

物理学院



# 大学物理·热力学基础

主讲教师：李华

# 第8章 热力学基础 章结构

## (1) 热运动与其它运动形式之间的能量转换

### 8.1 热力学第一定律与典型热力学过程

### 8.2 循环过程与卡诺循环

## (2) 热力学第二定律与不可逆过程

### 8.3 热力学第二定律

### 8.4 热力学第二定律的数学表述——熵、熵增加原理

### 8.5 热力学第二定律的统计意义



## 8.1 热力学第一定律与典型热力学过程

### 本节的研究内容

- 8.1.1 基本概念
- 8.1.2 热运动与其它运动形式之间的能量转换
- 8.1.3 典型热力学过程能量转换的案例分析

Part 1

热力学第一定律

$$Q = E_2 - E_1 + A$$

Part 2

### 8.1.3 典型热力学过程能量转换的案例分析

#### (1) 热容量

- **热容量**：在不发生化学反应或相变的情况下，物质升高单位温度所吸收的热量
- **比热容(c)**：单位物质升高单位温度所吸收的热量
- **摩尔热容(C)**：一摩尔物质升高单位温度所吸收的热量
- **定容摩尔热容**： $C_V = \frac{dQ_V}{dT} = \frac{i}{2}R$   
$$dQ_V = dE + dA = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R dT + p dV = \frac{i}{2} R dT \quad \Rightarrow \quad \frac{dQ_V}{dT} = \frac{i}{2} R$$
- **定压摩尔热容**： $C_p = dQ_p/dT = C_V + R = (i + 2)R/2$  (迈耶公式) (自行推证)
- **比热容比 (绝热系数)**： $\gamma = C_p/C_V = (i + 2)/i$



**思考**

为什么  $C_p > C_V$ ? ( $C_p = C_V + R$ )

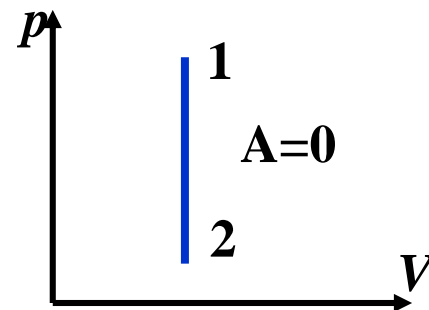
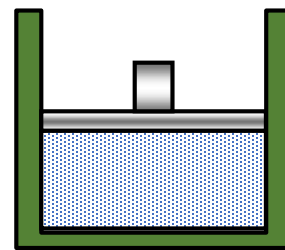
- 引入  $C_V$  后, 对理想气体的准静态过程, 热力学第一定律可写为:

$$dQ = \frac{M}{\mu} C_V dT + p dV$$

## (2) 等容过程的能量转换

等容过程的过程方程

$$V = V_0 \text{ (恒量)} \quad \text{或} \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$



等容过程系统**内能**的改变

$$dE = \frac{M}{\mu} C_V dT \rightarrow$$

$$\Delta E = \int \frac{M}{\mu} C_V dT = \frac{M}{\mu} C_V (T_2 - T_1)$$

等容过程系统对外界**做功**

$$dA = p dV = 0$$

等容过程系统从外界**吸热**

$$dQ = dE + dA = dE \rightarrow$$

$$Q = \Delta E = \frac{M}{\mu} C_V (T_2 - T_1)$$

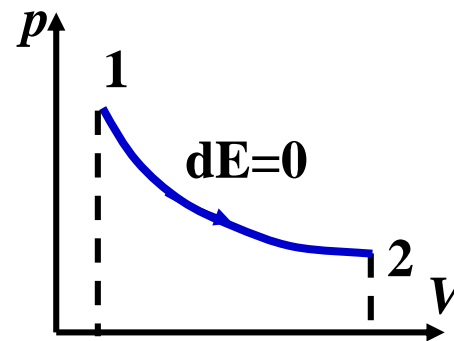
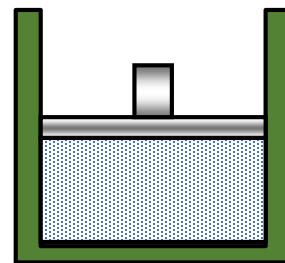
**结论:** 等容过程中, 系统吸收的热量完全用来增加热力学系统的内能

### (3) 等温过程能量转换

等温过程的过程方程

$$pV = \frac{M}{\mu} RT_0 = \text{恒量}$$

或  $p_1 V_1 = p_2 V_2$



等温过程系统内能改变

$$dE = \frac{M}{\mu} C_V dT = 0$$

等温过程系统对外界做功

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

$$pV = \frac{M}{\mu} RT$$



$$A = \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

等温过程系统从外界吸热

$$dQ = dE + dA = dA$$



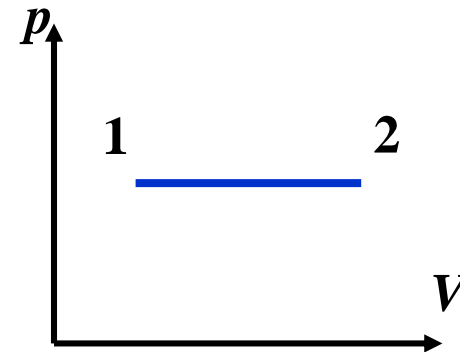
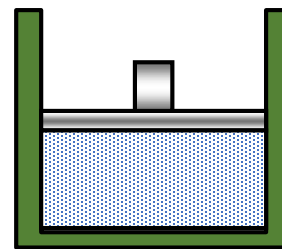
$$Q = A = \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

**结论：** 等温过程中吸收的热量完全用来对外做功，而不增加系统内能

#### (4) 等压过程能量转换

等压过程的过程方程

$$p = p_0 \text{ (恒量)} \quad \text{或} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$



等压过程系统内能改变  $dE = \frac{M}{\mu} C_V dT$

$$\Rightarrow \Delta E = \frac{M}{\mu} C_V (T_2 - T_1)$$

等压过程系统对外界做功

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p(V_2 - V_1)$$

$$pV = \frac{M}{\mu} RT$$



$$A = \frac{M}{\mu} R (T_2 - T_1)$$

等压过程系统从外界吸热

$$Q = \Delta E + A$$

$$\Delta E = \frac{M}{\mu} C_V (T_2 - T_1)$$

$$A = \frac{M}{\mu} R (T_2 - T_1)$$

$$C_p = C_V + R$$



$$Q = \frac{M}{\mu} C_p (T_2 - T_1)$$

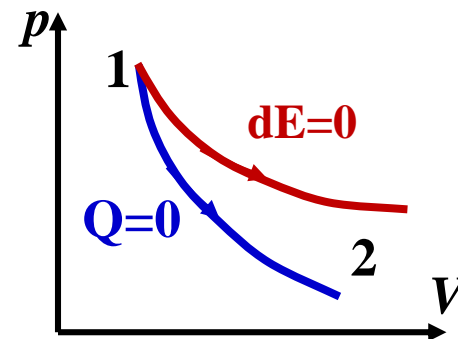
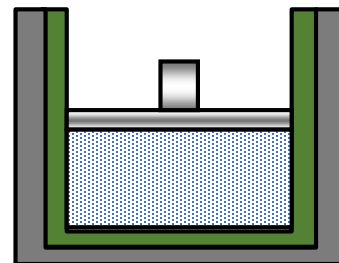
## (5) 绝热过程能量转换

绝热过程内能改变

$$\Delta E = \frac{M}{\mu} C_V (T_2 - T_1)$$

绝热过程传热

$$Q = 0$$



绝热过程系统对外界做功

$$\left. \begin{aligned} Q &= \Delta E + A \\ Q &= 0 \end{aligned} \right\}$$



$$A = -\Delta E = -\frac{M}{\mu} C_V (T_2 - T_1)$$

绝热过程的过程方程

$$pV = \frac{M}{\mu} RT \rightarrow Vdp + pdV = \frac{M}{\mu} R dT$$

$$dQ = dE + dA = \frac{M}{\mu} C_V dT + pdV = 0 \rightarrow \left. \frac{M}{\mu} C_V dT = -pdV \right\} \rightarrow Vdp + pdV = -\frac{R}{C_V} pdV$$



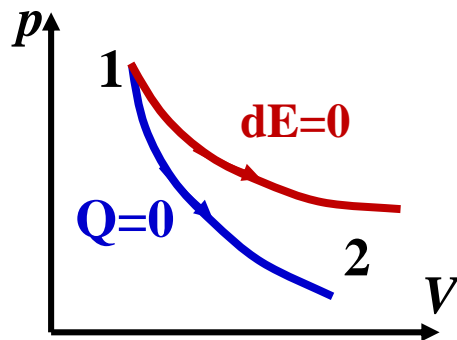
## 绝热过程的过程方程

$$\rightarrow Vdp + pdV = -\frac{R}{C_V}pdV \xrightarrow{\text{分离变量}} C_V V dp = -(C_V + R)pdV$$

$$\rightarrow \frac{C_p}{C_V}pdV = -Vdp \xrightarrow{\gamma = C_p/C_V} \gamma \frac{dV}{V} = -\frac{dp}{p}$$

$$\rightarrow \ln p + \gamma \ln V = \text{const}$$

$$\rightarrow pV^\gamma = \text{const} \rightarrow \begin{cases} pV^\gamma = \text{const} \\ V^{\gamma-1}T = \text{const} \\ p^{\gamma-1}T^{-\gamma} = \text{const} \end{cases}$$



**讨论：**同一初始状态气体的等温过程与绝热过程的比较

等温过程 p-V 曲线的斜率  $pV = \text{const} \Rightarrow \left(\frac{dp}{dV}\right)_T = -\frac{p}{V}$

绝热过程 p-V 曲线的斜率  $pV^\gamma = \text{const} \Rightarrow \left(\frac{dp}{dV}\right)_Q = -\gamma \frac{p}{V}$

### 课后作业

- 进一步从微观角度解释为什么绝热线比等温线陡?
- 查阅文献, 自学多方过程的能量交换





物理学院

# 谢谢大家!