2021 北京昌平高三二模

物　　理

2021．5

本试卷共 10 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 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．驾车从天安门到北京大学东门，手机导航软件提供了三条推荐路线，如图 1 所示。下列说法正确的是



图 1

A．三条路线的路程相同

B．三条路线的位移相同

C．三条路线的平均速度相同

D．“距离最短”路线的平均速度最大

2．下列与热现象有关的说法中，正确的是

A．布朗运动是液体分子的无规则运动

B．扩散现象说明分子在永不停息地做无规则运动

C．两个分子间距离减小时，分子间的引力减小，斥力增大

D．压缩气体时气体会表现出抗拒压缩的力是由于气体分子间存在斥力的缘故

3．“4G 改变生活，5G 改变社会”。5G 网络使用的无线电通信频率是在 3.0GHz 以上的超高频段和极高频段，比 4G 网络（无线电通信频率在 1.8GHz～2.7GHz 之间）通信拥有更大的带宽，相同时间传递的信息量更大。下列说法正确的是

A．5G 信号和 4G 信号都是横波

B．5G 信号比 4G 信号波长更长

C．5G 信号比 4G 信号传播速度更快

D．5G 信号比 4G 信号更容易绕过障碍物，便于远距离传播

4．1932 年，考克饶夫特和瓦尔顿在卡文迪许实验室开发制造了第一台粒子加速器——Cockroft-Walton 加速器。他们将质子加速到 0.5MeV 的能量去撞击静止的原子核 X，得到两个动能均为 8.9MeV 的氦核，这是历史上第一次用人工加速粒子实现的核反应。下列说法正确的是

A．X 是 $^{6}_{3}\mathrm{Li}$

B．X 由 3 个质子、7 个中子组成

C．上述核反应属于 α 衰变

D．上述核反应中出现了质量亏损

5．如图 2 所示为一列沿 x 轴正方向传播的简谐横波在某时刻的波形图，P、Q、R、S 是波形上的四个质点，其中速度为正、加速度为负的质点是

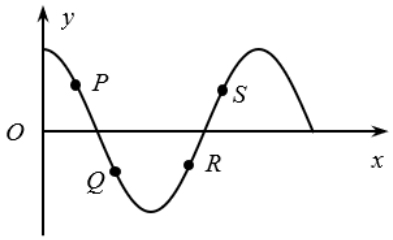


图 2

A．P　　B．Q　　C．R　　D．S

6．将一定质量的理想气体缓慢压缩，压缩过程中温度保持不变。下列说法正确的是

A．气体分子的平均动能减小　　B．气体与外界无热交换

C．气体的压强不变　　D．气体的内能不变

7．明代学者方以智在《阳燧倒影》中记载：“凡宝石面凸，则光成一条，有数棱则必有一面五色”，表明白光通过多棱晶体折射会发生色散现象。如图 3 所示，一束复色光通过三棱镜后形成 a、b 两束单色光，下列说法正确的是

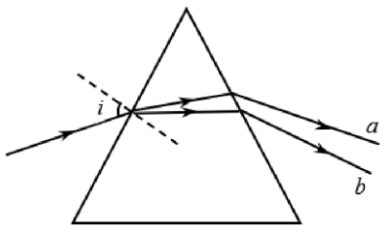


图 3

A．a 光的折射率较大

B．在三棱镜中 a 光的速度较小

C．在三棱镜中 a 光的波长较长

D．a 光的光子能量较大

8．如图 4 所示，一交变电流通过理想变压器变压后对用电器 R_L 供电，该用电器正常工作。已知交变电流的电压随时间变化关系为 $u=1220\sqrt{2}\sin 100\pi t$（V），副线圈与用电器之间导线的总电阻 $r=6\Omega$，用电器铭牌上标有“220V，880W” 字样。下列说法正确的是

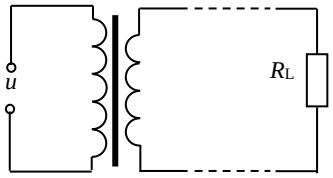


图 4

A．交变电压的频率为 100Hz

B．变压器的输入功率为 880W

C．原线圈中电流的有效值为 12.5A

D．原、副线圈的匝数比为 5∶1

9．2021 年 2 月 10 日，天问一号火星探测器被火星捕获，成功实现火星环绕，经过系列变轨后从调相轨道进入停泊轨道，为着陆火星做准备，如图 5 所示。下列说法正确的是

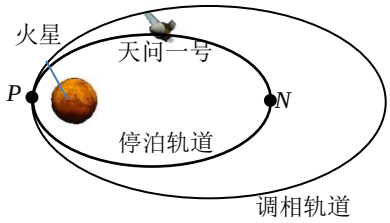


图 5

A．天问一号从调相轨道进入停泊轨道时需在 P 点处加速

B．天问一号在停泊轨道上 P 点的加速度比在 N 点小

C．天问一号在停泊轨道上运动过程中，经过 P 点时的线速度比 N 点小

D．天问一号在停泊轨道上运行周期比在调相轨道上小

10．如图 6 所示，排球比赛中运动员将排球从 M 点水平击出，排球飞到 P 点时，被对方运动员垫起，球又斜向上飞出后落到 M 点正下方的 N 点。已知 N 点与 P 点等高，轨迹的最高点 Q 与 M 等高。不计空气阻力。下列说法正确的是

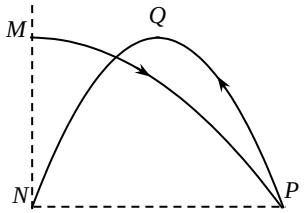


图 6

A．排球两次飞行过程中经历的时间相同

B．排球到达 P 点时的速率比离开 P 点时的速率大

C．排球在 M 点的速率与经过 Q 点的速率相等

D．排球两次飞行过程中重力对排球做的功相等

11．如图 7 所示，三个完全相同的弹簧振子，分别固定在光滑水平面上、竖直天花板上、倾角为 θ 的光滑斜面上。现将三个物块拉离各自的平衡位置由静止释放，物块做简谐振动。下列说法正确的是

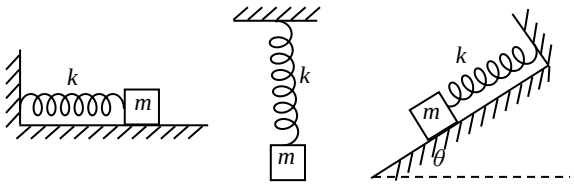


图 7

A．振幅一定相同

B．最大回复力一定相同

C．振动的周期一定相同

D．振动系统的能量一定相同

12．图 8 为给电容器充电的实验电路图。电源电动势为 E、内阻不计；电容器的电容为 C，灯泡的电阻为 R。将开关闭合，给电容器充电，用 q 表示电容器左侧极板上的电荷量、用 i 表示电路中的电流、用 u_C 表示电容器极板间的电压、用 u_R 表示灯泡两端的电压。图 9 中描述充电过程中上述物理量随时间的变化规律，正确的是

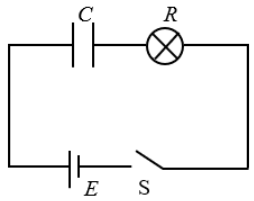


图 8

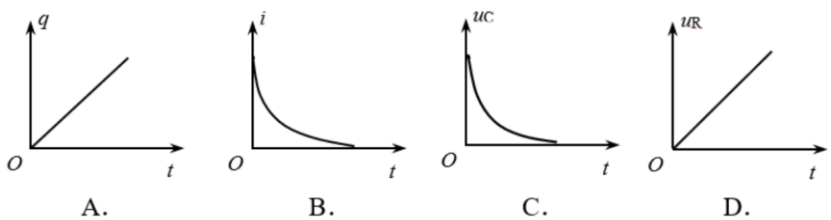


图 9

13．当交变电流通过导体时，由于交变电流激发的交变磁场会在导体内部引起涡流，电流在导体横截面上的分布不再是均匀的，这时电流将主要地集中到导体表面，这种效应称为趋肤效应。电流的频率越高，趋肤效应越明显。下列说法不正确的是

A．趋肤效应等效于导线的横截面减小，电阻增大

B．利用趋肤效应，在高频电路中可用空心铜导线代替实心铜导线以节约铜材

C．在高频高压交流输电线中心部分改用抗拉强度大、电阻率大的钢丝会增加热损耗

D．在高频电路中使用多股相互绝缘细导线编织成束来代替同样截面积的粗导线可减小趋肤效应

14．电梯、汽车等交通工具在加速时会使乘客产生不适感，其中不适感的程度可用“急动度”来描述。急动度是描述加速度变化快慢的物理量，即 $j=\frac{\Delta a}{\Delta t}$。汽车工程师用急动度作为评判乘客不舒适程度的指标，按照这一指标，具有零急动度的乘客，感觉较舒适。图 10 为某汽车加速过程的急动度 J 随时间 t 的变化规律。下列说法正确是

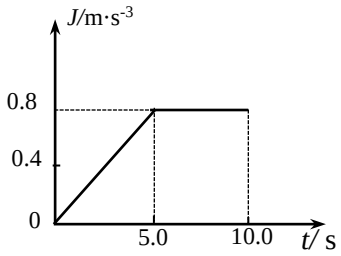


图 10

A．在 0～5.0s 时间内，汽车做匀加速直线运动

B．在 5.0～10.0s 时间内，汽车做匀加速直线运动

C．在 0～5.0s 时间内，汽车加速度的变化量大小为 2.0m/s^2

D．在 5.0～10.0s 时间内，乘客感觉较舒适

第二部分　　非选择题（共 58 分）

15．（9 分）

在“验证机械能守恒定律”实验中，

（1）甲同学采用让重物自由下落的方法验证机械能守恒，实验装置如图 11 所示。该同学从打出的纸带中选出一条理想的纸带，如图 12 所示。选取纸带上连续打出的三个点 A、B、C，测得它们到起始点 O 的距离分别为 h_1、h_2、h_3。已知重锤的质量为 m，打点计时器所接交流电的频率为 f，当地的重力加速度为 g。从起始点 O 开始到打下 B 点的过程中，重锤重力势能的减小量ΔE_{P}＝_____，重锤动能的增加量ΔE_{k}＝_____。在误差允许的范围内，如果$\Delta E_{\mathrm{P}}=\Delta E_{\mathrm{k}}$，则可验证机械能守恒。

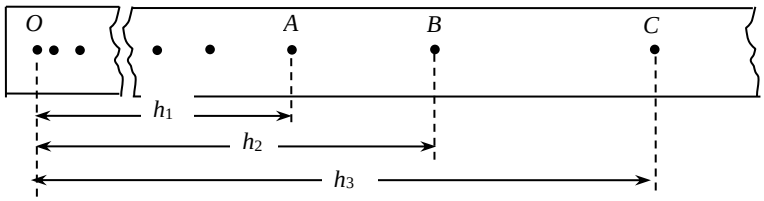


图 12

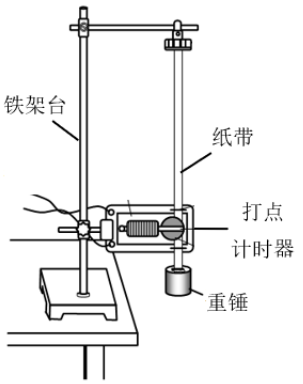


图 11

（2）乙同学利用气垫导轨和光电门等器材验证机械能守恒，实验装置如图 13 所示。实验前，将气垫导轨调至水平，滑块通过细线与托盘和砝码相连。开启气泵，待出气稳定后将滑块从图示位置由静止释放，读出挡光条通过光电门的挡光时间为 t。已知刚释放时挡光条到光电门的距离为 l，挡光条的宽度为 d，托盘和砝码的总质量为 m，滑块和挡光条的总质量为 M，当地的重力加速度为 g。在滑块从静止释放到运动到光电门的过程中，系统重力势能的减少量ΔE_{P}＝_____；系统动能的增加量ΔE_{k}＝_____。在误差允许的范围内，如果$\Delta E_{\mathrm{P}}=\Delta E_{\mathrm{k}}$，则可验证系统的机械能守恒。

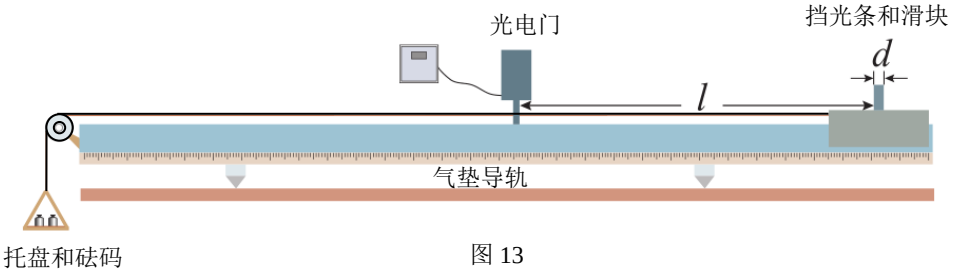


图 13

16. （9 分）

在“测量电源的电动势和内阻”实验中，

（1）甲同学将一电压表与干电池两极直接相连，此时电压表的示数为 U。该干电池的电动势的真实值用 E 表示，若忽略偶然误差，则 U_____E（选填“＞”“＜”或“＝”）

（2）乙同学利用电流表和电压表测定一节干电池的电动势和内阻，实验电路图如图 14 所示。他根据记录的数据作出的 U–I 图像如图 15 所示。

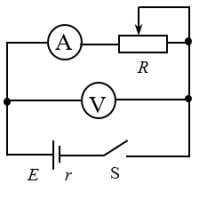


图 14

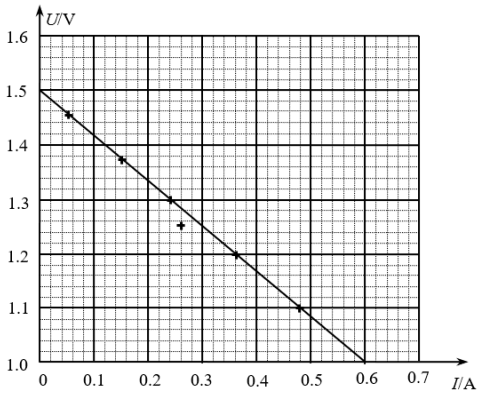


图 15

①通过图像可求出电池的电动势 E＝_____V，内阻 r＝_____Ω。

②若忽略偶然误差，利用该电路测得的电动势和真实值相比_____（选填“偏小”“偏大”或“相等”）。

（3）丙同学利用如图 16 所示的电路测量电源的电动势。其中 E_x 为待测电源，E_0 为电动势已知的标准电源，内阻不计。R_0 为保护电阻，R_1 为滑动变阻器总电阻。移动滑动触头 C，使电流计G的示数为 0 时，测得 A、C 间的电阻为 R_{AC}，则待测电源的电动势 E_x＝_____。

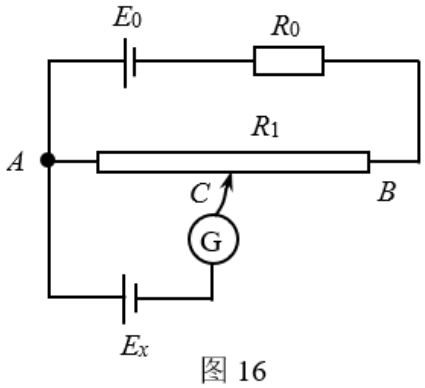


图 16

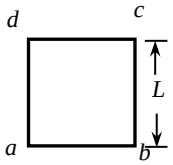
17．（9 分）

如图 17 所示，边长为 L 的正方形金属线框 $abcd$ 从某一高处由静止开始下落，在下落过程中经过一个有水平边界且两个水平边界之间的距离也为 L 的匀强磁场区域，磁场的磁感应强度大小为 B，方向垂直纸面向里。已知 ab 边进入磁场时线框刚好做匀速直线运动，线框质量为 m，电阻为 R，重力加速度为 g。忽略空气阻力。求：

（1）ab 边进入磁场时，线框中感应电流的方向；

（2）线框进入磁场时的速度大小 v；

（3）线框穿越磁场的过程中，产生的焦耳热 Q。



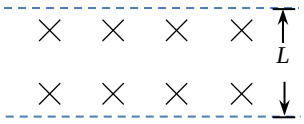


图 17

18．（9 分）

水电站常用水库出水管道处水流的动能发电。如图 18 所示，出水管道的直径与管道到水库水面高度 H 相比很小，管道截面积为 S。假设液体不可压缩并忽略流体各部分由于相对运动出现的黏性力和液面高度的变化。重力加速度为 g。

（1）求出水口处水流的流速 v；

（2）将单位时间通过管道某一横截面的流体的体积定义为流量。求出水口处的流量 Q。

（3）设出水管道水平，出水口距地面的高度差为 $\frac{H}{4}$，水的密度为 ρ，取地面为零势能面。求当水流稳定时，出水口距地面间水柱的机械能 E。

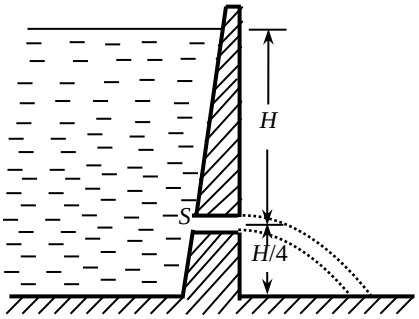


图 18

19．（10 分）

高铁、动车车厢与货物车厢之间对接，其原理可简化为一维碰撞模型。如图 19 所示，两车厢质量均为 m，左边车厢与其地板上质量为 m 的货箱共同向右以 v_0 运动，另一车厢以 $2v_0$ 从相反方向向左运动并与左车厢碰撞挂钩成为一体，货箱在地板上滑行的最大距离为 L。不计车厢与铁轨间的摩擦，重力加速度为 g。求：

（1）两车厢碰撞后瞬间，车厢速度的大小和方向；

（2）车厢在挂钩后走过的距离 L'；

（3）货箱与车厢地板间的摩擦因数 μ。

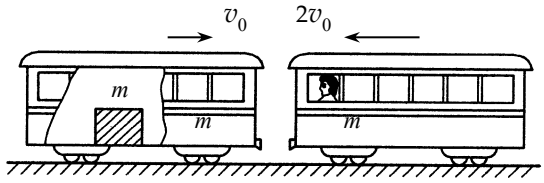


图 19

20．（12 分）

粒子加速器是借助于不同形态的电场，将带电粒子加速到高能量的电磁装置。粒子加速器可分为直线加速器和圆形加速器等类型。

（1）图 20 为多级直线加速器示意图。横截面积相同、长度依次增加的金属圆筒沿轴线依次排列，各筒相间地连接到交变电源的 A、B 两极，两极间电压 u_{AB} 随时间的变化规律如图 21 所示。t=0 时，序号为 0 的金属圆板中央一个质量为 m、电荷量为+q 的粒子，在圆板和圆筒之间的电场中由静止开始加速，沿中心轴线冲进圆筒 1。已知交变电源电压的绝对值为 U，周期为 T。带电粒子的重力和通过圆筒间隙的时间忽略不计。如果带电粒子每次经过圆筒之间都能被加速，求第 n 个圆筒的长度 L_n；

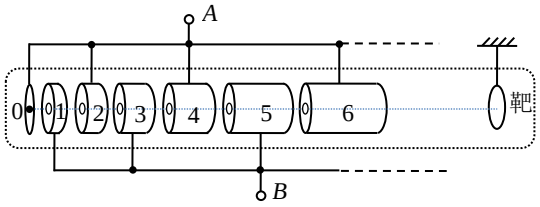


图 20

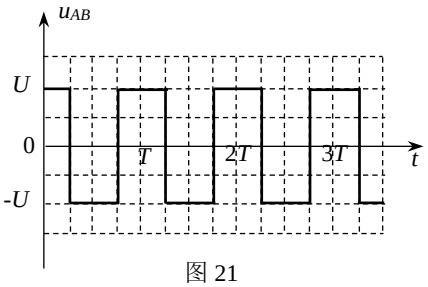


图 21

（2）回旋加速器使带电粒子沿近似圆形的轨道运动，改进了直线加速器占地较大的问题。回旋加速器的工作原理如图22所示。半径为R的高真空的D形金属盒处在匀强磁场中，磁感应强度大小为B，方向与盒面垂直。将两盒与电压为U的高频交变电源相连，两盒的狭缝间形成周期性变化的电场。A处粒子源产生的带电粒子，质量为m、电荷量为+q，初速度为0。调整交流电源的频率可使粒子每次通过狭缝时都能被加速。不计带电粒子穿过狭缝的时间和粒子所受重力。求：

①所加交流电的频率f；

②粒子获得的最大动能E_{km}。

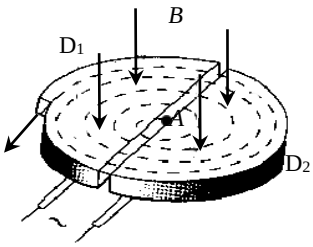


图 22

（3）对于质量较小的电子，由于受到相对论效应的影响，回旋加速器就不适用了。加速电子可以用电子感应加速器。图 23 是其结构图（上为侧视图，下为真空室俯视图），圆形电磁铁两极间有一环形真空室，在交变电流的激励下，两极间出现交变磁场，交变磁场又激发出感生电场。从电子枪射入真空室的电子在感生电场力和洛伦兹力的共同作用下，在真空室内做加速圆周运动，加速完成后，电子束被引离轨道进入靶室。图 24 为一周期内磁场的变化情况，B 为正时表示 B 的方向竖直向上。已知电子带负电，试简要分析在一周期内的哪段时间内，电子可被加速做圆周运动？

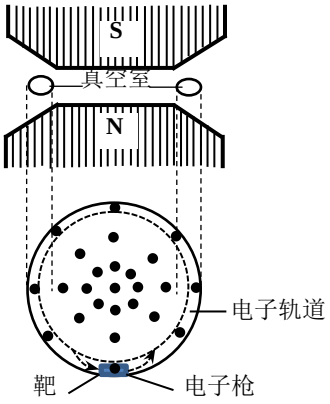


图 23

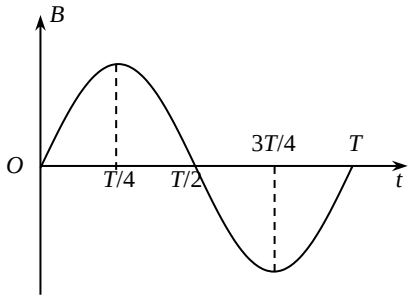


图 24

参考答案

1. 【答案】B

【解析】三条路线的路程不相同，三条路线的位移相同，因为起点和终点都相同，选项 B 正确，A 错误；三条路线的平均速度不相同，因为位移相同，而时间不相同，平均速度 $v=x/t$，故平均速度不相同，选项 C 错误；“距离最短”路线的平均速度为 $\frac{17}{58}$ km/min=0.3m/min，而大路多的平均速度为 $\frac{27}{57}$ km/min=0.5m/min，所以选项 D 错误。

2. 【答案】B

【解析】布朗运动不是液体分子的无规则运动，它是花粉颗粒的无规则运动，但是它反映了液体分子是做无规则运动的，选项 A 错误；扩散现象说明分子在永不停息地做无规则运动，选项 B 正确；两个分子间距离减小时，分子间的引力和斥力都增大，当 $r>r_0$ 时，分子力表现为引力，当 $r<r_0$ 时，分子力表现为引力，选项 C 错误；压缩气体时气体会表现出抗拒压缩的力是由于气体存在压强的缘故，不是分子间的斥力，因为气体分子间距很大，作用力很小，选项 D 错误。

3. 【答案】A

【解析】5G 信号和 4G 信号都是电磁波，而电磁波都是横波，选项 A 正确；

5G 信号比 4G 信号的频率大，根据 $c=\nu\lambda$ 呆知，5G 信号的波长更短，选项 B 错误；

5G 信号比 4G 信号都是电磁波，它们在真空中的传播速度一样快，选项 C 错误；

5G 信号比 4G 信号的波长小，而波长大的才容易发生衍射而绕过障碍物，所以 5G 信号更不容易绕过障碍物，不便于远距离传播，选项 D 错误。

4. 【答案】D

【解析】根据题意，我们可以列出核反应方程为：${}_1^1H+X=2{}_2^4H_e$，所以 X 是 ${}_3^7\mathrm{Li}$，选项 A 错误；可见 X 有 3 个质子，7-3=4 个中子，选项 B 错误；上述核反应属于人工转变，选项 C 错误；上述反应中后面产生的能量大于前面提供的能量，即存在质量亏损，选项 D 正确。

5.【答案】A

【解析】首先看这是一个波动图像，已知波沿 x 轴正方向传播，根据同侧法可知，P、Q 的运动方向是沿 y 轴的正方向，R、S 是沿 y 轴的负方向，所以选项 CD 错误；再看加速度方向，由于 P 点在 x 轴的上方，故它受到指向平衡位置的回复力的作用，即力的方向沿 y 轴的负方向，故它的加速度方向沿 y 轴的负方向，Q 点的加速度沿 y 轴的正方向，选项 A 正确，B 错误。

6. 【答案】D

【解析】因为理想气体的温度不变，而温度是气体分子的平均动能的标志，故气体分子的平均动能也不变，选项 A 错误；气体被压缩，即外界对气体做功，而理想气体的的内能不变，则气体向外放热，选项 B 错误；

气体被压缩，气体的体积变小，故压强变大，选项 C 错误；因为温度不变，理想气体的分子势能为 0，内能只与分子的动能有关，而分子动能不变，故气体的内能不变，选项 D 正确。

7. 【答案】C

【解析】通过图 3 可知，a 光偏折较小，故它的折射率较小，选项 A 错误；由 $n=c/v$ 可知，a 光的折射率小，故它在三棱镜中 a 光的速度较大，选项 B 错误；

因为 a 光的折射率小，故 a 光相当于红光，它在三棱镜中 a 光的波长较长，选项 C 错误；a 光的光子的波长较大，频率较小，故能量较小，选项 D 错误。

8．【答案】D

【解析】根据交流电的表达式 $u=1220\sqrt{2}\sin 100\pi t$（V）可知，角速度 $\omega=100\pi$，故交变电压的频率为 $f=\frac{\omega}{2\pi}=\frac{100\pi}{2\pi}=50\text{Hz}$，选项 A 错误；由于用电器 800$W$ 正常工作，但是导线上电阻还需要消耗能量，故变压器的输入功率大于 880W，选项 B 错误；由于副线圈的电流为 $I=\frac{P}{U}=\frac{880W}{220V}=4\text{A}$，故导线上的电压为 $U=4\times 6\text{V}=24\text{V}$，副线圈上消耗的电功率 $P=(220+24)\times 4W=976W$，故原线圈上的功率也是 976W，则原线圈中电流的有效值为 $\frac{976}{1220}\text{A}=0.8\text{A}$，选项 C 错误；原、副线圈的匝数比为 1220：（220+24）=5∶1，选项 D 正确。

9．【答案】D

【解析】天问一号从调相轨道进入停泊轨道时需在 P 点处减速，因为在 P 点的运行半径变小，根据 $a=v^2/R$，则速度要减小，选项 A 错误；天问一号在停泊轨道上 P 点的加速度比在 N 点大，因为 P 离火星近，万有引力大，所以加速度也大，选项 B 错误；

天问一号在停泊轨道上运动过程中，经过 P 点时的线速度比 N 点大，因为 P 点是近火点，速度会偏大一些，选项 C 错误；天问一号在停泊轨道上运行周期比在调相轨道上小，选项 D 正确，因为半长轴在减小，根据开普勒第三定律可知，周期将变小。

10．【答案】B

【解析】排球两次飞行过程中经历的时间不相同，第二次是第一次的 2 倍，因为二次的竖直高度相等，选项 A 错误；排球到达 P 点时可以看成同 M 到 P 时竖直方向的速度与水平方向速度的叠加，离开 P 点时可以看成同 Q 到 P 点时竖直方向的速度与水平方向速度的叠加，由于第二次的水平位移小，故第二次的水平速度小，而二次的竖直分速相同，故排球到达 P 点时的速率比离开 P 点时的速率大，选项 B 正确；

排球在 M 点的速率大于经过 Q 点的速率，选项 C 错误；排球第一次飞行中重力对排球做功 $W=mgh$，第二次飞行过程中重力对排球做的功为 0，故二者不相等，选项 D 错误。

11．【答案】C

【解析】设弹簧的劲度系数为 k，则振子放在水平桌面上时，由于 $F_{回}=-kx$，则它的周期为 $T_1=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$，在竖直天花板上时，振子平衡时有：$mg=kx_0$，当振子向下偏离平衡位置 x 时，振子的合力 $F=k(x+x_0)-mg=kx$，即 $F_{回}=-kx$，所以它的周期与水平放置时是相等的，在斜面上时，振子平衡时有：$mg\sin\theta=kx_0'$，当振子向下偏离平衡位置 x 时，振子的合力 $F=k(x+x_0')-mg\sin\theta=kx$，即 $F_{回}=-kx$，所以它的周期与水平放置时也是相等的，选项 C 正确，ABD 都是因为刚开始时离开平衡位置的距离不确定而错误。

12．【答案】B

【解析】电容器在充电的过程中，电容器上的电荷量随时间并不是线性增大的，因为 q-t 图像的斜率是电流的大小，即充电过程中，电流是变化的，选项 A 错误；充电时刚开始的电流很大，随着时间的延长，电流在变小，故选项 B 正确；

根据电容的定义式可知 $q=CU$，而电容 C 不变，所以电容器两端电压的变化与其极板上电荷量的变化遵循相似的变化规律，电荷量是逐渐变大的，故电压也是逐渐变大的，选项 C 错误；因为电容的电压与灯泡的电压之和等于电源的电动势，所以电容器的电压增大时，灯泡的两端电压是逐渐减小的，选项 D 错误。

13．【答案】C

【解析】趋肤效应由于主要集中到导体的表面，等效于导线的横截面减小，电阻增大，选项 A 正确；利用趋肤效应，在高频电路中的电流都在导线的表面，所以可用空心铜导线代替实心铜导线以节约铜材，选项 B 正确；

在高频高压交流输电线中心部分改用抗拉强度大、电阻率大的钢丝不会增加热损耗，因为电流都从表面流过，中心几乎没有电流，选项 C 错误，故 C 符合题意；在高频电路中使用多股相互绝缘细导线编织成束后，表面积变大了，用来代替同样截面积的粗导线可减小趋肤效应，选项 D 正确。

14．【答案】C

【解析】由图可知，在 0～5.0s 时间内，汽车的急动度 J 是均匀增加的，即 $\frac{\Delta a}{\Delta t}$ 在均匀增加，说明它在做加速度的变化量在均匀增加的加速运动，选项 A 错误；在 5.0～10.0s 时间内，汽车急动度是不变的，即 $\frac{\Delta a}{\Delta t}$ 不变，故加速度的变化量△a 不变，即它做加速度均匀增加的加速直线运动，选项 B 错误；在 0～5.0s 时间内，汽车加速度的变化量大小就是图线与时间轴围成的面积，即 $S=5.0\times0.8\times\frac{1}{2}$ m/s²=2.0m/s²，选项 C 正确；在 5.0～10.0s 时间内，急动度 $J=0.8\text{m/s}^3$，不是 0，故不是乘客感觉较舒适的阶段，选项 D 错误。

15．【答案】（9 分）（1）mgh_2（2 分）；$\frac{m(h_3-h_1)^2f^2}{8}$（2 分）；

（2）mgl（2 分）；$\frac{1}{2}(m+M)(\frac{d}{t})^2$（3 分）。

【解析】（1）重锤重力势能的减小量$\Delta E_P=mgh_2$；重锤动能的增加量$\Delta E_k=\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{m(h_3-h_1)^2f^2}{8}$；

（2）系统重力势能的减少量$\Delta E_P=mgl$；系统动能的增加量$\Delta E_k=\frac{1}{2}(m+M)v^2=\frac{1}{2}(m+M)(\frac{d}{t})^2$。

16．【答案】（9 分）（1）＜（2 分）；（2）①1.50（1.49～1.51），0.83（0.81～0.85）（2 分）；②偏小（2 分）；（3）$\frac{E_0}{R_0+R_1}R_{AC}$（3 分）。

【解析】（1）①电池的电动势可以通过电压轴的截距大小读出，$E=1.50\text{V}$；内阻就是图线的斜率，$r=\frac{1.5-1.0}{0.6-0}\Omega=0.83\Omega$；②测得的电动势相当于电源与电压表并联后的电压表的两端电压的大小，故结果会偏小；

（3）由于电流计的示数为 0，说明被测电源 E_x 与 AC 间的电压相等，即 $E_x=U_{AC}=IR_{AC}=\frac{E_0}{R_0+R_1}R_{AC}$。

17．【答案】（9 分）（1）逆时针方向；（2）$v=\frac{mgR}{B^2L^2}$；（3）$Q=2mgL$。

【解析】（1）由楞次定律知，线框进入磁场时感应电流的方向为逆时针方向。（2 分）

（2）线框进入磁场时刚好做匀速直线运动，有 $mg=F_A$

感应电动势 $E=BLv$

感应电流 $I=\dfrac{E}{R}$

安培力 $F_A=BIL$

解得 $v=\dfrac{mgR}{B^2L^2}$ （5 分）

（3）线框穿越磁场的过程中，一直做匀速直线运动。由能量转化和守恒定律知：系统减小的重力势能转化为内能。

$Q=2mgL$ （2 分）

18. 【答案】（1）$v=\sqrt{2gH}$；（2）$Q=S\sqrt{2gH}$；（3）$E=\dfrac{5}{4}\rho SgH^2$。

【解析】（9 分）（1）在水面处取质量为 m 的水，在流向出口的过程中，机械能守恒。取出水口处为势能零点，有 $mgH=\dfrac{1}{2}mv^2$

解得 $v=\sqrt{2gH}$ （3 分）

（2）由流量的定义得 $Q=Sv$

解得 $Q=S\sqrt{2gH}$ （2 分）

（3）水从出水口流出后，做平抛运动，落地时间为 t。有 $h=\dfrac{1}{2}gt^2$

空中水柱的质量为 $m'=\rho Qt$

取地面为零势能面，空中水柱的机械能为 $E=\dfrac{1}{2}m'v^2+m'gh$

解得 $E=\dfrac{5}{4}\rho SgH^2$ （4 分）

19. 【答案】（1）$v'=-\dfrac{v_0}{2}$；（2）$L'=\dfrac{1}{3}L$；（3）$\mu=\dfrac{3v_0^2}{4gL}$。

【解析】（10 分）（1）两车厢碰撞过程中，水平方向动量守恒。

设撞后瞬间车厢速度为 v'，取向右为正方向，有 $2mv_0-m\cdot 2v_0=mv_0+2mv'$

解得 $v'=-\dfrac{v_0}{2}$，方向水平向左 （4 分）

（2）碰撞后瞬间至停止运动的过程中，车厢平均速度的大小是货箱的 1/2，所以在相同时间内，车厢相对于地面运动的位移大小是货箱的 1/2。有

$L'+2L'=L$ 解得 $L'=\dfrac{1}{3}L$ （2 分）

（3）货箱相对于地的位移为 $L_{货}=\dfrac{2}{3}L$

货箱的加速度大小　$a=\dfrac{f}{m}=\mu g$

货箱做初速度为 v_0 的匀减速直线运动，有　$0-v_0^2=-2aL_{货}$

解得　$\mu=\dfrac{3v_0^2}{4gL}$　（4 分）

20．【答案】（12 分）（1）$L_n=\dfrac{T}{2}\sqrt{\dfrac{2nqU}{m}}$；（2）① $f=\dfrac{qB}{2\pi m}$；② $E_{\mathrm{km}}=\dfrac{q^2B^2R^2}{2m}$；（3）第一个 $T/4$ 时间内，电子可被加速做圆周运动。

【解析】（1）设带电粒子进入第 n 个圆筒时的速度为 v_n，根据动能定理有 $nqU=\dfrac{1}{2}mv_n^2$；

如果粒子匀速穿过每个圆筒的时间恰好等于交变电压周期的一半，那它每到达一个间隙都能被加速。有

$L_n=v_n\dfrac{T}{2}$

解得　$L_n=\dfrac{T}{2}\sqrt{\dfrac{2nqU}{m}}$　（4 分）

（2）①如果交变电源的频率等于粒子圆周运动的频率，那么粒子每次通过狭缝时都能被加速。

$qvB=m\dfrac{v^2}{r}$

解得　$f=\dfrac{v}{2\pi r}=\dfrac{qB}{2\pi m}$　（3 分）

②粒子的速度与半径成正比，所以当圆周运动的半径最大时，粒子的动能最大。

$qv_mB=m\dfrac{v_m^2}{R}$

解得　$E_{\mathrm{km}}=\dfrac{1}{2}mv_m^2=\dfrac{q^2B^2R^2}{2m}$　（3 分）

（3）在第一个 $T/4$ 时间内，电子可被加速做圆周运动。

由楞次定律可知，在第一个 $T/4$ 和第四个 $T/4$ 时间内，感生电场的方向为顺时针方向，电子受力方向为逆时针方向，可被加速；

由左手定则可知，只有磁场方向向上时，电子所受洛伦兹力才指向圆心，充当向心力。

综合考虑，只有第一个 $T/4$ 时间内，电子可被加速做圆周运动。　（2 分）