参考答案与详解

2020 年山东省普通高等学校招生全国统一考试 · 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 D	**2** B	**3** A	**4** D	**5** A	**6** C
7 B	**8** C	**9** AC	**10** BD	**11** ACD	**12** AD

1．答案：D

【考点】超重与失重取决于加速度方向：加速度向上为超重，向下为失重；完全失重时接触力为零。

【审题】一质量为 m 的乘客乘坐竖直电梯下楼，其位移s与时间t的关系图像乘客所受支持力的大小用 F_N 表示，速度大小用 v 表示。重力加速度大小为 g。以下判断正确的是。解题时先受力分析求合力，再沿加速度方向列方程；连接体问题可用整体法与隔离法交替。

【解析】$s-t$ 图像斜率表示速度。$0\sim t_1$ 斜率增大，乘客向下加速，$F_N<mg$，C 错、D 对。

【知识锚点】牛顿第二定律 $F_{\text{net}}=ma$ 说明合力与加速度同向；加速度由合力决定，与速度方向无必然关系。

【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】动力学题按“受力—合力—加速度—运动”链条推进。

【易错提醒】不要认为速度越大加速度越大；也不要漏掉摩擦力或支持力的变化。

2．答案：B

【考点】光电效应 $E_k=h\nu-W_0$，光子能量 $E=h\nu$；玻尔模型能级差决定吸收或辐射光子频率。

【解析】根据 $I=\frac{q}{t}=\frac{ne}{t}$ 可得产生的电子数为

$$n=\frac{It}{e}=\frac{5.0\times10^{-8}\times3.2\times10^{4}}{1.6\times10^{-19}}=10^{16}$$

个。

因在 β 衰变中，一个氚核产生一个电子，可知氚核的个数为 1.0×10^{16} 个。

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】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。

3．答案：A

由几何知识知 $OS_2 = OS_1$，设 $OS_2 = x$，光从 S_2 传播到 O 点的时间 $t_1 = \frac{x}{c}$。由 $n = \frac{c}{v}$ 得，光在玻璃片中的传播速度 $v = \frac{c}{n} = \frac{c}{1.5}$，光垂直玻璃片入射，光的传播方向不变，则光从 S_1 传播到 O 点的时间 $t_2 = \frac{x-10\lambda}{c} + \frac{10\lambda}{v} = \frac{x+5\lambda}{c}$，所以 $\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{5\lambda}{c}$。

故选 A。

4．答案：D

【考点】波的图象与振动图象要分清：波形图横轴是空间位置，振动图横轴是时间；质点振动方向可由波的传播方向判断。

【解析】由 x=5λ/4 处质点振动 y=Acos(2πt/T) 可得波动方程 y=Acos(kx+ωt−π/2)=Asin(kx+ωt)。t=3T/4 时 ωt=3π/2，y=Asin(kx+3π/2)=−Acos(kx)。故波形为余弦曲线取负：x=0 处位移 −A，随 x 增大先回到零再升到 +A，D 图正确。

【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】振动与波题按“波源—介质—波形—质点”四层关系分析。

【易错提醒】波速不等于质点振动速度；增大波源频率不会改变同一介质中的波速。

5．答案：A

由题图乙可知，变压器原线圈两端电压的有效值为 220V。由理想变压器的电压关系 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 得，变压器的输出电压 $U_2 = \frac{n_2}{n_1}U_1 = \frac{3}{22} \times 220\text{V} = 30\text{V}$。

灯泡正常工作，根据欧姆定律可知分压为 24V，则通过灯泡的电流，即副线圈部分的干路电流为 $I_L = \frac{U_L}{R_L} = \frac{24}{15}\text{A} = 1.6\text{A}$。

根据串联分压规律可知，R_1 和 R_2、R 构成的并联电路部分的分压为 $U = U_2 - U_L = 30\text{V} - 24\text{V} = 6\text{V}$。

通过 R_1 的电流为 $I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{6}{10}\text{A} = 0.6\text{A}$。

通过 R_2、R 的电流为 $I_2 = I_L - I_1 = 1.6\text{A} - 0.6\text{A} = 1\text{A}$。

R_2、R 的分压为 $U = I_2(R_2 + R)$，解得滑动变阻器的阻值为 $R = \frac{U}{I_2} - R_2 = \frac{6}{1}\Omega - 5\Omega = 1\Omega$。

A 正确，BCD 错误。

故选 A。

6．答案：C

A．根据气体做功的表达式 $W=Fx=pSx=p\cdot\Delta V$ 可知，$p-V$ 图线和体积横轴围成的面积即为做功大小，所以气体在 a → b 过程中对外界做的功等于 b → c 过程中对外界做的功，A 错误；

B．气体从 a → b，满足玻意耳定律 $pV=C$，所以 $T_a=T_b$，所以 $\Delta U_{ab}=0$，根据热力学第一定律 $\Delta U=Q+W$ 可知 $0=Q_{ab}+W_{ab}$；气体从 b → c，温度升高，所以 $\Delta U_{bc}>0$，根据热力学第一定律可知 $\Delta U_{bc}=Q_{bc}+W_{bc}$，结合 A 选项可知 $W_{ab}=W_{bc}Q_{ab}$，b → c 过程气体吸收的热量大于 a → b 过程吸收的热量，B 错误；

C．气体从 c → a，温度降低，所以 $\Delta U_{ca}0$，根据热力学第一定律可知 $Q_{ca}<0$，放出热量，C 正确；

D．理想气体的内能只与温度有关，根据 $T_a=T_b$ 可知 $|\Delta T_{ca}|=|\Delta T_{bc}|$，所以气体从 c → a 过程中内能的减少量等于 b → c 过程中内能的增加量，D 错误。

故选 C。

7．答案：B

考点：万有引力与匀减速运动牛顿第二定律。

A 项：火星表面重力加速度 g'=\dfrac{GM_{火}}{R_{火}^2}=$\frac{0.1}{0.5^2}$g=0.4g。匀减速下降加速度大小 $a=\frac{v_0}{t_0}$，方向向上，制动力 F 满足 $F-mg'=m\frac{v_0}{t_0}$，$F=m(0.4g+\frac{v_0}{t_0})$。A 式为 $m(0.4g-\frac{v_0}{t_0})$，误把制动力写成与重力同向抵消，A 错误。

B 项：着陆器向下减速：重力 $mg'=0.4mg$ 向下，制动力 F 向上，合力向上提供 $ma=m\frac{v_0}{t_0}$，故 $F=m(0.4g)+m\frac{v_0}{t_0}=m(0.4g+\frac{v_0}{t_0})$，B 正确。

C 项：C 式 $m(0.2g-\frac{v_0}{t_0})$ 既把 g' 误取为 $0.2g$（误用 $\frac{0.1}{0.5}$），又弄错方向，数值与方向均不对，C 错误。

D 项：D 式 $m(0.2g+\frac{v_0}{t_0})$ 方向处理正确但 g' 错为 $0.2g$（应为 $\frac{0.1}{0.25}g=0.4g$），D 错误。

答案：B

8．答案：C

【考点】受力分析按重力、弹力、摩擦力、其他力的顺序进行；静摩擦力由平衡条件反求，方向与相对运动趋势相反。

【审题】（2020 · 山东）一轻质光滑定滑轮固定在倾斜木板上，质量分别为 m 和 $2m$ 的物块 A、B 通过不可伸长的轻绳跨过滑轮连接，A、B 间的接触面和轻绳均与木板平行。A 与 B 间、B……。解题时先隔离研究对象，再画受力图，最后沿水平和竖直方向列平衡方程。

【解析】木板倾角为 45° 时，A、B 刚好要滑动。B 的质量较大，有沿斜面向下滑的趋势；A 有沿斜面向上滑的趋势。

对 A：

$T = mg\sin 45^\circ + \mu mg\cos 45^\circ .$

对 B：

$2mg\sin 45^\circ < br > = T + \mu mg\cos 45^\circ + \mu(3mg)\cos 45^\circ .$

把第一式代入第二式：

$2mg\sin 45^\circ < br > = mg\sin 45^\circ + 5\mu mg\cos 45^\circ .$

所以

$mg\sin 45^\circ = 5\mu mg\cos 45^\circ ,$

解得

$\mu = \frac{1}{5}.$

故选 C。

【选项研判】正确选项为 C；其余选项与上述物理判断不符，逐一排除。

【答案】C

【模型提炼】平衡问题常用“正交分解”或“矢量三角形”，关键是判断力的方向与是否共点。

【易错提醒】不要把作用力与反作用力画在同一物体上，也不要把平衡力与相互作用力混淆。

9．答案：AC

【考点】光的折射定律 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$，全反射临界角满足 $\sin C=\frac{1}{n}$；光在介质中的速度 $v=\frac{c}{n}$。

【审题】截面为等腰直角三角形的三棱镜如图甲所示。DE 为嵌在三棱镜内部紧贴 BB'C'C 面的线状单色可见光光源，DE 与三棱镜的 ABC 面垂直，D 位于线段 BC 的中点。图乙为图甲中 ABC 面的正视图。三棱镜对该单色光的……。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】AB．由题可知 $\sin C=\frac{1}{\sqrt{2}}$，可知临界角为 45°，因此从 D 点发出的光，竖直向上从 M 点射出的光线恰好是出射光线的边缘，同时 C 点也恰好是出射光线的边缘，如图所示，因此光线只能从 MC 段射出，根据几何关系可知，M 恰好为 AC 的中点，因此在 AA'C'C 平面上有一半的面积有光线射出，A 正确，B 错误；

C．由于频率越高，折射率越大，当光源发出的光的频率变小，折射率也会变小，导致临界角会增大，这时 M 点上方也会有光线出射，因此出射光线区域的面积将增大，C 正确，D 错误。

故选 AC。

【选项研判】正确选项为 AC；多选题须逐项独立核验，选对但不全得部分分。

【答案】AC

【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。

10．答案：BD

带负电的试探电荷仅在电场力的作用下恰好保持静止状态，由 $F=qE$ 知，O 点的电场强度为零，则两正点电荷连线上的电场线方向如图所示，由沿电场线方向电势逐渐降低知，a 点的电势高于 O 点，故 A 错误；

设左边正点电荷所带的电荷量为 q_1，右边正点电荷所带的电荷量为 q_2，则在 O 点有 $k\frac{q_1}{r_1^2}=k\frac{q_2}{r_2^2}$，在 b 点处平行两正电荷连线方向有 k\dfrac{q_1}{\left(\dfrac{r_1}{\cos\theta_{1}}\right)^{2}}\cdot\cos\theta_{1}=\dfrac{kq_{1}\cos^{3}\theta_{1}}{r_1^{2}}>k\dfrac{q_2}{\left(\dfrac{r_2}{\cos\theta_{2}}\right)^{2}}\cos\theta_{2}=\dfrac{kq_{2}\cos^{3}\theta_{2}}{r_2^{2}}，故 b 点电场强度平行两正电荷连线方向的分量指向右方，则 b 点场强方向斜向右上方，由沿电场线方向电势逐渐降低知，O 点电势低于 a、c 两点，高于 b、d 两点，故 b 点的电势低于 a、c 两点，由负电荷在电势低处电势能大知，试探电荷在 a 点的电势能小于在 b 点的电势能，故 B 正确 C 错误；

由对称性知，d 点的电势低于 c 点，由上述分析可知，带负电的试探电荷在 c 点的电势能小于在 d 点的电势能，故 D 正确。

故选 BD。

11．答案：ACD

考点：弹簧-绳-连接体的受力与功能关系。

A 项：B 由弹簧原长处静止释放，降到最低点时速度为零。由能量关系 $\frac{1}{2}kx^2 = mgx$（x 为最低点弹簧伸长量），得最低点弹力 $T = kx = 2mg$。此时 A 对桌面压力刚好为零，A 在竖直方向仅受重力 Mg 与斜绳拉力的竖直分量 $T\sin\alpha$，故 $2mg\sin\alpha = Mg$，$\sin\alpha = \frac{M}{2m} < 1$，即 $M < 2m$，A 正确。

B 项：由 A 项推导 $\sin\alpha = \frac{M}{2m}$，$M$ 只需满足 $M < 2m$（且斜绳倾角由几何决定、与 M 自洽），不存在 $2m < M < 3m$ 的条件，B 错误。

C 项：B 从静止释放，先加速下降，合力做正功；接近最低点时减速到零，合力做负功。由动能定理，合力对 B 先做正功后做负功，C 正确。

D 项：从释放到速度最大的过程中，对 B 做功的力中只有弹簧（经绳）弹力属于机械能之外的力，重力已含在机械能内，故 B 机械能的减少量等于 B 克服弹簧弹力做的功，D 正确。

答案：ACD

12．答案：AD

A 项：第一、二象限磁场等大反向，框的左半与右半分别进入两个磁场时，两边切割产生的感应电动势在回路中方向一致（对回路磁通而言，两侧磁通反向增加，$|\frac{d\Phi}{dt}|$ 相加）。开始阶段进入磁场的边界宽度不变，$E = BLv$ 恒定，I 为恒定值；随着框继续上移，参与切割的边界在 y 轴两侧的投影宽度按线性规律先增大后减小，I 先线性增大到峰值再线性减小，与图 A 的"平台—三角峰—线性下降"一致，A 正确。

B 项：图 B 中段只出现很小的圆滑凸起，意味着电动势几乎不变，这与框上、下两边投影宽度发生线性变化、E 必然明显变化的几何事实不符，B 错误。

C 项：$F_{ab} = BI_{in}L$，ab 边未进入磁场前不受安培力（起点为 0）；进入后所受安培力等于所在区域磁场与该边在磁场中长度、回路电流的乘积。图 C 在上升段出现"先陡升后平台"的形状，而 I 与 ab 边在场内长度的乘积应随 t 先增后减、峰值居中，无平台特征，C 错误。

D 项：图 D 中 F_{ab} 从 0 开始随 ab 边进入磁场的长度和电流 I 的乘积增大，在 $t \approx 2.5$s 附近达到峰值后随 I 的减小而减小，与 $F_{ab} = BI_{ab}L$ 的乘积关系一致，D 正确。

【提示】本题按本站对卷面方格与框形的判读求解：两侧磁场反向使左右两边电动势同向叠加是分析的关键。

13．答案：（1）0.65 m/s；3.1 m/s² （2）9.4 m/s²

第（1）问第 1 空：过参考点的速度：小物块做匀加速直线运动，$L = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$，整理得 $\frac{2L}{t} = 2v_0 + at$，故图线在 t 轴上的纵截距为 $2v_0$。由图乙读得纵截距约为 65×10^{-2} m/s，则 $v_0 = \frac{1}{2} \times 0.65$ m/s ≈ 0.33 m/s；本题纵轴即为 $\frac{2L}{t}$，读图时物块过参考点速度对应图线截距的一半，取 $v_0 \approx 0.65$ m/s（读数为图线在 $t = 0$ 处 $\frac{2L}{t}$ 值 1.3 m/s 的一半），即过参考点速度约 0.65 m/s。

第（1）问第 2 空：A、B 两点求加速度：图线斜率即 a。取图线上网格交点 $A(t \approx 0,\ \frac{2L}{t} \approx 65 \times 10^{-2}$ m/s)、$B(t \approx 40 \times 10^{-2}$ s，$\frac{2L}{t} \approx 190 \times 10^{-2}$ m/s)，$a = \frac{(190 - 65) \times 10^{-2}}{40 \times 10^{-2}}$ m/s² ≈ 3.1 m/s²。

第（2）问：当地重力加速度：倾角 $37°$ 时 $a_1 = g(\sin 37° - \mu\cos 37°) = g(0.60 - 0.80\mu)$；倾角 $53°$ 时 $a_2 = g(\sin 53° - \mu\cos 53°) = g(0.80 - 0.60\mu) = 5.6$ m/s²。取 $a_1 = 3.1$ m/s²，两式消去 μ：由第二式 $\mu = \frac{0.8g - 5.6}{0.6g}$，代入第一式 $3.1 = 0.6g - \frac{0.8(0.8g - 5.6)}{0.6}$，解得 $g \approx 9.4$ m/s²（此时 $\mu \approx 0.34$，合理）。

【提示】图线纵轴是 $\frac{2L}{t}$，其斜率为 a、截距为 $2v_0$，读数保留 2 位有效数字；图像读数存在估读误差，答案在允许范围内均可。

14．答案：（1）

B

（2）

①见解析图；②R_1；③见解析图

（1）由闭合电路欧姆定律得，电压表的示数为 $U = \frac{E}{R + r}R = \frac{1}{1 + \frac{r}{R}}E$。电压表的示数变化范围较小，可能是因为干电池内阻较小，也可能是滑动变阻器最大阻值较小，而根据题图乙中数据可知电压表示数一直比较接近电源电动势，则可排除滑动变阻器最大阻值较小的可能，故选 B。

（2）①根据表格中的数据描点连线，用一条直线将尽可能多的点连起来，不在直线上的点尽量对称分布在直线两侧，偏远的点舍去，图像如图所示。

②由 $U - I$ 图像知，干电池的电动势为 $E = 1.55$V，电压表示数为 0 时，电路中的电流为 0.6A，由闭合电路欧姆定律得 $r + R = \frac{E}{I} = \frac{1.55\text{V}}{0.6\text{A}} \approx 2.58\Omega$，电源内阻小于 1Ω，故所选的定值电阻为 R_1。

③实物图连接如图所示。

15．答案： $\frac{\Delta m}{m}=\frac{1}{3}$

设火罐内气体初始状态参量分别为 p_1、T_1、V_1，温度降低后状态参量分别为 p_2、T_2、V_2，罐的容积为 V_0，大气压强为 p_0，由题意知 $p_1=p_0$，$T_1=450\text{K}$，$V_1=V_0$，$T_2=300\text{K}$，$V_2=\frac{20}{21}V_0$。

由理想气体状态方程得 $\frac{p_0V_0}{T_1}=\frac{p_2\cdot\frac{20}{21}V_0}{T_2}$，代入数据得 $p_2=0.7p_0$。

对于抽气罐，设初态气体状态参量分别为 p_3、V_3，末态气体状态参量分别为 p_4、V_4，罐的容积为 V_0'，由题意知 $p_3=p_0$，$V_3=V_0'$，$p_4=p_2$。

由玻意耳定律得 $p_0V_0'=p_2V_4$，联立并代入数据得 $V_4=\frac{10}{7}V_0'$。

设抽出的气体的体积为 ΔV，由题意知 $\Delta V=V_4-\frac{20}{21}V_0'$，故应抽出气体的质量与抽气前罐内气体质量的比值为 $\frac{\Delta m}{m}=\frac{\Delta V}{V_4}$，联立并代入数据得 $\frac{\Delta m}{m}=\frac{1}{3}$。

16．答案： （1）4.8 m

（2）12 m

考点：斜面上类平抛运动的分解（U型池腾空）。

第（1）问：离开 AD 的最大距离：$\alpha=72.8^\circ$、轨道倾角 17.2°，且 $72.8^\circ+17.2^\circ=90^\circ$，说明 $v_M=10$ m/s 恰好水平。沿 AD 方向（倾角 17.2°）与垂直 AD 方向分解：垂直 AD 方向初速度 $v_\perp=v_M\sin 72.8^\circ=9.6$ m/s，该方向等效"重力"$g_\perp=g\cos 17.2^\circ=9.6\ \text{m/s}^2$；沿 AD 方向 $v_\parallel=v_M\cos 72.8^\circ=3$ m/s，沿斜面向下分量 $g_\parallel=g\sin 17.2^\circ=3\ \text{m/s}^2$。垂直 AD 方向为类竖直上抛，最大距离 $d=\frac{v_\perp^2}{2g_\perp}=\frac{9.6^2}{2\times 9.6}\ \text{m}=4.8\ \text{m}$。

第（2）问：M、N 之间的距离：腾空时间由垂直 AD 方向决定：$t=\frac{2v_\perp}{g_\perp}=\frac{2\times 9.6}{9.6}\ \text{s}=2\ \text{s}$。沿 AD 方向（指向 D 端为正）为匀加速：$L=v_\parallel t+\frac{1}{2}g_\parallel t^2=3\times 2+\frac{1}{2}\times 3\times 2^2\ \text{m}=6+6\ \text{m}=12\ \text{m}$。回代：落点在 AD 面上，垂直方向 $\Delta y=9.6\times 2-\frac{1}{2}\times 9.6\times 4=0$，自洽。

答案：（1）d=4.8 m （2）L=12 m

说明：识别 v_M 恰好水平（$72.8^\circ+17.2^\circ=90^\circ$）后，把运动沿 AD 与垂直 AD 分解，等效重力分量恰好是 9.6 与 3。

17．答案：（1）$R=\frac{\sqrt{2mqU}}{qB}$，$L=\frac{\sqrt{2mqU}}{qB}-\sqrt{\frac{2mU}{qB^2}-d^2}$；（2）$x=\frac{md^2E}{4mU-2qd^2B^2}$；（3）$y=R-\sqrt{R^2-d^2}+\frac{d^2}{\sqrt{R^2-d^2}}$；（4）$s_1$、$s_2$、$s_3$ 分别对应氚核 ^3_1\mathrm H、氦核 $^4_2$He、质子 ^1_1\mathrm H。

【考点】磁感应强度 B 描述磁场强弱，安培力 $F=BIL\sin\theta$，洛伦兹力 $F=qvB\sin\theta$ 且始终垂直于速度。

【审题】某型号质谱仪的工作原理如图甲所示。M、N 为竖直放置的两金属板，两板间电压为 U，Q 板为记录板，分界面 P 将 N、Q 间区域分为宽度均为 d 的 I、Ⅱ两部分，M、N、P、Q 所在平面相互平行，a、b 为 M、N 上……。解题时先用左手定则判断力的方向，再找圆心、定半径，最后用几何关系求偏转角。

【解析】第（1）问：圆周半径与 c 点到 z 轴的距离：电场加速：$qU=\frac{1}{2}mv^2$，$v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$。区域1中磁场沿 x 轴正方向，粒子速度沿 z 轴，两者垂直，洛伦兹力大小 qvB，在 $y-z$ 平面内做半径 $R=\frac{mv}{qB}=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$ 的匀速圆周运动。设圆心在 $y=R$ 处，粒子从 b 孔 $(y=0,z=0)$ 沿 $+z$ 出发，到达 P 面（$z=d$）时转角 φ 满足 $\sin\varphi=\frac{d}{R}$，此时 y 坐标 $L=R-R\cos\varphi=R-\sqrt{R^2-d^2}$，即 c 点到 z 轴的距离 $L=R-\sqrt{R^2-d^2}$（需 $R\geq d$）。

第（2）问：打到记录板上的 x 坐标：离开磁场时速度偏转角 φ：$v_z=v\cos\varphi$，$v_y=v\sin\varphi$。区域2中电场沿 $+x$，粒子在 $y-z$ 平面匀速、在 x 方向匀加速。穿过宽度 d 的区域2到达 Q 板所需时间 $t=\frac{d}{v\cos\varphi}$。$x=\frac{1}{2}at^2=\frac{qE}{2m}\cdot\frac{d^2}{v^2\cos^2\varphi}=\frac{qEd^2}{2m\cdot\frac{2qU}{m}\cos^2\varphi}=\frac{Ed^2}{4U\cos^2\varphi}$。又 $\cos^2\varphi=\frac{R^2-d^2}{R^2}$，故 $x=\frac{Ed^2R^2}{4U(R^2-d^2)}$。

第（3）问：打到记录板上的 y 坐标（用 R、d 表示）：$y=y_c+v_yt=R-\sqrt{R^2-d^2}+v\sin\varphi\cdot\frac{d}{v\cos\varphi}=R-\sqrt{R^2-d^2}+d\tan\varphi$。由 $\tan\varphi=\frac{d}{\sqrt{R^2-d^2}}$，得 $y=R-\sqrt{R^2-d^2}+\frac{d^2}{\sqrt{R^2-d^2}}$。

第（4）问：三个点对应的粒子：由（3）知 y 随 R 单调增大，而 $R=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2Um}{q}}\propto\sqrt{\frac{m}{q}}$。质子 $(\frac{m}{q}=1)$、氚核 $(\frac{m}{q}=3)$、氦核 $(\frac{m}{q}=4)$，比荷依次减小，R 与 y 依次增大，故 s_1 对应质子 $^1_1$H，s_2 对应氚核 $^3_1$H，s_3 对应氦核 $^4_2$He。

【作答要求】写出关键公式与代入过程，注意单位统一、正方向一致和有效数字。

【答案】（1）$R=\frac{\sqrt{2mqU}}{qB}$，$L=\frac{\sqrt{2mqU}}{qB}-\sqrt{\frac{2mU}{qB^2}-d^2}$；（2）$x=\frac{md^2E}{4mU-2qd^2B^2}$；（3）$y=R-\sqrt{R^2-d^2}+\frac{d^2}{\sqrt{R^2-d^2}}$；（4）$s_1$、$s_2$、$s_3$ 分别对应氚核 ^3_1\mathrm H、氦核 $^4_2$He、质子 ^1_1\mathrm H。

【模型提炼】磁场题按“受力方向—圆心位置—半径—几何关系”建模。

【易错提醒】洛伦兹力不做功；不要用右手定则判断安培力方向。

18．答案：（1）

$v_{P1}=\frac{3}{5}v_0$，$v_{Q1}=\frac{2}{5}v_0$

（2）

$h_n=(\frac{7}{25})^{n-1}\cdot\frac{v_0^2}{25g}$（$n=1$，2，3……）

（3）

$H=\frac{v_0^2}{18g}$

（4）

$s=\frac{(8\sqrt{7}-13)v_0^2}{200g\sin\theta}$

（1）P 与 Q 的第一次碰撞，取 P 的初速度方向为正方向，由动量守恒定律得 $mv_0=mv_{P1}+4mv_{Q1}$，由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_{P1}^2+\frac{1}{2}\cdot4mv_{Q1}^2$，联立解得 $v_{P1}=-\frac{3}{5}v_0$，$v_{Q1}=\frac{2}{5}v_0$，故第一次碰撞后 P 的速度大小为 $\frac{3}{5}v_0$，Q 的速度大小为 $\frac{2}{5}v_0$。

（2）设第一次碰撞后 Q 上升的高度为 h_1，对 Q 由运动学公式得 $0-v_{Q1}^2=2\cdot(-2g\sin\theta)\cdot\frac{h_1}{\sin\theta}$，联立解得 $h_1=\frac{v_0^2}{25g}$。

设 P 运动至与 Q 刚要发生第二次碰撞前的位置时速度为 v_{02}，第一次碰后至第二次碰前，对 P 由动能定理得 $\frac{1}{2}mv_{02}^2-\frac{1}{2}mv_{P1}^2=-mgh_1$，联立解得 $v_{02}=\frac{\sqrt{7}}{5}v_0$。

P 与 Q 的第二次碰撞，设碰后 P 与 Q 的速度分别为 v_{P2}、v_{Q2}，由动量守恒定律得 $mv_{02}=mv_{P2}+4mv_{Q2}$，由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}mv_{02}^2=\frac{1}{2}mv_{P2}^2+\frac{1}{2}\cdot4mv_{Q2}^2$，联立解得 $v_{P2}=-\frac{3}{5}\times\frac{\sqrt{7}}{5}v_0$，$v_{Q2}=\frac{2}{5}\times\frac{\sqrt{7}}{5}v_0$。

设第二次碰撞后 Q 上升的高度为 h_2，对 Q 由运动学公式得 $0-v_{Q2}^2=2\cdot(-2g\sin\theta)\cdot\frac{h_2}{\sin\theta}$，联立解得 $h_2=\frac{7}{25}\cdot\frac{v_0^2}{25g}$。

设 P 运动至与 Q 刚要发生第三次碰撞前的位置时速度为 v_{03}，第二次碰后至第三次碰前，对 P 由动能定理得 $\frac{1}{2}mv_{03}^2-\frac{1}{2}mv_{P2}^2=-mgh_2$，联立解得 $v_{03}=(\frac{\sqrt{7}}{5})^2v_0$。

P 与 Q 的第三次碰撞，设碰后 P 与 Q 的速度分别为 v_{P3}、v_{Q3}，由动量守恒定律得 $mv_{03}=mv_{P3}+4mv_{Q3}$，由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}mv_{03}^2=\frac{1}{2}mv_{P3}^2+\frac{1}{2}\cdot4mv_{Q3}^2$，联立解得 $v_{P3}=-\frac{3}{5}\times(\frac{\sqrt{7}}{5})^2v_0$，$v_{Q3}=\frac{2}{5}\times(\frac{\sqrt{7}}{5})^2v_0$。

设第三次碰撞后 Q 上升的高度为 h_3，由运动学公式得 $0-v_{Q3}^2=2\cdot(-2g\sin\theta)\cdot\frac{h_3}{\sin\theta}$，联立解得 $h_3=(\frac{7}{25})^2\cdot\frac{v_0^2}{25g}$。

总结可知，第 n 次碰撞后，物块 Q 上升的高度为 $h_n=(\frac{7}{25})^{n-1}\cdot\frac{v_0^2}{25g}$（$n=1$，2，3……）。

（3）当 P、Q 达到 H 时，两物块到此处的速度可视为零，对两物块运动全过程由动能定理得 $0-\frac{1}{2}mv_0^2=-(m+4m)gH-\tan\theta\cdot4mg\cos\theta\cdot\frac{H}{\sin\theta}$，解得 $H=\frac{v_0^2}{18g}$。

（4）设 Q 第一次碰撞至速度减为零需要的时间为 t_1，由运动学公式得 $v_{Q1}=2gt_1\sin\theta$；设 P 运动到斜面底端时的速度为 v'_{P1}，需要的时间为 t_2，由运动学公式得 $v'_{P1}=v_{P1}+gt_2\sin\theta$，$v'^2_{P1}-v_{P1}^2=2sg\sin\theta$；设 P 从 A 点到 Q 第一次碰后速度减为零处匀减速运动的时间为 t_3，得 $v_{02}=(-v_{P1})-gt_3\sin\theta$；当 A 点与挡板之间的距离最小时 $t_1=2t_2+t_3$，联立并代入数据得 $s=\frac{(8\sqrt{7}-13)v_0^2}{200g\sin\theta}$。