

(考试时间: 2024 年 6 月)

一、选择题: 本题共 10 小题, 每小题 2 分, 共 20 分。请把正确答案填写在答题纸的正确位置。每小题给出的四个选项中只有一个选项正确。错选、多选或未选的得 0 分。

- 理想气体经由两个不同的过程从状态 a 变化到状态 b, 下列说法正确的是 ()
(A) 两个过程气体做的功一定相同;
(B) 两个过程气体的内能变化一定相同;
(C) 两个过程气体吸收的热量一定相同;
(D) 两个过程气体的摩尔热容一定相同。
- 一定量的氮气, 在等压膨胀过程中对外做功 W , 其内能增量为 ()。
(A) $\frac{7}{3}W$ (B) $\frac{5}{3}W$ (C) $\frac{5}{2}W$ (D) $\frac{7}{2}W$
- 在温度分别为 327°C 和 27°C 的高温热源和低温热源之间工作的热机, 理论上的最大效率为 ()
(A) 25% (B) 50% (C) 75% (D) 91.74%
- 一绝热容器被隔板分成两半, 一半是真空, 另一半是理想气体。若把隔板抽出, 气体将进行自由膨胀, 达到平衡后 ()
(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
- 按照麦克斯韦气体分子速率分布律, 具有最概然速率 v_p 的分子, 其动能为 ()
(A) $\frac{kT}{2}$ (B) kT (C) $\frac{3kT}{2}$ (D) $2kT$
- 一定质量的气体, 保持体积不变, 当温度升高时, 单位时间内的平均碰撞次数将会 ()
(A) 增大 (B) 不变 (C) 减小 (D) 无法确定
- 两个惯性参照系 S 和 S' , 在 S 中同时同地发生的两个事件, 若考虑相对论效应, 则这两个事件在 S' 中肯定 ()
(A) 同时不同地 (B) 同时同地 (C) 不同同时地 (D) 不同时不同地
- 惯性系 S 、 S' 沿 x 轴做相对运动, 在 S 系中测得两个同时发生的事件沿运动方向空间距离为 1m , 在 S' 系中测得这两事件的空间间隔为 2m 。则在 S' 系中测得这两个事件的时间间隔为 ()
(A) $\sqrt{3}c$ (B) $\frac{1}{3}c$ (C) $\frac{\sqrt{3}}{c}$ (D) $\frac{3}{c}$
- 两个惯性系之间存在沿 x 轴方向的相对匀速运动, 对于它们之间满足的洛伦兹变换关系, 下面表述成立的是 ()

$$(A) \quad x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}$$

$$(B) \quad y' = y$$

$$(C) \quad z' = z^2$$

$$(D) \quad t' = t^2 - \frac{vx}{c^2}$$

10. 某粒子在加速器中被加速, 当其质量为静止质量的 3 倍时, 其动能为静止能量的 ()

- (A) 2 倍 (B) 3 倍 (C) 4 倍 (D) 5 倍

二、填空题: 本大题共 10 小题, 每小题 2 分, 共 20 分。请把正确答案填写在答题纸的正确位置。错填、不填均无分。

1. a 摩尔的单原子分子理想气体等容过程温度升高 ΔT , 则该理想气体内能增加_____。
2. 自由度为 i 的理想气体从 1 状态 ($p_1 V_1$) 经绝热过程到 2 状态 ($p_2 V_2$), 则 p_1 、 V_1 、 p_2 、 V_2 必须满足函数关系为_____。
3. 有一卡诺热机, 其高温热源和低温热源的温度分别为 T_1 和 T_2 , 则该热机的效率为_____。
4. 一团理想气体, 其分子数密度为 n , 分子的平均平动动能为 $\bar{\varepsilon}_{kt}$, 则该理想气体的压强公式为 $p =$ _____。
5. 一定量的理想气体, 经等压过程从体积 V 膨胀到 $3V$, 则膨胀后的理想气体分子的平均速率是原来的_____倍。
6. 一容器储有某种理想气体, 分子平均自由程为 $\bar{\lambda}$, 当气体的热力学温度降为原来的一半, 但体积不变, 则此时平均自由程为_____。
7. 一定量理想气体经等容过程温度升高为原来的 4 倍, 则其分子平均碰撞频率变为原来的_____倍。
8. 一体积为 V , 质量为 m_0 的立方体沿某一棱方向相对观察者 A 以速率 v 运动, 则观察者 A 测得密度为_____。
9. 两艘宇宙飞船相对于恒星参照系以 $0.8c$ 的速度沿相反方向飞行, 则两飞船的相对速率为_____ c 。
10. 已知某一频率的光子的能量为 E , 则其质量为_____。

三、计算题: 本题 12 分。请在答题纸上按题序作答, 并标明题号。

64g 氧气的温度由 0°C 升至 50°C , (1) 保持体积不变; (2) 保持压强不变。在这两个过程中氧气各吸收了多少热量? 各增加了多少内能? 对外各做了多少功?

参考答案

(1) 等容过程

$$\Delta E = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{5}{2} \times \frac{64}{32} \times 8.31 \times (50 - 0) = 2.08 \times 10^3 \text{ (J)} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

$$W = 0 \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

$$Q = \Delta E = 2.08 \times 10^3 \text{ (J)} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

(2) 等压过程

$$Q = \frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{7}{2} \times \frac{64}{32} \times 8.31 \times (50 - 0) = 2.91 \times 10^3 \text{ (J)} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

$$\Delta E = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = 2.08 \times 10^3 \text{ (J)} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

$$W = Q - \Delta E = 2.91 \times 10^3 - 2.08 \times 10^3 = 0.83 \times 10^3 \text{ (J)} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

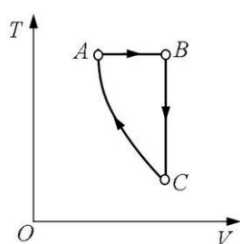
四、计算题：本题 12 分。请在答题纸上按题序作答，并标明题号。

如图所示为一理想气体 (摩尔热容比 γ 已知) 的循环过程, 其中 CA 为绝热过程。A 点的状态参量(T, V_1)和 B 点的状态参量(T, V_2)均为已知。

(1) 气体在 $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$ 两过程是吸热还是放热?

(2) 求 C 点的状态参量;

(3) 求这个循环的效率。



参考答案

(1) $A \rightarrow B$ 吸热.....1 分

$B \rightarrow C$ 放热.....1 分

(2) 由图可知

$$V_C = V_2 \dots\dots\dots 1 \text{ 分}$$

$C \rightarrow A$ 是绝热过程, 故有

$$V_2^{\gamma-1} T_C = V_1^{\gamma-1} T \Rightarrow T_C = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} T \dots\dots\dots 1 \text{ 分}$$

(3) 由于 $A \rightarrow B$ 吸热, $B \rightarrow C$ 放热, $C \rightarrow A$ 绝热, 故有

$$Q_1 = Q_{AB}, \quad Q_2 = -Q_{BC}.$$

其中

$$Q_1 = Q_{AB} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

$$Q_2 = -Q_{BC} = \frac{m}{M} \frac{i}{2} R(T_B - T_C) = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

所以循环的效率为

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{i}{2} \frac{1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}}{\ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)}$$

由于自由度 i 与摩尔热容比 γ 满足如下关系

$$\gamma = \frac{i+2}{i}$$

可得

$$i = \frac{2}{\gamma-1} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

故循环效率可写为

$$\eta = 1 - \frac{1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}}{(\gamma-1) \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

五、计算题：本题 12 分。请在答题纸上按题序作答，并标明题号。

假定 N 个粒子的速率分布函数为

$$f(v) = \begin{cases} Av^2 & 0 < v \leq v_m \\ 0 & v > v_m \end{cases}$$

- (1) 用 v_m 定出常数 A ；
- (2) 分子的平均速率；
- (3) 分子的方均根速率。

参考答案

- (1) 由归一化条件有

$$\int_0^{v_m} Av^2 dv = 1$$

可得

$$A = \frac{3}{v_m^3} \dots\dots\dots 4 \text{ 分}$$

(2) 分子的平均速率为

$$\bar{v} = \int_0^{v_m} v f(v) dv = \int_0^{v_m} v \frac{3}{v_m^3} v^2 dv = \frac{3}{4} v_m \dots\dots\dots 4 \text{ 分}$$

(3) 分子速率平方的平均为

$$\overline{v^2} = \int_0^{v_m} v^2 f(v) dv = \int_0^{v_m} v^2 \frac{3}{v_m^3} v^2 dv = \frac{3}{5} v_m^2$$

故方均根速率为

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \frac{\sqrt{15}}{5} v_m \dots\dots\dots 4 \text{ 分}$$

六、计算题：本题 12 分。请在答题纸上按题序作答，并标明题号。

已知 μ 子的静止能量为 105.7MeV，平均寿命为 $2.2 \times 10^{-8} \text{s}$ 。试问：实验室中测得动能为 150MeV 的 μ 子的速率 v 是多少？平均寿命 τ 是多少？ 参考答案

根据相对论动能公式 $E_k = mc^2 - m_0 c^2$ ，有

$$E_k = m_0 c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} - 1 \right] \dots\dots\dots 4 \text{ 分}$$

可得

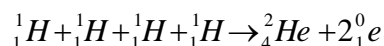
$$v = c \frac{\sqrt{1 + 2m_0 c^2 / E_k}}{1 + m_0 c^2 / E_k} = 0.91c \dots\dots\dots 4 \text{ 分}$$

实验室测得的平均寿命为

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} = 5.31 \times 10^{-8} \text{ s} \dots\dots\dots 4 \text{ 分}$$

七、计算题：本题 12 分。请在答题纸上按题序作答，并标明题号。

太阳发出的能量是由质子参与一系列反应产生的，其总结果相当于下述热核反应：



已知一个质子 (${}^1_1\text{H}$) 的静质量 $m_p = 1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$, 一个氦核的静质量 $m_{\text{He}} = 6.6425 \times 10^{-27} \text{ kg}$, 一个电子的静止质量 $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 。试问

- (1) 这一反应释放多少能量?
- (2) 消耗 1kg 质子可以释放多少能量?
- (3) 目前太阳辐射的总功率为 $P = 3.9 \times 10^{26} \text{ W}$, 它一秒钟消耗多少千克的质子?
- (4) 目前太阳约含有 $m = 1.5 \times 10^{30} \text{ kg}$ 质子, 假定它继续上述 (3) 求得的速率消耗质子, 这些质子可供消耗多长时间?

参考答案

- (1) 释放能量为

$$\begin{aligned} \Delta E &= \Delta mc^2 \\ &= (4 \times 1.6726 - 6.6425 - 2 \times 0.0009) \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2 \quad \dots\dots\dots 3 \text{ 分} \\ &= 4.15 \times 10^{-12} \text{ J} \end{aligned}$$

- (2) 消耗 1kg 质子可释放的能量为

$$4.15 \times 10^{-12} / (4 \times 1.6726 \times 10^{-27}) = 6.20 \times 10^{14} \text{ J} \quad \dots\dots\dots 3 \text{ 分}$$

- (3) 一秒钟消耗质子的质量为

$$3.9 \times 10^{26} / (6.20 \times 10^{14}) = 6.29 \times 10^{11} \text{ kg/s} \quad \dots\dots\dots 3 \text{ 分}$$

- (4) 消耗的时间为

$$1.5 \times 10^{30} / (6.29 \times 10^{11}) = 2.38 \times 10^{18} \text{ s} = 7.56 \times 10^{10} \text{ a} \quad \dots\dots\dots 3 \text{ 分}$$

B 类参考答案

一、选择题

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
答案	B	C	B	C	B	A	B	C	B	A

二、填空题

1. $\frac{3}{2}aR\Delta T$

2. $p_1 V_1^{\frac{i+2}{i}} = p_2 V_2^{\frac{i+2}{i}}$

3. $1 - \frac{T_2}{T_1}$

4. $\frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}_{kt}$

5. $\sqrt{3}$

6. $\bar{\lambda}$

7. 2

8. $\frac{m_0}{V\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$

9. $\frac{40}{41}$ (或 0.976)

10. $\frac{E}{c^2}$