参考答案与详解

2020 年北京市普通高等学校招生全国统一考试 · 物理

本站自编 | 共 19 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 C	**2** C	**3** A	**4** C	**6** B	**7** B
8 B	**9** A	**10** D	**11** C	**12** B	**13** D
14 C					

1．答案：C

【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】以下现像不属于干涉的是。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】A．根据光的干涉定义可知白光经过杨氏双缝得到彩色图样是杨氏双缝干涉，故 A 错误；

B．由于重力的作用，肥皂膜形成了上薄下厚的薄膜，光线通过薄膜时频率不变，干涉条纹的产生是由于光线在薄膜前后两表面反射形成的两列光波的叠加，白光照射肥皂膜呈现彩色图样是属于干涉现像，故 B 错误；

C．白光经过三棱镜得到彩色图样是光在折射时产生的色散现像，故 C 正确；

D．水面上的油膜呈现彩色是光的干涉现像，属于薄膜干涉，故 D 错误；

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】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。

2．答案：C

A．大量氢原子处于 $n=3$ 能级，最多可辐射出 $C_3^2=3$ 种不同频率的光子，故 A 错误；

B．根据能级图可知，从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级辐射的光子能量为 $h\nu_1=13.6\text{eV}-1.51\text{eV}$，从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级辐射的光子能量为 $h\nu_2=3.4\text{eV}-1.51\text{eV}$，比较可知从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级比跃迁到 $n=2$ 能级辐射的光子频率高，故 B 错误；

C．根据能级图可知，从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=4$ 能级需要吸收的能量为 $E=1.51\text{eV}-0.85\text{eV}=0.66\text{eV}$，故 C 正确；

D．根据能级图可知，氢原子处于 $n=3$ 能级的能量为 -1.51eV，故要使其电离至少需要吸收 1.51eV 的能量，故 D 错误；

故选 C。

3．答案：A

A．因为 5G 使用的电磁波频率比 4G 高，根据 $E=h\nu$ 可知 5G 使用的电磁波比 4G 光子能量更大，故 A 正确；

B．发生明显衍射的条件是障碍物（或孔）的尺寸可以跟波长相比，甚至比波长还小；因 5G 使用的电磁波频率更高，即波长更短，故 5G 越不容易发生明显衍射，故 B 错误；

C．光在真空中的传播速度都是相同的；光在介质中的传播速度为 $v=\frac{c}{n}$，5G 的频率比 4G 高，而频率越大折射率越大，光在介质中的传播速度越小，故 C 错误；

D．因 5G 使用的电磁波频率更高，根据 $v=\frac{c}{\lambda}$ 可知波长更短，故 D 错误；

故选 A。

4．答案：C

【考点】气体压强由分子数密度和平均动能共同决定；等温、等容、等压过程要分别抓住不变量。

【审题】一定量的理想气体从状态 A 开始，经历两个过程，先后到达状态 B 和 C。有关。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】由题图可知，状态 A 到状态 B 为等压过程，根据盖—吕萨克定律 $\frac{V_A}{T_A}=\frac{V_B}{T_B}$，因为 $V_B>V_A$，故 $T_B>T_A$；状态 B 到状态 C 为等容过程，有 $\frac{p_B}{T_B}=\frac{p_C}{T_C}$，因为 $p_B>p_C$，故 $T_B>T_C$；对状态 A 和 C，由理想气体状态方程 $\frac{pV}{T}=C$ 可知 $T_A=T_C$。综上分析可知 C 正确，ABD 错误；

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】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。

5．答案：（1）B；（2）$a-\frac{1}{M}$ 图线为过原点的直线；（3）A（受力示意图：重力竖直向下、支持力垂直板面向上、绳的拉力沿绳方向、摩擦力沿板面与运动方向相反）

第（1）问：实验条件的选择：对比实验要控制变量：探究 a 与 M 的关系时，须保持两车所受合外力（由钩码重力提供）相同而小车质量不同，故应选"小车质量不同、钩码质量相同"，填 B。两车同时启动、同时停止，运动时间 t 相同，由 $x=\frac{1}{2}at^2$ 得 $a\propto x$，比较位移即可比较加速度。

第（2）问：描点并作图象：为检验 a 与 M 成反比，应作 $a-\frac{1}{M}$ 图象（把弯曲的 $a-M$ 关系"化曲为直"）。将表中 7 组数据逐组换算为 $\frac{1}{M}$（如 $M=0.50$ kg 对应 $\frac{1}{M}=2.0$ kg^{-1}），把余下的一组按其 $(1/M,\ a)$ 坐标描在图 2 坐标纸上；再用直尺作一条直线，使尽可能多的点落在直线上，其余点均匀分布在直线两侧，剔除明显偏离的坏点。所得图线为过原点（或延长后过原点）的直线，说明 a 与 $\frac{1}{M}$ 成正比，即 a 与 M 大致成反比。

第（3）问：受力示意图与"力"的测量：小车受力示意图：画出重力 Mg（竖直向下）、支持力 F_N（垂直斜面向上）、绳的拉力 F（沿绳方向）；平衡摩擦力后摩擦力与重力沿斜面分量抵消，合力即绳的拉力。选项分析：A 对——使小车沿倾角合适的斜面运动，令 $Mg\sin\theta=\mu Mg\cos\theta$，摩擦力与重力沿斜面分量抵消，小车所受合力等效为只受绳的拉力；B 错——倾角过大则平衡过度，重力沿斜面分量大于摩擦力，小车所受合力将大于（而非小于）绳的拉力；C 错——小车加速时砂和桶也在加速，绳的拉力小于砂和桶的重力，并非"无论加速度多大都相等"；D 错——让小车趋近匀速则无法研究加速度与力的关系，本实验以"砂和桶质量远小于小车质量"来近似，而不是靠匀速。故填 A。

【提示】化曲为直是处理"反比关系"数据的标准方法；第（2）问具体描哪一组点以卷面已描 6 点之外的剩余一组为准。

6．答案：B

【考点】简谐运动的回复力 $F=-kx$，周期由系统本身决定；机械波的波速由介质决定，频率由波源决定，$\lambda=vT$。
【审题】一列简谐横波某时刻波形由该时刻开始计时，质点 L 的振动情况下列说法正确的是。解题时先读周期、波长、振幅，再判断传播方向与质点振动方向，最后算路程。
【解析】AB．由图可知乙质点 L 的振动情况，该时刻质点 L 向 y 轴正方向振动。根据上下坡法或者平移法可知，该横波沿 x 轴正方向传播，质点 N 该时刻向 y 轴负方向运动，故 A 错误，故 B 正确；

C．质点 L 只在平衡位置附近 y 轴方向上下振动，波传播时，质点不会沿 x 轴正方向移动，故 C 错误；

D．该时刻质点 K 与 M 的速度为零，质点 K 加速度为 $-y$ 方向，质点 M 加速度为 $+y$ 方向，故 D 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】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。

7．答案：B

【考点】电场线的疏密表示场强大小，切线方向表示场强方向；顺着电场线电势降低，电场力做功 $W=qU$ 决定电势能变化。

【审题】真空中某点电荷的等势面示意如图，图中相邻等势面间电势差相等。下列说法正确的是。解题时先判断电场方向与疏密，再比较电势高低，最后结合电荷正负判断电势能。

【解析】A．正电荷和负电荷周围的等势面都为一组同心球壳，该点电荷不一定为正电荷，故 A 错误；

B．相邻等势面间电势差相等，P 点附近的等差等势面更加密集，故 P 点的场强一定比 Q 点的场强大，故 B 正确；

C．正电荷和负电荷周围的等势面都为一组同心球壳，若为正点电荷，则 P 点电势一定比 Q 点电势高，故 C 错误；

D．从等势面的情况无法判断该点电荷为正点电荷还是负点电荷，无法判断 P 点电势与 Q 点电势的高低，就无法判断正检验电荷在 P 点和在 Q 点的电势能的大小，故 D 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】静电场题按“场强—电势—电势能—做功”顺序分析。

【易错提醒】负电荷在电势高处电势能反而小；电场线弯曲时，粒子轨迹一般不与电场线重合。

8．答案：B

【考点】带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动，半径 $r=\frac{mv}{qB}$，周期 $T=\frac{2\pi m}{qB}$，周期与速度无关。

【审题】在带负电荷的橡胶圆盘附近悬挂一个小磁针。现驱动圆盘绕中心轴高速旋转，小磁针发生偏转。下列说法正确的是。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】AB．小磁针发生偏转是因为带负电荷的橡胶圆盘高速旋转形成电流，而电流周围有磁场，磁场会对放入其中的小磁针有力的作用，故 A 错误，B 正确；

C．仅改变圆盘的转动方向，形成的电流的方向与初始相反，小磁针的偏转方向也与之前相反，故 C 错误；

D．仅改变圆盘所带电荷的电性，形成的电流的方向与初始相反，小磁针的偏转方向也与之前相反，故 D 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】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。

9．答案：A

【考点】交变电流的瞬时值 $e = E_m \sin \omega t$，有效值按电流热效应定义；理想变压器满足 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$、$P_1 = P_2$。

【审题】理想变压器原线圈接在 $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ 的交流电源上，副线圈接三个阻值相同的电阻 R，不计电表内电阻影响。闭合开关 S 后。解题时先写瞬时值或有效值，再用匝数比求电压、电流，最后检查功率守恒。

【解析】开关 S 闭合时，副线圈总的电阻减小，由于变压器的匝数比和输入的电压都不变，所以输出的电压也不变，即 V_1 示数不变，但因副线圈的总电阻减小，则副线圈的总电流增大，则原线圈的电流增大，故 A_1 的示数变大；由于副线圈的电流增大，故串联在副线圈的电阻 R 两端的电压增大，而副线圈的总电压不变，所以副线圈并联部分的电压减小，即 V_2 的示数减小，故电流表 A_2 的示数减小，故 A 正确，BCD 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】交流题按“瞬时值—有效值—变压器—功率”链条分析。

【易错提醒】不要用最大值代替有效值；也不要认为变压器可以改变频率。

10．答案：D

考点：分子力 F- r 图像、分子势能与分子动能的变化。

A. 从 r = r2 到 r = r0，分子间引力、斥力都在增大，只是引力增大得更快，合力表现为引力，A 错误。

B. 在 r = r0 处分子力为零；从 r2 到 r1，分子力先表现为引力并增大，过 r0 后表现为斥力并增大，所以分子力的大小先减小后增大，B 错误。

C. 分子势能在 r = r0 处最小。从 r2 到 r0 分子力做正功，势能减小；从 r0 到 r1 分子力做负功，势能增大，C 错误。

D. 只有分子力做功，分子动能与分子势能之和守恒；势能先减小后增大，故动能先增大后减小，D 正确。

答案：D。

11．答案：C

考点：静摩擦力与滑动摩擦力（力传感器 $F-t$ 图象）。

A. 实验中必须让木板保持匀速运动：物块被传感器通过棉线拉住、相对地面静止，传感器示数始终等于物块所受摩擦力，与木板运动快慢无关，不必匀速，A 错。

B. 图乙中曲线就是摩擦力随时间的变化曲线：曲线峰值段对应的是最大静摩擦力（物块刚要相对滑动），平台段才对应滑动摩擦力；本站按常见表述把该项理解为"整条曲线都是滑动摩擦力随时间变化的曲线"，则不成立。若按字面"摩擦力"理解，因物块始终静止、示数恒等于摩擦力大小，该项亦能成立——此处依单选唯一性判定为错，见 tip。

C. 最大静摩擦力与滑动摩擦力之比约为 10：7：由图乙，峰值（最大静摩擦力）约为 *0.35* N 量级、平台（滑动摩擦力）约为其 *0.7* 倍，两者之比约为 *10 : 7*，C 对。

D. 只用图乙数据可得出动摩擦因数：$\mu = \frac{f}{F_N} = \frac{f}{mg}$，图乙只给出摩擦力大小，不知道物块质量（正压力），无法求出 μ，D 错。

答案：C

12．答案：B

考点：金属丝电阻随温度变化、闭合电路欧姆定律与温度刻度改装。

由图甲可知，金属丝电阻随温度升高而增大，可写成 R = R0 + kt（k > 0）。金属丝与电池、电流表串联，回路电流 I = E/(R0 + kt + R_A + r)。温度越低，R 越小，I 越大；温度越高，R 越大，I 越小。

因此电流较大的刻度应对应较低温度 tA，电流较小的刻度应对应较高温度 tB；并且 I 与 t 不是线性关系，温度刻度不均匀。故 B 正确，A、C、D 错误。

答案：B。

13．答案：D

A．1 号球与质量不同的 2 号球相碰撞后，1 号球速度不为零，则 2 号球获得的动能小于 1 号球撞 2 号球前瞬间的动能，所以 2 号球与 3 号球相碰撞后，3 号球获得的动能也小于 1 号球撞 2 号球前瞬间的动能，则 3 号不可能摆至高度 h，故 A 错误；

B．1、2 号球释放后，三小球之间的碰撞为弹性碰撞，且三小球组成的系统只有重力做功，所以系统的机械能守恒，但整个过程中，系统所受合外力不为零，所以系统动量不守恒，故 B 错误；

C．1、2 号碰撞后粘在一起，为完全非弹性碰撞，碰撞过程有机械能损失，所以 1、2 号球再与 3 号球相碰后，3 号球获得的动能不足以使其摆至高度 h，故 C 错误；

D．碰撞后，2、3 号粘在一起，为完全非弹性碰撞，碰撞过程有机械能损失，且整个过程中，系统所受合外力不为零，所以系统的机械能和动量都不守恒，故 D 正确；

故选 D。

14．答案：C

【解析】本题考查力与运动的关系及功能关系。

A．题述空气施加的阻力和偏转力都与篮球转动的角速度有关，因此 k_1、k_2 应是与篮球转动角速度有关的常量，A 错误；

B．空气阻力 f_1 始终与运动方向相反，对篮球做负功，篮球的机械能不断减少，不可能回到原高度；同时空气阻力也会使转动减慢，角速度不可能与释放时相同，B 错误；

C．篮球下落中速度增大，阻力 $f_1 = k_1 v^2$ 增大，当 f_1 增大到大于重力时，篮球所受合力向上，落地前有可能向上运动，C 正确；

D．偏转力 f_2 始终垂直于运动方向，使篮球不断改变速度方向而做曲线运动，只要 f_2 不为零，篮球就不可能在空中持续一段水平直线运动，D 错误。

故选 C。

15．答案：（1）

$E^{'}=E$，$r^{'}=r+R_A$。

（2）

C，A

（3）

乙

（1）将电源和电流表视为等效电源，电源电动势是电源本身具有的属性，电流表不具有产生电动势的本领，所以等效电源的电动势仍然为 $E^{'}=E$，而电流表的内阻和电源的内阻作为等效电源的内阻，即 $r^{'}=r+R_A$。

（2）对甲图，考虑电表内阻时，根据闭合电路欧姆定律得 $E=U_{\mathrm{x}}+Ir_{\mathrm{x}}=U+I(r+R_A)$，变形得 $U=-(r+R_A)I+E$；直接通过实验获得数据，可得 $U=-rI+E$。图像与纵轴截距均为电源电动势 E，虚线对应的斜率大小为 r，实线对应的斜率大小为 $r+R_A$，所以对应图甲电路分析的 $U-I$ 图像是 C；

对乙图，考虑电表内阻时（即虚线对应的真实情况），根据闭合电路欧姆定律得 $E=U_{\mathrm{x}}+Ir_{\mathrm{x}}=U+(I+\frac{U}{R_{\mathrm{v}}})r=U+Ir+U\frac{r}{R_{\mathrm{v}}}$，变形得 $U=-\frac{R_{\mathrm{v}}r}{R_{\mathrm{v}}+r}I+\frac{R_{\mathrm{v}}}{R_{\mathrm{v}}+r}E$；直接通过实验获得数据，可得 $U=-rI+E$。虚线对应的斜率大小为 r，实线对应的斜率大小为 $\frac{R_{\mathrm{v}}}{R_{\mathrm{v}}+r}r<r$，虚线对应的纵轴截距为 E，实线对应的纵轴截距为 $\frac{R_{\mathrm{v}}}{R_{\mathrm{v}}+r}E<E$；两图线在 $U=0$ 时，对应的短路电流均为 $I_{\mathrm{x}}=\frac{E}{r}$，所以对应图乙电路分析的 $U-I$ 图像是 A。

（3）图甲虽然测量的电源电动势准确，但电流表分压较为明显，所以内阻测量的误差很大；图乙虽然电动势和内阻测量均偏小，但是电压表内阻很大，分流不明显，所以电动势和内阻的测量误差较小，所以选择图乙可以减小由电表内电阻引起的实验误差。

16．答案：（1）$x = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$；

（2）$v = \sqrt{2gh + v_0^2}$；

（3）$y = \frac{g}{2v_0^2}x^2$。

【解析】本题考查平抛运动的规律与轨迹方程。

（1）包裹离开无人机后做平抛运动。竖直方向做自由落体运动，由

$h = \frac{1}{2}gt^2$

得 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$。水平方向做匀速直线运动，故

$x = v_0t = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$。

（2）包裹落地时竖直方向的分速度

$v_y = gt = \sqrt{2gh}$，

故落地速度大小

$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = \sqrt{2gh + v_0^2}$。

（3）设包裹运动时间为 t，则

$x = v_0t$，$y = \frac{1}{2}gt^2$。

由第一式得 $t = \frac{x}{v_0}$，代入第二式，得轨迹方程

$y = \frac{g}{2v_0^2}x^2$，

轨迹是一条抛物线。

17．答案：（1）由 a 流向 b；

（2）$E = 10$ V；

（3）$U = 9.6$ V。

【解析】本题考查楞次定律与法拉第电磁感应定律。

（1）线圈内磁场方向垂直纸面向里且磁通量增大，由楞次定律，感应电流的磁场方向垂直纸面向外；由安培定则，线圈中感应电流沿逆时针方向，故通过电阻 R 的电流方向为 $a \to b$。

（2）由图乙，磁通量随时间均匀增大，图线的斜率

$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{0.015 - 0.010}{0.10}$ Wb/s $= 0.05$ Wb/s。

由法拉第电磁感应定律

$E = N\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = 200 \times 0.05$ V $= 10$ V。

（3）由闭合电路欧姆定律，回路中的电流

$I = \frac{E}{R + r} = \frac{10}{48 + 2}$ A $= 0.2$ A，

电阻 R 两端的电压

$U = IR = 0.2 \times 48$ V $= 9.6$ V。

18．答案：（1）$\sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$，$\frac{B_0qR}{2m}$

（2）$\frac{Ne^2p^2a^3b^3}{4\pi RmI^2}$

考点：带电粒子在电场、磁场中的运动与动量流（压强）模型。

第（1）问 a：加恒定电压 U_0：导线与柱面间加电压 U_0 时形成径向电场，电子从导线（中心）向柱面运动过程中电场力做负功。"刚好没有电子到达柱面"即电子恰在柱面处速度减为零，由动能定理 $-eU_0 = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$¤ 得 $v_0 = \sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$¤

第（1）问 b：加与 MN 平行的匀强磁场 B_0：磁场沿轴向，电子以速率 v_0 沿径向射出，速度与磁场垂直，洛伦兹力提供向心力，电子在与轴垂直的平面（横截面）内做匀速圆周运动，半径 $r = \frac{mv_0}{eB_0}$¤ 电子从圆心出发，圆轨道过圆心，离导线的最大距离为直径 $2r$；"刚好没有电子到达柱面"即 $2r = R$，得 $v_0 = \frac{eB_0R}{2m}$¤

第（2）问：单位长度导线单位时间内出射电子的总动能：金属片面积 $S = ab$。打在片上的电子嵌入片中被吸收，每个电子转移动量大小 mv_0；由电流定义，单位时间打到片上的电子数为 $\frac{I}{e}$，故电子流对片的压力 $F = \frac{I}{e}mv_0$¤ 压强 $p = \frac{F}{ab} = \frac{Imv_0}{eab}$ $\Rightarrow$ $mv_0 = \frac{peab}{I}$¤ 金属片在半径 R 处弧长为 a，对导线所张圆心角为 $\frac{a}{R}$，占全部方位角的比例为 $\frac{a}{2\pi R}$；且片长 b 沿轴向，电子沿径向直线运动、轴向位置不变，故电流 I 收集自轴向长度为 b 的导线段。设单位长度导线单位时间出射电子总数为 n_0，则 $\frac{I}{e} = n_0 \cdot b \cdot \frac{a}{2\pi R}$ $\Rightarrow$ $n_0 = \frac{2\pi RI}{eab}$¤ 单位长度导线单位时间出射电子的总动能 $E_{k\text{tot}} = n_0 \cdot \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{\pi Rmv_0^2I}{eab}$¤ 再代入 $mv_0 = \frac{peab}{I}$（即 $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{peab}{2I} \cdot v_0$）可化简为 $E_{k\text{tot}} = \pi RpV_0$¤ 其中 v_0 由第（1）问测得（按所用方案代入对应表达式）。

答案：（1）a. $v_0 = \sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$；b. $v_0 = \frac{eB_0R}{2m}$ （2）$E_{k\text{tot}} = \frac{\pi Rmv_0^2I}{eab} = \pi RpV_0$

说明：第（2）问关键有二：一是压强对应动量流 $F = \frac{I}{e}mv_0$；二是几何比例 $\frac{a}{2\pi R}$ 与轴向长度 b 的换算。

19．答案：（1）t≈24.3 s，x≈279.3 m

（2）列车电气制动产生的加速度与列车的速度成正比，为过P点的正比例函数，论证过程见解析。画出的图线如下图所示：

（3）3 m/s

考点：$a-v$ 图象、电磁阻尼制动与受力综合分析。

第（1）问：速度从 20 m/s 降至 3 m/s 的时间和距离：由图 1，$v \le 20$ m/s 时设定的加速度大小恒为 $a = 0.7$ m/s^2，故 20 m/s $\to 3$ m/s 为匀减速运动：$t = \frac{v_1 - v_2}{a} = \frac{20-3}{0.7}$ s ≈ 24.3 s¤ 由 $v_2^2 - v_1^2 = -2ax$ 得 $x = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a} = \frac{20^2 - 3^2}{2\times 0.7}$ m $= \frac{391}{1.4}$ m ≈ 279 m¤

第（2）问：电气制动加速度与速度的关系及图线：设磁场强度为 B、导轨间距（棒有效长）为 L、列车与模型棒的速度比例为 k_1（$v_{MN} = k_1 v$）、加速度比例为 k_2（$a_{MN} = k_2 a_{\mathrm{E}}$）。棒运动时 $E = BLv_{MN}$，$I = \frac{BLv_{MN}}{R}$，$F = BIL = \frac{B^2L^2v_{MN}}{R}$¤ 棒的加速度大小 $a_{MN} = \frac{F}{m} = \frac{B^2L^2}{mR} v_{MN} \propto v_{MN} \propto v$¤ 由假设 $a_{\mathrm{E}} = \frac{a_{MN}}{k_2} \propto v$，即电气制动加速度大小与列车速度成正比，图线为过原点的倾斜直线。开始制动时对应图 1 中 P 点：$v = 100$ m/s 时 $a_{\mathrm{E}} = 0.3$ m/s^2，故比例系数 $\frac{0.3}{100} = 0.003$ s^{-1}，即 $a_{\mathrm{E}} = 0.003v$ (m/s^2)¤ 在图 1 中画出连接原点 O 与 P 点的直线（并按要求延伸）即为电气制动的 $a_{\mathrm{E}}-v$ 图线。

第（3）问：哪个速度附近所需机械制动最强：说明：设列车总质量为 m（题未给出，仅作中间量），空气阻力产生的加速度大小为 $a_{\mathrm{x}} = \frac{f}{m}$，仅知其随 v 减小而减小。列车减速所需总加速度由图 1 给出：$3 \sim 20$ m/s 段 $a_{\mathrm{tot}} = 0.7$ m/s^2；$20 \sim 100$ m/s 段 $a_{\mathrm{tot}} = 0.8 - 0.005v$ (m/s^2)（由 $(20, 0.7)$、$(100, 0.3)$ 两点内插）。机械制动需提供的加速度 $a_{\mathrm{mech}} = a_{\mathrm{tot}} - a_{\mathrm{E}} - a_{\mathrm{x}}$¤ 在 20< $v \le 100$ m/s 段：$a_{\mathrm{mech}} = 0.8 - 0.008v - a_{\mathrm{x}}$，$v$ 减小时 $0.8 - 0.008v$ 增大、a_{x} 减小，故 a_{mech} 增大；在 $3 \le v \le 20$ m/s 段：$a_{\mathrm{mech}} = 0.7 - 0.003v - a_{\mathrm{x}}$，$v$ 减小时同样增大。因此整个制动过程中 a_{mech} 随速度减小单调增大，在最低速度 $v = 3$ m/s 附近达到最大，即列车从 100 m/s 减到 3 m/s 的过程中，在 3 m/s 附近所需机械制动最强。

答案：（1）$t \approx 24.3$ s，$x \approx 279$ m （2）$a_{\mathrm{E}} = 0.003v$（过原点直线，见解析） （3）在 3 m/s 附近所需机械制动最强

说明：第（2）问是论证题，须写清 $E \to I \to F \to a$ 的链条和"$\propto v$"的结论；第（3）问的 m 与空气阻力函数只需单调性说明，不需求具体值。