



中原工学院

Zhongyuan University of Technology

8 热力学基础

从能量转换/转移的角度研究大量分子构成的系统

任课教师 [曾灏宪](#)

中原工学院 理学院

要求

- 记忆并理解热力学第一定律
- 会使用热力学第一定律计算一些特殊的系统状态变化过程中的热量、功和内能的变化
 - 等体、等压、等温、绝热过程

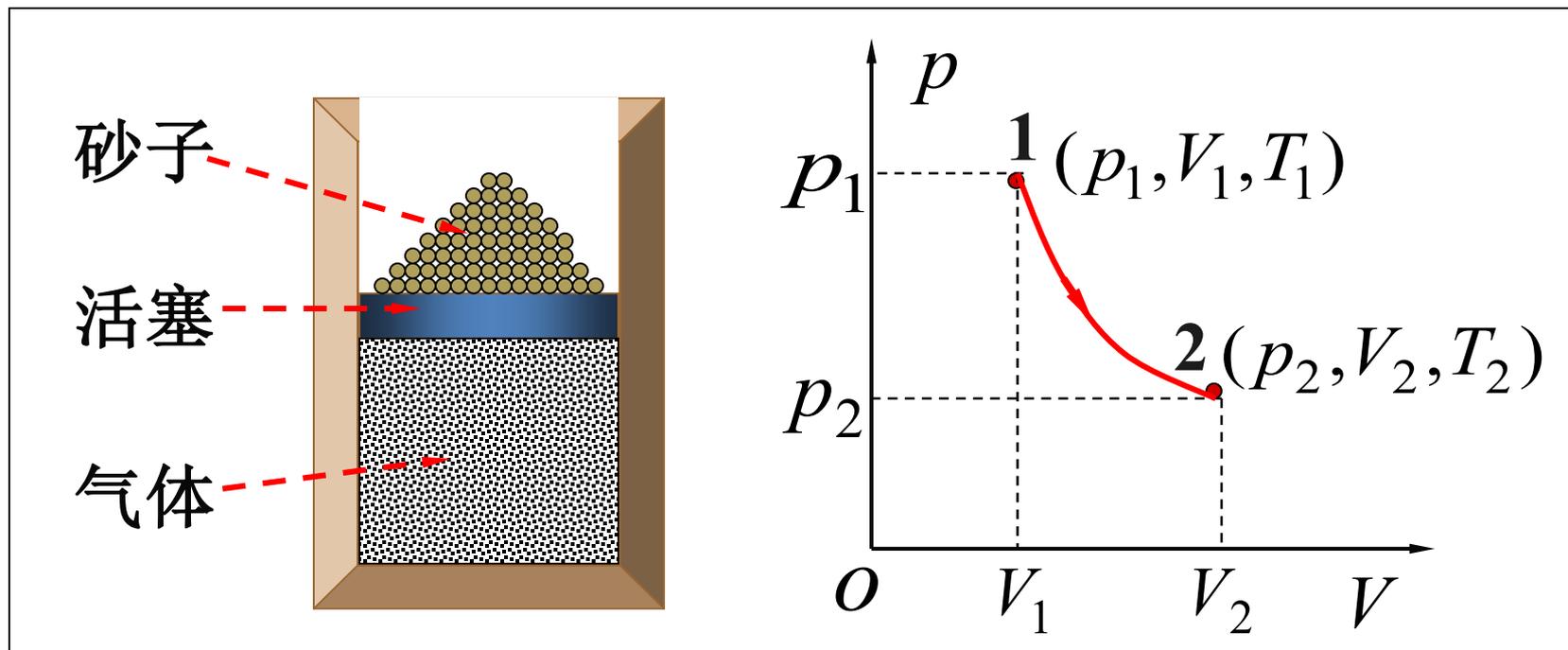
大学物理（上）

8 热力学基础

8.1 准静态过程 功 热量

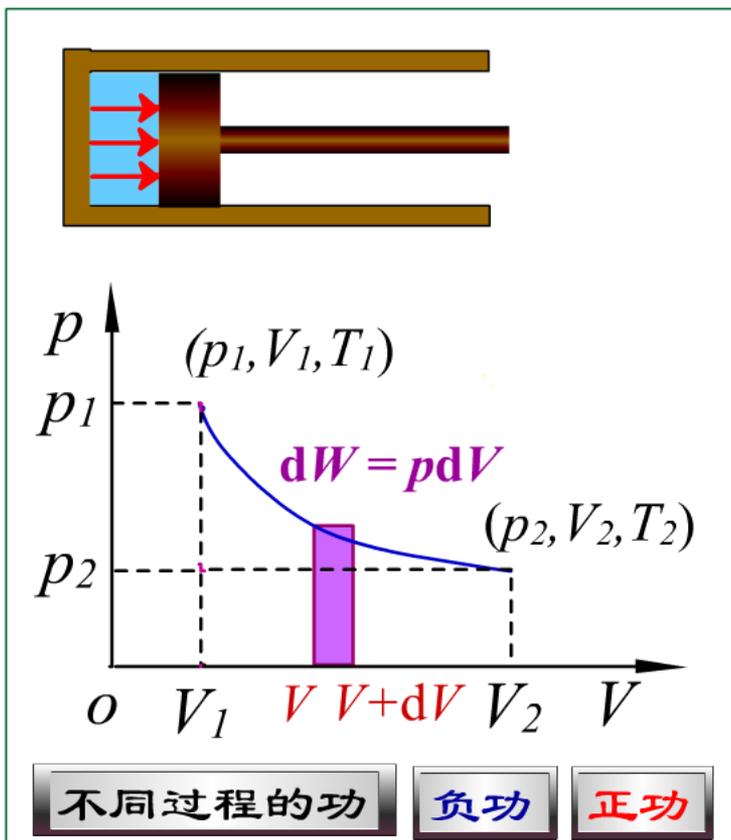
一 准静态过程（理想化的过程）

从一个平衡态到另一平衡态所经过的每一中间状态均可近似当作平衡态的过程。



宏观运动能量 **二 功 (过程量)** 热运动能量

系统的边界发生宏观位移 → 系统的内能转化的过程叫做功。



功是能量传递和转换的量度，它引起系统热运动状态的变化。

准静态过程功的计算

$$dW = Fdl = pSdl$$

$$dW = pdV$$

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

功的几何意义：功在数值上等于 p - V 图上过程曲线下的面积

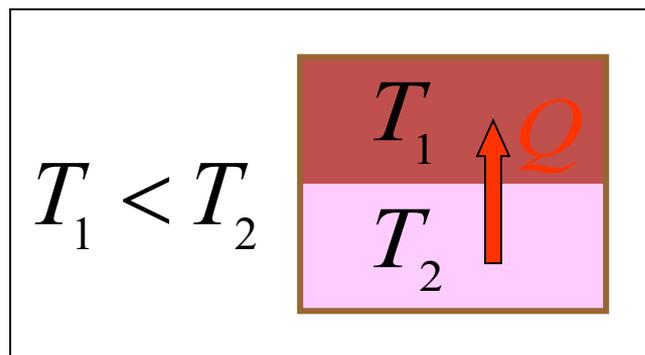
注意：做功与过程有关。

三 热量（过程量）

通过传热方式传递能量的量度，系统和外界之间存在温差而发生的能量传递。

功与热量的异同

- 1) 同为过程量：与过程有关；
- 2) 具有等效性：改变系统热运动状态的作用相同；
1卡 = 4.18 J ， 1 J = 0.24 卡
- 3) 功与热量的物理本质（能量转换）不同。



宏观运动能量

功

分子热运动能量

分子热运动能量

热量

分子热运动能量

大学物理（上）

8 热力学基础

8.2 内能 热力学第一定律

一 系统的内能

热力学系统

所要研究的对象，简称**系统**

外界

与系统发生作用的环境

系统内能

$$E = E_k + E_p$$

对理想气体 $E = E_k(T) = \frac{m'}{M} \frac{i}{2} RT$ —— 温度的单值函数

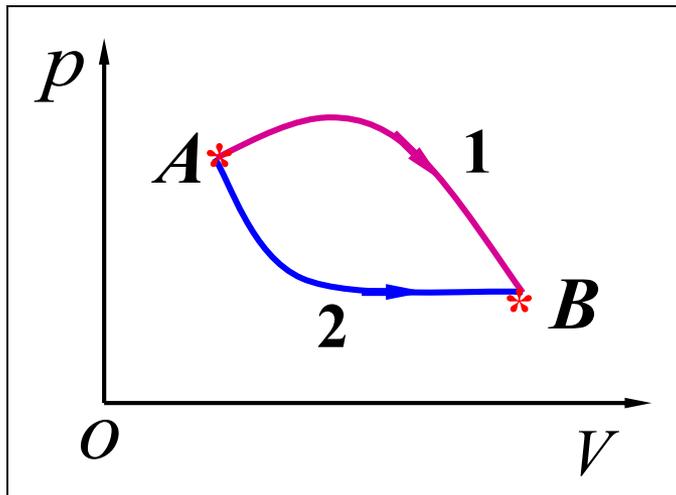
当温度由 T_1 变化到 T_2 时，系统的内能增量为

$$\Delta E = \frac{m'}{M} \frac{i}{2} R(T_2 - T_1) \quad \Delta E \text{ 只跟始末状态的 } \textbf{温度} \text{ 有关，与过程无关}$$

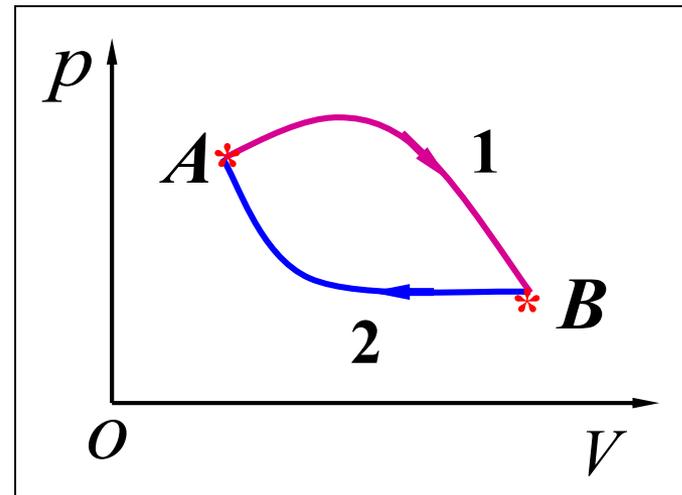
改变系统内能的两种方法：**做功和热传递**

$$\Delta E = \frac{m'}{M} \frac{i}{2} R(T_2 - T_1)$$

系统内能的增量只与系统起始和终了状态的
温度有关，与系统所经历的过程无关 —— **状态量**



$$\Delta E_{AB} = C$$



$$\Delta E_{A1B2A} = 0$$

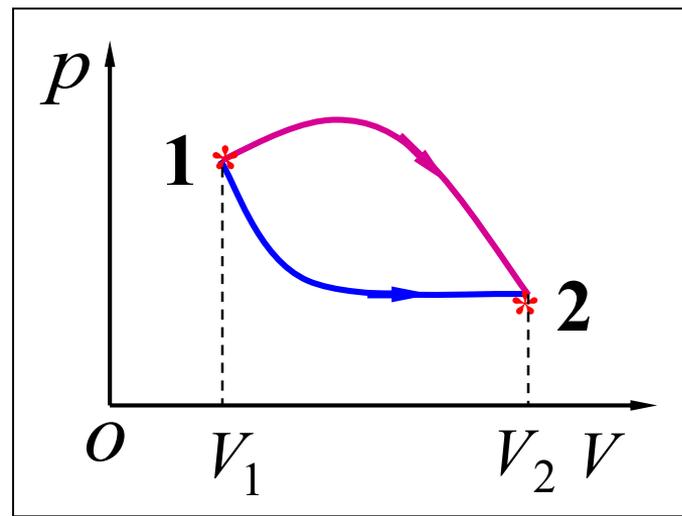
二 热力学第一定律

$$Q = E_2 - E_1 + W$$

从外界吸
收的热量

ΔE
内能
增加

对外界
做功



准静态过程

$$Q = \Delta E + \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

微分过程

$$dQ = dE + dW = dE + p dV$$

$$Q = E_2 - E_1 + W = \Delta E + W$$

热力学第一定律的 符号规定

	Q	$E_2 - E_1$	W
+	系统吸热	内能增加	系统对外界做功
-	系统放热	内能减少	外界对系统做功

物理意义

$$Q = E_2 - E_1 + W = \Delta E + W$$

- (1) 实践经验总结，自然界的普遍规律。
- (2) 实质是包含热现象在内的能量守恒与转换定律。
- (3) 定律只要求系统的初、末状态是平衡态，过程中经历各状态则不一定是平衡态。
- (4) 适用于任何系统（气、液、固）。
- (5) 第一类永动机是不可能实现的。这是热力学第一定律的另一种表述形式。

第一类永动机：系统不断经历状态变化后回到初态，不消耗内能，不从外界吸热，只对外做功

大学物理（上）

8 热力学基础

8.3 理想气体的等体过程和等压过程 摩尔热容

计算各等值过程的热量、功和内能的理论基础

在状态变化过程中，某一状态参量保持不变

——等值过程

(1) 状态方程 $pV = \frac{m'}{M}RT$ (理想气体的共性)

(2)
$$\begin{cases} dQ = dE + pdV \\ Q = \Delta E + \int_{V_1}^{V_2} pdV \end{cases}$$

定量计算过程中的能量转换

(3) $\Delta E = \frac{m'}{M} \frac{i}{2} R(T_2 - T_1)$ (内能较特殊，状态函数)

(4) 各等值过程的特性：搞清楚 Q 、 W 、 E 的值。

一 等容过程 特点: $V=\text{常数}$

过程方程

$$\because pV = \nu RT, dV = 0 \Rightarrow \boxed{\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}}$$

气体对外做功

$$dW = pdV = 0 \quad W = 0$$

内能增量

$$\Delta E = \frac{m'}{M} \frac{i}{2} R(T_2 - T_1)$$

吸收的热量

$$Q = E_2 - E_1 = \frac{m'}{M} \frac{i}{2} R(T_2 - T_1)$$

讨论: 等容过程中, 热力学第一定律 $dQ = dE + pdV$ 中只有 Q, E 会变化。

系统怎么变化? $pV = \nu RT$

等容吸热过程:

$$Q > 0 \rightarrow dE > 0 \rightarrow E \uparrow$$

$$\rightarrow T \uparrow$$

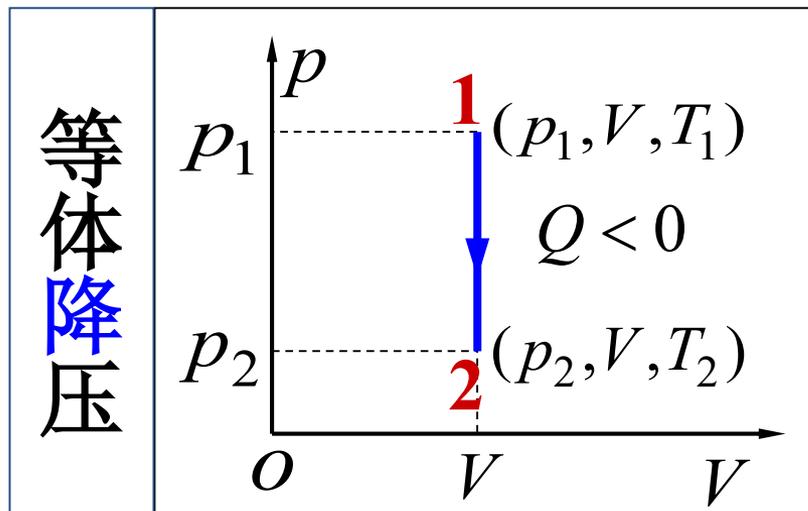
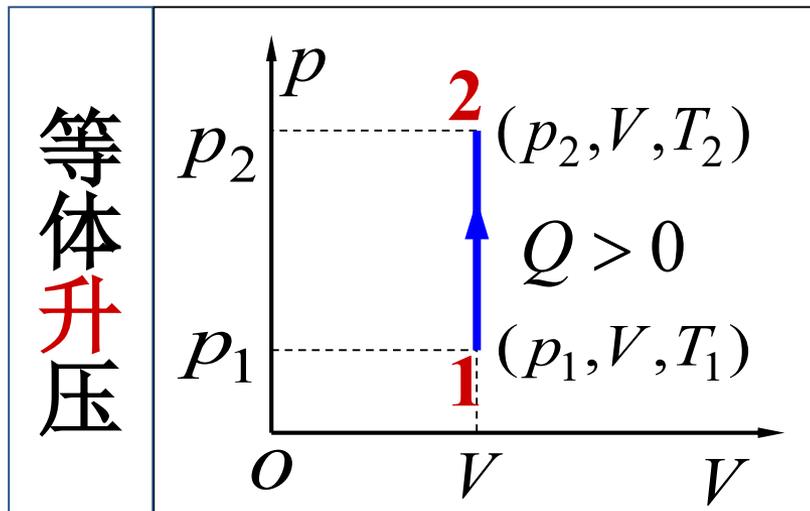
$\rightarrow p$ 怎么变?

等容放热过程:

$$Q < 0 \rightarrow dE < 0 \rightarrow E \downarrow$$

$$\rightarrow T \downarrow$$

$\rightarrow p$ 怎么变?



定体摩尔热容 $C_{v,m}$

$$Q = E_2 - E_1 = \frac{m'}{M} \frac{i}{2} R (T_2 - T_1)$$

1mol 气体在**等体**过程中温度每升高 1K 时吸收的热量

$$C_{V,m} = (dQ)_V / dT = \frac{i}{2} R$$

讨论:

1. $C_{v,m}$ 只与分子自由度 i 有关
2. **物理意义**: 每个自由度的平均动能为 $\frac{1}{2} kT$, 自由度越大, 升高相同温度需要的热量也越多
3. 等容过程: $dQ_V = dE = \nu C_{V,m} dT$

二 等压过程 特点: $p=\text{常数}$

过程方程

$$\because pV = \nu RT, dp = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

气体对外做功

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p\Delta V = \frac{m'}{M} R(T_2 - T_1)$$

内能增量

$$\Delta E = \frac{m'}{M} \frac{i}{2} R(T_2 - T_1) = \frac{m'}{M} C_{V,m}(T_2 - T_1)$$

吸收的热量

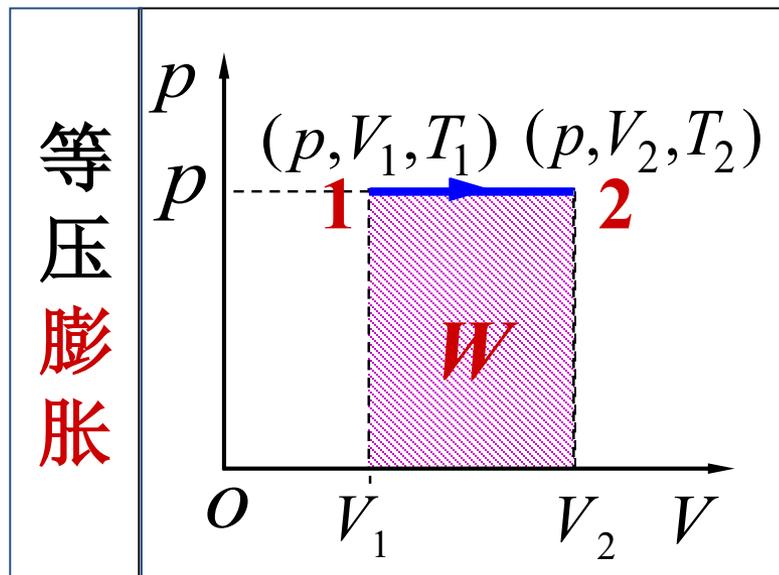
$$Q = \Delta E + W = \frac{m'}{M} \frac{i + 2}{2} R(T_2 - T_1)$$

$$= \frac{i + 2}{2} p(V_2 - V_1)$$

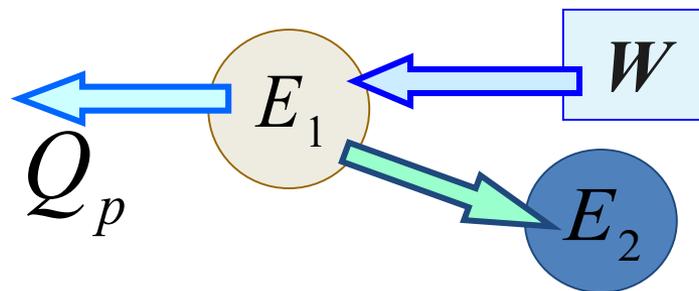
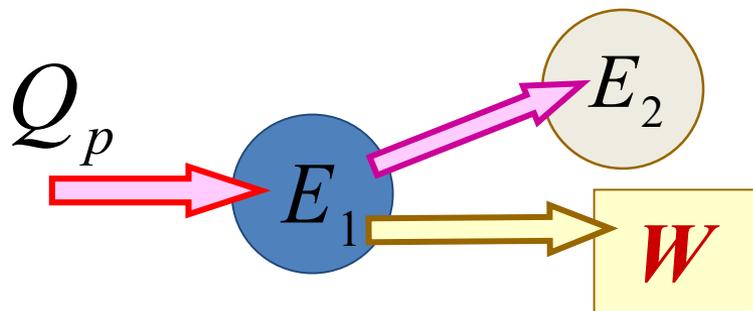
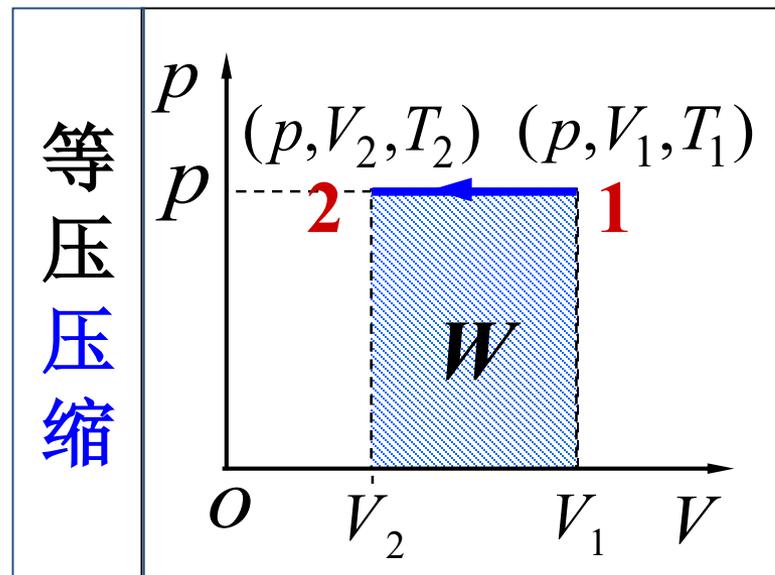
讨论: 等压过程中, 热力学第一定律 $dQ = dE + dW$ 中所有量都会变化。

系统怎么变化? $pV = \nu RT$

等压膨胀过程:



等压压缩过程:



定压摩尔热容 $C_{v,m}$

$$Q = \frac{m'}{M} \frac{i+2}{2} R(T_2 - T_1)$$

1mol 气体在等压过程中温度升高 dT 时吸收的热量

$$C_{p,m} = (dQ)_p / dT = \frac{i+2}{2} R$$

讨论:

1. $C_{p,m}$ 只与分子自由度 i 有关
2. 物理意义: 每个自由度的平均动能为 $\frac{1}{2} kT$, 自由度越多, 等压升温需要的热量也越多
3. 等压过程: $dQ_p = \nu C_{p,m} dT$

三 气体的摩尔热容

摩尔热容 C_m : 1mol 的物质温度升高(或降低) 1K 所吸收 (或放出) 的热量

定体摩尔热容 $C_{V,m}$

$$C_{V,m} = (dQ)_V / dT = \frac{i}{2} R$$

定压摩尔热容 $C_{p,m}$

$$C_{p,m} = (dQ)_p / dT = \frac{i+2}{2} R$$

摩尔热容因不同的物质和热力学过程而不同

迈耶公式

$$C_{p,m} = C_{V,m} + R$$

比热容比: $\gamma = \frac{C_{p,m}}{C_{V,m}} = \frac{i+2}{i}$

理想气体摩尔热容理论相关计算

- ◆ 理想气体内能变化 $dE = \nu \frac{i}{2} R dT$
- ◆ 定体摩尔热容 $C_{V,m} = \frac{i}{2} R$
- ◆ 定压摩尔热容 $C_{p,m} = \frac{i+2}{2} R$
- ◆ 摩尔热容比 $\gamma = \frac{C_{p,m}}{C_{V,m}} = \frac{i+2}{i}$

作业

➤ P231: 8; 9; 11;

版权声明

本课件根据高等教育出版社《物理学教程（第二版）上册》（马文蔚 周雨青 编）配套课件制作。课件中的图片和动画版权属于原作者所有；部分例题来源于清华大学编著的“大学物理题库”；其余文字资料由 [Haoxian Zeng](#) 编写，采用 [知识共享 署名-相同方式共享 3.0 未本地化版本 许可协议](#) 进行许可。详细信息请查看[课件发布页面](#)。