第三篇

热学

第7章

热力学基础

一、热力学第一定律

The First Law of Thermodynamics

1. 功、热量、内能

热力学系统与外界传递能量的两种方式 $\begin{cases}\text{作功}\\ \text{传热}\end{cases}$

- 功(A)　是能量传递和转化的量度；是*过程量*。
  系统对外作功：$A>0$　；　外界对系统作功：$A<0$
- 热量(Q)　是传热过程中所传递能量的多少的量度；
  系统吸热：$Q>0$　；系统放热：$Q<0$
- 内能(E)　是物体中分子无规则运动能量的总和；是*状态量*

$$\boxed{\bar{\varepsilon}=\frac{i}{2}kT=\frac{t+r+2s}{2}kT} \Rightarrow \boxed{E=\frac{m}{M}\frac{i}{2}RT}$$

单个分子　　质量为m气体

E是T的单值函数！

（仅对理想气体而言）

2. 功、热量、内能的关系

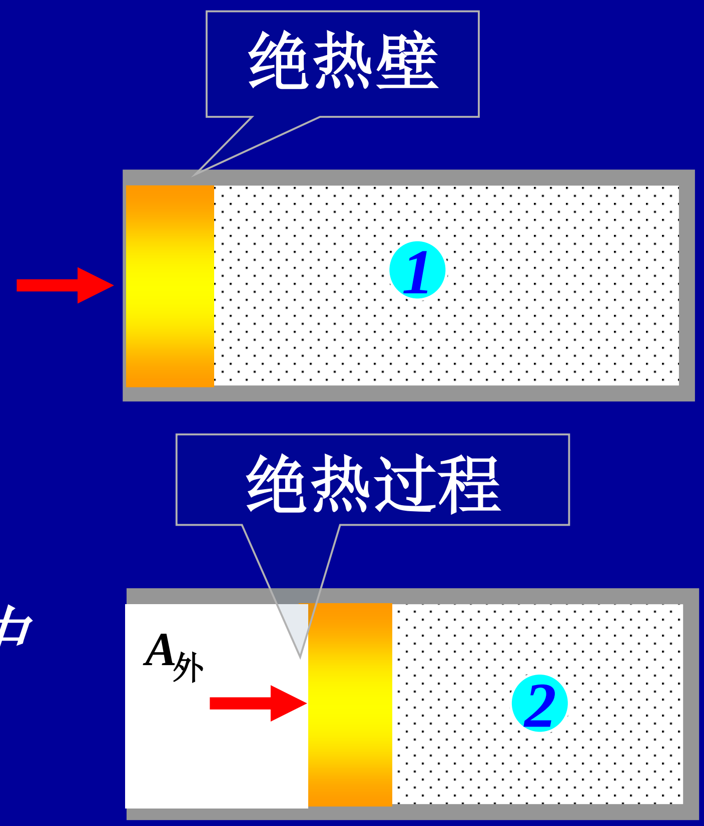
（1）功与内能的关系

外界仅对系统作功，无传热，则

$$(E_2 - E_1) = A_{外}$$

说明

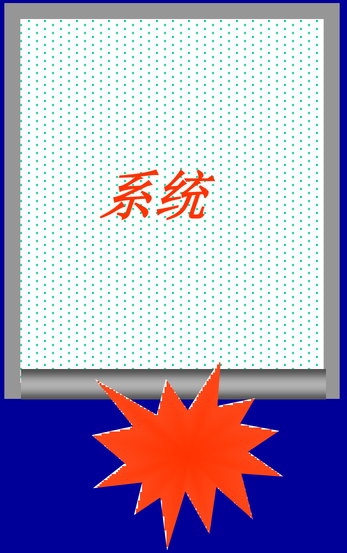
✓ *内能的改变量可以用绝热过程中外界对系统所 作的功来量度;*



（2）热量与内能的关系

外界与系统之间不作功，仅传递热量

$$Q = (E_2 - E_1)$$

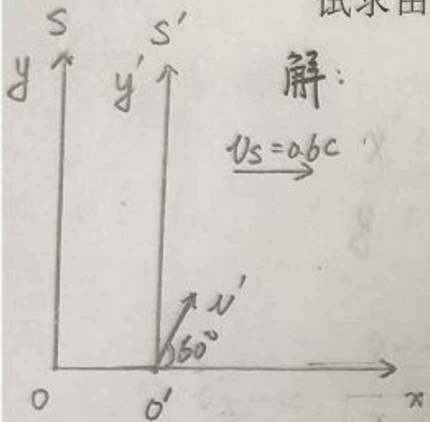


说明

- ✓ *在外界不对系统作功时，内能的改变量也可以用外界对系统所传递的热量来度量；*
- ✓ *作功和传热效果一样*

5-T5 假定一个粒子在 S'系的 $O'x'y'$平面内以 $c/2$ 的恒定速度运动，$t'=0$ 时，粒子通过原点 O'，其运动方向与 x'轴成 60°角。如果 S'系相对于 S 系沿 x 轴方向运动的速度为 $0.6c$，试求由 S 系所确定的粒子的运动方程。

97



解：

$$v_x'=\frac{c}{2}\cos60^\circ=\frac{c}{4}$$

$$v_y'=\frac{c}{2}\sin60^\circ=\frac{\sqrt{3}c}{4}$$

$$x'=v_x't'=\frac{c}{4}t'$$

$$y'=v_y't'=\frac{\sqrt{3}}{4}ct'$$

由 $x'=\cancel{x-ut}$

洛仑兹变换

$$x'=\frac{x-ut}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$$

$$\to x=x'+ut$$

$$=\frac{c}{4}\cdot\frac{t-\frac{u}{c^2}x}{\sqrt{1-(\frac{u}{c})^2}}+0.6ct$$

$$x=0.74ct$$

$$=\frac{5}{16}c\left(t-\frac{3}{5c}x\right)+0.6ct$$

$$\Rightarrow x=0.768ct$$

$$\to y=y'=\frac{\sqrt{3}}{4}c\cdot\frac{t-\frac{u}{c^2}x}{\sqrt{1-(\frac{u}{c})^2}}$$

$$=\frac{5\sqrt{3}}{16}c\left(t-\frac{3}{5c}\times0.7\cancel{6}4ct\right)$$

$$=0.292ct$$

$0.3ct$

5-T9 在 $t=0$ 时，S 系观察者发射一个沿与 x 轴成 $60°$ 角的方向上飞行的光子，S' 系以 $0.6c$ 速度沿公共轴 x-x' 飞行。问：S' 系的观察者测得光子与 x' 轴所成的角度是多大？速度是多大？

$V_x = 0.5c$，$V_y = 0.866c$.

相对于 S' 的 x 方向上速度：$V_x' = \dfrac{V_x - V}{1 - \frac{V \cdot V_x}{c^2}} = -\frac{1}{7}c$

$V_y' = \dfrac{V_y}{\gamma(1-\frac{V}{c^2}u_x)}$ ~~V_y速度不变~~

$\therefore \tan\theta = \dfrac{\frac{\sqrt{3}}{2}c}{-\frac{1}{7}c} = -\dfrac{7\sqrt{3}}{2}$ $\therefore$ 与 S' 的 x 负半轴成 $\arctan\frac{7\sqrt{3}}{2}$ 的角.

$= \dfrac{4\sqrt{3}}{7}c$

~~$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \frac{\sqrt{151}}{14}V$~~

速度 $V = C$ 不变.

5-T9 在 $t=0$ 时，S 系观察者发射一个沿与 x 轴成 $60°$ 角的方向上飞行的光子，S' 系以 $0.6c$ 速度沿公共轴 x-x' 飞行。问：S' 系的观察者测得光子与 x' 轴所成的角度是多大？速度是多大？

解：$u_x = \dfrac{c}{2}$，$u_y = \dfrac{\sqrt{3}c}{2}$

$u_x' = \dfrac{u_x - V}{1 - \frac{V}{c^2}u_x} = 0.143c$

$u_y' = \dfrac{u_y}{\gamma(1-\frac{V}{c^2}u_x)}$

$u' = c$

洛仑兹速度变换

$$
\begin{cases}
u'_x = \dfrac{u_x - v}{1 - \dfrac{v}{c^2} u_x} \\[2ex]
u'_y = \dfrac{u_y}{1 - \dfrac{v}{c^2} u_x} \sqrt{1 - \left(\dfrac{v}{c}\right)^2} \\[2ex]
u'_z = \dfrac{u_z}{1 - \dfrac{v}{c^2} u_x} \sqrt{1 - \left(\dfrac{v}{c}\right)^2}
\end{cases}
$$

$$\because\ y = y' \quad z = z'$$

$$\therefore\ u_y \cancel{=} u'_y \ ?\ u_z \cancel{=} u'_z$$

$$u'_y = \frac{dy'}{dt'} = \frac{dy'}{dt}\frac{dt}{dt'}$$

$$u'_z = \frac{dz'}{dt'} = \frac{dz'}{dt}\frac{dt}{dt'}$$

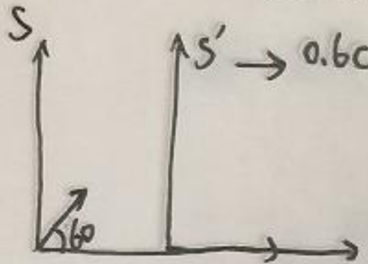
讨论

1^{o} 若 $v \ll c$，则
$$
\begin{cases}
u'_x = u_x - v \\
u'_y = u_y \\
u'_z = u_z
\end{cases}
$$

$$\boxed{\vec{u}' = \vec{u} - \vec{v}}$$

伽利略速度变换

5-T9 在 $t=0$ 时，S 系观察者发射一个沿与 x 轴成 60°角的…度运动，$t=0$ 时，粒子…，S' 系以 $0.6c$ 速度沿公共轴 x-x' 飞行。问：S' 系的观察者测得光子与 x' 轴方向运动的…度是多大？速度是多大？



$v_x = \frac{1}{2}c$, $v_y = \frac{\sqrt{3}}{2}c$

$$v_x' = \frac{\frac{1}{2}c - 0.6c}{1 - \frac{0.6c}{c^2}\cdot\frac{1}{2}c} \approx \cancel{0.85c} \; -0.14c$$

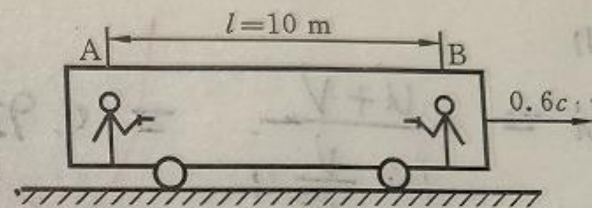
$$v_y' = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}c}{1 - \frac{0.6c}{c^2}\cdot\frac{1}{2}c}\sqrt{1-\left(\frac{0.6c}{c}\right)^2} = 0.99c$$

$$\theta = \arctan\left|\frac{v_y'}{v_x'}\right| = 81.95^\circ$$

$$v' = \sqrt{v_x'^2 + v_y'^2} = \cancel{0.9998c}$$

光速不变 $v'=c$

5-T6 如图所示，一高速列车以 0.6c 的速度沿平直轨道运动，车上 A、B 两人相距 $l=10$ m。B 在车前，A 在车后，当列车通过一站台的时候，突然发生枪战事件，站台上的人看到 A 先向 B 开枪，过了 12.5 ns，B 又向 A 开枪，因而站台上的人作证：这场枪战是由 A 挑起的。假如你是车中的乘客，你看见的情况是怎样的？



解: $x_2 = l\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2} = 8m.$

$t_1' = 0,\quad t_2' = \frac{t_2 - v\frac{x_2}{c^2}}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} = -6.00s.$

看见 B ~~先~~ 6s 开枪.

$\Delta x' = 10m$

$$\Delta t = \frac{\Delta t' + \frac{v}{c^2}\Delta x'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$\Rightarrow \Delta t' = \cdots = -10ns$

5-T8 一原子核以 0.5c 的速度离开一观察者而运动，原子核在它运动方向上向前发射一电子，该电子相对于核有 0.8c 的速度；此原子核又向后发射了一光子指向观察者。对静止观察者来讲，(1)电子具有多大的速度？(2)光子具有多大的速度？

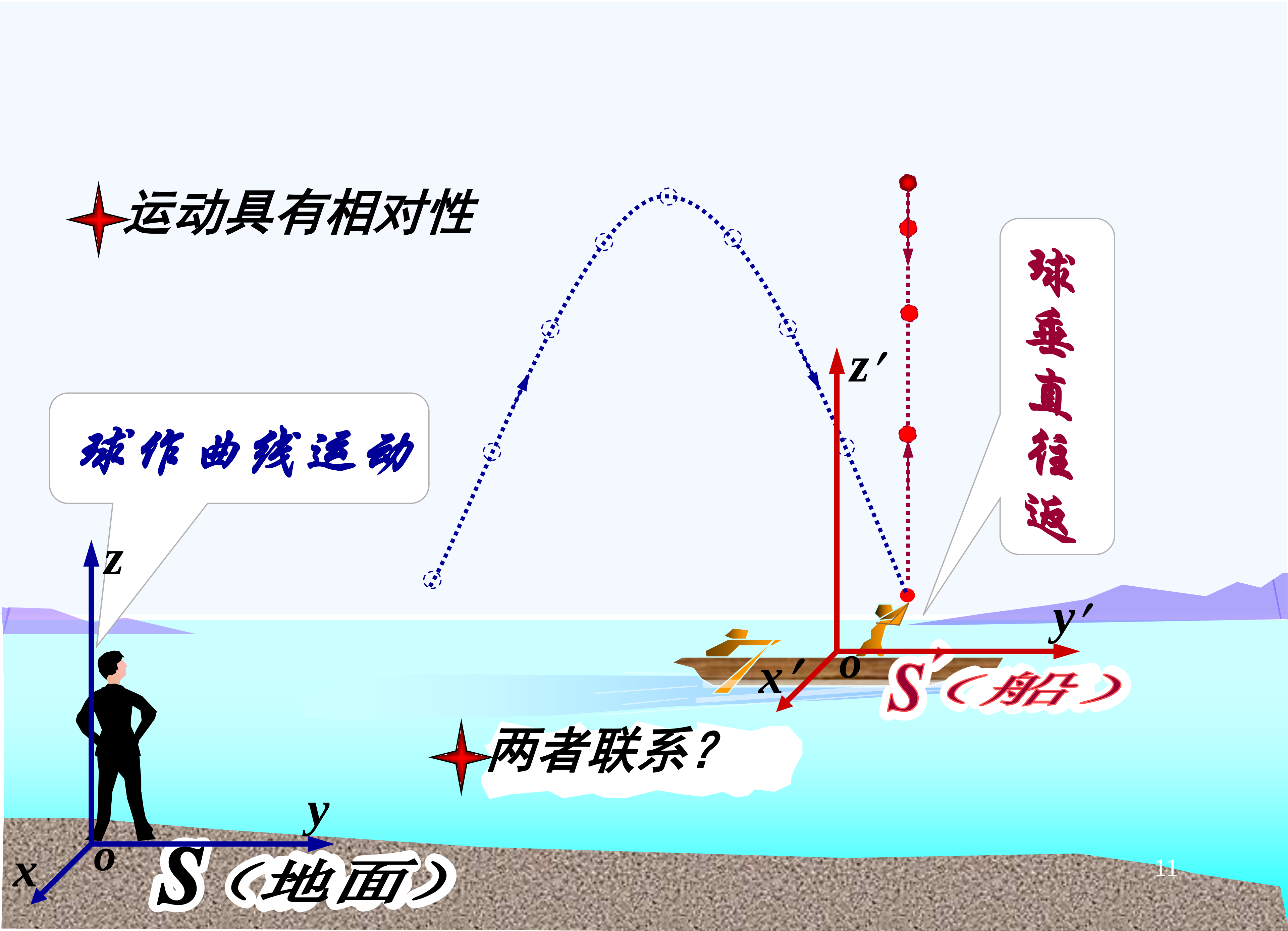
以观察者为S系，原子核为S′系.

(1) ~~对电子~~ $v_e' = 0.8c$，$v = 0.5c$.

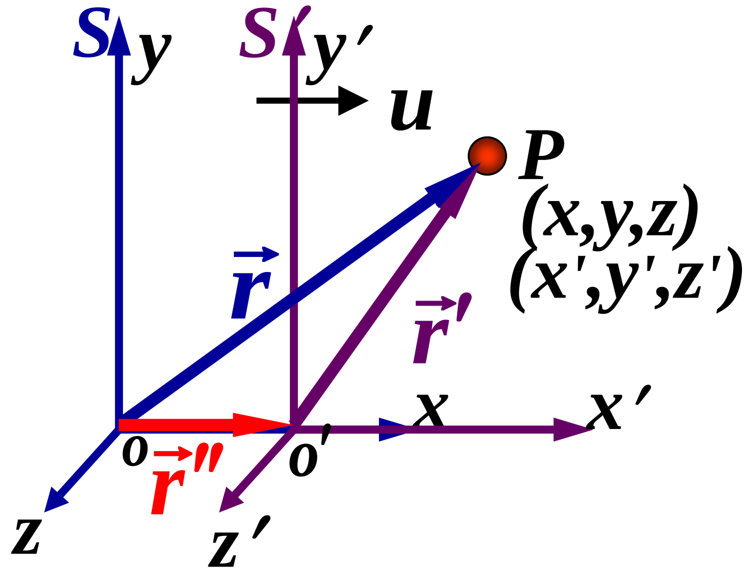
$$\therefore v_e = \frac{v_e' + v}{1 + \frac{v}{c^2} v_e'} = \frac{0.8c + 0.5c}{1 + \frac{0.5c}{c^2} \cdot 0.8c} = \cancel{0.5c}.\ 0.93c$$

(2) $v_\tau = c$，$v = 0.5c$.

$v_\tau = -c$


运动具有相对性
球作曲线运动
球垂直往返
z
y
x
o
S（地面）
z′
y′
x′
o
S′（船）
两者联系？

$$t'=\frac{t-\frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$$

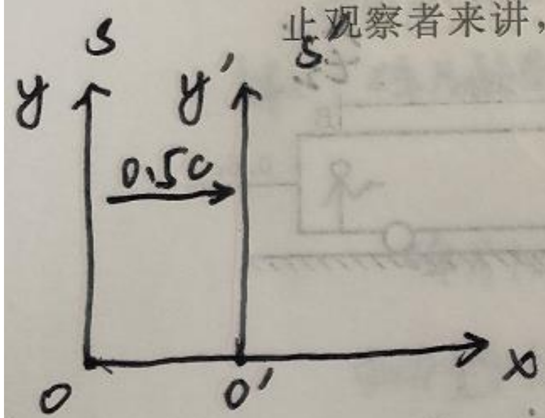


$$t=\gamma(t'+\frac{v}{c^2}x')$$

$$\begin{cases} u'_x=\dfrac{u_x-v}{1-\dfrac{v}{c^2}u_x} \\ u'_y=\dfrac{u_y}{1-\dfrac{v}{c^2}u_x}\sqrt{1-(\dfrac{v}{c})^2} \\ u'_z=\dfrac{u_z}{1-\dfrac{v}{c^2}u_x}\sqrt{1-(\dfrac{v}{c})^2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_x=\dfrac{u'_x+v}{1+\dfrac{v}{c^2}u'_x} \\ u_y=\dfrac{u'_y}{1+\dfrac{v}{c^2}u'_x}\sqrt{1-(\dfrac{v}{c})^2} \\ u_z=\dfrac{u'_z}{1+\dfrac{v}{c^2}u'_x}\sqrt{1-(\dfrac{v}{c})^2} \end{cases}$$

5-T8 一原子核以 $0.5c$ 的速度离开一观察者而运动，原子核在它运动方向上向前发射一电子，该电子相对于核有 $0.8c$ 的速度；此原子核又向后发射了一光子指向观察者。对静止观察者来讲，(1)电子具有多大的速度？(2)光子具有多大的速度？



(1) $\because u_x' = \dfrac{u_x - v}{1-\dfrac{v}{c^2}u_x}$

$\therefore u_x = \dfrac{u_x' + v}{1+\dfrac{v}{c^2}u_x'} = \dfrac{0.8c+0.5c}{1+\dfrac{0.5c}{c^2}\cdot 0.8c} = \dfrac{1.3c}{1.4} = \dfrac{13}{14}c$

(2) 由光速不变原理，光子具有的速度为 c.

5-T11 试计算动能为 1 MeV 的电子的动量。(1 MeV = 10^6 eV，电子的静止能量 $m_e c^2 =$ 0.511 MeV。)

?

解：(1) 设电子速度 v，动量 P.

$E_k = mc^2$ $\quad m = \dfrac{m_e}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$. $\Rightarrow \dfrac{1}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}} = \dfrac{1}{0.511}$.

$P = mv$ $\quad v = 0.86c$.

联立得 $P = 0.86mc$

又 $mc^2 = 1\text{MeV} = 10^6 \text{eV}$

$mc = \dfrac{10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}}{3 \times 10^8}$

得：$P = 4.59 \times 10^{-22}$ kg·m/s

$P = \dfrac{\sqrt{E_k^2 + 2E_k m_0 c^2}}{c}$

$= 7.57 \times 10^{-22}$ kg·m/s

5-T11 试计算动能为 1 MeV 的电子的动量。（1 MeV＝10^6 eV，电子的静止能量 $m_e c^2$＝0.511 MeV。）

$$\frac{E}{E_0}=\frac{mc^2}{m_0c^2}=\frac{m}{m_0}=\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$\Rightarrow \frac{v}{c}=\sqrt{1-\left(\frac{E_0}{E}\right)^2}\Rightarrow v=\sqrt{1-\left(\frac{E_0}{E}\right)^2}\,c\approx 0.8596c$$

则 $p=mv$

$$=\frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}v=\frac{E}{E_0}m_0v$$

$$\begin{cases}E=E_k+E_0\\E^2=(pc)^2+E_0^2\end{cases}$$

$$=\frac{1}{0.511}\times m_0\sqrt{1-\left(\frac{E_0}{E}\right)^2}\cdot\frac{c^2}{c}$$

$$=\frac{10^6\,eV}{3\times10^8}\times0.8596$$

$$\approx 4.592\times10^{-22}\ kg\,m/s^2$$

5-T11 试计算动能为 1 MeV 的电子的动量。（1 MeV＝10^6 eV，电子的静止能量 $m_e c^2 =$ 0.511 MeV。）

解：~~$\gamma = \frac{1}{0.511} = 1.957$~~

$$\because \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}} = \gamma$$

$$\therefore \sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2} = 0.511$$

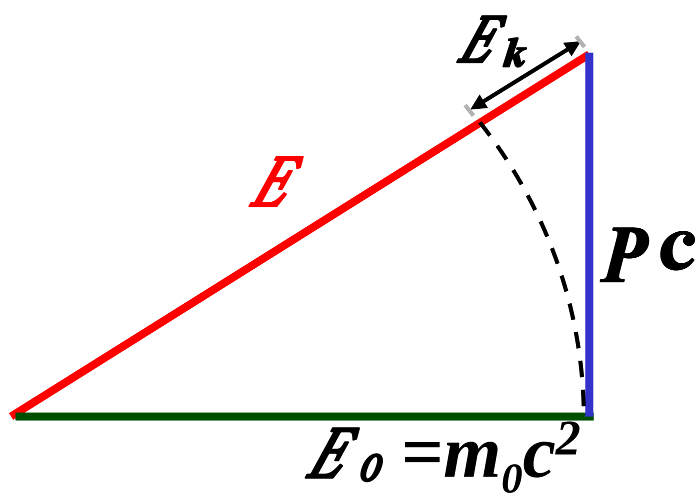
$$u = 0.86c.$$

$$\therefore p = \gamma m_0 u = 2.867 \times 10^{-9}\ \mathrm{N \cdot s}$$

$$\begin{cases} E^2 = p^2c^2 + m_0^2c^4 \\ E = E_k + m_0c^2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow p \cdots$$

$$p^2c^2 = E^2 - m_0c^2$$
$$= \left(E_k + m_0c^2\right)^2 - m_0c^2$$



5-T12 一个质量数为 42 u 的静止粒子蜕变成两个碎片，其中一个碎片的静质量数为 20 u，以速率$\frac{3}{5}c$运动。求另一碎片的动量 p、能量 E、静质量 m_0。（$1\ u=1.66\times10^{-27}$ kg。）

解：$E=E_1+E_2=42uc^2=20uc^2+22uc^2$ ×

$m_0=22u$

$p=p_1=\frac{m_0 v}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}=25u\times\frac{3}{5}c=15uc$ ✓

$E=22uc^2$ ×

$M_0c^2=m_1c^2+E_2$

$E_2=M_0c^2-\gamma_1 m_{10}c^2$

$=17uc^2$

$E^2=p^2c^2+m_0^2c^4$

$m_0=\cdots$

总能量是 mc^2，而不是 m_0c^2

5-T12 一个质量数为 42 u 的静止粒子蜕变成两个碎片，其中一个碎片的静质量数为 20 u，以速率 $\frac{3}{5}c$ 运动。求另一碎片的动量 p、能量 E、静质量 m_0。（$1\ \text{u}=1.66\times10^{-27}$ kg。）

解：$|P_1|=|P_2|$

$$\begin{cases} E_0=E_1+E_2 \\ E_0=M_0c^2 \\ E_1=\gamma_1 m_{10}c^2 \end{cases} \Rightarrow E_2=E_0-E_1=17uc^2$$

$\boxed{\text{根 } m_1=20u,\ m=42u \quad \therefore m_{02}=22u}$

$m_{02}V_2=m_1V_1$

$$\frac{1}{\sqrt{1-\frac{V_2^2}{c^2}}}m_{02}V_2=\frac{1}{\sqrt{1-\frac{V_1^2}{c^2}}}m_1V_1$$

$$V=\frac{15}{\sqrt{709}}c$$

$$P=m_0V_2=22\times1.66\times10^{-27}\times\frac{15c}{\sqrt{709}}(\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1})=6.1719\times10^{-18}\ \text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$E=\frac{1}{2}mv_2^2=\frac{1}{2}\times22\times1.66\times10^{-27}\times\frac{225c^2}{709}(\text{J})=5.2153\times10^{-10}\text{J}$$

$$m_0=22\times1.66\times10^{-27}\text{kg}=3.652\times10^{-26}\text{kg}$$

答：(1) $6.1719\times10^{-18}\ \text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
(2) 5.2153×10^{-10}J
(3) 3.652×10^{-26}kg

应该用能量守恒，不存在静止质量守恒。

5-T12. 一个质量数为42 u的静止粒子，蜕变成两个碎片，其中一个碎片的静质量数为20 u，以速率0.6c 运动，求另一碎片的动量p、能量E、静质量m_0。（1 u=1.66×10^{-27} kg）

解： 由能量守恒：$E_0 = E_1 + E_2$ 即：$M_0c^2 = \underline{m_1c^2} + E_2$

$$E_2 = M_0c^2 - \underline{\gamma_1 m_{10}c^2} = 17uc^2 = 2.54\times10^{-9}\ \mathrm{J}$$

由动量守恒：$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = 0$

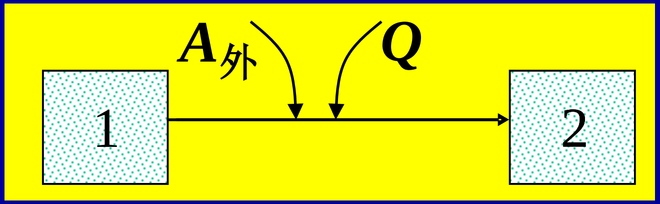
$$p_2 = |p_1| = \underline{m_1 v_1} = \underline{\gamma_1 m_{10} v_1} = 7.47\times10^{-18}\ \mathrm{kg\cdot m\cdot s^{-1}}$$

由能量动量关系式 $E^2 = p^2c^2 + m_0^2c^4$

$$m_0 = \frac{\sqrt{E_2^2 - p_2^2c^2}}{c^2} = 1.33\times10^{-26}\ \mathrm{kg} \approx 8\ \mathrm{u}$$

3. 热力学第一定律

系统从初态1演化到末态2:



$A_{外}+Q$：仅与过程的初末态有关, 与过程无关。

这表明: 系统一定存在着一个仅由系统的状态决定的函数E，其变化量可以用来度量状态1、2之间任意过程的功和热量的总和。

$$\Delta E = A_{外} + Q$$

E：为系统的内能

外界对系统的功$A_{外}$与系统对外界的功A等值反号:

$$\boxed{\Delta E = A_{外} + Q}$$

$$A_{外} = -A$$

所以 $\boxed{Q = \Delta E + A}$ ——热力学第一定律

对于无限小过程, 有:

$\boxed{\mathrm{d}Q = \mathrm{d}E + \mathrm{d}A}$ ——热力学第一定律的微分形式

正负号约定:

$Q > 0$, 系统从外界吸热； $Q < 0$, 系统向外界放热.

$A > 0$, 系统对外做正功； $A < 0$, 系统对外做负功.

定律适用范围：任何热力学系统的任何热力学过程

（对准静态过程可计算Q、A）

热力学第一定律的物理意义:

$$Q = \Delta E + A$$

（1）外界对系统所传递的热量Q:

一部分用于系统对外做功;

一部分使系统内能增加。

（2）热力学第一定律是能量转换和守恒定律在热现象中的具体体现。

机、电、化学…

广义地 $Q = \Delta E + W$

所有功

问：经一循环过程（$E_2 - E_1 = 0$）不要任何能量（$\Delta Q=0$）供给而不断地对外做功，行吗？

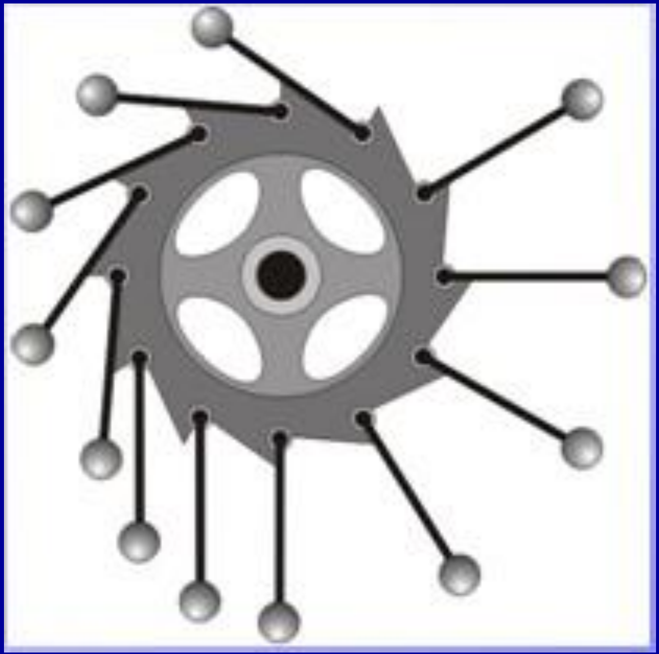
或较少的能量供给, 做较多的功, 行吗？

（3）热力学第一定律亦可表述为:

第一类永动机是不可能制造的！

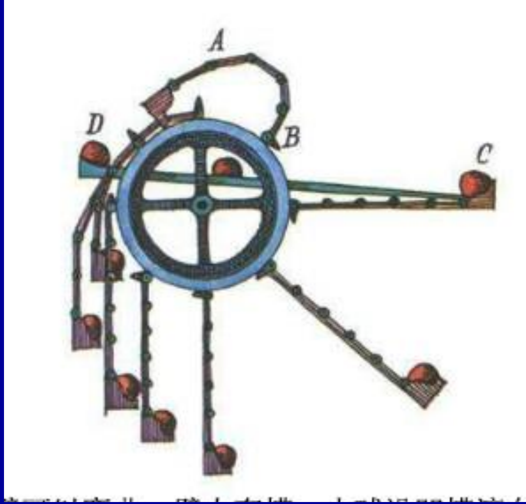
第一类永动机：

这一类永动机试图以机械的手段在不获取能源的前提下使体系持续地向外界输出能量

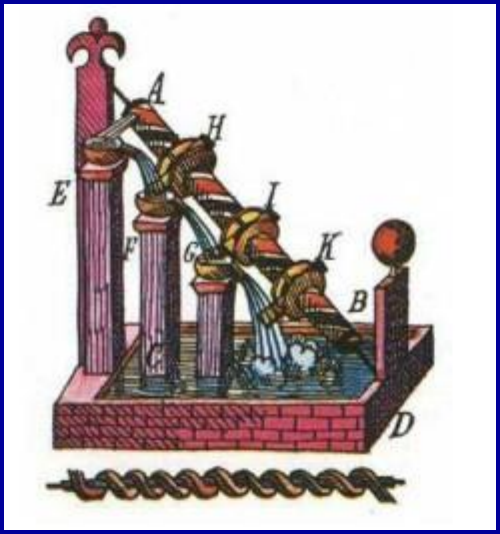


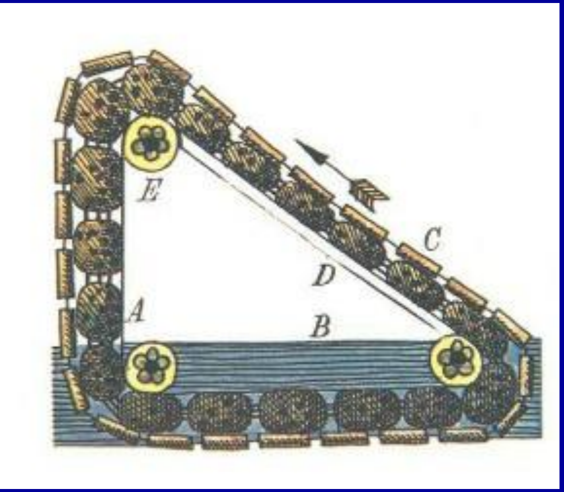
第一类永动机是法国人亨内考在十三世纪提出的“魔轮”

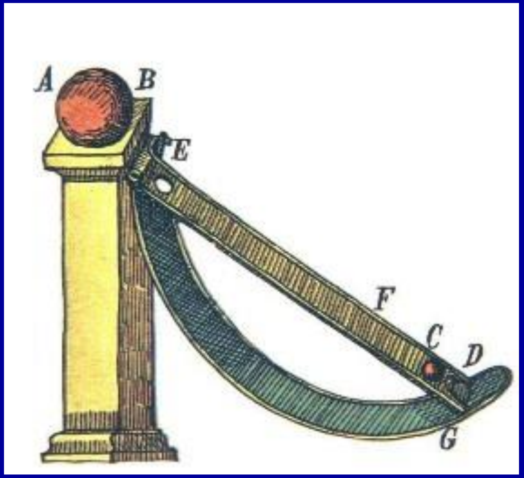
魔轮通过安放在转轮上一系列可动的悬臂实现永动，向下行方向的悬臂在重力作用下会向下落下，远离转轮中心，使得下行方向力矩加大，而上行方向的悬臂在重力作用下靠近转轮中心，力矩减小，力矩的不平衡驱动魔轮的转动



力矩







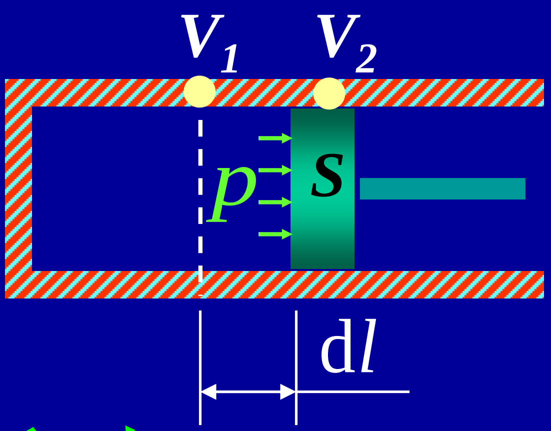
浮力

磁力

4. 功与热量的表达式

下面讨论准静态过程的具体表达式。

(1) 功的表达式



当气体推动活塞向外缓慢地移动一段微小位移dl时，气体对外界做的元功为

$$dA = PSdl = PdV$$ ——体积功

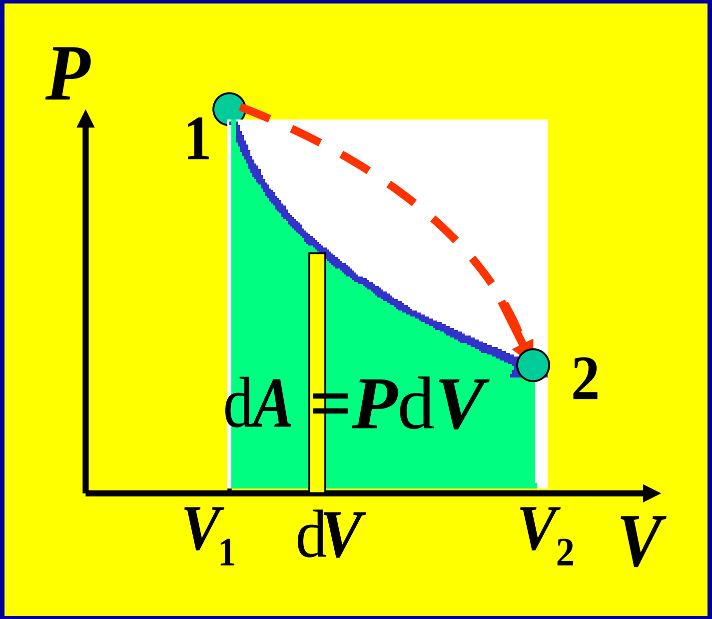
可以证明：

这就是准静态过程中“体积功”的一般计算式。

若系统的体积由V_1变化到V_2，系统对外做功为：

$$A = \int dA = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P\mathrm{d}V$$



说明：

✓ 系统在准静态过程所做的功反映在*P*-*V*图上，就是过程曲线下的面积

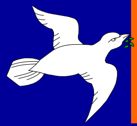
系统对外界做功：系统做正功 $A > 0$

外界对系统做功：系统做负功 $A < 0$

✓ 功不仅与初、末态有关，还与过程有关——是过程量

$\mathrm{d}A$ ⟶ 微小量　$\mathrm{d}A$不是状态参量的全微分

例1. 一定质量的理想气体从状态(P_1, V_1)等温地经过准静态过程变化到状态(P_2, V_2)，求系统对外做的功。



$$\boxed{A = \int_{V_1}^{V_2} P \mathrm{d}V}$$

解：由理想气体状态方程

$$PV = \nu RT = C$$

$$A = \int P \mathrm{d}V = \int_{V_1}^{V_2} \frac{C}{V} \mathrm{d}V = C \ln \frac{V_2}{V_1}$$

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

$V_2 > V_1 \quad A > 0$ 系统对外做功

$V_2 < V_1 \quad A < 0$ 外界对系统做功

(2) 热容量及热量的表达式

物体的温度升高**1K**所需要吸收的热量，称为该物体的**热容量**C，单位为**J/K**：

$$C=\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}$$

热容量与系统的质量（摩尔数）及经历的过程有关：

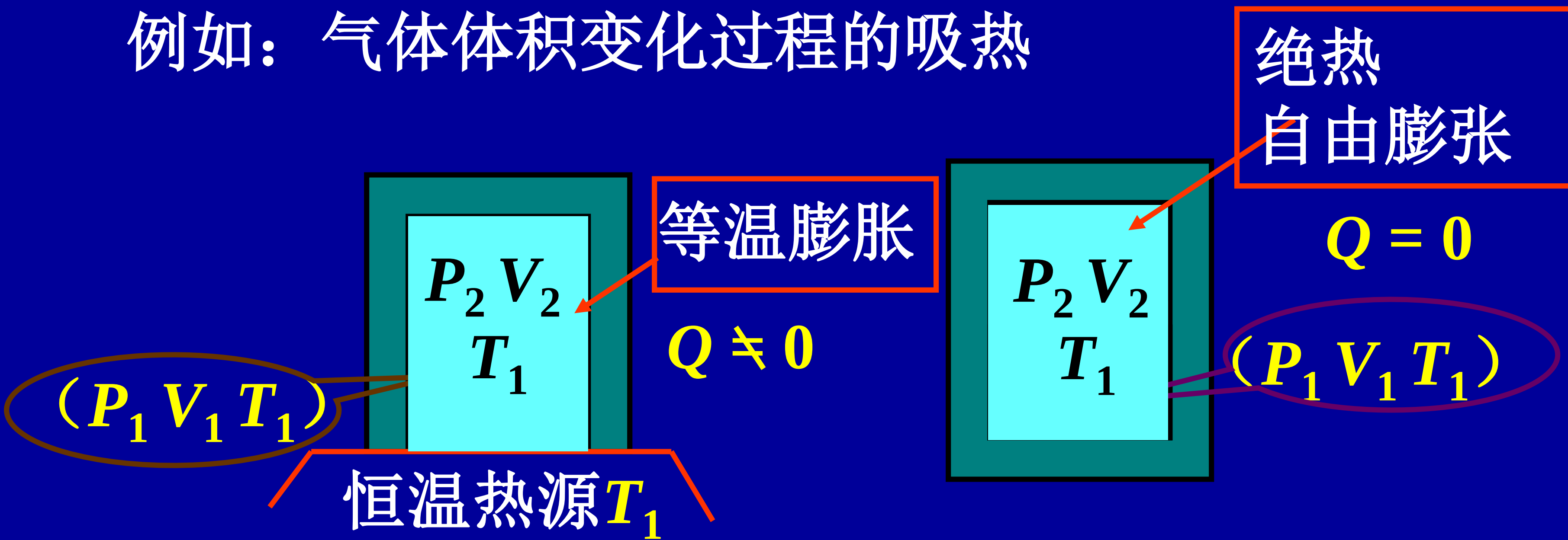
定压摩尔热容：$$C_{P,m}=\frac{1}{\nu}\left(\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}\right)_P$$

定容摩尔热容：$$C_{V,m}=\frac{1}{\nu}\left(\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}\right)_V$$

系统吸收的热量为 $$\begin{cases}\mathrm{d}Q=C\mathrm{d}T\\ Q=\int_{T_1}^{T_2}C\mathrm{d}T\end{cases}$$

注意：$\mathrm{d}Q$ 也是过程量

例如：气体体积变化过程的吸热



热力学第一定律的微分形式通常写为：

$$\boxed{\text{đ}Q = \mathrm{d}E + \text{đ}A}$$

说明：

✓ 做功和传热对改变系统内能的效果是一样的.

例:气缸内的气体可通过活塞做功 / 缸壁传热 改变其状态

✓ 做功和传热虽然在改变内能的效果上一样，但有本质的区别：

做功：通过物体宏观位移来完成，是系统外物体的有规则运动与系统内分子无规则运动之间的转换

传热：通过分子间的相互作用来完成，是系统外、内分子无规则运动之间的转换.

5. 热力学第一定律对理想气体的应用

(1) 理想气体的热容量

理想气体的内能公式

$$\boxed{\bar{\varepsilon}=\frac{i}{2}KT}$$

$$E=\frac{i}{2}\nu RT$$

$$\downarrow$$

$$\mathrm{d}E=\frac{i}{2}\nu R\mathrm{d}T$$

设ν摩尔理想气体，经一微小准静态过程后，温度改变$\mathrm{d}T$、并且系统做功$\mathrm{d}A$，则：

$$\mathrm{d}Q=\mathrm{d}E+\mathrm{d}A=\mathrm{d}E+P\mathrm{d}V$$

(1.1)定容摩尔热容：

$$\boxed{dQ = dE + dA = dE + PdV}$$

体积不变 $dV=0$ $\qquad dQ = dE = \frac{i}{2}\nu R dT$

$$C_{V,m} = \frac{1}{\nu}\left(\frac{dQ}{dT}\right)_V = \frac{1}{\nu}\left(\frac{dE}{dT}\right) = \frac{i}{2}R$$

$$\boxed{dE = \frac{i}{2}\nu R dT}$$

定容过程吸热：$dQ = \nu C_{V,m}\, dT$

$$\boxed{PV = \nu RT}$$

(1.2) 定压摩尔热容：

定压 P =常量 $\qquad dQ = dE + PdV$

$$C_{P,m} = \frac{1}{\nu}\left(\frac{dQ}{dT}\right)_P = \frac{dE + PdV}{dT} \qquad \begin{cases} dE = \frac{i}{2}\nu R dT \\ PdV = \nu R dT \end{cases}$$

$$\therefore C_{P,m} = \frac{i}{2}R + R = C_{V,m} + R \Longrightarrow C_P > C_V$$

$$\boxed{C_{V,m}=\frac{i}{2}R} \quad \boxed{C_{P,m}=\frac{i+2}{2}R}$$

单原子分子

$$C_{V,m}=\frac{3}{2}R=12.47\ \mathrm{J\cdot mol^{-1}\cdot K^{-1}}$$

$$C_{P,m}=\frac{5}{2}R=20.78\ \mathrm{J\cdot mol^{-1}\cdot K^{-1}}$$

双原子分子(刚性)

$$C_{V,m}=\frac{5}{2}R=20.78\ \mathrm{J\cdot mol^{-1}\cdot K^{-1}}$$

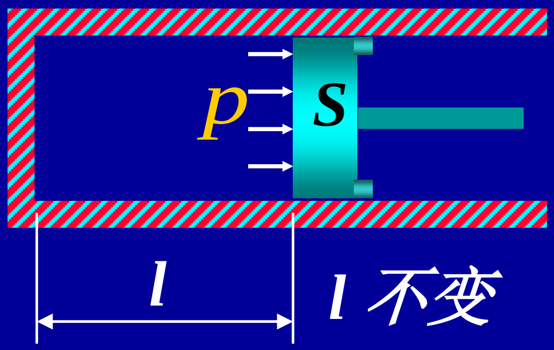
$$C_{P,m}=\frac{7}{2}R=29.09\ \mathrm{J\cdot mol^{-1}\cdot K^{-1}}$$

比热[容]比： $\gamma=\dfrac{C_P}{C_V}$

(2) 热力学第一定律对理想气体的应用

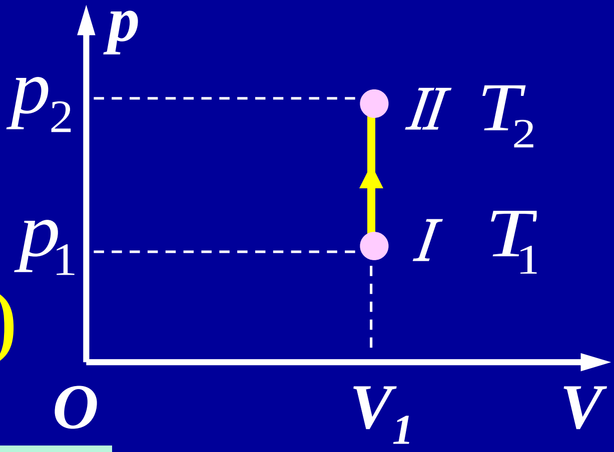
(2.1) 等容过程

- 特征　$\mathrm{d}V=0$　功　$A=0$



- 吸收的热量

$$Q=\nu\int_{T_1}^{T_2}C_{V,m}\mathrm{d}T=\nu\, C_{V,m}(T_2-T_1)$$

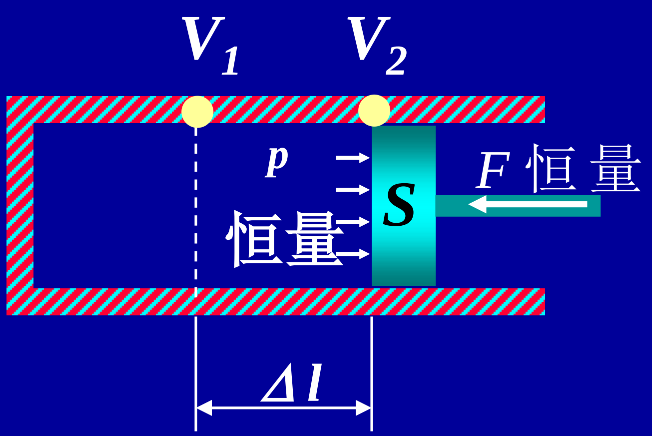


- 内能的增量

$$\Delta E=\int_{T_1}^{T_2}\nu\, C_{V,m}\mathrm{d}T=\nu\, C_{V,m}(T_2-T_1)$$

结论:等容过程,系统中吸的热量全部用来增加内能,使其温度上升。

(2.2) 等压过程

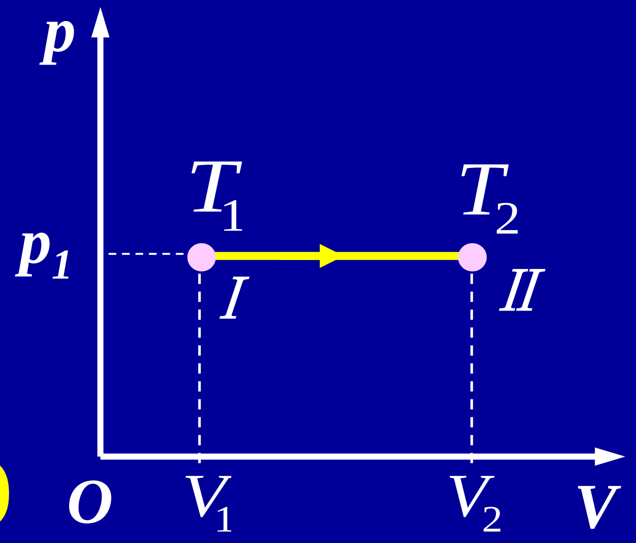


- 功

$$A=\int_{V_1}^{V_2} p\,\mathrm{d}V = p(V_2-V_1)$$

$$=\nu R(T_2-T_1)$$

- 吸收的热量



$$Q=\nu\int_{T_1}^{T_2} C_{p,m}\mathrm{d}T=\nu C_{p,m}(T_2-T_1)$$

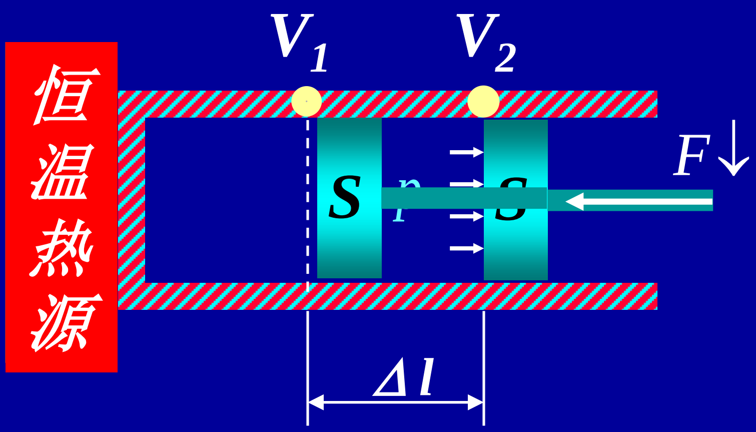
- 内能的增量

$$\boxed{\mathrm{d}Q=\mathrm{d}E+\mathrm{d}A}$$

$$\Delta E=\int_{T_1}^{T_2}\nu\ C_{V,m}\mathrm{d}T=\nu\ C_{V,m}(T_2-T_1)$$

在等压过程中理想气体吸收的热量，一部分用来对外作功，其余部分则用来增加其内能。

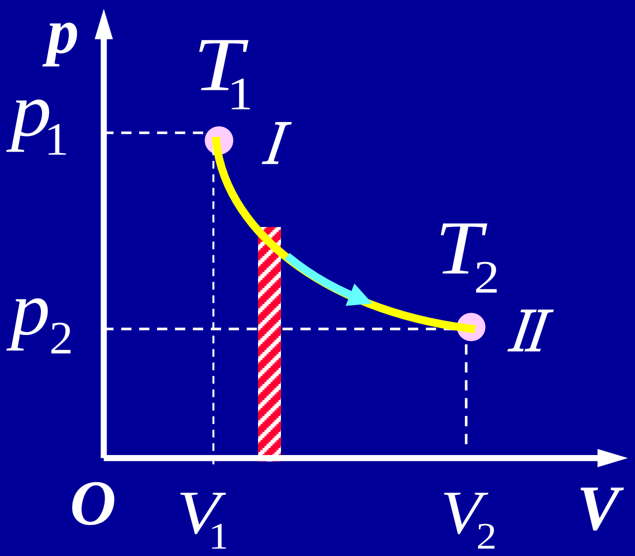
(2.3) 等温过程



- 内能的增量 $\Delta E = 0$
- 功

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p \mathrm{d}V = \int_{V_1}^{V_2} \frac{\nu RT}{V} \mathrm{d}V$$

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



- 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作功，在等温压缩中，外界对气体所的功，都转化为气体向外界放出的热量。

9-T3 试说明下列各式的物理意义：

(1) $f(v)=\dfrac{\mathrm{d}N}{N\mathrm{d}v}$；　(2) $f(v)\mathrm{d}v$；　(3) $Nf(v)\mathrm{d}v$；

(4) $\int_{v_1}^{v_2} f(v)\mathrm{d}v$；　(5) $\int_{v_1}^{v_2} Nf(v)\mathrm{d}v$；　(6) $\dfrac{\int_{v_1}^{v_2} vf(v)\mathrm{d}v}{\int_{v_1}^{v_2} f(v)\mathrm{d}v}$；

(7) $N\int_{v_1}^{v_2}\frac{1}{2}m_1v^2 f(v)\mathrm{d}v$；　(8) $\dfrac{\int_{v_1}^{v_2}\frac{1}{2}m_1v^2 f(v)\mathrm{d}v}{\int_{v_1}^{v_2} f(v)\mathrm{d}v}$。

附近单位速率

解：(1) 速度为v的分子数占总分子数的比例

(2) 速度为v ~v+dv 的分子比例（占比）

(3) 速度为v ~v+dv 的分子数

(4) 速度在 $v_1\sim v_2$ 间的分子比例

(5) 速度在 $v_1\sim v_2$ 间的分子总数

(6) 速度在 $v_1\sim v_2$ 间的分子平均速率

(7) 速度在 $v_1\sim v_2$ 间的所有分子总动能

(8) 速度在 $v_1\sim v_2$ 间的分子的平均动能

9-T7 体积为 1.0×10^{-3} m^3 的容器中含有 1.01×10^{23} 个氢气分子。如果其中压强为 1.01×10^5 Pa，求该氢气的温度和分子的方均根速率。

解：$\nu=\frac{N}{N_A}$

$PV=\nu RT$

得 $T=74k$

$n=\frac{N}{V}$

$p=\frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}_t$

$\bar{\varepsilon}_t=\frac{1}{2}m_f\overline{v^2}$

$m_f=\frac{\nu M}{N}$

得 $\sqrt{\overline{v^2}}=5.45\times10^{-11}$

可以通过量级，估计自己算对没

$\sqrt{\overline{v^2}}=\sqrt{\frac{3RT}{M}}=950.64\,m/s$

9-T7 体积为 1.0×10^{-3} m^3 的容器中含有 1.01×10^{23} 个氢气分子。如果其中压强为 1.01×10^5 Pa，求该氢气的温度和分子的方均根速率。

由 $PV=NkT$

得 $T=\frac{PV}{Nk}=\frac{1.01\times10^5\times1.0\times10^{-3}}{1.01\times10^{23}\times1.38\times10^{-23}}=72.5K$

“平动”！！

由 $\bar{\varepsilon}_k=\frac{5}{2}kT=\frac{1}{2}m\overline{v^2}$, $\cancel{PV=\frac{m}{M}RT}$ $\cancel{\frac{m}{M}}$ $m\cdot N_A=M$

$\Rightarrow\sqrt{\overline{v^2}}=\cancel{5kT}\sqrt{\frac{5RT}{M}}=\sqrt{\frac{5\times8.31\times72.5}{2\times10^{-3}}}=\cancel{38.8}\,m/s$ $950.64\,m/s$

$\sqrt{\frac{3RT}{M}}\neq$

9-T2 实验室中能够获得的最佳真空度约 1.01325×10^{-10} Pa。(1)求在室温(设为 25 ℃)下这样的"真空"中每立方米内有多少个分子;(2)先求出在标准状态下每立方米内气体的分子数(洛喜密脱常数),再把它和(1)中的结果进行比较。

解:(1) 由 $pV=\nu RT$. 得 $\nu=4.09\times10^{-14}$ mol

每立方米分子数为 $\nu N_A = 6.02\times10^{23}\times4.09\times10^{-14}=2.46\times10^{10}$

(2) 由 $pV=\frac{n_{数}}{N_A}RT$.

$n_{数}=4.47\times10^{24}$

$n_0=\frac{p_0}{kT_0}=2.69\times10^{25}\ m^{-3}$

9-T2 实验室中能够获得的最佳真空度约 1.01325×10^{-10} Pa。(1)求在室温(设为 25 ℃)下这样的"真空"中每立方米内有多少个分子;(2)先求出在标准状态下每立方米内气体的分子数(洛喜密脱常数),再把它和(1)中的结果进行比较。

解:(1) $pV=NkT$

$N=\frac{pV}{kT}=\frac{1.01325\times10^{-10}}{1.38\times10^{-23}\times(25+273.15)}=2.46\times10^{10}$

(2) $N'=\frac{pV}{kT'}=\frac{1.01325\times10^{\cancel{-10}\ 5}}{1.38\times10^{-23}\times273.15}=2.69\times10^{\cancel{10}\ 25}$

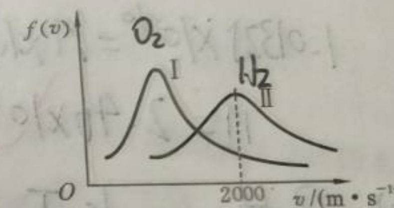
$N'>N$.

9-T9 1 mol 氢气，在温度为 27 ℃时，它的分子的平动动能和转动动能各为多少?（即内能中分别与分子的平动动能相关和与分子的转动动能相关的那部分能量。）

$$\overline{\varepsilon_t} = \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2}\times 1.38\times10^{-23}\times 300 = 6.21\times10^{-21}\,\mathrm{J} \times N_A$$

$$\overline{\varepsilon_r} = \frac{2}{2}kT = 1\times 1.38\times10^{-23}\times 300 = 4.14\times10^{-21}\,\mathrm{J} \times N_A$$

9-T4 图中Ⅰ、Ⅱ两条曲线是不同气体（氢气和氧气）在同一温度下的麦克斯韦分子速率分布曲线。试由图中数据求：(1)氢气分子和氧气分子的最概然速率；(2)两种气体所处的温度。



(1) H_2: 2000 m/s

$$2000 = \sqrt{\frac{2RT}{2\times10^{-3}}} \Rightarrow \sqrt{RT} = 2000$$

$$O_2:\ V_p = \sqrt{\frac{2RT}{32\times10^{-3}}} = \frac{\sqrt{RT}}{4} = 500\,\mathrm{m/s}$$

国际单位！
（还有漏写单位的）

(2) $\cancel{\sqrt{RT} = 2000}$

$\cancel{RT = 4\times10^{6}}$ ×

$$\sqrt{\frac{RT}{1\times10^{-3}}} = 2000$$

$$T = \frac{(2000)^2\times10^{-3}}{8.31} = 481\,\mathrm{K}$$

已学内容回顾

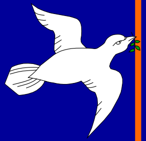
$$\boxed{Q = \Delta E + A}$$ ——热力学第一定律

$$\boxed{\mathrm{d}Q = \mathrm{d}E + \mathrm{d}A}$$ ——热力学第一定律的微分形式

正负号约定：

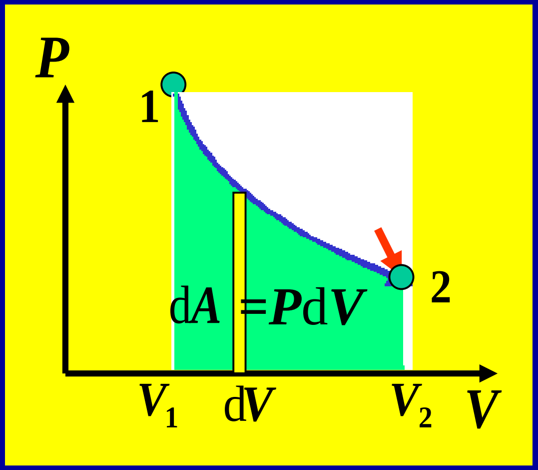
$Q > 0$, 系统从外界吸热； $Q < 0$, 系统向外界放热.

$A > 0$, 系统对外做正功； $A < 0$, 系统对外做负功.



$$\boxed{A = \int_{V_1}^{V_2} P\mathrm{d}V}$$

过程量



已学内容回顾

- 热容量

$$C_{V,m} = \frac{i}{2} R \qquad C_{P,m} = \frac{i}{2} R + R = C_{V,m} + R$$

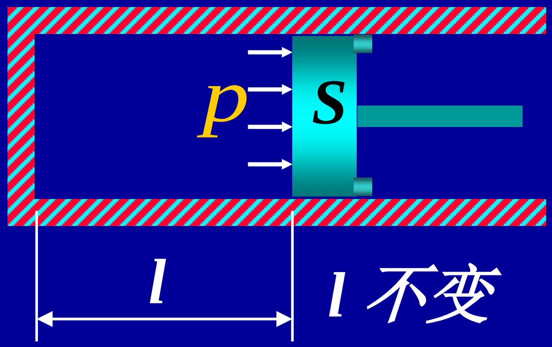
- 热量的表达式 $Q = \int_{T_1}^{T_2} C \mathrm{d}T$

$$\boxed{PV = \nu RT} \qquad Q = \Delta E + A$$

$$E = \frac{i}{2} \nu RT$$

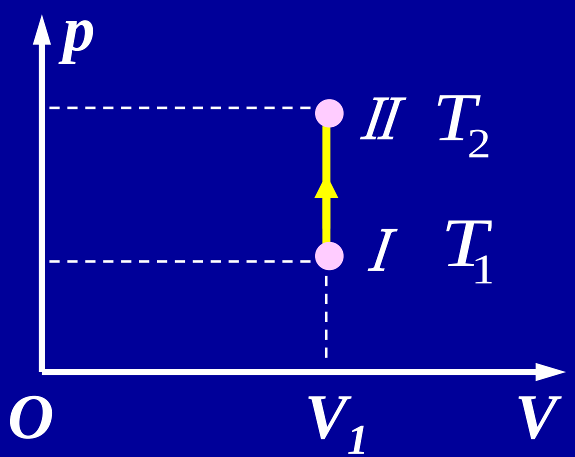
过程方程

已学内容回顾



$$A = 0$$

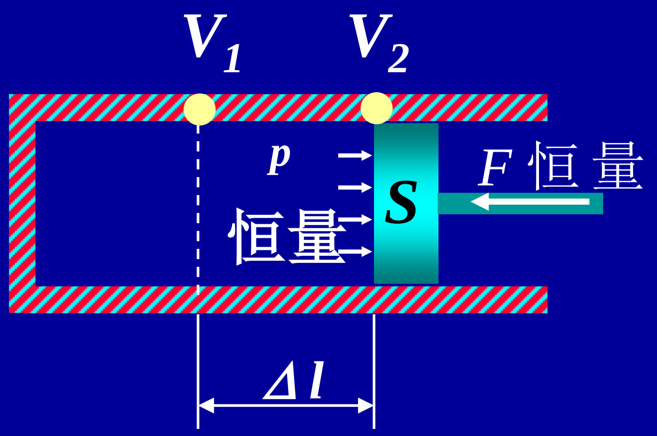
$$Q = \nu \int_{T_1}^{T_2} C_{V,m} \mathrm{d}T = \nu\ C_{V,m}(T_2 - T_1)$$



$$\Delta E = \int_{T_1}^{T_2} \nu\ C_{V,m} \mathrm{d}T = \nu\ C_{V,m}(T_2 - T_1)$$

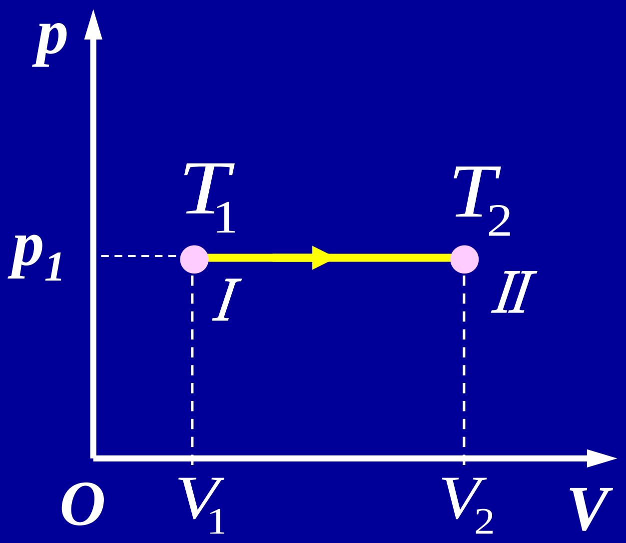
等容过程, 系统中吸的热量全部用来增加内能, 使其温度上升。

已学内容回顾



$$A = \int_{V_1}^{V_2} p\,\mathrm{d}V = p(V_2 - V_1)$$

$$= \nu R(T_2 - T_1)$$

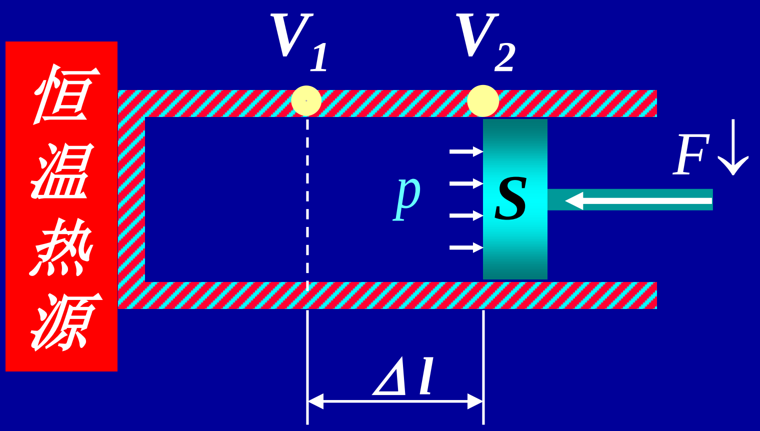


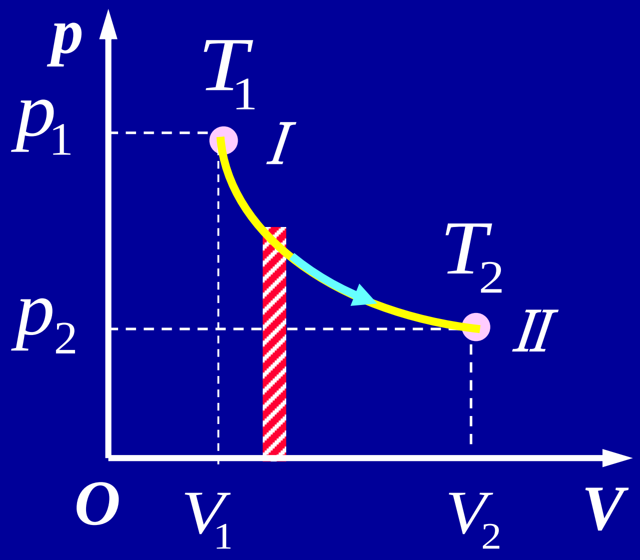
$$Q = \nu \int_{T_1}^{T_2} C_{p,m}\,\mathrm{d}T = \nu C_{p,m}(T_2 - T_1)$$

$$\Delta E = \int_{T_1}^{T_2} \nu\; C_{V,m}\,\mathrm{d}T = \nu\; C_{V,m}(T_2 - T_1)$$

在等压过程中理想气体吸收的热量，一部分用来对外作功，其余部分则用来增加其内能。

已学内容回顾





$$\Delta E = 0$$

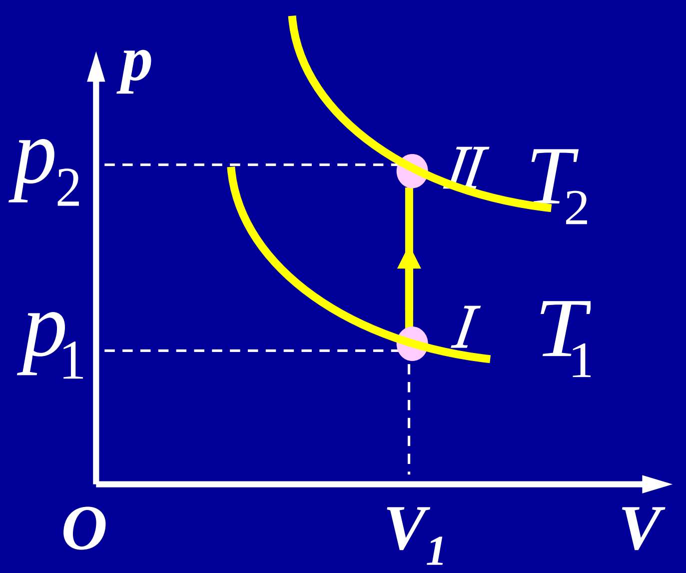
$$A = \int_{V_1}^{V_2} p\,\mathrm{d}V = \int_{V_1}^{V_2} \frac{\nu RT}{V}\mathrm{d}V$$

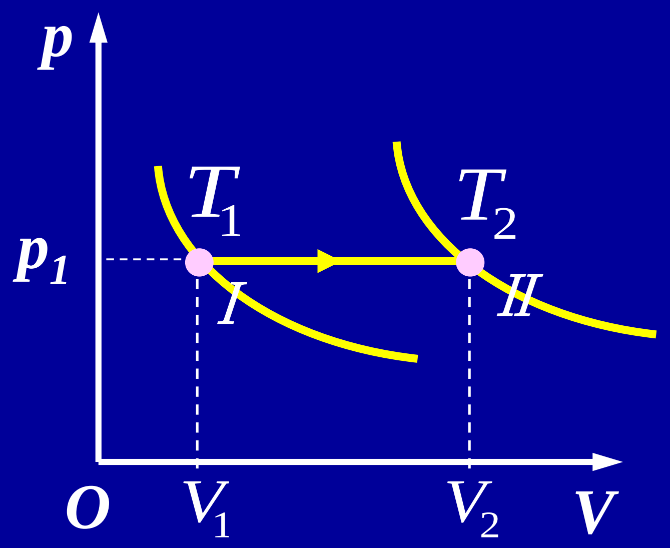
$$= \nu RT \ln\frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln\frac{p_1}{p_2}$$

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

在等温膨胀过程中，理想气体吸收的热量全部用来对外作功；在等温压缩中，外界对气体所的功，都转化为气体向外界放出的热量。

上面的等温线对应温度较高：$T_2 > T_1$





[学习通]

1. 当我给打气筒打气的时候，打气筒发烫了。以打气筒中的气体为研究对象，其Q和A的符号分别是： （B）

A) Q>0, A>0

B) Q<0, A<0

C) Q>0, A<0

D) Q<0, A>0

2. 夏天在滚烫的地面上骑自行车，结果自行车胎爆了，把我炸飞了。以车胎中的气体为研究对象，其Q和A的符号分别是：

A) Q>0, A>0

B) Q<0, A<0

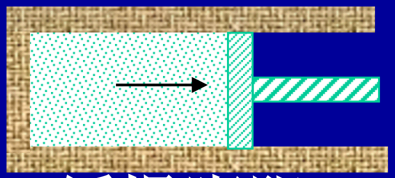
C) Q>0, A<0

D) Q<0, A>0

（A）

(2.4) 绝热过程 ——系统与外界无热交换的过程

绝热过程：$\begin{cases}\text{准静态绝热过程} \\ \text{非准静态绝热过程}\end{cases}$



缓慢膨胀

(2.4.1) 准静态绝热过程

特征 $\mathrm{d}Q = 0 \quad \mathrm{d}E + \mathrm{d}A = 0 \quad \mathrm{d}A = -\mathrm{d}E$

内能增量 $\Delta E = \frac{i}{2}\nu R\Delta T = \nu C_{V,m}\Delta T$

对外做功 $A = -\Delta E = -\nu C_{V,m}\Delta T$

吸热 $Q = 0$

结论：当气体绝热膨胀对外做功时,气体内能减少。

(2.4.2) 理想气体准静态绝热过程的过程方程

$$\mathrm{d}E=\frac{i}{2}\nu R\mathrm{d}T=\nu C_{V,m}\mathrm{d}T \qquad \mathrm{d}A=P\mathrm{d}V$$

$$\because \mathrm{d}E+\mathrm{d}A=0 \qquad \therefore \nu C_{V,m}\mathrm{d}T+P\mathrm{d}V=0 \qquad (1)$$

在过程中任一时刻理想气体的状态满足：

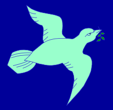
$$PV=\nu RT$$

则有 $P\mathrm{d}V+V\mathrm{d}P=\nu R\mathrm{d}T \qquad (2)$

从(1)，(2)中消去dT，得

$$\boxed{C_{V,m}+R=C_{P,m}}$$

$$(C_{V,m}+R)\,P\mathrm{d}V+C_{V,m}V\mathrm{d}P=0$$



$$\boxed{\frac{C_{P,m}}{C_{V,m}}=\gamma}$$

即 $\dfrac{\mathrm{d}P}{P}+\gamma\dfrac{\mathrm{d}V}{V}=0$

积分可得 $\ln P+\gamma\ln V=$ 常量 或 $PV^{\gamma}=C_1$

理想气体准静态绝热过程的过程方程

同理还可得：

$$\left.\begin{aligned} PV^{\gamma} &= C_1 \\ V^{\gamma-1}T &= C_2 \\ P^{\gamma-1}T^{-\gamma} &= C_3 \end{aligned}\right\}\ \text{过程方程}$$

即

$$\left\{\begin{aligned} P_1V_1^{\gamma} &= P_2V_2^{\gamma} \\ V_1^{\gamma-1}T_1 &= V_2^{\gamma-1}T_2 \\ P_1^{\gamma-1}T_1^{-\gamma} &= P_2^{\gamma-1}T_2^{-\gamma} \end{aligned}\right.$$

(2.4.3) 等温线与绝热线的比较

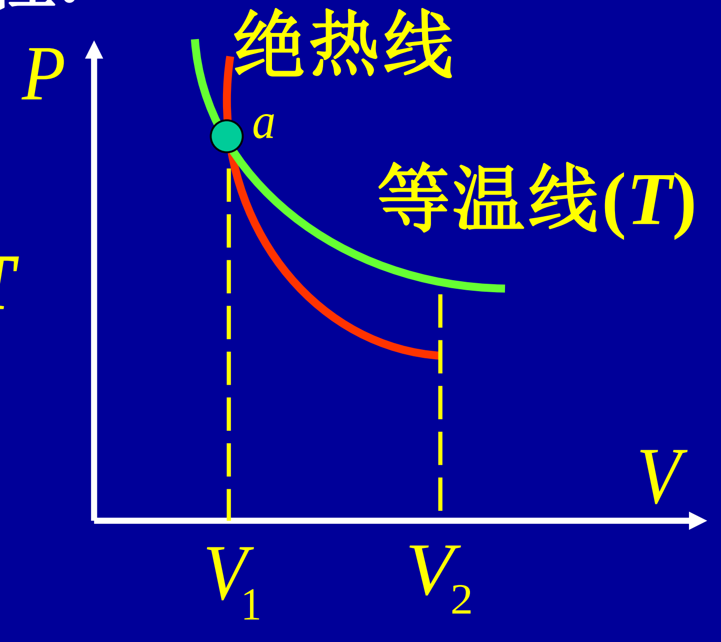
考虑从V_1膨胀到V_2的准静态过程:

等温过程：温度T不变

绝热过程：$Q=\Delta E+A=0$

$$A=-\Delta E=-\nu C_{V,m}\Delta T$$

所以，温度降低。



体积膨胀到V_2时,

考虑状态方程: $\dfrac{PV_2}{T}=C$

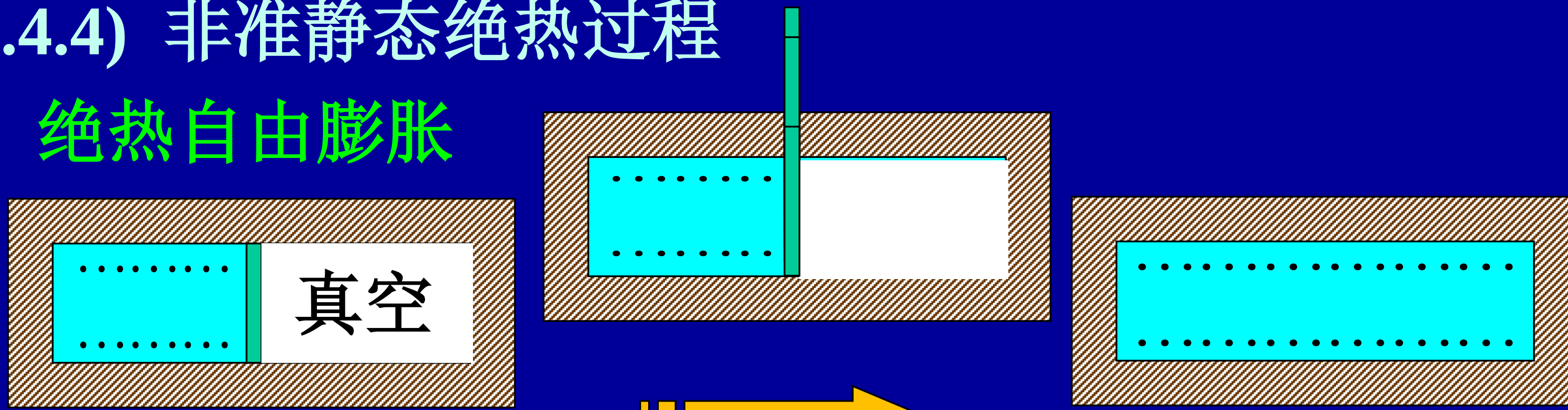
系统经绝热过程到V_2时的温度比经等温过程的小，故P也小. 所以可如图所示划绝热线。

由上图知，从相同的初态a作同样的体积膨胀时，绝热过程的压强比等温过程的压强减少得多些。

（即：系统作等温膨胀所做的功比绝热膨胀的功要多）

(2.4.4) 非准静态绝热过程

绝热自由膨胀

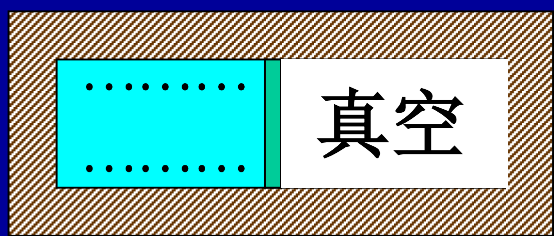


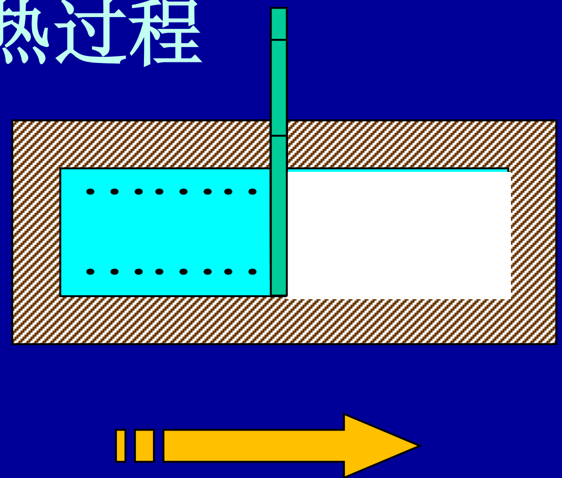
1 (V_1, P_1, T_1) 2 (V_2, P_2, T_2)

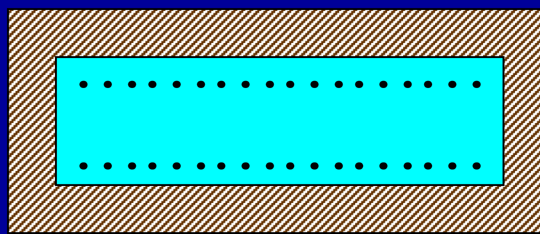
$$\left.\begin{array}{l} P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma} \\ \\ V_2 = 2V_1 \end{array}\right\} P_2 = \frac{P_1}{2^{\gamma}}$$

(2.4.4) 非准静态绝热过程

绝热自由膨胀







1 (V_1, P_1, T_1)　　　　2 (V_2, P_2, T_2)

自由膨胀过程中每个时刻都不是平衡态，但过程中：

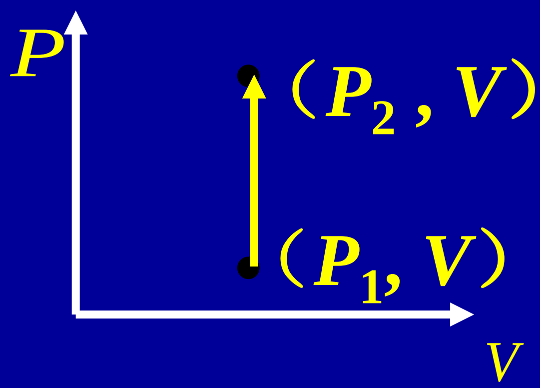
$A = 0 \quad Q = 0 \qquad \therefore \Delta E = 0$　则 $\Delta T = 0 \quad T_2 = T_1$

$$\left.\begin{array}{l} P_1 V_1 = \nu R T_1 \\ P_2 V_2 = \nu R T_1 \end{array}\right\} P_1 V_1 = P_2 V_2 \xrightarrow{V_2 = 2V_1} P_2 = \frac{1}{2} P_1$$

注意：（a）尽管$T_2=T_1$，但此过程不是等温过程；

（b）由于是非准静态过程, 所以绝热过程方程不适用。

➢ 等容过程



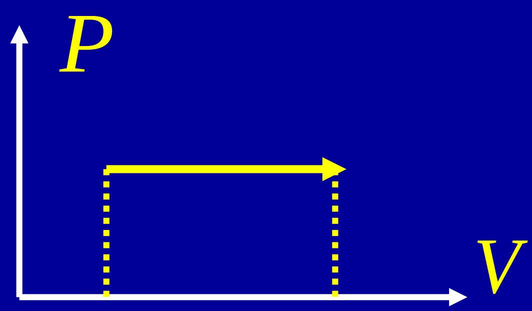
$$dV=0 \qquad A=0$$

$$Q=\int dQ=\nu C_{V,m}(T_2-T_1)=\Delta E$$

等容过程，系统中吸的热量全部用来增加内能

➢ 等压过程

$$dP=0$$



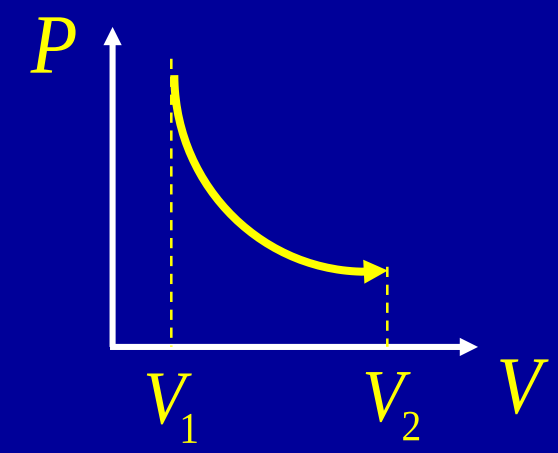
$$Q=\nu C_{p,m}(T_2-T_1)$$

$$A=PdV=\nu R(T_2-T_1)$$

$$\Delta E=\nu C_{V,m}(T_2-T_1)$$

等压过程，系统吸收的热量，一部分用来对外作功，其余部分则用来增加其内能。

➢ 等温过程

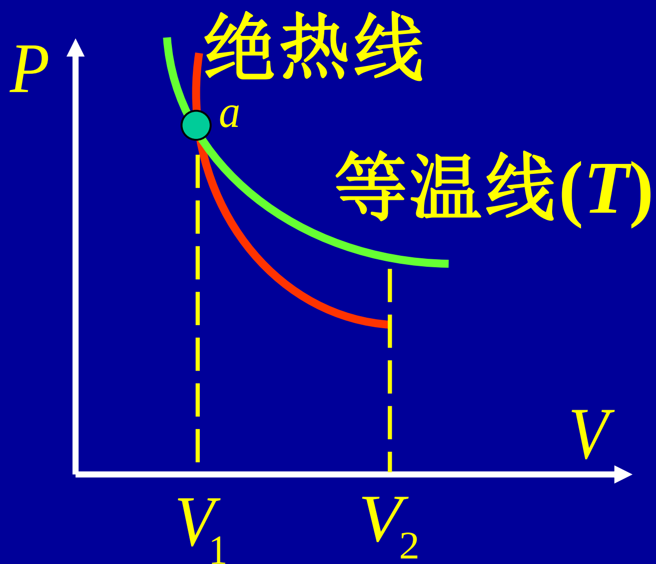


$$\mathrm{d}T = 0 \qquad \Delta E = 0$$

$$(Q)_T = A = \nu RT \ln\frac{V_2}{V_1}$$

等温过程：系统吸收的热量全部用来对外做功

➢ 绝热过程



$$A = -\Delta E = -\nu C_{V,m}\Delta T$$

$$Q = 0$$

结论: 当气体绝热膨胀对外做功时,气体内能减少。

(2.5) 多方过程

理想气体在等温过程中进行着完全的功、热之间的转换，这时满足过程方程：

$$PV = \text{常量}$$

而在绝热过程中, 气体与外界完全没有热交换，过程方程为:

$$PV^{\gamma} = \text{常量}$$

实际上， 在压缩或膨胀时, 气体所经历的过程常常是一个介于等温和绝热之间的过程, 过程方程可写为:

$$PV^{n} = \text{常量}$$

这种过程称为多方过程，其中的常数***n***称为多方指数

(2.5.1) 多方过程曲线

- 多方过程方程

$$pV^n = C$$

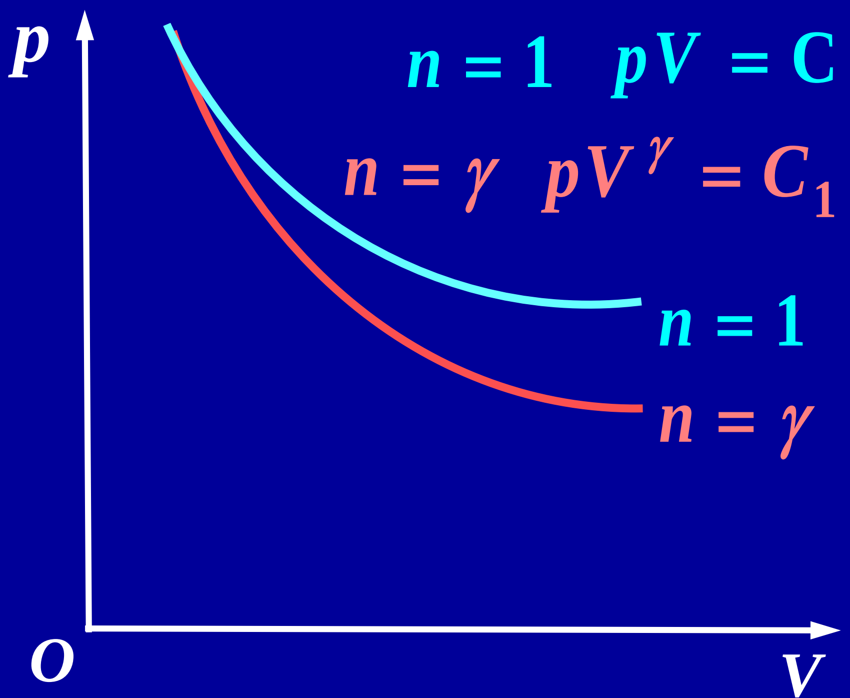
- 多方过程曲线

根据多方过程 方程，有

$$p\mathrm{d}(V^n) + V^n \mathrm{d}p = 0$$

$$\frac{\mathrm{d}P}{\mathrm{d}V} = -n\frac{p}{V}$$

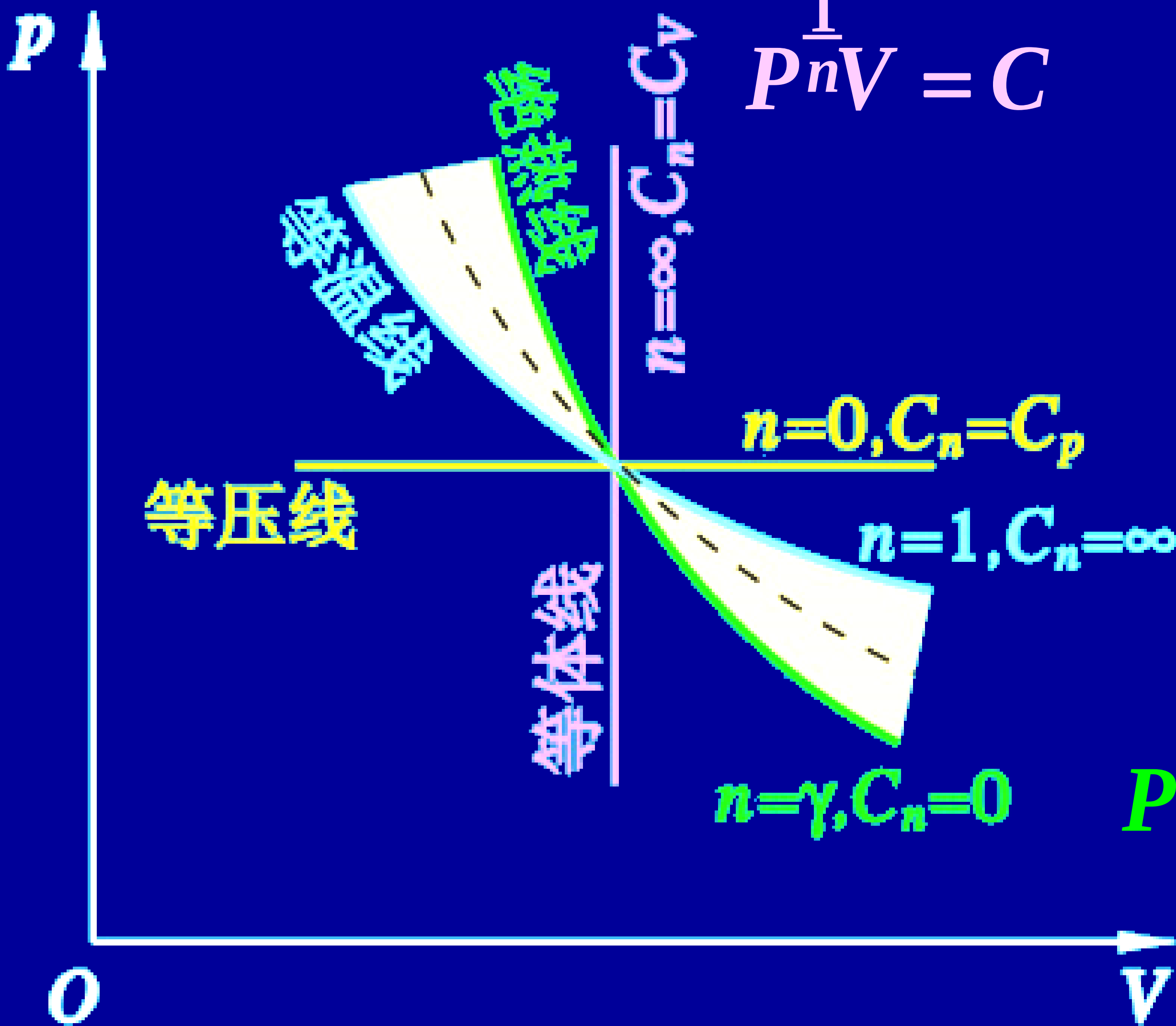
可见: n 越大， 曲线越陡



- 多方过程曲线与四种常见基本过程曲线

$PV^n = C$

$P^{\frac{1}{n}}V = C$



$PV^0 = C$

$PV = C$

$PV^\gamma = C$

多方过程中的功、内能、热量、摩尔热容的计算

功 $A=\int_{V_1}^{V_2} p\,\mathrm{d}V=\int_{V_1}^{V_2} p_1 V_1^{\,n}\frac{\mathrm{d}V}{V^{\,n}}=\frac{1}{n-1}\left(\frac{p_1 V_1^{\,n}}{V_1^{\,n-1}}-\frac{p_2 V_2^{\,n}}{V_2^{\,n-1}}\right)$

$=-\frac{\nu R}{n-1}(T_2-T_1)$

过程方程

状态方程

内能增量 $\Delta E=\nu C_{V,m}(T_2-T_1)$

内能

热量 $Q_n=\nu C_{n,m}(T_2-T_1)=\Delta E+A$

摩尔热容 $C_{n,m}=\frac{Q_n}{\nu\Delta T}$

热一律

$=C_{V,m}+\frac{R}{1-n}=\frac{n-\gamma}{n-1}C_{V,m}$

例2. 一理想气体在某过程中压强与体积满足关系 PV^2=常量，求此过程中气体的摩尔热容量C_n。

$$\boxed{PV=\nu RT}$$

解： $C_{n,m}=\dfrac{1}{\nu}\dfrac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}$ $\quad \mathrm{d}Q=\mathrm{d}E+P\mathrm{d}V$

$\because\ \mathrm{d}E=\dfrac{i}{2}\nu R\mathrm{d}T$ $\quad \therefore\ \mathrm{d}Q=\dfrac{i}{2}\nu R\mathrm{d}T+P\mathrm{d}V$

对<u>过程方程</u>求微分, 得 $\quad V^2\mathrm{d}P+2PV\mathrm{d}V=0$

化简 $\quad V\mathrm{d}P+2P\mathrm{d}V=0$

再对<u>状态方程</u>求微分，得 $P\mathrm{d}V+V\mathrm{d}P=\nu R\mathrm{d}T$

以上两式相减，得 $\quad P\mathrm{d}V=-\nu R\mathrm{d}T$

故：$\mathrm{d}Q=(\dfrac{i}{2}-1)\nu R\mathrm{d}T$

代入第一个式子，得 $\quad C_{n,m}=(\dfrac{i}{2}-1)R$

小结

- 理想气体的典型准静态过程（过程方程）

等容	$V=$常量
等压	$P=$常量
等温	$PV=$常量
绝热	$PV^{\gamma}=$常量
多方	$PV^{n}=$常量

小结

- 理想气体的典型准静态过程（系统对外做功A）

等容	0
等压	$P(V_2-V_1)$或$\nu R(T_2-T_1)$
等温	$P_1V_1\ln\frac{V_2}{V_1}$或$\nu RT\ln\frac{V_2}{V_1}$
绝热	$\frac{1}{\gamma-1}(P_1V_1-P_2V_2)$或$\nu C_{V,m}(T_1-T_2)$
多方	$\frac{1}{n-1}(P_1V_1-P_2V_2)$

小结

➢ 理想气体的典型准静态过程（系统内能增量ΔE）

等容	$\nu C_{V,m}(T_1 - T_2)$
等压	$\nu C_{V,m}(T_1 - T_2)$
等温	0
绝热	$\nu C_{V,m}(T_1 - T_2)$
多方	$\nu C_{V,m}(T_1 - T_2)$

小结

➢ 理想气体的典型准静态过程（系统从外界吸热Q）

等容	$\nu C_{v,m}(T_1 - T_2)$
等压	$\nu C_{p,m}(T_1 - T_2)$
等温	$P_1V_1 \ln\frac{V_2}{V_1}$ 或 $\nu RT \ln\frac{V_2}{V_1}$
绝热	0
多方	$\nu C_{n,m}(T_1 - T_2)$

理想气体状态方程

$$pV=\nu RT$$

热力学第一定律

$$Q=\Delta E+A$$

$$Q=\nu c\,\Delta T \qquad \Delta T=T_2-T_1 \qquad C_{V,m}=\frac{i}{2}R$$

$$\Delta E=\nu C_{V,m}\Delta T \qquad \Delta E=E_2-E_1$$

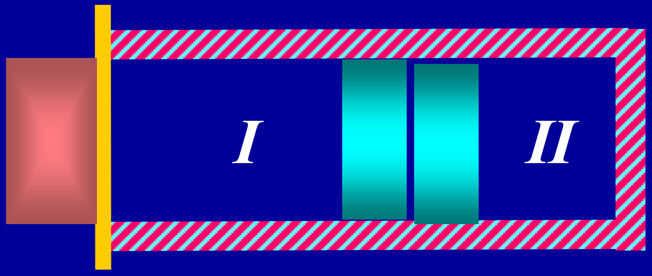
$$A=\int p\,dV \qquad C_{p,m}=C_{V,m}+R \qquad \gamma=\frac{C_p}{C_{V,m}}$$

过程	过程方程	ΔE	A	Q
等体	$\frac{p}{T}=$ 常量	$\nu C_{V,m}\Delta T$	0	$\nu C_{V,m}\Delta T$
等压	$\frac{V}{T}=$ 常量	$\nu C_{V,m}\Delta T$	$p\Delta V$ 或 $\nu R\Delta T$	$\nu C_{p,m}\Delta T$
等温	$pV=$ 常量	0	$\nu RT_1\ln\frac{V_2}{V_1}$ 或 $p_1V_1\ln\frac{V_2}{V_1}$	$\nu RT_1\ln\frac{V_2}{V_1}$ 或 $p_1V_1\ln\frac{V_2}{V_1}$
绝热	$pV^{\gamma}=$ 常量	$\nu C_{V,m}\Delta T$	$\frac{p_1V_1-p_2V_2}{\gamma-1}$	0

例3. 一容器被一可移动、无摩擦且**绝热的**活塞分割成Ⅰ, II 两部分。容器左端封闭且**导热**，其他部分绝热。开始时在I, II中各有温度为0℃，压强1.013×10^5 P_a 的刚性双原子分子的理想气体。两部分的容积均为36升。现从容器左端缓慢地对I中气体加热，使活塞缓慢地向右移动，直到II中气体的体积变为18升为止。 *求:*

(1) I 中气体末态的压强和温度。

(2) 外界传给 I 中气体的热量。

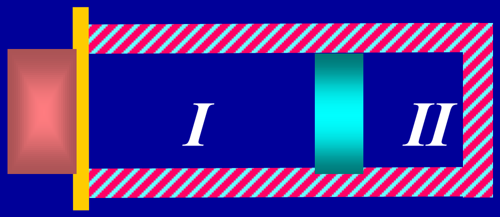


解 (1) II中气体经历的是绝热过程，则

$$p_0V_0^{\gamma} = p_2V_2^{\gamma}$$

刚性双原子分子 $\gamma = \dfrac{7}{5}$

$$p_2 = p_0\left(\frac{V_0}{V_2}\right)^{\gamma} = 2.674\times 10^5\,\mathrm{Pa}$$



又 $$p_1 = p_2 = 2.674\times 10^5\,\mathrm{Pa}$$

由理想状态方程得 $$T_1 = \frac{p_1V_1}{p_0V_0}T_0 = 1.081\times 10^3\,\mathrm{K}$$

(2)I中气体内能的增量为

$$\Delta E_1 = \nu C_{V,m}(T_1 - T_0) = \nu\frac{5}{2}R(T_1 - T_0)$$

$$= \frac{5}{2}(p_1V_1 - p_0V_0) = 2.69\times 10^4\,\mathrm{J}$$

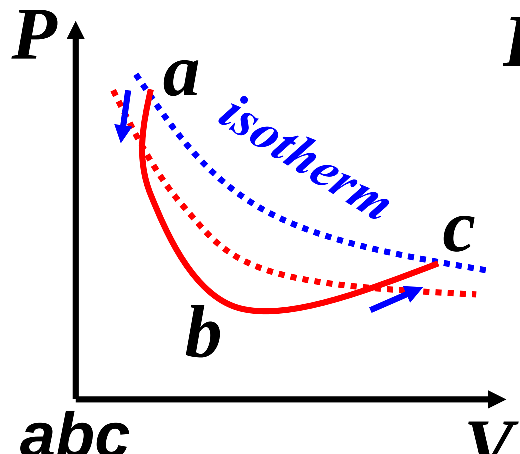
I中气体对外作的功为 $$A_1 = \Delta E_2 = 2.92\times 10^3\,\mathrm{J}$$

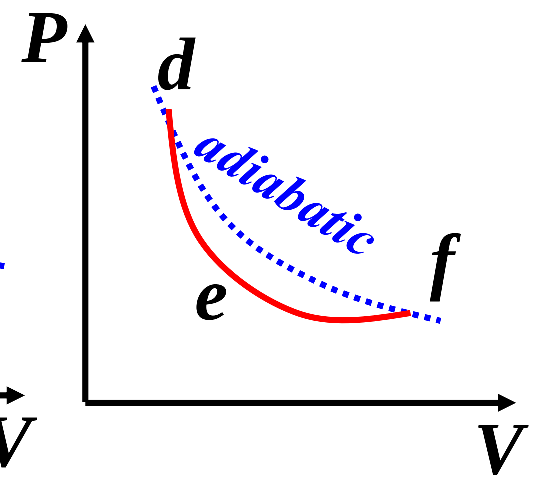
根据热力学第一定律，I中气体吸收的热量为

$$Q_1 = \Delta E_1 + A_1 = 2.99\times 10^4\,\mathrm{J}$$

EXAMPLE 1 ***An ideal gas experiences different processes, abc and def as shown in the PV diagram. Determine whether the net heat flow into or out of the gas.***

Solution





Process abc: $Q = \Delta U + W$

	Q	ΔU	W
ac:	(+)	0	(+)
abc:	(+)	0	(+)

Thus through the process abc

Q >0: heat flow into the system

How does internal energy change during the process?

U is a state variable!

Process def: $Q = \Delta U + W$

	Q	ΔU	W	
df :	0	(−)	(+)	$\Delta U = -W_{df}$
		=	∨	
def :	(0)	(−)	(+)	$W_{df} > W_{def}$

$\therefore$ ***Q < 0   heat leaves the system***