逐光知理 · 高考物理参考答案与详解

2025年普通高中学业水平选择性考试（湖北卷）物理

参考答案与详解（本站独立编撰）

物理单科 · 10 选择（1~7 单选、8~10 多选）+ 2 实验 + 3 计算 · 满分 100 分 · 考试时间 75 分钟

本册答案与解析由逐光知理物理教研组独立编撰：先由编者按原卷题面独立推演求解，再逐条回代核对数值与单位后成稿，未参照任何外部发布答案。原卷为扫描件，个别读数（游标卡尺、图线截距）按本站对卷面图形的判读给出，若与原卷印刷值不符以卷面为准。

答案速查

1 **C**	2 **A**	3 **B**	4 **A**	5 **B**	6 **C**
7 **B**	8 **AC**	9 **AD**	10 **AD**		

题号	主考点	答案摘要
11	伏安法测干电池电动势和内阻（电流传感器法）	（1）保护 （2）$\dfrac{R+R_0+r}{E}$ （3）$E\approx 1.43\ \mathrm{V}$，$r\approx 1.7\ \Omega$ （4）有
12	跨绳双锤系统结合光电门测重力加速度	（1）$d=0.020\ \mathrm{cm}$ （2）$v=\dfrac{d}{t}$；$g=\dfrac{(M+m)d^2}{2(M-m)t^2H}$ （3）9.80
13	棱镜折射与全反射的几何光学计算	（1）$\sin r=\dfrac{\sqrt{6}}{4}$ （2）$\alpha=60^\circ$
14	带电粒子在分区匀强磁场中的周期性圆周运动	（1）$r_1=\dfrac{mv_0}{qB}$ （2）$\dfrac{\sqrt{3}mv_0}{2qB}$ （3）$T=(\dfrac{5\pi}{3}+\sqrt{3})\dfrac{m}{qB}$
15	滑块—木板多级碰撞与摩擦突变的动力学分析	（1）$v=\sqrt{(\beta-4)\mu gL}$ （2）$v_{j+1}=\dfrac{j}{j+1}\sqrt{v_j^2-4\mu gL}$ （3）$\beta=\dfrac{32n^3+120n^2+100n+24}{3}$

一、选择题（本题共 10 小题，每小题 4 分，共 40 分。第 1~7 题只有一项符合题目要求，第 8~10 题有多项符合题目要求，全部选对得 4 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分）

1. 选择题 · 4分

答案 C

详解

A. × A 项：错误

由衰变方程 $^{18}_{9}\mathrm{F}\rightarrow X+^{0}_{+1}\mathrm{e}+^{0}_{0}\nu$，电荷数守恒 $9=Z_X+1$，得 $Z_X=8$；质量数守恒 $18=A_X$。故 X 应为 $^{18}_{8}\mathrm{O}$，选项给 $^{17}_{8}\mathrm{O}$，质量数不守恒，错误。

B. × B 项：错误

该反应是放射性同位素的自发 eta^{+} 衰变（弱相互作用），不是轻核聚变，错误。

C. √ C 项：正确

半衰期指一半原子核发生衰变所需时间。经 110 分钟即一个半衰期，剩下的 $^{18}\mathrm{F}$ 原子核数减半，对应质量 1 g → 0.5 g，正确。

D. × D 项：错误

产生的是中微子 ν，不带电，在磁场中不受洛伦兹力，不会发生偏转（偏转的是正电子），错误。

---

2. 选择题 · 4分

> **答案** A

详解

A. √ A 项：正确

由 $\dfrac{GMm}{r^2}=m\dfrac{4\pi^2}{T^2}r$ 得 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{r^3}{GM}}$，$r_{甲}<r_{乙}$，故 $T_{甲}<T_{乙}$，甲的周期比乙的小。

B. × B 项：错误

$v=\sqrt{\dfrac{GM}{r}}$，半径小的线速度大，故 $v_{甲}>v_{乙}$，错误。

C. × C 项：错误

$\omega=\sqrt{\dfrac{GM}{r^3}}$，半径小的角速度大，故 $\omega_{甲}>\omega_{乙}$，错误。

D. × D 项：错误

向心加速度 $a=\dfrac{GM}{r^2}$，半径小的加速度大，故 $a_{甲}>a_{乙}$，错误。

---

3. 选择题 · 4分

> **答案** B

详解

A. × A 项：错误

末态温度为初态 2 倍且体积减小，由 $p=\dfrac{nRT}{V}$ 知末态压强 $p>2p_0$。活塞缓慢移动时 $p=p_{大气}+\dfrac{F}{S}$，压强增大要求外力 F 增大，不是保持不变。

B. √ B 项：正确

理想气体内能只由温度决定，温度升高到初态 2 倍，内能增加；电热丝提供的电能一部分转化为气体内能，一部分因体积被压缩转化为外界对气体做的功。

C. × C 项：错误

气体体积缓慢减小，气体被压缩，外界对气体做正功，气体对外做负功，错误。

D. × D 项：错误

由 $p=\dfrac{nRT}{V}$，$T\to 2T$ 的同时 V 减小，故 $p>2p_0$，末态压强大于初态的 2 倍，错误。

---

4. 选择题 · 4分

> 答案 A

详解

A. √ A 项：正确

取轴线为 z 轴。载流圆线圈轴线上磁感应强度 $B_{线}=\dfrac{\mu_0 IR^2}{2(R^2+z^2)^{3/2}}$，是 z 的偶函数：M、N 两点到 O 等距，故两点处线圈磁场大小相等、方向相同（均沿轴线同指向）。M 点合磁场为零，说明外磁场与线圈磁场在 M 点等大反向；外磁场为匀强磁场，在 N 点大小方向不变，而 N 点线圈磁场与 M 点完全相同，故 N 点合磁场也为零。

B. × B 项：错误

若认为 N 点线圈磁场与 M 点方向相反才会得出 B，但轴线上线圈磁场两侧同向，不成立。

C. × C 项：错误

$2B$ 对应误认为 N 点线圈磁场与外磁场同向叠加，与轴线磁场分布的对称性矛盾。

D. × D 项：错误

$3B$ 的结果对应“N 点线圈磁场与外磁场同向且大小为 $2B$ 再叠加 B”的错误图像。实际上 M 点已合成为零，说明外磁场与该处线圈磁场等大反向；N 点线圈磁场与 M 点等大同向，故 N 点合磁场为零，不可能是 $3B$。

---

5. 选择题 · 4分

> 答案 B

详解

A. × A 项：错误

$\dfrac{B_0Lx_0}{4R}$ 对应误把回路总电阻当 $4R$，回路总电阻为两棒电阻之和 $2R$，错误。

B. √ B 项：正确

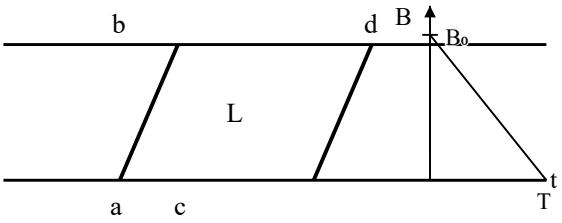
回路电流 $I=\dfrac{E}{2R}$，而 $E=-\dfrac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}$，故 $q=\int I\,\mathrm{d}t=\dfrac{|\,\Phi(0)-\Phi(T)\,|}{2R}$。$t=0$ 时　磁通　$\Phi(0)=B_0Lx_0$；$t=T$ 时 $B=0$，　磁通　$\Phi(T)=0$（与 cd 棒位置无关）。故 $q=\dfrac{B_0Lx_0}{2R}$。

C. × C 项：错误

$\dfrac{B_0Lx_0}{R}$ 对应误用单棒电阻 R 作回路总电阻，错误。

D. × D 项：错误

$\dfrac{2B_0Lx_0}{R}$ 把两棒电动势错误相加后还除错电阻，量纲虽对但数值无依据，错误。



题5图：平行导轨上的双棒与 B－t 图像

6. 选择题 · 4分

> **答案** C

详解

A. × A 项：错误

建立坐标：击球点到网水平距离均为 L，击球高度分别为 $h_1=\dfrac{L}{2}$（斜向上）、$h_2=L$（斜向下），网球均恰好掠过网。设球网高为 H，初速大小 v_0 相同，斜抛轨迹 $y=h+x\tan\theta-\dfrac{gx^2}{2v_0^2\cos^2\theta}$。

B. × B 项：错误

两次击球在 $x=L$ 处都过同一高度 H，且 v_0 相同，故两式中最后一项相同：$\dfrac{gL^2}{2v_0^2\cos^2\theta}$。

C. √ C 项：正确

两式相减：$H=\dfrac{L}{2}+L\tan\theta-\dfrac{gL^2}{2v_0^2\cos^2\theta}$ 与 $H=L-L\tan\theta-\dfrac{gL^2}{2v_0^2\cos^2\theta}$，相减得 $0=\dfrac{L}{2}-L+2L\tan\theta$，解得 $\tan\theta=\dfrac{1}{4}$。回代：两式均给 $H=L-\dfrac{L}{4}-\dfrac{gL^2}{2v_0^2\cos^2\theta}$，自洽。

D. × D 项：错误

$\tan\theta=\dfrac{1}{6}$ 代入两式相减将得 $0=\dfrac{L}{2}-L+\dfrac{L}{3}\neq0$，不自洽，错误。

7. 选择题 · 4分

> **答案** B

详解

A. × A 项：错误

$\sqrt{\dfrac{L}{2\mu g}}$ 对应减速段位移仅 $\dfrac{L}{4}$ 的情形，与门板需整体越过中缝位移 $\dfrac{L}{2}$ 不符。

B. √ B 项：正确

门板（被拉门板）需从关闭位置完全运动到另一侧，位移为 $\dfrac{L}{2}$，且“恰好不与门框碰撞”要求到达门框时速度恰好减为零。设加速段位移 x_1、末速 v，减速段 $v^2=2\mu g\left(\dfrac{L}{2}-x_1\right)$。要时间最短，拉力 F 足够大时加速段时间与位移均可趋于零，极限下全程近似为以初速 $v_{\max}=\sqrt{\mu g L}$ 开始的匀减速：$t_{\min}\to\dfrac{v_{\max}}{\mu g}=\sqrt{\dfrac{L}{\mu g}}$，即所用时间趋近于 $\sqrt{\dfrac{L}{\mu g}}$。

C. × C 项：错误

$\sqrt{\dfrac{2L}{\mu g}}$ 对应减速段位移为 L，多算了一倍门板位移。

D. × D 项：错误

$2\sqrt{\dfrac{L}{\mu g}}$ 数值上为 B 项两倍，无对应运动过程，错误。

阻力 $\propto$ 重力，减速加速度恒为 μg；“用时尽量短”取 $F\to\infty$ 的极限，加速段时间趋近于零。

8. 选择题 · 4分

> **答案** AC

详解

A. √ A 项：正确

仅增加用户数，并联负载增多、负载总电阻减小，输电线电流增大，输电线路电阻 r 上消耗的功率 $P_r=I_{线}^2 r$ 增大。

B. × B 项：错误

仅增加用户数时输电线电流增大，线路电压损失 $\Delta U=I_{线}r$ 增大，降压变压器输入电压减小，用户端电压减小而不是增大。

C. √ C 项：正确

仅适当增加升压变压器副线圈匝数 n_2，由 $\dfrac{U_2}{U_1}=\dfrac{n_2}{n_1}$ 输电电压升高，输电线电流减小、线路损失减小，降压变压器副线圈输出电压升高，用户端电压增大。

D. × D 项：错误

仅增加 n_2 时用户端电压升高，负载消耗功率增大，整个电路消耗的功率（发电机的输出功率）增大而不是减小。

---

9. 选择题 · 4分

答案 AD

详解

A. √ A 项：正确

以小球 b 的平衡位置为原点（该处弹簧伸长 $\frac{mg}{k}$），把 b 下拉 l 静止释放，b 以振幅 l 振动。当 b 到最高点（位移向上 l）时弹簧形变量为 $\left|l-\frac{mg}{k}\right|$：若 $l>\frac{mg}{k}$，弹簧被压缩，压缩量 $l-\frac{mg}{k}$，对 a 产生向上推力。轻绳拉力 $T=mg-k\left(l-\frac{mg}{k}\right)$，当 $l>\frac{2mg}{k}$ 时 $T<0$ 不可能，绳松弛、小球 a 将运动。故 a 是“可能会运动”的，正确。

B. × B 项：错误

释放时 b 在平衡位置下方 l 处且速度为零，振幅就是 l，不是 $\frac{l}{2}$。

C. × C 项：错误

只要 a 不动，弹簧弹力对 b 恒为 $F=-kx$（伸长或压缩均为线性回复力，弹簧在弹性限度内），b 都做简谐运动，故“仅当 $l\le\frac{mg}{k}$”的条件过严；$\frac{mg}{k}<l\le\frac{2mg}{k}$ 时 b 仍始终做简谐运动（此时弹簧经历压缩，但力仍线性）。

D. √ D 项：正确

由 A 项分析，$l\le\frac{2mg}{k}$ 时整个振动过程中绳拉力 $T=mg-k\left(l-\frac{mg}{k}\right)\ge 0$，绳始终张紧（或恰不松弛），$a$ 静止不动，b 始终以 O 为固定悬点做简谐运动；$l>\frac{2mg}{k}$ 则中途绳松弛、a 运动，b 不再始终做简谐运动。故“当且仅当 $l\le\frac{2mg}{k}$”正确。

弹簧既能拉又能压，压缩时对 a 是向上推力，这是判断绳是否松弛的关键。

---

10. 选择题 · 4分

> **答案** AD

详解

A. √ A 项：正确

正五边形顶点对中心 O 对称分布：除 $3q$ 外，$4q$ 与 $2q$ 关于 y 轴的对称性、$5q$ 与 q 的对称性均可配对处理。设顶点方位角自 $3q$（$+y$ 轴，90°）顺时针依次为 18°（$4q$）、-54°（$5q$）、-126°（q）、162°（$2q$）。每个点电荷在 O 的场强沿“顶点→O”方向延长，大小 $\dfrac{kq_i}{R^2}$。合成 $E=-\dfrac{kq}{R^2}\sum q_i'(\cos\varphi_i,\sin\varphi_i)$（$q_i'$ 为以 q 为单位的电荷数）：x 分量 $\sum=2\cos 18^\circ+4\cos 54^\circ\approx 2\times0.951+4\times0.588=4.254$，$y$ 分量 $3+6\sin 18^\circ-6\sin 54^\circ\approx 3+1.854-4.854=0$。故合场强沿 x 轴负方向，正确。

B. × B 项：错误

合成后 y 分量恰为零，合场强方向严格沿 x 轴负方向，与 x 轴负方向夹角为 0° 而非 18°。

C. × C 项：错误

$\dfrac{2kq}{R^2}(\cos 54^\circ+\cos 18^\circ)\approx\dfrac{2kq}{R^2}\times1.539=3.08\dfrac{kq}{R^2}$，漏掉了部分电荷的贡献，与实际 $4.254\dfrac{kq}{R^2}$ 不符。

D. √ D 项：正确

$\dfrac{2kq}{R^2}(2\cos 54^\circ+\cos 18^\circ)=\dfrac{2kq}{R^2}\times(1.176+0.951)=4.254\dfrac{kq}{R^2}$，与矢量合成结果一致，正确。

二、非选择题（本题共 5 小题，共 60 分）

11. 实验题 · 8分

> **答案** （1）保护 （2）$\dfrac{R+R_0+r}{E}$ （3）$E\approx1.43\ \mathrm{V}$，$r\approx1.7\ \Omega$ （4）有

详解

(1) 第（1）空 R_0 与电池、电阻箱、电流传感器串联。若调节电阻箱时 R 过小甚至误接为 0，没有 R_0 则回路电流会远超干电池与传感器的允许值，故 R_0 起“保护”作用。

(2) 第（2）空 闭合 S 后，由闭合电路欧姆定律，回路为 E、r、R_0、电阻箱 R 与电流传感器（内阻可忽略）串联：

$$I=\frac{E}{R+R_0+r}$$

变形得

$$\frac{1}{I}=\frac{1}{E}R+\frac{R_0+r}{E}$$

即 $\dfrac{1}{I}=\dfrac{R+R_0+r}{E}$。

(3) 第（3）空 由上式，$\frac{1}{I}-R$ 图线斜率 $k=\frac{1}{E}$，纵截距 $b=\frac{R_0+r}{E}$。按本站对图(b)的判读，图线可取点 (0, 7.5) 与 (25 Ω, 25.0 $\mathrm{A^{-1}}$)，则 $k=\frac{25.0-7.5}{25}\ \mathrm{A^{-1}/\Omega}\approx 0.70\ \mathrm{A^{-1}\cdot\ \Omega^{-1}}$，故 $E=\frac{1}{k}\approx 1.43\ \mathrm{V}$（保留三位有效数字）；再由 $b=7.5\ \mathrm{A^{-1}}$ 得 $r=bE-R_0=7.5\times 1.43-9.0\ \Omega\approx 1.7\ \Omega$（保留两位有效数字）。图线读数存在允许误差，数值在此附近均合理。

(4) 第（4）空 电流传感器实际存在微小内阻 R_A，串联在回路中，真实关系为 $\frac{1}{I}=\frac{R+R_0+r+R_A}{E}$。处理数据时 R_A 被并入截距，使测得的“内阻”偏大，故对本实验干电池内阻的测量结果“有”影响。

> 作图时纵轴从 5 $\mathrm{A^{-1}}$ 起（非零起点），不能用纵截距直接当 r；必须先乘 E 再减 R_0。

12. 实验题 · 9分

> **答案**　（1）$d=0.020\ \mathrm{cm}$　（2）$v=\frac{d}{t}$；$g=\frac{(M+m)d^2}{2(M-m)t^2H}$　（3）9.80

详解

(1) 第（1）空 游标卡尺为 20 分度，精度 0.05 mm。按本站对图(b)的判读：游标“0”刻线在主尺 0 刻线右侧极近处，游标第 4 条刻线与主尺刻线对齐，读数 $d=0+4\times 0.05\ \mathrm{mm}=0.20\ \mathrm{mm}=0.020\ \mathrm{cm}$。此题为扫描图形，判读存在不确定性，若原卷对齐刻线不同以其卷面为准（存疑）。

(2) 第（2）空 遮光片宽度 d 很小，其通过光电门的平均速度近似等于瞬时速度：$v=\frac{d}{t}$。系统（重锤 1 质量 m、重锤 2 质量 M，$M>m$）由静止释放后做匀加速运动，重锤 1 连同遮光片上升 H（遮光片中心到光电门的竖直距离）时速度为 v，则

$$v^2=2aH,\qquad a=\frac{(M-m)g}{M+m}$$

联立得 $\frac{(M+m)d^2}{2(M-m)t^2}=2\cdot\ \frac{(M-m)g}{M+m}H\cdot\ \frac{1}{1}$，整理得

$$g=\frac{(M+m)d^2}{2(M-m)t^2H}$$

回代检验：若 $M=2m$、$d=0.20\ \mathrm{mm}$、$t\approx 1\ \mathrm{ms}$、$H\approx 0.5\ \mathrm{m}$，则 $g\approx\frac{3m\times(2\times10^{-4})^2}{2m\times(10^{-3})^2\times 0.5}\approx 9.6\ \mathrm{m/s^2}$，量级合理。

(3) 第（3）空 由 $a=(\beta-\gamma)g$ 知 $a-\beta$ 呈线性，斜率为 g。逐差法：$\frac{\Delta a}{\Delta\beta}$ 依次为 $\frac{0.281-0.084}{0.02}=9.85$、$\frac{0.477-0.281}{0.02}=9.80$、$\frac{0.673-0.477}{0.02}=9.80$（单位 $\mathrm{m/s^2}$），三组高度一致，取平均 $g=9.80\ \mathrm{m/s^2}$（保留三位有效数字）。同时由截距可估 γ：$a=0$ 时 $\beta\approx 0.004\sim 0.009$，与“圆柱体表面不够光滑”的叙述一致。

> 第（2）空易把 $2H$ 误写为 H；速度平方与位移关系 $v^2=2aH$ 中的 H 必须是遮光片从释放处到光电门的位移。

13. 计算题 · 9分

答案　（1）$\sin r=\dfrac{\sqrt{6}}{4}$　（2）$\alpha=60^\circ$

详解

(1) 第（1）问 几何关系：$AC=BC$，$\angle C=30^\circ$，故底角 $\angle A=\angle B=\dfrac{180^\circ-30^\circ}{2}=75^\circ$，$AC$ 边贴在水平镜面上，AB 面与水平方向成 75° 角。光线在镜面 O 点反射，反射光线与水平方向夹角为 $90^\circ-\alpha$（α 为对镜面的入射角）。反射线射向 AB 面时，与 AB 面的夹角为 $75^\circ-(90^\circ-\alpha)=\alpha-15^\circ$，故在 AB 面的入射角 $i=90^\circ-(\alpha-15^\circ)=105^\circ-\alpha$。$\alpha=45^\circ$ 时 $i=60^\circ$，由折射定律 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$：

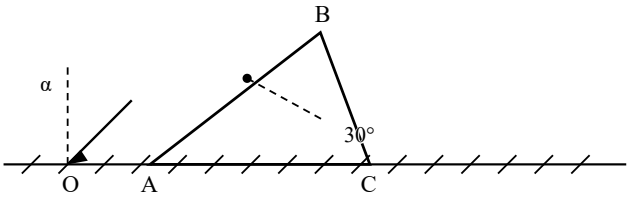
$$\sin r=\frac{\sin 60^\circ}{\sqrt{2}}=\frac{\sqrt{3}/2}{\sqrt{2}}=\frac{\sqrt{6}}{4}\approx 0.61$$

(2) 第（2）问 全反射临界角满足 $\sin C=\dfrac{1}{n}=\dfrac{1}{\sqrt{2}}$，即 $C=45^\circ$。设光线在 AB 面折射角为 r，进入棱镜后直接到达 BC 面并在该面恰好发生全反射（在 BC 面入射角为 45°）。在由 AB 上入射点、BC 上反射点与顶点 B 构成的三角形中：光线与 AB 面夹角 $90^\circ-r$，与 BC 面夹角 45°，两棱面夹角 $\angle B=75^\circ$，内角和

$$(90^\circ-r)+45^\circ+75^\circ=180^\circ\Rightarrow r=30^\circ$$

由折射定律 $\sin i=\sqrt{2}\sin 30^\circ=\dfrac{\sqrt{2}}{2}$，得 $i=45^\circ$，即 $105^\circ-\alpha=45^\circ$，解得

$$\alpha=60^\circ$$



题13图：贴镜三棱镜与反射光路示意

14. 计算题 · 16分

答案　（1）$r_1=\dfrac{mv_0}{qB}$　（2）$\dfrac{\sqrt{3}mv_0}{2qB}$　（3）$T=(\dfrac{5\pi}{3}+\sqrt{3})\dfrac{m}{qB}$

详解

(1) 第（1）问 粒子在 MN 左侧磁场（磁感应强度 B，方向垂直纸面向外）中做匀速圆周运动，洛伦兹力提供向心力：

$$qv_0B=\frac{mv_0^2}{r_1}\Rightarrow r_1=\frac{mv_0}{qB}$$

正电荷向上射出（平行 MN）、磁场向外，由左手定则洛伦兹力指向右侧（指向 MN），粒子顺时针偏转。

(2) 第（2）问 以 O 为原点，O 到 MN 距离 $d=\dfrac{3mv_0}{2qB}=1.5r_1$。粒子轨迹圆的圆心在 O 右侧 r_1 处，轨迹方程 $(x-r_1)^2+y^2=r_1^2$，与 MN（$x=1.5r_1$）交点满足 $(0.5r_1)^2+y^2=r_1^2$，得 $y=\dfrac{\sqrt{3}}{2}r_1$，即转过 120° 圆心角后以与水平成 30° 斜向右下进入无磁场区。设 MN、PQ 间距为 w。粒子直线穿过间距区进入右侧磁场（$2B$，轨道半径 $r_2=\dfrac{r_1}{2}$），偏转 120° 后回到 PQ，从入射点到出射点沿 PQ 下移的距离为弦长 $\sqrt{3}r_2=\dfrac{\sqrt{3}}{2}r_1$。故第一次与第二次经过 PQ 的位置间距为

$$\Delta y=\sqrt{3}r_2=\frac{\sqrt{3}mv_0}{2qB}$$

（粒子要能回到 O 并做周期性运动，要求 w 满足对称闭合条件，见第（3）问，该条件不影响此间距。）

(3) 第（3）问 周期由五段组成：左侧磁场 120° 圆弧两段（半径 r_1，周期 $T_1=\dfrac{2\pi m}{qB}$）、右侧磁场 120° 圆弧一段（半径 $r_2=\dfrac{r_1}{2}$，周期 $T_2=\dfrac{2\pi m}{2qB}$）、穿过 MN 与 PQ 之间无磁场区的直线段两次。闭合条件：最后一次进入左侧磁场时粒子以与水平成 30° 斜向左下运动，转过 120° 后在 O 点恰好以竖直向上方向射出（与初始状态相同，运动闭合）。由此可定出间距 w：入射点到 O 的弦长为 $\sqrt{3}r_1$，几何上要求 $w=\dfrac{3}{4}r_1$（与'粒子能回到 O 点'自洽）。各段时间：

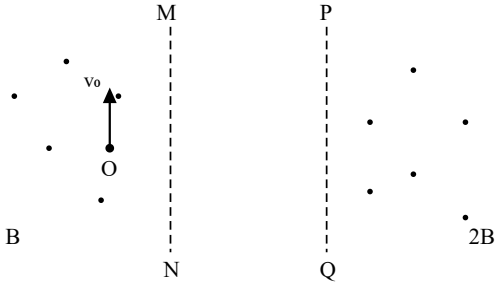
$$t_{弧1}=t_{弧5}=\frac{120^\circ}{360^\circ}T_1=\frac{2\pi m}{3qB}$$

$$t_{弧中}=\frac{120^\circ}{360^\circ}T_2=\frac{\pi m}{3qB}$$

直线段：水平穿过 w 所用 $t_{直}=\dfrac{w}{v_0\cos 30^\circ}=\dfrac{\frac{3}{4}r_1}{v_0\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}}=\dfrac{\sqrt{3}m}{2qB}$，共两次。故

$$T=2\times\frac{2\pi m}{3qB}+\frac{\pi m}{3qB}+2\times\frac{\sqrt{3}m}{2qB}=\left(\frac{5\pi}{3}+\sqrt{3}\right)\frac{m}{qB}$$

回代检验：$\dfrac{5\pi}{3}+\sqrt{3}\approx 5.236+1.732=6.97$，量纲与量级合理。



题14图：MN 左侧 B、PQ 右侧 2B 的分区磁场（均垂直纸面向外）

15. 计算题 · 18分

答案　（1）$v=\sqrt{(\beta-4)\mu gL}$　（2）$v_{j+1}=\dfrac{j}{j+1}\sqrt{v_j^2-4\mu gL}$　（3）$\beta=\dfrac{32n^3+120n^2+100n+24}{3}$

详解

(1) 第（1）问 先判断木板是否滑动：滑块 1 相对木板滑动时对木板施加滑动摩擦力 $2\mu mg$（方向向右），而地面对木板的最大静摩擦力为 $f_{地}=\mu\cdot\ (nm+3nm)g=4\mu nmg$。$n>1$ 时 $2\mu mg<4\mu nmg$，木板保持静止。滑块 1 以 $v_0=\sqrt{\beta\mu gL}$ 开始滑动，在木板上受滑动摩擦力 $2\mu mg$ 做加速度 $2\mu g$ 的匀减速运动，前进 L 后与滑块 2 碰撞前瞬间：

$$v^2=v_0^2-2\cdot\ 2\mu g\cdot\ L=\beta\mu gL-4\mu gL=(\beta-4)\mu gL$$

故 $v=\sqrt{(\beta-4)\mu gL}$（β 足够大，$\beta>4$ 成立）。

(2) 第（2）问 木板滑动前，粘合体（j 个滑块，质量 jm）在静止木板上仍以加速度 $2\mu g$ 匀减速前进 L，与第 $j+1$ 个滑块碰撞前速度 $v'=\sqrt{v_j^2-2\cdot\ 2\mu gL}=\sqrt{v_j^2-4\mu gL}$；碰撞时间极短、碰后粘合，动量守恒：

$$jmv'=(j+1)mv_{j+1}\Rightarrow v_{j+1}=\frac{j}{j+1}\sqrt{v_j^2-4\mu gL}$$

（此式在木板尚未滑动时成立，即粘合体对木板的摩擦力 $2\mu jmg\le 4\mu nmg$，$j\le 2n$ 的阶段。）

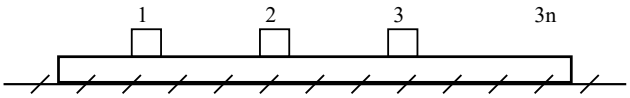
(3) 第（3）问 木板开始滑动的临界：粘合体对木板的滑动摩擦力 $2\mu jmg$ 超过地面最大静摩擦 $4\mu nmg$，即 $j\ge 2n+1$。故粘合体达到 $2n+1$ 个滑块时木板开始滑动。设递推中 $w_j=\dfrac{v_j^2}{\mu gL}$，由（2）得 $w_{j+1}=\dfrac{j^2}{(j+1)^2}(w_j-4)$，逐项展开可得 $w_j=\dfrac{\beta-\frac{2}{3}(j-1)j(2j-1)}{j^2}$（用 $1^2+2^2+\cdots+k^2=\dfrac{1}{6}k(k+1)(2k+1)$）。粘合体 $2n$ 与滑块 $2n+1$ 碰撞前速度平方为 $(w_{2n}-4)\mu gL$，碰后粘合体速度 $u=\dfrac{2n}{2n+1}\sqrt{(w_{2n}-4)\mu gL}$。此后木板滑动：木板加速度 $a_{板}=\dfrac{2\mu(2n+1)mg-4\mu nmg}{nm}=2\mu g$（向前），粘合体加速度 $2\mu g$（向后），相对加速度 $4\mu g$。'恰好不再相碰'即粘合体相对木板滑行距离恰为 L 时相对速度减为零：

$$\frac{u^2}{2\times 4\mu g}=L\Rightarrow u^2=8\mu gL$$

即 $\left(\dfrac{2n}{2n+1}\right)^2(w_{2n}-4)=8$，得 $w_{2n}=\dfrac{2(2n+1)^2}{n^2}+4$。代回 w_{2n} 表达式：

$$\beta=8(2n+1)^2+16n^2+\frac{2}{3}(2n-1)(2n)(4n-1)=\frac{32n^3+120n^2+100n+24}{3}$$

回代检验：$n=1$ 时 $\beta=\dfrac{32+120+100+24}{3}=92$，直接按递推验算：$w_2=\dfrac{92-4}{4}=22$，$u^2=\left(\dfrac{2}{3}\right)^2(22-4)\mu gL=8\mu gL$，自洽。共速后粘合体与木板一起以加速度 μg 减速到停（每个滑块所需摩擦 μmg 小于最大静摩擦 $2\mu mg$），此后不再发生碰撞。



题15图：木板上等距放置 3n 个滑块

本题第（3）问为本站对原卷的建模求解：关键是抓住“粘合体含 $2n$ 个滑块时木板对地摩擦恰达上限、含 $2n+1$ 个时木板起动”以及“相对位移恰为 L 时达到共速”两个临界条件。