逐光知理 · 高考物理参考答案与详解

2024 年 12 月山东省 2025 届高三上学期学情诊断 物理

参考答案与详解（本站独立编撰）

单项选择题 8 题 24 分 · 多项选择题 4 题 16 分 · 非选择题 6 题 60 分 · 满分 100 分

本册答案与解析由逐光知理物理教研组独立编撰：先逐题读卷面题面与配图，再独立建模求解，选择题给出四个选项的逐项判断依据，实验题按空分条说明读数理由与误差来源，计算题给出完整的受力分析、状态方程与代数过程。原卷为扫描件，个别依图读数处（如游标卡尺对齐刻线、秒表分针位置、改装电路的连线方式）按本站对图面的判读给出，若与卷面印刷值不符以卷面为准。

答案速查

1 **B**	2 **C**	3 **B**	4 **D**	5 **C**	6 **C**
7 **D**	8 **A**	9 **BC**	10 **BD**	11 **ABD**	12 **AC**

题号	主考点	答案摘要
13	用圆弧面上的等效单摆测定重力加速度	2.240；2.43；$\dfrac{4\pi^2 a}{b}$
14	电流表改装、用安阻法测电源电动势与内阻	大于；$E\approx 1.4$ V、$r\approx 1.0\,\Omega$；大于
15	重力与电场力复合场中的圆周运动与类平抛	$\sqrt{\dfrac{8R}{3g}}$；$(9-2.5\sqrt{3})R\approx 4.7R$（A 点右侧）
16	滑块—弹簧系统、动量守恒与能量损失	6 J；6 J
17	双传送带上的连接体往返运动与弹性碰撞	m_1 为 4 m/s 向左、m_2 为 6 m/s 向右；$\Delta t = 1.4375$ s
18	分象限场中两粒子的圆周运动、类平抛与同时到达	$\dfrac{mv_0}{2qx_0}$；$\dfrac{mv_0^2}{4qx_0}$；$D((9+\sqrt{3})x_0,-x_0)$；$\Delta t\approx 3.87\dfrac{x_0}{v_0}$

一、单项选择题（本题共 8 小题，每小题 3 分，共 24 分）

1. 选择题 · 3分

答案 B

详解

A. × A 项：1 kW · h = 3.6×10^6 W · s

数值关系本身成立，但等式右边仍用导出单位瓦特表示，没有换算成 kg、m、s 等基本单位的组合，不符合题目“用基本单位表示”的要求，A 错误。

B. √ B 项：$1\ \mathrm{T} = 1\ \mathrm{kg\cdot\ A^{-1}\cdot\ s^{-2}}$

由 $F = BIL$ 得 $B = \dfrac{F}{IL}$，而 $1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg\cdot\ m\cdot\ s^{-2}}$，故 $1\ \mathrm{T} = \dfrac{1\ \mathrm{kg\cdot\ m\cdot\ s^{-2}}}{\mathrm{A\cdot\ m}} = 1\ \mathrm{kg\cdot\ A^{-1}\cdot\ s^{-2}}$，全部由基本单位构成，B 正确。

C. × C 项：$1\ \mathrm{eV} = 1\ \mathrm{kg\cdot\ C\cdot\ m^2\cdot\ A^{-1}\cdot\ s^{-3}}$

电子伏特是能量单位，$1\ \mathrm{eV} = 1.6\times10^{-19}\ \mathrm{J} = 1.6\times10^{-19}\ \mathrm{kg\cdot\ m^2\cdot\ s^{-2}}$。选项中出现的库仑 C 本身是导出单位（$1\ \mathrm{C} = 1\ \mathrm{A\cdot\ s}$），代入后量纲也不等于能量，C 错误。

D. × D 项：$1\ \mathrm{V} = 1\ \mathrm{kg\cdot\ m^2\cdot\ A^{-1}\cdot\ s^{-2}}$

由 $U = \dfrac{W}{q}$，$1\ \mathrm{V} = \dfrac{1\ \mathrm{J}}{1\ \mathrm{C}} = \dfrac{\mathrm{kg\cdot\ m^2\cdot\ s^{-2}}}{\mathrm{A\cdot\ s}} = 1\ \mathrm{kg\cdot\ m^2\cdot\ A^{-1}\cdot\ s^{-3}}$，选项中时间的幂次写成 −2，D 错误。

判断单位是否“只用基本单位”，先把该物理量的定义式写出，再把牛顿、焦耳、瓦特、库仑、伏特等逐个展开成 kg、m、s、A 的幂，最后核对幂次。

2. 选择题 · 3分

答案 C

详解

A. × A 项：420 米

按题设条件算得可建造救援站的长度为 540 m（见 C 项），420 m 偏小，A 错误。

B. × B 项：480 米

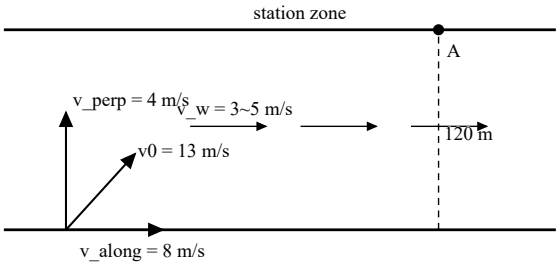
若把水速当成同一个值（不论取 3 m/s 还是 5 m/s）计算两端，得 $30\times(13+3) = 480$ m，漏掉了“顺流一侧用水速最大值、逆流一侧用水速最小值”，B 错误。

C. √ C 项：540 米

船在 30 s 内要到达与岸垂直距离 120 m 的 A 点，故船速垂直分量 $v_{\perp} = \dfrac{120}{30} = 4$ m/s，沿岸分量 $v_{/\!/} = \pm\sqrt{(4\sqrt{5})^2 - 4^2} = \pm8$ m/s。救援站与 A 点垂足沿岸的距离为 $30(v_{/\!/} + u)$，取 $v_{/\!/} = +8$、$u = 5$ 得最远端 390 m，取 $v_{/\!/} = -8$、$u = 3$ 得最近端 −150 m，范围长度 $390 + 150 = 540$ m，C 正确。

D. × D 项：660 米

若认为船沿岸分量始终取 +8 m/s、只让水速在 3 ~ 5 m/s 之间变化，得 $30\times(13-11) = 60$ m；若两端都按顺流算则得 660 m，都不符合“船可以指向上游一侧”的实际，D 错误。



题2图：渡河速度分解与救援站可建范围示意

本题的关键是船头指向可以任选：沿岸分量既能与水流同向也能反向，因此范围端点要分别用“同向且水速最大”与“反向且水速最小”两种极端组合。

3. 选择题 · 3分

答案 B

详解

A. × A 项：波长为 4 m

由振动方程 $x=2\sin\frac{\pi}{2}t$ 得 $T=\frac{2\pi}{\omega}=4$ s。B 到最近波源 6 m、D 到最近波源 5 m，D 比 B 早振动 0.5 s，故 $v=\frac{6-5}{0.5}=2$ m/s，波长 $\lambda=vT=8$ m，A 错误。

B. √ B 项：在 $t=8$ s 时 D 处的位移为 $2\sqrt{2}$ m

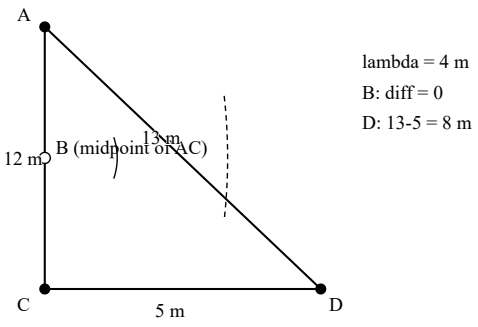
$AD=\sqrt{12^2+5^2}=13$ m。C 发出的波在 $t_1=\frac{5}{2}=2.5$ s 到达 D，A 发出的波在 $t_2=\frac{13}{2}=6.5$ s 到达 D。$t=8$ s 时两列波各自已使 D 振动 5.5 s 与 1.5 s，位移都是 $2\sin\frac{\pi}{2}\times1.5=\sqrt{2}$ m，叠加后为 $2\sqrt{2}$ m，B 正确。

C. × C 项：0 ~ 8 s 内 D 的路程为 $(16-\sqrt{2})$ m

2.5 ~ 6.5 s 只有单列波，路程 $4A=8$ m；6.5 s 后两列波在 D 点同相，合振幅 4 m 且恰从平衡位置向上起振，再经 1.5 s $=\frac{3}{8}T$ 的路程为 $4+(4-2\sqrt{2})=(8-2\sqrt{2})$ m，总路程 $16-2\sqrt{2}$ m，与选项不符，C 错误。

D. × D 项：B 处为减弱区、D 处为加强区

两波源振动完全同步，B 到两波源路程差为 0，是加强点；D 的路程差 $13-5=8$ m $=\lambda$，也是加强点。选项把 B 说成减弱区，D 错误。



题3图：两波源 A、C 与考察点 B、D 的位置关系（C-D 垂直于 A-C）

两波源同相时，路程差为波长整数倍的点是加强点、半波长奇数倍的点是减弱点；求路程要先分清“只有单列波”和“两列波叠加”两个阶段，合振幅会突变。

4. 选择题 · 3分

答案 D

详解

A. × A 项：$\frac{2qBL}{3m}$

该速率对应 $r=\frac{mv_0}{qB}=\frac{2L}{3}$，沿 AB 方向每段圆弧前进 $\frac{2L}{3}$，走满 $3L$ 需要 4.5 段，不是整数，粒子到不了 B 点，A 错误。

B. × B 项：$\frac{2qBL}{m}$

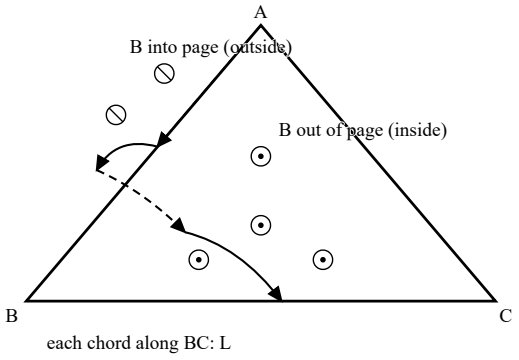
此时 $r=2L$，$3L$ 内含 1.5 段，不能恰好到达 B 点，B 错误。

C. × C 项：$\frac{6qBL}{m}$

此时 $r=6L$，粒子在三角形内偏转后从 AC 边一侧离开，前进量不足一段，C 错误。

D. √ D 项：$\frac{qBL}{6m}$

粒子沿顶角平分线（与 AB 边成 30°）入射，在三角形内（磁场向外）顺时针偏转、穿出 AB 边后在外侧（磁场向里）逆时针偏转，每段圆弧在边界上的弦长为 $2r\sin 30^\circ=r$，即每段沿 AB 方向前进 r。只要 $3L=nr$（n 为正整数）就能恰好通过 B。代入 $r=\frac{mv_0}{qB}$：本项给出 $r=\frac{L}{6}$，$n=18$ 为整数，D 正确。



题4图：正三角形区域内外磁场方向相反，粒子沿角平分线入射后逐段弦进

两侧磁感应强度大小相等、方向相反时，粒子在边界两侧交替走出全等的圆弧，沿边界“跨步前进”，每步等于一个弦长。判断能否到达某点，只需检验该点距离是不是步长的整数倍。

5. 选择题 · 3分

> 答案 C

详解

A. × A 项：内阻为 2.4 Ω

由 $P = EI - I^2 r$ 得 $\dfrac{P}{I^2} = E \cdot \dfrac{1}{I} - r$，图线纵轴截距为 −0.25，故内阻 $r = 0.25\ \Omega$，A 错误。

B. × B 项：短路电流为 12 A

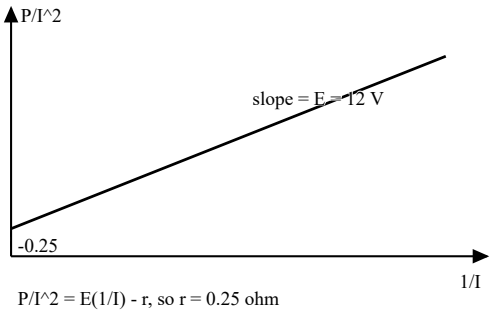
$I_{\text{short}} = \dfrac{E}{r} = \dfrac{12}{0.25} = 48\ \text{A}$，B 错误。

C. √ C 项：最大输出功率为 144 W

外阻等于内阻时输出功率最大，$P_{\max} = \dfrac{E^2}{4r} = \dfrac{12^2}{4 \times 0.25} = 144\ \text{W}$，C 正确。

D. × D 项：与 5.75 Ω 电阻丝相连时每分钟消耗电能 24 J

此时电流 $I = \dfrac{E}{R + r} = \dfrac{12}{6.0} = 2\ \text{A}$，电阻丝功率 $I^2 R = 23\ \text{W}$，每分钟消耗 $23 \times 60 = 1380\ \text{J}$；24 J 只是电源每秒输出的总电能 EI，数值与时间单位都不对应，D 错误。



题5图：P/I^2 - 1/I 图线，斜率为电动势 E，纵轴截距为 -r

把 $\dfrac{P}{I^2} - \dfrac{1}{I}$ 图象与 $U = E - Ir$ 对照：斜率即电动势，纵轴截距的绝对值即内阻，这类“变形图象”要先写出被变形的那个函数式。

6. 选择题 · 3分

> 答案 C

详解

A. × A 项：亚轨道飞行器发射速度大于 7.9 km/s

7.9 km/s 是近地环绕速度。亚轨道飞行器不能环绕地球一周、最终被拉回地面，其发射速度必然小于第一宇宙速度，A 错误。

B. × B 项：起飞至落地全过程机械能守恒

起飞阶段发动机对飞行器做正功，上升阶段还要克服空气阻力做功，只有无动力段近似守恒，全过程机械能不守恒，B 错误。

C. √ C 项：卡门线附近卫星周期约为 85 min

取 $r \approx 6500\ \text{km}$，由 $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{r^3}{gR^2}} = 2\pi\sqrt{\dfrac{(6.5\times10^6)^3}{9.8\times(6.4\times10^6)^2}} \approx 5.2\times10^3\ \text{s} \approx 86\ \text{min}$，与“约 85 min”相符，C 正确。

D. × D 项：同步卫星与卡门线附近卫星向心加速度之比为 0.032

向心加速度 $a = \dfrac{GM}{r^2}$，同步卫星轨道半径是 $R + 5.6R = 6.6R$，卡门线附近约 $1.015R$，两者之比 $\left(\dfrac{1.015}{6.6}\right)^2 \approx 0.024$。$0.032 = \left(\dfrac{1}{5.6}\right)^2$ 是把高度比当成了轨道半径比，D 错误。

> 凡是“距地面高度为地球半径的 k 倍”的条件，代入公式时必须用 $r = (1+k)R$；$a \propto \dfrac{1}{r^2}$、$T \propto r^{3/2}$ 的比值运算最容易在此失分。

7. 选择题 · 3分

答案 D

详解

A. × A 项：减小极板间正对面积

稳定时电容器所在支路无电流，其电压恒等于 R_3 两端电压。减小正对面积只改变电容 C，板间电压与场强都不变，P 点电势不变，负油滴电势能不变，A 错误。

B. × B 项：滑动变阻器滑片上滑

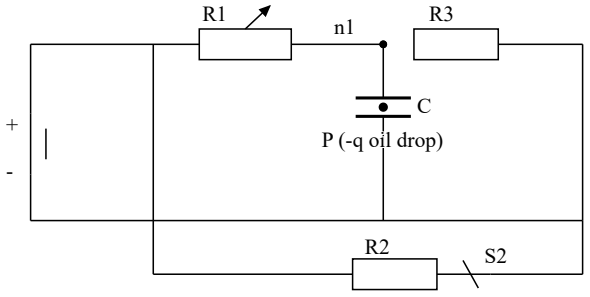
由图甲接线可知滑片上移时 R_1 接入电路的部分变短、阻值减小，外电阻减小、路端电压增大，$U_3 = \dfrac{R_3}{R_1+R_3}U$ 随之增大，P 点电势升高，负电荷的电势能 $E_p = q\varphi_P$（$q<0$）减小，B 错误。

C. × C 项：将上极板略向下移

板间电压不变而间距 d 减小，场强 $E = \dfrac{U}{d}$ 增大；下极板接地为零电势，P 到下极板距离不变，故 $\varphi_P = E\cdot\ y$ 升高，负油滴电势能减小，C 错误。

D. √ D 项：闭合开关 S_2

闭合 S_2 后 R_2 并入外电路，外电阻减小、路端电压减小，而 R_1+R_3 支路两端电压就是路端电压，故电流减小、$U_3 = IR_3$ 减小，P 点电势降低，负油滴电势能增大，D 正确。



题7图：电路结构。电容器电压取自 R3，S2 闭合后 R2 并入外电路

含电容支路在稳定状态下相当于断路：先按纯电阻电路求出 R_3 的电压，再谈板间场强与电势。电势能的变化一定要代电荷正负，$q<0$ 时电势降低反而使电势能增大。

8. 选择题 · 3分

答案 A

详解

A. √ A 项：坐标原点 O 的电势为 −0.5 V

匀强电场中电势随位置线性变化。正方形顶点为 $a(0,3)$、$b(3,0)$、$c(6,3)$、$d(3,6)$（单位 cm），设 $\varphi=Ax+By+C$，代入 $\varphi_a=-2$ V、$\varphi_b=7$ V、$\varphi_d=4$ V 解得 $A=2.5$、$B=-0.5$、$C=-0.5$，故 $\varphi_O=C=-0.5$ V，A 正确。

B. × B 项：该点电荷在 a 点的电势能为 -4×10^{-5} J

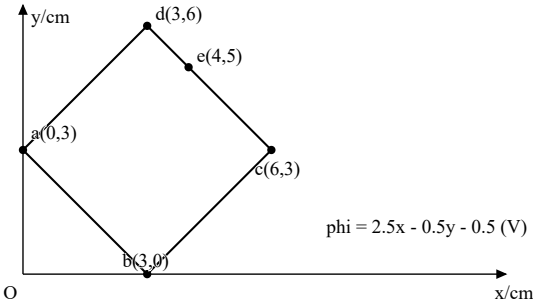
$E_{pa}=q\varphi_a=(-2\times10^{-5})\times(-2)=+4\times10^{-5}$ J，负电荷在负电势处电势能为正，B 错误。

C. × C 项：该匀强电场的电场强度大小为 $100\sqrt{13}$ V/m

$E=\sqrt{A^2+B^2}=\sqrt{2.5^2+0.5^2}=\dfrac{\sqrt{26}}{2}$ V/cm $=50\sqrt{26}$ V/m $\approx 2.5\times10^2$ V/m，并非 $100\sqrt{13}$ V/m，C 错误。

D. × D 项：从 a 移动到 e 克服电场力做功 1.8×10^{-4} J

e 为 cd 边上靠近 d 的三等分点，坐标 $(4,5)$，$\varphi_e=2.5\times4-0.5\times5-0.5=7$ V。$U_{ae}=-2-7=-9$ V，电场力做功 $W=qU_{ae}=(-2\times10^{-5})\times(-9)=+1.8\times10^{-4}$ J，是电场力做正功，不是克服电场力做功，D 错误。



题8图：正方形 abcd 各顶点坐标（单位 cm），e 为 cd 边上靠近 d 的三等分点

已知匀强电场中三点电势求第四点，可用“平行四边形（正方形）对角顶点电势之和相等”：$\varphi_a+\varphi_c=\varphi_b+\varphi_d$，得 $\varphi_c=9\ \mathrm{V}$；再在两边上按线性插值即可求任意点电势。

二、多项选择题（本题共 4 小题，每小题 4 分，共 16 分；全部选对得 4 分，选对但不全得 2 分，有选错得 0 分）

9. 选择题 · 4分

答案 BC

详解

A. × A 项：$U_{YY'}$ 恒定、$U_{XX'}$ 恒定

两个方向的电压都不随时间变化，电子束只打在一个固定位置，屏上是一个亮点而不是竖直线段，A 错误。

B. √ B 项：$U_{YY'}$ 按正弦变化、$U_{XX'}$ 为正的恒定电压

$U_{YY'}$ 周期性变化使亮斑沿竖直方向上下扫描，$U_{XX'}$ 恒为正把整条亮线平移到 Y 轴右侧，与图 2 中位于中心右侧的竖直亮线一致，B 正确。

C. √ C 项：$U_{YY'}$ 为锯齿（三角）波、$U_{XX'}$ 为正的恒定电压

三角波同样使亮斑自上而下、自下而上往返扫描，配合恒定的正向 $U_{XX'}$，得到的仍是 Y 轴右侧的一条竖直亮线，C 正确。

D. × D 项：$U_{YY'}$ 恒定、$U_{XX'}$ 按正弦变化

扫描方向被放到了水平方向，亮斑左右往返，屏上呈现的是水平线段，与图 2 不符，D 错误。

荧光屏上的图形是两对偏转电极所加电压的“合成轨迹”：哪个方向的电压随时间变化，亮线就沿哪个方向展开；恒定电压只负责把图形整体平移，其正负决定在中心轴的哪一侧。

10. 选择题 · 4分

答案 BD

详解

A. × A 项：$\tan\theta=\dfrac{1}{L}\sqrt{4h^2+hh_0}$

由下面 B 项的推导，$\tan\theta=\dfrac{4}{L}\sqrt{4h^2-hh_0}$，本项根号内符号与系数均不符，A 错误。

B. √ B 项：$\tan\theta=\frac{4}{L}\sqrt{4h^2-hh_0}$

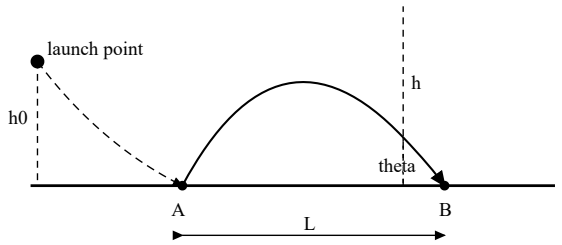
反弹后竖直上抛的最大高度为 h，故 A 点反弹后的竖直分速度 $v_y=\sqrt{2gh}$；从 A 到 B 的时间 $t_B=\frac{2v_y}{g}=2\sqrt{\frac{2h}{g}}$，由 $L=v_xt_B$ 得 $v_x^2=\frac{gL^2}{8h}$。碰撞使竖直速度减半，所以碰前瞬间竖直分速度为 $2v_y$，其平方为 $8gh$；发球点比台面高 h_0，由 $v_{y0}^2+2gh_0=(2v_y)^2$ 得 $v_{y0}^2=2g(4h-h_0)$。于是 $\tan\theta=\frac{v_{y0}}{v_x}=\frac{4}{L}\sqrt{4h^2-hh_0}$，B 正确。

C. × C 项：$v=\sqrt{2g(4h+h_0)+\frac{gL^2}{8h}}$

发球点到 A 的过程中小球下降 h_0，重力做正功，碰前竖直速度大于初速度的竖直分量，故 $v_{y0}^2=8gh-2gh_0$ 中 h_0 前是负号，C 错误。

D. √ D 项：$v=\sqrt{2g(4h-h_0)+\frac{gL^2}{8h}}$

$v=\sqrt{v_x^2+v_{y0}^2}=\sqrt{\frac{gL^2}{8h}+2g(4h-h_0)}$，与 D 项一致，D 正确。



题10图：发球后平抛落到 A，反弹（竖直分速度减半）后斜抛经最高点 h 到 B

本题把整个过程拆成三段：发球到 A（斜下抛）、A 反弹后到最高点、最高点到 B。抓住“反弹后竖直分速度减半”与“水平分速度始终不变”两个不变量，就能用最高点高度 h 反推各段。

11. 选择题 · 4分

答案 ABD

详解

A. √ A 项：槽运动的最大速度为 $4\sqrt{\frac{gR}{35}}$

小球到达最低点时槽的速度最大。此时小球只有水平速度，系统水平方向动量守恒 $2mv_1+5mV=0$，得 $v_1=-\frac{5}{2}V$；小球自 A 点上方 R 处下落到最低点共下降 $2R$，机械能守恒 $\frac{1}{2}\cdot\ 2mv_1^2+\frac{1}{2}\cdot\ 5mV^2=2mg\cdot\ 2R$。联立得 $8.75V^2=4gR$，$V=4\sqrt{\frac{gR}{35}}$，A 正确。

B. √ B 项：小球在槽中运动的最大速度为 $10\sqrt{\dfrac{gR}{35}}$

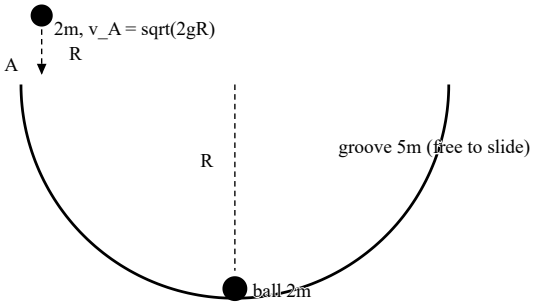
把上式代入 $v_1=\dfrac{5}{2}V$ 得小球在最低点的速度 $v_1=10\sqrt{\dfrac{gR}{35}}\approx 1.69\sqrt{gR}$，这就是题中取用的最大速度，B 正确。

C. × C 项：槽固定时重力做功的最大功率为 $4mg\sqrt{\dfrac{2gR}{3}}$

槽固定时小球在 A 点的速度 $v_A=\sqrt{2gR}$、方向竖直。设小球位置与最低点夹角为 φ，则 $v^2=2gR(1+\cos\varphi)$，速度的竖直分量为 $v\sin\varphi$，重力功率 $P=2mgv\sin\varphi$。令 $\cos\varphi=\dfrac{1}{3}$ 得 $P_{\max}=\dfrac{16}{3}mg\sqrt{\dfrac{gR}{3}}$，与 C 项不符，C 错误。

D. √ D 项：槽固定时重力做功的最大功率为 $\dfrac{16}{3}mg\sqrt{\dfrac{gR}{3}}$

由 C 项的极值计算，$P_{\max}^2=(2mg)^2\cdot 2gR\cdot\dfrac{32}{27}$，即 $P_{\max}=\dfrac{16}{3\sqrt{3}}mg\sqrt{gR}=\dfrac{16}{3}mg\sqrt{\dfrac{gR}{3}}$，出现在小球下降到与最低点夹角 φ 满足 $\cos\varphi=\dfrac{1}{3}$ 处，D 正确。



题11图：小球（质量 2m）自 A 点上方 R 处无初速滑入可自由运动的圆弧槽（质量 5m）

严格地说，小球对地的速度在最低点之前约 37° 处还略大一些（约 $1.74\sqrt{gR}$），因为此后一部分能量转给了槽；本题按常规处理，取最低点速度为小球的最大速度。求“重力的最大功率”时不能只看速度最大处，要对 v_y 求极值。

12. 选择题 · 4分

答案 AC

详解

A. √ A 项：磁感应强度 B 的大小为 $\dfrac{m}{q}\sqrt{\dfrac{g}{l}}$

初段做直线运动，重力 mg、电场力 qE（水平向右）与洛伦兹力三力平衡。速度方向与 $+x$ 成 45°，洛伦兹力垂直速度，故 $qE=mg$、$qvB=\sqrt{2}mg$。电场改为竖直向上后 qE 与重力抵消，微粒做匀速圆周运动，半径 $r=\dfrac{mv^2}{\sqrt{2}mg}$。要“垂直于 y 轴穿出”，出射点必须是圆的最高点：圆心横坐标为 0，即 $l-\dfrac{\sqrt{2}}{2}r=0$，得 $r=\sqrt{2}l$，从而 $v^2=2gl$。代回 $qvB=\sqrt{2}mg$ 得 $B=\dfrac{m}{q}\sqrt{\dfrac{g}{l}}$，A 正确。

B. × B 项：磁感应强度 B 的大小为 $\frac{m}{q}\sqrt{\frac{2g}{l}}$

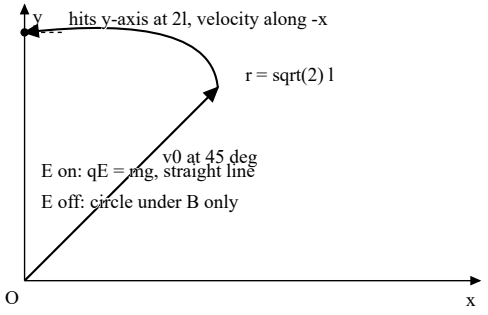
该值对应 $r=\frac{\sqrt{2}}{2}l$，微粒转过 135° 时的位置在 y 轴右侧、无法垂直打在 y 轴上，B 错误。

C. √ C 项：运动时间为 $(\frac{3\pi}{4}+1)\sqrt{\frac{l}{g}}$

直线段位移 $\sqrt{2}l$、速率 $v=\sqrt{2gl}$，$t_1=\frac{\sqrt{2}l}{\sqrt{2gl}}=\sqrt{\frac{l}{g}}$。圆周段由 45° 方向转到水平方向，转过 135°，$t_2=\frac{135}{360}T=\frac{3}{8}\cdot\frac{2\pi r}{v}=\frac{3\pi}{4}\sqrt{\frac{l}{g}}$。合计 $(\frac{3\pi}{4}+1)\sqrt{\frac{l}{g}}$，C 正确。

D. × D 项：运动时间为 $(\frac{3\pi}{4}+2)\sqrt{\frac{l}{g}}$

把直线段时间写成 $2\sqrt{\frac{l}{g}}$ 相当于用 $v=\sqrt{gl}$ 计算，与 $r=\sqrt{2}l$ 的结论矛盾，D 错误。



题12图：先沿 45° 方向做匀速直线，撤去电场后做匀速圆周运动并垂直打到 y 轴

“电场方向突然变为竖直向上”这一条件的作用是把 qE 与 mg 恰好抵消，使后续运动成为纯粹的匀速圆周运动；判断“垂直穿出 y 轴”即“出射速度水平”，出射点是圆轨道的最高点，用圆心位置列方程最稳妥。

三、非选择题（本题共 6 小题，共 60 分）

13. 实验题 · 6分

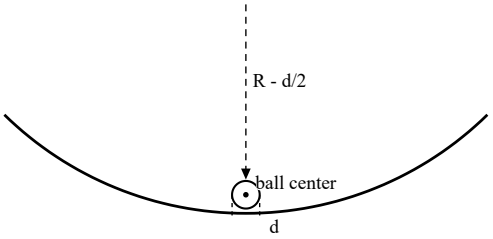
答案 2.240；2.43；$\frac{4\pi^2 a}{b}$

详解

(1) （1）$d=2.240$ cm 图 3 为 20 分度游标卡尺，精确度 0.05 mm。游标零刻线在主尺 22 mm 之后，第 8 条刻线与主尺刻线对齐，故 $d=22\text{ mm}+8\times0.05\text{ mm}=22.40\text{ mm}=2.240\text{ cm}$。

(2) （2）$T=2.43$ s 秒表小盘指针已越过 1 min 与半分钟刻度，大盘按 31 ~ 60 s 一圈读数，读得 37.0 s，故 $t=60\text{ s}+37.0\text{ s}=97.0\text{ s}$。从第 1 次经过最低点计到第 81 次，共经过最低点 80 次，即 40 个全振动，$T=\frac{97.0}{40}=2.425\text{ s}\approx2.43\text{ s}$（保留三位有效数字）。

(3) （3）$g=\frac{4\pi^2 a}{b}$ 小球在半径为 R 的圆弧面上运动，等效摆长为球心轨迹半径 $R-\frac{d}{2}$，$T=2\pi\sqrt{\frac{R-d/2}{g}}$，即 $T^2=\frac{4\pi^2}{g}R-\frac{4\pi^2}{g}\cdot\frac{d}{2}$。图 5 的斜率为 $-\frac{b}{a}$，而理论斜率为 $-\frac{4\pi^2}{g}$，所以 $g=\frac{4\pi^2 a}{b}$。



题13图：圆弧面上的等效单摆，等效摆长为球心到圆心的距离 R - d/2

换用直径不同的球时圆弧面半径 R 不变，所以图线纵截距 $b=\dfrac{4\pi^2R}{g}$、横截距 $a=2R$，两者之比正好消去 R，这就是用作差（截距）法而不用单组数据求 g 的好处。

14. 实验题 · 8分

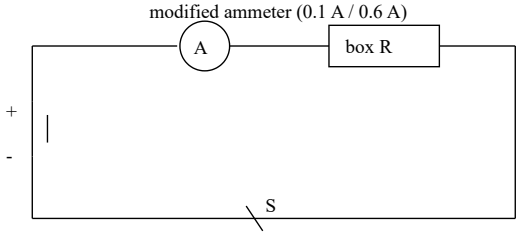
答案 大于；$E\approx1.4\ \text{V}$、$r\approx1.0\ \Omega$；大于

详解

(1) （1）R_1 大于 R_2 接“−”和“0.1 A”两端时，表头与 R_1+R_2 并联：$I_g r_g=(I_1-I_g)(R_1+R_2)$，得 $R_1+R_2=\dfrac{0.001\times200}{0.1-0.001}\approx2.02\ \Omega$。接“−”和“0.6 A”两端时，$R_2$ 与“表头加 R_1”并联：$I_g(r_g+R_1)=(I_2-I_g)R_2$。联立解得 $R_2\approx0.34\ \Omega$、$R_1\approx1.68\ \Omega$，故 R_1 大于 R_2。

(2) （2）$E\approx1.4\ \text{V}$、$r\approx1.0\ \Omega$ 0.1 A 量程改装表的内阻 $R_A=\dfrac{r_g(R_1+R_2)}{r_g+R_1+R_2}=\dfrac{200\times2.02}{202.02}=2.0\ \Omega$，且量程为该表头读数的 100 倍。两组数据对应干路电流 $I_1=0.060\ \text{A}$、$I_2=0.080\ \text{A}$，由 $E=I(R+R_A+r)$ 得 $E=0.060(22.6+r)=0.080(16.7+r)$，解得 $r=1.0\ \Omega$、$E=1.416\ \text{V}\approx1.4\ \text{V}$。

(3) （3）**测量值大于真实值** 改用 0.6 A 量程时改装表内阻变为 $R_A'=\dfrac{(r_g+R_1)R_2}{r_g+R_1+R_2}\approx0.34\ \Omega$。实验时若把电流表当成理想表（或仍按 2.0 Ω 之外的某个值处理），电流表的分压就被算进电源内阻，测得的内阻为 $r+R_A'$，大于真实值；只是 0.6 A 量程的内阻小，误差比 0.1 A 量程时小一些。



题14图：改装电流表与电阻箱串联接在电源两端（安阻法）

若第（2）问中不计电流表内阻，则由 $0.060(20.6+r)=0.080(14.7+r)$ 解得 $r=3.0\ \Omega$、E 仍为 1.4 V。本题特意把 R_A 配成 2.0 Ω 整数，就是要求把改装表内阻计入回路，取 $r=1.0\ \Omega$。

15. 计算题 · 7分

> **答案** $\sqrt{\dfrac{8R}{3g}}$；$(9-2.5\sqrt{3})R\approx 4.7R$（A 点右侧）

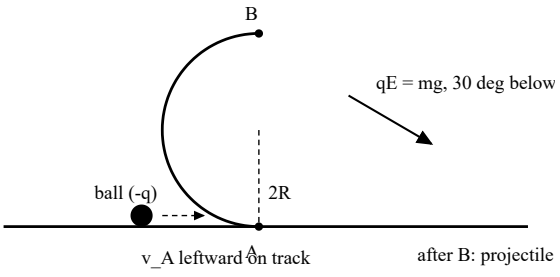
详解

(1) （1）**等效重力与离开 B 后的时间** $t=\sqrt{\dfrac{8R}{3g}}$ 小球带 $-q$，电场线在竖直面内与水平面成 30° 斜向左上，故电场力大小 $qE=mg$、方向与水平面成 30° 斜向右下。与重力合成得 $F=\sqrt{(mg\cos 30^\circ)^2+(mg+mg\sin 30^\circ)^2}=\sqrt{3}mg$，方向与水平面成 60° 斜向右下，等效加速度 $a=\sqrt{3}g$，其竖直分量 $a_y=a\sin 60^\circ=\dfrac{3g}{2}$。B 点切线水平，小球从 B 飞出后竖直方向下降 $2R$：$2R=\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{3g}{2}t^2$，得 $t=\sqrt{\dfrac{8R}{3g}}=\dfrac{2}{3}\sqrt{\dfrac{6R}{g}}$。

(2) （2）**刚好通过 B 点时的速度** $v_B^2=\dfrac{3gR}{2}$ “刚好通过”指轨道弹力为零。B 点处沿半径（竖直）方向的合力提供向心力：$mg+qE\sin 30^\circ=\dfrac{mv_B^2}{R}$，即 $\dfrac{3mg}{2}=\dfrac{mv_B^2}{R}$，得 $v_B^2=\dfrac{3gR}{2}$。

(3) （3）**A 点速度** $v_A^2=7.5gR$ 从 A 沿半圆轨道到 B，竖直上升 $2R$、水平位移为零，重力做功 $-2mgR$，电场力竖直分量做功 $-mgR$、水平分量做功为零，合计 $-3mgR$。由动能定理 $v_B^2=v_A^2-6gR$，得 $v_A^2=\dfrac{3gR}{2}+6gR=7.5gR$。

(4) （4）**释放位置在 A 点右侧** $s=(9-2.5\sqrt{3})R\approx 4.7R$ 在水平轨道上，电场力的水平分量 $qE\cos 30^\circ=\dfrac{\sqrt{3}mg}{2}$ 方向向右，与小球向左的运动相反，小球做匀减速运动，加速度大小 $\dfrac{\sqrt{3}g}{2}$。由 $v_0^2-v_A^2=2\cdot\dfrac{\sqrt{3}g}{2}s$，代入 $v_0=3\sqrt{\sqrt{3}gR}$（即 $v_0^2=9\sqrt{3}gR$）得 $s=\dfrac{9\sqrt{3}gR-7.5gR}{\sqrt{3}g}=(9-2.5\sqrt{3})R\approx 4.7R$，即在 A 点右侧约 $4.7R$ 处释放。



题15图：半圆轨道 A 在下、B 在上，等效重力斜向右下，离开 B 后做类平抛

本题轨道按能提供双向弹力的槽形轨道理解。若只考虑内侧单面轨道，小球在到达 B 之前（约在与水平成 60° 处）就需要轨道向外推它，会提前脱离；另外“等效重力场”的最低点在 A、B 连线的右侧，轨道上并没有真正的等效最低点，向心力方程只能按具体位置的合力分量列写。

16. 计算题 · 9分

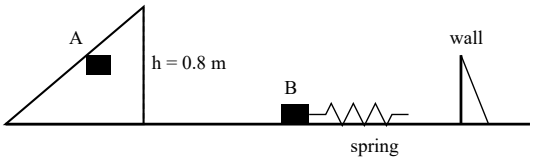
答案 6 J；6 J

详解

(1) （1）**弹簧的最大弹性势能 $E_p = 6$ J** A 从高 $h = 0.8$ m 处沿光滑斜面下滑，到水平面时速率 $v_0 = \sqrt{2gh} = 4$ m/s。A 压缩弹簧、与 B 相互作用，弹簧压缩到最短时两者共速：$m_A v_0 = (m_A + m_B)v$，得 $v = \dfrac{1\times 4}{1+3} = 1$ m/s。此时 $E_p = \dfrac{1}{2}m_A v_0^2 - \dfrac{1}{2}(m_A+m_B)v^2 = 8 - 2 = 6$ J。

(2) （2）**A、B 分离时 $v_A = -2$ m/s、$v_B = 2$ m/s** 弹簧恢复原长时 A 脱离弹簧，此过程动量与机械能同时守恒，按弹性碰撞公式：$v_A = \dfrac{m_A - m_B}{m_A + m_B}v_0 = -2$ m/s（被弹回，向右），$v_B = \dfrac{2m_A}{m_A+m_B}v_0 = 2$ m/s（向左）。

(3) （3）**物块 A 全过程损失的机械能 $\Delta E = 6$ J** A 的机械能由 $\dfrac{1}{2}m_A v_0^2 = 8$ J 变为 $\dfrac{1}{2}m_A v_A^2 = 2$ J，斜面和水平面都光滑、A 上下斜面不损耗能量，所以全过程损失的机械能 $\Delta E = 8 - 2 = 6$ J，这部分能量转移给了 B。随后 B 与 C 碰后粘在一起：$m_B v_B = (m_B + m_C)v_{BC}$，$v_{BC} = 1$ m/s，该过程 A 已脱离弹簧，不再影响 A 的机械能。



题16图：A 自光滑斜面下滑压缩弹簧推 B，地面与斜面均光滑

若继续追究全过程：A 以 2 m/s 冲上斜面又滑回，仍以 2 m/s 向左追上速度为 1 m/s 的 B、C 整体并再次经弹簧作用，由弹性碰撞公式得 A 的最终速度为 $\dfrac{2}{7}$ m/s，此时 A 损失的机械能约为 7.96 J。本卷按题述“A、B 分开”作为末状态，取 6 J。

17. 计算题 · 14分

答案 m_1 为 4 m/s 向左、m_2 为 6 m/s 向右；$\Delta t = 1.4375$ s

详解

(1) （1）**两物块恰在 $t = 1$ s 于 B、C 接缝处相遇** 滑动摩擦力产生的加速度大小 $a = \mu g = 4$ m/s^2。m_1 以 10 m/s 滑上向右运行的 AB 带，做匀减速运动，速度降到带速 6 m/s 需时 $\dfrac{10-6}{4} = 1$ s、位移 $\dfrac{10^2-6^2}{2\times 4} = 8$ m $= L_1$，恰好到达 B 端。m_2 在 D 点轻放，被向左运行的 CD 带加速，达到带速 4 m/s 需 $\dfrac{4^2}{2\times 4} = 2$ m $= L_2$、1 s，恰好到达 C 端。

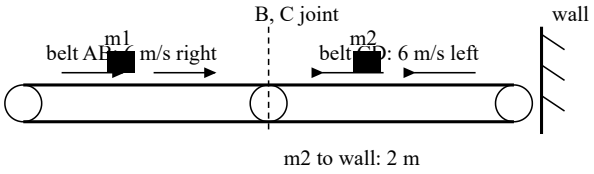
(2) （1）**第一次碰后 m_1 为 4 m/s 向左、m_2 为 6 m/s 向右** 两物块质量相等且发生弹性正碰，碰后交换速度：碰前 m_1 向右 6 m/s、m_2 向左 4 m/s，故碰后 m_1 以 4 m/s 向左、m_2 以 6 m/s 向右运动。

(3) （2）m_2 在 $t=1.875$ s 回到接缝处，速度 4 m/s 向左 m_2 滑上 CD 带后受向左的摩擦力而减速，到墙时 $v=\sqrt{6^2-2\times4\times2}=\sqrt{20}$ m/s，历时 $\dfrac{6-\sqrt{20}}{4}=0.382$ s。与墙弹性碰撞后以 $\sqrt{20}$ m/s 向左返回，先减速到带速 4 m/s（0.118 s、0.5 m），再随带匀速走完余下 1.5 m（0.375 s），合计在 $t=1+0.382+0.118+0.375=1.875$ s 以 4 m/s 向左滑上 AB 带。

(4) （2）m_1 在 $t=2$ s 停下，$t=3$ s 回到接缝处 m_1 以 4 m/s 向左滑上向右运行的 AB 带，摩擦力向右，先减速到 0：用时 1 s、向左运动 2 m；再向右加速，回到接缝处又需 1 s，此时速度恰为 4 m/s（尚未达到带速 6 m/s）。

(5) （2）第二次碰撞时刻 $t=2.4375$ s，位置在接缝左侧 1.62 m 以接缝为原点、向左为正。m_1 在 $t\geqslant2$ s 时位置 $x_1=2-2(t-2)^2$；m_2 在 $t\geqslant1.875$ s 时位置 $x_2=4(t-1.875)-2(t-1.875)^2$。令 $x_1=x_2$，得 $t-1.875=0.5625$ s，即 $t=2.4375$ s，$x=1.62$ m。此时两者速率都是 1.75 m/s、方向相反，第二次碰撞确实发生。

(6) （2）$\Delta t=1.4375\text{ s}=\dfrac{23}{16}$ s 第一次碰撞发生在 $t=1$ s，第二次发生在 $t=2.4375$ s，所经历的时间 $\Delta t=2.4375-1=1.4375$ s。



题17图：AB 带向右、CD 带向左（均 6 m/s），m1、m2 在接缝处相遇并弹性碰撞

本题的设计是“位移刚好等于带长”：m_1 减速 8 m、m_2 加速 2 m，所以第一次相遇时刻与位置都由带长锁定。此后每一段都要先判断物块速度与带速的大小关系，才能确定摩擦力方向；物块在带上往返时，离开点与回到点的速率相同。

18. 计算题 · 16分

答案 $\dfrac{mv_0}{2qx_0}$；$\dfrac{mv_0^2}{4qx_0}$；$D((9+\sqrt{3})x_0,-x_0)$；$\Delta t\approx3.87\dfrac{x_0}{v_0}$

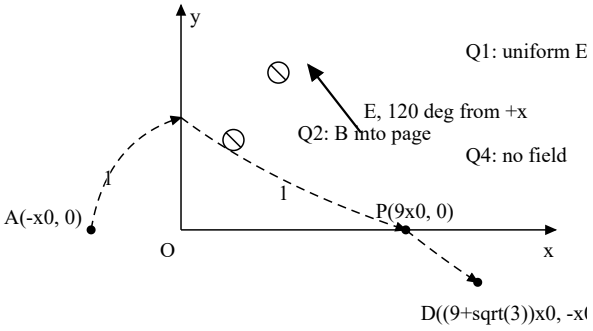
详解

(1) （1）$B=\dfrac{mv_0}{2qx_0}$ 甲带负电，从 $A(-x_0,0)$ 沿 $+y$ 进入第二象限（磁场垂直平面向里），洛伦兹力指向 $+x$，做顺时针匀速圆周运动，圆心在 $(-x_0+r_1,\,0)$，半径 $r_1=\dfrac{mv_0}{qB}$。甲穿出 y 轴时速度与 $+x$ 成 30°，即半径从 A 处转过 60°，该点横坐标 $x=-x_0+r_1-r_1\cos60^\circ=-x_0+\dfrac{r_1}{2}$，纵坐标 $y=r_1\sin60^\circ$。此点在 y 轴上，故 $r_1=2x_0$，代回得 $B=\dfrac{mv_0}{2qx_0}$，入射点为 $(0,\,\sqrt{3}x_0)$。

(2) （2）$E=\dfrac{mv_0^2}{4qx_0}$ 第一象限电场与 $-x$ 成 60° 斜向左上，甲受电场力 qE 方向与 $+x$ 成 60° 斜向右下，恰好与入射速度（与 $+x$ 成 30°）垂直，做类平抛运动，加速度 $a=\dfrac{qE}{m}$。沿初速度方向匀速、沿力方向匀加速，到 P 点时速度与 $+x$ 成 30° 斜向下，由 $v_0\sin30^\circ-at\cos60^\circ$ 与水平分量之比等于 $\tan30^\circ$ 解得 $at=\sqrt{3}v_0$，合速度为 $2v_0$。竖直方向位移满足 $v_0t\sin30^\circ-\dfrac{1}{2}at^2\sin60^\circ=-\sqrt{3}x_0$，代入 $at=\sqrt{3}v_0$ 得 $t=\dfrac{4\sqrt{3}x_0}{v_0}$，于是 $a=\dfrac{\sqrt{3}v_0}{t}=\dfrac{v_0^2}{4x_0}$，$E=\dfrac{ma}{q}=\dfrac{mv_0^2}{4qx_0}$。

(3) （3）$D\left((9+\sqrt{3})x_0,\,-x_0\right)$ P 点横坐标 $x_P=v_0t\cos30^\circ+\dfrac{1}{2}at^2\cos60^\circ=6x_0+3x_0=9x_0$。第四象限无场，甲以 $2v_0$、与 $+x$ 成 30° 斜向下做匀速直线运动。乙带 $+2q$、速度 $2v_0$，从 A 沿 $-y$ 进入第三象限后逆时针偏转，由“沿 $+x$ 方向进入第四象限”知转过 90°、半径 $r_2=x_0$（对应 $B'=\dfrac{mv_0}{qx_0}=2B$），从 $(0,\,-x_0)$ 以 $2v_0$ 沿 $+x$ 匀速运动。两轨迹的交点即 D：由 $2v_0\sin30^\circ\cdot\ \tau=x_0$ 得 $\tau=\dfrac{x_0}{v_0}$，$x_D=9x_0+2v_0\cos30^\circ\cdot\ \tau=(9+\sqrt{3})x_0$，故 $D\left((9+\sqrt{3})x_0,\,-x_0\right)$。

(4) （4）甲、乙出发的时间间隔 Δt 甲：磁场中转过 60°，$t_1=\dfrac{T_1}{6}=\dfrac{1}{6}\cdot\dfrac{2\pi r_1}{v_0}=\dfrac{2\pi x_0}{3v_0}$；电场中 $t_2=\dfrac{4\sqrt{3}x_0}{v_0}$；第四象限中 $\tau=\dfrac{x_0}{v_0}$。合计 $\left(\dfrac{2\pi}{3}+4\sqrt{3}+1\right)\dfrac{x_0}{v_0}$。乙：磁场中转过 90°，$t_3=\dfrac{1}{4}\cdot\dfrac{2\pi r_2}{2v_0}=\dfrac{\pi x_0}{4v_0}$；第四象限中走 $(9+\sqrt{3})x_0$，$t_4=\dfrac{(9+\sqrt{3})x_0}{2v_0}$。合计 $\left(\dfrac{\pi}{4}+\dfrac{9+\sqrt{3}}{2}\right)\dfrac{x_0}{v_0}$。两者同时到达 D，甲用时较长，故甲应先出发 $\Delta t=\left(\dfrac{2\pi}{3}-\dfrac{\pi}{4}+4\sqrt{3}+1-\dfrac{9+\sqrt{3}}{2}\right)\dfrac{x_0}{v_0}=\left(\dfrac{5\pi}{12}+\dfrac{7\sqrt{3}-7}{2}\right)\dfrac{x_0}{v_0}\approx3.87\dfrac{x_0}{v_0}$。



题18图：第2象限匀强磁场、第1象限匀强电场、第4象限无场，粒子1沿虚线依次经三区域到达 D

解题主线是“先由出射方向定半径、再由半径定圆心”：甲在 y 轴上以 30° 射出给出 $r_1=2x_0$，乙以水平方向射出给出 $r_2=x_0$。电场方向与 $-x$ 成 60°、甲入射方向与 $+x$ 成 30°，两者恰好垂直，因此甲在第一象限是标准的类平抛，用“沿初速度方向匀速、沿力方向匀加速”分解最省事。