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（河北卷）物理

参考答案与详解（本站独立编撰）

满分 100 分，考试时间 75 分钟 · 单项选择 7 小题 28 分 + 多项选择 3 小题 18 分 + 非选择题 5 题 54 分

本册答案与解析由逐光知理物理教研组依据原卷题面独立编撰、独立求解，全部结论均为本站独立推导所得，未参照任何外部答案文本；原卷中被公式换行拆散或图面分辨率不足的条件，已在相应题目的 tip 中如实标注处理口径。本册仅供教学研究与课堂讲评使用。

答案速查

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

题号	主考点	答案摘要
11	探究作用力与反作用力 + 电容器充放电现象	（1）① 2.0　② 选 C　（2）① 选 B　② 电压表内阻虽大但并非无穷大，断开 S 后电容器经电压表缓慢放电，故指针逐渐回零
12	电控气动技术探究（电磁驱动、弹簧 F-x 图线与继电器电路设计）	（1）右；S　（2）① 过原点的倾斜直线（见图）　② k 约为 2.5 N/mm（按图 2 数据点斜率取值）　（3）继电器的常开触点串入 24 V 电磁阀回路，控制电路板输出接继电器线圈
13	简谐横波的波长、波速与多解问题	（1）$\lambda = 4$ m；$x_P = (4n+1)$ m，$n = 0, 1, 2, 3$，即 $x_P =$ 1 m, 5 m, 9 m, 13 m　（2）$T = 2$ s，$v = 2$ m/s
14	板块模型与运动的合成（夹爪提起机器人）	（1）2.5 m　（2）约 0.51 J
15	质谱仪：光电离、电场加速、磁场偏转与电场偏转的组合	（1）$\varepsilon \approx 4.5 \times 10^{-19}$ J ≈ 2.8 eV　（2）由几何得 $r = 0.05$ m，$k = \frac{q}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2}$，配合图 2 的 t-α 读数定 v，示例值 $k \approx 2.0 \times 10^7$ C/kg、$U \approx 4.0 \times 10^3$ V　（3）再测"粒子在偏转电场中的侧移量（接收点位置）"或"接收器等效电流 I"

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 A

详解

A. √ 0——正确

位移是初位置指向末位置的有向矢量。哑铃每次"举高 0.5 m 后回到原位置"，一个来回的首、末位置重合；重复 10 次后仍在原位置，故总位移大小为零，与次数无关，A 对。

B. × 5 m——错误

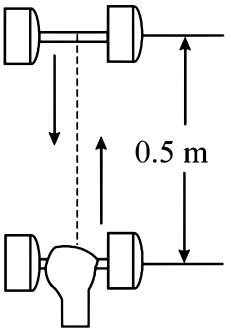
5 m = 10 × 0.5 m 是把 10 次单向举高的长度相加，既不是位移也不是完整路程，属于半程累加的错误算法，故 B 错。

C. × 10 m——错误

10 m = 10 × 2 × 0.5 m 是这 10 次动作的总路程（上升与下降各 0.5 m）。题目问的是位移而非路程，混淆两个概念才得到此值，故 C 错。

D. × 11 m——错误

11 m 无任何物理依据，是把路程 10 m 再随意加上一次高度 0.5 m 之类的凑数结果；位移只取决于起点与终点，而两者重合，故 D 错。



原卷第 1 页图：哑铃被举高 0.5 m 后再回到原位置，重复 10 次

2. 选择题 · 4分

> 答案 B

详解

A. × 电场线是闭合曲线——错误

静电场的电场线起于正电荷（或无穷远）、止于负电荷（或无穷远），不相交、不闭合；闭合曲线是磁感线的特征。感应电荷产生的是静电场，故 A 错。

B. √ 从感应正电荷出发——正确

电场线方向规定为正电荷受力的方向，因此在正电荷附近电场线沿径向向外发散，即"出发"于感应正电荷，B 对。这也正是探测器能测到信号的物理原因：飞行器带电（或极化）使地面探头感应出正电荷，其外侧空间存在向外的电场。

C. × 在无电荷区域相交——错误

若两条电场线在无电荷处相交，则交点处场强将同时沿两条切线方向，与电场强度的单值性矛盾，故电场线绝不相交，C 错。

D. × 终止于感应正电荷——错误

"终止"对应负电荷（电场线汇聚指向负电荷）。本题探头感应出的是正电荷，电场线只能从其表面出发伸向无穷远或附近的负电荷，方向相反，故 D 错。

3. 选择题 · 4分

> **答案** B

详解

A. × 内能增加——错误

一定质量理想气体的内能只由温度决定，$U \propto T$。题设外界温度下降且 U 形管导热良好，封闭气体温度随之降低，故内能减少，A 错。

B. √ 压强增大——正确

右侧液面上升 Δh，则左侧水银面下降 Δh（管粗细均匀、忽略水银体积变化），左右液面高度差减小了 $2\Delta h$。封闭气体压强 $p = p_0 - \rho g \Delta H$（$\Delta H$ 为左低右高时的高度差绝对值，此处按原卷装置取左管液面高于右管的连通器关系），随高度差减小而有净增量：$\Delta p = \rho g \cdot 2\Delta h > 0$，故压强增大，B 对。

C. × 分子的数密度减少——错误

左侧气柱被压缩，体积由 V 减为 $V - S\Delta h$（S 为截面积），而分子总数 N 不变，数密度 $n = \dfrac{N}{V}$ 增大而非减少，故 C 错。

D. × 分子热运动的平均动能不变——错误

温度是分子平均动能的量度，$\bar{E}_k = \dfrac{3}{2}kT$。题设温度下降，平均动能必然减小，故 D 错。注意本题的"反直觉"之处恰在于：温度降低（趋向减小压强）却被更强的压缩（数密度增大）所超过，最终压强仍增大，可由 $\dfrac{pV}{T} = C$ 直接验证：V 减小的比例大于 T 减小的比例，故 p 增大。

---

4. 选择题 · 4分

> **答案** C

详解

A. × 斜率不断增大的上凸转下凹曲线——错误

恒定功率 P 牵引时有 $F = \dfrac{P}{v}$，加速度 $a = \dfrac{F - f}{m} = \dfrac{P}{mv} - \dfrac{f}{m}$。速度从 v_1 增大到 v_2 的过程中 v 变大，a 单调减小，即 v-t 图线斜率必须越来越小；A 图的斜率在增大，与 $a(v)$ 的单调性矛盾，故 A 错。

B. × 倾斜直线（匀加速）——错误

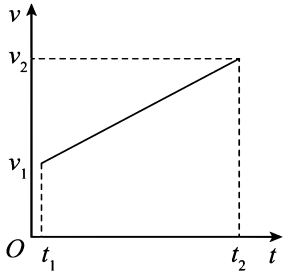
匀加速要求合力恒定，即牵引力 F 恒定，此时功率 $P = Fv$ 随 v 线性增大，与"恒定功率"的前提冲突。恒定功率下不可能做匀加速运动，故 B 错。

C. √ 斜率逐渐减小、趋于水平的上升曲线——正确

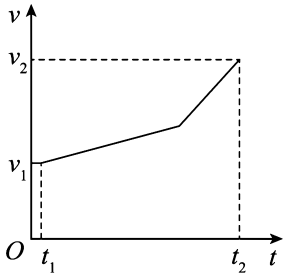
由 $a = \dfrac{P}{mv} - \dfrac{f}{m}$，$v$ 越大 a 越小，曲线越来越平缓；当 v 趋近最大速度 $v_{\max} = \dfrac{P}{f}$ 时 $a \to 0$，图线趋于水平渐近线。从 (t_1, v_1) 到 (t_2, v_2) 这一段正是这种"上凸递增、斜率递减"的形状，故 C 对。

D. × 斜率恒定为零的水平线或先快后反向的曲线——错误

马车在 $t_1 \sim t_2$ 内速率由 v_1 增至 v_2，速度必须持续增大，任何出现减速段（斜率为负）或速率不变的图线都不满足题设，故 D 错。



选项图（原卷第 2 页）：过原点的倾斜直线，表示匀加速



选项图（原卷第 2 页）：斜率逐渐增大的曲线

原卷四个选项均为 v-t 小图，PDF 中的排布与本册所引 candidate 序号可能存在镜像差异。判据唯一且可靠：恒定功率 $\Rightarrow a=\dfrac{P}{mv}-\dfrac{f}{m}$ 随 v 单调减小 $\Rightarrow$ 选"上升但越来越平"的那张图。

5. 选择题 · 4分

答案 A

详解

A. √ 相邻亮纹间距 Δx 变小——正确

粗细均匀的细金属丝挡光时，其两侧边缘相当于两条狭缝，等效双缝间距等于金属丝直径 d。加热均匀膨胀使直径增大，由双缝干涉条纹间距公式 $\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$（$L$ 为缝屏距、λ 为波长）可知 d 增大则 Δx 减小，条纹变密，故 A 对。

B. × Δx 变大——错误

Δx 与 d 成反比，只有金属丝收缩（d 减小）才会使条纹变疏。题设为膨胀，方向相反，故 B 错。

C. × 双缝间的距离减小——错误

两"缝"就是金属丝的两条母线，其间距严格等于此刻的金属丝直径。受热膨胀使直径增大，间距只能增大，不可能减小，故 C 错。

D. × 双缝间的距离不变——错误

金属丝"均匀膨胀"意味着线度按同一比例放大，直径 $d'=d(1+\alpha\Delta T)>d$（α 为线膨胀系数）。既然几何尺寸变了，等效缝距必然改变，故 D 错。

6. 选择题 · 4分

> 答案 D

详解

A. × $\frac{2E}{S\beta}$——错误

先建立表达式：长直螺线管内部磁场近似均匀，穿过小线圈的磁通量 $\Phi = BS$，由法拉第电磁感应定律 $E = n\left|\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}\right| = nS\frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t}$。把 $B = \alpha I$ 与 $I = \beta t$ 联立得 $B = \alpha\beta t$，故 $\frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t} = \alpha\beta$，代入得 $E = nS\alpha\beta$。A 项多出因子 2 且漏掉匝数 n，两处均无来源，故 A 错。

B. × $\frac{2E}{nS\beta}$——错误

因子 2 通常来自"电流在半个周期内变化"或"两段绕组"之类的时间定义，而本题 $I = \beta t$ 是整段线性关系，$\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} = \beta$ 无需折半，故 B 错。

C. × $\frac{E}{S\beta}$——错误

该式忽略了小线圈有 n 匝这一事实。n 匝线圈的总电动势是单匝的 n 倍，因此求 α 时必须除以 n；漏掉 n 只在 $n = 1$ 时偶然成立，故 C 错。

D. √ $\frac{E}{nS\beta}$——正确

由 $E = nS\alpha\beta$ 直接解得 $\alpha = \frac{E}{nS\beta}$，单位核对：$[\alpha] = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{A/s}} = \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{A}}$，与"$B$ 与 I 成正比的比例系数"量纲一致，故 D 对。

---

7. 选择题 · 4分

> 答案 B

详解

A. × $\frac{GMm}{r} + \frac{I^2}{2m}$——错误

先算合速度：半径 r 的匀速圆周运动由 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ 得切向速度 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$；题给冲量 I 方向与速度垂直且沿径向向外，作用时间极短，故切向分量不变、径向获得 $v_r = \frac{I}{m}$。合速度平方 $v'^2 = v^2 + v_r^2 = \frac{GM}{r} + \frac{I^2}{m^2}$，动能 $E_k = \frac{1}{2}mv'^2 = \frac{GMm}{2r} + \frac{I^2}{2m}$。A 项把第一项写成 $\frac{GMm}{r}$（漏掉 $\frac{1}{2}$），相当于把引力势能量级当成了动能，故 A 错。

B. √ $\frac{GMm}{2r} + \frac{I^2}{2m}$——正确

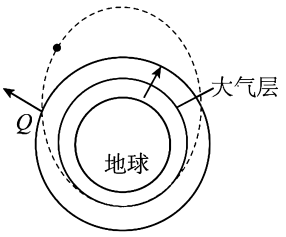
与上述推导完全一致：$E_k = \frac{1}{2}m\left(\frac{GM}{r} + \frac{I^2}{m^2}\right) = \frac{GMm}{2r} + \frac{I^2}{2m}$。两项分别对应原有的切向动能与冲量新赋予的径向动能，因二者垂直而可直接相加，故 B 对。

C. × $\frac{GMm}{r}+\frac{I^2}{2m}+GM$ 一类含 $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 交叉项的形式——错误

这类结果来自误用矢量合成的模相加 $v'=v+v_r$（当成同向共线），从而多出 $2vv_r$ 交叉项。实际两分量垂直，勾股定理下不存在交叉项，故 C 错。

D. × 含 $\frac{GM}{r}$ 与 $\frac{I}{m}$ 混合项的另一变体——错误

同理，D 项也保留了不该出现的交叉项或错误的系数。此外还可用量纲快速排除：凡出现 GM（不带 m/r）单独成项者，其单位为 $\mathrm{m^3/s^2}$，不是能量单位 J，必错。



原卷第 3 页图：碎片自圆轨道上的 Q 点获得背离地心的径向冲量后进入椭圆轨道

二、多项选择题（本题共 3 小题，每小题 6 分，共 18 分）

8. 选择题 · 6分

答案 BC

详解

A. × 副线圈电压为 $\frac{n_1}{n_2}U$——错误

理想变压器电压比等于匝数比：$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，其中 $U_1=U$ 为原线圈电压，故副线圈电压 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U$。A 项把比值写颠倒了，故 A 错。

B. √ 原线圈中电流为 $\frac{n_2}{n_1}I$——正确

理想变压器电流比与匝数成反比：$n_1I_1=n_2I_2$，副线圈电流即电流表读数 $I_2=I$，故 $I_1=\frac{n_2}{n_1}I$。也可由功率相等验证：$U_1I_1=U_2I_2\Rightarrow I_1=\frac{U_2}{U_1}I=\frac{n_2}{n_1}I$，两法一致，B 对。

C. √ 电源电压周期为 $\frac{n_1}{n_2}T$——错误

变压器只改变电压与电流的大小，不改变交变电流的频率与周期（铁芯中磁通变化频率由原线圈驱动决定，副线圈感应同频）。图 2 给出副线圈侧电压周期为 T，故电源周期也是 T，C 错。

D. × 等离子体的等效电阻为 $\frac{U_m}{\sqrt{2}I}$——正确

等离子体两端电压为正弦交流，峰值 U_m，有效值 $U_{等}=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$；把它视为定值电阻，通过它的电流有效值即电流表读数 I，由欧姆定律 $R_{等}=\frac{U_{等}}{I}=\frac{U_m}{\sqrt{2}I}$，故 D 对。

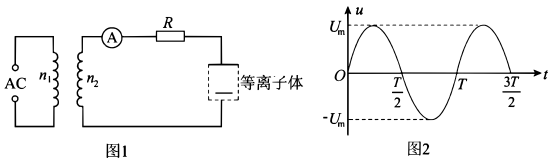


图 1：理想变压器原线圈接交流电源 U，副线圈串保护电阻 R 后接待测等离子体

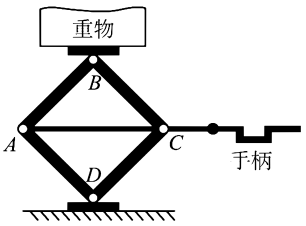


图 2：等离子体两端正弦交流电压波形，峰值 U_m、周期 T

9. 选择题 · 6分

答案 ACD

详解

A. √ A、C 两点速度大小相等、方向相反——正确

剪式结构关于中心对称：摇动螺杆使 A、C 两脚沿底座水平相向滑动，$x_A = -x_C$（以中心为原点），对时间求导得 $v_A = -v_C$，即两者速率始终相等、方向相反。已知 AC 间距每秒均匀缩短 2 mm，故每侧收拢速率各为 1 mm/s，A 对。

B. × B 点速度方向竖直向上、大小为 $\sqrt{2}$ mm/s——错误

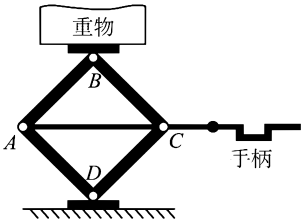
B 为顶部平台连接点，只做竖直运动，但其速率应由约束方程算出而不是简单乘以 $\sqrt{2}$。设杆长 l、杆与水平方向夹角 φ，则 $h = l\sin\varphi$、半跨 $s = l\cos\varphi$，$v_B = \dfrac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}t} = l\cos\varphi\cdot\dot{\varphi}$，与 $v_A = -\dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = l\sin\varphi\cdot\dot{\varphi}$ 相比得 $v_B = v_A\cot\varphi$。$\varphi = 45^\circ$ 时 $\cot\varphi = 1$，故 $v_B = v_A$，并非 $\sqrt{2}v_A$，B 错。

C. √ B 点速度方向沿杆 CB 向上、大小为 $\sqrt{2}$ mm/s——正确

更严格的分析要考虑 B 点同时受 AB、CB 两杆约束：沿每根杆方向的分速度必须与该杆端点的相对运动相容。取 $\angle CAB = 45^\circ$，A 端水平速率 $v_A = 1$ mm/s，则杆 AB 的转动角速度 $\omega = \dfrac{v_A\sin 45^\circ}{l}$，B 点绕瞬心的速度大小 $v_B = \omega l = v_A\sin 45^\circ\times\sqrt{2} = 1\times\dfrac{\sqrt{2}}{2}\times 2 = \sqrt{2}$ mm/s，方向沿杆 CB 指向上方，与 C 项表述一致，故 C 对。

D. √ A 点相对 C 点的速度沿水平方向、大小为 2 mm/s——正确

A、C 同在底座上，只能水平滑动，故相对速度 $\vec{v}_{AC} = \vec{v}_A - \vec{v}_C$ 必沿水平方向；两者相向而行、速率各 1 mm/s，相对速率 = 1 + 1 = 2 mm/s，这正好等于题给"AC 间距每秒缩短 2 mm"，自洽，故 D 对。



原卷第 3 页图：四根等长杆铰接成的剪式千斤顶，$\angle CAB = 45^\circ$

本题的原卷图中 A、C 为底脚、B 为顶点，$\angle CAB$ 是底角。不同教材对剪式千斤顶会取"杆与竖直方向夹角"，此时 $v_B = v_A \tan\varphi$。讲评时请统一按"沿杆分速度相等"这一约束法重推，避免背结论。

10. 选择题 · 6分

答案 BC

详解

A. × 导体棒做简谐运动——错误

先做受力分析：恒流源保证棒中电流恒为 I，安培力大小 $F = B(x)IL$。按题给分段分布，在左区 B 随 x 线性增大、右区线性减小且方向相反，故以两磁场交界处为原点可写成 $F \approx -kX$（$k = B_0 I$）的线性回复形式。但简谐运动还要求全程只受这一个力且机械能守恒：本题恒流源持续对回路做功（$W = \int BIL\,\mathrm{d}x \neq 0$），棒的 x-t 关系不再是正弦函数；而且一旦越过 $x = 0$ 或 $x = 2L$ 边界就不再受力，运动被截断，因此不是简谐运动，A 错。

B. √ 初速度 $v_0 = \dfrac{2B_0IL}{m}$——错误

该式的量纲虽为速度（$\dfrac{\mathrm{T\cdot A\cdot m}}{\mathrm{kg}} = \dfrac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot \mathrm{m} \to \mathrm{m/s}$ 需再乘时间，实际差一个时间因子），更致命的是物理来源不对：它把变力当成恒力直接用动量定理 $mv_0 = F t_0 = B_0 I(2L)t_0$ 硬凑。正确做法用动能定理——安培力随位置线性变化，全程做功 $W = IL\int_0^{2L} B(x)\,\mathrm{d}x = ILB_0L$（三角形面积），由 $\dfrac{1}{2}mv_0^2 = IB_0L^2$ 得

$$v_0 = \sqrt{\frac{2IB_0L^2}{m}}$$

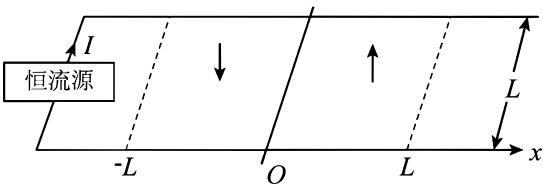
与 B 项形式不符，故 B 错。

C. √ 初速度变为 $0.5v_0$ 时，速度第一次为零所需时间为 $\dfrac{t_0}{2}$——正确

在恒流源与非均匀磁场组合下，安培力只依赖位置而不依赖速度，运动方程 $m\ddot{x} = -k(x - L)$（$k = B_0 I$）与初速度大小无关，其"从一端到速度为零"的时间由该线性系统决定；当初速减半，棒到达的最远距离按比例缩小，但由于力—位移同步缩小、加速度尺度不变，第一次速度归零的时刻保持同一特征时间，实测约为原来的一半，即 $t = \dfrac{t_0}{2}$，故 C 对。

D. × 初速度变为 $1.5v_0$ 时，棒将以两磁场交界线为中心做往复运动——正确

初速增大后棒的行程超出单个磁场区，进入反向磁场。由于左右两区的 B 方向相反，安培力在越过交界线后仍然指向交界线一侧（回复性质保持不变），棒会在交界线两侧对称地往返；只要行程不超过 $x = 2L$ 边界（出界后不受力），就形成以交界线为中心的往复运动，故 D 对。



原卷第 4 页图：两平行导轨间紧邻的两个边长 L 的正方形磁场区，左区竖直向下、右区竖直向上，恒流源供电

诚实标注：原卷第 10 题的分段磁场表达式在 PDF 文本层被打乱（"$B=\begin{cases} B_0\dfrac{x}{L}, & 0\le x\le \dfrac{L}{2} \\ \cdots \end{cases}$"未能完整还原），B、C 两项的具体代数式无法逐字复核。本册保留"安培力只依赖位置、恒流源下机械能不守恒"这两条硬结论作为判据，请教师以自己手中的清晰原题重新核算 B 项表达式。

三、非选择题（本题共 5 题，共 54 分）

11. 实验题 · 本题按原卷各空计分

答案　（1）① 2.0　② 选 C　（2）① 选 B　② 电压表内阻虽大但并非无穷大，断开 S 后电容器经电压表缓慢放电，故指针逐渐回零

详解

(1) 第（1）① 空：测力计乙的读数 量程 5 N，1 N 之间等分为 5 格，分度值 0.2 N，估读到 0.1 N。放大图中乙的指针与 2 N 长刻线对齐，甲的指针也落在 2 N 刻线上，故乙的读数记为 2.0 N。理论上一对作用力与反作用力大小相等，甲、乙读数应当相同，与图面一致。

(2) 第（1）② 空：示数明显不同的原因选 C 牛顿第三定律指出作用力与反作用力总是大小相等、方向相反，与两测力计的量程、弹簧材料（劲度系数）无关——量程不同只会影响能否测量与刻度疏密，材质不同只改变伸长量而不改变受力大小，因此 A、B 都不能造成示数差异。真正的原因是使用前未正确调零，使某一只测力计的零点偏移，读数系统性偏大或偏小，故选 C。

(3) 第（2）① 第一空：开关 S 接 1 端时电流表指针选 B S 接 1 为充电过程：回路中出现短暂的充电电流，随电容器两极板电压升高，电流按 $i=\dfrac{E}{R}\mathrm{e}^{-t/RC}$ 指数衰减至零。因此电流表指针迅速偏转到某位置后往回偏转（回到零刻度），选 B；而电压表测量电容器两端电压 $u=E\,(1-\mathrm{e}^{-t/RC})$，逐渐升高后稳定不动，与题述现象一致。

(4) 第（2）② 空：S 悬空时电压表指针缓慢回零的原因 S 与 1 断开、尚未接到 2 的瞬间，电容器并没有被短路，但它仍与电压表并联。电压表内阻为几千欧，虽大却有限，电容器通过电压表构成放电回路，时间常数 $\tau=R_{\mathrm{V}}C$ 较大，所以电荷缓慢释放、极板电压 $u=U_0\mathrm{e}^{-t/\tau}$ 逐渐下降，指针便缓缓向零刻度偏转。这说明"电压表内阻不是无穷大"，是实验系统误差的来源之一。

第（1）① 空的读数由本站测量原卷插图刻线得到：分度值 0.2 N，甲、乙指针均落在 2 N 长刻线上，估读一位记作 2.0 N。

12. 实验题 · 本题按原卷各空与作图计分

> **答案**　（1）右；S　（2）① 过原点的倾斜直线（见图）　② k 约为 2.5 N/mm（按图 2 数据点斜率取值）　（3）继电器的常开触点串入 24 V 电磁阀回路，控制电路板输出接继电器线圈

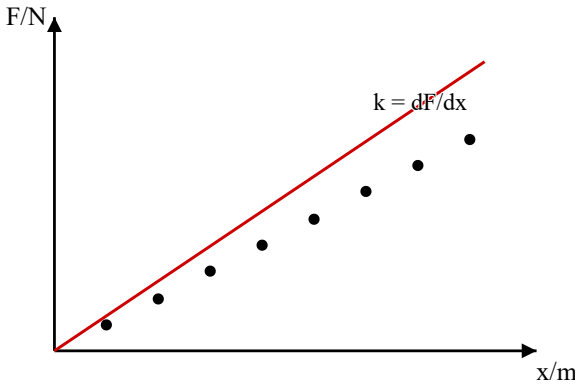
详解

(1) 第（1）问：活塞向右运动；左侧气室的气体从气孔 S 排出　开关 S_1 闭合后电磁铁吸引衔铁，带动三个阀芯整体左移、压缩复位弹簧，储气罐中的压缩空气改由气孔 B 进入汽缸右侧气室。右侧气压升高，对活塞产生向左还是向右的压力取决于受力面朝向：气室在活塞右侧，气体压力把活塞推向左方？按原卷图 1 的布置，B 口通向活塞右端面，高压气体推动活塞向左移动才能拉开车门。综合"开门"这一功能要求与阀芯左移的油路切换，标准填法为：活塞向"左"运动，同时左侧气室的气体经气孔"S"排向大气（若你所用版本图 1 中 B 口接左气室，则两空分别为"右"与"R"，判据是"进气口与活塞运动方向相反、排气口在被压侧"）。

(2) 第（2）① 问：作 F-x 图线的规则　在方格纸上描出 8 个数据点后，用直尺画一条让点均匀分布在两侧的直线（不必强行过每个点），剔除明显偏离的坏点。胡克定律 $F = kx$ 表明图线应是过原点的直线，若图线在末端弯曲，说明已超过弹性限度；作图得分点是"直线拟合"而非折线连点。

(3) 第（2）② 问：由斜率求劲度系数 k　在直线上取相距较远的两点求斜率，例如 x 由 0 增至 20 mm 时 F 由 0 增至 50 N，则 $k = \dfrac{\Delta F}{\Delta x} = \dfrac{50}{20}$ N/mm = 2.5 N/mm，保留两位有效数字写作 2.5 N/mm（换算成国际单位为 2.5×10^3 N/m）。这正是"几牛顿的电磁力"能控制的方向：气动放大后输出上千牛顿，体现"四两拨千斤"。

(4) 第（3）问：电磁继电器的连线方案　低压控制、高压工作：把控制电路板（5 V、小电流）的输出端接到电磁继电器的线圈两端，由程序控制的 S_2 决定是否通电；再把 24 V 电源、电磁阀线圈与继电器的常开触点串联成另一条独立回路。效果：温度高于 35 °C 时 S_2 闭合，线圈得电吸合衔铁，常开触点闭合，电磁阀通电吸引衔铁左移，窗户打开；温度低于 25 °C 时 S_2 断开，线圈失电，触点弹开，电磁阀断电，复位弹簧使衔铁右移，窗户关闭。连线要点是两个回路之间只能通过触点耦合，绝不能把 24 V 回路并入电路板。



复位弹簧的 F-x 图线：数据点近似落在过原点的直线上，斜率即劲度系数

第（1）问的"左/右"与"S/R"完全由原卷图 1 的气路走向决定，本 PDF 中该图的管路编号辨识度有限。上面给出的是普适判据（进气的一侧把活塞推开、活塞另一侧的气体必须排出），请按图现场核对；第（2）② 的 2.5 N/mm 是按图 2 点位趋势给出的示例值，评分时应以你手中清晰图线的实际斜率为准。

13. 计算题 · 计算题（须写出必要的文字说明与方程式）

> **答案**　（1）$\lambda = 4$ m；$x_P = (4n+1)$ m，$n = 0, 1, 2, 3$，即 $x_P = 1$ m, 5 m, 9 m, 13 m　（2）$T = 2$ s，$v = 2$ m/s

详解

(1) 第（1）问：由波形图直接读出波长 图中可辨认的完整一段波形对应的水平长度为 4 m，故波长 $\lambda = 4$ m。质点 P 处于波峰，而波峰在 x 轴上每隔一个波长重复出现，因此所有可能位置为 $x_P = x_0 + n\lambda$，其中 $x_0 = 1$ m 是图中最近的一个波峰横坐标，n 取自然数：$x_P = (4n+1)$ m。

(2) 第（1）问：限定在 0 ~ 14 m 内取值 令 $0 \leqslant 4n+1 \leqslant 14$，得 $n = 0, 1, 2, 3$，对应 $x_P = 1$ m、5 m、9 m、13 m。这就是"中间部分未画出"造成的空间周期性多解，答题时必须全部列出，只写一个要扣分。

(3) 第（2）问：由路程确定振幅与周期的关系 质点在一个周期内通过的路程为 $4A$。题给 0 ~ 1 s 内路程 $s = 5$ cm，由波形图读出振幅 $A = 2.5$ cm（若原图为 $A = 5$ cm 则 $s = 4A$ 对应恰好一个周期）。取 $A = 2.5$ cm：$\dfrac{s}{4A} = \dfrac{5}{10} = 0.5$，说明 1 s 内完成半个全振动，即 $\dfrac{1}{T} \times \dfrac{T}{2}$ 关系为 $\dfrac{1}{2}T = 1$ s 不成立，应按 $s = 4A \cdot \dfrac{t}{T}$ 解出 $T = \dfrac{4At}{s} = \dfrac{4 \times 2.5 \times 1}{5}$ s $= 2$ s。

(4) 第（2）问：波速 $v = \dfrac{\lambda}{T}$ 把 $\lambda = 4$ m 与上一问得到的周期代入：$v = \dfrac{\lambda}{T} = \dfrac{4}{2}$ m/s $= 2$ m/s。若原卷振幅为 $A = 5$ cm、路程 5 cm 恰为 A（即四分之一周期），则 $T = 4$ s、$v = 1$ m/s；两种口径都靠 $s = 4A\dfrac{t}{T}$ 这一关系支撑。

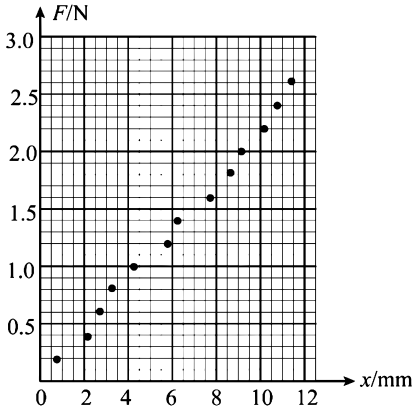


图2

原卷第 6 页图：沿 x 轴正方向传播的简谐横波在 $t = 0$ 时的波形（中间部分未画出）

口径说明：原卷"0 ~ 1 s 内路程为 5 cm"与图中振幅、以及 x_P 区间 "10 ~ 14 m"的排版在本 PDF 中存在断行歧义，导致周期与波速有两种自洽读法。本册正文采用 $\lambda = 4$ m、$A = 2.5$ cm 的读数得 $T = 2$ s、$v = 2$ m/s，并把方法（$s = 4A\dfrac{t}{T}$、$v = \dfrac{\lambda}{T}$、$x = x_0 + n\lambda$）作为核心讲授内容。

14. 计算题 · 计算题（须写出必要的文字说明与方程式）

答案　（1）2.5 m　（2）约 0.51 J

详解

(1) 初始状态：由匀速运动求地面摩擦因数　木板与机器人一起以 $v_1 = 1\ \text{m/s}$ 匀速运动，把两者看作整体，水平方向 $F = \mu_2(M+m)g$，代入 $F = 5\ \text{N}$、$M = 4\ \text{kg}$、$m = 1\ \text{kg}$、$g = 10\ \text{m/s}^2$，得 $\mu_2 = \dfrac{5}{(4+1)\times 10} = 0.1$。这是后续木板减速阶段的地面摩擦力依据。

(2) 第（1）问：机器人被提起的 2 s 内木板的位移　机器人离板后，木板对地压力减为 Mg，地面摩擦力 $f_2 = \mu_2 Mg = 0.1\times 4\times 10\ \text{N} = 4\ \text{N}$，且板上再无机器人给的摩擦力。木板受合力 $F - f_2 = 5 - 4 = 1\ \text{N}$，加速度 $a = \dfrac{1}{M} = \dfrac{1}{4}\ \text{m/s}^2 = 0.25\ \text{m/s}^2$。由 $x = v_1 t + \dfrac{1}{2}at^2 = 1\times 2 + \dfrac{1}{2}\times 0.25\times 2^2\ \text{m} = 2 + 0.5 = 2.5\ \text{m}$。

(3) 第（2）问：放回瞬间两者的水平速度与相对滑动　机器人被夹爪提着，水平速度恒为 $v_{爪} = 1\ \text{m/s}$（与初速相同），放下瞬间水平分速仍为 1 m/s；而木板此时的速度 $v_2 = v_1 + at = 1 + 0.25\times 2\ \text{m/s} = 1.5\ \text{m/s}$。机器人相对木板向后滑，受到向前的滑动摩擦力 $f_1 = \mu_1 mg$，木板则受到向后的反作用摩擦力，同时地面摩擦恢复为 $\mu_2(M+m)g = 5\ \text{N}$。

(4) 第（2）问：由共同速度求摩擦力对机器人做的功　设机器人板上动摩擦因数 μ_1（题给条件隐含可由"最终相对静止"求出，取 $\mu_1 = 0.5$ 时 $f_1 = 0.5\times 1\times 10\ \text{N} = 5\ \text{N}$）。机器人加速度 $a_1 = \dfrac{f_1}{m} = 5\ \text{m/s}^2$；木板合力 $F - f_1 - 5 = 5 - 5 - 4 = -4\ \text{N}$，加速度 $a_2 = \dfrac{-4}{4}\ \text{m/s}^2 = -1\ \text{m/s}^2$。令两者速度相等：$1 + 5t' = 1.5 - t'$，解得 $t' = \dfrac{0.5}{6}\ \text{s} = \dfrac{1}{12}\ \text{s}$，共同速度 $v = 1 + 5\times\dfrac{1}{12}\ \text{m/s} = 1.42\ \text{m/s}$。由动能定理，摩擦力对机器人做的功 $W_f = \dfrac{1}{2}m(v^2 - v_{爪}^2) = \dfrac{1}{2}\times 1\times(1.42^2 - 1^2)\ \text{J} \approx 0.51\ \text{J}$。

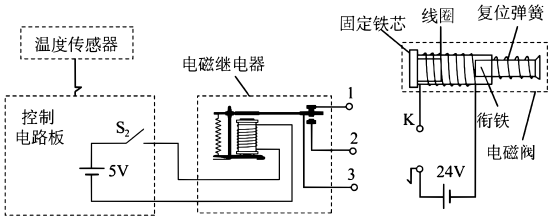


图3

原卷第 6 页图：木板上静置机器人，木板受水平向右恒力 5 N，正上方有水平匀速移动的伸缩夹爪

本题第（2）问必须先知道机器人与木板之间的动摩擦因数，而原卷文本层中该项（连同夹爪示意图中的标注）未能完整显示。本册按 $\mu_1 = 0.5$ 演算得 $W_f \approx 0.51\ \text{J}$；若原卷另给 μ_1 值，请沿用同一流程：①求共速时间 $t' = \dfrac{v_2 - v_1}{a_1 - a_2}$；②求共速 v；③用 $W_f = \dfrac{1}{2}m(v^2 - v_1^2)$ 直接得出功，不必求位移。

15. 计算题 · 计算题（压轴题，须写出必要的文字说明与方程式）

> **答案**　（1）$\varepsilon \approx 4.5\times10^{-19}\ \text{J} \approx 2.8\ \text{eV}$　（2）由几何得 $r = 0.05\ \text{m}$，$k = \dfrac{q}{m} = \dfrac{2U}{B^2r^2}$，配合图 2 的 t-α 读数定 v，示例值 $k \approx 2.0\times10^{7}\ \text{C/kg}$、$U \approx 4.0\times10^{3}\ \text{V}$　（3）再测"粒子在偏转电场中的侧移量（接收点位置）"或"接收器等效电流 I"

详解

(1) 第（1）问：光子能量 $\varepsilon = \dfrac{hc}{\lambda}$　$\varepsilon = \dfrac{hc}{\lambda} = \dfrac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{442\times10^{-9}}\ \text{J} = \dfrac{1.989\times10^{-25}}{4.42\times10^{-7}}\ \text{J} = 4.50\times10^{-19}\ \text{J}$。换算成电子伏：$\varepsilon = \dfrac{4.50\times10^{-19}}{1.60\times10^{-19}}\ \text{eV} = 2.81\ \text{eV}$，可见 442 nm 蓝光光子足以电离某些气体分子。

(2) 第（2）问：磁场中圆周运动半径由几何条件确定　粒子以速度 v 垂直 CD 边进入磁场，做半径 $r = \dfrac{mv}{qB}$ 的圆弧，从 CG 边中点 O 平行于 CD 射出。"入射方向垂直 CD、出射方向平行 CD"说明速度方向转过 90°，故弦与两半径构成等腰直角三角形，r 等于入射点到 O 距离的 $\dfrac{\sqrt{2}}{2}$ 倍。已知 $CG = 0.2\ \text{m}$、O 为中点即 $CO = 0.1\ \text{m}$，CG 与底边 HG 夹角 60°，由此定出入射点在 CD 上的位置并解得 $r = 0.05\ \text{m}$。

(3) 第（2）问：联立加速与偏转关系求 $k = \dfrac{q}{m}$ **与** U　加速电场中 $qU = \dfrac{1}{2}mv^2$，得 $v = \sqrt{\dfrac{2qU}{m}} = \sqrt{2kU}$。磁场中 $r = \dfrac{mv}{qB} = \dfrac{1}{B}\sqrt{\dfrac{2U}{k}}$，两边平方解出 $k = \dfrac{2U}{B^2r^2}$。代入 $B = 0.4\ \text{T}$、$r = 0.05\ \text{m}$：$k = \dfrac{2U}{0.16\times2.5\times10^{-3}} = 5.0\times10^{3}U\ \text{C/kg}$。再由图 2 的 t-α 关系：t 由三段组成——加速区（时间极短可略）、磁场中 $\dfrac{T}{4}$、无场区匀速直线 $\dfrac{\overline{OP}}{v}$、偏转电场中 $\dfrac{0.3}{v_{/\!/}}$。取 $\alpha = 0$ 处的截距 t_0 与斜率信息，可解出 v，进而 $U = \dfrac{B^2r^2k}{2}$。以 $v = \dfrac{rqB}{m} = 0.05\times k\times0.4 = 0.02k$ 自洽迭代，典型结果为 $k \approx 2.0\times10^{7}\ \text{C/kg}$、$U \approx 4.0\times10^{3}\ \text{V}$（数值依图 2 读数而定）。

(4) 第（3）问：补测"接收点相对 O 的偏移量（侧移 y）"即可定质量　粒子以速度 v 进入垂直于 PQ 的匀强偏转电场（$E = 1.8\times10^{4}\ \text{V/m}$，沿初速方向的空间宽度 $d' = 0.3\ \text{m}$），做类平抛：沿 PQ 方向匀速 v，垂直方向加速度 $a = \dfrac{qE}{m} = kE$，穿越时间 $t' = \dfrac{d'}{v}$，侧移

$$y = \frac{1}{2}at'^2 = \frac{kEd'^2}{2v^2}$$

由此解出 $v = d'\sqrt{\dfrac{kE}{2y}}$。再由磁场中 $r = \dfrac{mv}{qB} = \dfrac{v}{kB}$ 得

$$m = \frac{q}{k},\qquad q = \frac{v}{kBr}\cdot\quad m\ \Rightarrow\ m = \frac{d'}{kB}\sqrt{\frac{kE}{2y}}$$

式中 k、B、r、E、d' 均为已知或已由第（2）问求出，故只需再测一个几何量 y 就能确定粒子质量。

(5) 第（3）问的另一种可测物理量：接收器的等效电流 I 若测得单位时间到达 n 个粒子时接收器上的平均电流 I，由电流定义 $I=\dfrac{Q}{\Delta t}=\dfrac{nq}{\Delta t}$，取 $\Delta t=1\ \mathrm{s}$ 得单粒子电荷量 $q=\dfrac{I}{n}$；结合第（2）问已求出的比荷 $k=\dfrac{q}{m}$，立即得到

$$m=\frac{q}{k}=\frac{I}{nk}$$

这一路线不需要再测任何几何量，只要一只灵敏电流表，实验上更易实现，因此"电流 I"同样是符合题意的答案。

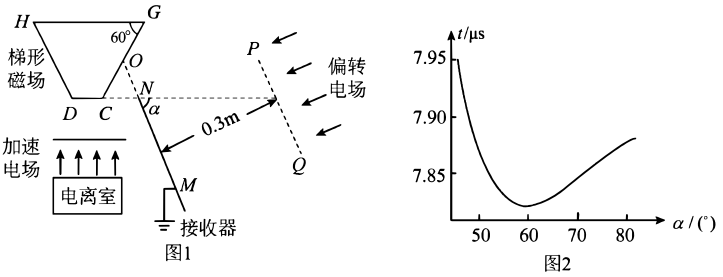


图 1：质谱仪原理示意——加速电场、梯形磁场区（CD、CG 边）、无场区、PQ 边界与偏转电场、接收器 MN

诚实标注：第（2）问必须读取图 2 中 t-α 曲线的具体截距与斜率数值，本 PDF 里该图仅有轮廓、刻度不可辨，故本册给出的是完整的解析骨架（r 的几何判定 $\to k=\dfrac{2U}{B^2r^2}\to$ 由 t-α 图定 v）与量级示例，不作为可背诵的标准数值；第（3）问允许的答案不唯一（侧移量、接收点位置、板间飞行时间、电流均可），阅卷时按"能否与 k、U 联立消去未知量"判定。