

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。

1. 判断下列表述中哪些是正确的 ()

- (1) 任意参照系中测得物体的运动速度都不可能大于真空中的光速
- (2) 质量、长度、时间的测量结果都取决于物体相对观察者的运动状态
- (3) 在惯性系中同一时刻不同地点的两个事件, 在其他一切惯性系中必定是同时发生的
- (4) 在相对于一个粒子静止不动的参考系中, 测得该粒子寿命, 必定比在与粒子有相对运动的其他惯性系中测得该粒子的寿命要短

- (A) (1), (3), (4) (B) (1), (2), (4)
(C) (1), (2), (3) (D) (2), (3), (4)

参考答案: B

2. 设某微观粒子的总能量是它的静止能量的 1.25 倍, 则其运动速度的大小为 c 的多少倍? ()
(以 c 表示真空中的光速)

- (A) 0.4 (B) 0.5 (C) 0.6 (D) 0.7

参考答案: C

3. 一束光经过地球时, 相对地球的速度为 c 。现有一宇宙飞船以 $0.95c$ 的速率相对于地球运动, 则光相对于宇宙飞船的速率为 ()

- (A) c (B) $0.95c$ (C) $1.95c$ (D) $0.05c$

参考答案: A

4. 气缸中有一定量的刚性双原子分子理想气体, 经过绝热压缩, 使其压强变为原来的 2 倍, 问气体分子的平均速率变为原来的几倍? ()

- (A) $2^{2/5}$ (B) $2^{2/7}$ (C) $2^{1/5}$ (D) $2^{1/7}$

参考答案: D

5. 一定量理想气体, 经等压过程体积从 V_0 膨胀到 $2V_0$, 则后一状态与前一状态的平均自由程之比为 ()

- (A) 1:1 (B) 1:4 (C) $\sqrt{2}:1$ (D) 2:1

参考答案: D

6. 摩尔数相同的一定量氢气和氦气, 如果它们的温度相同, 则可知两气体的 ()

- (A) 内能必相等
(B) 分子的平均动能必相等
(C) 分子的平均平动动能必相等
(D) 分子的平均转动动能必相等

参考答案: C

7. 一定量的理想气体, 经历某过程后, 温度升高了, 则一定发生的是 ()

- (A) 气体在此过程中吸收了热量

- (B) 气体的内能增加了
 (C) 在此过程中气体既从外界吸收了热量，又对外做正功
 (D) 在此过程中外界对气体做正功

参考答案：B

8. 一定量某理想气体所经历的循环过程是：从初态 (V_0, T_0) 开始，先经绝热膨胀使其体积增大 1 倍，再经等体升温回复到初态温度 T_0 ，最后经等温过程使其体积回复为 V_0 ，则气体在此循环过程中（ ）

- (A) 对外所做的净功大于零
 (B) 对外所做的净功小于零
 (C) 从外界净吸的热量大于零
 (D) 系统内能增加

参考答案：B

9. 理想气体（氧气和氮气）被分别贮存在两瓶体积相等的容器中，若它们的方均根速率之比为

$$\sqrt{v_{O_2}^2} : \sqrt{v_{N_2}^2} = 1:2, \text{ 则氧气与氮气的温度比 } T_{O_2} : T_{N_2} \text{ 为 ()}$$

- (A) 2:7 (B) 7:2 (C) 1:2 (D) 2:1

参考答案：A

10. 对于理想气体系统来说，在下列过程中，哪个过程系统所吸收的热量、内能的增量和对外做的功三者均为负值（ ）

- (A) 等体降压过程 (B) 等温膨胀过程 (C) 等压压缩过程 (D) 绝热膨胀过程

参考答案：C

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. 宇宙飞船以速率 $v = 0.8c$ 匀速飞离地球，某一时刻飞船尾部的宇航员向飞船头部发出一个光信号，经过 $1\mu s$ （飞船时间）后被飞船头部的接收器收到，则在地球上的观测者看来，光信号从船尾到船头所需的时间为_____ μs 。

参考答案：3

2. 固有长度为 L 的车厢相对于地面以速度 u 沿直线轨道高速运动，车厢的前端有人朝车厢后端的靶以速度 $v = \frac{c^2}{\alpha u}$ （ α 是大于 1 的常数）发射一颗子弹。在地面上测得，车厢在这一过程中行驶的距离为_____。（ c 表示真空中光速）

参考答案： $\frac{(\alpha - 1)(u/c)^2}{\sqrt{1 - (u/c)^2}} L$

3. 已知中子自身的寿命为实验室测得寿命的 $1/n$ ，则此中子的动能等于_____。（中子的静止质量为 m_{no} ）

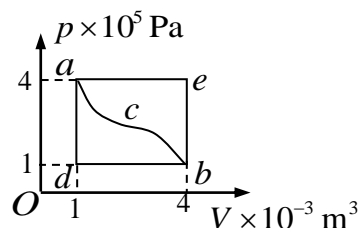
参考答案： $m_{no} c^2 (n - 1)$

4. 1mol 理想气体，在等压膨胀过程中对外做功 W ，则其温度变化 $\Delta T =$ _____。

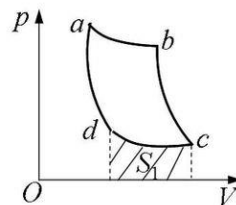
参考答案: W/R

5. 一定量的理想气体经历 acb 过程时吸热 550 J 。则经历 $acbea$ 过程时, 吸热为_____。

参考答案: -650 J



6. 如图所示的循环过程 $abcda$ 为卡诺循环, 等温过程 ab 的温度为 $3T_0$, 等温过程 cd 的温度为 T_0 , cd 过程下方的面积为 S_1 , 则做一个正循环时, 对外所做的净功 $W =$ _____。



参考答案: $2S_1$

7. 若理想气体的体积为 V , 压强为 P , 温度为 T , k 为玻耳兹曼常量, 则该理想气体的分子数为_____。

参考答案: $\frac{PV}{kT}$

8. 3 mol 的理想气体开始时处在压强 $p_1 = 6 \text{ atm}$ 、温度 $T_1 = 500 \text{ K}$ 的平衡态。经过一个等温过程, 压强变为 $p_2 = 3 \text{ atm}$ 。该气体在此等温过程中吸收的热量为 $Q =$ _____ J 。

参考答案: 8.64×10^3

9. 用激光冷却的方法使钠原子几乎停止运动, 此时相应的温度为 $2.4 \times 10^{-11} \text{ K}$, 则钠原子的方均根速率为_____ m/s (钠的摩尔质量为 $23 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$)

参考答案: 1.61×10^{-4}

10. 用绝热材料制成的一个容器, 体积为 $2V_0$, 被绝热和透热两层板隔成 A、B 两部分, A 内储有 1 mol 单原子分子理想气体, B 内储有 2 mol 刚性双原子分子理想气体, A、B 两部分压强相等均为 p_0 , 两部分体积均为 V_0 。现在突然抽去绝热板, 透热板变为可无摩擦移动活塞, 活塞最终处于平衡, 此时 A 部分的压强=_____。

参考答案: $\frac{12}{13} p_0$

三、计算题: 本题 12 分。请在答题纸上按题序作答, 并标明题号。

在地面上 A 处发射一炮弹后经时间 $4 \times 10^{-6} \text{ s}$ 在 B 处又发射一枚炮弹, A、B 相距 800 m 。

(1) 在什么样的参考系中测得上述两个事件发生在同一地点?

(2) 能否找出一个参考系, 在其测得上述两个事件同时发生。

参考答案:

(1) 设在地面参考系为 S 系, A、B 两点连线为 x 轴, 两事件发生的时空坐标分别为 (x_1, t_1) 和 (x_2, t_2) ; 在另一个参考系 S' 系 (以 v 沿 x 轴正方向运动), A、B 处发生的两事件的时空坐标为 (x'_1, t'_1) 和 (x'_2, t'_2) , 由洛伦兹变换有

$$x'_1 = \frac{x_1 - vt_1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad x'_2 = \frac{x_2 - vt_2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

若两事件在同一地点发生, 则 $x'_1 = x'_2$, 可得

$$v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = 2 \times 10^8 \text{ m/s} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

即在以速率为 $2 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，沿 A、B 连线运动的参考系看这两次炮弹发射是在同一地点的。
\dots\dots\dots 2 分

(2) 由洛伦兹变换有

$$t'_1 = \frac{t_1 - \frac{vx_1}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad t'_2 = \frac{t_2 - \frac{vx_2}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

据题意，在 S' 系中两事件要同时发生，即 $t'_1 = t'_2$ ，则有

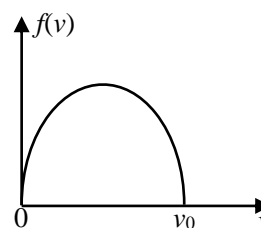
$$v = \frac{c^2(t_2 - t_1)}{x_2 - x_1} = 4.5 \times 10^8 \text{ m/s} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

因为 $v > c$ ，所以找不到这样的参考系。 \dots\dots\dots 2 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。

设有 N 个粒子，其速率分布如图所示，速率分布函数为：

$$f(v) = \begin{cases} av^2 + bv + c & 0 < v < v_0 \\ 0 & v_0 < v \end{cases}$$



(1) 求参数 a, b, c ；

(2) 求最概然速率；

(3) 求速率介于 $0 \sim \frac{v_0}{4}$ 之间的粒子数；

(4) 求速率介于 $0 \sim \frac{v_0}{4}$ 之间的粒子的平均速率。

参考答案：

$$(1) \because f(0) = a \cdot 0 + b \cdot 0 + c = 0,$$

$$f(v_0) = av_0^2 + bv_0 + c = 0,$$

$$\int_0^{v_0} f(v) dv = \int_0^{v_0} (av_0^2 + bv_0 + c) dv = 1,$$

$$\text{解得: } a = -\frac{6}{v_0^3}, \quad b = \frac{6}{v_0^2}, \quad c = 0; \dots\dots\dots 3 \text{ 分}$$

$$(2) \text{ 令 } \frac{df}{dv} = 0, \text{ 得 } v_p = \frac{v_0}{2}; \dots\dots\dots 3 \text{ 分}$$

$$(3) \quad \Delta N = N \int_0^{\frac{v_0}{4}} f(v) dv = N \int_0^{\frac{v_0}{4}} (av^2 + bv) dv = \frac{5}{32} N \quad \dots\dots\dots 3 \text{ 分}$$

$$(4) \quad \overline{v}_{0 \sim \frac{v_0}{4}} = \frac{\int_0^{\frac{v_0}{4}} v dN}{\int_0^{\frac{v_0}{4}} dN} = \frac{N \int_0^{\frac{v_0}{4}} v f(v) dv}{N \int_0^{\frac{v_0}{4}} f(v) dv} = \frac{N \int_0^{\frac{v_0}{4}} v \left(-\frac{6}{v_0^3} v^2 + \frac{6}{v_0^2} v \right) dv}{\frac{5}{32} N} = \frac{\frac{13}{512} N v_0}{\frac{5}{32} N} = \frac{13}{80} v_0$$

\dots\dots\dots 3 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。

质量为 2.8g，温度为 27°C，压强为 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的氮气，先经等压膨胀至体积加倍，再经等体过程至压强加倍，最后经等温过程，使其压强恢复至初态。试求气体全过程中所做的功以及吸收的热量和内能的改变量。

参考答案：

初始状态： $T_1=300\text{K}$ ， $p_1=1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，则

$$V_1 = \frac{mRT_1}{Mp_1} = 2.46 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \quad \dots\dots\dots 1 \text{ 分}$$

经等压膨胀至体积加倍的状态 2： $p_2=p_1=1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，则

$$V_2 = 2 \times V_1 = 4.92 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \quad \dots\dots\dots 1 \text{ 分}$$

$$T_2 = \frac{V_2}{V_1} T_1 = 2 \times 300 = 600 \text{ K} \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

再经等体过程至压强加倍的状态 3： $p_3=2p_2=2.026 \times 10^5 \text{ Pa}$ ， $V_3=V_2=4.92 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ，则

$$T_3 = \frac{p_3}{p_2} T_2 = 1200 \text{ K} \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

最后经等温过程，使压强恢复至 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的状态 4： $T_4=T_3=1200\text{K}$ ， $p_4=p_1=1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

气体在全过程中内能的改变量为：

$$\Delta E = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R(T_4 - T_1) = 1869.8 \text{ J} \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

气体在全过程中所做的功为：

$$W = W_{12} + W_{34} = p_1(V_2 - V_1) + \frac{m}{M} RT_3 \ln \frac{p_3}{p_4} = 940.4 \text{ J} \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

气体全过程中所吸收的热量为：

$$Q = \Delta E + W = 2810.2 \text{ J} \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

六、计算题：本题 12 分。请在答题纸上按题序作答，并标明题号。

1mol 氧气从初态出发，经过等容升压过程，压强增大为原来的 2 倍，然后又经过等温膨胀过程，体积增大为原来的 2 倍，求末态与初态之间(1)气体分子方均根速率之比； (2)分子平均自由程之比。

参考答案：

由气体状态方程

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad \text{及} \quad p_2 V_2 = p_3 V_3 \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

方均根速率公式

$$\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M_{\text{mol}}}} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

$$\frac{\sqrt{v_{\text{末}}^2}}{\sqrt{v_{\text{初}}^2}} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} = \sqrt{\frac{p_1}{p_2}} = \sqrt{2} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

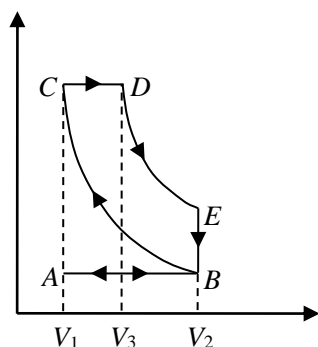
对于理想气体, $p = nkT$, 即 $n = \frac{p}{kT} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$

所以有 $\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2\pi}d^2 p} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$

$$\frac{\bar{\lambda}_{\text{末}}}{\bar{\lambda}_{\text{初}}} = \frac{T_3 p_1}{T_1 p_3} = 2 \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

七、计算题: 本题 12 分。请在答题纸上按题序作答, 并标明题号。

四冲程柴油机工作的理论循环如图所示, 其中 BC 为绝热压缩, DE 为绝热膨胀, CD 为等压膨胀, EB 为等体冷却过程。已知体积 V_1 、 V_2 、 V_3 及摩尔热容比 γ , 求此循环的效率。



参考答案:

循环过程中吸热为

$$Q_1 = \frac{m}{M} C_{p,m} (T_D - T_C) \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

循环过程中放热为

$$Q_2 = \frac{m}{M} C_{v,m} (T_E - T_B) \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

此循环的效率为

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{C_{v,m} (T_E - T_B)}{C_{p,m} (T_D - T_C)} = 1 - \frac{\frac{T_E}{T_B} - 1}{\gamma \left(\frac{T_D}{T_B} - \frac{T_C}{T_B} \right)} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

因为 BC 为绝热过程, 有

$$\frac{T_C}{T_B} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1}$$

CD 为等压过程, 有

$$\frac{T_D}{T_C} = \frac{V_3}{V_1}$$

则

$$\frac{T_D}{T_B} = \frac{T_D}{T_C} \frac{T_C}{T_B} = \frac{V_3}{V_1} \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

DE 为绝热过程, 有

$$\frac{T_E}{T_D} = \left(\frac{V_3}{V_2} \right)^{\gamma-1}$$

则

$$\frac{T_E}{T_B} = \frac{T_E}{T_D} \frac{T_D}{T_B} = \left(\frac{V_3}{V_2} \right)^{\gamma-1} \frac{V_3}{V_1} \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_3}{V_1} \right)^{\gamma} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

所以

$$\eta = 1 - \frac{\left(\frac{V_3}{V_1} \right)^{\gamma} - 1}{\gamma \left(\frac{V_3}{V_1} \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \right)} = 1 - \frac{\left(\frac{V_3}{V_1} \right)^{\gamma} - 1}{\gamma \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \left(\frac{V_3}{V_1} - 1 \right)} \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$