逐光知理 · 高考物理参考答案与详解

第35届全国中学生物理竞赛预赛试题

参考答案与详解（本站独立编撰）

竞赛卷 · 5 选择题 + 5 填空题 + 6 计算题 · 共 16 题

本册答案与解析由逐光知理物理教研组独立编撰：所有推导、数值回代与作图说明均为本站自行完成，供竞赛训练参考。原卷未印各题分值，故本册不标注分值；若个别结果与原卷印刷值不一致，以卷面为准。

答案速查

1 **B**	2 **D**	3 **D**	4 **C**	5 **A**	

题号	主考点	答案摘要
6	斜抛运动的最大射程与最佳抛射角	最大水平距离 $x_{max}=\frac{v_0}{g}\sqrt{v_0^2+2gH}$；对应抛射角 $\theta=\arctan\frac{v_0}{\sqrt{v_0^2+2gH}}$
7	圆轨道卫星的角速度与追及问题	张角 $\Delta\varphi=2\pi\left[1-\left(\frac{r}{r+h}\right)^{3/2}\right]\approx\frac{3\pi h}{r}$；时间 $t=\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{gR^2}{r^3}}-\sqrt{\frac{gR^2}{(r+h)^3}}}\approx\frac{4\pi r}{3h}\sqrt{\frac{r^3}{gR^2}}$
8	斜杆卡在两水平轴间的平衡条件（法向力与摩擦力联合约束）	$L\geq 2d$ 与 $L\geq\frac{d\tan\theta}{\mu}$（即 $\frac{L}{d}\geq 2$ 和 $\frac{L}{d}\geq\frac{\tan\theta}{\mu}$）同时成立
9	电池的 U-I 特性曲线与新旧电池串联供电的功率分配	负载电功率与电源非静电力总功率之比 ≈ 0.34（$=\frac{45}{131}$）；旧电池非静电力功率与它自身消耗电功率之比 ≈ 0.73（$=\frac{131}{180}$）
10	维恩位移律与辐射平衡估算太阳和地球表面温度	太阳表面温度约为 5.5×10^3 ℃（约 5800 K）；地球表面平均温度约为 15 ℃（约 288 K）
11	自行车系统刚体平衡与起步最大加速度（前轮不翘起的临界条件）	（1）$N_A=\frac{mgx_C}{l}$，$N_O=mg\left(1-\frac{x_C}{l}\right)$；（2）$a_{max}=\frac{gx_C}{y_C}$
12	摩擦力恒定驱动下平板的简谐运动与相对滑动生热	（1）振幅 $A=\frac{\mu mg}{k}$，周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{M}{k}}$，频率 $f=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{M}}$；（2）（i）$v_0=\frac{\mu g}{\sqrt{kM}}\left(\frac{\pi}{2}M+m\right)$；（ii）$Q=\frac{\mu^2mg^2}{k}\left[\frac{\pi^2M}{8}+m\left(\frac{\pi}{2}-1\right)\right]$
13	带电小球在倒 V 形绝缘细管中的往复运动与总路程	（1）$v_B=2\sqrt{2}\approx 2.8$ m/s；（2）$S_1=0.5$ m；（3）$S_{AB}=\frac{22}{9}\approx 2.44$ m，$S_{BC}=\frac{10}{9}\approx 1.11$ m
14	斜面导轨上匀加速金属棒的感应电流与最大拉力	（1）$I(t)=\frac{2t}{4+t^2}$ A（$0\leq t\leq 3$ s），$t\geq 3$ s 后 $I(t)=\frac{2t}{13}$ A；（2）$F_{max}=1.7$ N
15	封闭气柱的等压升温、水银溢出与最高温度	（1）$T=380+1.2x-\frac{x^2}{20}$ (K)（x 以 cm 计，$0<x\leq 24$），最高温度 $T_{max}=387.2$ K（$x=12$ cm）；（2）$x=20$ cm 或 $x=4$ cm

16	夹角 72°　双平面镜成像的个数、方位与照片上像的取向	（1）共 4 个像，位于以 O 为圆心、OP 为半径的圆周上与 P 方位相隔 72° 和 144° 处（各两个，左右对称）；（2）照片上从左到右为：侧面像（见脸）、背面像（黑色）、正面原像、背面像（黑色）、侧面像（见脸），所有像的帽箭头均朝上

一、选择题

1. 选择题

答案 B

详解

A. × A 项

衰变方程为 ${}^{a}_{b}\mathrm{Po}\to {}^{c}_{d}\alpha+{}^{206}_{82}\mathrm{Pb}+{}^{e}_{f}\gamma$。钋的质子数 $b=84$；α 粒子为 ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$，故 $c=4$、$d=2$。由质量数守恒 $a=206+4=210$，A 项给出 $a=211$，质量数不守恒，错误。

B. √ B 项

由电荷数守恒 $84=2+82+f$ 得 $f=0$；γ 光子无电荷无质量，$e=0$；质量数守恒 $a=206+4=210$。故 $a,b,c,d,e,f=210,84,4,2,0,0$，B 项完全正确。

C. × C 项

C 项给出 $c=1,d=1$（相当于放出质子），由电荷守恒应有 $84=82+1+f$，即 $f=1$，而 C 项 $f=1$ 虽自洽，但 α 粒子的 c,d 必为 $4,2$，且 $a=206+1=207$ 已衰变实际，与 α 衰变事实不符，错误。

D. × D 项

D 项给出 $b=83$，而钋 Po 的质子数为 84，元素符号与电荷数不对应，错误。

核反应方程必须同时满足质量数守恒与电荷数守恒；γ 光子的质量数与电荷数均为 0。

2. 选择题

答案 D

详解

A. × A 项

$\frac{1}{2}kx_0^2-mgx_0$ 漏掉了弹性势能中由平衡位置对应的常量项，且把重力势能零点与弹性势能零点混写，未统一到 O 点，错误。

B. × B 项

$\frac{1}{2}k(x_0+\frac{mg}{k})^2-mgx_0$ 是以弹簧自然长度为弹性势能零点、以小球在 O 点所在水平面为重力势能零点直接写出的结果，没有减去 O 点本身的势能常量 $\frac{1}{2}k(\frac{mg}{k})^2$，不满足“取原点为系统势能零点”的要求，错误。

C. × C 项

$\frac{1}{2}k(x_0+\frac{mg}{k})^2$ 只算了弹性势能（且零点取在自然长度），既漏了重力势能又未平移零点，错误。

D. √ D 项

设 O 点处弹簧伸长 $x_e = \frac{mg}{k}$。小球在 x_0 处时弹簧伸长为 $x_e + x_0$，以 O 为零点，系统总势能为弹性势能与重力势能之和再减去 O 点的常量：

$$U = \frac{1}{2}k(x_e + x_0)^2 - mgx_0 - \frac{1}{2}kx_e^2 = \frac{1}{2}kx_0^2 + mgx_0 \cdot \quad \frac{kx_e - mg}{k} + (\frac{1}{2}kx_e^2 - \frac{1}{2}kx_e^2) - mgx_0 \cdot \quad 0$$

由于 $kx_e = mg$，交叉项恰好抵消，得 $U = \frac{1}{2}kx_0^2$。这正是简谐振动的标准结论：以平衡位置为原点时总势能为 $\frac{1}{2}kx^2$。回代检验：$x_0 = 0$ 时 $U = 0$ ✓；$\frac{dU}{dx_0} = kx_0$，在 $x_0 = 0$ 处为 0（平衡）✓。D 正确。

只要以平衡位置为原点，振动系统的总势能（弹性+重力）必可写成 $\frac{1}{2}kx^2$，线性项与常量项自动消去。

3. 选择题

答案 D

详解

A. × A 项

$\beta = 45^\circ$ 小于中间实验值 30° 与所需放大的静电力矩不相容：最终张角 α 比 4° 更小，静电斥力矩更大，银丝扭转角必须大于 30°，A 错误。

B. × B 项

$\beta = 60^\circ$ 对应误认为静电力矩按 $M \propto 1/\alpha$ 标度（即误把力臂取成随 α 变化的弧长）。实际上力对棒之力矩 $M = F \cdot \quad \frac{L}{2}\cos\frac{\alpha}{2}$，力臂近似为棒半长（常量），故 $M \propto F \propto 1/r^2 \propto 1/\alpha^2$，B 错误。

C. × C 项

$\beta = 90^\circ$ 对应的银丝扭力矩 $90k$ 与所需 $120k$ 不符（对应错误的 $1/\alpha^{3/2}$ 之类标度），错误。

D. √ D 项

细银丝自然悬挂时 $\alpha = 4^\circ$。a、c 带同种电荷后旋钮反向转 $\alpha = 30^\circ$ 使 a 回到原位（此时 $\alpha = 4^\circ$，银丝扭转角为 30°），故 $M_e(4^\circ) = k \cdot \quad 30^\circ$。两球间距 $r = 2R\sin\frac{\alpha}{2} \propto \alpha$，静电力 $F \propto 1/r^2$，对棒的力矩 $M_e = F \cdot \frac{L}{2}\cos\frac{\alpha}{2} \approx F \cdot \quad \frac{L}{2}$，故 $M_e \propto 1/\alpha^2$。要使末态 $\alpha = 2^\circ$，需 $M_e(2^\circ) = M_e(4^\circ)(\frac{4}{2})^2 = 120k$，即银丝扭转角为 120°；杆只偏离原位 2°（可忽略或计入后为 122°），与选项对应的旋钮反向转角为 $\beta = 120^\circ$。D 正确。

本题关键是辨明力矩的标度：力臂是棒半长（近似不变），故力矩与 $1/\alpha^2$ 成正比；若计入杆偏离原位的 2°，严格值为 122°，原卷选项按 120° 设置。

4. 选择题

> **答案** C

详解

A. × A 项

直接读数得到的是 $U = U_H + U_0$，其中 U_0 为不等位电势差与热电效应等副效应引入的附加电压，并非纯霍尔电压，A 错误。

B. × B 项

保持 B 不变、改变 I：$U_1 = U_H + U_I + U_c$，$U_2 = -U_H - U_I + U_c$（U_I 为随电流反向的副效应，U_c 为与 I 方向无关的热电效应项）。$\frac{U_1 - U_2}{2} = U_H + U_c$，热电效应项无法消除，B 错误。

C. √ C 项

保持 I 不变、改变 B：霍尔电压 $U_H \propto IB$ 随 B 反向而变号，而各类副效应（不等位电势 $\propto I$、焦耳热致热电势与 I, B 方向无关）都不随 B 变号：$U_1 = U_H + U_0$，$U_2 = -U_H + U_0$，$\frac{U_1 - U_2}{2} = U_H$，副效应全部消除。C 正确。

D. × D 项

同时改变 I、B：U_H 不变号，随 I 反向的副效应变号，$\frac{U_1 + U_2}{2} = U_H + U_c$，与 I, B 方向均无关的热电效应项仍然残留，D 错误。

判据：霍尔电压 $U_H \propto IB$ 随 I 或 B 任一反向而变号；只有“仅反转 B 取差之半”能把所有副效应（无论随 I 变不变）一并消去。

---

5. 选择题

> **答案** A

详解

A. √ A 项

两图中实线过程均为膨胀（沿曲线箭头体积增大）。图 a 中甲曲线比连接同初末态的绝热线更陡，甲位于绝热线下方，膨胀时气体做的功 $W_{甲} < W_{绝热}$；初末态相同则 ΔU 相同，而绝热过程 $Q = 0$ 给出 $\Delta U = -W_{绝热}$，故 $Q_{甲} = \Delta U + W_{甲} = W_{甲} - W_{绝热} < 0$，甲放热。同理图 b 中乙曲线位于等温线下方，$W_{乙} < W_{等温}$，$Q_{乙} = W_{乙} - W_{等温} < 0$，乙也放热。A 正确。

B. × B 项

若甲、乙均吸热，则两个循环均沿正（顺时针）方向净做正功，与图中实线在虚线下方、闭合回路逆时针（净功为负）的走向矛盾，B 错误。

C. × C 项

“甲放热、乙吸热”要求乙位于等温线上方（做功更多），与图 b 中乙在等温线下方不符，C 错误。

D. × D 项

“甲吸热”要求甲位于绝热线上方（做功更多），与图 a 中甲在绝热线下方不符，D 错误。

同一初末态间 ΔU 相同，过程吸放热取决于做功多少：膨胀时曲线越陡（越靠下）做功越少；与绝热线（或等温线）比较即可定出 Q 的符号。

二、填空题

6. 解答题

> **答案** 最大水平距离 $x_{max}=\frac{v_0}{g}\sqrt{v_0^2+2gH}$；对应抛射角 $\theta=\arctan\frac{v_0}{\sqrt{v_0^2+2gH}}$

详解

(1) 第 1 空（最大水平距离） 以抛出点为原点，落地点 $y=-H$。飞行时间由 $v_0\sin\theta\cdot\ t-\frac{1}{2}gt^2=-H$ 得 $t=\frac{v_0\sin\theta+\sqrt{v_0^2\sin^2\theta+2gH}}{g}$，水平距离 $x=v_0\cos\theta\cdot\ t$。令 $\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}\theta}=0$ 可解得 $\sin\theta=\frac{v_0}{\sqrt{2(v_0^2+2gH)}}$，代回化简得

$$x_{max}=\frac{v_0}{g}\sqrt{v_0^2+2gH}$$

回代检验：$H=0$ 时 $x_{max}=v_0^2/g$，即 45° 抛射的经典结果 ✓。

(2) 第 2 空（对应抛射角） 由极值条件 $\sin\theta=\frac{v_0}{\sqrt{2(v_0^2+2gH)}}$ 得

$$\tan\theta=\frac{v_0}{\sqrt{v_0^2+2gH}}$$

即 $\alpha=\arctan\frac{v_0}{\sqrt{v_0^2+2gH}}$。检验：$H=0$ 时 $\theta=45^\circ$ ✓；H 越大最佳抛射角越小（应压低弹道）✓。

7. 解答题

> **答案** 张角 $\Delta\varphi=2\pi\left[1-\left(\frac{r}{r+h}\right)^{3/2}\right]\approx\frac{3\pi h}{r}$；时间 $t=\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{gR^2}{r^3}}-\sqrt{\frac{gR^2}{(r+h)^3}}}\approx\frac{4\pi r}{3h}\sqrt{\frac{r^3}{gR^2}}$

详解

(1) 第 1 空（A 运行一周后 A、B 对地心的张角） 由 $\frac{GMm}{r^2}=m\omega^2 r$ 及 $GM=gR^2$ 得角速度 $\omega_A=\sqrt{\frac{gR^2}{r^3}}$，$\omega_B=\sqrt{\frac{gR^2}{(r+h)^3}}$。A 的周期 $T_A=\frac{2\pi}{\omega_A}$；在此时间内 B 转过 $\omega_B T_A=2\pi\left(\frac{r}{r+h}\right)^{3/2}$，B 落后 A 的角距离（张角）为

$$\Delta\varphi=2\pi\left[1-\left(\frac{r}{r+h}\right)^{3/2}\right]$$

因 $h\ll r$，$(1+h/r)^{-3/2}\approx1-\frac{3h}{2r}$，故 $\Delta\varphi\approx\frac{3\pi h}{r}$。

(2) 第 2 空（B 重新在 A 正上方所需时间） B 相对 A 每秒落后 $\omega_A-\omega_B$，再次对齐需相对转过 2π：

$$t=\frac{2\pi}{\omega_A-\omega_B}=\frac{2\pi}{\sqrt{gR^2}\,(r^{-3/2}-(r+h)^{-3/2})}$$

取 $h\ll r$ 近似 $\omega_A-\omega_B\approx\omega_A\cdot\frac{3h}{2r}$，得 $t\approx\frac{4\pi r}{3h}\sqrt{\frac{r^3}{gR^2}}$。

---

8. 解答题

> **答案** $L\geq 2d$ 与 $L\geq\frac{d\tan\theta}{\mu}$（即 $\frac{L}{d}\geq 2$ 和 $\frac{L}{d}\geq\frac{\tan\theta}{\mu}$）同时成立

详解

(1) 支承力分析 杆 A 端置于轴 C 下（C 在杆上方，对杆施加垂直于杆向下的压力 N_C），杆又搁在轴 D 上（D 对杆施加垂直于杆向上的支持力 N_D）；两法向力均垂直于杆，与竖直方向夹角均为 θ。两接触处摩擦力均沿杆。

(2) 第 1 空（不绕 D 翻转的条件） 沿杆方向：$f_C+f_D=mg\sin\theta$。对过 C 的接触点取矩（摩擦力沿杆、法向力垂直于杆，摩擦力对 C 的力矩为零）：

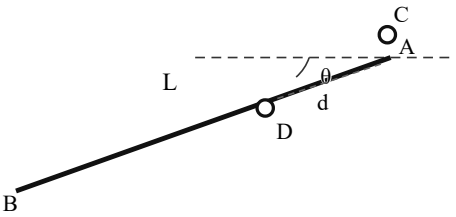
$$N_D\cdot d=mg\cdot\frac{L}{2}\cos\theta\Rightarrow N_D=\frac{mgL\cos\theta}{2d}$$

竖直方向与水平方向（含摩擦力分量）联立解得 $N_D-N_C=mg\cos\theta$，故 $N_C=mg\cos\theta\,(\frac{L}{2d}-1)$。轴 C 只能压不能拉，须 $N_C\geq 0$，得

$$\frac{L}{d}\geq 2$$

(3) 第 2 空（摩擦力足以阻止杆下滑的条件） 两处摩擦力之和需满足 $f_C+f_D=mg\sin\theta$，且各自不超过最大静摩擦：$f_C\leq\mu N_C$、$f_D\leq\mu N_D$。故充分必要条件为 $\mu(N_C+N_D)\geq mg\sin\theta$，即 $\mu\cdot\frac{mgL\cos\theta}{d}\geq mg\sin\theta$，得

$$\frac{L}{d}\geq\frac{\tan\theta}{\mu}$$



题 8：长 L 的均质杆 AB 卡在水平细轴 C（上压 A 端）与 D（下托杆身）之间，杆与水平面成 θ 角，两轴间距 d

两处法向力都垂直于杆（与竖直方向夹 θ），列沿杆、竖直两方向方程时不要漏掉摩擦力的法向分量；两个条件分别来自“C 处不能提供拉力”与“静摩擦总和不超过最大值”。

---

9. 解答题

> **答案** 负载电功率与电源非静电力总功率之比 ≈ 0.34（$=\frac{45}{131}$）；旧电池非静电力功率与它自身消耗电功率之比 ≈ 0.73（$=\frac{131}{180}$）

详解

(1) 读图求电动势与内阻 由 $U-I$ 图像：一图线在 U 轴截距 1.5 V、I 轴截距 5.0 A，为 $E_1=1.5$ V、$r_1=\frac{1.5}{5.0}=0.3\ \Omega$（新电池）；另一图线截距 1.2 V、0.3 A，为 $E_2=1.2$ V、$r_2=\frac{1.2}{0.3}=4\ \Omega$（旧电池）。

(2) 第 1 空（负载功率/非静电力总功率） 串联（电动势同向）：$E=E_1+E_2=2.7$ V，$r=r_1+r_2=4.3\ \Omega$。接 $R=2.25\ \Omega$：$I=\frac{E}{R+r}=\frac{2.7}{6.55}=\frac{54}{131}\approx 0.412$ A。负载功率与非静电力总功率之比

$$\frac{I^2R}{IE}=\frac{IR}{E}=\frac{R}{R+r}=\frac{2.25}{6.55}=\frac{45}{131}\approx 0.34$$

(3) 第 2 空（旧电池非静电力功率/自身消耗电功率） 旧电池非静电力功率 $P_{非2}=IE_2=0.412\times 1.2\approx 0.495$ W；旧电池内阻消耗电功率 $P_{r2}=I^2r_2=0.412^2\times 4\approx 0.680$ W。比值

$$\frac{IE_2}{I^2r_2}=\frac{E_2}{Ir_2}=\frac{1.2}{0.412\times 4}\approx 0.73\ \left(=\frac{131}{180}\right)$$

比值小于 1，说明旧电池在被充电（输入的非静电力功率小于其内阻发热），它实际在消耗电路的能量。

> 新旧电池串联时旧电池内阻大、电动势小，可能成为“耗能元件”；比值 $\frac{E_2}{Ir_2}<1$ 即为其放电被抑制的标志。

10. 解答题

> **答案** 太阳表面温度约为 5.5×10^3 ℃（约 5800 K）；地球表面平均温度约为 15 ℃（约 288 K）

详解

(1) 第 1 空（太阳表面温度） 人体视为黑体，体温约 $T_{体}\approx 37$ ℃ ≈ 310 K。由维恩位移律 $\lambda_{max}T=b$（b 为常量）：

$$T_{日}=T_{体}\cdot\frac{\lambda_{max}^{(人体)}}{\lambda_{max}^{(太阳)}}=310\times\frac{9.3\times 10^{-6}}{5.0\times 10^{-7}}=310\times 18.6\approx 5.8\times 10^3\ \text{K}$$

即约 $5766-273\approx 5.5\times 10^3$ ℃。

(2) 第 2 空（地球表面平均温度） 地球处于辐射平衡：单位时间接收的太阳辐射等于自身向外辐射。太阳辐射总功率 $P_{日}=\sigma T_{日}^4\cdot 4\pi R_{日}^2$，地球接收其截面 $\pi R_{地}^2$、相距 $d=200R_{日}$ 的份额：

$$\sigma T_{地}^4\cdot 4\pi R_{地}^2=\sigma T_{日}^4\cdot 4\pi R_{日}^2\cdot\frac{\pi R_{地}^2}{4\pi d^2}$$

解得 $T_{地}=T_{日}\sqrt{\frac{R_{日}}{2d}}=\frac{T_{日}}{\sqrt{400}}=\frac{5766}{20}\approx 288$ K，即约 $288-273=15$ ℃。

> 地球“每单位面积的辐射功率”按全表面 $4\pi R_{地}^2$ 计，而接收只按投影截面 $\pi R_{地}^2$ 计，系数 $\frac{1}{4}$ 不能漏。

三、计算题

11. 计算题

答案 （1）$N_A=\frac{mgx_C}{l}$，$N_O=mg\left(1-\frac{x_C}{l}\right)$；（2）$a_{max}=\frac{gx_C}{y_C}$

详解

(1) 第（1）问 系统静止时对后轮着地点 O 取矩：前轮着地点 A 处支持力 N_A 的力矩与质心重力矩平衡：

$$N_A\cdot\ \ l=mg\cdot\ \ x_C\Rightarrow N_A=\frac{mgx_C}{l}$$

竖直方向平衡：$N_O+N_A=mg$，得

$$N_O=mg-\frac{mgx_C}{l}=mg\left(1-\frac{x_C}{l}\right)$$

检验：质心在两轮之间（$0<x_C<l$）时两力均为正 ✓。

(2) 第（2）问 骑车人蹬踏时后轮受地面静摩擦 f 向前使系统加速，$f=ma$；前轮滚动摩擦可忽略，故前轮不受水平力。用达朗贝尔原理（或质心运动+对质心的转动方程）：把惯性力 ma（方向水平向后）加在质心 C 上，对 O 取矩。前轮不离地的条件是 $N_A\geq 0$：

$$N_A\cdot\ \ l+ma\cdot\ \ y_C=mg\cdot\ \ x_C\Rightarrow N_A=\frac{mgx_C-may_C}{l}$$

令 $N_A=0$ 得临界加速度

$$a_{max}=\frac{gx_C}{y_C}$$

此时 $f=ma_{max}$，由题设静摩擦系数足够大，打滑不先发生，故安全条件由“前轮不翘起”决定，$a_{max}=\frac{gx_C}{y_C}$。

检验：y_C 越高、质心越靠前，允许的加速度越小，符合骑行经验 ✓。

12. 计算题

答案 （1）振幅 $A=\frac{\mu mg}{k}$，周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{M}{k}}$，频率 $f=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{M}}$；（2）（i）$v_0=\frac{\mu g}{\sqrt{kM}}\left(\frac{\pi}{2}M+m\right)$；（ii）$Q=\frac{\mu^2 mg^2}{k}\left[\frac{\pi^2 M}{8}+m\left(\frac{\pi}{2}-1\right)\right]$

详解

(1) 第（1）问：平板做简谐运动的证明及振幅、周期 小物块相对平板向右滑动时，物块受向左的滑动摩擦力 μmg，由牛顿第三定律平板受向右的恒定滑动摩擦力 μmg。设平板位移为 x（自弹簧原长起），则

$$M\ddot{x}=\mu mg-kx$$

令 $X=x-\frac{\mu mg}{k}$，得 $M\ddot{X}=-kX$，为简谐运动，

$$\omega=\sqrt{\frac{k}{M}},\quad T=2\pi\sqrt{\frac{M}{k}},\quad f=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{M}}$$

初条件 $x(0)=0$、$\dot{x}(0)=0$ 给出解 $x=\frac{\mu mg}{k}(1-\cos\omega t)$，故振幅

$$A=\frac{\mu mg}{k}$$

(2) 第（2）（i）问：小物块初速度 物块做匀减速运动：$v_{块}=v_0-\mu gt$。四分之一周期时平板速度最大：$v_{板}=A\omega=\frac{\mu mg}{k}\sqrt{\frac{k}{M}}=\frac{\mu gm}{\sqrt{kM}}$。“第一次相对静止”即两者速度相等：

$$v_0-\mu g\cdot\frac{T}{4}=\frac{\mu gm}{\sqrt{kM}}$$

代入 $\frac{T}{4}=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{M}{k}}$：

$$v_0=\frac{\mu g\pi}{2}\sqrt{\frac{M}{k}}+\frac{\mu gm}{\sqrt{kM}}=\frac{\mu g}{\sqrt{kM}}\left(\frac{\pi}{2}M+m\right)$$

检验量纲：$\frac{\mu g}{\sqrt{kM}}$ 的单位为 m/(s·kg)，乘 M 或 m 得 m/s ✓。

(3) 第（2）（ii）问：四分之一周期内产生的热量 热量等于摩擦力乘相对滑移距离：$Q=\mu mg\cdot\ \Delta s$，$\Delta s=s_{块}-s_{板}$。

$$s_{块}=v_0\frac{T}{4}-\frac{1}{2}\mu g\left(\frac{T}{4}\right)^2=\frac{\mu g}{k}\left(\frac{\pi^2M}{4}+\frac{\pi m}{2}\right)-\frac{\mu g}{k}\cdot\ \frac{\pi^2M}{8}=\frac{\mu g}{k}\left(\frac{\pi^2M}{8}+\frac{\pi m}{2}\right)$$

（利用 $v_0\frac{T}{4}=\frac{\mu g}{k}\left(\frac{\pi^2M}{4}+\frac{\pi m}{2}\right)$）

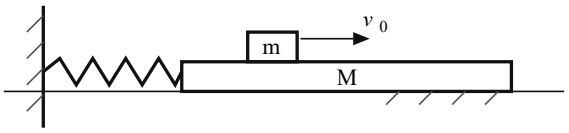
$$s_{板}=x\left(\frac{T}{4}\right)=A=\frac{\mu mg}{k}$$

故

$$\Delta s=\frac{\mu g}{k}\left[\frac{\pi^2M}{8}+m\left(\frac{\pi}{2}-1\right)\right]$$

$$Q=\mu mg\,\Delta s=\frac{\mu^2mg^2}{k}\left[\frac{\pi^2M}{8}+m\left(\frac{\pi}{2}-1\right)\right]$$

检验：$M\to 0$ 时平板振幅趋于 0，仍有 $Q=\frac{\mu^2m^2g^2}{k}\left(\frac{\pi}{2}-1\right)>0$（物块相对地面仍在滑动）✓。



题 12：弹簧（劲度系数 k）左端固定于墙，右端连质量 M 的平板；质量 m 的小物块以 v_0 在平板上向右滑动

平板的简谐运动围绕新的平衡位置 $x=\mu mg/k$（而非原长处）进行；热量按相对位移计算，不要用平板位移。

13. 计算题

答案　（1）$v_B=2\sqrt{2}\approx 2.8$ m/s；　（2）$S_1=0.5$ m；　（3）$S_{AB}=\frac{22}{9}\approx 2.44$ m，$S_{BC}=\frac{10}{9}\approx 1.11$ m

详解

(1) 受力分析 小球带负电，电场竖直向下，故电场力 $qE=2.0\times10^{-7}\times10^{4}=2.0\times10^{-3}$ N 竖直向上；重力 $mg=1.0\times10^{-3}$ N 竖直向下。合力 $F_{净}=qE-mg=1.0\times10^{-3}$ N 竖直向上。沿管方向分量 $F_{净}\sin\alpha=1.0\times10^{-3}\times0.6=6.0\times10^{-4}$ N（沿管指向 B），垂直管方向分量压管壁 $N=F_{净}\cos\alpha=1.0\times10^{-3}\times0.8=8.0\times10^{-4}$ N。

(2) 第（1）问：第一次到达 B 的速率 AB 管中摩擦力 $f_1=\mu_1N=0.50\times8.0\times10^{-4}=4.0\times10^{-4}$ N。沿 AB 加速：$a_1=\frac{(6.0-4.0)\times10^{-4}}{1.0\times10^{-4}}=2$ m/s^2。

$$v_B^2=2a_1l=2\times2\times2.0=8\Rightarrow v_B=2\sqrt{2}\approx2.8\text{ m/s}$$

(3) 第（2）问：第一次速度为零的位置 BC 管中小球向上（向 B）方向受 6.0×10^{-4} N 推力，运动方向沿管向 C，摩擦力 $f_2=\mu_2 N=0.25\times8.0\times10^{-4}=2.0\times10^{-4}$ N 与运动反向。减速度 $a_2=\frac{(6.0+2.0)\times10^{-4}}{1.0\times10^{-4}}=8\ \mathrm{m/s^2}$。

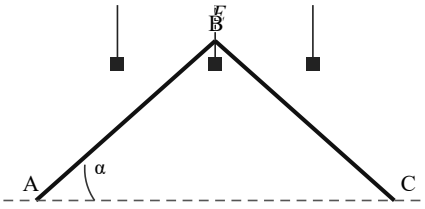
$$S_1=\frac{v_B^2}{2a_2}=\frac{8}{16}=0.5\ \mathrm{m}$$

(4) 第（3）问：总路程 S_{AB} 与 S_{BC} 在 BC 管内因驱动力 6.0×10^{-4} N 大于最大静摩擦 2.0×10^{-4} N，在 AB 管内驱动力 6.0×10^{-4} N 也大于最大静摩擦 4.0×10^{-4} N，小球只能在两管内往复、最终停在 B 点。运动序列（每次往返能量按比例损耗）：B→C 下行 0.5 m 后折返；回到 B 时 $v^2=2\times4\times0.5=4\ \mathrm{m^2/s^2}$（BC 内回程加速度 $\frac{(6-2)\times10^{-4}}{10^{-4}}=4\ \mathrm{m/s^2}$）；冲入 AB 下行 $\frac{4}{2\times10}=0.2$ m（AB 内下行减速度 $\frac{(6+4)\times10^{-4}}{10^{-4}}=10\ \mathrm{m/s^2}$）后折返，回 B 时 $v^2=2\times2\times0.2=0.8$；再冲入 BC 下行 $\frac{0.8}{16}=0.05$ m……每次往返路程缩为上一轮的 0.1 倍。故

$$S_{BC}=2\times(0.5+0.05+0.005+\cdots)=2\times\frac{0.5}{1-0.1}=\frac{10}{9}\approx1.11\ \mathrm{m}$$

$$S_{AB}=2.0+2\times(0.2+0.02+0.002+\cdots)=2.0+\frac{0.4}{0.9}=\frac{22}{9}\approx2.44\ \mathrm{m}$$

能量核算：保守力做功 $(qE-mg)l\sin37^\circ=1.0\times10^{-3}\times1.2=1.2\times10^{-3}$ J；摩擦耗能 $4.0\times10^{-4}\times\frac{22}{9}+2.0\times10^{-4}\times\frac{10}{9}=1.2\times10^{-3}$ J，两者相等 ✓。



题 13：倒 V 形细管 AB、BC（各长 $l=2.0$ m，倾角 $\alpha=37^\circ$）处于竖直向下匀强电场 E 中

负电荷在向下电场中受力向上，$qE>mg$ 是小球从 A 向 B 加速的原因；最终停在 B 点而非管中，因为两管内驱动力都大于最大静摩擦。

14. 计算题

答案　（1）$I(t)=\frac{2t}{4+t^2}$ A（$0\le t\le 3$ s），$t\ge 3$ s 后 $I(t)=\frac{2t}{13}$ A；　（2）$F_{max}=1.7$ N

详解

(1) 第（1）问：电流与时间关系 棒自静止匀加速：$v=at$，$x=\frac{1}{2}at^2$（$a=1.0\ \mathrm{m/s^2}$）。棒到 CD（$x=l=4.5$ m）需 $t_1=\sqrt{2l/a}=3$ s。回路电动势 $\varepsilon=BLv=BLat$；棒下方两根导轨接入回路的电阻随位移增大：$r'=2\cdot\ \frac{x}{l}r=2\times\frac{x}{4.5}\times 2.25=x\ (\Omega)=\frac{1}{2}t^2$。回路总电阻 $R_{总}=R+r'=2+\frac{1}{2}t^2$。故

$$I(t)=\frac{BLat}{R+\frac{1}{2}at^2}=\frac{0.50\times 2.0\times 1.0\times t}{2+0.5t^2}=\frac{2t}{4+t^2}\ \mathrm{A}\qquad(0\le t\le 3\ \mathrm{s})$$

$t\ge 3$ s 后导轨电阻不再增大（$R_{总}=2+2r=6.5\ \Omega$）：

$$I(t)=\frac{BLat}{6.5}=\frac{2t}{13}\ \mathrm{A}$$

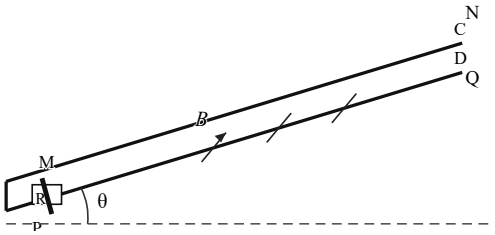
回代检验：$t=2$ s 时 $I=\frac{4}{8}=0.5$ A（峰值）✓；$t=3$ s 时 $I=\frac{6}{13}\approx 0.46$ A，与后半段 $t=3$ 的值 $\frac{6}{13}$ 连续✓。

(2) 第（2）问：到达 CD 前拉力的最大值 棒沿导轨向上匀加速，牛顿第二定律沿导轨方向：

$$F-mg\sin\theta-F_{安}=ma\Rightarrow F=m(g\sin\theta+a)+BIL$$

其中 $m(g\sin\theta+a)=0.20\times(10\times 0.5+1.0)=1.2$ N，$BIL=2.0\times 0.50\times I=I$。故 $F=1.2+I(t)$，F 随 I 一起变化。在 $0\le t\le 3$ s 内 $I=\frac{2t}{4+t^2}$ 的极值：$\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}=\frac{2(4+t^2)-4t^2}{(4+t^2)^2}=0\Rightarrow t=2$ s，$I_{max}=0.5$ A。

$$F_{max}=1.2+0.5=1.7\ \mathrm{N}$$



题 14：平行导轨与水平面成 $\theta=30^\circ$，底端接 R，MC、PD 段各长 l、电阻各 r；金属棒在底端沿导轨匀加速上滑，B 垂直导轨平面向上

回路电阻随棒上滑线性增大（两轨各贡献 $\frac{x}{l}r$），这是电流先增后减、在 $t=2$ s 出现峰值的原因。

15. 计算题

> **答案**　（1）$T = 380 + 1.2x - \frac{x^2}{20}$ (K)（x 以 cm 计，$0 < x \le 24$），最高温度 $T_{max} = 387.2$ K（$x = 12$ cm）；（2）$x = 20$ cm 或 $x = 4$ cm

详解

(1) 第（1）问：T 与 x 的关系及最高温度　初始态：气柱高 60 cm、温度 300 K，压强 $p = p_0 + h_{汞} = 76 + 24 = 100$ cmHg。水银上表面升到与小孔平齐时（未溢出），气柱高 $60 + 16 = 76$ cm，压强仍为 100 cmHg，对应温度 $T_0 = 300 \times \frac{76}{60} = 380$ K。此后温度再升高，水银经小孔溢入右管；设左管内剩余水银柱高 x（cm），则气柱高 $L = 76 + (24 - x) = 100 - x$，压强 $p = p_0 + x = 76 + x$（cmHg）。由理想气体状态方程

$$\frac{pV}{T} = \frac{100 \times 60}{300} = 20 \ (\text{cmHg} \cdot \quad \text{cm/K})$$

得

$$(76 + x)(100 - x) = 20T \Rightarrow T = 380 + 1.2x - \frac{x^2}{20} \ (\text{K}), \qquad 0 < x \le 24$$

对 x 求极值：$\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}x} = 1.2 - \frac{x}{10} = 0 \Rightarrow x = 12$ cm，

$$T_{max} = 380 + 14.4 - 7.2 = 387.2 \text{ K}$$

检验：$x = 24$ 时 $T = 380 + 28.8 - 28.8 = 380$ K，与未溢出阶段连续 ✓；$x \to 0$ 时 $T \to 380$ K ✓（水银快溢完时压强趋于 p_0、气柱趋于 100 cm）。

(2) 第（2）问：384 K 时水银柱的可能高度　令 $(76 + x)(100 - x) = 20 \times 384 = 7680$：

$$x^2 - 24x + 80 = 0 \Rightarrow x = \frac{24 \pm \sqrt{576 - 320}}{2} = \frac{24 \pm 16}{2}$$

得 $x = 20$ cm 或 $x = 4$ cm。两解均在 $0 < x \le 24$ 内，且 384 K < 387.2 K，故两个平衡态都可能实现。

> 温度超过 380 K 后水银边溢出边升温，$T(x)$ 存在极大值 387.2 K；同一温度（低于极大值）对应溢出前后两个不同的水银柱高度。

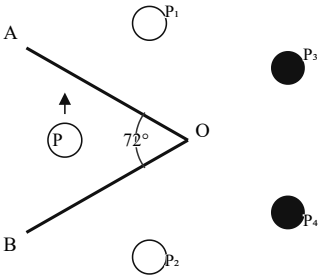
16. 计算题

> **答案**　（1）共 4 个像，位于以 O 为圆心、OP 为半径的圆周上与 P 方位相隔 72° 和 144° 处（各两个，左右对称）；（2）照片上从左到右为：侧面像（见脸）、背面像（黑色）、正面原像、背面像（黑色）、侧面像（见脸），所有像的帽箭头均朝上

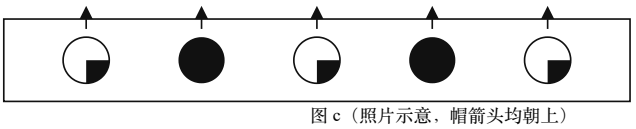
详解

(1) 第（1）问：像的个数与方位　两平面镜夹角 72°，$360^\circ/72^\circ = 5$ 为整数，像的个数为 $5 - 1 = 4$ 个。P 位于分角面上，对镜 AO、BO 各成一次像（方位与 P 相隔 72°，即 $\pm 72^\circ$ 处）；一次像再经另一镜成像得二次像（方位与 P 相隔 144°，即 $\pm 144^\circ$ 处）；继续成像与已有像重合，故共 4 个像，全部在以 O 为圆心、OP 为半径的圆周上，左右对称分布。

(2) 第（2）问：照片上像的取向 相机沿分角面方向远距拍摄，每个像呈现的相貌等于从“相机的镜像位置”看原物的结果：经镜面反射一次，视线方位相对物面法向偏转 72°；反射两次偏转 144°。因此：位于 $\pm72^\circ$ 方位的一次像相当于从侧面 72° 方向看人头——可见部分脸部（侧面像，白色为主）；位于 $\pm144^\circ$ 方位的二次像相当于从脑后 144° 方向看——只见头发（黑色背面像）。由于两镜均竖直放置，反射不改变竖直方向，故所有像头顶的帽箭头仍朝上。像在照片上的横向位置按 sin（方位角）投影：$\pm72^\circ$ 像偏移 $\sin 72^\circ \approx 0.95\,OP$ 在最外侧，$\pm144^\circ$ 像偏移 $\sin 36^\circ \cdot\ OP \approx 0.59\,OP$ 在内侧。故照片从左到右依次为：侧面像（白）、背面像（黑）、正面原像（白）、背面像（黑）、侧面像（白）。



题 16 图 b（俯视）：镜 AO、BO 夹角 72°，P 在分角面上；P_1 、P_2 为一次像（侧面像），P_3 、P_4 为二次像（背面像，黑色）



题 16 图 c：照片上五个头部的相貌与排列——最外侧为侧面像（白脸朝外），内侧为背面像（黑色），中间为正面原像

判断像的“相貌”用等效观点：平面镜中的像相当于从“相机对镜面反演点”看原物；每经一次反射视线方位偏转一个镜夹角（72° ），故一次像为侧面像、二次像为背面像。

逐光知理 · 竞赛答案册 · 易错点速查

第35届全国中学生物理竞赛预赛 · 易错点速查

补在原册之后：原册答案与详解未作任何改动

共 6 条 · 绑定本卷题号

只挑本卷最容易失分的动作，按「错法 / 机理 / 正解」三段写，题号与原册一致；公式沿用原册口径。

第 2 题

错法 写系统总势能时弹性势能以弹簧自然长度为零点、重力势能另取小球所在水平面为零点，两套零点混写，未平移到题目指定的 O 点。

机理 弹性势能与重力势能必须在同一零点下相加；以平衡位置为原点时，重力与弹簧静伸长的常量项恰好抵消，交叉项 $kx_e - mg = 0$，总势能化简为 $\frac{1}{2}kx^2$。零点不一致会多出常量项与线性项，无法写成简谐振动标准形式。

正解 先求平衡位置伸长 $x_e = mg/k$，以 O（平衡位置）为势能零点，弹性势能 $\frac{1}{2}k(x+x_e)^2$ 减 $\frac{1}{2}kx_e^2$，重力势能 $-mgx$，代入 $kx_e = mg$ 后线性项抵消，得 $U = \frac{1}{2}kx^2$；回代 $x = 0$ 处 $U = 0$、$dU/dx = 0$ 自检。

第 4 题

错法 把电压表直接读数当霍尔电压；或认为只反转磁场 B 就能消除全部副效应，同时反转 I、B 也能消去热电势。

机理 直接读数含不等位电势 U_0 与热电效应等副效应附加电压。霍尔电压 $U_H \propto IB$，随 I 或 B 反向而变号；随 I 反向的副效应变号，与 I、B 方向无关的热电项不变。只反转 B 时随 B 不变的热电项残留；同时反转 I、B 时 U_H 不变号，随 I 反向的副效应也残留。

正解 保持 B 不变、仅反转 I，取两次读数之差的一半：$(U_1 - U_2)/2 = U_H$，随 I 变号的副效应相减消去，与 I 无关的项在差中也被扣除；判据是看各副效应随 I、B 反向是否变号，再选对应的取差方式。

第 10 题

错法 写地球辐射平衡时，接收太阳辐射也按地球全表面 $4\pi R^2$ 分摊；或维恩位移律中把摄氏温度直接代入 $\lambda_{\max}T = b$。

机理 地球接收阳光只靠朝向太阳的投影截面 πR^2，而自身向外辐射覆盖全表面 $4\pi R^2$，平衡式两侧面积比含系数 1/4，漏掉会使地球温度估算明显偏高；维恩定律 T 必须用热力学温度（K），体温 $37\,^\circ\mathrm{C}$ 要先换成约 310 K。

正解 太阳总功率 $\sigma T_{\text{日}}^4 \cdot 4\pi R_{\text{日}}^2$，地球接收份额为该功率乘 $\pi R_{\text{地}}^2/(4\pi d^2)$，等于 $\sigma T_{\text{地}}^4 \cdot 4\pi R_{\text{地}}^2$；代入 $d = 200R_{\text{日}}$ 得 $T_{\text{地}} = T_{\text{日}}/\sqrt{2d/R_{\text{日}}} \approx 288\,\text{K}$；太阳温度由人体与太阳的 $\lambda_{\max}$ 之比经 $\lambda_{\max}T = b$ 反推。

第 11 题 · 第(2)问

错法 求起步最大加速度时只列质心水平方向方程，漏掉惯性力对后轮着地点的力矩；或先按打滑条件定临界，不检查前轮是否先翘起。

机理 加速时后轮受向前静摩擦 $f = ma$，对整车加水平向后的惯性力 ma 于质心 C；前轮不离地要求前轮支持力 $N_A \geq 0$，对后轮着地点 O 取矩时惯性力的力矩与重力矩平衡，临界 $N_A = 0$ 给出 $a_{\max} = gx_C/y_C$。打滑上限由 μmg 决定，题设摩擦系数足够大时，约束先由翘头给出。

正解 先对 O 点取矩列 $N_A \cdot l + ma \cdot y_C = mg \cdot x_C$，令 $N_A = 0$ 得临界加速度；再与打滑上限比较，取较小者作为安全加速度；质心越高（y_C 大）、越靠后（x_C 小），允许加速度越小。

第 12 题 · 第(1)(2)问

错法　把平板简谐运动的平衡位置取在弹簧原长处；计算生热时用平板对地位移（或物块对地位移）乘滑动摩擦力。

机理　物块相对平板滑动时，平板受恒定滑动摩擦力 μmg，新平衡位置在弹簧伸长 $\mu mg/k$ 处，平板围绕该位置做简谐运动，振幅 $A=\mu mg/k$、周期 $T=2\pi\sqrt{M/k}$。摩擦生热耗散的是相对滑动，$Q=\mu mg\cdot\Delta s$，相对滑移距离 Δs 为物块位移减平板位移之差，即对地位移之差。

正解　坐标平移 $X=x-\mu mg/k$ 后方程化为 $M\ddot{X}=-kX$，读初条件定振幅；四分之一周期内分别算物块匀减速位移与平板位移，相减得 Δs 再乘 μmg；检验 $M\to 0$ 时平板振幅趋零，物块仍在对地滑动，热量不为零。

第 15 题 · 第(1)(2)问

错法　水银溢出后仍按未溢出阶段压强不变处理；解 384 K 对应的水银柱高度时只取二次方程一个根；求温度极值时不区分未溢出与溢出两个阶段。

机理　未溢出时气柱等压升温，到 380 K 水银上表面才与小孔平齐；溢出后剩余水银柱高 x（cm），气柱长 $100-x$、压强 $76+x$ cmHg，由状态方程得 $T(x)=380+1.2x-x^2/20$，这是开口向下的二次函数，极值在 $x=12$ cm、$T_{\max}=387.2$ K。低于极大值的同一温度对应溢出前后两个平衡高度，二次方程两根都在 $0<x\le 24$ 内，均应保留。

正解　分段写状态方程：未溢出段 p 不变；溢出段 $(76+x)(100-x)=20T$，对 x 求导定极值；384 K 代入得 $x^2-24x+80=0$，两根 $x=20$ cm、$x=4$ cm 都在区间内且 $384\text{ K}<387.2\text{ K}$，两个平衡态都可能。