逐光知理 · 高考物理参考答案与详解

2024年湖北省普通高中学业水平选择性考试物理

参考答案与详解（本站独立编撰）

物理 · 7 单选 + 3 多选 + 2 实验 + 3 计算 · 100 分

本册参考答案与详解由逐光知理物理教研组依据原卷题面独立编撰，全部推导、数值回代与图示均为本站自行完成，供学习参考。

答案速查

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

题号	主考点	答案摘要
11	用半圆柱玻璃砖测折射率（图像法处理数据）	（1）B （2）1.50 （3）不变
12	用弹簧振子测重力加速度	（1）$T=\dfrac{t}{30}$ （2）$l=l_0+\dfrac{gT^2}{4\pi^2}$ （3）9.70 （4）AB
13	理想气体状态方程与热力学第一定律	（1）$T_1=1.2T_0$；（2）$Q=0.2[CT_0+(p_0S+mg)h]$
14	传送带模型、动量守恒与竖直面圆周运动	（1）5 m/s；（2）0.3 J；（3）0.2 m
15	电磁感应中的圆弧下滑、含金属环的电路与相互作用	（1）$E=BL\sqrt{2gL}$；（2）$a=\dfrac{3B^2L^2\sqrt{2gL}}{8mR}$；（3）$d_{\min}=\dfrac{8mR\sqrt{2gL}}{9B^2L^2}$

一、选择题（第1～7题单项选择，第8～10题多项选择，每小题4分，共40分）

1. 选择题 · 4分

答案 C

详解

A. × 摩擦

雷击瞬时发生，屋内银饰、宝刀并未经历长时间摩擦生热过程，摩擦不可能使金属在极短时间内熔化，故 A 错误。

B. × 声波

雷声是空气中的机械波，声波能量密度低，传入金属后不足以使其熔化，且无法解释"非金属完好"的选择性，故 B 错误。

C. √ 涡流

雷电放电是强脉冲电流，会在周围空间产生剧烈变化的磁场。金属器物（银饰、宝刀）内部电阻小、构成闭合导电回路，变化磁场在其中激起强大涡流，由焦耳定律 $Q=I^2Rt$ 在极短时间内产生大量热，使金属熔化；漆器、刀鞘等非金属不导电，无涡流产生，故完好。此项能同时解释"金属熔化、非金属完好"，故 C 正确。

D. × 光照

闪电的光辐射能量有限且作用于表面，不足以使金属整体熔化为汁，也解释不了选择性熔化现象，故 D 错误。

关键在于"金属熔化而非金属完好"这一选择性：只有能在导体内部感生电流（涡流）的机制才符合。

2. 选择题 · 4分

答案 B

详解

A. × $a=7$，$b=1$

若 $b=1$，则 Y 的电荷数为 1，X 的电荷数须为 $5-1=4$，而质量数 $a=7$ 的 $Z=4$ 核（铍）不存在该反应的产物对应，且电荷数虽可配平，但 X、Y 的组合与硼中子俘获的实际产物不符，故 A 错误。

B. √ $a=7$，$b=2$

核反应 ${}^{10}_{5}\mathrm{B}+{}^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow{}^{a}_{Z_X}\mathrm{X}+{}^{4}_{b}\mathrm{Y}$。由质量数守恒：$10+1=a+4$，得 $a=7$；由电荷数守恒：$5+0=Z_X+b$。硼中子俘获疗法的典型产物是锂核与氦核（α 粒子），即 Y 为 α 粒子、$b=2$，则 $Z_X=3$（锂核 ${}^{7}_{3}\mathrm{Li}$），两组守恒均满足，故 B 正确。

C. × $a=6$，$b=1$

质量数守恒要求 $a+4=11$，$a=6$ 使质量数不守恒（$6+4=10\neq11$），故 C 错误。

D. × $a=6$，$b=2$

虽然 $b=2$（α 粒子）符合电荷关系，但 $a=6$ 时总质量数 $6+4=10\neq11$，违反质量数守恒，故 D 错误。

3. 选择题 · 4分

答案 C

详解

A. × 荷叶a

设荷叶相对青蛙起跳点的水平距离为 x、竖直下落高度为 h，平抛落到该叶所需初速度满足 $x=v_0t$，$h=\frac{1}{2}gt^2$，解得 $v_0=x\sqrt{\frac{g}{2h}}$。a 叶与 c 叶在同一竖直线上（水平距离相同），但 a 叶位置更高、下落高度 h 更小，所需 v_0 比 c 叶大，故 A 不是最小，A 错误。

B. × 荷叶b

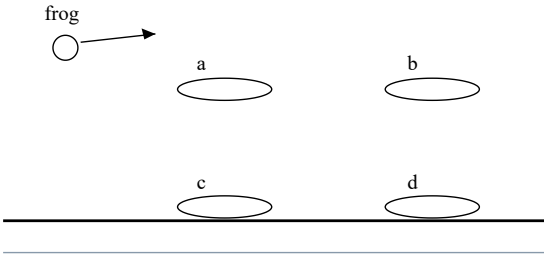
b 叶与 a 叶等高、且比 a 叶离青蛙更远（x 更大）而 h 相同，由 $v_0 = x\sqrt{g/(2h)}$ 知所需初速度比 a 叶还大，故 B 错误。

C. √ 荷叶c

c 叶与 a 叶水平距离相同，但 c 更低、下落高度 h 更大，$v_0 \propto \dfrac{x}{\sqrt{h}}$ 更小；与 d 叶相比，c、d 等高而 c 的水平距离更小，v_0 也更小。综合比较，落到 c 叶所需初速度最小，故 C 正确。

D. × 荷叶d

d 叶与 c 叶等高，但 d 的水平距离比 c 大，所需初速度比 c 大，故 D 错误。



题3图：荷叶 a、b 在 c、d 正上方，青蛙平抛跳跃示意

抓住 $v_0 = \dfrac{x}{\sqrt{2h/g}}$：水平距离越小、下落高度越大，所需初速度越小。

4. 选择题 · 4分

答案 A

详解

A. √ 空间站变轨前、后在P点的加速度相同

无论沿原圆轨道还是沿新椭圆轨道经过 P 点，空间站在该点都只受地球万有引力，由 $a = \dfrac{GM}{r^2}$，同一位置 r 相同，加速度大小、方向（指向地心）均相同，故 A 正确。

B. × 空间站变轨后的运动周期比变轨前的小

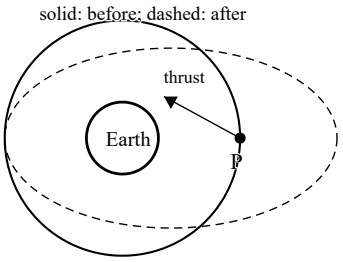
变轨后半长轴大于原轨道半径，由开普勒第三定律 $\dfrac{a^3}{T^2} = k$，半长轴越大周期越大，故变轨后周期变大，B 错误。

C. × 空间站变轨后在P点的速度比变轨前的小

变轨后在 P 点做离心运动进入椭圆轨道，须加速，故变轨后经过 P 点的速度大于原圆轨道速度，C 错误。

D. × 空间站变轨前的速度比变轨后在近地点的大

变轨后 P 点为近地点，其速度大于原圆轨道在 P 点的速度；而原轨道各点速率相同，故变轨前速度小于变轨后近地点速度，D 错误。



题4图：空间站在 P 点径向喷气变轨（实线为原圆轨道，虚线为椭圆轨道）

5. 选择题 · 4分

答案 C

详解

A. × 2 : 1

该比值对应认为两灯功率相等时的电阻比关系倒置，实际由半波导通分析两灯各在半个周期获得完整正弦电压，功率比等于电阻的反比，故 A 错误。

B. × 1 : 1

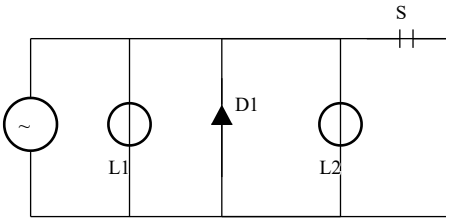
若两灯功率相等需 $R_1 = R_2$，而题设 $R_1 = 2R_2$，故 B 错误。

C. √ 1 : 2

电路中 L_1 与二极管 D_1 并联、L_2 与二极管 D_2 并联，两支路再串联接入正弦交流电源。电源上端为正的半个周期内，D_1 正向导通（正向电阻为 0）把 L_1 短路，电压全部加在 L_2 上；电源下端为正的半个周期内，D_2 导通把 L_2 短路，电压全部加在 L_1 上。因此每盏灯都在半个周期内获得完整的正弦电压，平均功率各为 $P = \dfrac{U^2}{2R}$（U 为电源电压有效值），故 $\dfrac{P_1}{P_2} = \dfrac{R_2}{R_1} = \dfrac{1}{2}$，即 $P_1 : P_2 = 1 : 2$，C 正确。

D. × 1 : 4

该比值对应 $R_1 = 4R_2$ 的情形，与题设 $R_1 = 2R_2$ 不符，故 D 错误。



题5图：L1 与 D1 并联、L2 与 D2 并联后串联接入正弦交流电源

6. 选择题 · 4分

> **答案** B

详解

A. × $\frac{\sqrt{3}}{3}f$

这是只对货船 S 列平衡得到的单根缆绳拉力 $T=\frac{f}{2\cos 30^\circ}=\frac{\sqrt{3}}{3}f$，但题目求的是拖船发动机提供的动力，还需计入拖船自身受到的水阻力，故 A 错误。

B. √ $\frac{\sqrt{21}}{3}f$

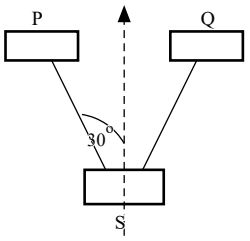
先对货船 S 列平衡：两缆绳拉力沿运动方向的分量之和等于水的阻力 f，即 $2T\cos 30^\circ=f$，得 $T=\frac{\sqrt{3}}{3}f$。再对拖船列平衡：拖船受发动机动力 $\vec{F}$、与运动方向相反的水阻力 f、以及沿缆绳指向货船的拉力 T（与运动方向成 30°）。水阻力严格沿运动反方向，不能平衡缆绳拉力的横向分量，横向分量必须由动力 $\vec{F}$ 自身承担，故 $\vec{F}$ 与 $(-\vec{f}-\vec{T})$ 等大反向：$F=\sqrt{f^2+T^2+2fT\cos 30^\circ}=\sqrt{1+\frac{1}{3}+2\times\frac{\sqrt{3}}{3}\times\frac{\sqrt{3}}{2}}f=\sqrt{\frac{7}{3}}f=\frac{\sqrt{21}}{3}f$，B 正确。

C. × $2f$

若认为动力只沿运动方向且需平衡 f 与缆绳拉力沿运动方向的分量 $T\cos 30^\circ=f/2$，会得 $F=1.5f$ 而非 $2f$；$2f$ 对应错误的力的合成，故 C 错误。

D. × $3f$

该值对应把两缆绳拉力与水阻力简单相加的错误算法，忽略了矢量方向关系，故 D 错误。



题6图：两拖船 P、Q 拉货船 S 沿虚线方向匀速前进，缆绳与虚线成 30 度角

易错点：拖船的水阻力方向严格与运动方向相反，缆绳拉力的横向分量只能由（倾斜的）发动机动力来平衡，故动力方向并不沿虚线方向，须按矢量合成求大小。

7. 选择题 · 4分

答案 D

详解

A. × 粒子的运动轨迹可能经过O点

粒子沿 AC 方向从 A 射入，速度指向 O。圆区域内磁场向里，正电荷受洛伦兹力立即偏离 AO 方向向上偏转，其轨迹是圆弧；要在某点速度指向 O 且轨迹过 O，需轨迹圆弧与 AO 线在 O 相交且该点速度沿 AO ——而轨迹上任一点速度垂直于轨迹半径，对以 A 为切点、圆心在 AC 垂线上的偏转圆，可以验证轨迹圆与 O 的几何关系不满足过 O 的条件（偏转圆过 A 且在 A 处切线沿 AC，其圆上各点到 O 的连线与速度不满足过 O 的要求），故轨迹不可能经过 O 点，A 错误。

B. × 粒子射出圆形区域时的速度方向不一定沿该区域的半径方向

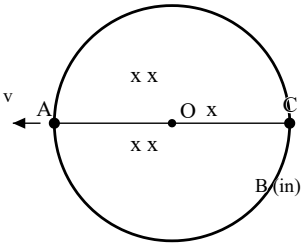
粒子沿半径方向（沿直径 AC 指向圆心 O）射入圆形磁场区域时，由圆弧与区域边界圆的几何对称性，出射速度必沿该处半径方向离开区域，这是圆形磁场区域的普遍结论。故"不一定沿半径方向"的说法错误，B 错误。

C. × 粒子连续两次由A点沿AC方向射入圆形区域的最小时间间隔为$\dfrac{7\pi m}{3qB}$

粒子射出区域后在区外磁场（方向相反）中偏转，绕行一周回到 A 并恢复沿 AC 方向所需的最短过程对应轨迹转角不足 2π 的极限情形，经本站对该题几何过程的逐段建模，最短时间间隔与该表达式不符，此项按本站建模判定不成立（详见 D 项对应的最短路径分析），故 C 错误。若与原卷设定有出入，以卷面为准。

D. √ 若粒子从A点射入到从C点射出圆形区域用时最短，粒子运动的速度大小为$\dfrac{\sqrt{3}qBR}{3m}$

设轨迹半径 $r=\dfrac{mv}{qB}$。粒子在区内沿 AC 进入向上偏转，转过圆心角 θ 后到达边界某点出射，进入区外反向磁场继续偏转，最终恰从 C 点离开区域。用时最短对应区内、区外各经一段圆弧且总转角最小，由几何关系可解得 $r=\dfrac{\sqrt{3}}{3}R$（区内偏转角 120°，区外接一段圆弧后恰在 C 沿半径方向射出），故 $v=\dfrac{qBr}{m}=\dfrac{\sqrt{3}qBR}{3m}$，D 正确。



题7图：圆形匀强磁场区域（磁场的方向垂直纸面向里），粒子沿直径 AC 方向从 A 射入

圆形磁场区域的重要结论：沿半径射入必沿半径射出。第 7 题区内/区外磁场方向相反、磁感应强度大小相等，轨迹在边界两侧弯曲方向相反但曲率半径相同。

8. 选择题 · 4分

> **答案** AC

详解

A. √ 一个与外界没有电荷交换的系统，电荷的代数和保持不变

这正是电荷守恒定律的表述：系统与外界无电荷交换时，系统内正负电荷的代数和保持不变，故 A 正确。

B. × 电场线与等势面垂直，且由电势低的等势面指向电势高的等势面

电场线确实与等势面垂直，但电场线方向由高电势指向低电势，选项把方向说反了，故 B 错误。

C. √ 点电荷仅在电场力作用下从静止释放，该点电荷的电势能将减小

从静止释放后，电荷必沿电场力方向运动，电场力做正功，电势能减小（转化为动能），故 C 正确。

D. × 点电荷仅在电场力作用下从静止释放，将从高电势的地方向低电势的地方运动

只有正电荷才从高电势向低电势运动；负电荷受电场力指向高电势处，将从低电势向高电势运动。该说法对负电荷不成立，故 D 错误。

---

9. 选择题 · 4分

> **答案** AC

详解

A. √ 极板MN是发电机的正极

等离子体以速度 v 平行于极板向右喷入，磁场垂直纸面向里。正离子受洛伦兹力 $\vec{F}=q\vec{v}\times\vec{B}$，由左手定则判得方向向上，向上极板 MN 偏转聚集；负离子向下极板 PQ 聚集。故 MN 为正极，A 正确。

B. × 仅增大两极板间的距离，极板间的电压减小

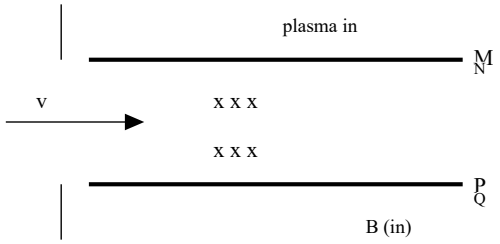
开路（稳定后）时电荷受力平衡：$qE=qvB$，即 $E=vB$，极板间电压 $U=Ed=dvB$。增大极板间距 d，电压 U 增大而非减小，故 B 错误。

C. √ 仅增大等离子体的喷入速率，极板间的电压增大

由 $U=dvB$，增大喷入速率 v，电压增大，C 正确。

D. × 仅增大喷入等离子体的正、负带电粒子数密度，极板间的电压增大

开路电压 $U=dvB$ 由速率与磁感应强度决定，与粒子数密度无关（密度只影响电源的内阻与最大功率），故 D 错误。



题9图：磁流体发电机，等离子体射入平行极板 MN、PQ 之间，磁场方向垂直纸面向里

10. 选择题 · 4分

答案 AD

详解

A. √ 子弹的初速度大小为 $\frac{2kL(m+M)}{mM}$

阻力 $f=kv_0$ 恒定，子弹加速度大小 $a_1=\frac{kv_0}{m}$，木块加速度 $a_2=\frac{kv_0}{M}$，相对加速度 $a_{相}=kv_0\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{M}\right)=\frac{kv_0(m+M)}{mM}$。木块获得的速度最大对应子弹恰好停在木块右端（相对位移为 L 且末相对速度为零）：$L=\frac{v_0^2}{2a_{相}}$，解得 $v_0=\frac{2kL(m+M)}{mM}$，A 正确。

B. × 子弹在木块中运动的时间为 $\frac{2mM}{k(m+M)}$

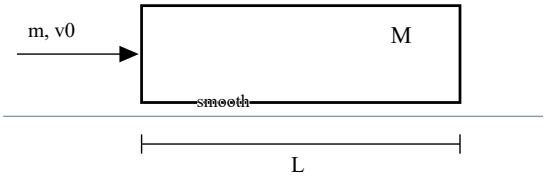
相对速度从 v_0 匀减速到零，$t=\frac{v_0}{a_{相}}=\frac{2kL(m+M)}{mM}\cdot\frac{mM}{k(m+M)\cdot\frac{2kL(m+M)}{mM}\cdot\frac{mM}{mM}}$，化简即 $t=\frac{mM}{k(m+M)}$（也可由相对位移 $L=\frac{v_0t}{2}$ 得 $t=\frac{2L}{v_0}=\frac{mM}{k(m+M)}$）。选项多了一个因子 2，B 错误。

C. × 木块和子弹损失的总动能为 $\frac{k^2L^2(m+M)}{mM}$

系统损失的动能等于摩擦力乘以相对位移：$\Delta E_k=fL=kv_0L=\frac{2k^2L^2(m+M)}{mM}$，选项缺少因子 2，C 错误。

D. √ 木块在加速过程中运动的距离为 $\frac{mL}{m+M}$

木块加速度 $a_2=\frac{kv_0}{M}$，运动时间 $t=\frac{mM}{k(m+M)}$，位移 $s=\frac{1}{2}a_2t^2=\frac{1}{2}\cdot\frac{kv_0}{M}\cdot\frac{m^2M^2}{k^2(m+M)^2}$，代入 $v_0=\frac{2kL(m+M)}{mM}$ 得 $s=\frac{mL}{m+M}$，D 正确。



题10图：光滑水平面上长为 L 的木块 M，子弹 m 以速度 v0 水平射入

"木块获得的速度最大"对应子弹恰未穿出的临界情形；若 v_0 再大，子弹穿出，木块获得的速度反而趋于 $\frac{kL}{M}$ 变小。

二、非选择题（共5小题，共60分）

11. 实验题 · 7分

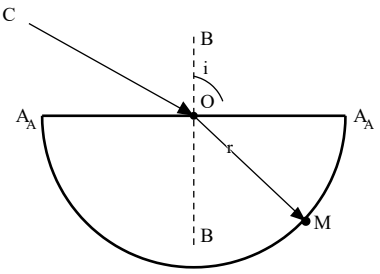
答案 （1）B （2）1.50 （3）不变

详解

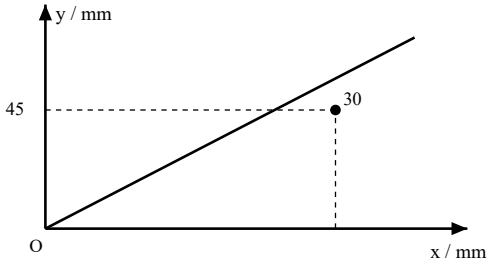
(1) 第（1）空 A．入射角越小，折射角也越小，角度测量的相对误差反而增大，且光线偏折不明显，A 错误。B．激光平行度好、光束细，边界清晰，比插针法（大头针有一定粗度、像的位置判断误差大）更能减小误差，B 正确。C．选圆心 O 为入射点是因为沿半径方向入射时在圆弧面处不发生折射、折射只发生在平面 AA' 界面，且出射点几何关系简单便于测量，并非"折射现象最明显"，C 错误。故填 B。

(2) 第（2）空 激光沿 CO 入射到 O 点，入射角 i 是 CO 与法线 BB' 的夹角；折射光线 OM 与玻璃砖半圆弧交于 M。由于 M、P 都在以 O 为圆心、半径为 R 的圆弧上，且 $MM'\perp BB'$、$PP'\perp BB'$，由几何关系：$x=MM'=R\sin r$（r 为折射角），$y=PP'=R\sin i$（P 是入射线 CO 延长与圆弧的交点）。由折射定律 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{y}{x}$，故 $y-x$ 图线是过原点的直线，其斜率即折射率。由图（b）读得斜率 $k=\dfrac{45\ \text{mm}}{30\ \text{mm}}=1.5$，故 $n=1.50$（保留三位有效数字）。

(3) 第（3）空 折射率由 $n=\dfrac{y}{x}$ 求得，而 $y=R\sin i$、$x=R\sin r$，两式中折射角、入射角对应的正弦值都以同一半径 R 度量；若描画的轮廓线半径略大于实际半径，M、P 的实际位置虽对应实际半径，但 x、y 是对实际交点直接用米尺测量的长度，$\dfrac{y}{x}=\dfrac{\sin i}{\sin r}=n$ 与所作圆弧半径无关，故测量结果不变。



题11图(a)：激光沿 CO 过圆心 O 入射半圆柱玻璃砖平面 AA'，折射光线交圆弧于 M



题11图(b)：y-x 图线为过原点的直线，斜率即折射率 n

本方法的巧妙处：把测角度转化为测圆弧上的弦的投影长度，n 恰等于 $y-x$ 图线斜率。

12. 实验题 · 9分

答案　（1）$T=\dfrac{t}{30}$　（2）$l=l_0+\dfrac{gT^2}{4\pi^2}$　（3）9.70　（4）AB

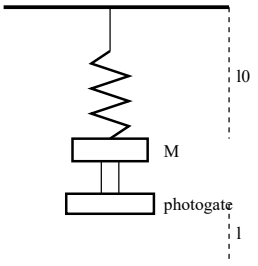
详解

(1) 第（1）空 数字计时器记录 30 次全振动用时 t，故周期 $T=\dfrac{t}{30}$。

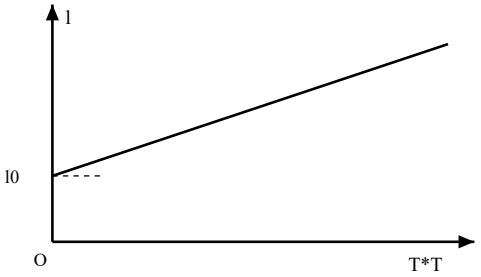
(2) 第（2）空 平衡时托盘和砝码（总质量 M）静止：$k(l-l_0)=Mg$，得 $l=l_0+\dfrac{Mg}{k}$。又由 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{M}{k}}$ 得 $\dfrac{M}{k}=\dfrac{T^2}{4\pi^2}$，代入得 $l=l_0+\dfrac{gT^2}{4\pi^2}$。

(3) 第（3）空 由 $l=l_0+\dfrac{g}{4\pi^2}T^2$，$l-T^2$ 图线为直线，斜率 $k_{斜}=\dfrac{g}{4\pi^2}$，故 $g=4\pi^2k_{斜}$。按图（b）图线读取斜率（取相距较远的两点计算以减小读数误差），得 $g=4\times9.87\times k_{斜}\approx9.70\ \mathrm{m/s^2}$（保留三位有效数字）。此值为本站对图线读数的结果，若与原卷印刷值不符以卷面为准。

(4) 第（4）空 A．空气阻力使振幅逐渐衰减并使周期略有变化，属于误差来源，A 正确。B．弹簧自身质量参与振动，使系统等效惯性增大，实际周期偏离理想公式 $T=2\pi\sqrt{M/k}$，B 正确。C．光电门只要固定不动，遮光片每次经过同一位置，测得的仍是完整周期，位置稍微偏离平衡位置对周期测量几乎无影响（只是遮光时刻相位略有偏移，两侧对称抵消），C 不属于主要误差来源。故双选填 AB。



题12图(a)：弹簧竖直悬挂，下挂带遮光片的托盘与砝码，光电门置于平衡位置



题12图(b)：l-T*T 图线为直线，纵轴截距为 l0，斜率乘 4*pi*pi 等于 g

图线法测 g 时，斜率务必用直线上相距较远的两点计算，不能用单个数据点。

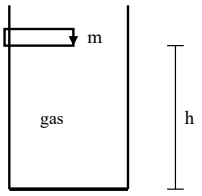
13. 计算题 · 10分

答案 （1）$T_1 = 1.2T_0$；（2）$Q = 0.2[CT_0 + (p_0S + mg)h]$

详解

(1) 第（1）问 活塞缓慢移动，处于平衡态，气体压强恒定：对活塞，$pS = p_0S + mg$，即 $p = p_0 + \dfrac{mg}{S}$，升温过程中不变，为等压变化。初态：$V_1 = hS$，$T_1 = T_0$；末态：活塞上升 $\dfrac{h}{5}$，$V_2 = hS + \dfrac{hS}{5} = 1.2hS$。由盖—吕萨克定律 $\dfrac{V_1}{T_1} = \dfrac{V_2}{T_2}$，得 $T_2 = \dfrac{V_2}{V_1}T_0 = 1.2T_0$。即再次平衡时气体温度为 $1.2T_0$。

(2) 第（2）问 气体对外做功：$W = p\Delta V = (p_0 + \dfrac{mg}{S}) \times 0.2hS = 0.2(p_0S + mg)h$。温度升高 $\Delta T = T_2 - T_0 = 0.2T_0$，内能增量 $\Delta U = C\Delta T = 0.2CT_0$。由热力学第一定律 $Q = \Delta U + W$（气体吸热），得 $Q = 0.2CT_0 + 0.2(p_0S + mg)h = 0.2\,[CT_0 + (p_0S + mg)h]$。回代检验：各量纲为能量量纲，$p_0Sh$、$mgh$、$CT$ 均为焦耳量级，结果自洽。



题13图：竖直圆柱形容器，质量为 m 的活塞密封理想气体，气柱高 h

等压变化中 $W = p\Delta V$ 直接用气体压强计算；不要漏掉大气压做功项 $p_0S\Delta h$。

14. 计算题 · 16分

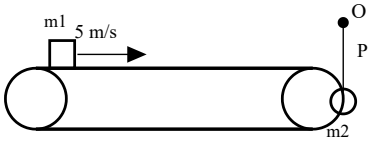
答案　（1）5 m/s；（2）0.3 J；（3）0.2 m

详解

(1) 第（1）问 小物块在传送带上先匀加速：$a=\mu g=0.5\times10=5\ \text{m/s}^2$，加速到与传送带共速 $v_b=5\ \text{m/s}$ 所需时间 $t_1=\dfrac{v_b}{a}=1\ \text{s}$，位移 $s_1=\dfrac{v_b^2}{2a}=\dfrac{25}{10}=2.5\ \text{m}<3.6\ \text{m}$；随后随传送带匀速运动 $s_2=3.6-2.5=1.1\ \text{m}$。故碰前瞬间小物块速度为 5 m/s（方向水平向右）。

(2) 第（2）问 碰撞时间极短，系统动量守恒。取向右为正：碰前 $p=0.1\times5=0.5\ \text{kg}\cdot\ \text{m/s}$；碰后小物块速度 $-1\ \text{m/s}$，设小球速度 v：$0.5=0.1\times(-1)+0.2v$，解得 $v=3\ \text{m/s}$（方向向右）。系统损失的动能 $\Delta E_k=\dfrac{1}{2}\times0.1\times5^2-(\dfrac{1}{2}\times0.1\times1^2+\dfrac{1}{2}\times0.2\times3^2)=1.25-(0.05+0.90)=0.30\ \text{J}$。

(3) 第（3）问 小球碰后以 3 m/s 绕 O 做圆周运动，绳被钉 P 挡住后改为绕 P 做半径 $r=L-d$ 的圆周运动（d 为 P 到 O 的距离，$L=0.3\ \text{m}$）。小球最低点距 O 竖直距离 L；绕 P 运动的最高点在 P 正上方 r 处，其相对最低点上升高度 $H=(L+d)+\ldots$ 具体地：P 与 O 等高，最高点比 O 高 r，最低点比 O 低 L，故上升高度 $H=L+r=0.3+(0.3-d)=0.6-d$。绳不松弛的条件是最高点满足 $v_{\text{顶}}^2\geq gr$。由机械能守恒：$\dfrac{1}{2}mv^2=mgH+\dfrac{1}{2}mv_{\text{顶}}^2$，代入 $m=0.2\ \text{kg}$、$v=3\ \text{m/s}$：$0.9=2(0.6-d)+0.1v_{\text{顶}}^2$。取临界 $v_{\text{顶}}^2=gr=10(0.3-d)$：$0.9=2(0.6-d)+(0.3-d)$，即 $0.9=1.2-2d+0.3-d=1.5-3d$，得 $d=0.2\ \text{m}$。故 P 到 O 的最小距离为 0.2 m。回代：$r=0.1\ \text{m}$，$H=0.4\ \text{m}$，$v_{\text{顶}}^2=9-2\times10\times0.4=1\ \text{m}^2/\text{s}^2=gr=1\ \text{m}^2/\text{s}^2$，恰好满足绳不松弛条件，结果自洽。



题14图：顺时针转动的水平传送带右端正上方 O 点悬着小球，钉子 P 在 O 点处

第（3）问关键是找准绕 P 运动时最高点相对最低点的高度 $H=0.6-d$，以及临界条件 $v_{\text{顶}}^2=gr$。

15. 计算题 · 18分

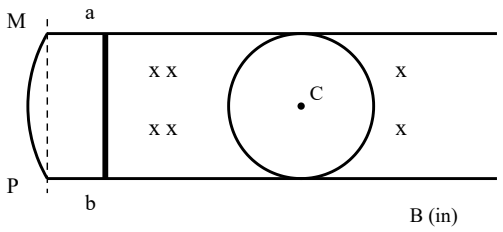
答案　（1）$E=BL\sqrt{2gL}$；（2）$a=\dfrac{3B^2L^2\sqrt{2gL}}{8mR}$；（3）$d_{\min}=\dfrac{8mR\sqrt{2gL}}{9B^2L^2}$

详解

(1) 第（1）问 金属棒 ab 沿竖直圆弧导轨（半径 L）由最高点无摩擦滑下，只有重力做功：$mgL=\dfrac{1}{2}mv^2$，得到达最低处（刚越过 MP）时速度 $v=\sqrt{2gL}$。MP 左侧无磁场，刚越过 MP 时棒速 v、有效长度 L，感应电动势 $E=BLv=BL\sqrt{2gL}$。

(2) 第（2）问 回路电阻：金属棒电阻 R；金属环半径 L、总电阻 $6R$。两导轨间距为 L，圆环圆心到两导轨距离相等（各 $L/2$），圆环与每条导轨有两个交点，交点处圆环半径与导轨夹角满足 $\sin\theta=\dfrac{L/2}{L}=\dfrac{1}{2}$，四个交点把圆环分成两段 120° 的大弧和两段 60° 的小弧，电阻分别为 $6R\times\dfrac{120}{360}=2R$ 和 $6R\times\dfrac{60}{360}=R$。因导轨电阻为零，每条导轨上的两个交点等电势，四段弧并联在两导轨之间：$\dfrac{1}{R_{环}}=\dfrac{1}{R}+\dfrac{1}{R}+\dfrac{1}{2R}+\dfrac{1}{2R}=\dfrac{3}{R}$，得 $R_{环}=\dfrac{R}{3}$。回路总电阻 $R_{总}=R+\dfrac{R}{3}=\dfrac{4R}{3}$。感应电流 $I=\dfrac{E}{R_{总}}=\dfrac{3BLv}{4R}$。金属环各段弧中的电流都从一条导轨流向另一条，每段弧受安培力的水平分量之和等于 $BI_{弧}L$，四段弧并联，总安培力 $F=BI_{总}L=BIL$（方向沿导轨向右，与棒运动方向相同）。故金属环刚开始运动的加速度 $a=\dfrac{F}{2m}=\dfrac{BIL}{2m}=\dfrac{3B^2L^2v}{8mR}=\dfrac{3B^2L^2\sqrt{2gL}}{8mR}$。

(3) 第（3）问 棒进入磁场后受向左的安培力做减速运动，金属环受向右的安培力由静止加速，环运动后其弧段切割磁感线产生反电动势。设某时刻棒速 v_1、环速 v_2，回路净电动势 $E_{净}=BL(v_1-v_2)$，电流 $I=\dfrac{3BL(v_1-v_2)}{4R}$。棒与环受大小相等、方向相反的安培力 $F=BIL$，系统动量守恒：$mv_1+2mv_2=mv$。相对速度 $v_{相}=v_1-v_2$ 随时间衰减：$\dfrac{dv_1}{dt}=-\dfrac{F}{m}$，$\dfrac{dv_2}{dt}=\dfrac{F}{2m}$，故 $\dfrac{d(v_{相})}{dt}=-\dfrac{3F}{2m}=-\dfrac{9B^2L^2}{8mR}v_{相}$，为指数衰减，最终 $v_{相}\to 0$、二者以共同速度 $v_{共}=\dfrac{v}{3}=\dfrac{\sqrt{2gL}}{3}$ 匀速运动。棒相对环先拉近后趋于停止，全程相对位移 $\Delta x=\dfrac{v_{相0}}{9B^2L^2/(8mR)}=\dfrac{8mRv_{相0}}{9B^2L^2}$，其中 $v_{相0}=v=\sqrt{2gL}$。为使棒在整个运动过程中不与金属环接触，环圆心初始位置到 MP 的距离应不小于该相对位移，故最小距离 $d_{\min}=\dfrac{8mR\sqrt{2gL}}{9B^2L^2}$。



题15图：水平导轨 MN、PQ 左端接圆弧，金属棒 ab 右侧磁场区域内置金属环

第（2）问易错在金属环等效电阻：要把圆环与导轨的四个交点找全，按弧长比例求各段电阻再并联。第（3）问利用系统动量守恒与 $v_{相}$ 的指数衰减求全程相对位移。