中山大学本科生期末考试

考试科目:《大学物理》(A 卷)

学年学期: 2020–2021 学年第 1 学期	姓　　名: ________
学　院/系: 物理学院	学　　号: ________
考试方式: 闭卷	年级专业: ________
考试时长: 120 分钟	班　　别: ________

警示 《中山大学授予学士学位工作细则》第八条:"考试作弊者,不授予学士学位."

以下为试题区域, 共 25 道大题, 总分 100 分, 考生请在答题纸上作答

一、选择题 (每题 2 分，共 25 小题)

1. (2 分) 如右图1所示，一单原子理想气体循环过程的 $V-T$ 图, 图中 $V_c = 2V_A$，则该循环 __C__

   A. 代表的是制冷机，制冷系数为 34

   B. 代表的是热机，效率为 24.6%

   C. 代表的是热机，效率为 12 .3%

   D. 代表的是制冷机，制冷系数为 17

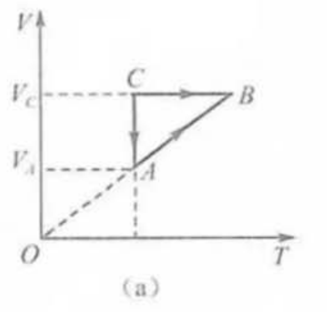


图 1　第一题 a

解析　【思路探索】以正循环、逆循环来区分是热机还是制冷机是以 $p-V$ 图中的循环曲线行进方向而言的. 因此, 要将 $V-T$ 图转换为相应的 $p-V$ 图. 循环效率可由热量求出, 即 $\eta = 1 - \dfrac{Q_2}{Q_1}$, Q_1 为循环过程中系统吸收的总热量, Q_2 为循环过程中

系统放出的总热量 (绝对值).

根据题意, 将 $V-T$ 图转换为相应的 $p-V$ 图, 如图2 所示, 图中曲线行进方向是正循环, 即为热机循环. 由 $p-V$ 图2可知, 等压膨胀 $A \rightarrow B$ 为吸热过程, 吸收的热量为

$$Q_1 = \nu_\nu C_{p,m}\left(T_B - T_A\right),$$

等体降压 $B \rightarrow C$ 和等温压缩 $C \rightarrow A$ 为放热过程, 放出的热量 (绝对值) 为

$$Q_2 = \nu C_{V,m}\left(T_B - T_C\right) + \nu R T_A \ln \frac{V_C}{V_A}.$$

因为 A 是等压线, 且有 $V_C = 2V_A, T_B = 2T_A$; A 为等温线, 有 $T_A = T_C$. 对理想气体单原子分子, $C_{p,m} = \frac{5R}{2}, C_{V,m} = \frac{3R}{2}$, 所以循环效率为

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{C_{V,m}T_A + RT_A \ln 2}{C_{p,m}T_A} = 1 - \frac{3 + 2\ln 2}{5} = 12.3\%$$

选 C

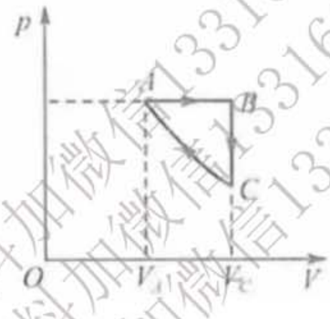
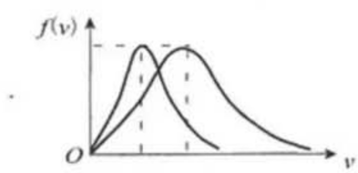
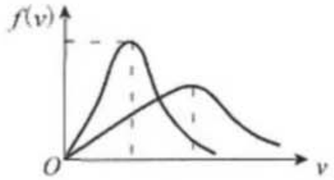


图 2　第一题 b

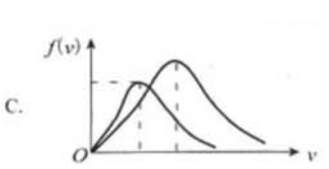
2. (2 分) 如图所列各图表示的速率分布曲线, 哪一图中的两条曲线能表示同一-温度下氮气和氦气的分子速率分布曲线? B



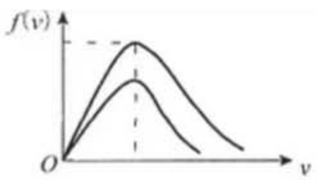
A.



B.



C.



D.

解析　速率与温度平方根成正比, 与分子质量的平方根成反比, 可以比较出同一温度下, $M_{He} < M_{N_2}, V_{pHe} > V_{pN_2}$ 。并且由概率可知, 两曲线与坐标轴包围面积都为 1 , 故 V_{pHe} 较大则 $f\left(V_{pHe}\right)$ 较小, 故选 B 。

3. (2 分) 汽车的喇叭发射频率为 400 Hz 的声波，当车 100 km/h 的速度追赶前方的车辆时前车的接受声波频率为 370Hz。设没有风，空气中的声速为 330m/s。前方车辆行驶的速度是 __A__

A. 182 km/h　　B. 108 km/h　　C. 422 km/h　　D. 50 km/h

解析

$$f' = \frac{u-v}{u-v_s}f$$

$$370 = \frac{330-v}{330-27.78}\times 400$$

解得

$$v = 182km/h$$

4. (2 分) 有以下说法 (1) 作用于质点的力不为零，质点所受的力矩也总不为零 (2) 作用于质点系的外力矢量和为零，外力矩之和也一定为零 (3) 质点的角动量不为零，作用于该质点上的力可能为零 __D__

A. (1) 和 (3) 是正确的　　B. (2) 和 (3) 是正确的

C. (1) 和 (2) 是正确的　　D. 只有 (3) 是正确的

解析 (1) 不一定。当力的作用线过参考点时，对该点的力矩就一定为零。

(2) 不一定。作用于质点系的一对力偶 (两个大小相等，方向相反，但不共线的力)，对任一点的力矩之和均不等于零 (其力矩之和称为该力偶的力偶矩)。

(3) 可能为零。角动量的变化等于对同一参考点或轴的力矩的矢量和。角动量不为零但不变，则角动量的变化为零. 例如: 质点作匀速直线运动，对线外一点的角动量不为零，但质点受力为零。

选 D

5. (2 分) 一长为 l 的软细绳一端固定在 O 点, 另一端连着质量为 m 的小球, 小球以 O 点为圆心作匀速圆周运动, 如果要使小球能在竖直平面内做完整的圆周运动, 则小球在最高点的速度最小为 __B__

A. $\sqrt{3gl}$　　B. $\sqrt{gl}$　　C. $\sqrt{2gl}$　　D. 0

解析 略

6. (2 分) 关于热力学知识的几个表述，其中正确的是 __B__

A. 物体的温度越高，其热量越大

B. 物体的温度越高，其内能越大

C. 物体在一定状态时，具有一定的热量

D. 物体的内能越大，则具有的热量越多

解析 略

7. (2 分) 热力学第二定律表明 __C__

A. 有规则运动的能量能够变为无规则运动的能量, 但无规则运动的能量不能够变为有规则运动的能量。

B. 热量不能从低温物体传向高温物体。

C. 在孤立系统中，时间的流逝总是沿着熵增加的方向进行的

D. 功可以全部转变为热量，但热量不能全部转换成功。

解析 略

8. (2 分) 一条不可伸长的轻绳跨过质量可忽略不计的光滑定滑轮，绳的一端系一质量 $m = 15kg$ 的重物，重物静止于地面上，有一质量 $m' = 10kg$ 的猴子，从绳子的另一端沿绳向上爬, 如图3所示，在重物不离地面的条件下，猴子向上爬的最大加速度为 __D__ ($g = 9.8m/s^2$)。

A. $5.1m/s^2$　　B. $3.8m/s^2$　　C. $4.5m/s^2$　　D. $4.9m/s^2$

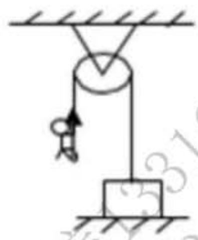


图 3 第八题

解析 绳子脱离地面的临界情形时候，设绳子张力为 T，对重物分析

$$T = mg$$

对猴子分析

$$T - m'g = m'a$$

解得

$$a = 4.9m/s^2$$

9. (2 分) 如图4所示, 为一平面简谐机械波在 t 时刻的波形曲线, 若此时 A 点处介质元的振动动能在增大, 则 __B__

A. A 点处介质元的弹性势能在减小

B. 波沿 x 轴负向传播

C. B 点处介质元的振动动能在减小

D. 各点波的能量密度都不随时间变化

解析 简谐波中任意一个质元在任意时刻的动能等于势能。在位移最大处, 质点的运动速度为零, 所以动能和势能均为零; 在平衡位置, 质点的速度最大, 所以动能和势能均最大。所以质元从平衡位置向最大位移处运动的过程中, 能量逐渐减小; 从

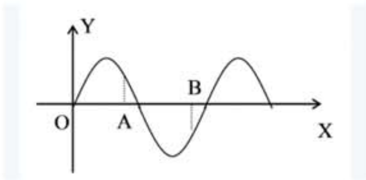


图 4 第九题

最大位移处向平衡位置运动时, 能量逐渐增加。

依题意, 此时 A 点处媒质质元的振动动能在增大, 所以质元在向平衡位置运动, 所以波沿 x 轴负方向传播, 所以 B 处质元也向平衡位置运动, 因此 B 处质元的动能也在增大。

对于某个质元, 体积不变, 能量越大, 能量密度也越大, 所以能量密度的变化趋势与能量的变化趋势相同, 即质元从平衡位置向最大位移处运动的过程中, 能量逐渐减小, 能量密度也逐渐减小; 从最大位移处向平衡位置运动时, 能量逐渐增加, 能量密度也逐渐增加。能量在做周期性变化, 能量密度也在做周期性变化, 不同位置的能量密度在某个时刻是不一样的。选 B

10. (2 分) 质点作曲线运动, 在时刻 t 质点的位矢为 $\boldsymbol{r}$, 速度为 $\boldsymbol{v}$, 速率为 v, t 至 $(t+\Delta t)$ 时间内的位移为 $\Delta \boldsymbol{r}$, 路程为 Δs, 位矢大小的变化量为 Δr (或称 $\Delta|\boldsymbol{r}|$), 平均速度为 $\bar{\boldsymbol{v}}$, 平均速率为 $\bar{v}$. 以下说法正确的是 <u>B</u>

A. $|\Delta \boldsymbol{r}|=\Delta s=\Delta r$

B. $|\Delta \boldsymbol{r}| \neq \Delta s \neq \Delta r$, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时有 $|\mathrm{d} \boldsymbol{r}|=\mathrm{d} s \neq \mathrm{d} r$

C. $|\Delta \boldsymbol{r}| \neq \Delta r \neq \Delta s$, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时有 $|\mathrm{d} \boldsymbol{r}|=\mathrm{d} r \neq \mathrm{d} s$

D. $|\Delta \boldsymbol{r}|=\Delta s \neq \Delta r$, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时有 $|\mathrm{d} \boldsymbol{r}|=\mathrm{d} r=\mathrm{d} s$

解析 如图5 所示, t 时刻位矢为 $\boldsymbol{r}_A, t+\Delta t$ 时刻位矢为 $\boldsymbol{r}_B$, 则 Δt 时间内的位移为 $\Delta \boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_B-\boldsymbol{r}_A$, 如图 $\overline{AB}$, Δt 时间内走过的路程 Δs 。如图曲线 $\widehat{AB}$, 可知 $|\Delta \boldsymbol{r}|=AB$ (直线), $\Delta s=\widehat{AB}$ (曲线), $\Delta r=\left|\boldsymbol{r}_B\right|-\left|\boldsymbol{r}_A\right|=r_B-r_A$, 如图6 所示, 又由于是在曲线运动中, 所以, $|\Delta \boldsymbol{r}|=\Delta r \neq \Delta r$, 但当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 曲线 AB 趋近于直线 AB, $|\mathrm{d} \boldsymbol{r}|=\mathrm{d} s$, 但却不等于 $\mathrm{d} r$, 故答案为 B.

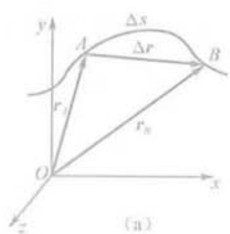
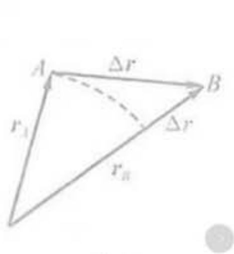


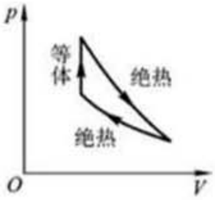
图 5 第十题图一

11. (2 分) 所列四图分别表示理想气体的四个设想的循环过程。请选出一个在物理. 上可能实现的循环过程的标号。 <u>D</u>

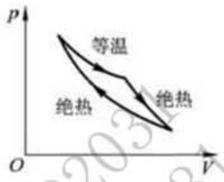


(b)

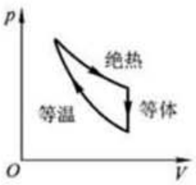
图 6　第十题图二



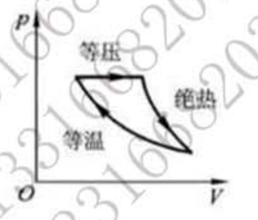
A.



B.



C.

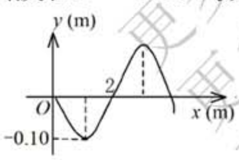


D.

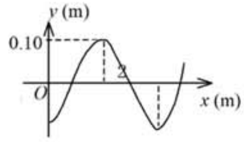
解析　绝热线不可以相交，绝热线比等温线陡峭

选 D

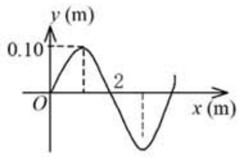
12. (2 分) 一平面简谐波沿 Ox 正方向传播, 已知其波动方程为 $y = 0.10\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{2} - \frac{x}{4}\right) + \frac{\pi}{2}\right]$。该波在 $t = 0.5s$ 时刻的波形图应是 <u>B</u>



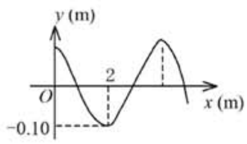
A.



B.



C.



D.

解析　将 $t = 0.5s$ 代入波动表达式可得: $y = 0.10\cos\left(\pi - \frac{\pi}{2}x\right)$，当 $x = 0$ 时, $y = -0.10$, 故 B 正确, ACD 错误. 故本题选: B

13. (2 分) 波由一种媒质进入另一种媒质时，其传播速度、频率、波长 <u>D</u>

A. 都不发生变化　　B. 速度和频率变, 波长不变

C. 都发生变化　　D. 速度和波长变、频率不变

解析　波速由媒质决定，媒质改变, 波速要变化，频率与媒质无关，只与波源有关, 故频率不变。由 $\lambda v = u$ 得, 波长也随媒质的改变而变化

选 D

14. (2 分) 弹簧振子的振幅变为原来的两倍，则 B

A. 总能量变为原来的三倍

B. 最大速度变为原来的两倍

C. 振动周期变为原来的两倍

D. 最大加速度不变

解析

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

故周期不变

$$E = \frac{1}{2}kx^2$$

故振动能量为原来的 4 倍

在平衡位置

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

故最大速度为原来的 2 倍

$$ma = kx$$

最大加速度为原来的 2 倍，选 B

15. (2 分) 一绝热容器被隔板分成左右两半，一半是真空，另一半是理想气体。若把隔板抽开后 C

A. 温度降低，熵增加

B. 温度升高，熵增加

C. 温度不变，熵增加

D. 温度不变，熵不变.

解析 绝热自由膨胀过程气体不做功，也无热量交换，故内能不变，所以温度不变。因过程是不可逆的，所以熵增加。

故选 C

16. (2 分) 在一定的温度下，理想气体分子速率分布函数 $f(v)$ 如图7所示。那么，当气体的温度降低时，应有 A

A. 最概然速率 v_p 变小，而 $f(v_p)$ 变大

B. 最概然速率 v_p，和 $f(v_p)$ 都变小

C. 最概然速率 v_p 变小，而 $f(v_p)$ 不变

D. 最概然速率 v_p 不变，而 $f(v_p)$ 变天

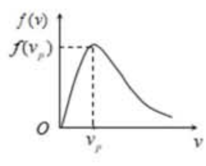


图 7 第十六题

解析 略

17. (2 分) 载有两个小朋友的车，最初静止在光滑的水平面上，在车头的小朋友将校徽水平地抛给在车尾的小朋友，车尾的小朋友随后接到校徽，以小车、小朋友、校徽作为系统，关于校徽从被抛出到被接到的过程，下面说法正确的是 A

A. 系统总动量不变，总动能先增加后减小

B. 系统总动量先增加后减小，总动能先增加后减小

C. 系统总动量先增加后减小，总动能不变

D. 系统总动量不变，总动能不变

解析 以小车、小朋友、校徽作为系统，校徽从被抛出到被接到的过程中，由于系统的合外力为零，故动量守恒，即系统总动量不变；当校徽被抛出时，需要消耗小朋友的能量转化为系统的动能，故系统的总动能开始先增加，当校徽被接住时，小朋友对校徽和车做负功，导致系统的总动能减少，故系统的总动能先增加后减小；
综上可知，A 正确，BCD 错误。

18. (2 分) 一质量为 2 kg 的物体受到恒力 $\vec{F}=2\vec{i}+4\vec{j}$ (SI) 的作用，在水平面内运动。在 $t=0$ 时，物体位于 $x=0, y=2(SI)$，速度为 0，则物体的运动方程为 D

A. $x=\frac{1}{2}t^2,\quad y=\frac{1}{2}t^2$　　B. $x=t^2, y=\frac{1}{2}t^2+2$

C. $x=t^2+2,\quad y=\frac{1}{2}t^2$　　D. $x=\frac{1}{2}t^2, y=t^2+2$

解析 略

19. (2 分) 对质点系有以下几种说法：(1) 质点系总动量的改变与内力无关：(2) 质点系总动能的改变与内力无关；(3) 质点系机械能的改变与保守内力无关。下列对上述说法判断正确的是 C

A. 只有 (1) 是正确的　　B. (1)、(2) 是正确的

C. (1)、(3) 是正确的　　D. (2)、(3) 是正确的

解析 (1) 根据质点组的动量定理知，质点组的总动量的改变只与质点组所受到的外力有关，与内力无关，故 (1) 正确；
(2) 根据质点组的动能定理知，质点组总动能的变化等于质点组受到的外力和内力做功之和，与内力有关，故 (2) 错误；
(3) 根据质点组的机械能守恒律知，当外力和内力都为保守内力时，质点组的机械能不变，故质点组的机械能与保守内力无关，故 (3) 正确。
故选：C。

20. (2 分) 在温度为 227°C 和 27°C 的高温热源和低温热源之间工作的热机，理论上的最大效率是 C

A. 88. 11%　　B. 60%　　C. 40%　　D. 25%

解析 由卡诺热机效率 $\eta=1-\frac{T_2}{T_1}=40\%$
选 C

21. (2 分) 在下面的四种情况下，一定能使理想气体分子的平均碰撞频率 $\bar{Z}$ 增大的是 D

A. 增大压强 P，提高温度 T　　B. 降低压强 P，提高温度 T

C. 降低压强 P，温度 T 不变　　D. 增大压强 P，降低温度 T

解析 设 M 为氦分子的摩尔质量, p 为气体的压强, T 为气体的温度, d 为分子的有效直径, n 为分子数密度, R 为摩尔气体常量, k 为玻耳兹曼常量。则理想气体分子的平均碰撞频率为

$$\bar{Z} = \sqrt{2}\pi d^2 n\bar{v} = \sqrt{2}\pi d^2 \cdot \frac{P}{kT} \cdot \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = \sqrt{2}\pi d^2 \frac{P}{k\sqrt{T}} \cdot \sqrt{\frac{8R}{\pi M}}$$

可见, 当 $\dfrac{P}{\sqrt{T}}$ 增大时, $\bar{Z}$ 增大, 而选项中只有 C 选项可以确定 $\dfrac{P}{\sqrt{T}}$ 一定增大, 故正确答案 D 项。

二、计算题 (共 4 小题)

1. 如图8一质量为 m 的铁块静止在质量为 m_0 的劈尖上, 劈尖本身又静止在水平桌面上。劈尖与桌面的夹角为 α , 设所有接触都是光滑的。当铁块位于高出桌面 h 处时, 这个铁块-劈尖系统由静止开始运动。当铁块落到桌面上时, 劈尖的速度有多大?

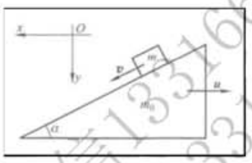


图 8 计算题一

解析 取坐标系 Oxy 于桌面 (惯性系), 如解如图8 所示。设劈尖对桌面的速度为 u, 朝 x 轴负向运动, 铁块对桌面的速度为 v, 相对劈尖的速度为 v', v 的水平分量沿 x 轴正向, 有

$$v = v' + u$$
$$v_x = v'_x - u = v' \cos\alpha - u$$
$$v_y = v'_y = v' \sin\alpha$$

铁块和劈尖系统在水平方向的动量守恒, 有

$$-m_0 u + m(v' \cos\alpha - u) = 0$$

对铁块、劈尖和地球系统, 机械能守恒。选桌面为重力势能零点。有

$$mgh = \frac{1}{2}m_0 u^2 + \frac{1}{2}mv^2$$

式中

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 = (v' \cos\alpha - u)^2 + v'^2 \sin^2\alpha$$

解上述方程, 得

$$u = m\cos\alpha \sqrt{\frac{2gh}{(m_0 + m)(m_0 + m\sin^2\alpha)}}$$

2. 有 N 个分子, 设其速率分布曲线如图9, 求:

(1) 其速率分布函数;

(2) 速率大于 v_0 和小于 v_0 的分子数;

(3) 分子的平均速率;

(4) 分子的方均根速率和分子的最概然速率。

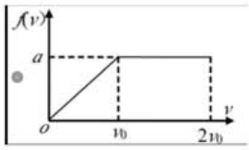


图 9 计算题二

(1) **解析** 由数学知识和分布函数归一化条件易得, 速率分布函数为

$$f(v)=\begin{cases}2v/\left(3v_0^2\right) & \left(0\le v\le v_0\right)\\ 2/\left(3v_0\right) & \left(v_0\le v\le 2v_0\right)\\ 0 & \left(v\ge 2v_0\right)\end{cases}$$

(2) **解析** 速率大于 v_0 的分子数为

$$\Delta N_1=\int_{v_0}^{2v_0} N f(v)dv=\int_{v_0}^{2v_0} N\frac{2}{3v_0}dv=\frac{2}{3}N$$

速率小于 $2v_0$ 的分子数为

$$\Delta N_2=\int_0^{2v_0} N f(v)dv=N$$

(3) **解析** 分子的平均速率为

$$\bar{v}=\int_0^{\infty} vf(v)dv=\int_0^{\infty}\left(2v^2/3v_0^2\right)dv+\int_{v_0}^{2v_0}\left(2v/3v_0\right)dv=\frac{2}{9}v_0+v_0=\frac{11}{9}v_0$$

(4) **解析** $\overline{v^2}=\int_0^{\infty} v^2 f(v)dv=\int_0^{v_0}\left(2v^3/3v_0^2\right)dv+\int_{v_0}^{2v_0}\left(2v^2/3v_0\right)dv=\frac{31}{18}v_0^2$

分子的方均根速率为 $\sqrt{\overline{v^2}}=1.31v_0$

因为速率分布函数 $f=f(v)$ 的极大值不存在，所以分子的最概然速率也不存在。

3. 沿 x 轴负方向传播的平面简谐波在 $t=2$ s 时刻的波形曲线如图10所示, 设波速 $u=0.5$ m/s. 求: 原点 O 的振动方程.

解析 由图10, $\lambda=2$ m, 又 $\because u=0.5$ m/s, $\therefore v=1/4$ Hz,
$T=4$ s. 题图中 $t=2\text{ s}=\frac{1}{2}T.t=0$ 时, 波形比题图中的波形倒退 $\frac{1}{2}\lambda$,

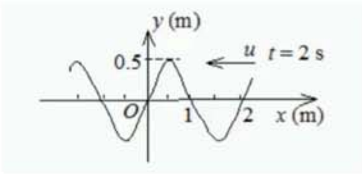


图 10　计算题三

见图10 此时 O 点位移 $y_0 = 0$ (过平衡位置) 且朝 y 轴负方向运动,

$$\therefore \quad \phi = \frac{1}{2}\pi$$

$$\therefore \quad y = 0.5\cos\left(\frac{1}{2}\pi t + \frac{1}{2}\pi\right) \quad \text{(SI)}$$

4. 如图11一理想气体开始处于 $T_1 = 300\ \mathrm{K}, p_1 = 3.039 \times 10^2\ \mathrm{Pa}, V_1 = 4\ \mathrm{m}^3$ 的平衡态。该气体等温地膨胀到体积为 $16\ \mathrm{m}^3$, 接着经过一等体过程达到某一压强, 从这个压强再经一绝热压缩就可使气体回到它的初态。设全部过程都是可逆的。求:

(1) 每段过程气体所做功和熵变

(2) 整个循环过程气体所做的功, 熵变和循环的效率

图 11　计算题四

解析

等温过程中气体对外做的功为

$$\begin{aligned} A_{\mathrm{T}} &= \nu R T_1 \ln\frac{V_2}{V_1} = p_1 V_1 \ln\frac{V_2}{V_1} \\ &= 3.039 \times 10^5 \times 4 \times \ln\frac{16}{4} \\ &= 1.69 \times 10^6 (\ \mathrm{J}) \end{aligned}$$

熵变为

$$\begin{aligned} \Delta S_{\mathrm{T}} &= \frac{Q}{T_1} = \nu R \ln\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1 V_1}{T_1}\ln\frac{V_2}{V_1} \\ &= \frac{3.039 \times 10^5 \times 4}{300}\ln\frac{16}{4} \\ &= 5.63 \times 10^3 (\ \mathrm{J/K}) \end{aligned}$$

等体过程中气体对外做的功 $A_{\mathrm{V}} = 0$, 熵变为

$$\Delta S_{\mathrm{V}} = \int_{T_2}^{T_3} \frac{\nu C_{V,\mathrm{m}}\,\mathrm{d}T}{T} = \nu C_{V,\mathrm{m}} \ln\frac{T_3}{T_2}$$

由于 $T_3/T_2 = T_3/T_1 = \left(V_1/V_2\right)^{\gamma-1}$, 所以又有

$$\begin{aligned}\Delta S_{\mathrm{V}} &= \nu C_{V,\,\mathrm{m}} \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = \nu(\gamma-1)C_{V,\,\mathrm{m}} \ln\frac{V_1}{V_2} \\ &= \frac{p_1V_1}{RT_1}(\gamma-1)C_{V,\,\mathrm{m}}\ln\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_1V_1}{T_1}\ln\frac{V_1}{V_2} \\ &= \frac{3.039\times10^5\times4}{300}\ln\frac{4}{16} \\ &= -5.63\times10^3(\mathrm{J/K})\end{aligned}$$

绝热过程中气体对外做的功为

$$\begin{aligned}A_{\mathrm{s}} &= \frac{1}{\gamma-1}\left(p_2V_2 - p_1V_1\right) \\ &= \frac{p_1V_1}{\gamma-1}\left[\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} - 1\right] \\ &= \frac{3.039\times10^5\times4}{1.4-1}\left[\left(\frac{4}{16}\right)^{1.4-1} - 1\right] \\ &= -1.30\times10^6(\mathrm{J})\end{aligned}$$

熵变为

$$\Delta S_{\mathrm{S}} = 0$$

整个循环过程气体对外做功为

$$\begin{aligned}A &= A_{\mathrm{T}} + A_{\mathrm{V}} + A_{\mathrm{s}} \\ &= 1.69\times10^6 + 0 + \left(-1.30\times10^6\right) \\ &= 0.39\times10^6(\mathrm{J})\end{aligned}$$

熵变为

$$\Delta S = \Delta S_{\mathrm{T}} + \Delta S_{\mathrm{V}} + \Delta S_{\mathrm{s}} = 5.63\times10^3 + \left(-5.63\times10^3\right) + 0 = 0$$