2022 北京西城高三二模

物　　理

2022.5

本试卷共 10 页，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，将本试卷和答题卡一并交回。

第一部分

本部分共 14 题，每题 3 分，共 42 分。在每题列出的四个选项中，选出最符合题目要求的一项。

1. 衰变是原子核的自发变化，科学家希望人工控制原子核的变化。卢瑟福用α粒子轰击氮（N）原子核，产生了氧（O）的一种同位素——氧 17，这是人类第一次实现的原子核的人工转变。这个核反应的方程是（　　）

A. ${}_{7}^{14}\mathrm{N}+{}_{1}^{3}\mathrm{H}\rightarrow{}_{8}^{16}\mathrm{O}+{}_{0}^{1}\mathrm{n}$

B. ${}_{7}^{14}\mathrm{N}+{}_{2}^{4}\mathrm{He}\rightarrow{}_{8}^{17}\mathrm{O}+{}_{1}^{1}\mathrm{H}$

C. ${}_{7}^{15}\mathrm{N}+{}_{1}^{2}\mathrm{H}\rightarrow{}_{8}^{17}\mathrm{O}$

D. ${}_{7}^{15}\mathrm{N}+{}_{2}^{4}\mathrm{He}\rightarrow{}_{8}^{18}\mathrm{O}+{}_{1}^{1}\mathrm{H}$

2. 使用蓝牙耳机可以接听手机来电，蓝牙通信的电磁波波段为$(2.4\sim2.48)\times10^{9}\mathrm{Hz}$。已知可见光的波段为$(3.9\sim7.5)\times10^{14}\mathrm{Hz}$，则蓝牙通信的电磁波（　　）

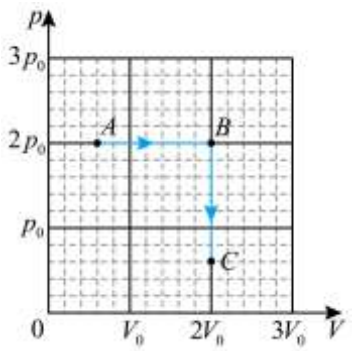
A. 是蓝光

B. 波长比可见光短

C. 比可见光更容易发生衍射现象

D. 在真空中的传播速度比可见光小

3. 如图所示，一定质量　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，A、B 和 C 三个状态的温度分别为T_A、T_B和T_C。下列说法正确的是（　　）



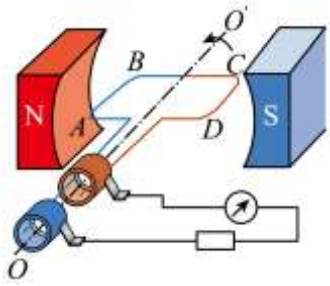
A. $T_A=T_B,\ T_B<T_C$

B. $T_A<T_B,T_B=T_C$

C. 状态 A 到状态 B 的过程中气体分子的平均动能增大

D. 状态 B 到状态 C 的过程中气体的内能增大

4. 如图为交流发电机的示意图，矩形线圈 $ABCD$ 在匀强磁场中绕垂直于磁场的轴OO'逆时针匀速转动，发电机的电动势随时间的变化规律为$e=20\sin100\pi t\mathrm{V}$。下列说法正确的是（　　）



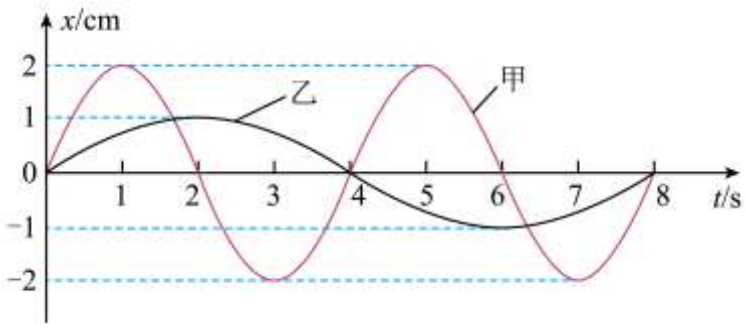
A. 此交流电的频率为100Hz

B. 此发电机电动势的有效值为20V

C. 当线圈平面转到图示位置时产生的电流方向为 *ABCD*

D. 当线圈平面转到图示位置时磁通量的变化率最大

5. 甲、乙两个单摆的振动图像如图所示，由图可知（　　）



A. $t=2\text{s}$ 时，甲的回复力为 0，乙的速度为 0　　B. t=4s 时，甲、乙的速度方向相同

C. 甲、乙两个摆的振幅之比是 4∶1　　D. 甲、乙两个摆的摆长之比是 2∶1

6. 2022 年 2 月 27 日，长征八号遥二运载火箭飞行试验在我国文昌航天发射场顺利实施，本次飞行试验搭载了 22 颗商业卫星，创造了中国航天一箭多星发射的新纪录。当人造地球卫星的轨道半径增大到原来的 2 倍时，下列说法正确的是（　　）

A. 根据公式 $v=\omega r$ 可知，卫星　线速度也增大到原来的 2 倍

B. 根据公式 $a=\dfrac{v^2}{r}$ 可知，卫星的向心加速度减小到原来的 $\dfrac{1}{2}$

C. 根据公式 $F=m\dfrac{v^2}{r}$ 可知，卫星的向心力减小到原来的 $\dfrac{1}{2}$

D. 根据公式 $F=G\dfrac{m_1m_2}{r^2}$ 可知，卫星的向心力减小到原来的 $\dfrac{1}{4}$

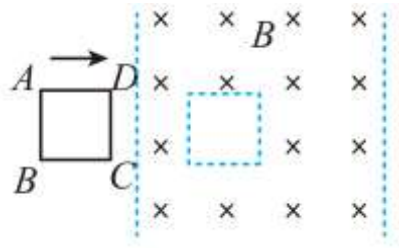
7. 双人花样滑冰比赛是一项极具观赏性的项目。比赛中，女运动员有时会被男运动员拉着离开冰面在空中做水平面内的匀速圆周运动，如图所示。通过目测估计男运动员的手臂与水平冰面的夹角约为 $45°$，女运动员与其身上的装备总质量约为 45kg，重力加速度 g 取 10m/s^2。仅根据以上信息，可估算（　　）



A. 女运动员旋转的向心加速度约为$10\mathrm{m/s^2}$　　B. 女运动员旋转的角速度约为$6.28\mathrm{rad/s}$

C. 男运动员对女运动员　拉力约为$450\mathrm{N}$　　D. 男运动员对冰面的压力约为$450\mathrm{N}$

8. 如图所示，单匝正方形金属线圈 $ABCD$ 在外力 F 作用下以速度 v 向右匀速进入匀强磁场，第二次又以速度 $2v$ 匀速进入同一匀强磁场，则（　　）



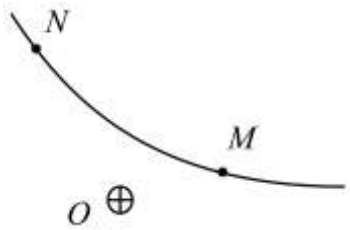
A. 两次产生的感应电流大小之比为 1∶4

B. 两次施加的外力 F 大小之比为 1∶4

C. 两次线圈中产生的热量之比为 1∶2

D. 两次线圈受外力 F 的冲量大小之比为 1∶2

9. 卢瑟福 α 粒子散射实验中，金箔中的原子核可以看作静止不动的点电荷。如图所示，某次实验中，高速运动的 α 粒子被位于 O 点的金原子核散射，实线表示 α 粒子运动的轨迹，M 和 N 为轨迹上的两点，N 点比 M 点离核远，则（　　）



A. α 粒子在 M 点的加速度比在 N 点的小

B. α 粒子在 M 点的速度比在 N 点的小

C. α 粒子在 M 点　电势能比在 N 点的小

D. α 粒子从 M 点运动到 N 点，电场力对它做的总功为负功

10. 如图所示，地铁站中设有步行楼梯和自动扶梯。步行楼梯每级的高度是$0.15\mathrm{m}$，自动扶梯与水平面的夹角为$30°$，自动扶梯前进的速度是$0.56\mathrm{m/s}$。两位体重相同的乘客分别从自动扶梯和步行楼梯的起点同时上楼，甲在匀速上行的自动扶梯上站立不动，乙在步行楼梯上以每秒上两个台阶的速度匀速上楼。则（　　）



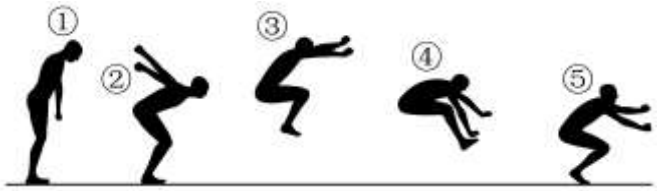
A. 甲先到达楼上

B. 上楼的过程中自动扶梯对甲的支持力大于重力

C. 上楼的过程中自动扶梯对甲的摩擦力做正功

D. 上楼的过程中甲克服重力做功的功率小于乙克服重力做功的功率

11. 一位同学在水平地面上做立定跳远，他从位置②起跳，到位置⑤落地，位置③是他在空中的最高点，在位置②和⑤时他的重心到地面的距离近似相等。以下说法正确的是（　　）



A. 在位置③，人　速度为 0

B. 从位置②到⑤，重力对人的冲量几乎为 0

C. 从位置②到⑤，重力做功几乎为 0

D. 在位置②起跳至离地的过程中，支持力的冲量与重力的冲量大小相等

12. 如图 1 所示，将线圈套在长玻璃管上，线圈的两端与电流传感器（可看作理想电流表）相连。将强磁铁从长玻璃管上端由静止释放，磁铁下落过程中将穿过线圈。实验观察到如图 2 所示的感应电流随时间变化的图像。下列说法正确的是（　　）

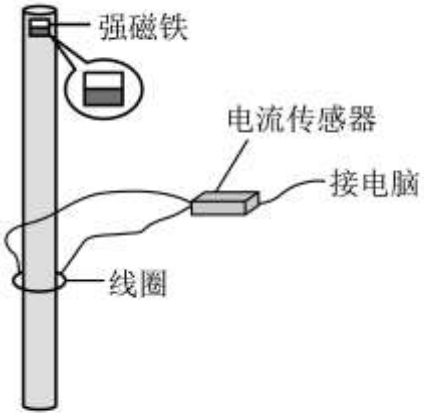


图1

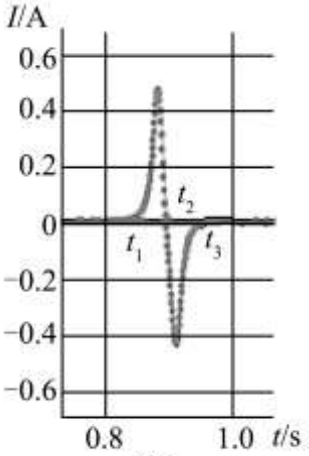


图2

A. $t_1 \sim t_3$时间内，磁铁受到线圈的作用力方向先向上后向下

B. 若将磁铁两极翻转后重复实验，将先产生负向感应电流，后产生正向感应电流

C. 若将线圈的匝数加倍，线圈中产生的电流峰值也将加倍

D. 若将线圈到玻璃管上端的距离加倍，线圈中产生的电流峰值也将加倍

13. 某同学想用一只半导体热敏电阻R_t制作一支能测量水温的温度计。他查阅资料获得了图 1 所示的该热敏电阻的$R-t$特性曲线，并设计了图 2 所示的温度计电路，图中$R_0=100\Omega$，电压表的量程是$0\sim3\text{V}$，电源电动势恒定，内阻可不计。他的制作目标是温度计的测量范围是$0\sim100℃$，且水温$100℃$时电压表指针偏转达到最大位置。则（　　）

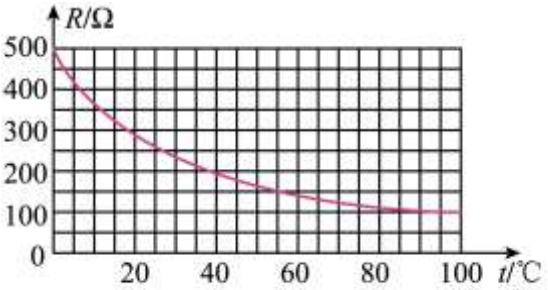


图1

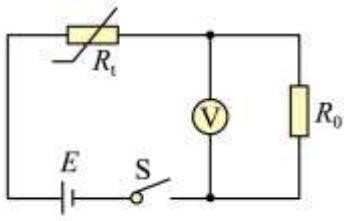


图2

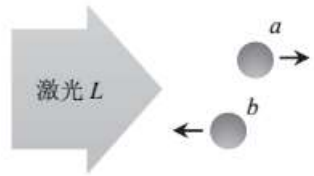
A. 电源的输出电压为3V

B. 水温越高，电压表的示数越小

C. 电压表的 0 刻度对应水温0℃

D. 水温55℃ 时电压表的示数为2.40V

14. 激光冷却是一种高新技术，利用该技术可以达到微开量级的低温，激光冷却目前已经在多个领域获得广泛应用。激光冷却的原理是，利用光子和原子的相互作用使原子运动减速，以获得超低温。如图所示，*a*、*b* 为两个相同的原子，运动方向相反。用一束激光 *L* 照射原子，由于多普勒效应，当原子迎着光束的方向运动时，其接收到的光子的频率会升高。当原子接收到的光的频率等于该原子的固有频率时，原子吸收光子的概率最大。原子吸收光子后由基态跃迁到激发态，随后原子又会自发跃迁回到基态，释放出频率等于其固有频率的光子。原子由激发态跃迁回基态的过程向各个方向释放光子的机会是均等的。结合所学知识，在激光冷却的过程中，判断下列说法正确的是（　　）



A. 若原子 *a* 吸收了激光束 *L* 中的光子，其速度将减小

B. 应使用频率比原子固有频率稍低的激光

C. 原子 *a* 和原子 *b* 吸收光子的概率是相同的

D. 原子 *a* 吸收光子的概率更高

第二部分

本部分共 6 题，共 58 分。

15. 某同学用传感器做“观察电容器的充放电”实验，采用的实验电路如图 1 所示。

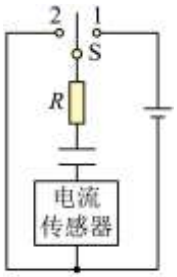
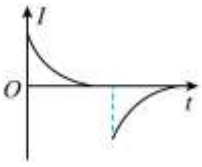
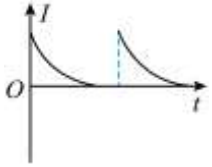


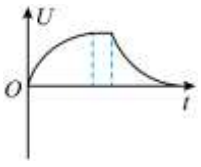
图1

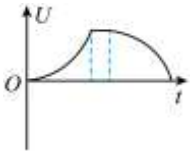
（1）将开关先与“1”端闭合，电容器进行_____（选填“充电”或“放电”），稍后再将开关与“2”端闭合。

在下列四个图像中，表示以上过程中，通过传感器的电流随时间变化的图像为_____，电容器两极板间的电压随时间变化的图像为_____。（填选项对应的字母）

A．

B．

C．

D．

（2）该同学用同一电路分别给两个不同的电容器充电，电容器的电容$C_1 < C_2$，充电时通过传感器的电流随时间变化的图像如图 2 中①②所示，其中对应电容为C_1的电容器充电过程$I-t$图像的是_____（选填①或②）。请说明你的判断依据_____。

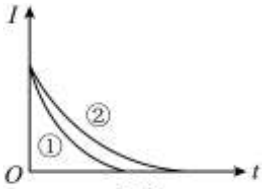


图2

16. 某同学做“探究平抛运动的特点”实验。

（1）该同学先用图 1 所示的器材进行实验。他用小锤打击弹性金属片，A 球就水平飞出，同时 B 球被松开，做自由落体运动，改变小球距地面的高度和打击小球的力度，多次重复实验，均可以观察到 A、B 两球同时落地。关于本实验，下列说法正确的是（　　）

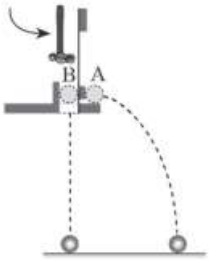


图 1

A．实验现象可以说明平抛运动在水平方向上是匀速直线运动

B．实验现象可以说明平抛运动在竖直方向上是自由落体运动

C．实验现象可以同时说明平抛运动在两个方向上的运动规律

（2）为了在（1）实验结论的基础上进一步研究平抛运动的规律，该同学用图 2 所示的器材继续进行实验，描绘出小球做平抛运动的轨迹。如图 3 所示，以小球的抛出点 O 为原点，水平方向为 x 轴，竖直方向为 y 轴建立坐标系。该同学在轨迹上测量出 A、B、C 三点的坐标分别为$\left(x_1, y_1\right)$、$\left(x_2, y_2\right)$和$\left(x_3, y_3\right)$。如果坐标满足_____关系，说明小球抛出后在 O、A、B、C 相邻两点间运动经历了相等的时间间隔。同时，如果坐标还满足_____关系，那么证明小球的水平分运动是匀速直线运动。

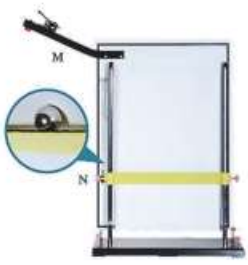


图 2

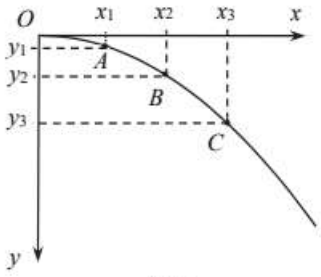


图 3

（3）某同学设计了一个探究平抛运动的家庭实验装置。如图 4 所示，在一个较高的塑料筒侧壁靠近底部的位置钻一个小孔，在小孔处沿水平方向固定一小段吸管作为出水口。将塑料筒放在距地面一定高度的水平桌面上，在筒中装入一定高度的水，水由出水口射出，落向地面，测量出水口到地面的高度 y 和水柱的水平射程 x。在实验测量的过程中，该同学发现测量水柱的水平射程 x 时，若测量读数太慢，x 的数值会变化。

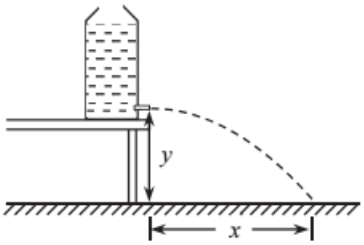


图 4

*a.*请分析水平射程 x 的数值变化的原因。（　　）

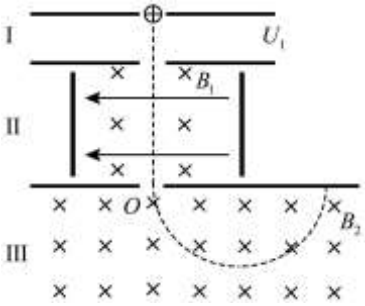
*b.*为了减小实验误差，应选用直径较大的容器，还是直径较小的容器？请说明判断依据。（　　）

17. 某一质谱仪原理如图所示，区域I为粒子加速器，加速电压为U_1；区域II为速度选择器，磁场与电场正交，磁感应强度为B_1，两板间距离为 d；区域III为偏转分离器，磁感应强度为B_2。今有一质量为 m、电荷量为 q 的正粒子（不计重力），经加速后，该粒子恰能通过速度选择器，粒子进入分离器后做匀速圆周运动。求：

（1）粒子离开加速器时的速度大小 v；

（2）速度选择器两板间的电压U_2；

（3）粒子在分离器中做匀速圆周运动的半径 R。



18. 碰撞是生活中常见的现象。在调平的气垫导轨上研究两个滑块的碰撞，让滑块 A 以某一速度与原来静止的滑块 B 发生碰撞，已知 A 的质量为$2m$，B 的质量为 m。

（1）如图 1 所示，若滑块 A 的右端、滑块 B 的左端均装有粘扣，碰后 A、B 将粘在一起运动。已知滑块 A 的初速度为v_0，求：

A．碰撞后 A、B 一起运动的速度大小 v；

B．碰撞过程中 A、B 组成的系统损失的机械能ΔE。

（2）如图 2 所示，若滑块 A 的右端、滑块 B 的左端均装有弹簧圈，碰后 A、B 将分开运动。请通过分析判断碰撞后 A、B 各自的运动方向。

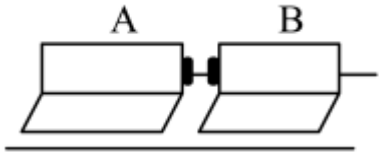


图1

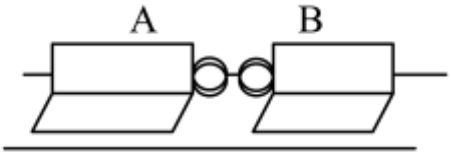


图2

19. 近年来，我国高速铁路迅速发展，已成为国家新名片。高铁动车组在制动过程中采用“再生制动”方式，将列车的动能转化为可再生利用的能量，有效降低能耗。一种再生利用的方式是将列车甲制动产生的电能，提供给同一电网下处于启动状态的列车乙。此过程可简化为如图所示的模型：固定在水平地面上的足够长的平行金属导轨，处于竖直方向的匀强磁场中；甲、乙是两根相同的金属棒，放在导轨上，与导轨良好接触，且始终与导轨保持垂直。已知磁场的磁感应强度大小为 B，导体棒质量均为 m，电阻均为 R，长度与导轨间距相等，均为 l；导体棒甲、乙在导轨上运动时，受到的摩擦阻力大小均为 f；$t=0$ 时，导体棒甲的速度大小为 v_0，方向向左，导体棒乙的速度为 0，不计导轨的电阻。

（1）当列车甲开始制动，即导体棒甲由速度 v_0 开始减速时，求导体棒乙获得的电磁牵引力的大小和方向。

（2）根据法拉第电磁感应定律 $E=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，证明在制动过程中，导体棒中的电流 i 与两导体棒的速度差 Δv 的关系为 $i=\dfrac{Bl\Delta v}{2R}$。

（3）已知当导体棒甲经过位移 x_1，速度从 v_0 减到 v_1 时，乙不能再加速，此时再生制动结束。为了求得这一过程中导体棒乙的位移 x_2，某同学的分析计算过程如下：

> 设当再生制动结束时导体棒乙的速度为 v_2
>
> 此时导体棒乙受到的安培力 $F_{安}$ 等于阻力 f，可得 $\dfrac{B^2l^2\left(v_1-v_2\right)}{2R}=f$ ①
>
> 由①式可解得 v_2
>
> 根据功能关系 $\dfrac{1}{2}mv_0^{\ 2}=\dfrac{1}{2}m\left(v_1^{\ 2}+v_2^{\ 2}\right)+f\left(x_1+x_2\right)$ ②
>
> 由②式可求得导体棒乙的位移 x_2

请你判断这位同学的解法是否正确，并说明理由。



20. 摆动是生活中常见的运动形式，秋千、钟摆的运动都是我们熟悉的摆动。摆的形状各异，却遵循着相似的规律。

（1）如图 1 所示，一个摆的摆长为 L，小球质量为 m，拉起小球使摆线与竖直方向夹角为 θ 时将小球由静止释放，忽略空气阻力。

a．求小球运动到最低点时绳对球的拉力的大小 F。

b．如图 2 所示，当小球运动到摆线与竖直方向夹角为 α（$\alpha<\theta$）时，求此时小球的角速度大小 ω_1。

（2）如图 3 所示，长为 L 的轻杆，一端可绕固定在 O 点的光滑轴承在竖直平面内转动，在距 O 点为 $\dfrac{L}{2}$ 和 L 处分别固定一个质量为 m、可看作质点的小球，忽略轻杆的质量和空气阻力。

a．将杆与小球组成的系统拉到与竖直方向成θ角的位置由静止释放，当系统向下运动到与竖直方向夹角为α（$\alpha<\theta$）时，求此时系统的角速度大小ω_2。

b．若θ较小，系统的运动可看作简谐运动，对比ω_2和ω_1的表达式，参照单摆的周期公式$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$，写出此系统做简谐运动的周期的表达式，并说明依据。

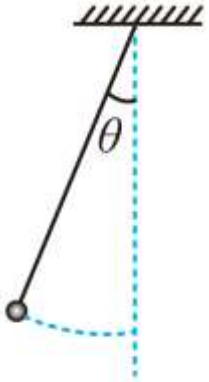


图1

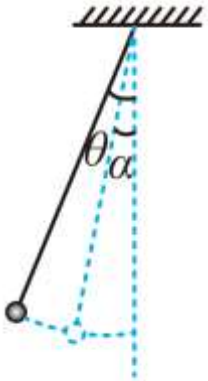


图2

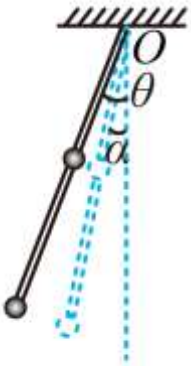


图3

参考答案

1. 衰变是原子核的自发变化，科学家希望人工控制原子核的变化。卢瑟福用α粒子轰击氮（N）原子核，产生了氧（O）的一种同位素——氧 17，这是人类第一次实现的原子核的人工转变。这个核反应的方程是（　　）

A. ${}_{7}^{14}\mathrm{N}+{}_{1}^{3}\mathrm{H}\rightarrow{}_{8}^{16}\mathrm{O}+{}_{0}^{1}\mathrm{n}$　　B. ${}_{7}^{14}\mathrm{N}+{}_{2}^{4}\mathrm{He}\rightarrow{}_{8}^{17}\mathrm{O}+{}_{1}^{1}\mathrm{H}$

C. ${}_{7}^{15}\mathrm{N}+{}_{1}^{2}\mathrm{H}\rightarrow{}_{8}^{17}\mathrm{O}$　　D. ${}_{7}^{15}\mathrm{N}+{}_{2}^{4}\mathrm{He}\rightarrow{}_{8}^{18}\mathrm{O}+{}_{1}^{1}\mathrm{H}$

【1 题答案】

【答案】B

【解析】

【详解】卢瑟福用α粒子即氦核，轰击氮（N）原子核，产生了氧（O）的一种同位素——氧 17，根据质量数守恒、电荷数守恒可知，这个核反应的方程是

${}_{7}^{14}\mathrm{N}+{}_{2}^{4}\mathrm{He}\rightarrow{}_{8}^{17}\mathrm{O}+{}_{1}^{1}\mathrm{H}$

故选 B。

2. 使用蓝牙耳机可以接听手机来电，蓝牙通信的电磁波波段为$(2.4\sim2.48)\times10^{9}\,\mathrm{Hz}$。已知可见光的波段为$(3.9\sim7.5)\times10^{14}\,\mathrm{Hz}$，则蓝牙通信的电磁波（　　）

A. 是蓝光　　B. 波长比可见光短

C. 比可见光更容易发生衍射现象　　D. 在真空中的传播速度比可见光小

【2 题答案】

【答案】C

【解析】

【详解】A．根据题意可知，蓝牙通信的电磁波频率小于可见光频率，所以蓝牙通信的电磁波不可能是蓝光，故 A 错误；

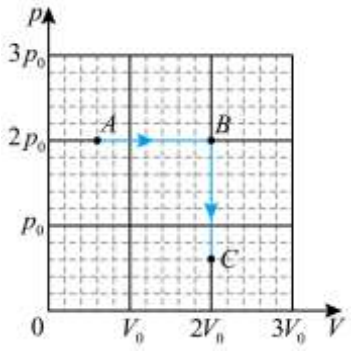
B．因为蓝牙通信的电磁波频率小于可见光频率，根据$c=\lambda f$可知，波长比可见光长，故 B 错误；

C．因为波长比可见光长，所以更容易发生衍射现象，故 C 正确；

D．所有电磁波在真空中传播速度都为光速，是一样的，故 D 错误。

故选 C。

3. 如图所示，一定质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*，*A*、*B* 和 *C* 三个状态的温度分别为T_A、T_B和T_C。下列说法正确的是（　　）



A. $T_A = T_B, T_B < T_C$

B. $T_A < T_B, T_B = T_C$

C. 状态 *A* 到状态 *B* 的过程中气体分子的平均动能增大

D. 状态 *B* 到状态 *C* 的过程中气体的内能增大

【3 题答案】

【答案】C

【解析】

【详解】AB．因 *AB* 两态压强相同，但是

$V_B > V_A$

根据

$\frac{pV}{T} = C$

可知

$T_A < T_B$

BC 两态体积相同，但是

$p_B > p_C$

则

$T_B > T_C$

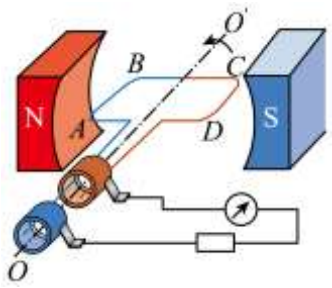
选项 AB 错误；

C．状态 *A* 到状态 *B* 的过程中气体温度升高，则气体分子的平均动能增大，选项 C 正确；

D．状态 *B* 到状态 *C* 的过程中气体的温度降低，则内能减小，选项 D 错误。

故选 C。

4. 如图为交流发电机的示意图，矩形线圈 $ABCD$ 在匀强磁场中绕垂直于磁场的轴 OO' 逆时针匀速转动，发电机的电动势随时间的变化规律为 $e = 20\sin 100\pi t\text{V}$ 。下列说法正确的是（　　）



A. 此交流电的频率为100Hz

B. 此发电机电动势　有效值为20V

C. 当线圈平面转到图示位置时产生的电流方向为 *ABCD*

D. 当线圈平面转到图示位置时磁通量的变化率最大

【4 题答案】

【答案】D

【解析】

【详解】A．此交流电的频率为

$$f=\frac{\omega}{2\pi}=50\text{Hz}$$

选项 A 错误；

B．此发电机电动势的有效值为

$$E=\frac{20\text{V}}{\sqrt{2}}=10\sqrt{2}\text{V}$$

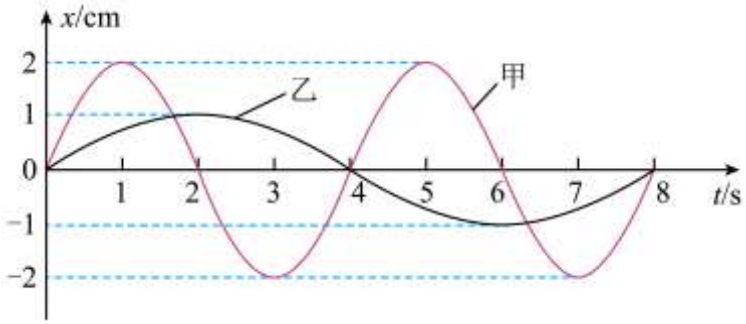
选项 B 错误；

C．由右手定则可知，当线圈平面转到图示位置时产生的电流方向为 *ADCBA*，选项 C 错误；

D．当线圈平面转到图示位置时磁通量为零，但是磁通量的变化率最大，选项 D 正确。

故选 D。

5. 甲、乙两个单摆的振动图像如图所示，由图可知（　　）



A. $t=2\text{s}$ 时，甲　回复力为 0，乙的速度为 0　　B. t=4s 时，甲、乙的速度方向相同

C. 甲、乙两个摆的振幅之比是 4∶1　　D. 甲、乙两个摆的摆长之比是 2∶1

【5 题答案】

【答案】A

【解析】

【详解】A．$t=2\text{s}$ 时，甲处在平衡位置，回复力为 0，乙处在最大位移处，速度为 0，故 A 正确；

B．图像斜率代表速度，t=4s 时，甲、乙的速度方向相反，故 B 错误；

C．根据图像可知，甲、乙两个摆的振幅之比是 2∶1，故 C 错误；

D．根据

$$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

解得

$$L=\frac{gT^2}{4\pi^2}$$

甲、乙两个摆的周期之比为 1:2，所以摆长之比为 1:4，故 D 错误。

故选 A。

6. 2022 年 2 月 27 日，长征八号遥二运载火箭飞行试验在我国文昌航天发射场顺利实施，本次飞行试验搭载了 22 颗商业卫星，创造了中国航天一箭多星发射的新纪录。当人造地球卫星的轨道半径增大到原来的 2 倍时，下列说法正确的是（　　）

A. 根据公式$v=\omega r$可知，卫星的线速度也增大到原来的 2 倍

B. 根据公式$a=\dfrac{v^2}{r}$可知，卫星的向心加速度减小到原来的$\dfrac{1}{2}$

C. 根据公式$F=m\dfrac{v^2}{r}$可知，卫星的向心力减小到原来的$\dfrac{1}{2}$

D. 根据公式$F=G\dfrac{m_1m_2}{r^2}$可知，卫星的向心力减小到原来的$\dfrac{1}{4}$

【6 题答案】

【答案】D

【解析】

【详解】根据

$$F=G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2r=ma$$

可得

$$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$$

$$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$$

$$a=\frac{GM}{r^2}$$

可知，当人造地球卫星的轨道半径增大到原来的 2 倍时，线速度变为原来的$\dfrac{\sqrt{2}}{2}$，向心加速度变为原来的$\dfrac{1}{4}$，向心力减小到原来的$\dfrac{1}{4}$。

故选 D。

7. 双人花样滑冰比赛是一项极具观赏性的项目。比赛中，女运动员有时会被男运动员拉着离开冰面在空中做水平面内的匀速圆周运动，如图所示。通过目测估计男运动员的手臂与水平冰面的夹角约为$45°$，女运动员与其身上的装备总质量约为45kg，重力加速度g取$10\text{m}/\text{s}^2$。仅根据以上信息，可估算（　　）



A. 女运动员旋转的向心加速度约为$10\text{m}/\text{s}^2$　　B. 女运动员旋转的角速度约为$6.28\text{rad}/\text{s}$

C. 男运动员对女运动员的拉力约为450N　　D. 男运动员对冰面的压力约为450N

【7 题答案】

【答案】A

【解析】

【详解】女运动员做圆锥摆运动，由对女运动员受力分析可知，受到重力、男运动员对女运动员的拉力，竖直方向合力为零，由

$F\sin 45°=mg$

解得

$$F=\sqrt{2}mg=450\sqrt{2}\text{N}$$

水平方向的合力提供匀速圆周运动的向心力，有

$F\cos 45°=ma_{向}$

解得

$a_{向}=g=10\text{m/s}^2$

假设角速度为$6.28rad/s$，则有

$$a=g=\omega^2 r$$

可得

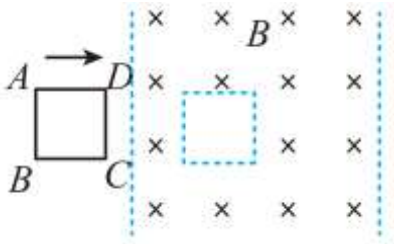
$$r=0.25m$$

转动半径过小与实际情况不符，对男演员受力分析可得

$$F_N=F\cos 45°+Mg=\left(450+Mg\right)N$$

故选 A

8. 如图所示，单匝正方形金属线圈 $ABCD$ 在外力 F 作用下以速度 v 向右匀速进入匀强磁场，第二次又以速度 $2v$ 匀速进入同一匀强磁场，则（　　）



A. 两次产生的感应电流大小之比为 1∶4

B. 两次施加的外力 F 大小之比为 1∶4

C. 两次线圈中产生的热量之比为 1∶2

D. 两次线圈受外力 F 的冲量大小之比为 1∶2

【8 题答案】

【答案】C

【解析】

【详解】A．设磁感应强度为 B，线圈的边长为 L，线圈电阻为 R。线圈进入磁场过程中，产生的感应电动势

$E=BLv$

感应电流

$$I=\frac{E}{R}=\frac{BLv}{R}$$

可知感应电流 I 与速度 v 成正比，第二次进入与第一次进入时线圈中电流之比等于速度之比，即

I_2：I_1=v：2v=1：2

故 A 错误；

B．线圈进入磁场时受到的安培力

$$F=BIL=\frac{B^2L^2v}{R}$$

线圈做匀速直线运动，由平衡条件得，外力

$$F_{外}=F=\frac{B^2L^2v}{R}$$

两次施加的外力 F 大小之比为 1:2，故 B 错误；

C．线圈进入磁场过程中产生的热量

$$Q=I^2Rt=(\frac{BLv}{R})^2R\cdot\frac{L}{v}=\frac{B^2L^3v}{R}$$

所以两次线圈中产生的热量之比为 1∶2，故 C 正确；

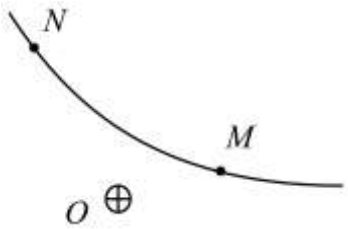
D．外力 F 的冲量大小

$$I=Ft=\frac{B^2L^2v}{R}\cdot\frac{L}{v}=\frac{B^2L^3}{R}$$

相同，所以两次线圈受外力 F 的冲量大小之比为 1:1，故 D 错误。

故选 C。

9. 卢瑟福α粒子散射实验中，金箔中的原子核可以看作静止不动的点电荷。如图所示，某次实验中，高速运动的α粒子被位于 O 点的金原子核散射，实线表示α粒子运动的轨迹，M 和 N 为轨迹上的两点，N 点比 M 点离核远，则（　　）



A. α粒子在 M 点的加速度比在 N 点的小

B. α粒子在 M 点的速度比在 N 点的小

C. α粒子在 M 点的电势能比在 N 点的小

D. α粒子从 M 点运动到 N 点，电场力对它做的总功为负功

【9 题答案】

【答案】B

【解析】

【详解】A．M 点离原子核更近，根据

$$F=k\frac{Qq}{r^2}$$

可知，在 M 点受库伦斥力更大，加速度更大，故 A 错误；

BC．离原子核越近，电势越大，根据

$$E_p=\varphi q$$

可知，α 粒子在 M 点的电势能比在 N 点的大，只有电场力做功，各点的动能与电势能的和保持不变。则 M 点的动能比在 N 点的小，即 M 点的速度比在 N 点的小，故 B 正确 C 错误；

D．α 粒子从 M 点运动到 N 点，速度增大，根据动能定理可知，电场力对它做的总功为正功，故 D 错误。

故选 B。

10. 如图所示，地铁站中设有步行楼梯和自动扶梯。步行楼梯每级的高度是 0.15m，自动扶梯与水平面的夹角为 $30°$，自动扶梯前进的速度是 0.56m/s。两位体重相同的乘客分别从自动扶梯和步行楼梯的起点同时上楼，甲在匀速上行的自动扶梯上站立不动，乙在步行楼梯上以每秒上两个台阶的速度匀速上楼。则（　　）



A. 甲先到达楼上

B. 上楼的过程中自动扶梯对甲的支持力大于重力

C. 上楼的过程中自动扶梯对甲的摩擦力做正功

D. 上楼的过程中甲克服重力做功的功率小于乙克服重力做功的功率

【10 题答案】

【答案】D

【解析】

【详解】A．乙上一个台阶需要的时间为 $t_{乙}$=0.5s；甲上一个台阶的高度需要的时间

$$t_{甲}=\frac{h}{\sin 30^{\circ}\cdot v}=\frac{0.15}{0.5\times 0.56}\text{s}=0.5375\text{s}$$

则乙先到达楼上，选项 A 错误；

B．上楼的过程中自动扶梯对甲的支持力为 mg，等于重力，选项 B 错误；

C．上楼的过程中甲只受重力和支持力作用，不受摩擦力作用，则该摩擦力不做功，选项 C 错误；

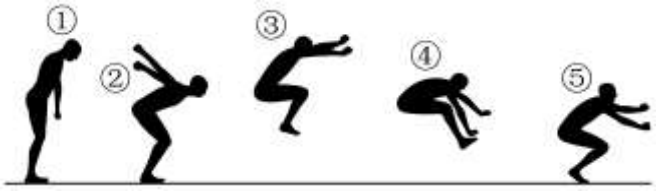
D．两人上升的高度相同，则根据

$$P_G=\frac{mgh}{t}$$

因 $t_{甲}>t_{乙}$可知，上楼的过程中甲克服重力做功的功率小于乙克服重力做功的功率，选项 D 正确。

故选 D。

11. 一位同学在水平地面上做立定跳远，他从位置②起跳，到位置⑤落地，位置③是他在空中的最高点，在位置②和⑤时他的重心到地面的距离近似相等。以下说法正确的是（　　）



A. 在位置③，人　速度为 0

B. 从位置②到⑤，重力对人的冲量几乎为 0

C. 从位置②到⑤，重力做功几乎为 0

D. 在位置②起跳至离地的过程中，支持力的冲量与重力的冲量大小相等

【11 题答案】

【答案】C

【解析】

【详解】A．人做斜抛运动，则在位置③时，人有水平速度，即人的速度不为 0，选项 A 错误；

B．从位置②到⑤，重力对人的作用时间不为零，根据

$I_G=mgt$

可知重力的冲量不为 0，选项 B 错误；

C．从位置②到⑤，人的重心高度几乎不变，则根据

$W_G=mgh$

可知，重力做功几乎为 0，选项 C 正确；

D．在位置②起跳至离地的过程中，人有了向上的速度，平均加速度向上，支持力大于重力，则支持力的冲量大小大于重力的冲量大小，选项 D 错误。

故选 C。

12. 如图 1 所示，将线圈套在长玻璃管上，线圈的两端与电流传感器（可看作理想电流表）相连。将强磁铁从长玻璃管上端由静止释放，磁铁下落过程中将穿过线圈。实验观察到如图 2 所示的感应电流随时间变化的图像。下列说法正确的是（　　）

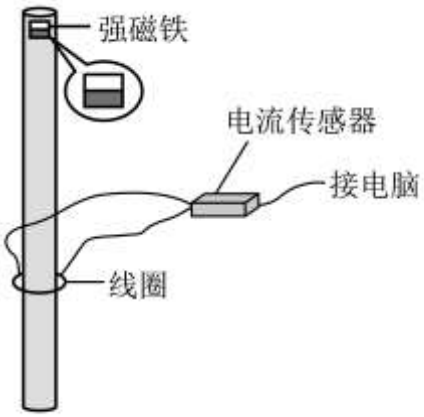


图1

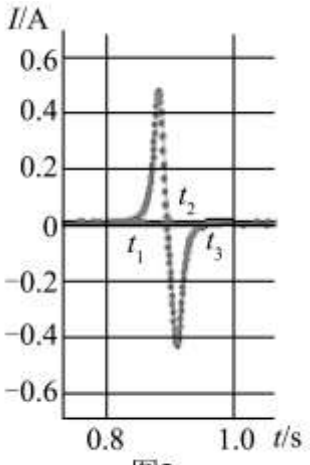


图2

A. $t_1 \sim t_3$ 时间内，磁铁受到线圈的作用力方向先向上后向下

B. 若将磁铁两极翻转后重复实验，将先产生负向感应电流，后产生正向感应电流

C. 若将线圈的匝数加倍，线圈中产生的电流峰值也将加倍

D. 若将线圈到玻璃管上端的距离加倍，线圈中产生的电流峰值也将加倍

【12 题答案】

【答案】B

【解析】

【详解】A．根据楞次定律的“来拒去留”可知，$t_1 \sim t_3$时间内，磁铁受到线圈的作用力方向一直向上，故 A 错误；

B．若将磁铁两极翻转后重复实验，则穿过圆环磁通量方向相反，根据楞次定律可知，将先产生负向感应电流，后产生正向感应电流，故 B 正确；

C．若将线圈的匝数加倍

$$E = N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\ ,\ I = \frac{E}{R}$$

因为电阻也加倍，线圈中产生的电流峰值不会加倍，故 C 错误；

D．若将线圈到玻璃管上端的距离加倍，如果没有磁场力

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

高度加倍，速度并非变为原来的 2 倍，实际中存在磁场力做负功，速度不是原来的 2 倍，则线圈中产生的电流峰值不会加倍，故 D 错误；

故选 B。

13. 某同学想用一只半导体热敏电阻R_t制作一支能测量水温的温度计。他查阅资料获得了图 1 所示的该热敏电阻的$R-t$特性曲线，并设计了图 2 所示的温度计电路，图中$R_0 = 100\Omega$，电压表的量程是$0 \sim 3\text{V}$，电源电动势恒定，内阻可不计。他的制作目标是温度计的测量范围是$0 \sim 100℃$，且水温$100℃$时电压表指针偏转达到最大位置。则（　　）

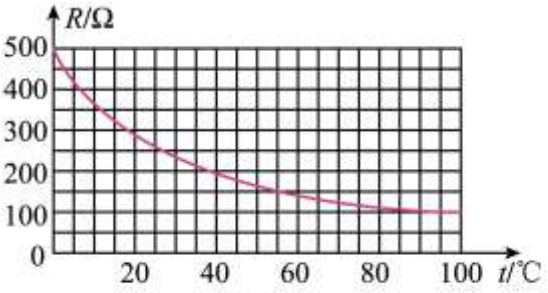


图1

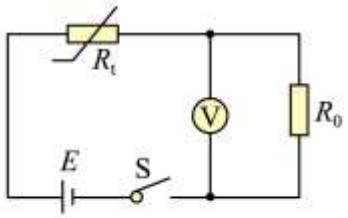


图2

A. 电源的输出电压为3V

B. 水温越高，电压表的示数越小

C. 电压表的 0 刻度对应水温$0℃$

D. 水温$55℃$时电压表的示数为2.40V

【13 题答案】

【答案】D

【解析】

【详解】A．根据图像可知，水温$100℃$时

$R_t = 100\Omega$

此时电压表指针偏转达到最大位置，即 3V，根据题意可知

$$U=\frac{E}{R_0+R_t}R_0$$

解得

$$E=6\text{V}$$

内阻不计，所以电源输出电压为 6V，故 A 错误；

B．根据

$$U=\frac{E}{R_0+R_t}R_0$$

可知，水温越高，热敏电阻阻值越小，电压表的示数越大，故 B 错误；

C．水温 $0℃$ 时

$$R_t=500\Omega$$

根据

$$U=\frac{E}{R_0+R_t}R_0=1\text{V}$$

故 C 错误；

D．水温 $55℃$ 时

$$R_t=150\Omega$$

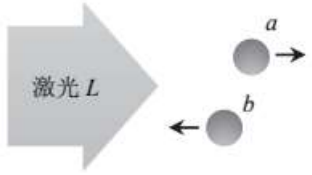
根据

$$U=\frac{E}{R_0+R_t}R_0=2.4\text{V}$$

故 D 正确。

故选 D。

14. 激光冷却是一种高新技术，利用该技术可以达到微开量级的低温，激光冷却目前已经在多个领域获得广泛应用。激光冷却的原理是，利用光子和原子的相互作用使原子运动减速，以获得超低温。如图所示，*a*、*b* 为两个相同的原子，运动方向相反。用一束激光 *L* 照射原子，由于多普勒效应，当原子迎着光束的方向运动时，其接收到的光子的频率会升高。当原子接收到的光的频率等于该原子的固有频率时，原子吸收光子的概率最大。原子吸收光子后由基态跃迁到激发态，随后原子又会自发跃迁回到基态，释放出频率等于其固有频率的光子。原子由激发态跃迁回基态的过程向各个方向释放光子的机会是均等的。结合所学知识，在激光冷却的过程中，判断下列说法正确的是（　　）



A. 若原子 *a* 吸收了激光束 *L* 中的光子，其速度将减小

B. 应使用频率比原子固有频率稍低的激光

C. 原子 *a* 和原子 *b* 吸收光子的概率是相同的

D. 原子 *a* 吸收光子的概率更高

【14题答案】

【答案】B

【解析】

【详解】A．原子 a 的速度方向与激光束 L 中的光子方向相同，则若原子 a 吸收了激光束 L 中的光子，其速度将增加，选项 A 错误；

BD．因当原子迎着光束的方向运动时，其接收到的光子的频率会升高，而当原子接收到的光的频率等于该原子的固有频率时，原子吸收光子的概率最大，可知应使用频率比原子固有频率稍低的激光；而由题目的条件不能判断哪个原子吸收光子的概率更大，选项 B 正确，D 错误；

C．原子 b 和原子 a 分别迎着光束的方向和背离光束的方向运动，根据多普勒效应，原子 b 接收到的光子的频率会升高，而原子 a 接收到的光子的频率会降低，两个原子的频率偏离固有频率的值不一定相同，则两个原子吸收光子的概率是不一定相同的，选项 C 错误；

故选 B。

第二部分

本部分共 6 题，共 58 分。

15. 某同学用传感器做“观察电容器的充放电”实验，采用的实验电路如图 1 所示。

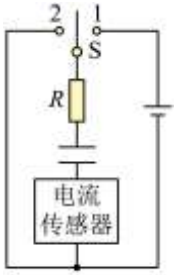
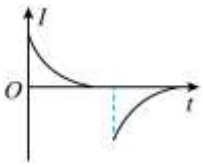
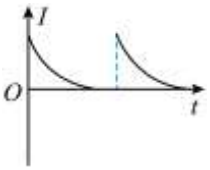


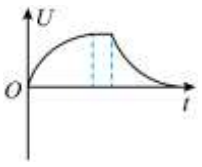
图1

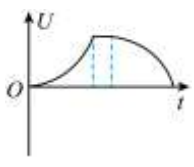
（1）将开关先与“1”端闭合，电容器进行_____（选填“充电”或“放电”），稍后再将开关与“2”端闭合。

在下列四个图像中，表示以上过程中，通过传感器的电流随时间变化的图像为_____，电容器两极板间的电压随时间变化的图像为_____。（填选项对应的字母）

A. 

B. 

C. 

D. 

（2）该同学用同一电路分别给两个不同的电容器充电，电容器的电容 $C_1 < C_2$，充电时通过传感器的电流随时间变化的图像如图 2 中①②所示，其中对应电容为 C_1 的电容器充电过程 $I-t$ 图像的是_____（选填①或②）。请说明你的判断依据_____。

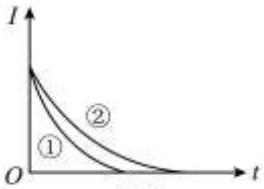


图2

【15题答案】

【答案】 ①. 充电 ②. A ③. C ④. ① ⑤. 见解析

【解析】

【详解】（1）[1][2][3]将开关先与“1”端闭合，电容器与电源相连，进行充电。稍后再将开关与“2”端闭合。电容器放电，充电电流与放电电流方向相反，且电流均逐渐变小，故传感器的电流随时间变化的图像为 A。充电过程，电压逐渐增大，且增大的越来越慢，放电过程电压逐渐变小，减小的越来越慢，故电压随时间变化的图像为 C。

（2）[4][5]用同一电路分别给两个不同的电容器充电，电容器的电容$C_1 < C_2$，则充电完成后，两电容器两端电压相同，根据$Q = CU$ 可知，电容器 1 带电量小，而 *I-t* 图像面积代表带电量，所以对应电容为C_1的电容器充电过程 $I - t$ 图像的是①。

16. 某同学做“探究平抛运动的特点”实验。

（1）该同学先用图 1 所示的器材进行实验。他用小锤打击弹性金属片，A 球就水平飞出，同时 B 球被松开，做自由落体运动，改变小球距地面的高度和打击小球的力度，多次重复实验，均可以观察到 A、B 两球同时落地。关于本实验，下列说法正确的是（　　）

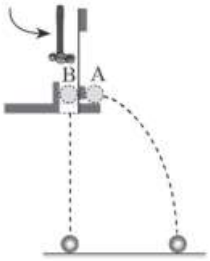


图 1

A．实验现象可以说明平抛运动在水平方向上是匀速直线运动

B．实验现象可以说明平抛运动在竖直方向上是自由落体运动

C．实验现象可以同时说明平抛运动在两个方向上的运动规律

（2）为了在（1）实验结论的基础上进一步研究平抛运动的规律，该同学用图 2 所示的器材继续进行实验，描绘出小球做平抛运动的轨迹。如图 3 所示，以小球的抛出点 *O* 为原点，水平方向为 *x* 轴，竖直方向为 *y* 轴建立坐标系。该同学在轨迹上测量出 *A*、*B*、*C* 三点的坐标分别为$\left(x_1, y_1\right)$、$\left(x_2, y_2\right)$和$\left(x_3, y_3\right)$。如果坐标满足_____关系，说明小球抛出后在 *O*、*A*、*B*、*C* 相邻两点间运动经历了相等的时间间隔。同时，如果坐标还满足_____关系，那么证明小球的水平分运动是匀速直线运动。

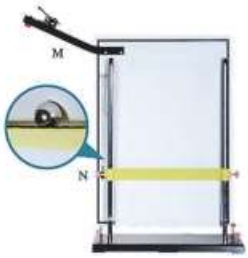


图 2

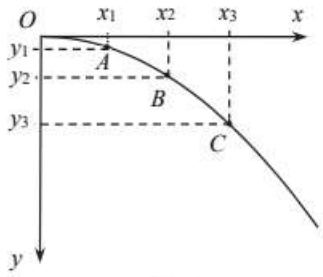


图 3

（3）某同学设计了一个探究平抛运动的家庭实验装置。如图 4 所示，在一个较高的塑料筒侧壁靠近底部的位置钻一个小孔，在小孔处沿水平方向固定一小段吸管作为出水口。将塑料筒放在距地面一定高度的水平桌面上，在筒中装入一定高度的水，水由出水口射出，落向地面，测量出水口到地面的高度 *y* 和水柱的水平射程 *x*。在实验测量的过程中，该同学发现测量水柱的水平射程 *x* 时，若测量读数太慢，*x* 的数值会变化。

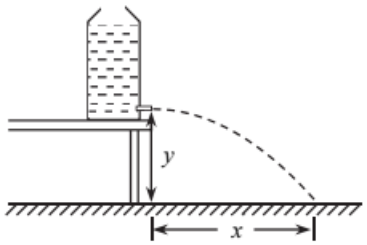


图 4

a.请分析水平射程 *x* 的数值变化的原因。（　　）

b.为了减小实验误差，应选用直径较大的容器，还是直径较小的容器？请说明判断依据。（　　）

【16 题答案】

【答案】　①. B　②. $y_3 = 3(y_2 - y_1)$　③. $x_3 + x_1 = 2x_2$　④. 见解析　⑤. 用直径较大的容器

【解析】

【详解】（1）[1]观察到 A、B 两球同时落地，说明两球在竖直方向的运动完全相同，即可以说明平抛运动在竖直方向上是自由落体运动；故选 B。

（2）[2][3]小球抛出后在 *O*、*A*、*B*、*C* 点若时间间隔相等，则需满足

$$\Delta y = gT^2$$

即满足

$$(y_3 - y_2) - (y_2 - y_1) = (y_2 - y_1) - y_1$$

即

$$y_3 = 3(y_2 - y_1)$$

如果小球的水平分运动是匀速直线运动，则还满足

$$x_3 - x_2 = x_2 - x_1$$

即

$$x_3 + x_1 = 2x_2$$

（3）a. [4]若测量读数太慢，则随着水的不断流出，则水从管口流出的速度会不断减小，则在竖直高度不变的情况下，水流的射程会减小，即 *x* 减小。

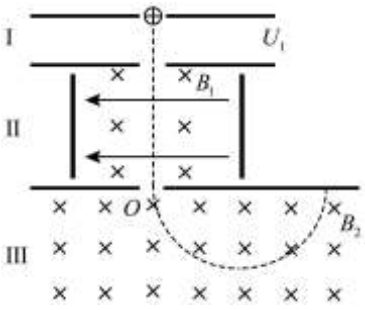
b.[5]为了减小实验误差，应选用直径较大的容器；因用直径较大的容器时，当管中流出同样多的水时，容器中液面下落的高度较小，则对管口水流的速度影响较小。

17. 某一质谱仪原理如图所示，区域I为粒子加速器，加速电压为U_1；区域II为速度选择器，磁场与电场正交，磁感应强度为B_1，两板间距离为 *d*；区域III为偏转分离器，磁感应强度为B_2。今有一质量为 *m*、电荷量为 *q* 的正粒子（不计重力），经加速后，该粒子恰能通过速度选择器，粒子进入分离器后做匀速圆周运动。求：

（1）粒子离开加速器时的速度大小 *v*；

（2）速度选择器两板间的电压U_2；

（3）粒子在分离器中做匀速圆周运动的半径 *R*。



【17 题答案】

【答案】（1）$v=\sqrt{\dfrac{2qU_1}{m}}$；（2）$U_2=B_1d\sqrt{\dfrac{2qU_1}{m}}$；（3）$R=\dfrac{1}{B_2}\sqrt{\dfrac{2U_1m}{q}}$

【解析】

【详解】（1）粒子加速过程根据动能定理，则有

$$qU_1=\frac{1}{2}mv^2$$

解得

$$v=\sqrt{\frac{2qU_1}{m}}$$

（2）粒子经过速度选择器过程受力平衡，则有

$$\frac{qU_2}{d}=qvB_1$$

解得

$$U_2=B_1d\sqrt{\frac{2qU_1}{m}}$$

（3）粒子在分离器中做匀速圆周运动，根据牛顿第二定律，则有

$$qvB_2=m\frac{v^2}{R}$$

解得

$$R=\frac{1}{B_2}\sqrt{\frac{2U_1m}{q}}$$

18. 碰撞是生活中常见的现象。在调平的气垫导轨上研究两个滑块的碰撞，让滑块 A 以某一速度与原来静止的滑块 B 发生碰撞，已知 A 的质量为 $2m$，B 的质量为 m。

（1）如图 1 所示，若滑块 A 的右端、滑块 B 的左端均装有粘扣，碰后 A、B 将粘在一起运动。已知滑块 A 的初速度为 v_0，求：

A．碰撞后 A、B 一起运动的速度大小 v；

B．碰撞过程中 A、B 组成　系统损失的机械能 ΔE 。

（2）如图 2 所示，若滑块 A 的右端、滑块 B 的左端均装有弹簧圈，碰后 A、B 将分开运动。请通过分析判断碰撞后 A、B 各自的运动方向。

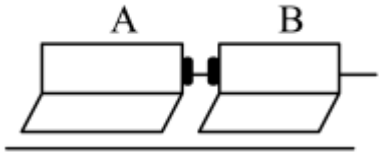


图1

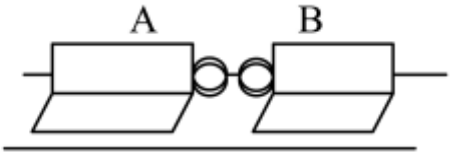


图2

【18题答案】

【答案】（1）A．$v=\frac{2}{3}v_0$；B．$\Delta E=\frac{1}{3}mv_0^2$；（2）见解析。

【解析】

【详解】（1）A．两滑块碰撞过程系统动量守恒，设碰撞后两滑块的共同速度为v，以向右为正方向，由动量守恒定律得

$$2mv_0=(2m+m)v$$

解得

$$v=\frac{2}{3}v_0$$

B．设碰撞过程损失的机械能为△E，由能量守恒定律得

$$\frac{1}{2}\cdot 2mv_0^2=\frac{1}{2}(2m+m)v^2+\Delta E$$

解得

$$\Delta E=\frac{1}{3}mv_0^2$$

（2）若滑块A的右端、滑块B的左端均装有弹簧圈，则碰撞为弹性碰撞

$$2mv_0=2mv_1+mv_2$$

$$\frac{1}{2}\times 2mv_0^2=\frac{1}{2}\times 2mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2$$

解得碰后A的速度

$$v_1=\frac{1}{3}v_0$$

B的速度

$$v_2=\frac{4}{3}v_0$$

碰后A、B速度方向均与v_0方向相同。

19. 近年来，我国高速铁路迅速发展，已成为国家新名片。高铁动车组在制动过程中采用“再生制动”方式，将列车的动能转化为可再生利用的能量，有效降低能耗。一种再生利用的方式是将列车甲制动产生的电能，提供给同一电网下处于启动状态的列车乙。此过程可简化为如图所示的模型：固定在水平地面上的足够长的平行金属导轨，处于竖直方向的匀强磁场中；甲、乙是两根相同的金属棒，放在导轨上，与导轨良好接触，且始终与导轨保持垂直。已知磁场的磁感应强度大小为B，导体棒质量均为m，电阻均为R，长度与导轨间距相等，均为l；导体棒甲、乙在导

轨上运动时，受到的摩擦阻力大小均为 f；$t=0$ 时，导体棒甲的速度大小为 v_0，方向向左，导体棒乙的速度为 0，不计导轨的电阻。

（1）当列车甲开始制动，即导体棒甲由速度 v_0 开始减速时，求导体棒乙获得的电磁牵引力的大小和方向。

（2）根据法拉第电磁感应定律 $E=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，证明在制动过程中，导体棒中的电流 i 与两导体棒的速度差 Δv 的关系为 $i=\dfrac{Bl\Delta v}{2R}$。

（3）已知当导体棒甲经过位移 x_1，速度从 v_0 减到 v_1 时，乙不能再加速，此时再生制动结束。为了求得这一过程中导体棒乙的位移 x_2，某同学的分析计算过程如下：

> 设当再生制动结束时导体棒乙的速度为 v_2
>
> 此时导体棒乙受到的安培力 $F_{安}$ 等于阻力 f，可得 $\dfrac{B^2l^2\left(v_1-v_2\right)}{2R}=f$ ①
>
> 由①式可解得 v_2
>
> 根据功能关系 $\dfrac{1}{2}mv_0^{\ 2}=\dfrac{1}{2}m\left(v_1^{\ 2}+v_2^{\ 2}\right)+f\left(x_1+x_2\right)$ ②
>
> 由②式可求得导体棒乙的位移 x_2

请你判断这位同学的解法是否正确，并说明理由。



【19 题答案】

【答案】（1）$F=\dfrac{B^2l^2v_0}{2R}$；方向与 v_0 方向相同；（2）见解析；（3）见解析；

【解析】

【详解】（1）导体棒甲产生的感应电动势

$E_0=Blv_0$

回路的电流

$$I=\frac{E_0}{2R}$$

导体棒乙受到的电磁牵引力

$$F=BIl$$

解得

$$F=\frac{B^2l^2v_0}{2R}$$

方向与 v_0 方向相同；

（2）若两导体棒的速度差Δv，则在时间Δt内磁通量的变化量

$$\Delta\Phi=Bl\Delta v\Delta t$$

根据

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

可得

$$E=Bl\Delta v$$

感应电流

$$i=\frac{E}{2R}=\frac{Bl\Delta v}{2R}$$

（3）对整个系统由能量守恒定律可知，整个过程中，甲车的动能减小量一部分转化为乙的动能，一部分要克服两车的阻力做功，还有一部分转化为整个回路的焦耳热，则能量关系式②是错误的。

20. 摆动是生活中常见的运动形式，秋千、钟摆的运动都是我们熟悉的摆动。摆的形状各异，却遵循着相似的规律。

（1）如图 1 所示，一个摆的摆长为L，小球质量为m，拉起小球使摆线与竖直方向夹角为θ时将小球由静止释放，忽略空气阻力。

a．求小球运动到最低点时绳对球的拉力的大小F。

b．如图 2 所示，当小球运动到摆线与竖直方向夹角为α（$\alpha<\theta$）时，求此时小球的角速度大小ω_1。

（2）如图 3 所示，长为L的轻杆，一端可绕固定在O点的光滑轴承在竖直平面内转动，在距O点为$\frac{L}{2}$和L处分别固定一个质量为m、可看作质点的小球，忽略轻杆的质量和空气阻力。

a．将杆与小球组成的系统拉到与竖直方向成θ角的位置由静止释放，当系统向下运动到与竖直方向夹角为α（$\alpha<\theta$）时，求此时系统的角速度大小ω_2。

b．若θ较小，系统的运动可看作简谐运动，对比ω_2和ω_1的表达式，参照单摆的周期公式$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$，写出此系统做简谐运动的周期的表达式，并说明依据。

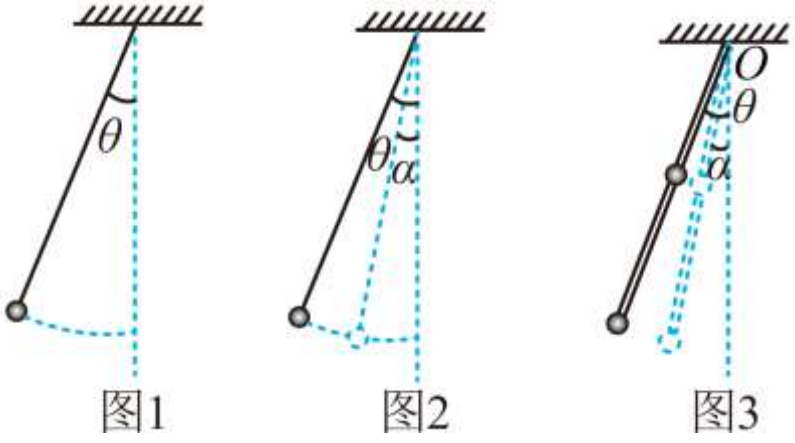


图1　图2　图3

【20 题答案】

【答案】（1）a．$mg(3-2\cos\theta)$，b．$\sqrt{\frac{2g(\cos\alpha-\cos\theta)}{L}}$；（2）a．$\sqrt{\frac{12g(\cos\alpha-\cos\theta)}{5L}}$，

b．$T'=2\pi\sqrt{\frac{5L}{6g}}$，依据见解析

【解析】

【详解】（1）a．根据机械能守恒定律可得

$$mgL(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv^2$$

在最低点根据牛顿第二定律

$$F-mg=m\frac{v^2}{L}$$

解得

$$F=mg(3-2\cos\theta)$$

b．根据机械能守恒定律可得

$$mgL(\cos\alpha-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_1^2$$

角速度为

$$\omega_1=\frac{v_1}{L}$$

联立解得

$$\omega_1=\sqrt{\frac{2g(\cos\alpha-\cos\theta)}{L}}$$

（2）a．根据机械能守恒定律可得

$$mgL(\cos\alpha-\cos\theta)+mg\cdot\frac{L}{2}(\cos\alpha-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_2^2+\frac{1}{2}mv_2'^2$$

其中

$$v_2=\omega_2 L，\ v_2'=\omega_2\frac{L}{2}$$

代入解得

$$\omega_2=\sqrt{\frac{12g(\cos\alpha-\cos\theta)}{5L}}$$

b．此系统做简谐运动的周期为

$$T'=2\pi\sqrt{\frac{5L}{6g}}$$

对比ω_2和ω_1的表达式可得

$$\frac{\omega_2}{\omega_1}=\sqrt{\frac{6}{5}}$$

α 可以表示系统运动过程中的任意位置对应的角度，可知两个系统在运动过程中任意位置的角速度大小均满足

$$\frac{\omega_2}{\omega_1}=\sqrt{\frac{6}{5}}$$

因此

$$\frac{T'}{T}=\sqrt{\frac{5}{6}}$$

可得

$$T'=\sqrt{\frac{5}{6}}T=2\pi\sqrt{\frac{5L}{6g}}$$