

# 《大学物理》课程教师简介

教师：**汪加洁**  
Email: [wangjiajie@xidian.edu.cn](mailto:wangjiajie@xidian.edu.cn)



## 个人简介:

■物理学博士（光学方向），副教授（西安电子科技大学 物理与光电工程学院）

## 学术经历:

- 2016.03-2017.03 德国莱布尼茨材料科学研究所（Leibniz Institute of Material Science）访问学者
- 2008.09-2011.12 法国国立应用科学学院鲁昂分院（INSA De Rouen）物理学博士学位
- 2002.09-2006.07 西安电子科技大学 电子信息科学与技术 理学学士学位

## 主要研究方向:

■激光波束的调控及光场计算；数字全息及应用；微粒的光操纵及应用；复杂目标对调控电磁（激光）波束的散射特性研究；电磁波束在复杂随机介质中的传播与散射；

## 项目简介:

■主持并完成有国家自然科学基金项目，陕西省自然科学基金项目，留学回国人员科研启动基金项目，国家博士后科学基金项目，浙江大学重点实验室开放基金项目等，并作为主要完成人参与了法国驻华大使馆资助的中法合作项目，国家自然科学基金项目，973子课题，欧盟区域发展基金项目等。已发表学术论文40余篇，参与编写专著或教材2部。

# 热力学基础

**热力学**——研究系统热运动规律的**宏观理论**

- 研究对象： 大量微观粒子组成的热力学系统。
- 研究方法： 以**实验总结**出来的热力学定律为基础，从**能量转换角度**，研究体系状态变化过程中，**热、功、能转换的规律**。
- 研究过程： 准静态过程（即平衡过程）

## § 11-3 热力学第一定律

### 一、理想气体的内能

➤一般定义：物体中分子无规则热运动能量的总和。

➤理想气体的内能：

$$E = \frac{m}{M_{mol}} \cdot \frac{i}{2} RT = \frac{i}{2} \nu RT$$

形式一

$$PV = \nu RT$$

$$E = \frac{i}{2} PV$$

形式二

P, V, T为系统状态参量，因此内能也为状态量，  
即与具体变化过程无关！

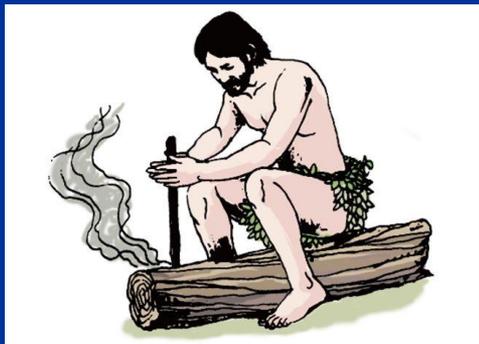
状态I:  $(P_1 V_1 T_1) \Rightarrow$  状态II:  $(P_2 V_2 T_2)$

内能变化量:

$$\Delta E = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{i}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

内能变化量只取决于系统的初、末状态，与中间状态无关。

引起系统内能变化的原因：(1) 做功； (2) 热传递。



## 二、 做功 $A$

1. 通过物体的宏观位移来完成。（宏观功）
2. 功的计算

$$dA = fdl = pSdl = pdV$$

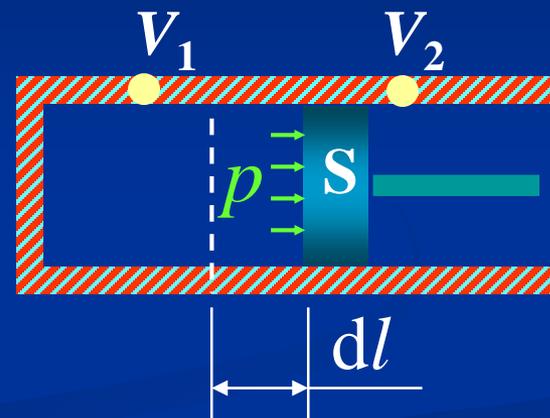
$$A = \int_{V_1}^{V_2} pdV$$

$dV > 0$ 时，气体膨胀，对外作正功；

$dV < 0$ 时，气体压缩，外界对气体作正功；

**规定：**系统对外做功，  $A > 0$

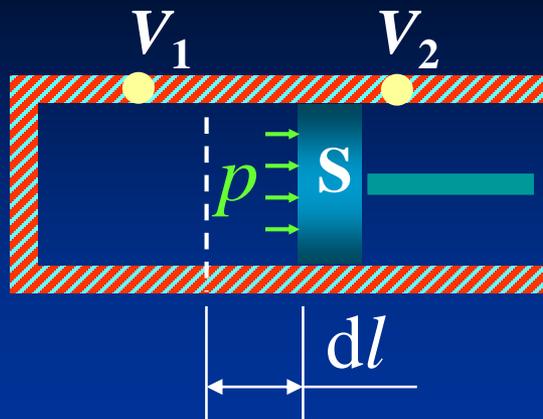
外界对系统做功，  $A < 0$



## 2. 功的计算

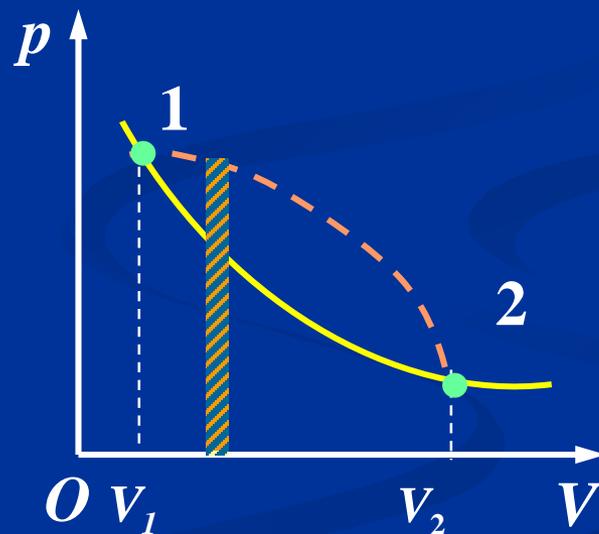
$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

(与过程有关)



## 3. 功的几何图示法

(平衡过程)



## 三、热量 $Q$

### 1. 热量的本质：

- 传热过程中，由于温度不同而转移的热运动能量；
- 通过分子无规则热运动来实现；

### 2. $Q$ 与 $A$ 的异同：

相同点： 都是过程量； 都改变了系统的状态。

不同点： 做功——通过物体的宏观位移完成；

把有规则的宏观机械运动能量转换成系统内分子无规则热运动能量，引起系统内能发生变化。

传热——通过分子热运动频繁地碰撞来完成。

系统外分子无规则热运动传递给系统内分子，使其热运动加剧，引起系统内能发生变化。

### 3. 热容

- 热容( $\text{J K}^{-1}$ ): 质量为 $m$ 的物体,  $x$ 过程, 温度升高 (或降低) 单位温度所吸收 (或放出) 的热量。

$$C_x = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta Q}{\Delta T} \right)_x = \left( \frac{dQ}{dT} \right)_x$$

- 比热容 ( $\text{J K}^{-1} \text{Kg}^{-1}$ )

$$c_x = \frac{C_x}{m} = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta Q}{m \Delta T} \right)_x = \frac{1}{m} \left( \frac{dQ}{dT} \right)_x$$

- 摩尔热容( $\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$ )

$$C_x = \frac{1}{\nu} \left( \frac{\Delta Q}{\Delta T} \right)_x \quad C_x = \frac{1}{\nu} \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

**注意:** 热容是过程量, 式中的下标  $x$  表示具体的过程。

## 4. 热量的计算:

若 $C_x$ 与温度无关时, 则

➤等压过程: 等压摩尔热容 $C_P$

质量为 $m$ 的气体, 温度从 $T_1$ 升到 $T_2$ , 吸热为:

$$Q = \frac{m}{M_{\text{mol}}} C_P (T_2 - T_1)$$

➤等容过程: 等容摩尔热容 $C_V$

质量为 $m$ 的气体, 温度从 $T_1$ 升到 $T_2$ , 吸热为:

$$Q = \frac{m}{M_{\text{mol}}} C_V (T_2 - T_1)$$

## 四、热力学第一定律

设一热力学系统，从状态I→状态II，内能从 $E_1 \rightarrow E_2$ ，系统吸热 $Q$ ，对外做功 $A$ ，由能量守恒，则有：

$$Q = (E_2 - E_1) + A \quad dQ = dE + dA$$

即：系统从外界吸收的热量，一部分使其内能增加，另一部分则用以对外界做功。—— 热力学第一定律

- 是包含热现象在内的能量守恒与转换定律；
- 另一种描述：第一类永动机是不可能实现的；
- 只要求系统的初末状态是平衡态，过程中经历的各状态不一定是平衡态；
- 适用于任何系统；

**45分钟内容（课间休息）**

## § 11-6 热一律对理想气体等值过程的应用

### 一、等容过程

• 做功  $A = 0$

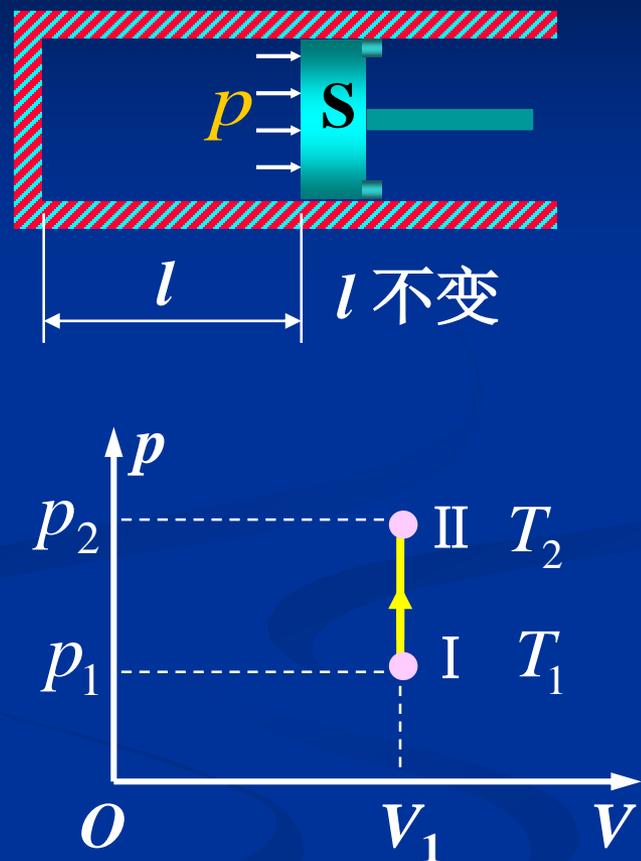
• 内能的增量  $\Delta E = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1)$

$$\Delta E = \frac{i}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

由热一律,  $Q_V = \Delta E + A$

• 吸收的热量  $Q_V = \Delta E = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1)$

等容过程中气体吸收的热量, 全部用来增加它的内能, 使其温度上升。



# 一、等容过程

• 作功  $A = 0$

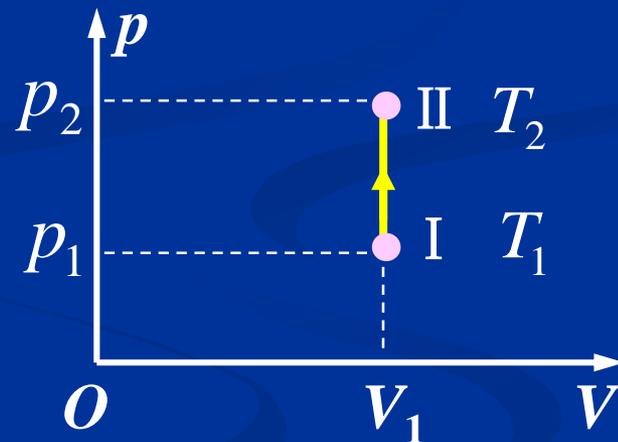
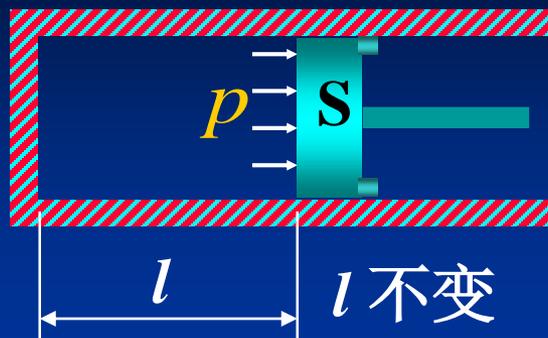
• 内能的增量  $\Delta E = \nu \frac{i}{2} R(T_2 - T_1)$

• 吸收的热量  $Q_V = \Delta E = \frac{i}{2} \nu R(T_2 - T_1)$

依据等容摩尔热容:

$$Q_V = \nu C_V (T_2 - T_1)$$

$$C_V = \frac{i}{2} R$$



## 二、等压过程

• 做功  $A = p(V_2 - V_1) = \nu R(T_2 - T_1)$

• 内能的增量

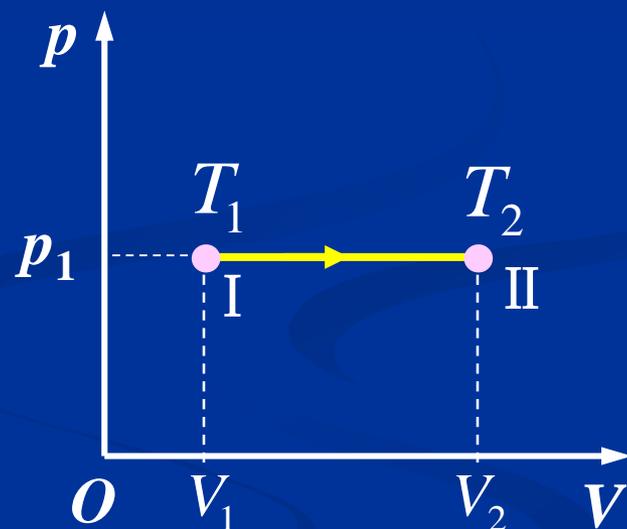
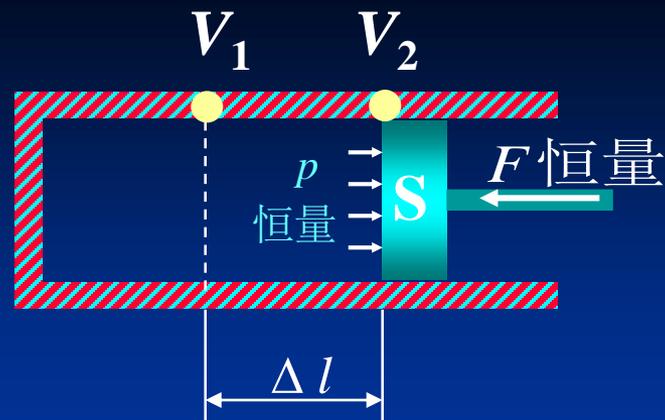
$$\Delta E = \nu \frac{i}{2} R(T_2 - T_1) = \nu C_V(T_2 - T_1)$$

$$\Delta E = \frac{i}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

由热一律，

• 吸收的热量

$$Q_p = \Delta E + A = \left(\frac{i}{2} + 1\right) \nu R(T_2 - T_1)$$



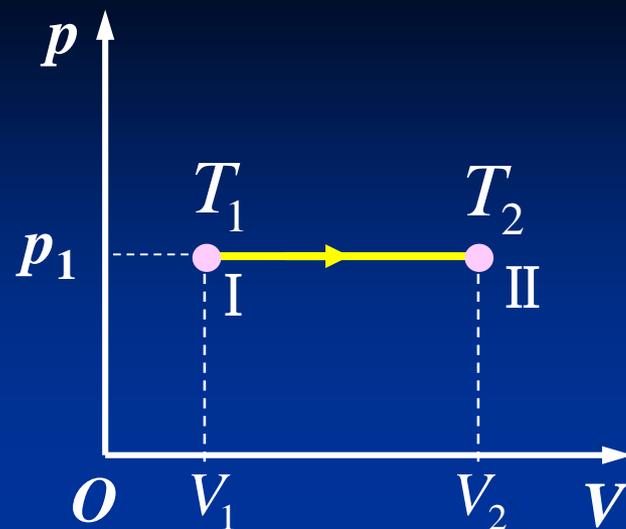
## 二、等压过程

• 做功  $A = p(V_2 - V_1) = \nu R(T_2 - T_1)$

• 内能的增量

$$\Delta E = \nu \frac{i}{2} R(T_2 - T_1) = \nu C_V(T_2 - T_1)$$

• 吸收的热量  $Q_P = \Delta E + A = \left(\frac{i}{2} + 1\right)\nu R(T_2 - T_1)$



依据等压摩尔热容：

$$Q_P = \nu C_p(T_2 - T_1)$$

$$C_p = C_V + R = \frac{i}{2} R + R$$

比热容比：
$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{\frac{i}{2} R + R}{\frac{i}{2} R} = \frac{i+2}{i} > 1$$

### 三、等温过程

• 内能的增量  $\Delta E = 0$

• 功  $A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{\nu RT}{V} dV$

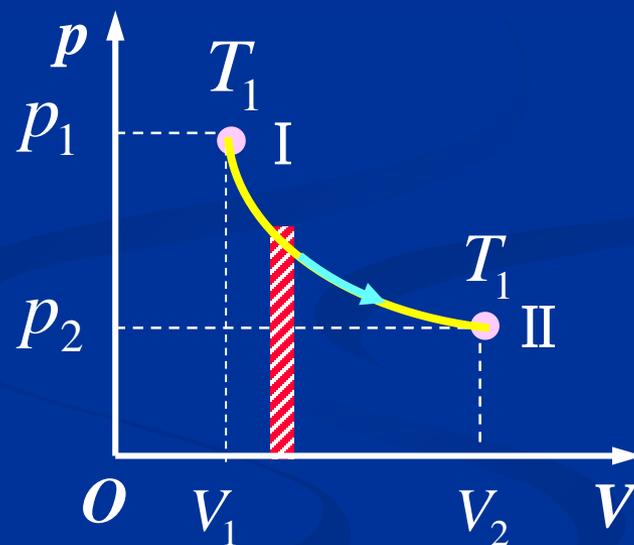
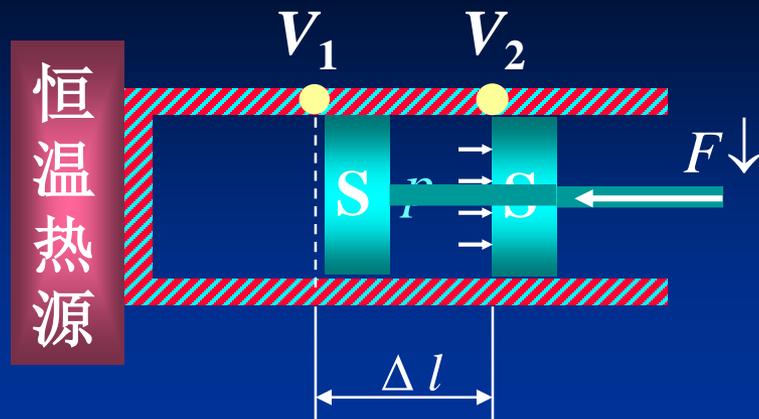
$$= \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \frac{p_1}{p_2}$$

• 吸收的热量

$$Q = A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \frac{p_1}{p_2}$$

在等温膨胀过程中，理想气体吸收的热量全部用来对外做功；

在等温压缩中，外界对气体所做的功，都转化为气体向外界放出的热量。



**例** 把压强为  $P=1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ ，体积为  $100 \text{cm}^3$  的  $\text{N}_2$  压缩到  $20 \text{cm}^3$  时，求气体分别经历下列两个不同过程的  $\Delta E$ 、 $Q$ 、 $A$ ：

(1) 等温过程；

(2) 先等压压缩，再等容升压到同样状态。

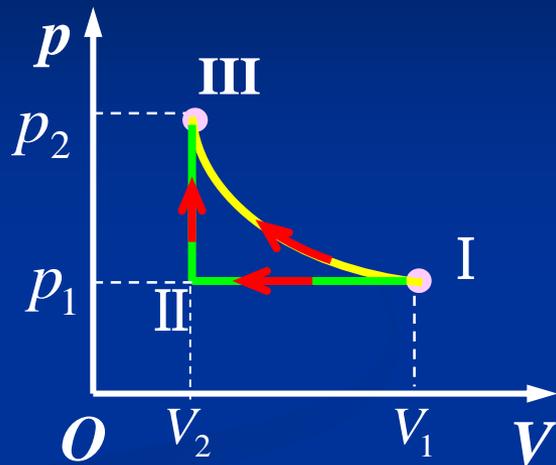
**解** (1) **I→III** (等温过程)

$$\Delta E = 0$$

$$Q = A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (< 0)$$

(2) **I→II→III** (等压过程+等容过程)

$$\Delta E = 0 \quad Q = A = P_1(V_2 - V_1) \quad (< 0)$$



**结论：** 同一始末状态，过程不同，则  $Q$  和  $A$  不同，再次说明  $Q$ 、 $A$  与过程有关。

**例** 质量为**2.8g**，温度为**300K**，压强为**1atm**的氮气，等压膨胀到原来的**2**倍。

**求** 氮气对外所作的功，内能的增量以及吸收的热量

**解** 根据等压过程方程，有

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1}{T_1} \quad \longrightarrow \quad T_2 = 600\text{K}$$

因为是双原子气体  $C_V = (5/2)R$

$$A = \nu R(T_2 - T_1) = 249\text{ J}$$

$$Q_p = \nu C_p(T_2 - T_1) = 873\text{ J}$$

$$\Delta E = \nu C_V(T_2 - T_1) = 624\text{ J}$$

**45分钟内容（本节课结束）**