

## 《大学物理 AII》作业

## No. 11 热力学第一定律

班级 \_\_\_\_\_ 学号 \_\_\_\_\_ 姓名 \_\_\_\_\_ 成绩 \_\_\_\_\_

\*\*\*\*\*本章教学要求\*\*\*\*\*

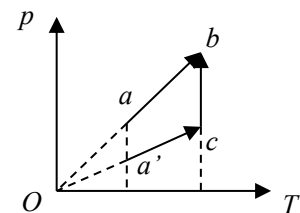
- 1、理解准静态过程、体积功、热量、内能等概念，理解功、热量和内能的微观意义，并熟练掌握其计算。
- 2、理解热力学第一定律的意义，并能用它对理想气体各过程进行分析和计算。
- 3、理解热容量概念，并能用它计算理想气体各过程的热容及热量传递。
- 4、理解理想气体绝热过程的状态变化特征和能量传递关系。
- 5、理解循环过程概念及正循环、逆循环的能量转换特征；并能计算热机效率和致冷系数。
- 6、理解卡诺循环的特征，掌握卡诺正循环效率及卡诺逆循环致冷系数的计算。

一、选择题：

1. 一定量的理想气体分别由初态  $a$  经过程  $ab$  和由初态  $a'$  经过程  $a'cb$  到达相同的终态  $b$ ，如  $p-T$  图所示，则两个过程中气体从外界吸收的热量  $Q_1$ 、 $Q_2$  的关系为

[       ]

- (A)  $Q_1 < 0$ ,  $Q_1 > Q_2$ ;  
 (B)  $Q_1 > 0$ ,  $Q_1 > Q_2$ ;  
 (C)  $Q_1 < 0$ ,  $Q_1 < Q_2$ ;  
 (D)  $Q_1 > 0$ ,  $Q_1 < Q_2$ 。



解：

由图示可知， $ab$  过程延长线过坐标原点  $O$ ，表明理想气体压强  $p$  和温度  $T$  成正比，该过程是等体升温过程，系统对外做功为 0，内能增加，必然有吸热  $Q_1 > 0$ 。

同理可知  $a'c$  过程也是等体升温过程， $cb$  为等温升压过程。由  $a$ 、 $a'$  温度相等， $b$ 、 $c$  温度相等，可知与  $a'c$  这两个等体过程升温相同，进而可知其内能增量相同，吸热相同，都为  $Q_1$ 。 $cb$  等温过程压强增大，体积减小，说明外界对系统做正功，同时向外界放出热量  $Q'$ 。 $a'cb$  过程吸收的总热量为  $Q_2 = Q_1 - Q' < Q_1$

所以选 **B**

2. 一定量的理想气体，经历某过程后，温度升高了，则根据热力学定律可以断定：(1) 该理想气体系统在此过程中吸了热。(2) 在此过程中外界对该理想气体系统作了正功。(3) 该理想气体系统的内能增加了。(4) 在此过程中理想气体系统既从外界吸了热，又对外作了正功。以上正确的断言是：

[       ]

- (A) (1)、(3)

(B) (2)、(3)

(C) (3)

(D) (3)、(4)

解：内能与温度增量直接成正比，温度升高，内能必然增加。题目中其他物理量仅凭温度增加无法判断。  
所以选 **C**

3. 如图所示，设某热力学系统经历一个由  $c \rightarrow d \rightarrow e$  的过程，其中， $ab$  是一条绝热曲线， $e$ 、 $c$  在该曲线上。由热力学定律可知，该系统在过程中

[       ]

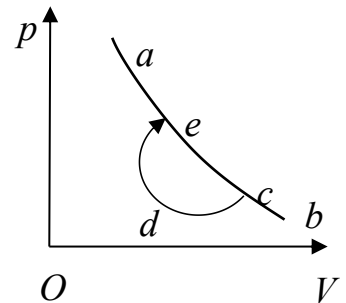
(A) 不断向外界放出热量；

(B) 不断从外界吸收热量；

(C) 有的阶段吸热，有的阶段放热，整个过程中吸的热量等于放出的热量；

(D) 有的阶段吸热，有的阶段放热，整个过程中吸的热量大于放出的热量；

(E) 有的阶段吸热，有的阶段放热，整个过程中吸的热量小于放出的热量。

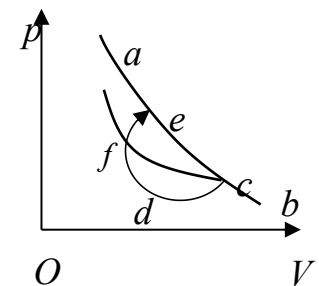


解： $e$ 、 $c$  在绝热线上， $Q_{ec} = 0$ 。所以  $Q_{cde} = Q_{cdec}$ 。而  $cdec$  为正循环，即该过程系统对外界做正功，内能增量为 0，系统从外界吸热。

过  $c$  做等温线一定会与  $cde$  过程线交于某点（如  $f$  点），则由于  $cf$  等温压缩过程内能增量为 0，系统对外界做负功（即外界对系统做功），系统向外界放热。

可见， $cde$  过程有的阶段放热，有的阶段吸热，整个过程中吸收的热量大于放出的热量。

所以选 **D**



4. 甲说：“由热力学第一定律可证明所有永动机都不可能建成。”乙说：“由热力学第一定律可证明有一部分永动机不可能建成。”丙说：“由热力学第一定律可证明任何卡诺循环的效率都等于  $1 - (T_2/T_1)$ 。”丁说：“由热力学第一定律可证明理想气体卡诺热机(可逆的)循环的效率等于  $1 - (T_2/T_1)$ ”对以上说法，有如下几种评论，哪种是正确的？

[       ]

(A) 甲、乙、丙、丁全对；

(B) 甲、乙、丙、丁全错；

(C) 甲、乙、丁对，丙错；

(D) 乙、丁对，甲、丙错。

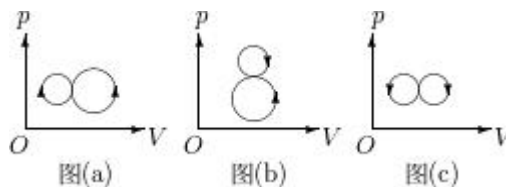
解：热力学第一定律只能证明第一类永动机不可能建成，所以甲错，乙对；任何卡诺循环的效率都等于  $1 - (T_2/T_1)$ ，这个需要热力学第二定律来证明，所以丙错。由第一定律可以推导出理想气体可逆热机的效率等于  $1 - (T_2/T_1)$ ，则丁对。

所以选 **D**

5. 图(a)、(b)、(c)各表示联接在一起的两个循环过程，其中(c)图是两个半径相等的圆构成的两个循环过程，图(a)和(b)则为半径不等的两个圆。那么

[       ]

- (A) 图(a)总净功为负，图(b)总净功为正，图(c)总净功为零；  
 (B) 图(a)总净功为负，图(b)总净功为负，图(c)总净功为正；  
 (C) 图(a)总净功为负，图(b)总净功为负，图(c)总净功为零；  
 (D) 图(a)总净功为正，图(b)总净功为正，图(c)总净功为负。



**解：**由  $p$ - $V$  图中循环过程的功的绝对值为过程线包围的面积以及正循环做正功逆循环做负功可知，图(a)总净功为负，图(b)总净功为负，图(c)总净功为零

所以选 **C**

## 二、填空题：

1. 在一个以匀速度  $u$  运动的容器中，盛有分子质量为  $m$  的某种单原子理想气体。若使容器突然停止运动，则气体状态达到平衡后，其温度的增量  $\Delta T =$  \_\_\_\_\_。

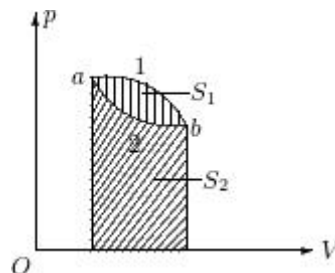
**解：**由  $N \frac{1}{2} m u^2 = N \frac{3}{2} k \Delta T$  得到

$$\Delta T = m u^2 / 3 k$$

2. 在  $p$ - $V$  图上(1) 系统的某一平衡态用\_\_\_\_\_来表示；(2) 系统的某一平衡过程用\_\_\_\_\_来表示；(3) 系统的某一平衡循环过程用\_\_\_\_\_来表示。

**解：**一个点；一条曲线；一条封闭曲线

3. 如图所示，已知图中画不同斜线的两部分的面积分别为  $S_1$  和  $S_2$ ，那么(1) 如果气体的膨胀过程为  $a \rightarrow 1 \rightarrow b$ ，则气体对外做功  $W =$  \_\_\_\_\_；(2) 如果气体进行  $a \rightarrow 2 \rightarrow b \rightarrow 1 \rightarrow a$  的循环过程，则它对外做功  $W =$  \_\_\_\_\_



**解：**  $S_1 + S_2$ ;  $-S_1$

4. 一气缸内贮有  $10 \text{ mol}$  的单原子分子理想气体，在压缩过程中外界做功  $209 \text{ J}$ ，气体升温  $1 \text{ K}$ ，此过程中气体内能增量为\_\_\_\_\_，外界传给气体的热量为\_\_\_\_\_。(普适气体常量  $R = 8.31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ )

**解：**由内能增量

$$\Delta E = \frac{m}{M} \frac{i}{2} R \Delta T = 10 \times \frac{3}{2} \times 8.31 \times 1 = 124.7 \text{ J}$$

再由热力学第一定律

$$Q = \Delta E + W = 124.7 + (-209) = -84.3 \text{ J}$$

5. 不规则地搅拌盛于绝热容器中的液体，液体温度在升高，若将液体看作系统，则：(1) 外界传给系统的热量\_\_\_\_\_零；(2) 外界对系统作的功\_\_\_\_\_零；(3) 系统的内能的增量\_\_\_\_\_零；(填大于、等于、小于)

解：等于；大于；大于

6. 一定量的理想气体，由状态  $a$  经  $b$  到达  $c$ 。（图中  $abc$  为一直线），此过程中气体对外作的功为 \_\_\_\_\_，气体内能的增量为 \_\_\_\_\_，气体吸收的热量为\_\_\_\_\_。

( $1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ )

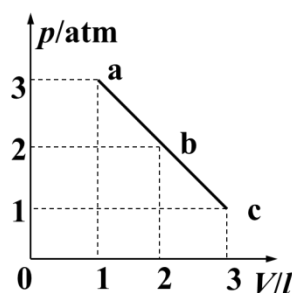
解：

$$W = 0.5 \times (1+3) \times 1.013 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3} = 405.2 \text{ J}$$

$$\because p_a V_a = p_c V_c \quad \therefore T_a = T_c$$

$$\Delta E = 0$$

$$Q = \Delta E + W = 405.2 \text{ J}$$

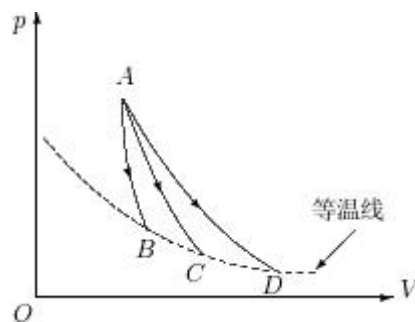


7. 理想气体准静态卡诺循环由两个\_\_\_\_\_过程和两个\_\_\_\_\_过程组成

解：等温；绝热。

### 三、简答题：

1. 一定量的理想气体，从  $p-V$  图上同一初态  $A$  开始，分别经历三种不同的过程过渡到不同的末态，但末态的温度相同，如图所示，其中  $A \rightarrow C$  是绝热过程，问 (1) 在  $A \rightarrow B$  过程中气体是吸热还是放热？为什么？(2) 在  $A \rightarrow D$  过程中气体是吸热还是放热？为什么？



答：(1)  $A \rightarrow B$  过程中气体放热。

因为若以  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$  构成循环，则此循环中  $\Delta E = 0$ ， $W < 0$ 。由热力学第一定律可知  $Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} < 0$ 。但  $Q_{CA} = 0$ ， $Q_{BC} > 0$ ，故有  $Q_{AB} < 0$ ，即放热。

(2)  $A \rightarrow D$  过程中气体吸热。

因为若以  $A \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow A$  构成循环，则此循环中  $\Delta E = 0$ ， $W > 0$ 。由热力学第一定律可知  $Q = Q_{AD} + Q_{DC} + Q_{CA} > 0$ 。但  $Q_{CA} = 0$ ， $Q_{DC} < 0$ ，故有  $Q_{AD} > 0$ ，即吸热。

### 四、计算题：

1. 1mol 氢气，在压强为 1atm，温度为 20℃ 时，体积为  $V_0$ 。现使氢气经历如下过程：先保持体积不变，加热使其温度升高到 80℃，然后令其作等温膨胀，直至体积变为原体积的两倍。求出上述过程中气体的吸热，做功和内能的变化量，并作出  $P-V$  图（氢气可视为理想气体，氢分子可被视作刚性双原子分子。普适气体常量  $R = 8.31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ ）。

解：

等容过程

$$A_1 = 0$$

$$Q_1 = \Delta E_1 = \frac{m}{M} \frac{iR}{2} (T_2 - T_1) = 1 \times \frac{5}{2} \times 8.31 \times 60 = 1246.5 \text{ (J)}$$

等温过程：

$$\Delta E_2 = 0$$

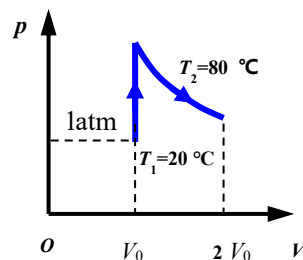
$$Q_2 = A_2 = \frac{m}{M} RT_2 \ln \frac{2V_0}{V_0} \\ = 1 \times 8.31 \times (273 + 80) \times \ln 2 = 2033.3 \text{ (J)}$$

在整个过程中，

$$A = A_1 + A_2 = 2033.3 \text{ (J)}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 1246.5 + 2033.3 = 3279.8 \text{ (J)}$$

$$\Delta E = \Delta E_1 + \Delta E_2 = 1246.5 \text{ (J)}$$



2. 计算奥托机的循环效率。  $c \rightarrow d$ ,  $e \rightarrow b$  为等容过程；  $b \rightarrow c$ ,  $d \rightarrow e$  为绝热过程。已知该工作物质为理想气体在状态  $c$  的体积为  $V_0$ ，在状态  $b$  的体积为  $V$ ，其摩尔热容比为  $\gamma$ 。

解：  $cd$  为等体吸热

$$Q_1 = \frac{m}{M} C_{V,m} (T_d - T_c)$$

$eb$  为等体放热

$$Q_2 = \frac{m}{M} C_{V,m} (T_e - T_b)$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_e - T_b}{T_d - T_c}$$

根据绝热过程方程得：

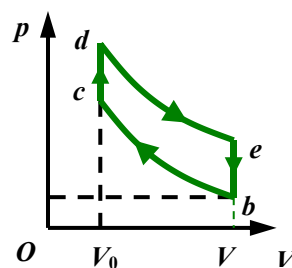
$$T_e V^{\gamma-1} = T_d V_0^{\gamma-1}$$

$$T_b V^{\gamma-1} = T_c V_0^{\gamma-1}$$

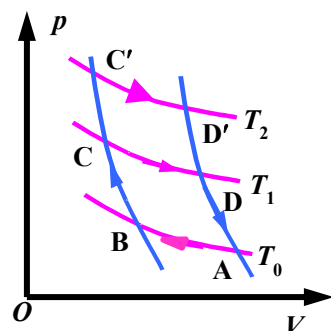
$$(T_e - T_b) V^{\gamma-1} = (T_d - T_c) V_0^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_e - T_b}{T_d - T_c} = \left( \frac{V_0}{V} \right)^{\gamma-1}$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{(V/V_0)^{\gamma-1}}$$



3. 一卡诺循环，热源温度为 100℃，冷却器温度为 0℃。如维持冷却器温度不变，提高热源温度，使循环 1(ABCD) 的净功增加为原来的 2 倍。设此循环 2(ABC'D') 工作于相同的两绝热线之间，工作物质为理想气体。试求：此热源的温增为多少？ 这时效率为多大？



解：(1)由循环效率的定义及卡诺循环效率公式  
循环 1

$$\eta_1 = \frac{W_1}{Q_{1\text{吸}}} = \frac{W_1}{W_1 + Q_{1\text{放}}} = 1 - \frac{T_0}{T_1}$$

整理得

$$Q_{1\text{放}} = \frac{T_0}{T_1 - T_0} W_1$$

$$\eta_2 = \frac{W_2}{W_2 + Q_{2\text{放}}} = 1 - \frac{T_0}{T_2}$$

$$Q_{2\text{放}} = \frac{T_0}{T_2 - T_0} W_2$$

由于循环 1 和循环 2 共用一个放热过程 AB，即  $Q_{1\text{放}} = Q_{2\text{放}}$

据题意已知

$$W_2 = 2W_1$$

得：

$$T_2 = 2T_1 - T_0 = 473\text{K}$$

(2)

$$\eta_2 = 1 - \frac{T_0}{T_2} = 1 - \frac{273}{473} = 42.3\%$$