4.4、热力学第一定律对理想气体的应用

- 等体、等压、等温过程

热力学第一定律

$$Q = \Delta U + W'$$

系统所吸的热量Q　内能变化ΔU　系统对外做功W′

- **ΔU、 Q 和W′三者中知其二，则知其三**
- **W′与过程有关, 必须有过程方程。**

用热力学第一定律研究理想气体的具体过程中

内能变化ΔU，系统对外做功W′，系统所吸的热量Q。

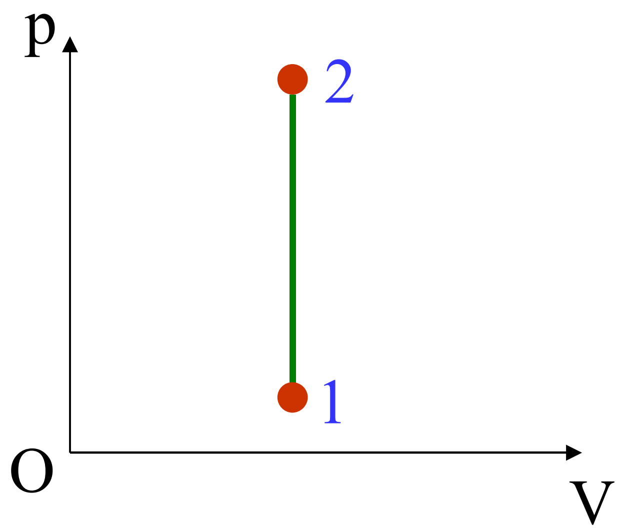
等体过程

$$\Delta V = 0 \quad \Rightarrow \quad W = 0. \quad \Delta U = Q$$

$$dQ = dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT$$

$$= C_V dT,$$

$$\Delta U = \int_{T_1}^{T_2} C_V dT$$



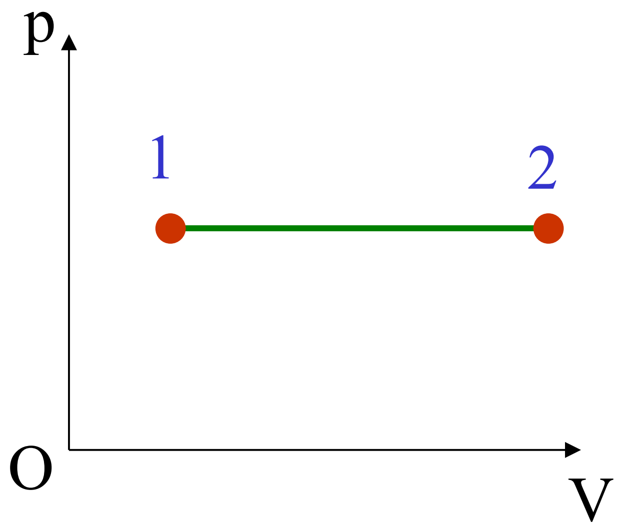
等压过程

$$\text{đ}W = -pdV,$$

$$W = -\int_{V_1}^{V_2} pdV = -p(V_2 - V_1)$$

$$\text{đ}Q_p = C_p dT,$$

$$Q_p(1 \to 2) = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = C_p \Delta T$$



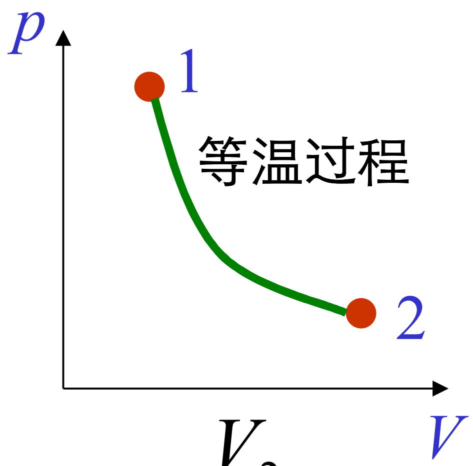
第一定律：　$dU = \text{đ}Q + \text{đ}W$

$$\Delta U = Q + W = C_p(T_2 - T_1) + [-p(V_2 - V_1)] = (C_p - \nu R)\Delta T = C_V \Delta T$$

$$Q = \Delta U - W = U_2 - U_1 + p(V_2 - V_1) = H_2 - H_1 = \Delta H$$

等压过程中系统焓的改变由系统和外界交换热量决定。

等温过程



过程方程：**PV**=*const*

$$U = U(T), \quad T = const,$$

$$\Rightarrow \quad \Delta U = 0$$

$$W' = \int_{V_1}^{V_2} PdV = \int_{V_1}^{V_2} \nu RT \frac{dV}{V} = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

当 $V_2 < V_1$（等温压缩）时，$W' < 0$，

外界对系统作正功；系统对外界作负功。

当 $V_2 > V_1$（等温膨胀）时，$W' > 0$，

外界对系统作负功；系统对外界作正功。

• 等体、等压、等温过程

系统对外做功**W’**

等体过程　　V不变，$W' = 0$

等压过程　　P不变，$W' = P\Delta V$

等温过程　　$PV = C$

$$W' = \int_{V_1}^{V_2} P dV = \int_{V_1}^{V_2} \nu RT \frac{dV}{V} = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

理想气体的内能只是温度的函数，且等于全部气体分子的热运动能量的总和：

$$U=\frac{M}{\mu}\cdot\frac{1}{2}iRT=\frac{M}{\mu}\cdot C_{V,m}T$$

- 等体、等压过程 $\Delta U=\frac{M}{\mu}\cdot C_{V,m}\Delta T$
- 等温过程 $\Delta U=0$
- 等压过程 根据 $W',\Delta U$

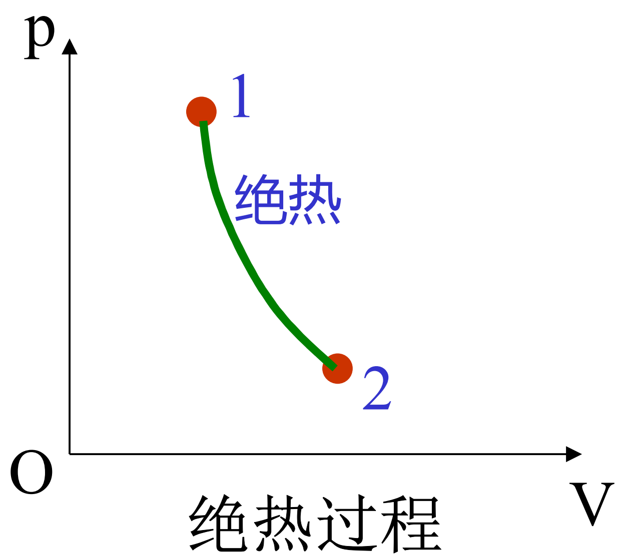
由热力学第一定律： $Q=\Delta U+W'$

可求出系统所吸的热量：

$$Q=\frac{M}{\mu}\cdot C_{P,m}\Delta T$$

• 绝热过程

与外界无热量交换：$dQ = 0$



由热力学第一定律

$$\frac{M}{\mu} \cdot C_{V,m} dT + PdV = 0$$

由状态方程

$$PdV + VdP = \frac{M}{\mu} \cdot RdT$$

因为： 1摩尔物质有 $C_{p,m} = C_{V,m} + R$

泊松比或绝热指数 $\gamma = \dfrac{C_p}{C_V}$， $C_{V,m} = \dfrac{R}{\gamma - 1}$， $\gamma = \dfrac{C_{P,m}}{C_{V,m}}$

根据以上关系，并消去状态方程中的dT，有：

$$\frac{1}{\gamma-1}(PdV+VdP)+PdV=0$$

$$VdP+\gamma PdV=0$$

$$PV^{\gamma}=\text{常量}$$

与状态方程联立 $PV=\nu RT$

$$TV^{\gamma-1}=\text{常量}$$

$$\frac{P^{\gamma-1}}{T^{\gamma}}=\text{常量}$$

绝热过程中系统对外所做的功为:

$$W' = \int_{V_1}^{V_2} PdV = C\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^{\gamma}} = \frac{C}{1-\gamma}(V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma})$$

$$= \frac{P_1 V_1^{\gamma}}{1-\gamma}(V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma})$$

$$= \frac{1}{1-\gamma}(P_1V_1 - P_2V_2)$$

绝热过程中内能的改变为:

$$\Delta U = -W' = \frac{1}{1-\gamma}(P_1V_1 - P_2V_2) = \frac{\nu R}{\gamma - 1}(T_2 - T_1)$$

$$= \frac{M}{\mu} C_{V,m}(T_2 - T_1)$$

绝热过程的**Q, W', U**

- 与外界交换热量为0： $dQ = 0$
- 系统对外所做的功为:

$$W' = \frac{1}{1-\gamma}(P_1V_1 - P_2V_2)$$

- 内能的改变为:

$$\Delta U = \frac{M}{\mu}C_{V,m}(T_2 - T_1)$$

• 等温线与绝热线

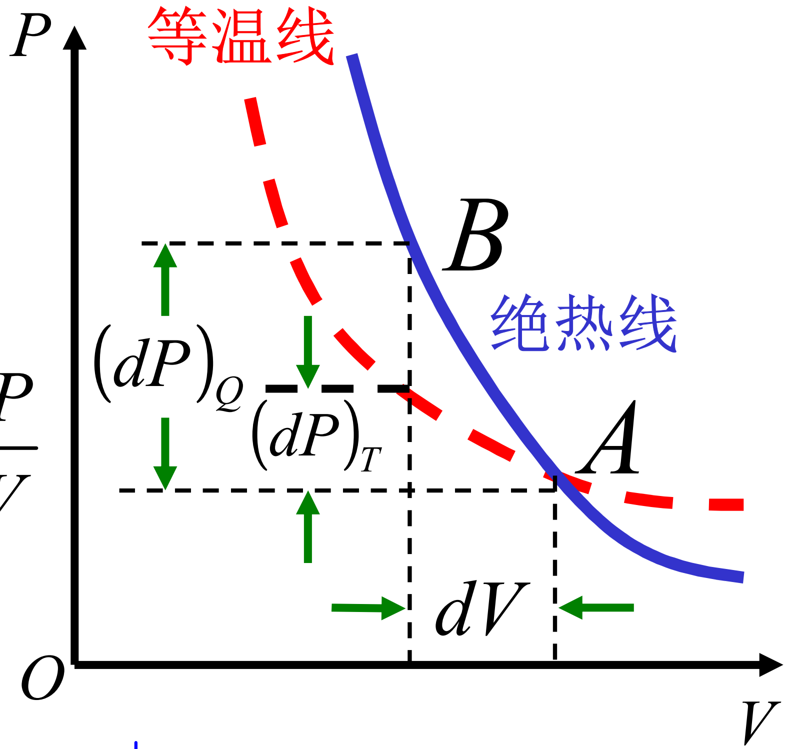
（1）斜率

因为 $PV^{\gamma}=C$ 所以 $P=CV^{-\gamma}$

则 $dP=-\gamma CV^{-\gamma-1}dV$

即 $\left(\dfrac{dP}{dV}\right)_Q=-\gamma V^{-\gamma-1}\cdot PV^{\gamma}=-\gamma\dfrac{P}{V}$

而 $\left(\dfrac{dP}{dV}\right)_T=-\dfrac{P}{V}$



因为 $\gamma=\dfrac{C_P}{C_V}>1$ 所以 $\left|\left(\dfrac{dP}{dV}\right)_Q\right|>\left|\left(\dfrac{dP}{dV}\right)_T\right|$

绝热过程在P-V图上是比等温线更陡的曲线。

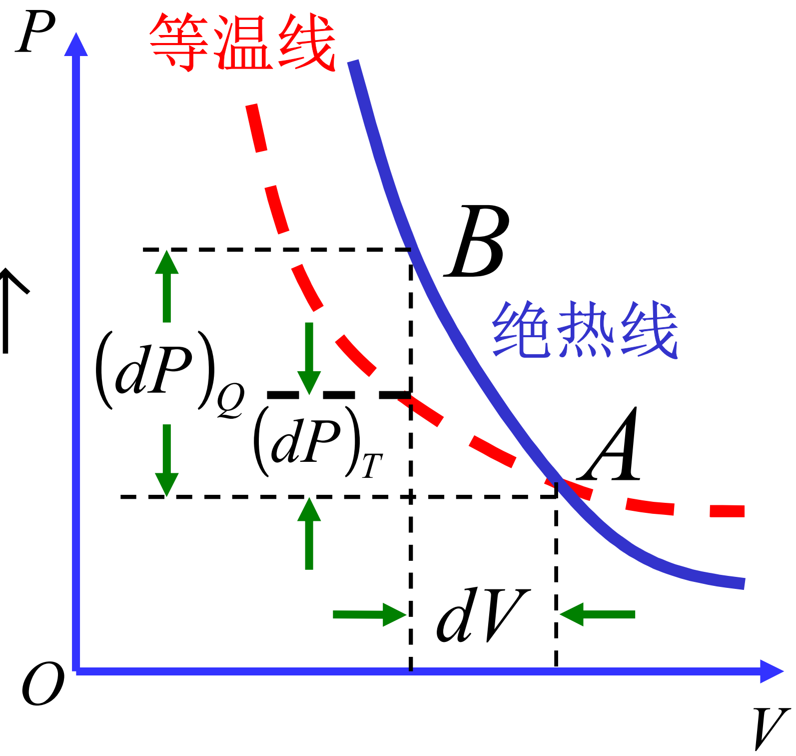
（2） 由 $P = nkT$

$\boxed{改变同一：-dV}$

等温过程：$n\uparrow \rightarrow P\uparrow$

绝热过程：$n\uparrow, T\uparrow \rightarrow P\uparrow$

$$\Rightarrow \left|\left(\frac{dP}{dV}\right)_Q\right| > \left|\left(\frac{dP}{dV}\right)_T\right|$$



（3） 绝热过程中：

$$dQ = 0 \qquad dU = -dW' = dW$$

系统对外做功是以系统内能减小(T下降)为代价。

因此，绝热曲线比等温线更陡。

• 进一步讨论

绝热过程特征 与外界无热量交换：

$$dQ = 0$$

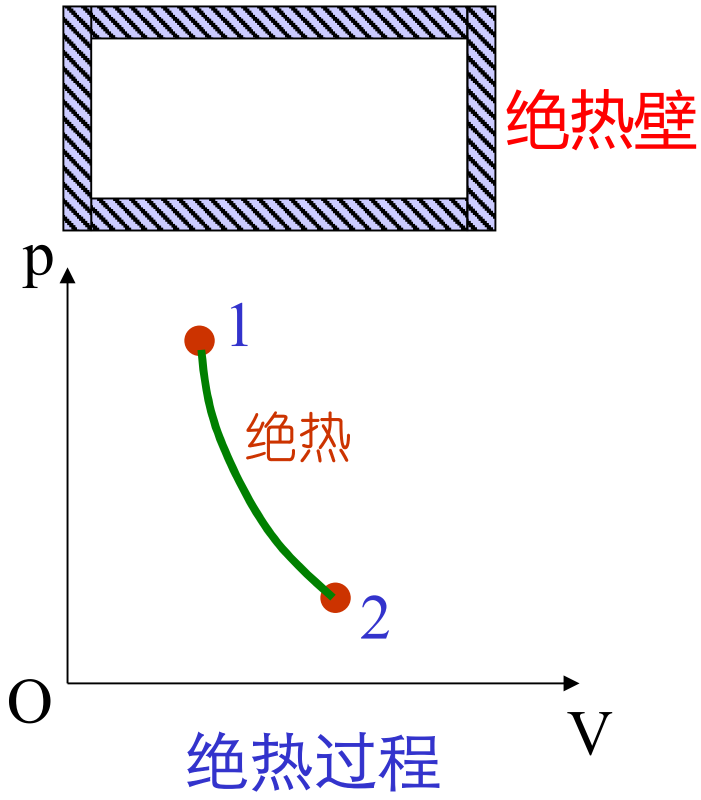
由热力学第一定律

$$\mathrm{d}U + \mathrm{d}W' = 0$$

W' --系统对外界作的功

即： $$\mathrm{d}W' = -\mathrm{d}U$$

适用于一切绝热过程



例子 • **理想气体准静态绝热过程**

• **自由膨胀--非准静态过程**

- 理想气体准静态绝热过程

1. 过程方程

绝热热力学第一定律 + 理想气体准静态的条件

绝热热I律 $\mathrm{d}U + \mathrm{d}W' = 0$

理气准静态 $\nu C_V \mathrm{d}T + P\mathrm{d}V = 0$

$PV = \nu RT$

理气状态方程 $P\mathrm{d}V + V\mathrm{d}P = \nu R\mathrm{d}T$

联立得解

结果： $PV^{\gamma} = C \quad P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma} \cdots = P_n V_n^{\gamma} \cdots$

或 $TV^{\gamma-1} = C' \qquad \gamma = \dfrac{C_P}{C_V} > 1$

2. 过程曲线

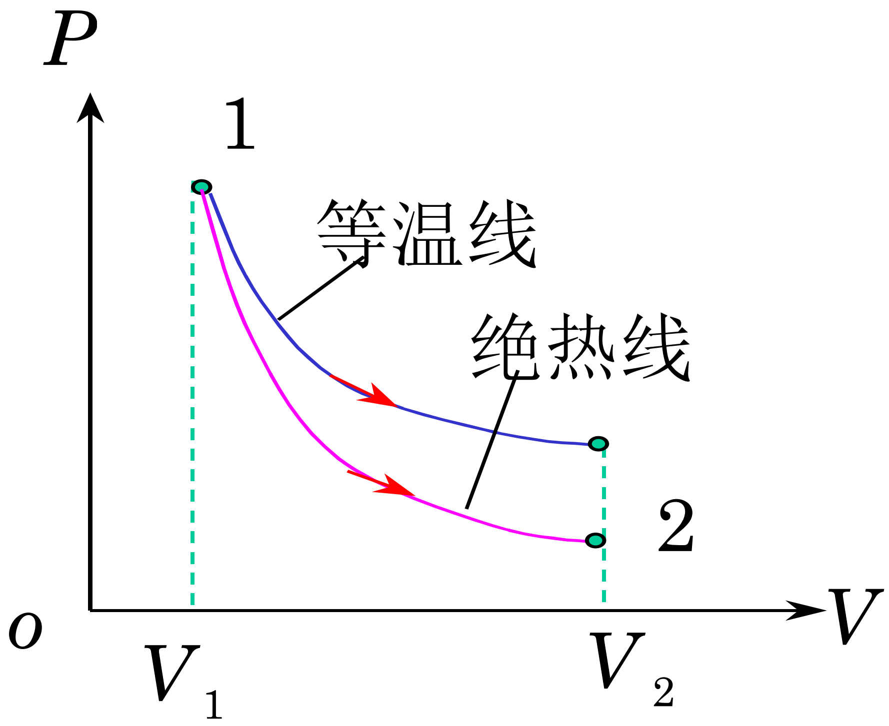
$$PV^{\gamma} = C$$

$$W' = -\Delta U$$

$$W' = -\nu C_V \Delta T$$

$$= \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{\gamma - 1}$$

$$|\Delta U| = W' = S_{曲}$$

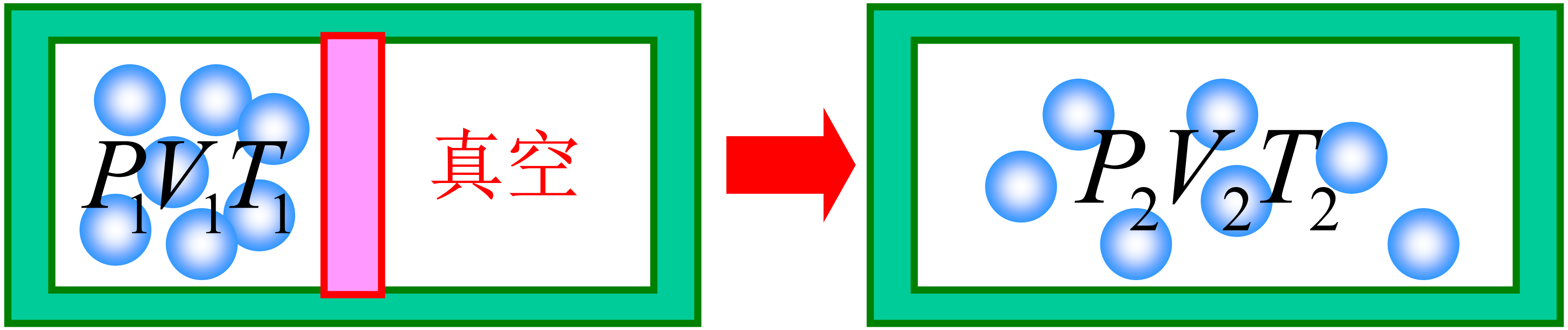


绝热过程压强减小更快的微观原因?

压强不仅因体积增大、而且因温度下降而降低

• 非静态绝热过程

例：理想气体绝热自由膨胀过程



绝热自由膨胀：　$W=0, Q=0$

所以　$\Delta U=0, U_2=U_1$

即　$T_2=T_1$　**但不是等温过程！**

由理想气体状态方程得 $$P_1V_1 = \frac{m}{M}RT_1$$

$$P_2V_2 = P_2\left(2V_1\right) = \frac{m}{M}RT_2 = \frac{m}{M}RT_1$$

所以 $$P_2 = \frac{P_1}{2}$$

用绝热方程? $$P_1V_1^\gamma = P_2V_2^\gamma = P_2\left(2V_1\right)^\gamma$$

$$\Rightarrow \cancel{P_2 = \frac{P_1}{2^\gamma}}$$ **错误的解法**

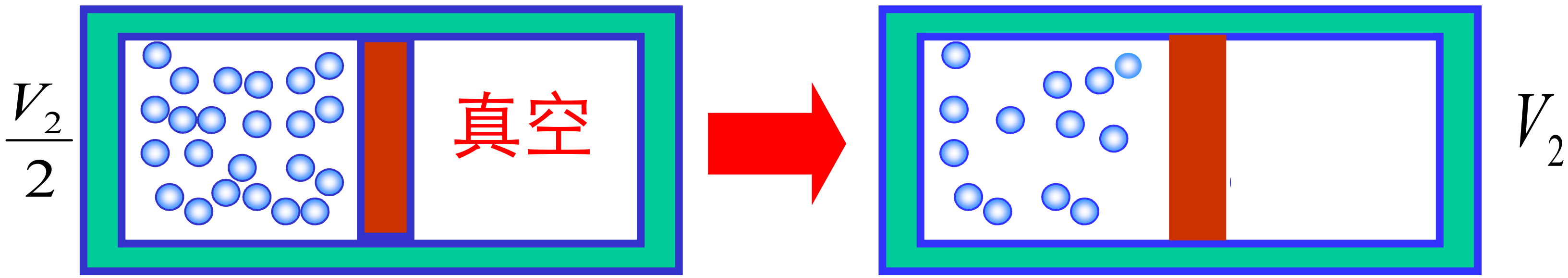
绝热方程不适用于非静态过程

•自由膨胀（典型的非静态过程）

特点：迅速，来不及与外界交换热量 则Q = 0

自由膨胀气体不做功，这也正是“自由”的含义。

$\because$**非静态过程** $\therefore$**无过程方程**



办法：只能靠普遍的定律（热力学第一定律）

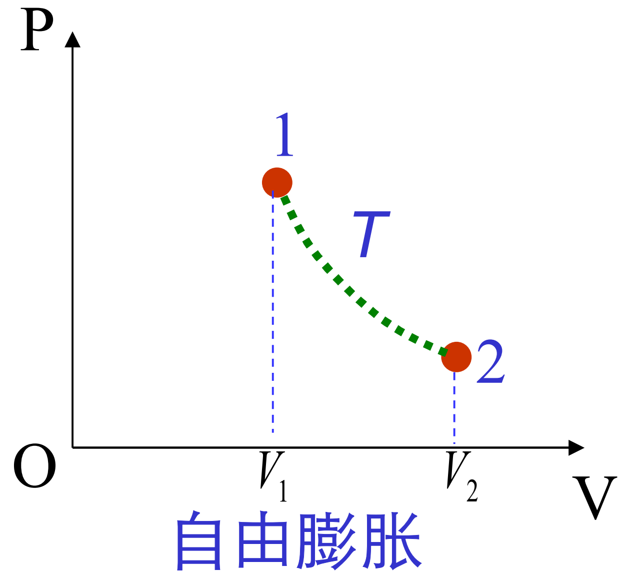
绝热热I律 $\mathrm{d}W = -\mathrm{d}U \quad W = -\Delta U$

因为自由膨胀　所以系统对外不作功

即　$W = 0$

由　$W = -\Delta U$

得　$\Delta U = 0$



理想气体　$\Delta T = 0$　　初态和末态温度相同

但不是等温过程！　　虚线表示

真实气体？$\Delta T \neq 0$　　内能还与体积有关

焦、汤实验

• 多方过程

考虑较绝热过程、等温过程更一般的过程。

理想气体的实际过程可以写为多方过程：

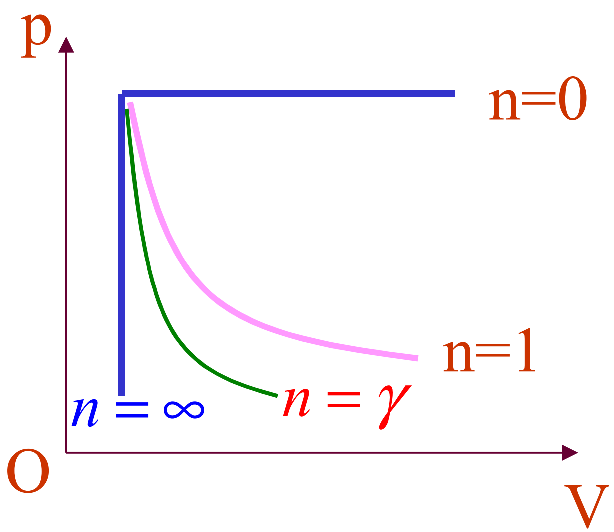
$$PV^n = 常量$$ 　　n 为多方指数。

➤**等体过程：** $n \to \infty$

➤**等压过程：** $n = 0$

➤**等温过程：** $n = 1$

➤**绝热过程：** $n = \gamma$



• 多方过程

理想气体多方过程中系统对外做的功为：

$$W' = \frac{1}{n-1}(P_1V_1 - P_2V_2)$$

系统内能的改变为：

$$\Delta U = \frac{M}{\mu}C_{V,m}(T_2 - T_1)$$

• 多方过程

系统吸收的热量根据热力学第一定律为:

$$Q = \Delta U + W'$$

定义多方过程的摩尔热容为$C_{n,m}$:

$$Q = \frac{M}{\mu} C_{n,m}(T_2 - T_1)$$

由热力学第一定律有

$$\frac{M}{\mu} C_{n,m}(T_2 - T_1) = \frac{M}{\mu} C_{V,m}(T_2 - T_1) + \frac{1}{n-1}(P_1V_1 - P_2V_2)$$

- 多方过程

$$\frac{M}{\mu}C_{n,m}(T_2-T_1)=\frac{M}{\mu}C_{V,m}(T_2-T_1)+\frac{1}{n-1}\frac{M}{\mu}R(T_1-T_2)$$

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

$$=\frac{nC_{V,m}-C_{V,m}-C_{P,m}+C_{V,m}}{n-1}$$

$$=\frac{nC_{V,m}-C_{P,m}}{n-1}=\frac{n-\gamma}{n-1}C_{V,m}$$

这是一个普遍的关系。

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

- **等体过程:** $n\to\infty$

  $C_{n,m}=C_{v,m}$

- **等压过程:** $n=0$

  $C_{n,m}=C_{p,m}$

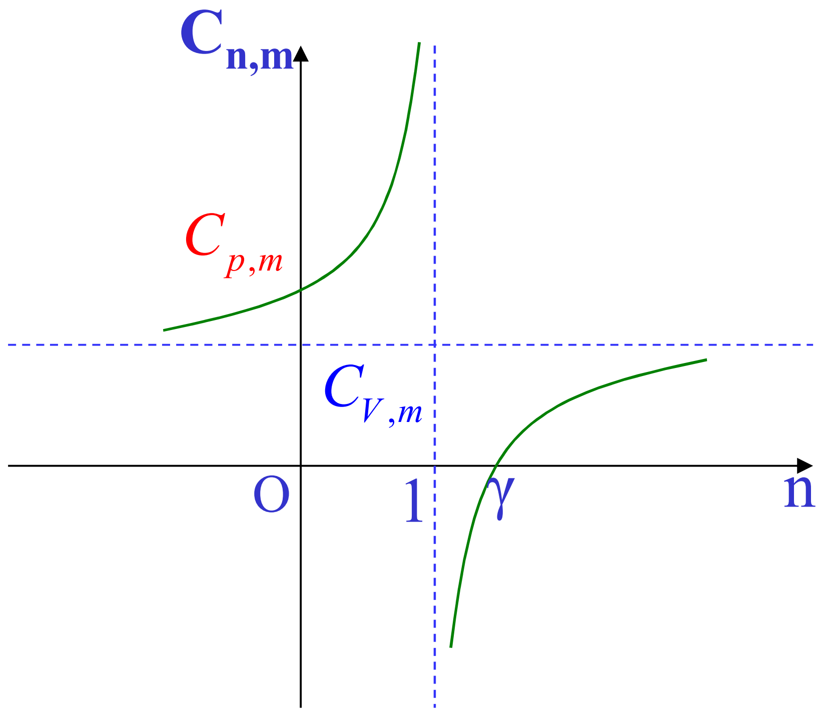
- **等温过程:** $n=1$

  $C_{n,m}=\infty$

- **绝热过程:** $n=\gamma$

  $C_{n,m}=0$

- **当** $1<n<\gamma$, $C_{n,m}<0$



通常，热容为正，表现为正热容现象：系统的能量增加时,它的温度就会增大。

负热容现象：当系统的能量增加时,其温度反而降低。

多方过程的热容C_n

- **分成三个区域**：

  $n<1$，$1<n<\gamma$，$n>\gamma$，热容值分别为 正，负，正值
- **等温过程 n=1**，温度恒定，内能不变，(吸热 对外做功) 热容为无穷
- **等压过程 n=0**, 温度上升并对外做功, 故吸收热量且较多
- **等体过程 n=∞**, 温度下降，内能降低，功为0，故要放出热量 $C_V\Delta T$
- **绝热过程 n=γ**，$Q=0$，对外做功=内能减少
- **n在1~γ 之间**，温度下降，对外做功多于内能减少, 因此要吸热，吸热温降：热容为负

理想气体准静态过程公式

过程	过程方程	多方指数	热容 C	外界作功 W	吸收热量 Q	内能改变 ΔU
等体	$V=C$	∞	C_V	0	$C_V(T_2-T_1)$	$C_V(T_2-T_1)$
等压	$p=C$	0	C_p	$-p(V_2-V_1)$	$C_p(T_2-T_1)$	$C_V(T_2-T_1)$
等温	$pV=C$	1	∞	$-\nu RT\ln\frac{V_2}{V_1}$	$\nu RT\ln\frac{V_2}{V_1}$	0
绝热	$pV^\gamma=C$	γ	0	$\frac{1}{\gamma-1}(p_2V_2-p_1V_1)$	0	$C_V(T_2-T_1)$
多方	$pV^n=C$	n	$\frac{n-\gamma}{n-1}C_V$	$\frac{1}{n-1}(p_2V_2-p_1V_1)$	$C_n(T_2-T_1)$	$C_V(T_2-T_1)$

摩尔热容量

摩尔热容量的定义为： $$C \equiv \frac{M}{\nu} c = \frac{1}{\nu} \frac{\text{đ}Q}{dT}$$

由于Q 是过程量，所以C 和c 也与过程有关。

1．定容摩尔热容量： $$C_V = \frac{1}{\nu} \left(\frac{\text{đ}Q}{dT}\right)_V = \frac{1}{\nu} \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$$

2. 定压摩尔热容量： $$C_p = \frac{1}{\nu} \left(\frac{\text{đ}Q}{dT}\right)_p = \frac{1}{\nu} \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p$$

3. 热容比： $$\gamma = \frac{C_p}{C_V}$$

一般温度下，C_V 、C_p为常量，则：

$$\Delta U = \nu C_V \Delta T \qquad \Delta H = \nu C_p \Delta T$$

思考：

1、四个等值过程中的热容分别是多少?

(1) 等容 $C_V = \frac{i}{2}R$

(2) 等压 $C_P = C_V + R$

(3) 等温 ∞

(4) 绝热 0

2、多方过程 $PV^n = C$

(1) 等容 $PV^\infty = C$

(2) 等压 $PV^0 = C$

(3) 等温 $PV^1 = C$

(4) 绝热 $PV^\gamma = C$

总结

- 理想气体内能的改变仅与温度的改变有关;
- 外界对系统作功一定对应着体积的改变;
- 系统吸收的热量由内能的改变和功共同决定;
- 绝热(和多方)过程功的公式不能用于等温过程

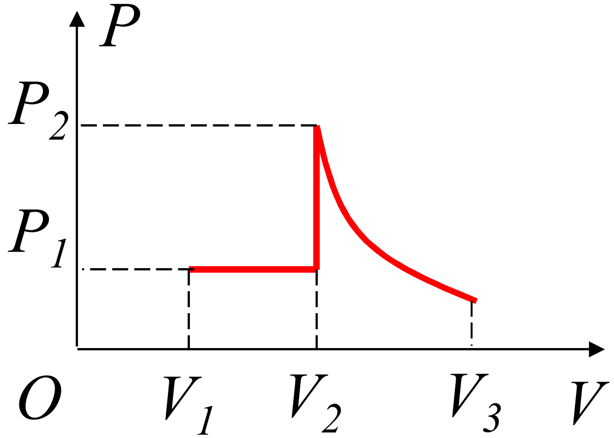
  因为, 如果 $\gamma=1$(或 $n=1$), 则公式变为 0/0

例1：一mol单原子理想气体在汽缸中，设汽缸与活塞无摩擦，开始时，$P_1=1.013\times10^5P_a$，$V_1=1.0\times10^{-2}m^3$，将此气体在等压下加热，使其体积增大一倍，然后在等体下加热至压强增大一倍，最后绝热膨胀为起始温度。

(1) 画P-V图，

(2) 求内能的增量，

(3) 过程中的功



解：

(1) 图示

(2) 0

(3) $A_1 = P_1(2V_1 - V_1) = 1.013\times10^3 J$

$$A_2 = -\Delta E_2 = -C_{v,m}(T_1 - T_3) = \frac{-3}{2}R(T_1 - 4T_1)$$

$$或A_2 = \frac{P_3V_3 - P_4V_4}{\gamma - 1} = \frac{P_3V_3 - P_1V_1}{\gamma - 1}$$

例2：一定量的理想气体从体积V_1膨胀到体积V_2，经历以下几个过程：AB等压过程；AC等温过程；AD绝热过程。

问：从*P*－*V*图上，

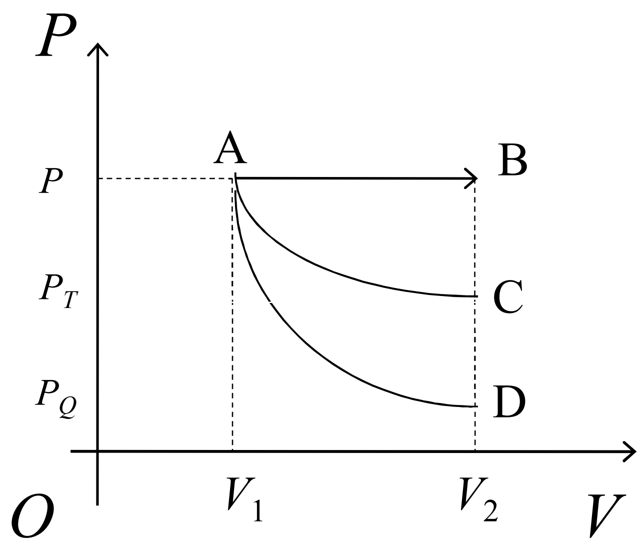
(1)哪一个过程做功较多？

哪一个过程做功较少？

(2)经历哪一个过程内能增加？

经历哪一个过程内能减少？

(3)经历哪一个过程吸热最多？



解：(1) 等压过程做功最多；

绝热过程做功最少。

$$W_p > W_T > W_Q$$

(2) 等压膨胀：

系统吸热，系统内能增加，且对外做功；

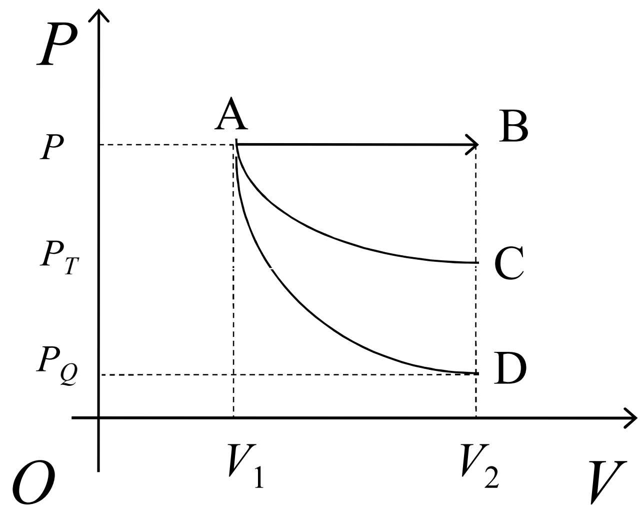
等温膨胀：

系统吸热，全部用来对外做功，内能不变；

绝热膨胀：

系统不吸收热量，靠减少系统的内能对外做功；

等压：内能增加；
等温：内能不变；
绝热：内能减少。



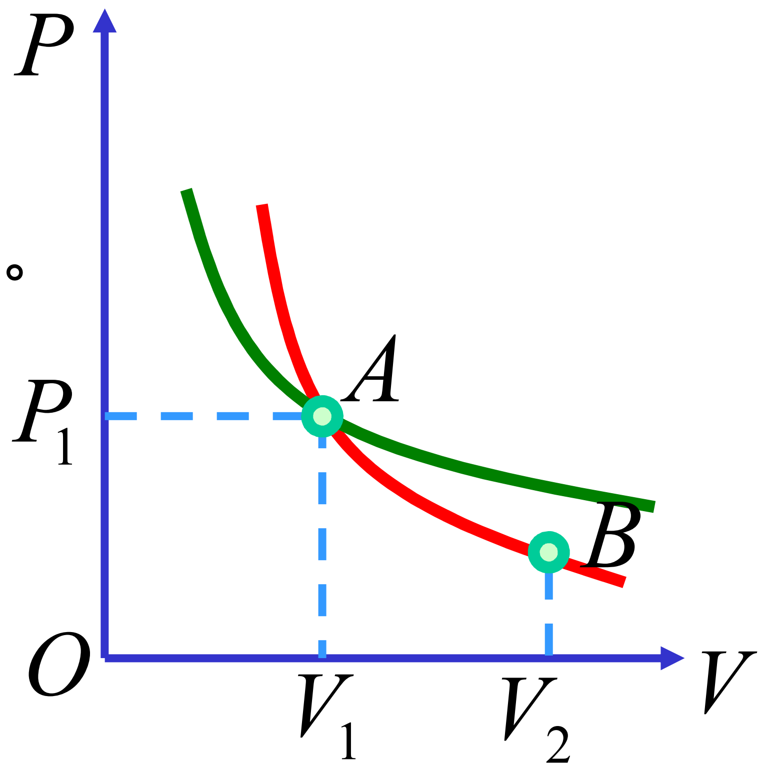
(3) 等压膨胀过程吸热最多。

(4) 绝热线比等温线陡。

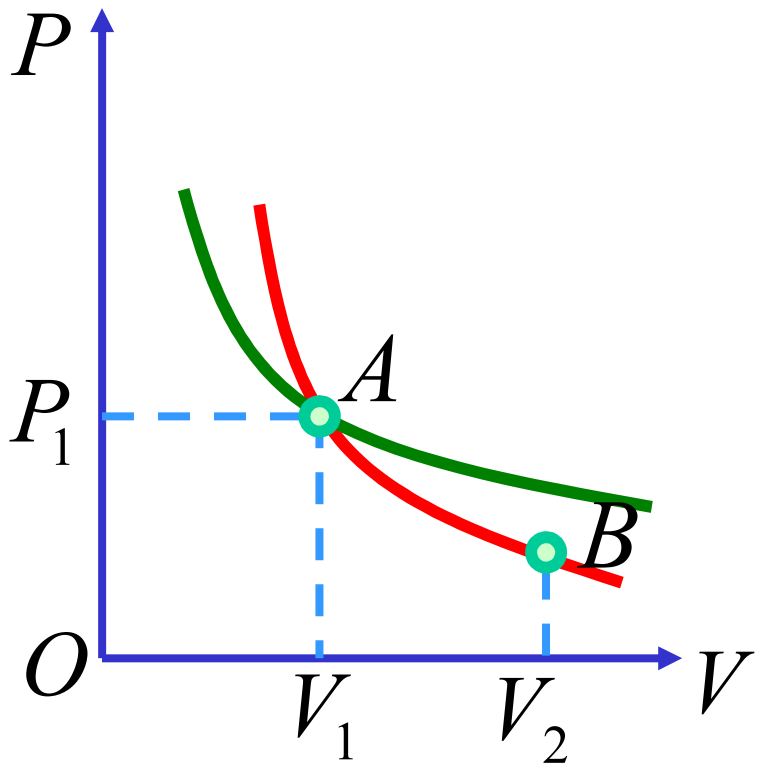
例3 某理想气体在 $P—V$ 图上等温线与绝热线相交于 A 点，如图。已知 A 点的压强 $P_1 = 2\times10^5 Pa$ ，体积 $V_1 = 0.5\times10^{-3} m^3$，而且 A 点处等温线与绝热线的斜率之比为 0.714。现使气体从 A 点绝热膨胀至 B 点，其体积 $V_2 = 1\times10^{-3} m^3$ ，

求（1）B 点处的压强

（2）在此过程中气体对外作的功。



解： 求斜率



等温过程:

$$PV = C$$

$$PdV + VdP = 0$$

$$\frac{dP}{dV} = -\frac{P}{V}$$

绝热过程: $$\frac{dP}{dV} = -\gamma\frac{P}{V}$$

两斜率之比为：

$$\frac{-\dfrac{P}{V}}{-\gamma\dfrac{P}{V}}=\frac{1}{\gamma}=0.714$$

所以 $\gamma=1.40$ 是双原子分子

（1）由绝热方程 $P_AV_A^{\gamma}=P_BV_B^{\gamma}$

$$P_B=P_A\left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{\gamma}=2\times10^5\times\left(\frac{1}{2}\right)^{1.40}$$

$$=7.58\times10^4\left(P_a\right)$$

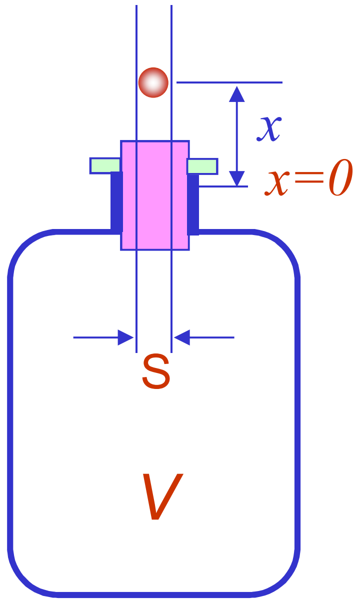
（2）绝热功为

$$W=\frac{1}{\gamma-1}\left(P_AV_A-P_BV_B\right)$$

$$=\frac{2\times10^5\times0.5\times10^{-3}-7.58\times10^4\times1\times10^{-3}}{1.40-1}$$

$$=60.5(J)$$

例4：质量m的光滑小球，置于截面积为S的管中形成活塞，给小球一个上下的小扰动，求：小球的振动频率。



解：小球处于平衡位置 x=0 时：

瓶内压强为$P = P_0 + mg/S$

小球偏离平衡位置时：

- 受恢复力

  V膨胀或收缩导致降温或升温，同时压强减小或增大

- 绝热过程

  气体导热性能差，振动较快

- 准静态

  压强涨落以声速传播，比小球振动的周期为短

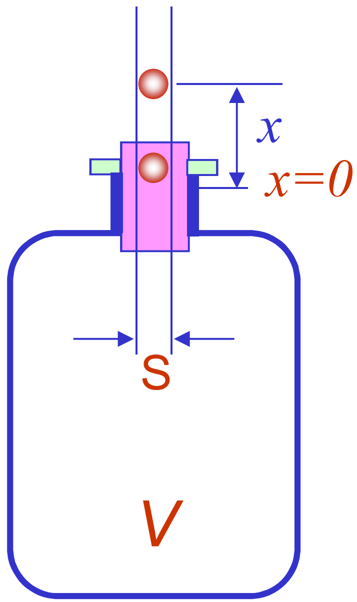
$$pV^{\gamma} = \text{常数}$$

$$V^{\gamma}dp + \gamma pV^{\gamma-1}dV = 0$$ 即 $$dp = -\gamma p\frac{dV}{V}$$

恢复力 $$dF = Sdp = -\frac{\gamma pS^2}{V}dx$$

$$\propto -dx$$

所以是简谐振动。



角频率为 $$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{\gamma pS^2}{mV}}$$

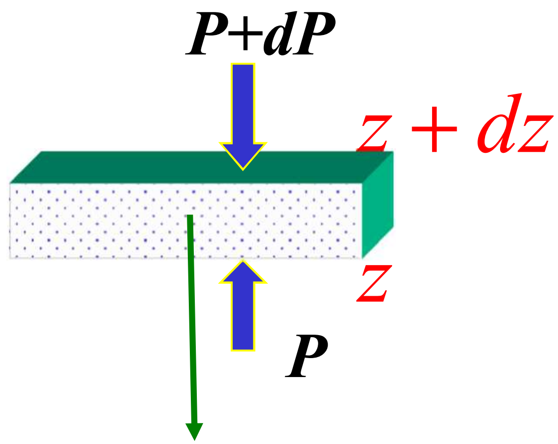
1929年***Ruchhardt***用此法测出空气和二氧化碳的绝热指数。

大气层的压力与温度随高度的变化

等温大气模型：

$$p = p_0 e^{-\frac{mgz}{k_B T}}$$

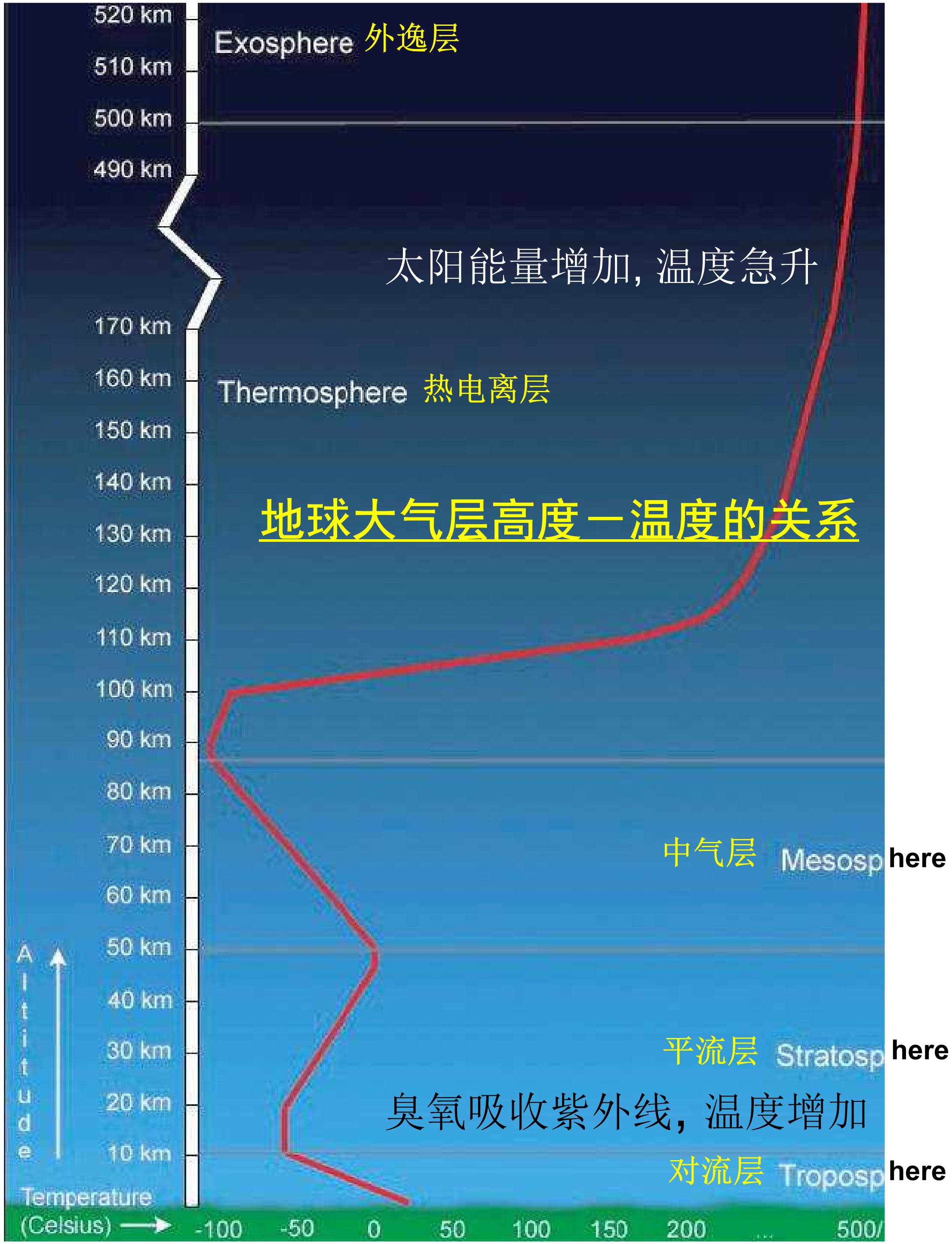
—— 等温气压公式



等温大气系统的压强随高度增大而指数衰减。

实际上大气在垂直方向是有温度梯度的，

所以，等温大气模型与实际不符。



Exosphere 外逸层
太阳能量增加，温度急升
Thermosphere 热电离层
地球大气层高度－温度的关系
中气层 Mesosphere
平流层 Stratosphere
臭氧吸收紫外线，温度增加
对流层 Troposphere
520 km
510 km
500 km
490 km
170 km
160 km
150 km
140 km
130 km
120 km
110 km
100 km
90 km
80 km
70 km
60 km
50 km
40 km
30 km
20 km
10 km
Altitude
Temperature
(Celsius)
-100
-50
0
50
100
150
200
...
500/

大气

气体	佔有量 (体积比)	对生物的益处
氮气	78.084 %	维持植物生长
氧气	20.946 %	呼吸作用原料、帮助燃烧
水气	0 % ~ 4 %	形成天气现象、使生物能够存活
氩气	0.934 %	
二氧化碳	0.0383 %	光合作用原料，提供温室效应
其它气体		
臭氧	0.000004 %	抵挡有害的紫外线辐射
氦气	0.000055 %	

- 因实际对流气体上升缓慢，则过程可视为准静态的；
- 因干燥空气导热性能很差，则过程又可视为绝热的；

所以, 干燥大气的温度垂直分布可用准静态绝热过程模型描述。

由准静态绝热过程方程:

$$pV^{\gamma} = p_0 V_0^{\gamma}, \quad V = \nu RT / p$$

$$\Rightarrow \quad p^{1-\gamma} T^{\gamma} = p_0^{1-\gamma} T_0^{\gamma}$$

$$(1-\gamma)p^{-\gamma}T^{\gamma}dp+\gamma p^{1-\gamma}T^{\gamma-1}dT=0$$

$$\Rightarrow \quad (1-\gamma)\frac{dp}{p}+\gamma\frac{dT}{T}=0$$

理想气体： $p=\rho RT/M \quad \Rightarrow \quad \rho=\frac{pM}{RT}$

压强差： $dp=-\rho g dz$

带入，得：

$$\frac{dp}{p}=-\frac{Mg}{RT}dz,$$

$$\frac{dT}{T}=\frac{\gamma-1}{\gamma}\frac{dp}{p}=-\frac{Mg}{RT}\frac{\gamma-1}{\gamma}dz$$

$$dT = \frac{-Mg}{R}\frac{\gamma-1}{\gamma}dz,$$

$$T(z) = T(0)\left[1-\frac{\gamma-1}{\gamma}\left(\frac{Mg}{RT_0}\right)z\right]$$ ----线性函数

$$p = p_0(T/T_0)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}, \quad p(z) = p_0\left[1-\frac{\gamma-1}{\gamma}\left(\frac{Mg}{RT_0}\right)z\right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

当 $\gamma \to 1$ 时，上式回到等温压强公式：

$$p = p_0 e^{-\frac{mgz}{k_B T}}$$

由 $$T(z)=T(0)\left[1-\frac{\gamma-1}{\gamma}\left(\frac{Mg}{RT_0}\right)z\right]$$

$$\frac{dT}{dz}=-\frac{\gamma-1}{\gamma}\frac{Mg}{R}$$

没有考虑水分的影响，称为干绝热递减率（Dry Adiabatic Lapse Rate，DALR）。

空气： $\gamma=1.4$，$\bar{\mu}=29\times10^{-3}kg/mol$

得：大气的绝热递减率：

$$dT/dz=-9.8K/km\sim-10K/km$$

考虑水蒸气的凝结，可得出**饱和绝热递减率**：

$$\frac{dT}{dz} = -\frac{\gamma - 1}{\gamma}\left[\frac{\bar{\mu} g}{R} + \frac{\Lambda_{vp}^{mol}}{R}\frac{dc_{vp}}{dz}\right]$$

饱和绝热递减率

Saturated Adiabatic Lapse Rate（SALR)

$c_{vp} = V_g / V$　空气中水蒸气浓度

Λ_{vp}^{mol}　水蒸气摩尔汽化热

干绝热递减率（DALR）

$$\frac{dT}{dz} = -\frac{\gamma - 1}{\gamma}\frac{Mg}{R}$$

饱和绝热递减率 （SALR）

$$\frac{dT}{dz} = -\frac{\gamma - 1}{\gamma}\left[\frac{\bar{\mu} g}{R} + \frac{\Lambda_{vp}^{mol}}{R}\frac{dc_{vp}}{dz}\right]$$

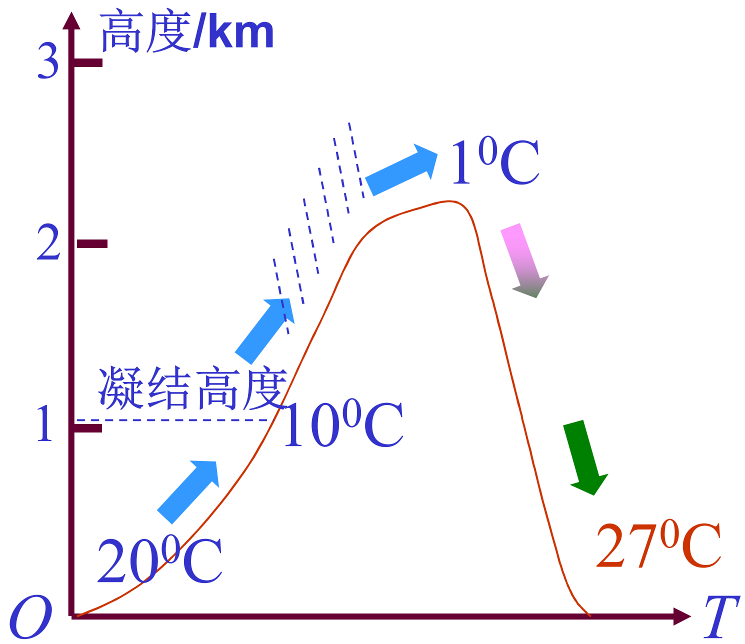
因为 $dc_{vp} / dz < 0,$

所以 $|SALR| < |DALR|$

可讨论焚风的机制。

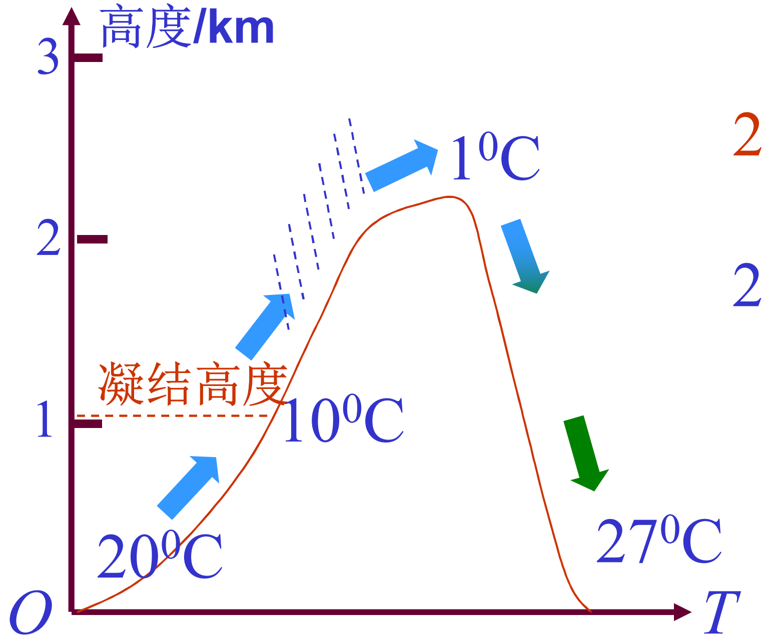
焚风(Foehn)现象

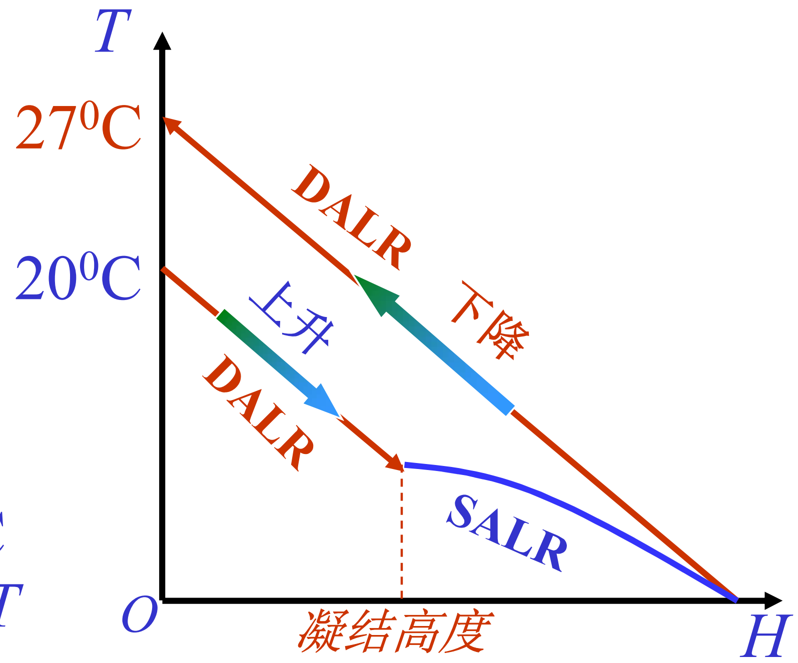
焚风(Foehn)：Alps山区发生的干热风。



- 潮湿空气上升，温度不断下降，
- 由于饱和蒸汽压随T而减小，水蒸汽达到凝结高度变为饱和，开始凝结并降雨。
- 空气越过Alps山后成为干热风。

焚风现象的物理解释





$$|SALR| < |DALR|$$

- 开始上升时是*DALR*干绝热递减率
- 上升到凝结高度后是*SALR*饱和绝热递减率
- 下降时又是*DALR*;
- *DALR*的绝对值大，T变化大，下降时同一高度的T更高。

第四章 作业

p.162 1, 2, 3, 4, 5,

8,10,14,15,18,19,24,25