武汉大学 2020---2021 学年第二学期

大学物理 B（上）期末试卷 A

学院:____________姓名:___________学号:_____________ 成绩:______

一、选择题（每小题 3 分，共 9 小题，合计 27 分）

1．一质量为 $2\,\text{kg}$ 的物体上的合力 $F=t+2$ (SI) 的作用下，由静止开始沿直线运动，在 0 到 5.0s 的时间间隔内，这个力作用在物体上的冲量大小以及物体的速度分别为[　　]

（A） $22.5\,\text{kg}\cdot\text{m/s}$， $11.25\,\text{m/s}$　　（B） $12.5\,\text{kg}\cdot\text{m/s}$， $6.25\,\text{m/s}$

（C） $25\,\text{kg}\cdot\text{m/s}$， $12.5\,\text{m/s}$　　（D） $35\,\text{kg}\cdot\text{m/s}$， $17.5\,\text{m/s}$

2. 质量为 m 的地球卫星在近地点高度为 $R/15$，远地点高度为 $R/3$ 的椭圆轨道上运动，式中 R 为地球半径。已知地球的质量为 M，万有引力常量为 G，则当卫星从远地点运动到近地点的过程中，卫星动能的增量 ΔE_k 和角动量的增量 ΔL 分别为[　　]

（A） $\Delta E_k=\dfrac{8GMm}{33R}$，$\Delta L\equiv 0$　　（B） $\Delta E_k=-\dfrac{8GMm}{33R}$，$\Delta L>0$

（C） $\Delta E_k=\dfrac{3GMm}{16R}$，$\Delta L\equiv 0$　　（D） $\Delta E_k=-\dfrac{3GMm}{16R}$，$\Delta L<0$

3．一平面简谐波的周期为 2.0s，在其传播方向上有相距为 2m 的两质元 A 和 B。已知 B 点的振动相位比 A 点落后 $\pi/3$，则该平面简谐波的波长和波速分别为 [　　]

（A）6m，12m/s　　（B）12m，6m/s

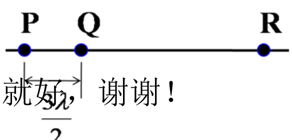
（C）18m，6m/s　　（D）12m，12m/s

4．有一质量为 m 的物体以振幅为 A 做简谐运动，其最大加速度为 a_m，则下列说法正确的是 （　　　）

（A）振动周期为 $2\pi A/a_m$　　（B）振动周期为 $\pi\sqrt{A/a_m}$

（C）通过平衡位置时振子的动能为 $\dfrac{1}{2}m\sqrt{a_m A}$　　（D）振动系统的总能量为 $\dfrac{1}{2}ma_m A$

5．如图所示，两相干波源分别在 P、Q 两点，它们发出频率为 ν，波长 λ，初相相同

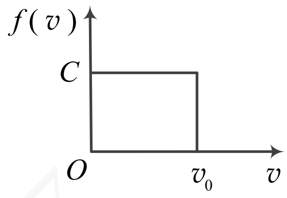


的两列相干波，设 $PQ=\frac{3\lambda}{2}$，R 为 PQ 延长线上的一点，则两列波在 R 处的相位差及干涉后的合振幅为[　　]

（A）3π，$|A_1-A_2|$　　　　（B）$\frac{3\pi}{2}$，$|A_1-A_2|$

（C）$\frac{3\pi}{2}$，A_1+A_2　　　　（D）3π，A_1+A_2

6． N 个粒子的速率分布曲线如图所示，速率大于 v_0 的分子数为零，而 N、v_0 为已知常数，则气体分子的平均速率为［　　］



（A）v_0　　（B）$\frac{1}{4}v_0$　　（C）$\frac{1}{2}v_0$　　（D）$\frac{1}{3}v_0$

7．关于热功转换和热量传递过程，有下面一些叙述：

(1) 功可以完全变为热量，而热量不能完全变为功

(2) 一切热机的效率都只能够小于 1

(3) 热量不能从低温物体向高温物体传递

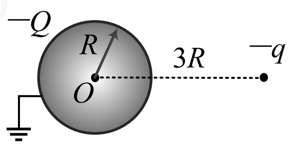
(4) 热量从高温物体向低温物体传递是不可逆的

以上这些叙述［　　］

(A) 全部正确　　　　(B) 只有(2)、(3) 、(4)正确

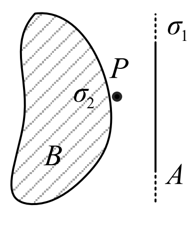
(C) 只有(1)、(3)、(4)正确　　　　(D) 只有(2)、(4)正确

8．如图所示，一金属球半径为 R，带电 $-Q$，距离球心为 $3R$ 处有一点电荷 $-q$。现将金属球接地，则金属球面上的电荷为［　　］



(A) 0　　(B) $-Q+q$　　(C) $q/3$　　(D) $+q$

9．如图所示，真空中，无限大均匀带电平板 A，电荷面密度为 σ_1。将平板移近一导体 B，B 表面上靠近 P 点处的电荷面密度为 σ_2，平板上的电荷分布不变，P 点是极靠近导体 B 表面的一点，则 P 点的场强是［　　］



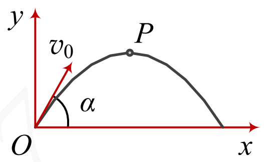
(A) $\frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}$　　(B) $\frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}$　　(C) $\frac{\sigma_2}{\varepsilon_0}-\frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}$　　(D) $\frac{\sigma_2}{\varepsilon_0}$

二、填空题（单空题每题 3 分，双空题每题 4 分，共 30 分）

10．位于圆周上某点处的一质点，从静止开始作运动圆周，其角加速度随时间 t 的变化规律是 $\alpha=2-6t+12t^2$ (SI)，则质点的角速度随时间 t 的变化规律 $\omega=$__________（SI)；

质点在时间 t 相对出发点的角位移 $\Delta\theta=$________（SI）。

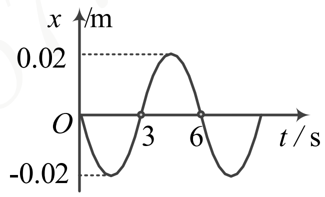
11．如图所示，一个抛射体的初速度的大小为 v_0，抛射角为 α，不计空气阻力。则质点的运动曲线在抛射点 O 点）的曲率半径为_______。



12．同一个弹簧振子从平衡位置被分别拉开 5cm 和 2cm，松手后均作简谐运动。则它们的最大加速度之比 $a_1:a_2=$_____，振动周期之比 $T_1:T_2=$ ______。

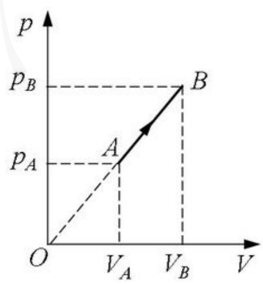
13．一平面简谐波的频率为 400Hz，在空气中以 $340\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ 的速度传播，到达人耳时，振幅为 $A=1.0\times10^{-6}\,\mathrm{m}$，已知空气的密度为 $\rho=1.29\,\mathrm{kg\cdot m^{-3}}$，则该波在人耳中的平均能量密度为________$\mathrm{J\cdot m^{-3}}$。

14．一简谐振子的振动曲线如图所示，则以余弦函数表示的振动方程为_________。



15．若某种理想气体分子的方均根速率 $v_{\mathrm{rms}}=450\,\mathrm{m/s}$，气体压强 $p=7.00\times10^4$ Pa，则该气体的密度 ρ 为________ $\mathrm{kg/m^3}$。

16. 1mol 刚性双原子分子理想气体经如图的直线过程由 A 到 B。已知 $T_A=T_0$，$T_B=2T_0$ 则气体对外做的功为_______，该过程摩尔热容 $C_m=$ ________。

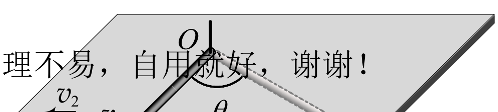


17．一热机从温度为 727°C 的高温热源吸热，向温度为 527°C 的低温热源放热。若热机在最大效率下工作，且每一循环吸热 3000J，则此热机每一循环做功_________ J。

18．已知某电场的电势函数 $V=3x^2-6y+2z^3$（SI），则点（1，0，2）处的电场强度为___________（SI）。

三、计算题（本大题共 4 小题，合计 43 分）

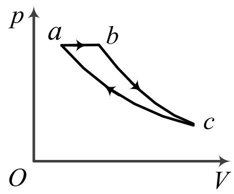
19.（本题 11 分） 有一质量为 m_1、长为 l 的均匀细棒，静止平放在滑动摩擦系数为 μ 的水平桌面上，它可绕通过其端点 O 且与桌面垂直的固定光滑轴转动。另有一水平运动的



质量为 m_2 的小滑块，从侧面垂直于棒与棒的 A 端相碰撞，且碰撞时间极短。已知小滑块在碰撞前后的速度分别为 $\vec{v}_1$ 和 $\vec{v}_2$，如图所示。求碰撞后，细棒从开始转动到停止转动的过程所转过的角度 θ。(已知棒绕 O 点的转动惯量 $I=\frac{1}{3}m_1l^2$)

20.（本题 10 分）一振幅为 $A=20\,\mathrm{cm}$、角频率为 $\omega=5\pi\,\mathrm{rad/s}$ 的平面简谐波沿 x 轴正向传播。当 $t=2.0\,\mathrm{s}$ 时，$x=5\,\mathrm{cm}$ 处的质点 a 正过其平衡位置向 y 轴负方向运动，而 $x=15\,\mathrm{cm}$ 处的质点 b 恰过 $y=10\mathrm{cm}$ 点向 y 轴正方向运动。设该波波长 $\lambda>10\,\mathrm{cm}$，求该平面波的波函数。

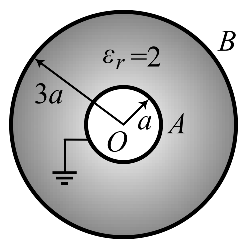
21.（本题 10 分）一定量双原子分子理想气体，经历如图所示的循环过程，ab 为等压过程，在此过程中系统对外做功 $1.20\times10^4\,\mathrm{J}$，$bc$ 为绝热过程，气体经 ca 等温过程时，外界对系统做功为 $3.78\times10^4\,\mathrm{J}$。试求（1）$bc$ 过程中系统对外做功为多少？（2）此循环的效率



22.（本题 12 分）如图所示，导体球 A 的半径为 a，导体球壳 B 与导体球 A 同心，半径为 $3a$，带电量为 q_2。A、B 之间充满相对介电常数为 $\varepsilon_r=2$ 的电介质，若把导体球 A 接地，同时无穷远处的电势也为零。试求：

(1) 导体球 A 上的电量；

(2) 整个带电系统的电场总能量。



武汉大学 2020---2021 学年第二学期

大学物理 B（上）期末试卷 A

参考答案及评分

一、选择题（每小题 3 分，共 8 小题，合计 27 分）

1-5　ACBDA　　　6-9　CDCD

二、填空题（单空题每题 3 分，双空题每题 4 分，共 30 分）

10． 第一空：$2t-3t^2+4t^3$ ，第二空：$t^2-t^3+t^4$

11．$\dfrac{v_0^2}{g\cos\alpha}$

12．第一空： 5：2 ，第二空： 1：1

13． 4.1×10^{-6}

14． $x=0.02\cos\left(\dfrac{\pi}{3}t+\dfrac{\pi}{2}\right)(\mathrm{SI})$

15．1.04

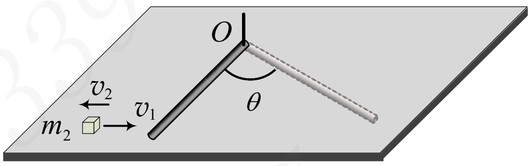
16．第一空：$\dfrac{1}{2}RT_0$，第二空：$3R$

17．600

18． $-6\vec{i}+6\vec{j}-24\vec{k}$

三、计算题（本大题共 4 小题，合计 43 分）

19.（本题 11 分）有一质量为 m_1 、长为 l 的均匀细棒，静止平放在滑动摩擦系数为 μ 的水平桌面上，它可绕通过其端点 O 且与桌面垂直的固定光滑轴转动。另有一水平运动的质量为 m_2 的小滑块，从侧面垂直于棒与棒的 A 端相碰撞，且碰撞时间极短。已知小滑块在碰撞前后的速度分别为 $\vec{v}_1$ 和 $\vec{v}_2$ ，如图所示。求碰撞后，细棒从开始转动到停止转动的过程所转过的角度 θ 。(已知棒绕 O 点的转动惯量 $I=\dfrac{1}{3}m_1l^2$)



19 解：（本题 11 分）

对棒和滑块系统，在碰撞过程中，由于碰撞时间极短，碰撞过程中摩擦力矩的冲量矩可忽略不计，故可认为碰撞过程中系统的角动量守恒。 1 分

即
$$m_2v_1l=-m_2v_2l+\frac{1}{3}m_1l^2\omega \qquad 2\text{ 分}$$

可以求得细棒开始转动的角速度
$$\omega=\frac{3m_2\left(v_1+v_2\right)}{m_1l} \qquad 1\text{ 分}$$

碰后，棒在转动过程中所受的摩擦阻力矩为
$$M_f=\int_0^l-\mu g\frac{m_1}{l}x\cdot\mathrm{d}x=-\frac{1}{2}\mu m_1gl \qquad 2\text{ 分}$$

在转动过程中摩擦力矩所做的功为
$$A_f=\int_0^\theta M_f\mathrm{d}\theta=-\frac{1}{2}\mu m_1gl\theta \qquad 2\text{ 分}$$

刚体定轴转动的动能定理知 $A_f=0-\frac{1}{2}I\omega^2$ 2 分

可以解得细棒转过的角度 $\theta=\dfrac{3m_2^2\left(v_1+v_2\right)^2}{\mu m_1^2 gl}$ 1 分

20.（本题 10 分） 一振幅为 $A=20\,\text{cm}$、角频率为 $\omega=5\pi\,\text{rad/s}$ 的平面简谐波沿 x 轴正向传播。当 $t=2.0\,\text{s}$ 时，$x=5\,\text{cm}$ 处的质点 a 正过其平衡位置向 y 轴负方向运动，而 $x=15\,\text{cm}$ 处的质点 b 恰过 $y=10\text{cm}$ 点向 y 轴正方向运动。设该波波长 $\lambda>10\,\text{cm}$，求该平面波的波函数。

20 解法一：（本题 10 分）

由题意，$t=2.0\,\text{s}$ 时，$x=5\,\text{cm}$ 处的质点 a 的相位为 $\pi/2$ 1 分

设平面简谐波的波长为 λ，则该列平面简谐波的表达式可写成

$$y(x,t)=0.2\cos\left[5\pi\left(t-2.0\right)-2\pi\frac{x-0.05}{\lambda}+\frac{\pi}{2}\right]\text{(SI)}$$ 3 分

由题意，$t=2.0\,\text{s}$ 时，$x=15\,\text{cm}$ 处的质点 b 的相位为 $-\pi/3$ 2 分

得： $-2\pi\dfrac{0.15-0.05}{\lambda}+\dfrac{\pi}{2}=-\dfrac{\pi}{3}-2\pi k$，$k$ 为整数 1 分

即 $\lambda=\dfrac{6}{25+60k}$

因为 $\lambda>10\,\text{cm}$，所以 k 只能取 0，得

$$\lambda=0.24\,\text{m}$$ 1 分

代入整理得该平面简谐波的波方程为

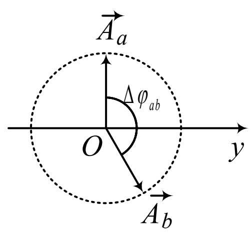
$$y\left(x,t\right)=0.2\cos\left(5\pi t-\frac{25\pi}{3}x+\frac{11}{12}\pi\right)\quad \text{SI}$$ 2 分

20 解法二：（本题 10 分）

由于此波沿 x 轴正向传播，所质点 a 的振动相位超前于 b，且 $\Delta x_{ab}=10\text{cm}=0.10\text{m}<\lambda$，所以由 $t=2.0\text{s}$ 时 a、b 处两质点振动的旋转矢量图，可得 a、b 处两质点的振动相位差为

$$\Delta\varphi_{ab}=\frac{2\pi}{\lambda}\Delta x_{ab}=\frac{5\pi}{6}$$ 3 分

由此得 $\lambda=\dfrac{12}{5}\Delta x_{ab}=0.24\text{m}$ 1 分



不妨设此波的波动表达式为

$$y(x,t)=A\cos\left[\omega t-2\pi\frac{x}{\lambda}+\varphi\right]$$ 2 分

$$=0.2\cos\left[5\pi t-\frac{25\pi}{3}x+\varphi\right]$$ 1 分

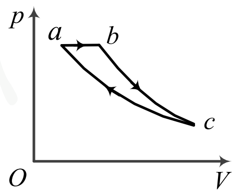
结合 $t=2.0\text{s}$ 时， $x=0.05\text{m}$ 处质点 a 的旋转矢量图，可知

$$\left[5\pi t-\frac{25\pi}{3}x+\varphi\right]_{\substack{t=2.0\text{s}\\x=0.05}}=\frac{\pi}{2}$$ 1 分

解此等式，得： $\varphi=\dfrac{11\pi}{12}-10\pi$ 1 分

所以波动表达式为： $y(x,t)=0.2\cos\left[5\pi t-\dfrac{25\pi}{3}x+\dfrac{11\pi}{12}\right]$ 1 分

21.（本题 10 分）一定量双原子分子理想气体，经历如图所示的循环过程，ab 为等压过程，在此过程中系统对外做功 $1.20\times10^4\text{ J}$，bc 为绝热过程，气体经 ca 等温过程时，外界对系统做功为 $3.78\times10^4\text{ J}$。试求（1）bc 过程中系统对外做功为多少？（2）此循环的效率



21 解：（本题 10 分）

（1）假设在 a、b 两个状态的温度分别为 T_a 和 T_b，则由

$$A_{ab}=p_a\left(V_b-V_a\right)=\nu R\left(T_b-T_a\right)$$ 1 分

及 $$\Delta E_{ab}=E_b-E_a=\nu C_{V,m}(T_b-T_a)=\frac{5}{2}\nu R(T_b-T_a)$$ 1 分

可得 $$\Delta E_{ab}=\frac{5}{2}A_{ab}=3.00\times10^4\text{ J}$$ 1 分

又 $T_c=T_a$，得 $E_c=E_a$，所以在绝热过程 bc 中

$$A_{bc}=-\Delta E_{bc}=E_b-E_c=E_b-E_a=\Delta E_{ab}=3.00\times10^4\text{ J}$$ 2 分

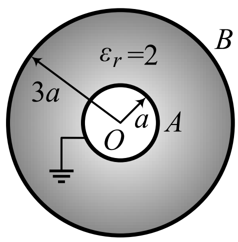
（2）由题意可知，整个循环只有 ab 为吸热过程，ca 为放热过程，所以

$$Q_1=Q_{ab}=\nu C_{p,m}(T_b-T_a)=\frac{7}{2}\nu R(T_b-T_a)=\frac{7}{2}A_{ab}=4.20\times10^4\text{ J}$$ 2 分

$$Q_2=\left|A_{ca}\right|=3.78\times10^4\text{ J}$$ 1 分

所以此循环的效率为 $$\eta=1-\frac{Q_2}{Q_1}=1-\frac{3.78\times10^4}{4.20\times10^4}=10.0\%$$ 1+1 分

22.（本题 12 分）如图所示，导体球 A 的半径为 a，导体球壳 B 与导体球 A 同心，半径为 $3a$，带电量为 q_2。A、B 之间充满相对介电常数为 $\varepsilon_r=2$ 的电介质，若把导体球 A 接地，同时无穷远处的电势也为零。试求：



(1) 导体球 A 上的电量；

(2) 整个带电系统的电场总能量。

22解：（本题12分）

（1）设导体球A上的感应电量为 q_1，由高斯定律：$\oiint_S \boldsymbol{D}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S}=\sum Q_0$ 1分

可知电位移矢量 $\boldsymbol{D}$ 的分布为

$$D=\begin{cases}\dfrac{q_1}{4\pi r^2} & a<r<3a\\[2ex] \dfrac{q_1+q_1}{4\pi r^2} & r>3a\end{cases}$$ 2分

电场强度的分布为

$$E=\frac{D}{\varepsilon_0\varepsilon_\mathrm{r}}=\begin{cases}\dfrac{q_1}{8\pi\varepsilon_0 r^2} & a<r<3a\\[2ex] \dfrac{q_1+q_1}{4\pi\varepsilon_0 r^2} & r>3a\end{cases}$$ 2分

所以A球的电势为

$$V_A=\int_a^{3a}\frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r^2}\mathrm{d}r+\int_{3a}^{\infty}\frac{q_1+q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\mathrm{d}r=\frac{q_1}{8\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{3a}\right)+\frac{q_1+q_2}{4\pi\varepsilon_0(3a)}$$ 3分

令：$V_A=0$，可得：$q_1=-\dfrac{q_2}{2}$ 1分

（2）空间各区域中电场的能量密度为

$$w_e=\frac{1}{2}DE=\frac{D}{\varepsilon_0\varepsilon_\mathrm{r}}=\begin{cases}\dfrac{q_1^2}{64\pi^2\varepsilon_0 r^4}=\dfrac{q_2^2}{256\pi^2\varepsilon_0 r^4} & a<r<3a\\[2ex] \dfrac{(q_1+q_2)^2}{32\pi\varepsilon_0 r^4}=\dfrac{9q_2^2}{128\pi^2\varepsilon_0 r^4} & r>3a\end{cases}$$ 2 分

$$W=\int_V w_e\mathrm{d}V=\int_a^{3a}\frac{q_2^2}{256\pi^2\varepsilon_0 r^4}4\pi r^2\mathrm{d}r+\int_{3a}^{\infty}\frac{9q_2^2}{128\pi^2\varepsilon_0 r^4}4\pi r^2\mathrm{d}r=\frac{q_2^2}{48\pi\varepsilon_0 a}$$ 1 分