参考答案与详解

2021 年山东省普通高中学业水平等级考试 · 物理

本站自编 | 共 18 题

本题答案与解析由逐光知理物理教研组依据原卷独立编撰，选择题给出答案键，非选择题给出关键公式与演算过程，供校核使用。公式与物理量按 *Times New Roman* 斜体排版。

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

1．答案：A

【考点】核反应遵守质量数守恒和电荷数守恒；半衰期由核本身决定，与温度、压强无关。

【解析】A．根据质量数守恒和电荷数守恒可知，X 是电子，A 正确；

B．半衰期非常稳定，不受温度、压强以及该物质是单质还是化合物的影响，B 错误；

C．$^{210}_{82}\mathrm{Pb}$ 与 $^{210}_{83}\mathrm{Bi}$ 和电子 X 的质量差等于衰变的质量亏损，C 错误；

D．方程中的 X 来自于 $^{210}_{82}\mathrm{Pb}$ 内中子向质子的转化，D 错误。

故选 A。

【选项研判】正确选项为 A；其余选项与上述物理判断不符，逐一排除。

【答案】A

【模型提炼】近代物理题按“守恒—能级—能量”分析。

【易错提醒】不要认为半衰期随温度变化；也不要漏掉核反应中的光子或中微子。

2．答案：B

【考点】理想气体状态方程 $\frac{pV}{T}=C$，热力学第一定律 $\Delta U=Q+W$；温度是分子平均动能的标志。

【审题】密封的矿泉水瓶中，距瓶口越近水的温度越高。一开口向下、导热良好的小瓶置于矿泉水瓶中，小瓶中封闭一段空气。挤压矿泉水瓶，小瓶下沉到底部；松开后，小瓶缓慢上浮，上浮过程中，小瓶内气体。解题时先确定气体状态参量，再判断过程类型，最后列状态方程或热力学第一定律。

【解析】A．由于越接近矿泉水瓶口，水的温度越高，因此小瓶上浮的过程中，小瓶内温度升高，内能增加，A 错误；

B．在小瓶上升的过程中，小瓶内气体的温度逐渐升高，压强逐渐减小，根据理想气体状态方程 $\frac{pV}{T}=C$，气体体积膨胀，对外界做正功，B 正确；

CD．由 AB 分析，小瓶上升时，小瓶内气体内能增加，气体对外做功，根据热力学第一定律 $\Delta U=W+Q$，由于气体对外做功，因此吸收的热量大于增加的内能，CD 错误。

故选 B。

【选项研判】正确选项为 B；其余选项与上述物理判断不符，逐一排除。

【答案】B

【模型提炼】热学题按“状态参量—过程—能量”三步建模。

【易错提醒】不要把热量与内能等同；也不要忽略做功的正负号。

3．答案：B

考点：动能定理与摩擦力做功。

A（错误）：若 $f=\frac{mv_0^2}{2\pi L}$，则一周摩擦力做功 $W=-f\cdot 2\pi L=-mv_0^2$，而动能减少量只有 $\frac{1}{2}mv_0^2$，不满足动能定理，排除。

B（正确）：木块恰好完成一个完整圆周运动，末速度为零。由动能定理，只有摩擦力做功：$-f\cdot 2\pi L=0-\frac{1}{2}mv_0^2$，解得 $f=\frac{mv_0^2}{4\pi L}$。回代：$f\cdot 2\pi L=\frac{1}{2}mv_0^2$，成立。

C（错误）：若 $f=\frac{mv_0^2}{8\pi L}$，一周做功大小为 $\frac{1}{4}mv_0^2$，仅消耗一半动能，木块不能恰好停在出发点，排除。

D（错误）：若 $f=\frac{mv_0^2}{16\pi L}$，一周做功大小为 $\frac{1}{8}mv_0^2$，更小于动能减少量，排除。

答案：B

4．答案：D

【解析】研究对象是“臂带内原有气体 + 5 次充入的外界空气”这一整批气体，全过程温度不变，用玻意耳定律列式。

初态：这批气体都处在大气压下，$p_0=750$ mmHg，总体积为 $V+5\times 60\ \text{cm}^3=V+300\ \text{cm}^3$。

末态：全部被压入臂带，体积变为题给的 $5V$；压强计示数是高于大气压的数值，故末态压强 $p_1=750+150=900$ mmHg。

等温变化 $p_0(V+300)=p_1\cdot 5V$，即 $750(V+300)=900\times 5V$，整理得 $225000=3750V$，解得 $V=60\ \text{cm}^3$，选 D。

易错点：一是忘记把压强计读数加上大气压，误用 150 mmHg 作末态压强；二是把末态体积当成 $V+300\ \text{cm}^3$，与题给“体积变为 $5V$”重复计算。

5．答案：B

【解析】悬停时平台作用力等于重力。$g_{\text{Mars}}/g_{\text{Moon}}=(M_{\text{Mars}}/M_{\text{Moon}})/(R_{\text{Mars}}/R_{\text{Moon}})^2=9/4$，而 $M_{\text{Mars}}/M_{\text{Moon}}=2$，故 $F_{\text{Mars}}/F_{\text{Moon}}=2\times 9/4=9/2$。故选 B。

6．答案：C

【考点】库仑定律 $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$ 与力的叠加；共点力平衡；电势与电势能 $E_p=q\varphi$。

【审题】边长 a 的正方形四个顶点各固定 $+q$，中心 O 处放 $-Q$ 后每个 $+q$ 所受合力为零；再把 $-Q$ 沿 x 轴向右略微移开后由静止释放，判断 Q 的大小与 $-Q$ 的运动方向。

【解析】取右上角的 $+q$ 为研究对象，它到中心的距离为 $\frac{\sqrt{2}}{2}a$。

其余三个 $+q$ 对它的斥力：相邻两个大小均为 $k\frac{q^2}{a^2}$、沿正方形的边方向，沿对角线向外的分量之和为 $2k\frac{q^2}{a^2}\cos 45^\circ=\sqrt{2}k\frac{q^2}{a^2}$；对角顶点的一个大小为 $k\frac{q^2}{(\sqrt{2}a)^2}=\frac{kq^2}{2a^2}$，方向也沿对角线向外。故三个斥力的合力为 $(\sqrt{2}+\frac{1}{2})k\frac{q^2}{a^2}$，沿对角线背离中心。

$-Q$ 对它的引力大小为 $k\frac{qQ}{(\frac{\sqrt{2}}{2}a)^2}=2k\frac{qQ}{a^2}$，指向中心。由平衡条件 $2k\frac{qQ}{a^2}=(\sqrt{2}+\frac{1}{2})k\frac{q^2}{a^2}$，解得 $Q=\frac{2\sqrt{2}+1}{4}q$。

再把 $-Q$ 沿 x 轴向右移一小段：它离右侧两个 $+q$ 变近、离左侧两个 $+q$ 变远，右侧两个引力沿 $+x$ 的分量增大、左侧两个沿 $-x$ 的分量减小，合力沿 $+x$，即背离中心向外，释放后 $-Q$ 将继续向右运动（中心位置对 $-Q$ 是不稳定平衡）。这也与图乙一致：沿 x 轴离开中心时电势 φ 升高，$-Q$ 的电势能 $E_p=-Q\varphi$ 减小，电场力做正功使其向外运动。

【选项研判】数值 $\frac{2\sqrt{2}+1}{4}q$ 且释放后向右运动，C 正确；A、B 的数值 $\frac{\sqrt{2}+1}{2}q$ 是把对角顶点电荷的距离误取为 a（应为 $\sqrt{2}a$）所致；D 数值正确但运动方向判断相反。

【答案】C

【模型提炼】多点电荷平衡按「取一个顶点—叠加其余三个的力—与中心电荷的力平衡」求 Q；稳定与否看扰动后

合力是回复中心还是背离中心。

【易错提醒】相邻两个斥力要按 45° 投影后再与对角顶点项相加，也不能把对角距离写成 a；负电荷在电势高处电势能反而小。

7．答案：D

【考点】双缝干涉条纹间距 $\Delta x = \frac{l}{d}\lambda$，薄膜干涉由前后表面反射光的路程差决定；频率越高，波长越短。

【审题】用平行单色光垂直照射一层透明薄膜，观察到明暗相间的干涉条纹。下列关于该区域薄膜厚度 d 随坐标 x 的变化图像，可能正确的是。解题时先画光路、找法线，再用折射定律或全反射条件；干涉题先判断路程差。

【解析】从薄膜的上下表面分别反射的两列光是相干光，其光程差为 $\Delta x = 2d$，即光程差为薄膜厚度的 2 倍，当光程差 $\Delta x = n\lambda$ 时此处表现为亮条纹，故相邻亮条纹之间的薄膜的厚度差为 $\frac{1}{2}\lambda$，在图中相邻亮条纹（或暗条纹）之间的距离变大，则薄膜层的厚度之间变小，因条纹宽度逐渐变宽，则厚度不是均匀变小。

故选 D。

【选项研判】正确选项为 D；其余选项与上述物理判断不符，逐一排除。

【答案】D

【模型提炼】光学题按“光路—界面—临界角—条纹间距”分析。

【易错提醒】不要认为频率越高折射率越小；也不要混淆干涉与衍射的成因。

8．答案：A

【解析】卫星轨道速度 $v = \sqrt{\frac{GM}{R+H}}$，导体绳切割磁感线产生动生电动势 $E_{\text{ind}} = BLv$。安培力克服阻力 f，有 $BIL = f$，故 $I = \frac{f}{BL}$。感应电动势方向与电池电动势方向相反，闭合电路欧姆定律给出 $E - BLv = Ir$，解得 $E = BL\sqrt{\frac{GM}{R+H}} + \frac{fr}{BL}$。

故选 A。

9．答案：BD

当开关 S 接 1 时，左侧变压器次级电压 $U_2 = 3 \times 7.5\text{V} = 22.5\text{V}$

电阻 R 上的电压，即右侧变压器的次级电压 $U_4 = \sqrt{PR} = 10\text{V}$

电流 $I_4 = \frac{U_4}{R} = 1\text{A}$

则右侧变压器初级电压 $U_3 = \frac{2}{1} \times 10\text{V} = 20\text{V}$

电流 $I_3 = \frac{1}{2} \times 1\text{A} = 0.5\text{A}$

则 $r = \frac{U_2 - U_3}{I_3} = 5\Omega$

当开关 S 接 2 时，设输电电流为 I，则右侧变压器的次级电流为 $0.5I$；右侧变压器两边电压关系可知

$\frac{U_2 - Ir}{n_3} = \frac{0.5IR}{n_4}$

解得 $I = 3\text{A}$

则 R 上的功率 $P = (0.5I)^2 R = 22.5\text{W}$

故选 BD。

10．答案：AC

机械波的传播方向不确定，所以需要考虑机械波传播方向的不确定性。

AB．若机械波沿 x 轴正方向传播，在 $t_1 = 2\text{s}$ 时 O 点振动方向竖直向上，则传播时间 $\Delta t = t_2 - t_1 = 3\text{s}$ 满足

$\Delta t = \frac{3}{4}T + nT \quad (n = 0, 1, 2, 3\cdots)$

解得 $T = \frac{12}{4n+3}\text{s} \quad (n = 0, 1, 2, 3\cdots)$

当 $n = 0$ 时，解得周期 $T = 4\text{s}$。

A 正确，B 错误；

CD．若机械波沿 x 轴负方向传播，在 $t_2 = 5\text{s}$ 时 O 点处于波谷，则

$\Delta t = \frac{1}{4}T + nT$（$n = 0, 1, 2, 3\cdots$）

解得 $T = \frac{12}{4n+1}$s（$n = 0, 1, 2, 3\cdots$）

当 $n = 0$ 时，解得周期 $T = 12$s。

C 正确，D 错误。

故选 AC。

11．答案：BC

投出物资前，热气球与物资总质量为 $M + m$，浮力 $F_x = (M + m)g$。投出后热气球质量为 M，浮力不变，故合力 $F_{net} = F_x - Mg = mg$，方向竖直向上，B 正确。

由于物资相对地面水平投出，热气球同时获得反向水平速度，故热气球做抛物线运动，不是匀加速直线运动，A 错误。

物资落地时间 $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$，水平位移 $x = v_0 t$；热气球水平位移 $X = \frac{m}{M}v_0 t$，竖直上升 $y = \frac{mg}{M} \cdot \frac{1}{2}gt^2 = \frac{m}{M}H$。落地时二者水平距离 $(1 + \frac{m}{M})v_0 t$，竖直距离 $H(1 + \frac{m}{M})$，故

$d = (1 + \frac{m}{M})\sqrt{H^2 + \frac{2Hv_0^2}{g}}$，C 正确、D 错误。

12．答案：ABD

【解析】金属棒在 I 区受到变化磁场产生的安培力始终沿斜面向下。下行过 b 时速度较大，安培力较大，但重力与安培力同向，加速度较大；上行过 b 时速度较小，安培力较小，加速度较小，故 A、B 均正确。整个过程中安培力始终做负功，机械能减少，金属棒不能回到 a 处，但能回到无磁场区，故 C 错、D 对。故选 ABD。

13．答案：（1）0.20 m；（2）$1 - k^2$，0.95；（3）高于。

【解析】（1）第 3 次到第 4 次碰撞的时间间隔 $t_0 = 2.40 - 2.00 = 0.40$ s，第 3 次碰后上升到最高点再落回的时间为 t_0，故上升时间为 $t_0/2 = 0.20$ s，弹起高度 $h = \frac{1}{2}g(t_0/2)^2 = \frac{1}{2} \times 9.8 \times 0.20^2 \approx 0.20$ m。

（2）第 3 次碰前速度由第 2、3 次碰撞间隔决定：$v_2 = g\frac{2.00 - 1.58}{2} = 0.21g$；第 3 次碰后速度 $v_3 = g\frac{2.40 - 2.00}{2} = 0.20g$，故 $k = v_3/v_2 \approx 0.95$。每次碰撞损失的动能与碰前动能之比为 $1 - k^2$。

（3）存在空气阻力时，乒乓球上升过程受向下的重力和阻力，加速度大于 g，同样上升时间内的实际高度小于按 g 计算的高度，故第（1）问计算值高于实际值。

14．答案：（1）R_1；（2）见解析图；（3）$3500\,\Omega$，大于；（4）减小。

考点：半偏法测热敏电阻阻值及温度特性。

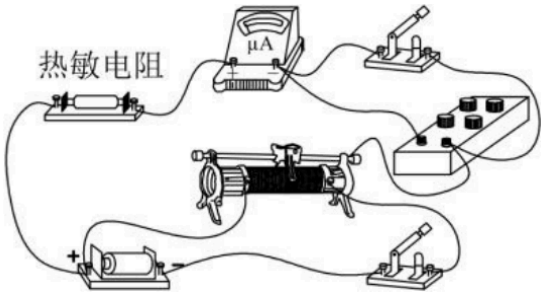
第（1）空：测量电路采用滑动变阻器分压接法为测量支路供电。为便于调节并使分压输出稳定（滑片位置固定后输出电压受负载变化影响小），应选用阻值较小的滑动变阻器 R_1（最大阻值 20 Ω）；若选 R_2（2000 Ω），负载变化对输出电压影响过大，半偏法系统误差显著增大。

第（2）空：闭合 S_1、S_2 时电阻箱被短路，微安表满偏，测量支路电阻为 $R_T + R_x = R_T + 2500\ \Omega$（此时支路两端电压为 U）。断开 S_2 后电阻箱接入，调节电阻箱使微安表半偏，按半偏法原理认为支路电压不变，则支路电阻加倍：$R_x = R_T + 2500$。故 $R_T = 6000.00 - 2500 = 3500\ \Omega$。误差分析：接入电阻箱后支路总电阻增大，分压输出电压 U' 略高于 U，半偏时实际电流条件为 $\frac{U'}{R_x + 2500} = \frac{U}{2(R_T + 2500)}$，得 $R_x > R_T + 2500$，即电阻箱读数偏大，测量值 $R_T = R_x - 2500$ 大于真实值。

第（3）空：图乙为 $\ln R_T$ 随 $\frac{1}{T}$ 变化的图线：温度 T 升高时 $\frac{1}{T}$ 减小，由图线 $\ln R_T$ 随 $\frac{1}{T}$ 增大而增大可知，温度升高时 $\ln R_T$ 减小，即该热敏电阻的阻值随温度升高逐渐减小（负温度系数热敏电阻）。

答案：（1）R_1　（2）3500；大于　（3）减小

说明：实物连线：电源、开关 S_1 与滑动变阻器 R_1 接成基本分压电路；测量支路（热敏电阻 R_T、微安表与被 S_2 短接的电阻箱 R 串联）接在分压输出端之间。



15．答案：（1）$0<\theta<45^\circ$（或 $\theta<45^\circ$）；（2）$\Delta L=14.4\,\text{mm}$。

（1）由几何关系可得，光线在第一个三棱镜右侧斜面上的入射角等于 θ，要使得两种频率的光都从左侧第一个棱镜斜面射出，则 θ 需要比两种频率光线的全反射角都小，设 C 是全反射的临界角，根据折射定律得

$\sin C=\frac{1}{n}$ ①折射率越大，临界角越小，代入较大的折射率得

$C_{\min}=45^\circ$ ②所以顶角 θ 的范围为

$0<\theta<45^\circ$（或 $\theta<45^\circ$）③（2）脉冲激光从第一个三棱镜右侧斜面射出时发生折射，设折射角分别为 α_1 和 α_2，由折射定律得

$n_1=\frac{\sin\alpha_1}{\sin\theta}$ ④$n_2=\frac{\sin\alpha_2}{\sin\theta}$ ⑤设两束光在前两个三棱镜斜面之间的路程分别为 L_1 和 L_2，则

$L_1=\frac{d}{\cos\alpha_1}$ ⑥$L_2=\frac{d}{\cos\alpha_2}$ ⑦

$\Delta L=2(L_1-L_2)$ ⑧

联立④⑤⑥⑦⑧式，代入数据得

$\Delta L=14.4\text{mm}$ ⑨

16．答案：（1）$F=500\,\text{N}$；（2）$[34\,\text{m},36\,\text{m}]$（或 $(34\,\text{m},36\,\text{m})$）。

【解析】（1）鸟蛤落地前竖直分速度 $v_y=\sqrt{2gH}=20\,\text{m/s}$，落地速度 $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=25\,\text{m/s}$。碰撞过程动量变化 $\Delta p=mv$，取竖直向上为正，平均作用力 $F=\frac{\Delta p}{\Delta t}=\frac{0.1\times25}{0.005}=500\,\text{N}$。

（2）下落时间 $t=\sqrt{\frac{2H}{g}}=2\,\text{s}$。鸟蛤水平飞行方向沿 $-x$，落点坐标为 $x-vt$。要落在岩石 $[0,L]$ 上，释放点 x 须满足 $vt\le x\le vt+L$。对 $v=15\,\text{m/s}$ 得 $[30,36]\,\text{m}$，对 $v=17\,\text{m/s}$ 得 $[34,40]\,\text{m}$，取交集得 $x\in[34\,\text{m},36\,\text{m}]$。

17．答案：（1）$v=\frac{qB_0d}{m\sin\theta}$；（2）$E=\frac{2qB_0^2d^2}{mL^2\tan^2\theta}(L\tan\theta+\frac{d}{\sin\theta}-\frac{d}{\tan\theta})$；（3）$S=\frac{6(\sqrt{3}+1)L}{7\pi}$。

（1）设离子在Ⅰ区内做匀速圆周运动的半径为 r，由牛顿第二定律得

$qvB_0=m\frac{v^2}{r}$ ①根据几何关系得

$\sin\theta=\frac{d}{r}$ ②联立①②式得

$v=\frac{qB_0d}{m\sin\theta}$

（2）离子在Ⅱ区内只受电场力，x 方向做匀速直线运动，y 方向做匀变速直线运动，设从进入电场到击中测试板中心 C 的时间为 t，y 方向的位移为 y_0，加速度大小为 a，由牛顿第二定律得

$qE=ma$

由运动的合成与分解得

$L=(v\cos\theta)t,\quad y_0=-r(1-\cos\theta),\quad y_0=(v\sin\theta)t-\frac{1}{2}at^2$

联立得

$E=\frac{2qB_0^2d^2}{mL^2\tan^2\theta}(L\tan\theta+\frac{d}{\sin\theta}-\frac{d}{\tan\theta})$

（3）Ⅱ区内填充磁场后，离子在垂直 y 轴的方向做线速度大小为 $v\cos\theta$ 的匀速圆周运动，如图所示。设左侧部分的圆心角为 α，圆周运动半径为 r'，运动轨迹长度为 l'，由几何关系得

$l'=\frac{\alpha}{2\pi}\times2\pi r'+\frac{\alpha+\frac{\pi}{2}}{2\pi}\times2\pi r',\quad\cos\alpha=\frac{r'}{2r}$

由于在 y 轴方向的运动不变，离子的运动轨迹与测试板相切于 C 点，则离子在Ⅱ区内的运动时间不变，故有

$\frac{l'}{v\cos\theta}=\frac{L}{v\cos\theta}$

C 到 O_1 的距离

$S=2r'\sin\alpha+r'$

联立得

$S=\frac{6(\sqrt{3}+1)}{7\pi}L$

18．答案：（1）$x_0=\frac{2F-4f}{k}$，$E_k=\frac{F^2-6fF+8f^2}{k}$；（2）$F_{\min}=(3+\frac{\sqrt{10}}{2})f$；（3）$W<fx_{BC}$；（4）图像见解析。

（1）从开始到 B、C 向左移动到最大距离的过程中，以 B、C 和弹簧为研究对象，由功能关系得

$Fx_0=2fx_0+\frac{1}{2}kx_0^2$

弹簧恢复原长时 B、C 分离，从弹簧最短到 B、C 分离，以 B、C 和弹簧为研究对象，由能量守恒得

$\frac{1}{2}kx_0^2=2fx_0+2E_k$

联立方程解得

$x_0=\frac{2F-4f}{k}$，$E_k=\frac{F^2-6fF+8f^2}{k}$

（2）当 A 刚要离开墙时，设弹簧的伸长量为 x，以 A 为研究对象，由平衡条件得 $kx=f$

若 A 刚要离开墙壁时 B 的速度恰好等于零，这种情况下恒力为最小值 $F_{\min}$，从弹簧恢复原长到 A 刚要离开墙的过程中，以 B 和弹簧为研究对象，由能量守恒得

$E_k=\frac{1}{2}kx^2+fx$

结合第（1）问结果可知

$F_{\min}=(3\pm\frac{\sqrt{10}}{2})f$

根据题意舍去 $F_{\min}=(3-\frac{\sqrt{10}}{2})f$，所以恒力的最小值为

$F_{\min}=(3+\frac{\sqrt{10}}{2})f$

（3）从 B、C 分离到 B 停止运动，设 B 的路程为 x_B，C 的位移为 x_C，以 B 为研究对象，由动能定理得

$-W-fx_B=0-E_k$

以 C 为研究对象，由动能定理得

$-fx_C=0-E_k$

由 B、C 的运动关系得

$x_B>x_C-x_{BC}$

联立可知

$W<fx_{BC}$

（4）小物块 B、C 向左运动过程中，由动能定理得

$5fx_1-2fx_1-\frac{1}{2}kx_1^2=0$

解得撤去恒力瞬间弹簧弹力为

$kx_1=6f$

则坐标原点的加速度为

$a_1=\frac{kx_1-2f}{2m}=\frac{6f-2f}{2m}=\frac{2f}{m}$

之后 C 开始向右运动过程（B、C 系统未脱离弹簧）加速度为

$a=\frac{kx-2f}{2m}$

可知加速度随位移 x 为线性关系，随着弹簧逐渐恢复原长，x 减小，a 减小，弹簧恢复原长时，B 和 C 分离，之后 C 只受地面的滑动摩擦力，加速度为

$a_2=-\frac{f}{m}$

负号表示 C 的加速度方向水平向左；从撤去恒力之后到弹簧恢复原长，以 B、C 为研究对象，由动能定理得

$\frac{1}{2}kx_1^2-2fx_1=\frac{1}{2}\cdot 2mv^2$

脱离弹簧瞬间后 C 速度为 v，之后 C 受到滑动摩擦力减速至 0，由能量守恒得

$fx_2=\frac{1}{2}mv^2$

解得脱离弹簧后，C 运动的距离为

$x_2 = \frac{1}{2}x_1$

则 C 最后停止的位移为

$x_1 + x_2 = \frac{3}{2}x_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{6f}{k} = \frac{9f}{k}$

所以 C 向右运动的图象为

