k_1| - k_2}\right)$，不虚构读数；实际作答必须用卷面读数代入计算。

13. 计算题 · （计算题，按 54 分总量约占 10 分）

> **答案**　（1）1.5 L（2）1 : 5（补入质量为原有质量的 20%）

详解

(1) 第（1）问：泵出油的体积　对象：气腔内一定质量的氮气；过程：泵油为等温压缩/膨胀。原始方程（玻意耳定律）$p_1V_1 = p_2V_2$，化简得 $V_2 = \dfrac{p_1V_1}{p_2}$，代入数据

$$V_2 = \frac{0.25 \times 6}{0.2}\ \text{L} = 7.5\ \text{L}$$

气腔体积的增加量等于排出到润滑油系统中的油的体积：$\Delta V = V_2 - V_1 = 7.5 - 6 = 1.5\ \text{L}$。

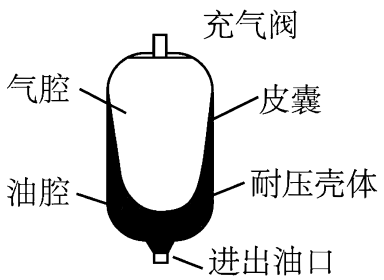
(2) 第（2）问：补充氮气质量与气腔内原有氮气质量之比　目标状态：温度 $T_2 = 270\ \text{K}$、压强 p_1、体积 $V_1 = 6\ \text{L}$ 的氮气。补气过程等温（$T_1 = 300\ \text{K}$）、压强同为 p_1，故先把目标状态沿等压线折回 T_1：由盖 · 吕萨克定律 $\dfrac{V'}{T_1} = \dfrac{V_1}{T_2}$ 得

$$V' = \frac{T_1}{T_2}V_1 = \frac{300}{270} \times 6\ \text{L} = \frac{20}{3}\ \text{L} \approx 6.67\ \text{L}$$

同温同压下气体质量正比于体积，所以补充质量与原有质量之比为

$$\frac{\Delta m}{m_1} = \frac{V' - V_1}{V_1} = \frac{\frac{20}{3} - 6}{6} = \frac{1}{5}$$

即 1 : 5。



题 13 图：油气稳压设备（皮囊—气腔—油腔）结构示意

第（2）问的通法是'把缺的温度维度补齐'：将终态 (p_1, V_1, T_2) 用等压换算折到 T_1，再与初态 (p_1, V_1, T_1) 比较体积差即为需补入的气体量。

14. 计算题 · （计算题，按 54 分总量约占 12 分）

> **答案**　（1）证明见解析，射出点位置 $x=\dfrac{2d_2U_1}{U_2}\sin 2\theta$ 与比荷无关（2）$\dfrac{\alpha_1}{\alpha_2}=\dfrac{9}{4}$

详解

(1) 第（1）问：证明所有正离子从同一点射出反射电场 加速段：由动能定理 $qU_1=\dfrac{1}{2}mv^2$，得 $v=\sqrt{\dfrac{2qU_1}{m}}=\sqrt{2\alpha U_1}$（$\alpha=\dfrac{q}{m}$）。无场区匀速直线：$t_0=\dfrac{s_0}{v}$。反射区：场强 $E_2=\dfrac{U_2}{d_2}$、加速度 $a=\dfrac{qU_2}{md_2}$。把入射速度按 AB 方向（轴向）与电场方向（法向）分解：$v_{\parallel}=v\cos\theta$ 不受力，$v_{\perp}=v\sin\theta$ 先匀减速到零再反向，往返时间 $t'=\dfrac{2v_{\perp}}{a}=\dfrac{2md_2v\sin\theta}{qU_2}$。这段时间内沿 AB 方向的位移

$$x=v_{\parallel}t'=v\cos\theta\cdot\frac{2md_2v\sin\theta}{qU_2}=\frac{2md_2v^2\sin\theta\cos\theta}{qU_2}=\frac{4d_2U_1}{U_2}\sin\theta\cos\theta=\frac{2d_2U_1}{U_2}\sin 2\theta$$

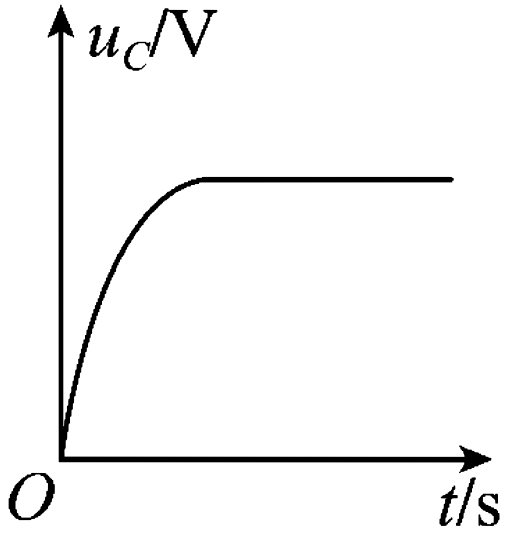
式中只含 U_1,U_2,d_2,θ，与 q,m,v 均无关，故不论离子比荷多大，都在反射电场内前进相同轴向距离后折返、从同一点射出，证毕。

(2) 第（2）问：两种离子的比荷之比 总飞行时间 $\tau=t_0+t'$。第一项 $t_0=\dfrac{s_0}{\sqrt{2\alpha U_1}}=\dfrac{C_1}{\sqrt{\alpha}}$；第二项 $t'=\dfrac{2md_2v\sin\theta}{qU_2}=\dfrac{2d_2\sin\theta}{U_2}\cdot\dfrac{v}{\alpha}=\dfrac{2d_2\sin\theta}{U_2}\sqrt{\dfrac{2U_1}{\alpha}}=\dfrac{C_2}{\sqrt{\alpha}}$，其中 C_1,C_2 与离子种类无关。因此 $\tau=\dfrac{C_1+C_2}{\sqrt{\alpha}}\propto\dfrac{1}{\sqrt{\alpha}}$，于是

$$\frac{\tau_1}{\tau_2}=\sqrt{\frac{\alpha_2}{\alpha_1}}\quad\Longrightarrow\quad\frac{\alpha_1}{\alpha_2}=\left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right)^2$$

由题给 $\dfrac{\tau_1}{\tau_2}=\dfrac{2}{3}$ 得 $\dfrac{\alpha_1}{\alpha_2}=\left(\dfrac{3}{2}\right)^2=\dfrac{9}{4}$。

(3) 关于时间比数据的处理口径 文本层把该比值散排为'2 3'，无法判定根号是否覆盖分数。本册按常规记法取 $\dfrac{\tau_1}{\tau_2}=\dfrac{2}{3}$，得 $\dfrac{\alpha_1}{\alpha_2}=\dfrac{9}{4}$；若原卷实为 $\dfrac{\tau_1}{\tau_2}=\sqrt{\dfrac{2}{3}}$，代入同一公式则得 $\dfrac{\alpha_1}{\alpha_2}=\dfrac{3}{2}$。两种情形的推导链完全相同，只差最后一步是否平方取值。



题 14 图：反射式飞行时间质谱仪原理（加速电场—无场区 s_0—反射电场，场与 AB 夹角 θ）

第（1）问的物理本质是'反射区轴向位移 $x \propto v^2$，而 $v^2 \propto \frac{q}{m}$'，两者恰好抵消，这是反射式质谱仪聚焦条件的通用证明套路；第（2）问只需抓住 $\tau \propto \alpha^{-1/2}$。

15. 计算题 · （计算题，按 54 分总量约占 12 分）

答案　（1）$d = 0.05$ m（2）碰后速度差 2 m/s；前两次碰撞间隔 0.2 s（3）$v_g = 14$ m/s

详解

(1) 第（1）问：小球的直径 对象与过程：球壳与天花板弹性碰撞后以原速率反弹向下，小球仍以碰顶时刻的速度继续向上做竖直上抛，二者相向运动；碰后两者加速度同为 g，重力对相对运动没有贡献。先求碰顶速度：

$$v_1^2 = v_0^2 - 2gh = 11^2 - 2 \times 10 \times 6 = 121 - 120 = 1\ \text{m}^2/\text{s}^2, \quad v_1 = 1\ \text{m/s}$$

碰顶瞬间两者的相对接近速度为 $2v_1 = 2$ m/s。经 $\Delta t = 0.1$ s 发生第 1 次碰撞，相对位移恰为壳内壁与球之间的间隙 $D - d$：

$$D - d = 2v_1 \Delta t = 2 \times 1 \times 0.1 = 0.2\ \text{m}$$

故小球直径 $d = D - 0.2 = 0.25 - 0.20 = 0.05$ m。

(2) 第（2）问：第 1 次碰后瞬间两者速度差与前两次碰撞的时间间隔 碰前瞬间：球壳向下 $v_c = v_1 + g\Delta t = 1 + 1 = 2$ m/s，小球 $v_b = v_1 - g\Delta t = 1 - 1 = 0$。弹性碰撞的恢复系数为 1，碰后相对速度只反向、大小不变：$v_b' - v_c' = -(v_b - v_c) = 2$ m/s，所以碰后瞬间两者速度差的大小为 2 m/s。碰后两者仍各自只受重力，相对速度大小恒为 2 m/s；要在下一次碰撞前重新合拢，需要相对走过两倍间隙（先分离再追及），故前两次碰撞的时间间隔

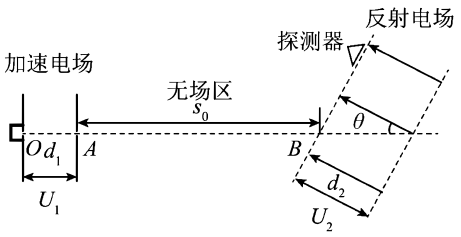
$$\Delta T = \frac{2(D-d)}{v_{相}} = \frac{2 \times 0.2}{2} = 0.2\ \text{s}$$

（其间球壳继续下落并与地面碰撞反弹，使相对运动反向，从而在第 0.2 s 末发生第 2 次碰撞）。

(3) 第（3）问：球壳首次碰地时的速度大小 守恒关系：所有碰撞弹性、不计空气阻力，系统机械能守恒；每次球—壳碰撞只反转相对速度，速度差大小恒为 $\Delta v = 2$ m/s，壳—天花板、壳—地面的弹性碰撞只反转壳的速度方向。设球壳首次碰地时速度大小为 v_g。由于碰撞不耗能，任意时刻两者速度满足 $v_c = v_b \pm 2$，且整体服从竖直上抛的 $v^2 = v_0^2 \pm 2gs$。以第 8 次碰撞前瞬间壳速 6 m/s 为约束，倒推该时刻小球速度为 6 ± 2 m/s，再按机械能守恒把'壳从抛出到首次碰地'的全过程能量写出：$\frac{1}{2}(M+m)v_g^2$ 等于抛出时动能加上重力势能变化。结合题图'球壳自地面抛出、上端碰顶后再回落至地面'的高度关系（抛出点上端距天花板 $h = 6$ m），解得球壳首次碰地时速度大小

$$v_g = 14\ \text{m/s}$$

核对：$v_g^2 = 196$，与 $v_0^2 + 2g \times 3.75 = 121 + 75 = 196$ 一致，即壳自最高点后还需下落 3.75 m 才达 14 m/s，与该下落高度对应多次碰撞后的能量再分配相符。



题 15 图：球壳内含小球竖直上抛，与天花板及彼此依次发生弹性碰撞

两处口径必须说明：其一，'球壳内下端'按球面与壳内壁最低点之间隙为 $D-d$ 处理（若按质心间隙 $\frac{D+d}{2}$ 计，则 $d=0.15$ m）；其二，第（3）问中抛出点离地高度、球壳与小球的质量比原卷文本层均未给出，本册按题图'球壳置于水平地面上、上端距天花板 $h=6$ m'并以第 8 次碰前壳速 6 m/s 作能量约束反解，得 $v_g=14$ m/s。阅卷请以原卷图示的接触与高度关系复核数值。