2024 北京昌平高三二模

物　　理

本试卷共 8 页，共 100 分．考试时长 90 分钟．考生务必将答案答在答题卡上，在试卷上作答无效．考试结束后，将答题卡交回．

第一部分 选择题（共 42 分）

本部分共 14 小题，每小题 3 分，共 42 分．在每小题给出的四个选项中，只有一个选项是符合题意的，全部选对得 3 分，选错或不答的得 0 分．

1. 下列说法正确的是（　）.

A. 水凝结成冰后，水分子的热运动停止

B. 一定质量的气体被压缩后，内能一定增加

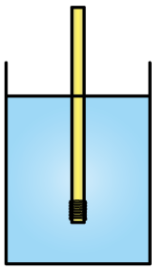
C. 给自行车胎打气，越打越费力是因为分子间存在斥力

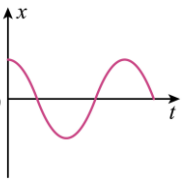
D. 显微镜下观察到悬浮在水中的花粉颗粒的无规则运动是布朗运动

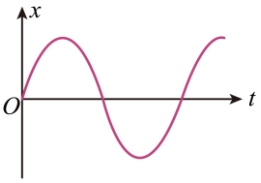
2. 将两支铅笔并排放在一起，通过中间狭缝看与其平行的日光灯，观察到彩色条纹的现象属于光的（　）.

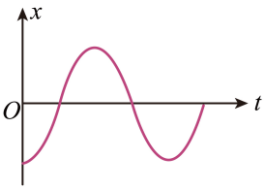
A. 偏振现象　　B. 衍射现象　　C. 干涉现象　　D. 全反射现象

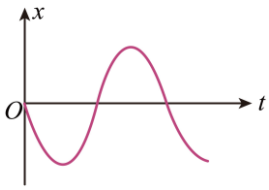
3. 如图所示，粗细均匀的一根木筷，下端绕几圈铁丝，竖直浮在水杯中。将木筷竖直提起一段距离，然后由静止释放并开始计时，木筷就在水中上下振动，在一段时间内木筷在竖直方向可近似看做简谐运动。若取竖直向上为正方向，图中描述木筷振动的图像正确的是（　　）。



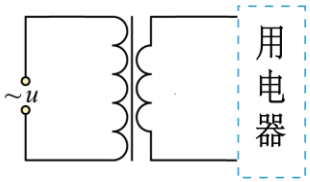
A. 

B. 

C. 

D. 

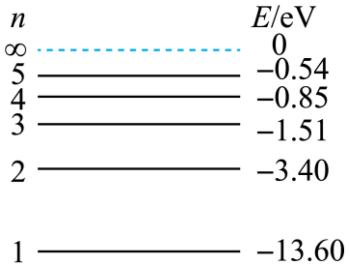
4. 如图所示，一交变电流通过理想变压器变压后对用电器供电，用电器铭牌上标有“220V，880W”字样，该用电器正常工作，输电线电阻忽略不计。已知交变电流的电压随时间变化关系为 $u=1100\sqrt{2}\sin 100\pi t\left(\mathrm{V}\right)$，下列说法正确的是（　　）



A. 原、副线圈的匝数比为$1:5$　　B. 原线圈的输入功率为$880\mathrm{W}$

C. 原线圈中电流的有效值为$20\mathrm{A}$　　D. 副线圈输出交流电的频率为$100\mathrm{Hz}$

5. 如图为氢原子的能级示意图。若使处于基态的氢原子被激发后，可辐射能量为$2.55\mathrm{eV}$的光，则激发氢原子的光子能量可能为（　　）



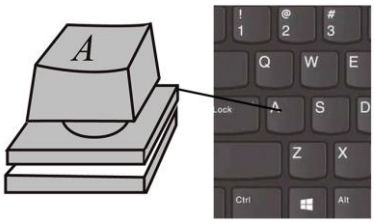
A. 12.75eV　　B. 12.09eV　　C. 10.20eV　　D. 2.55eV

6. 研究表明，2000 年来地球自转周期累计慢了 2 个多小时。假设这种趋势持续下去，地球其他条件不变，未来人类发射的地球同步卫星与现在相比（　　）。

A. 距地面的高度变小　　B. 向心加速度变大

C. 线速度变小　　D. 角速度变大

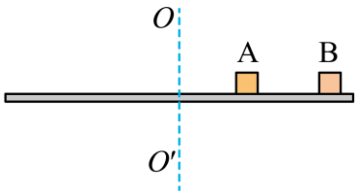
7. 如图所示是一种电容式键盘，键盘上每个键子下面都连有一块小金属片，与该金属片隔有一定空气间隙的是另一块固定的小金属片，这样两块金属片就组成一个小电容器．该电容器的电容可用公式$C=\varepsilon\dfrac{S}{d}$计算，其中$\varepsilon$为一常量，$S$表示金属片的正对面积，$d$表示两金属片间的距离。连接电源，按下某个键时，与之相连的电子线路就给出与该键相关的信号，此时该电容器的（　）



A. 电容不变　　B. 极板所带的电荷量变大

C. 极板间的电压变小　　D. 极板间的场强不变

8. 如图所示，两个质量均为m的小木块 A、B（可视为质点）放在水平圆盘上，A、B 到转轴OO'的距离分别为l、$2l$．小木块与圆盘之间的动摩擦因数均为μ，可以认为小木块最大静摩擦力等于滑动摩擦力．若圆盘从静止开始绕轴转动，并缓慢地加速，用ω表示圆盘转动的角速度，用g表示重力加速度的大小，下列说法正确的是（　）



A. 圆盘对 A 的作用力大小大于 A 对圆盘的作用力大小

B. 当 $\omega=\sqrt{\frac{\mu g}{2l}}$ 时，A 所受摩擦力的大小为 μmg

C. A、B 所受摩擦力的大小始终相等

D. B 一定比 A 先开始滑动

9. 在做“用油膜法估测油酸分子的大小”实验时，每 1000mL 油酸酒精溶液中有纯油酸 2mL，用量筒测得 1mL 上述溶液为 100 滴。在浅盘里盛上水，将爽身粉均匀地撒在水面上．把 1 滴上述溶液滴入浅盘里，等油膜形状稳定后，把带有坐标方格的玻璃板放在浅盘上，并描画出油膜的轮廓，油膜所占正方形方格数为 75 个，每个方格边长为 2cm。下列说法正确的是（　）。

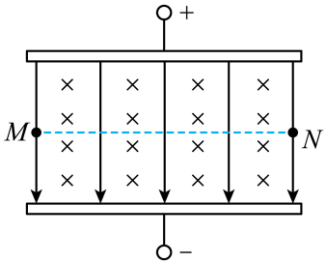
A. 1 滴油酸酒精溶液中含有的纯油酸的体积约为 $2\times10^{-11}\text{m}^3$

B. 油酸分子的直径约为 $6.7\times10^{-9}\text{m}$

C. 若所撒爽身粉过厚，会导致估测出的分子直径偏小

D. 若描画油膜轮廓时油酸未完全散开，会导致估测出的分子直径偏小

10. 如图所示，水平放置的两平行金属板间存在着相互垂直的匀强电场和匀强磁场。一带电粒子（重力不计）从 M 点沿水平方向射入到两板之间，恰好沿直线从 N 点射出。电场强度为 E，磁感应强度为 B。下列说法正确的是（　　）。



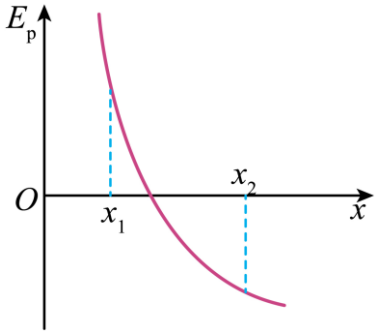
A. 粒子一定带正电

B. 粒子射入的速度大小 $v=\frac{B}{E}$

C. 若只改变粒子射入速度的大小，其运动轨迹为曲线

D. 若粒子从 N 点沿水平方向射入，其运动轨迹为直线

11. 某种力做功只与物体的起始和终点位置有关，而与物体运动所经过的具体路径无关，物理学中把这种力称为保守力。保守力做功所改变的是与系统的相对位置有关的能量，这种能量称为势能，用 E_{p} 来表示。如图为某物体的势能随位置变化的曲线，该物体（　　）



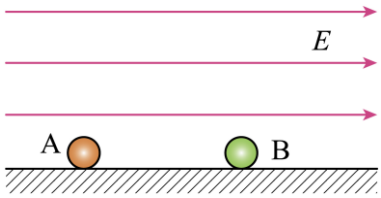
A. 在势能为 0 的位置时，受到的保守力也一定为零

B. 在 x_1 位置时，受到保守力的方向沿 x 轴的负方向

C. 从 x_1 位置运动到 x_2 位置的过程中保守力做正功

D. 在 x_1 位置受到保守力的大小小于在 x_2 位置受到保守力的大小

12. 如图所示，在水平向右且场强大小为 E 的匀强电场中，两个半径相同、质量均为 m 的小球 A、B 静止放置在光滑的水平面上，且 A、B 所在直线与电场线平行。A 带电量为 $q\left(q>0\right)$，B 不带电，A、B 之间的距离为 L。$t=0$ 时刻开始，A 在电场力的作用下开始沿直线运动，并与 B 发生弹性碰撞。碰撞过程中 A、B 之间没有电量转移，仅碰撞时才考虑 A、B 之间的相互作用，下列说法正确的是（　）



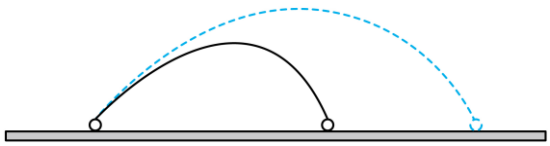
A. 两球第一次碰撞到发生第二次碰撞的时间间隔为 $\sqrt{\frac{2mL}{qE}}$

B. 两球第 n 次碰撞到发生第 $n+1$ 次碰撞的时间间隔为 $2n\sqrt{\frac{2mL}{qE}}$

C. 两球连续两次碰撞的时间间隔均为 $\sqrt{\frac{2mL}{qE}}$

D. 两球连续两次碰撞的时间间隔均为 $2\sqrt{\frac{2mL}{qE}}$

13. 将某物体沿与水平方向成一定角度斜向上抛出，经过一段时间，物体落回与抛出点等高处。在忽略空气阻力情况下，其运动轨迹如图中虚线所示，在考虑空气阻力情况下，其运动轨迹如图中实线所示．在考虑空气阻力的情况下，（　　）



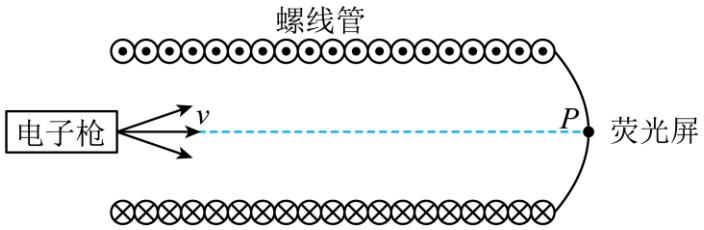
A. 上升的时间一定小于下降的时间

B. 在最高点时的加速度等于重力加速度

C. 落回抛出点时的动能等于抛出时的动能

D. 上升阶段损失的机械能等于下降阶段损失的机械能

14. 如图为用于电真空器件的一种磁聚焦装置示意图．螺线管内存在磁感应强度为 B、方向平行于管轴的匀强磁场．电子枪可以射出速度大小均为 v，方向不同的电子，且电子速度 v 与磁场方向的夹角非常小．电子电荷量为 e、质量为 m．电子间的相互作用和电子的重力不计．这些电子通过磁场汇聚在荧光屏上 P 点．下列说法错误的是（　）.



A. 电子在磁场中运动的时间可能为 $\dfrac{2\pi m}{eB}$

B. 荧光屏到电子入射点的距离可能为 $\dfrac{2\pi mv}{eB}$

C. 若将电子入射速度变为 $\dfrac{1}{2}v$，这些电子一定能汇聚在 P 点

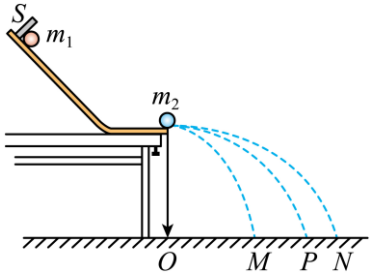
D. 若将电子入射速度变为 $2v$，这些电子一定能汇聚在 P 点

第二部分 非选择题（共 58 分）

本部分共 6 小题，共 58 分.

15. 甲、乙两同学分别用不同的方案做“验证动量守恒定律”实验。

（1）甲同学用如图所示的装置研究小球在斜槽末端碰撞时动量是否守恒。O 点是小球抛出点在地面上的垂直投影，实验时先让质量为 m_1 的入射小球多次从斜槽上位置 S 由静止释放，通过白纸和复写纸找到其平均落地点的位置 P，测出平抛射程 OP（称为第一次操作）。然后，把半径相同质量为 m_2 的被碰小球静置于斜槽末端，仍将入射小球从斜槽上位置 S 由静止释放，与被碰小球发生正碰，并多次重复该操作，两小球平均落地点位置分别为 M、N，测出 OM、ON（称为第二次操作）。在实验误差允许范围内，若满足关系式 $m_1|OP|=m_1|OM|+m_2|ON|$，则可以认为两球碰撞前后的动量守恒。



①下列关于本实验条件的叙述，正确的是_____。（选填选项前的字母）

A.同一组实验中，入射小球必须从同一位置由静止释放

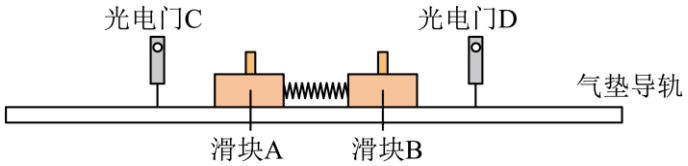
B.入射小球的质量必须大于被碰小球的质量

C.斜槽倾斜部分必须光滑

D.斜槽末端必须水平

②若第二次操作时，入射小球从斜槽上静止释放的位置低于 S，其他操作都正确的情况下，实验结果为 $m_1|OP|$_____$m_1|OM|+m_2|ON|$（选填“>”“<”或“=”）。

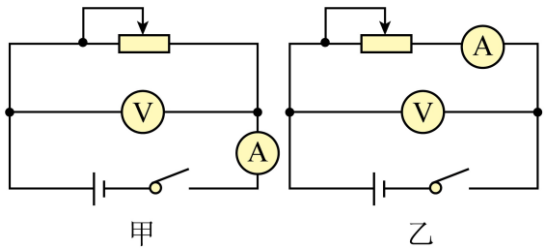
（2）乙同学用如图所示实验装置进行实验，两个带有等宽遮光条的滑块 A、B 间放置轻质弹簧，挤压两个滑块使弹簧压缩，并用一根细线将两个滑块固定，将其置于气垫导轨上。接通充气开关，烧断细线，A、B 由静止向相反方向运动。利用光电计时器可记录下两遮光条通过光电门 C、D 的时间分别为 t_1、t_2。A、B 的质量分别为 m_1、m_2。



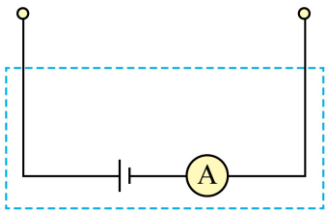
①在实验操作正确的前提下，若满足_____与_____近似相等（用所测物理量的字母表示），则可以认为两滑块被弹簧弹开前后动量守恒。

②本实验_____（选填“需要”或者“不需要”）调节气垫导轨水平，判断气垫导轨水平的依据是_____。

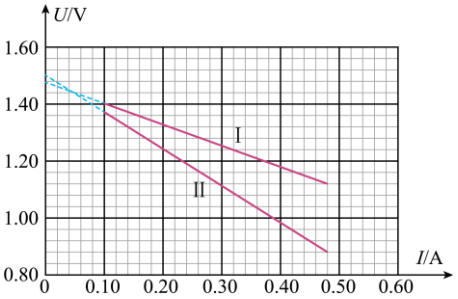
16. 某同学分别用图甲和乙的电路测量同一节干电池的电动势和内阻。



（1）利用图甲实验电路测电池的电动势 E 和内阻 r，所测量的实际是下图中虚线框所示“等效电源”的电动势 E' 和内阻 r'。若电流表内阻用 R_A 表示，用 E、r 和 R_A 表示 $E'=$_____；$r'=$_____。



（2）根据实验记录的数据得到如图所示的两条直线，图中直线I对应电路是题图_____（选填“甲”或“乙”）。



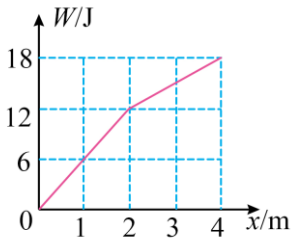
（3）选择误差较小的实验电路，根据（2）图中对应的数据，该电池的电动势 $E=$_____V（结果保留 3 位有效数字），内阻 $r=$_____Ω（结果保留 2 位有效数字）。

17. 质量为 1kg 的物体在水平拉力的作用下，由静止开始在水平地面上沿 x 轴运动，出发位置为 $x=0$。拉力做的功 W 与物体坐标 x 的关系如图所示，物体与水平地面间的动摩擦因数为 0.4，重力加速度大小取 $10\,\text{m/s}^2$。求：

（1）物体在 $x=1\text{m}$ 位置时，拉力的大小 F；

（2）物体在 $x=1\text{m}$ 位置时，拉力的功率 P；

（3）物体从 $x=0$ 运动到 $x=4\text{m}$ 过程中，速度的最大值 v_{m}。



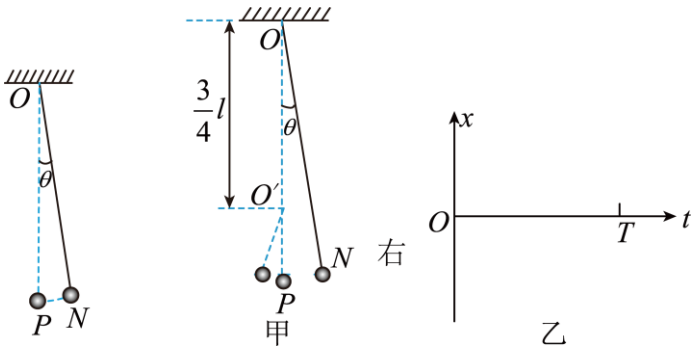
18. 如图所示，一单摆的摆长为 l，摆球质量为 m，固定在悬点 O。将摆球向右拉至 N 点，由静止释放，摆球将在竖直面内来回摆动，其中 P 点为摆动过程中的最低位置。摆球运动到 N 点时，摆线与竖直方向的夹角为 θ（约为 $5°$），θ 很小时可近似认为 $\sin\theta\approx\theta$、$PN\approx\overline{PN}$。重力加速度为 g，空气阻力不计。

（1）请证明摆球的运动为简谐运动；

（2）如图甲所示，若在 O 点正下方 $\frac{3}{4}l$ 的 O' 处放置一细铁钉，当摆球摆至 P 点时，摆线会受到铁钉的阻挡，继续在竖直面内摆动。

a．求摆球摆动一个周期的时间 T；

b．摆球向右运动到 P 点时，开始计时，设摆球相对于 P 点的水平位移为 x，且向右为正方向，在图乙中定性画出摆球在开始一个周期内的 $x-t$ 关系图线。



19. 磁悬浮列车是一种高速运载的交通工具，它利用磁力使列车在轨道上悬浮起来从而减少阻力，同时利用磁场与固定在列车下方的金属线圈相互作用，使列车获得牵引力。如图为某种磁悬浮列车驱动原理的示意图．水平面上有两根平行直轨道，轨道间有垂直于轨道平面、方向相反的两种匀强磁场，两种磁场沿轨道方向的宽度均为 L，且相间排列，车厢下方固定着 N 匝边长为 L 的闭合正方形金属线圈 $abcd$，车厢与线圈绝缘。当所有磁场同时沿轨道方向运动时，线圈会带动车厢沿轨道运动。已知：轨道宽度为 L，两种磁

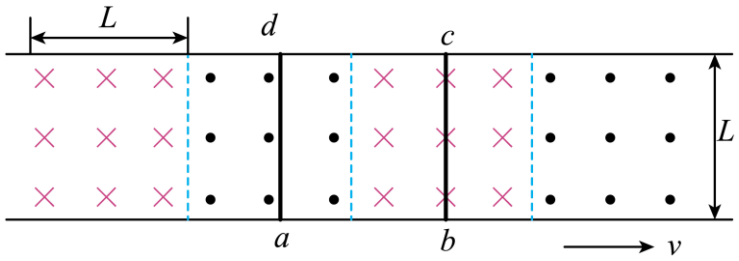
场的磁感应强度大小均为 B，车厢运动中受到的阻力恒为 f，车厢及线圈的总质量为 m，线圈的总电阻为 R。

（1）若所有磁场同时沿轨道方向以速度 v 做匀速运动，求：

a．线圈中感应电流的最大值 I_{m}；

b．车厢速度的最大值 v_{m}。

（2）若所有磁场同时沿轨道方向由静止做加速度为 a 的匀加速运动，当磁场运动时间为 t 时，车厢正在沿轨道做匀加速运动，求此时车厢的速度大小 $v_{车}$。



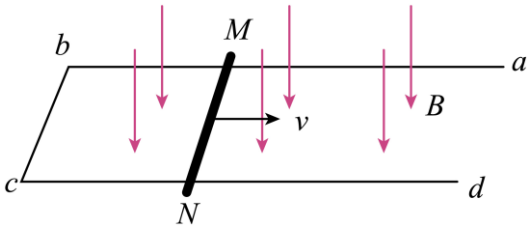
20. 对同一个物理问题，常常可以从宏观与微观两个不同角度研究，从而更加深刻地理解其物理本质。如图所示，在竖直向下磁感应强度为 B 的匀强磁场中，光滑 U 型金属导轨 $abcd$ 固定放置在绝缘水平面内，导轨间距为 L，电阻不计。长度为 L 的导体棒 MN 与平行导轨垂直，且始终与导轨接触良好。导体棒 MN 在水平向右拉力的作用下，以速度 v 做匀速运动，运动过程中导体棒未滑出导轨。

（1）利用法拉第电磁感应定律，推导导体棒 MN 产生的感应电动势 $E = BLv$；

（2）利用电动势的定义 $E = \dfrac{W_{非}}{q}$，推导导体棒 MN 产生的感应电动势 $E = BLv$；

（3）利用拉力对导体棒 MN 所做的功等于电路获得的电能，推导导体棒 MN 产生的感应电动势 $E = BLv$；

（4）若 bc 端断开，依然保持导体棒 MN 以速度 v 做匀速运动，利用导体棒 MN 中的自由电子的受力情况，推导导体棒 MN 产生的感应电动势 $E = BLv$。



参考答案

第一部分 选择题（共 42 分）

本部分共 14 小题，每小题 3 分，共 42 分．在每小题给出的四个选项中，只有一个选项是符合题意的，全部选对得 3 分，选错或不答的得 0 分．

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
答案	D	B	A	B	A	C	B	D	A	C	C	D	A	D

第二部分 非选择题（共 58 分）

本部分共 6 小题，共 58 分．

15. 【答案】（1） ①. ABD ②. > （2） ①. $\frac{m_A}{t_1}$ ②. $\frac{m_B}{t_2}$ ③. 需要 ④. 见解析

【小问 1 详解】

[1] A．为了确保入射小球每次碰撞前的速度大小一定，同一组实验中，入射小球必须从同一位置由静止释放，故 A 正确；

B．为了避免碰撞时入射小球发生反弹，入射小球的质量必须大于被碰小球的质量，故 B 正确；

C．当入射小球每次均从同一位置静止释放时，小球每次滚下克服阻力做功相同，碰撞前的速度大小不变，可知，斜槽的摩擦对实验没有影响，即斜槽倾斜部分不需要确保光滑，故 C 错误；

D．为了确保小球飞出后做平抛运动，斜槽末端必须水平，故 D 正确。

故选 ABD。

[2]小球平抛运动竖直高度相等，根据

$$h=\frac{1}{2}gt^2,\quad x=vt$$

解得

$$v=x\sqrt{\frac{g}{2h}}$$

如果两次高度相同，入射球碰前的落地点为 P，碰后的落地点为 M，被碰小球碰后的落地点为 N，则有

$$m_1v_0=m_1v_1+m_2v_2$$

结合上述有

$$v_0=|OP|\sqrt{\frac{g}{2h}},\quad v_1=|OM|\sqrt{\frac{g}{2h}},\quad v_2=|ON|\sqrt{\frac{g}{2h}}$$

解得

$$m_1|OP|=m_1|OM|+m_2|ON|$$

但是第二次的释放位置偏低导致第二次对应的总动量 $m_1|OM|+m_2|ON|$ 小于第一次操作的 $m_1|OP|$ 总动量，即

$$m_1|OP| > m_1|OM| + m_2|ON|$$

【小问 2 详解】

[1][2]若令遮光条宽度为 d，则滑块 A、B 的速度分别为

$$v_A = \frac{d}{t_1}，\ v_B = \frac{d}{t_2}$$

根据动量守恒定律有

$$m_A v_A - m_B v_B = 0$$

解得

$$\frac{m_A}{t_1} = \frac{m_B}{t_2}$$

可知，若满足 $\frac{m_A}{t_1}$ 与 $\frac{m_B}{t_2}$ 近似相等（用所测物理量的字母表示），则可以认为两滑块被弹簧弹开前后动量守恒。

[3]滑块在气垫导轨上运动的摩擦力可以忽略不计，结合上述可知，为了验证动量守恒，光电门测出的速度与滑块弹开时的速度应该相等，即需要使滑块在气垫导轨上做匀速直线运动，即本实验需要调节气垫导轨水平。

[4]单独让滑块 A 处在导轨上，轻推滑块 A，使 A 先后经过两个光电门，若两光电门的挡光时间相等，表明滑块 A 通过两光电门的速度相等，即滑块 A 做匀速直线运动，表明气垫导轨处于水平状态。

16. 【答案】（1） ①. E ②. $R_A + r$ （2）乙 （3） ①. 1.50 ②. 0.75

【小问 1 详解】

[1]图甲电路，根据闭合电路的欧姆定律

$$E = U + I(R_A + r)$$

整理得

$$U = -I(R_A + r) + E$$

$U - I$ 图线纵截距表示电动势，则等效电源的电动势为

$$E' = E$$

[2]$U - I$ 图线斜率的绝对值表示内阻，等效电源的内阻为

$$r' = R_A + r$$

【小问 2 详解】

图甲电路，误差在于电流表的分压，所测内阻等于电源内阻与电流表内阻之和，所以内阻测量值比真实值偏大；图乙电路，误差在于电压表的分流，所测内阻等于电源内阻与电压表内阻并联的总电阻，所以内阻测量值比真实值偏小。由于$U - I$ 图线斜率的绝对值表示内阻，直线 I 平缓一些，可知图中直线 I 对应电路是题图乙。

【小问 3 详解】

[1]图甲电路，所测电动势为电流表与电源串联后整体的等效电源的电动势，当$I=0$时，图甲电路，电动势的测量值等于真实值，即有

$$E=E_{甲}=1.50\text{V}$$

[2]由于电源内阻较小，用图乙电路测量电源内阻误差小，根据$U-I$图线的斜率绝对值为电源内电阻可得，电源内电阻为

$$r=|k|=\frac{1.48-1.12}{0.48}\Omega=0.75\Omega$$

17.【答案】（1）6N；（2）$P=12\text{W}$；（3）$v_{\text{m}}=2\sqrt{2}\text{m/s}$

【详解】（1）由

$$W=Fx$$

可知$W-x$图像的斜率为拉力F，则物体在$x=1\text{m}$位置时，拉力的大小为

$$F_1=\frac{\Delta W}{\Delta x}=\frac{12}{2}\text{N}=6\text{N}$$

（2）$0\sim1\text{m}$过程由动能定理

$$W-\mu mgx=\frac{1}{2}mv_1^2-0$$

解得$x=1\text{m}$时物体的速度为

$$v_1=2\text{m/s}$$

则此时拉力的功率为

$$P=F_1v_1=12\text{W}$$

（3）根据$W-x$图像可知在$0\sim2\text{m}$的过程中

$$F_1=\frac{\Delta W}{\Delta x}=\frac{12}{2}\text{N}=6\text{N}$$

$2\sim4\text{m}$的过程中

$$F_2=\frac{\Delta W}{\Delta x}=\frac{18-12}{4-2}\text{N}=3\text{N}$$

由于物体受到的摩擦力恒为

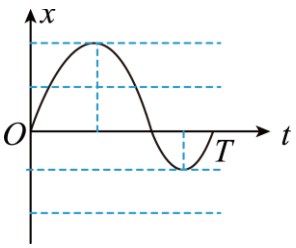
$$f=\mu mg=4\text{N}$$

则物体在$x=2\text{m}$处速度最大，速度最大，由动能定理可得

$$W_1-\mu mgx_1=\frac{1}{2}mv_{\text{m}}-0$$

则最大速度为

$$v_{\text{m}}=2\sqrt{2}\text{m/s}$$

18.【答案】（1）见解析；（2）a、$\frac{3}{2}\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，$b$、

【详解】（1）设摆球的回复力为$F_{回}$，摆球的位移为x

$$F_{回}=mg\sin\theta\approx mg\theta=mg\frac{PN}{l}\approx\frac{mg}{l}x$$

$F_{回}$的方向与方向时刻相反，故

$$F_{回}=-\frac{mg}{l}x$$

满足$F_{回}=-kx$，故摆球的运动为简谐运动。

（2）a、当$x\geq0$时，摆长为l，周期为

$$T_1=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

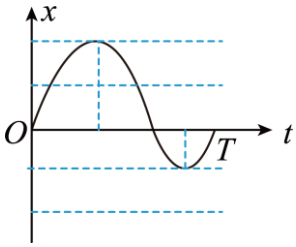
当$x<0$时，摆长为$l'=\frac{1}{4}l$，周期为

$$T_2=\pi\sqrt{\frac{l'}{g}}$$

故周期为

$$T=\frac{1}{2}\left(T_1+T_2\right)=\frac{3}{2}\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

b、图像如图所示



19.【答案】（1）a．$\frac{2NBLv}{R}$；b．$v-\frac{fR}{4N^2B^2L^2}$（2）$at-\frac{\left(ma+f\right)R}{4N^2B^2L^2}$

【详解】（1）a．列车静止时，电流最大，列车受到的电磁驱动力最大，此时线圈中产生的感应电动势为

$$E_{\mathrm{m}}=2NBLv$$

线圈中感应电流为

$$I_{\mathrm{m}}=\frac{E_{\mathrm{m}}}{R}=\frac{2NBLv}{R}$$

b．列车匀速运动时，速度最大，有

$$f = F_{安} = 2NBIL$$

又

$$I = \frac{2NBL\left(v - v_{\mathrm{m}}\right)}{R}$$

联立，解得

$$v_{\mathrm{m}} = v - \frac{fR}{4N^2B^2L^2}$$

（2）依题意，列车做匀加速运动的加速度必须与两磁场由静止做匀加速运动的加速度相同。则有

$$F'_{安} - f = ma$$

又

$$F'_{安} = \frac{4N^2B^2L^2\left(at - v_{车}\right)}{R}$$

联立，解得

$$v_{车} = at - \frac{\left(ma + f\right)R}{4N^2B^2L^2}$$

20.【答案】（1）见解析；（2）见解析；（3）见解析；（4）见解析

【详解】（1）在 Δt 时间内，金属杆 MN 的位移

$$\Delta x = v\Delta t$$

闭合电路面积的变化量是

$$\Delta S = L\Delta x = Lv\Delta t$$

则穿过闭合电路的磁通量的变化量是

$$\Delta\Phi = B\Delta S = BLv\Delta t$$

根据法拉第电磁感应定律有

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = BLv$$

（2）金属杆 MN 切割磁感线时，MN 相当于电源，由右手定则可以判断 M 为正极，N 为负极。因为金属杆 MN 的运动，自由电子受到沿金属杆方向的洛伦兹力（分力）f_1 的作用，f_1 充当非静电力。设自由电子的电荷量为 e，则有

$$f_1 = evB$$

在自由电子由 N 定向移动到 M 的过程中，f_1 做的功

$$W = f_1L = evBL$$

故导线 MN 切割磁感线产生的电动势

$$E = \frac{W}{e} = BLv$$

（3）当导体棒匀速运动时，其受到向右的恒定拉力和向左的安培力平衡，则

$$F_{拉}=IBL$$

拉力做功的功率

$$W_{拉}=F_{拉}v\Delta t=IBLv\Delta t$$

闭合电路消耗的总功率

$$W_{电}=EI\Delta t$$

根据能量的转化和守恒可知

$$W_{拉}=W_{电}$$

可得导体棒 MN 产生的感应电动势

$$E=BLv$$

（4）导体棒内的自由电子随导体棒向右匀速运动的速度为 v，受到的洛伦兹力大小为

$$f=evB$$

方向向下，电子在导体棒 MN 下端聚集，导体棒下端带负电，导体棒上端由于缺少电子而带正电，导体棒 MN 间产生电压，且电压随着自由电子向下移动而逐渐升高。设 MN 间产生电压为 U，则 MN 中的电场强度

$$E_0=\frac{U}{L}$$

导体棒中的自由电子将受到向上的电场力

$$F=E_0e=\frac{eU}{L}$$

当 $F=f$ 时，自由电子在沿导体棒 MN 的方向的受力达到平衡，由

$$\frac{eU}{L}=evB$$

可得稳定电压为

$$U=BLv$$

在内电阻为零时，路端电压等于电动势，因此动生电动势大小为

$$E=U=BLv$$