

大学物理 B(1)

期末考试

6月14日（下周三）9:00 ~ 11:00

六教-6C201：计算机系、软件学院

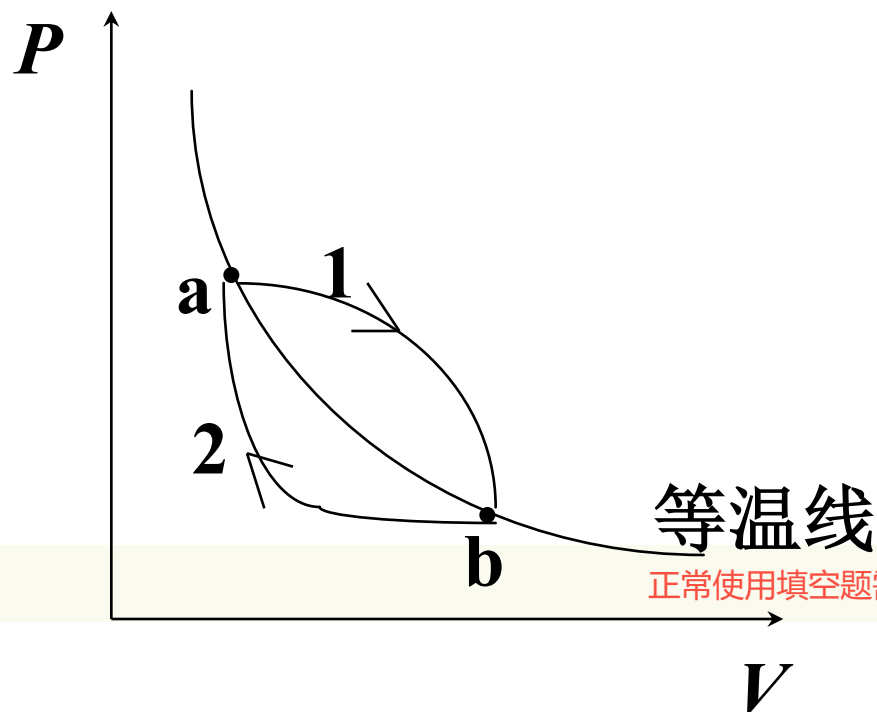
六教-6C202：其他院系

请在网络学堂核对自己的其中占比！

理想气体经历下述过程，填写物理量的符号（0，+，-）。

过程1后， ΔE [填空1]， ΔT [填空2]， W [填空3]， Q [填空4]， ΔS [填空5]

过程2后， ΔE [填空6]， ΔT [填空7]， W [填空8]， Q [填空9]， ΔS [填空10]



正常使用填空题需3.0以上版本雨课堂

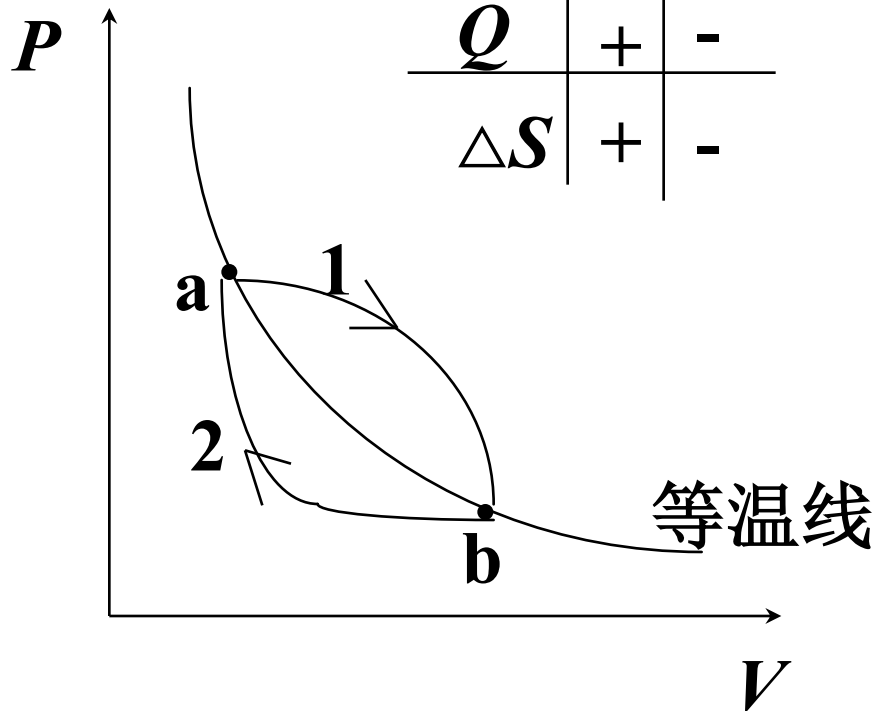
作答

例：理想气体经历下述过程，讨论物理量符号。

	1	2
ΔE	0	0
ΔT	0	0
W	+	-
Q	+	-
ΔS	+	-

$$\bar{d}Q = dE + \bar{d}W$$

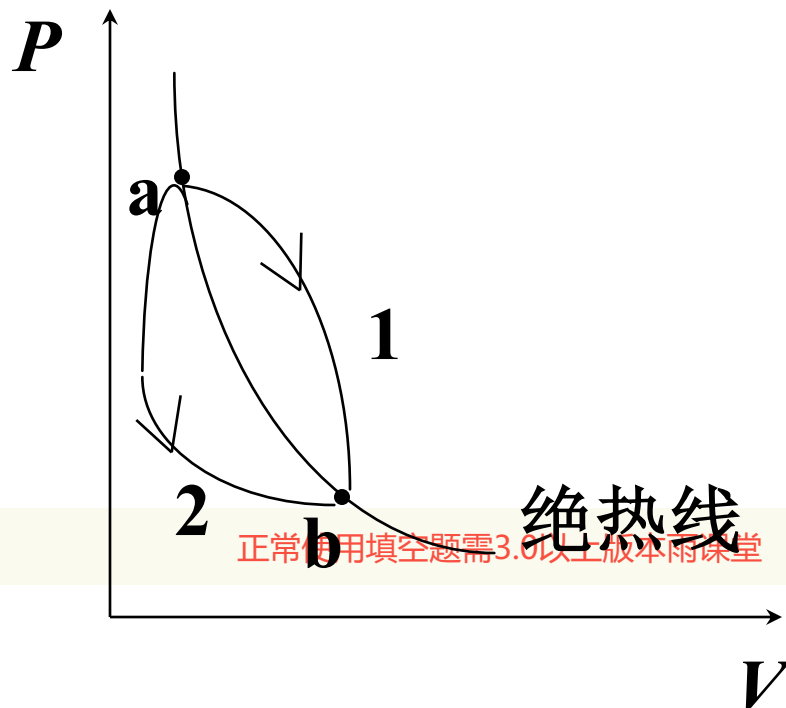
$$dS = \frac{\bar{d}Q}{T}$$



理想气体经历下述过程，填写物理量的符号（0，+，-）。

过程1后， ΔE [填空1]， ΔT [填空2]， W [填空3]， Q [填空4]， ΔS [填空5]

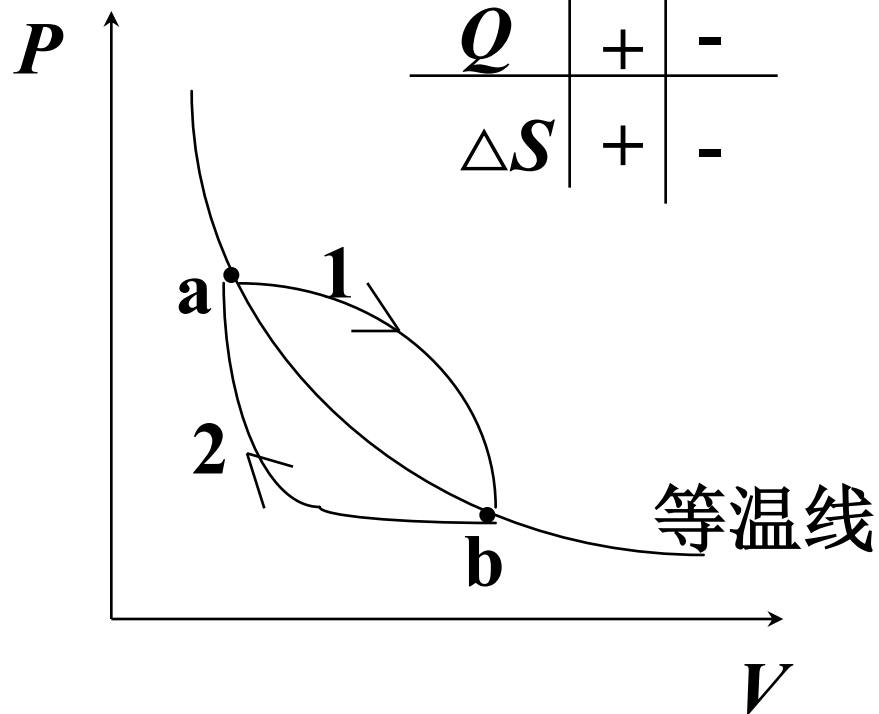
过程2后， ΔE [填空6]， ΔT [填空7]， W [填空8]， Q [填空9]， ΔS [填空10]



作答

例：理想气体经历下述过程，讨论物理量符号。

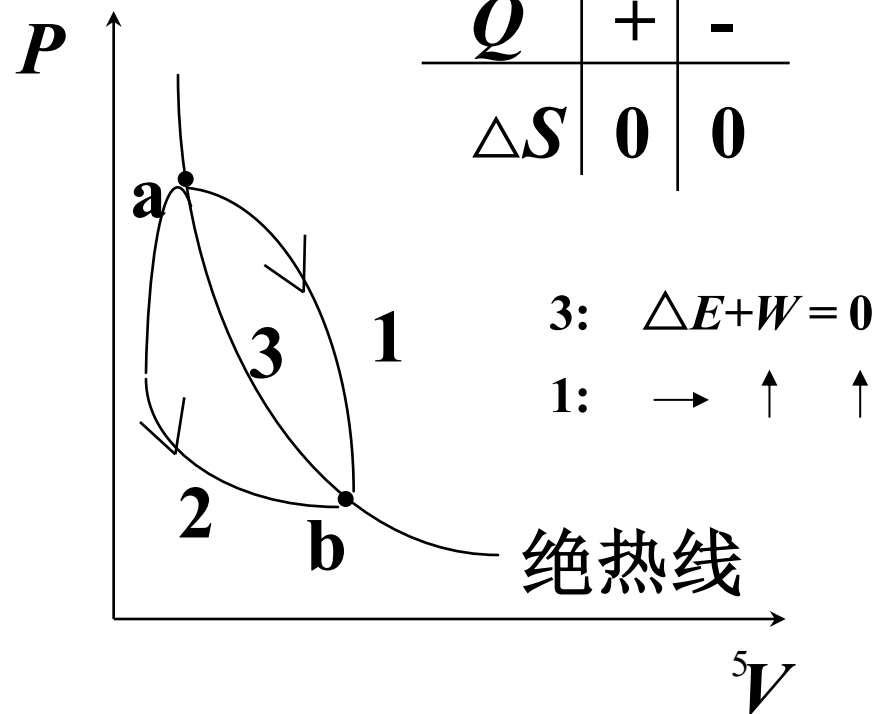
	1	2
ΔE	0	0
ΔT	0	0
W	+	-
Q	+	-
ΔS	+	-



$$\vec{dQ} = dE + \vec{dW}$$

$$dS = \frac{\vec{dQ}}{T}$$

	1	2
ΔE	-	-
ΔT	-	-
W	+	+
Q	+	-
ΔS	0	0



例： N 个分子理想气体，装在体积 V 内，温度为 T 。
经过某个过程体积变成 V' ，温度 T' 。问微观状态数目的变化是多少？

解：理想气体可逆过程满足 $TdS = dE + PdV$

$$dS = \frac{1}{T}(dE + PdV) = \nu C_V \frac{dT}{T} + \nu R \frac{dV}{V}$$

$$dE = \nu C_V dT$$

积分得 $\Delta S = \nu C_V \ln \frac{T'}{T} + \nu R \ln \frac{V'}{V} = k \ln \frac{\Omega'}{\Omega}$

$$\frac{\Omega'}{\Omega} = \left(\frac{T'}{T} \right)^{N \frac{C_V}{R}} \left(\frac{V'}{V} \right)^N$$

$$Nk = \nu R$$

$$\Omega \propto T^{N \frac{C_V}{R}} V^N$$

相同粒子

$$\Omega \propto T^{N \frac{C_V}{R}} V^N / N!$$

例：由克劳修斯熵公式，

$$dS \geq \frac{dQ}{T}$$

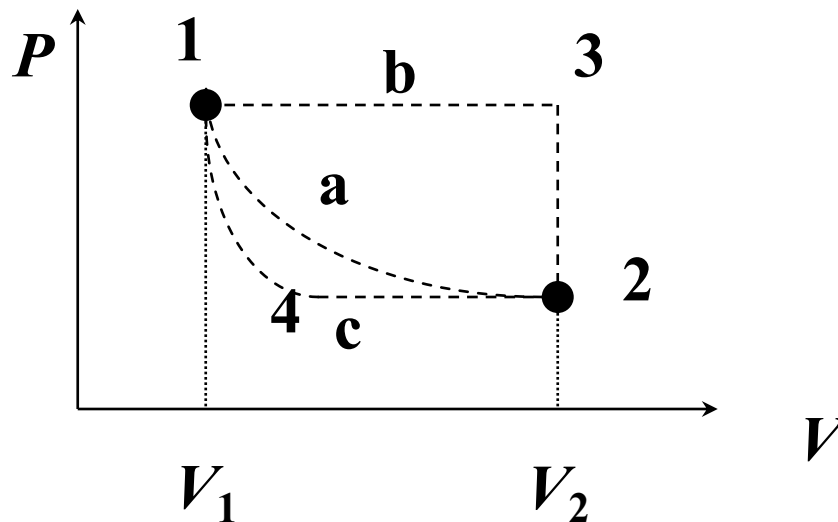
可逆时取等号，对 dQ/T 积分可得熵变；

不可逆时用 dQ/T 积分算出来的值小于两个状态间熵的变化。

绝热自由膨胀是不可逆过程，所以应换为绝热可逆过程计算：

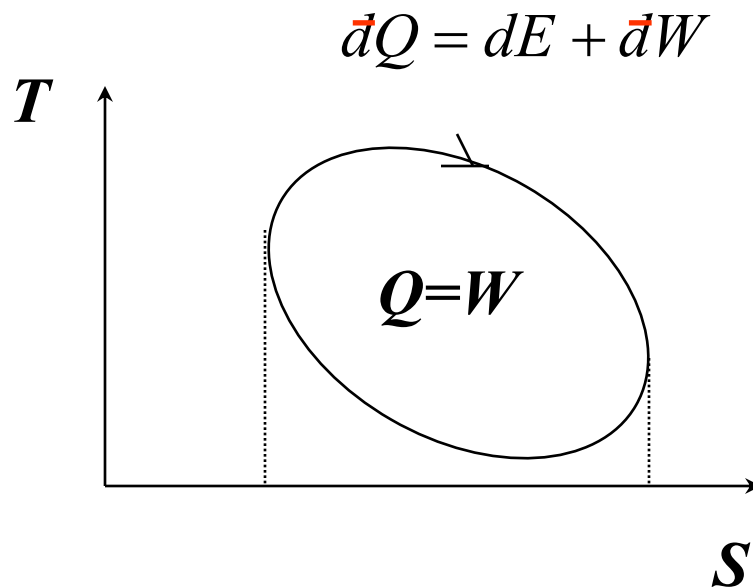
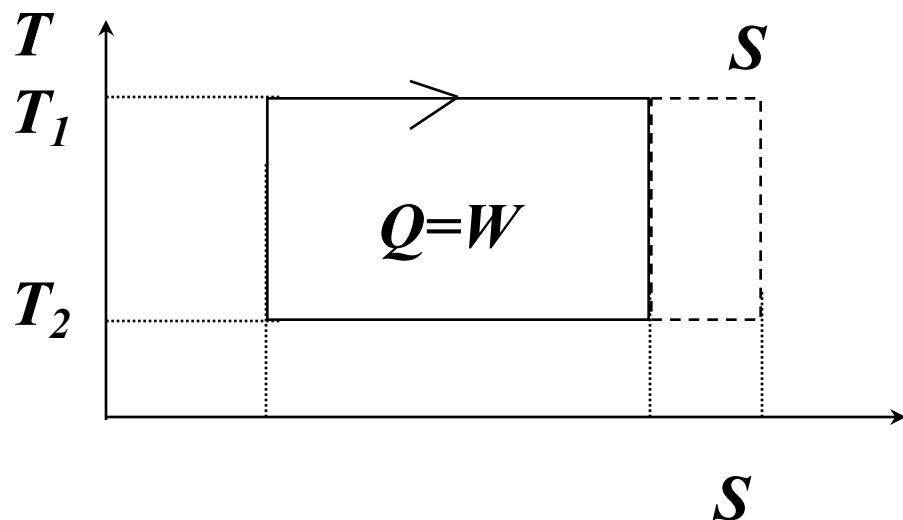
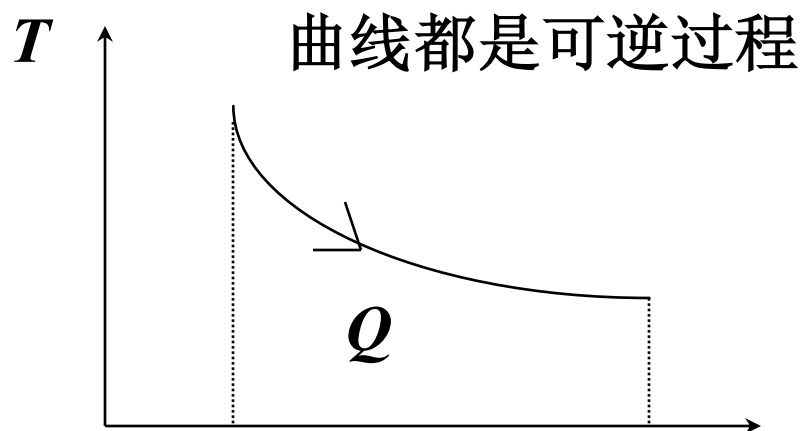
对于绝热可逆过程， $dQ=0$ ，所以积分后可得熵变为0。

上述说法对不对？



§ 11.9 温熵图

$dW = PdV$, P - V 图上曲线下面积为做的功; 熵是状态量,
又 $dQ = TdS$, T - S 图上曲线下面积为吸的热。



可逆卡诺循环效率都相同,

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

例：一物体热容量 C （常数），温度 T ，环境温度 T' ，要求热机在 T 和 T' 之间工作（ $T > T'$ ），**最大输出功** 是多少？

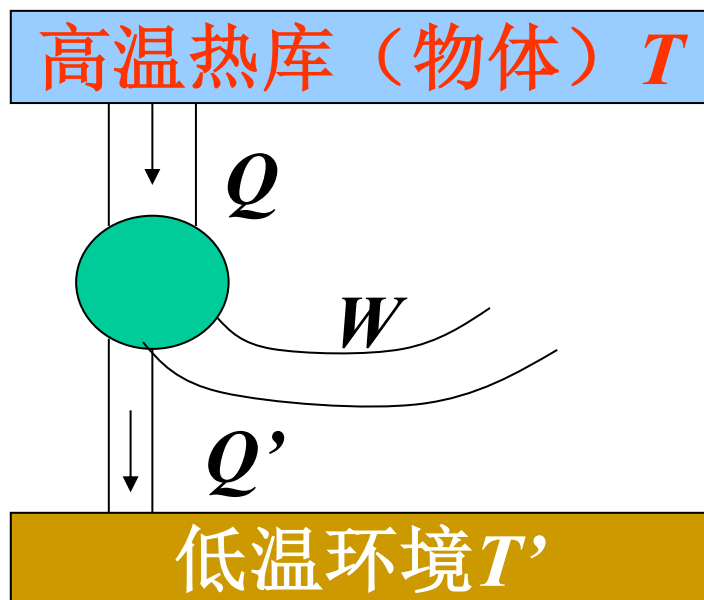
解：1) 可逆卡诺热机效率最高，且 $\frac{dQ}{T} + \frac{dQ'}{T'} = 0$

工作物质 Q ，
则热库 $-Q$

$$dQ = -CdT$$

$$dQ' + dQ = dW$$

$$\frac{-CdT}{T} + \frac{CdT + dW}{T'} = 0$$



$$C \ln \frac{T}{T'} + \frac{C(T' - T) + W}{T'} = 0$$

$$W = C \left(T' \ln \frac{T'}{T} + (T - T') \right)$$

这就是最大输出功

例：一物体热容量 C （常数），温度 T ，环境温度 T' ，要求热机在 T 和 T' 之间工作（ $T > T'$ ），**最大输出功**是多少？

解： 2)

卡诺循环熵不变 $\frac{dQ}{T} + \frac{dQ'}{T'} = 0$

工作物质 Q ，
则热库 $-Q$

$$dQ = -CdT$$

$$dQ' + dQ = dW$$

$$\Delta S_{\text{物体}} = \int \frac{-dQ}{T} = C \int_T^{T'} \frac{dT}{T} = C \ln \frac{T'}{T}$$

$$\Delta S_{\text{环境}} = \int \frac{dQ' + dQ}{T'} = \frac{1}{T'} \left(-\int_T^{T'} CdT - W \right)$$

$$\Delta S \geq 0 \quad W \leq C \left(T' \ln \frac{T'}{T} + (T - T') \right)$$



§ 11.10 *熵和能量退化

▲ 功可以全部变热，而热不可能全部变功。

对摩擦生热有： $A = Q$

让一热机吸收此热量 Q 做功，设功为 A' ，

由于热机效率 $\eta = A'/Q < 1$ ，

所以 $A' < Q \Rightarrow A' < A$

拿这 A' 再去摩擦生热，...

能作功的能量越来越少了！

前例，物体温度 T ，环境温度 T' ，可利用的热 $C(T - T')$ ，但最大功只有

$$W = C \left(T' \ln \frac{T}{T'} + (T - T') \right)$$

不可逆过程能量转化的后果是使一定的能量 E_d 从能做功的形式变为不能做功的形式，即，成了退降的能量。

如何度量退降的能量 E_d ？

1) $W_{\text{机械}} = Mgdh$ 机械功全部变热能 (热库 T)

利用低温热库
 T' ，热机做功

$$W = W_{\text{机械}} \left(1 - \frac{T'}{T} \right)$$

退降的能量

$$E_d = W_{\text{机械}} - W = W_{\text{机械}} \frac{T'}{T}$$

熵的变化 $dS = \frac{dQ}{T} = \frac{W_{\text{机械}}}{T} = \frac{E_d}{T'}$ 从而有 $E_d = T'dS$

2) T_A 和 T_B 传递热量 dQ

利用低温热库 T' , 热机做功 $W_i = dQ(1 - \frac{T'}{T_A})$

自然过程之后 $W_f = dQ(1 - \frac{T'}{T_B})$

退降的能量 $E_d = W_i - W_f = dQT'(\frac{1}{T_B} - \frac{1}{T_A}) = T'dS$

3) 理想气体温度 T , 由 V_1 到 V_2 , 绝热自由膨胀

若与热库接触, 等温膨胀 $W_i = Q = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$

若绝热自由膨胀，不做功，
利用低温热库 T' ，热库热量 Q 做功

$$W_f = Q(1 - \frac{T'}{T})$$

退降的能量

$$E_d = W_i - W_f = W_i \frac{T'}{T} = \nu R T' \ln \frac{V_2}{V_1} = T' \Delta S$$

退降能量与物体经历自然过程时熵增加成正比

自然过程都是不可逆过程(熵增加)

能量虽然守恒，但自然过程使越来越多的能量
不能用来做功。

生命的本质也是这样的过程

水坝

物态

构成物质的分子的聚合状态称为物质的聚集态，简称物态。

气态

凝聚态：液态、固态（晶体和非晶体）

（外加：等离子态与超密态）

固体：晶体和非晶体

晶体：在整块晶体中沿各个方向晶体结构周期性地、完整地重复。是长程有序结构。

单晶、多晶体

只要由同种材料制成，它在给定压强下的熔点、溶解热是确定。这是鉴别晶体、非晶体的最简单的方法。

液体：可以流动，其他很多特性与非晶体相像
短程有序，长程无序结构。

重点讲两个问题

1. 凝聚态有表面：表面张力
2. 物态之间可以产生相变

冰为什么是滑的？

不一样的水上漂

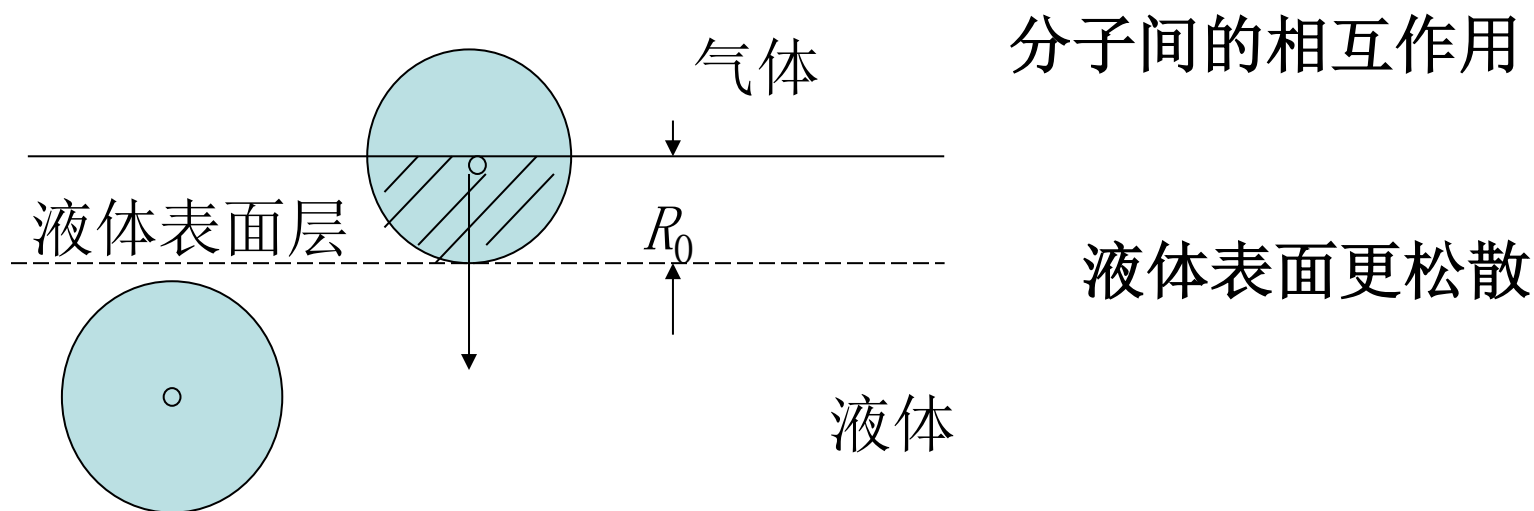


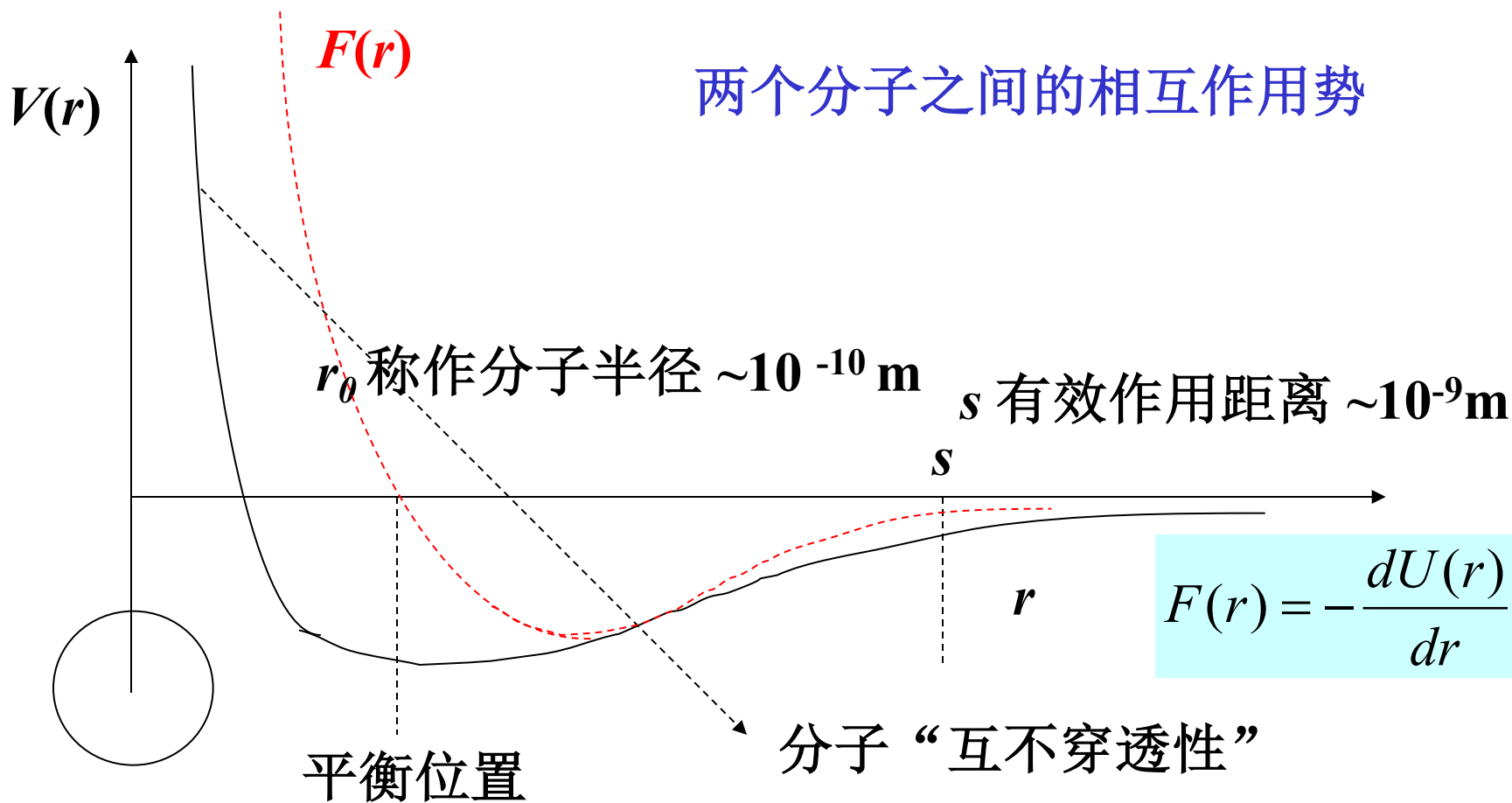
液体的表面现象

一、表面张力与表面能

1、表面张力

表面张力是作用于液体表面的使液体具有**收缩倾向**的一种力。

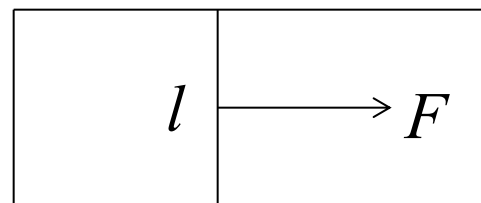




热胀冷缩 — 平衡位置左右不对称

2、表面张力和表面张力系数

$$F = \sigma l$$



3、表面能与表面张力系数

$$dW = dE_{\text{表面}} = \sigma dA$$

4、表面张力系数与温度的关系

实验发现：液体的表面张力系数 σ 与液体的表面积的大小无关，而仅是温度的函数，表面张力随着温度的升高而降低。

肥皂泡演示实验

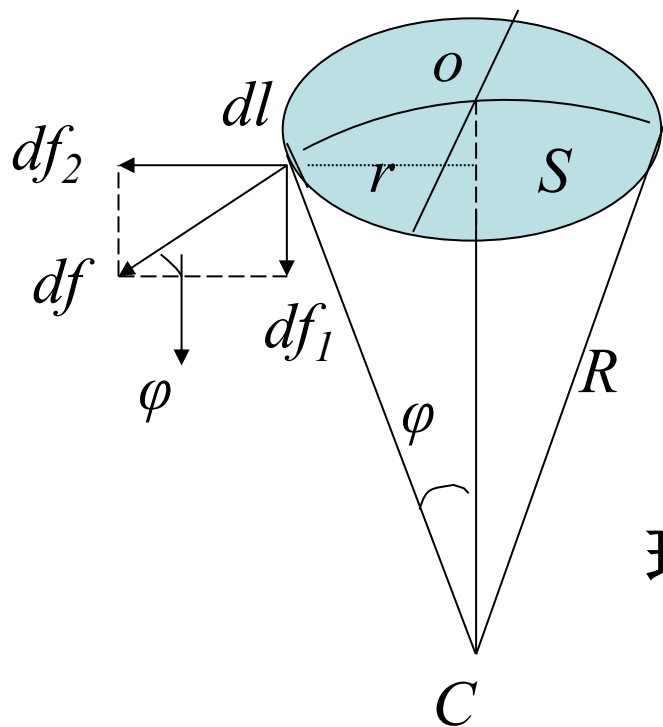


两气泡连通后：

- ☒ A 原来大的变大；原来小的减小，最后消失
- ☐ B 两气泡变成相同大小
- ☐ C 连同前后，两气泡的大小不变
- ☐ D 无法判断



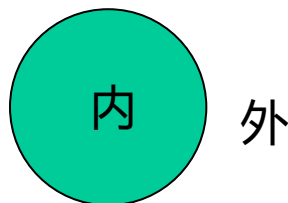
二、弯曲液面附加压强



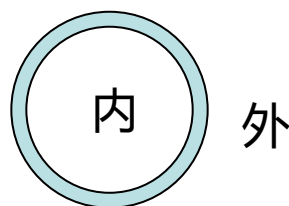
$$df_1 = \sigma 2\pi r \sin \varphi$$

$$P = \frac{df_1}{\pi r^2} = \sigma \frac{2\pi r}{\pi r^2} \frac{r}{R}$$

球形液滴



$$P_{\text{内}} = \frac{2\sigma}{R}$$



球形液膜 $P = \frac{4\sigma}{R}$

平均曲率 $\frac{1}{2}(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$

任意液面附加压强： $p = \sigma(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$

这是拉普拉斯公式

弹性曲面的附加压强：

弹性管腔 $\frac{1}{R_2} \rightarrow 0$

$$p = \frac{T}{R}, \quad T \text{ 单位长度的膜张力}$$

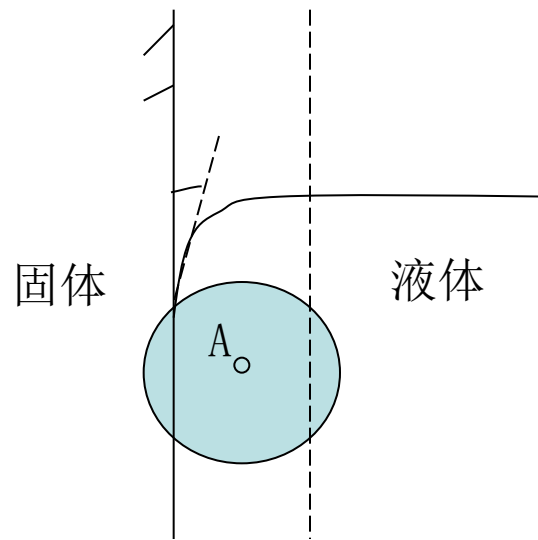
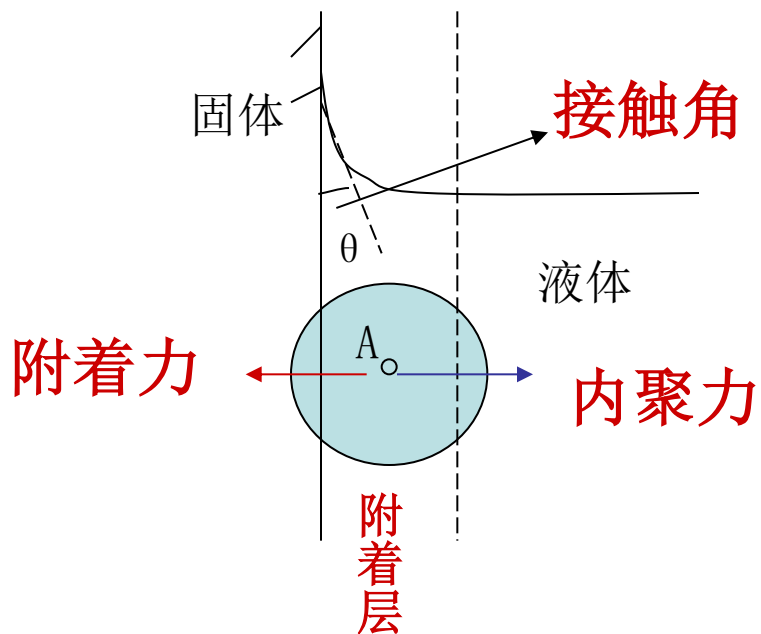


三、润湿与不润湿 毛细现象

(一) 润湿与不润湿

例如：水 + 玻璃

水 + 涂有油脂的玻璃



(二) 毛细现象

润湿

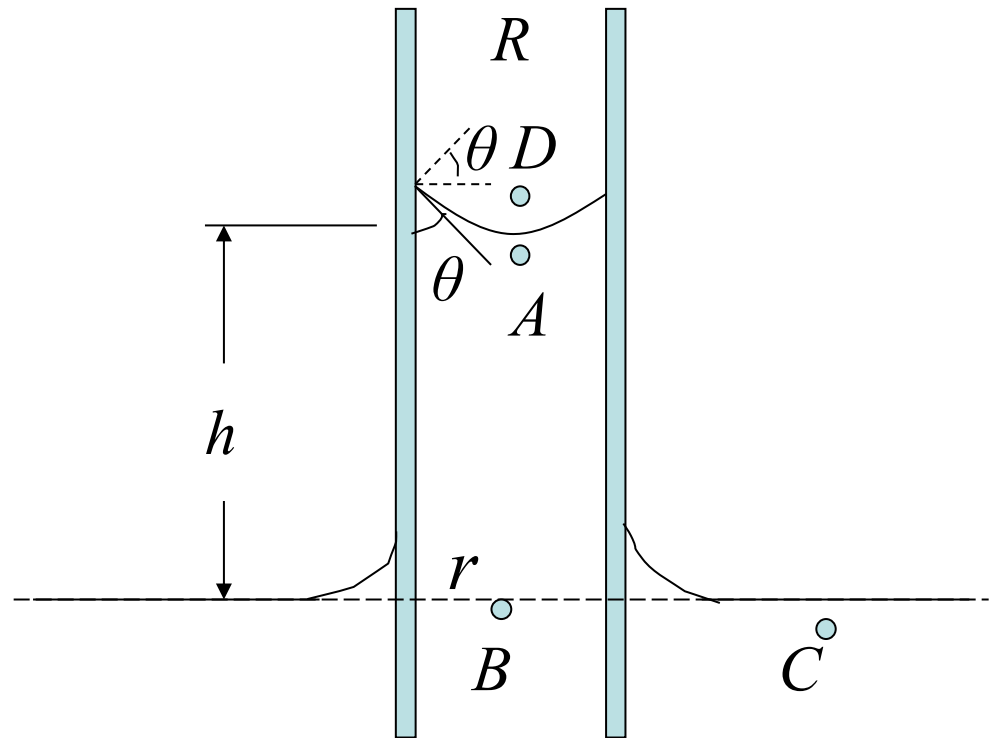
$$p_D = \frac{2\sigma}{R} + p_A = p_C = p_B$$

$$p_B = p_A + \rho gh$$

$$\rho gh = \frac{2\sigma}{R}$$

$$r = R \cos \theta$$

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho gr}$$



$$p_D = \frac{2\sigma}{R} + p_A$$

不润湿

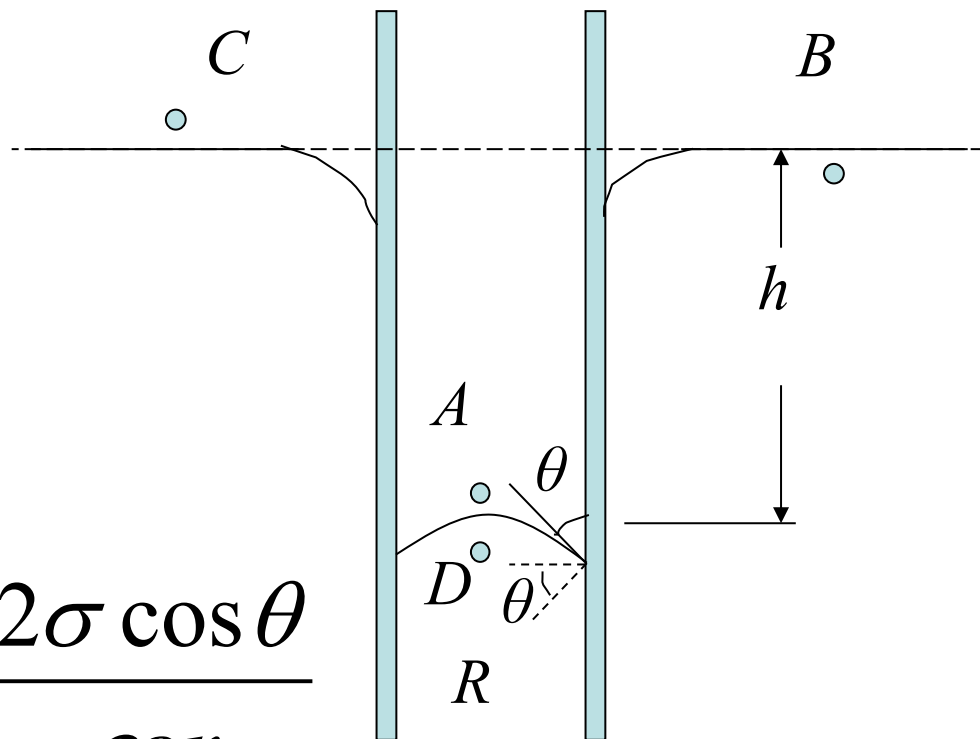
$$p_D = p_B + \rho gh$$

$$p_A = p_C = p_B$$

$$\rho gh = \frac{2\sigma}{R}$$

$$r = R \cos \theta$$

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r}$$



思考：为什么两片玻璃遇水会粘到一起？

*物态相变 相图

一、固液及固气相变

固---液相变：溶解或凝固

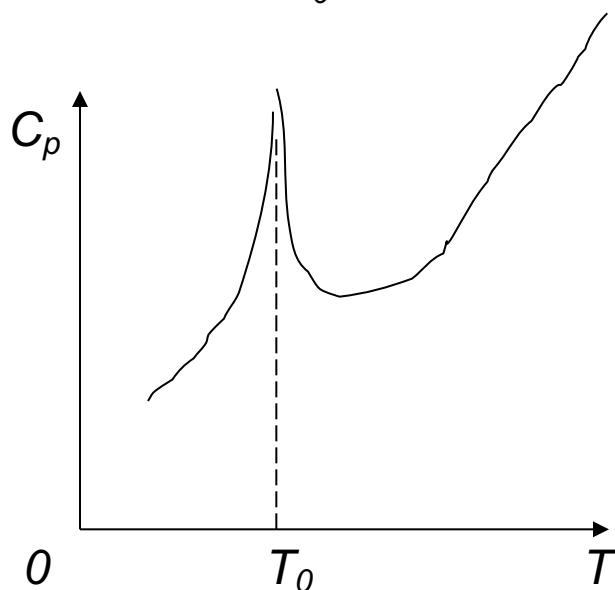
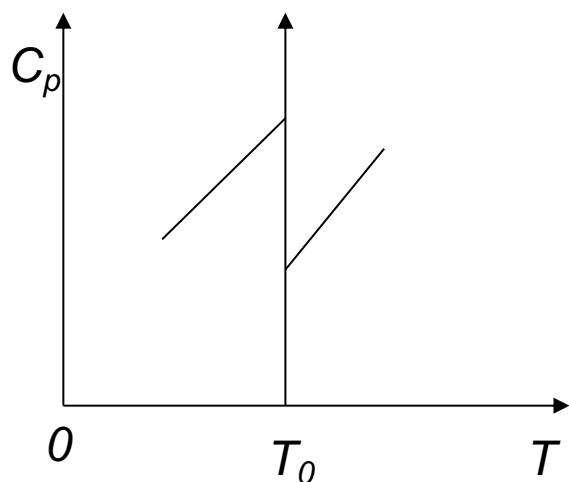
固---气相变：升华或凝华

液---气相变：气化或凝结

都伴随有潜热的吸
放或体积的突变。

一级相变

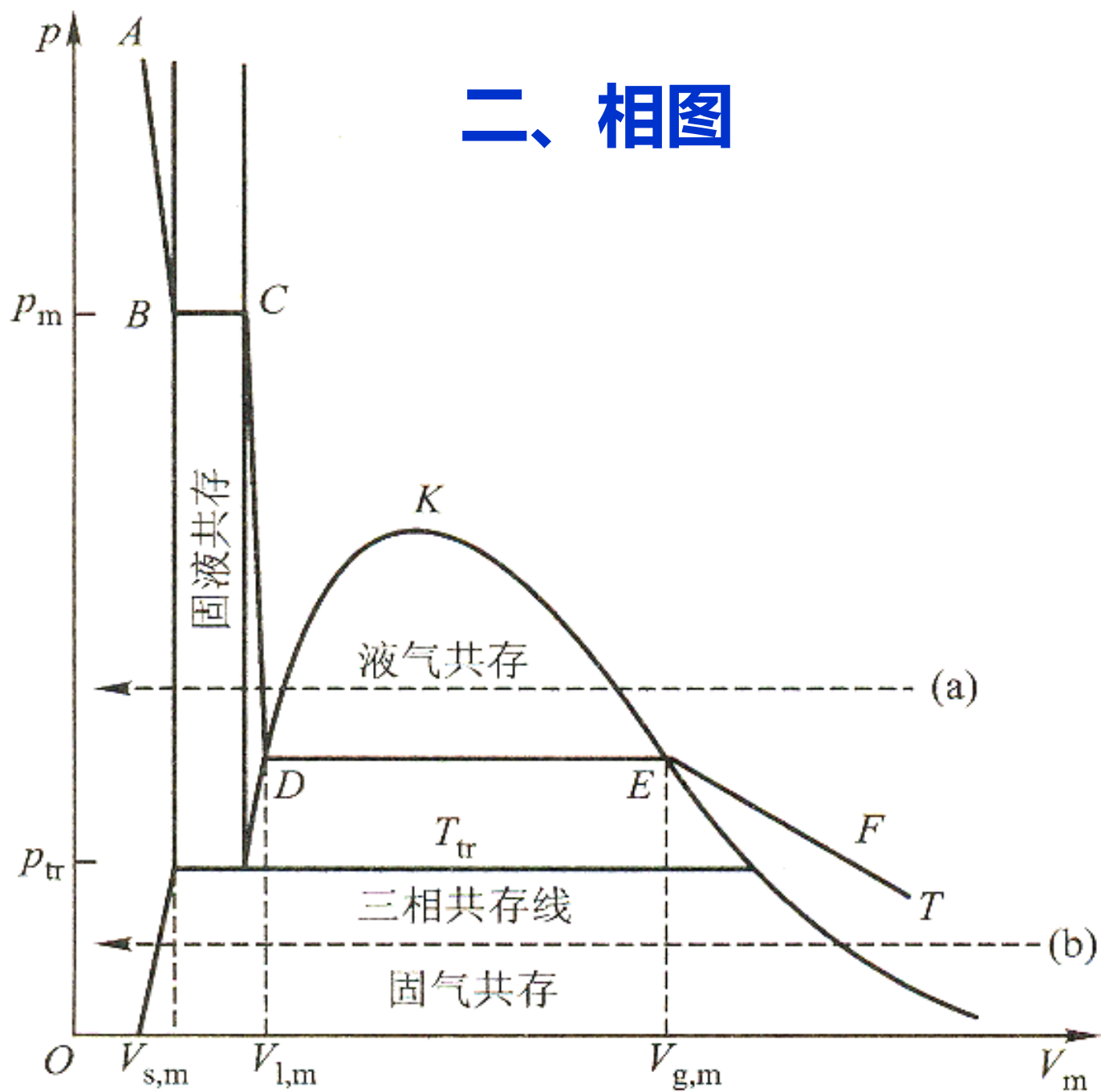
一级相变和连续相变



若对没有足够汽化核的液体加热，会产生**过热液体**；若对没有足够凝结核的蒸汽冷却，可形成**过冷蒸汽**，我们把**摩尔熵和摩尔体积均发生突变的**，可出现过冷、过热现象的相变称为**一级相变**。

由于发生相变时，相变前后两种相的摩尔熵和摩尔体积均**不发生突变**，这种相变称为**连续相变（二级相变）**，如： λ 相变。

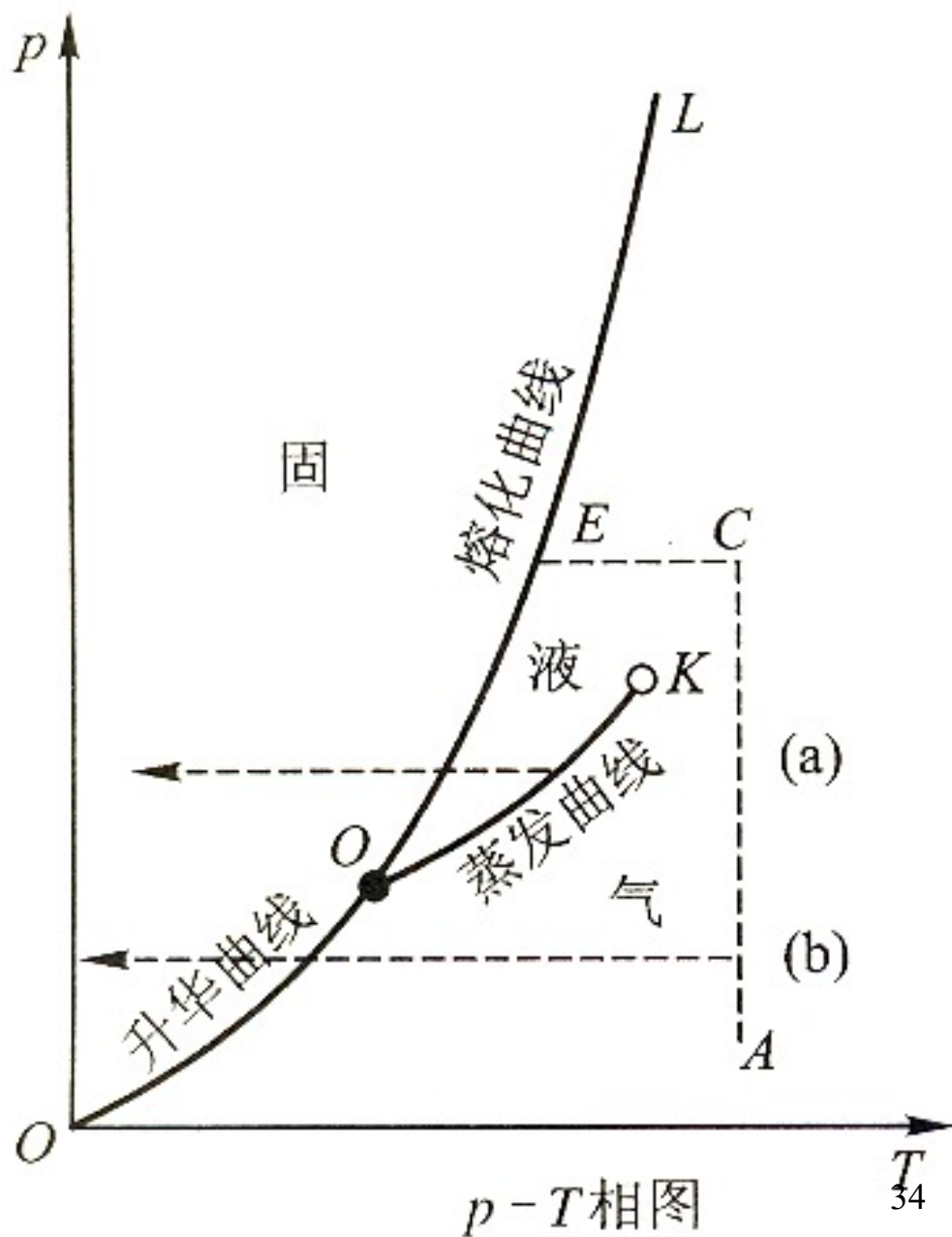
二、相图

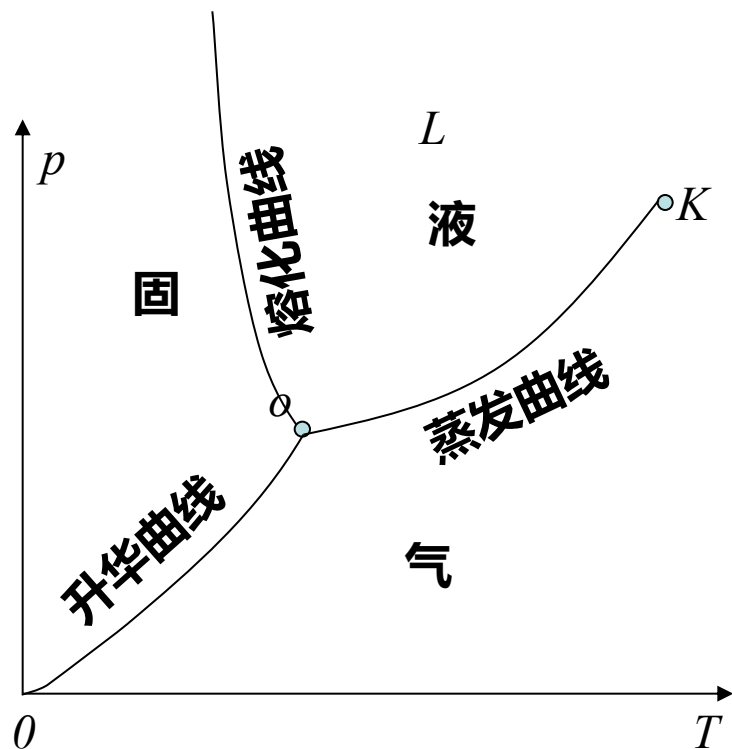


常见有p-T相图

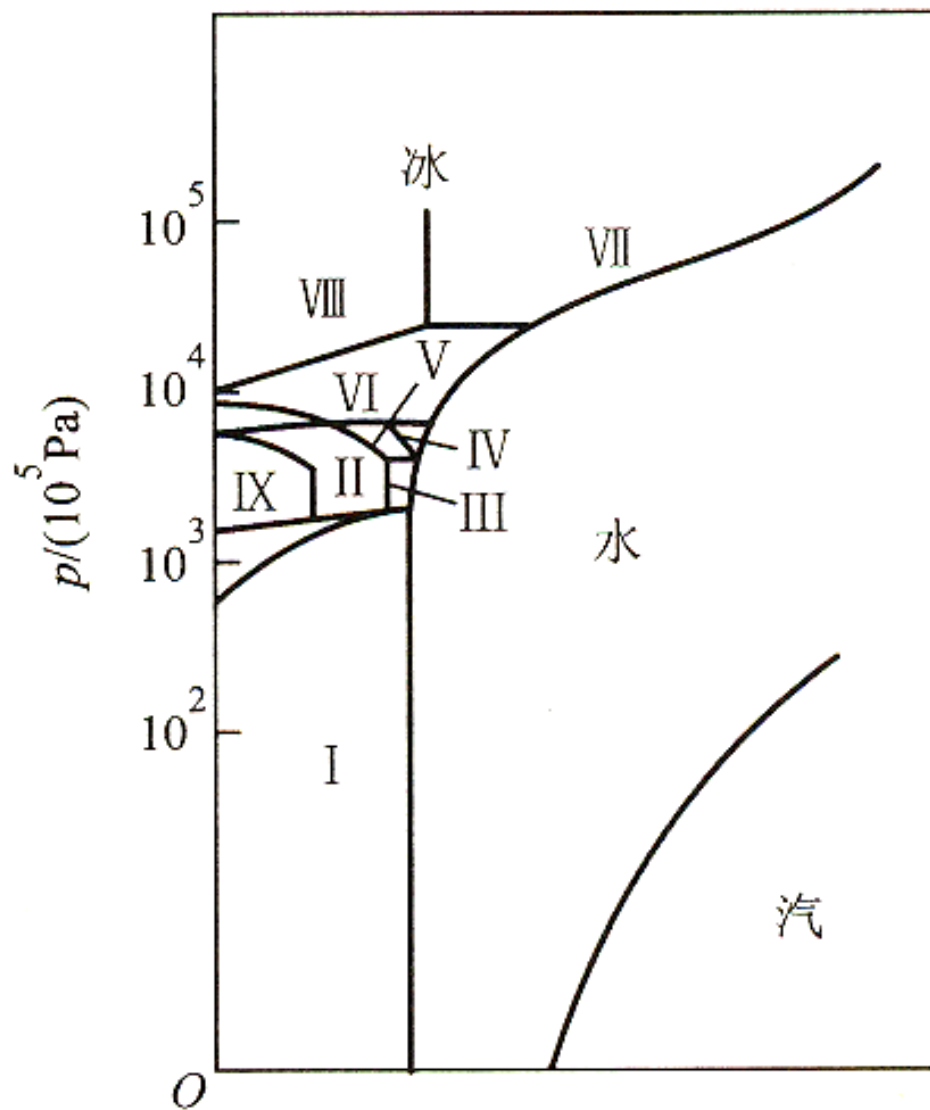
三相点O

K点以上的区域
称为超临界状态





水的反常固液线



冰有9个相的相图

三、杠杆原理

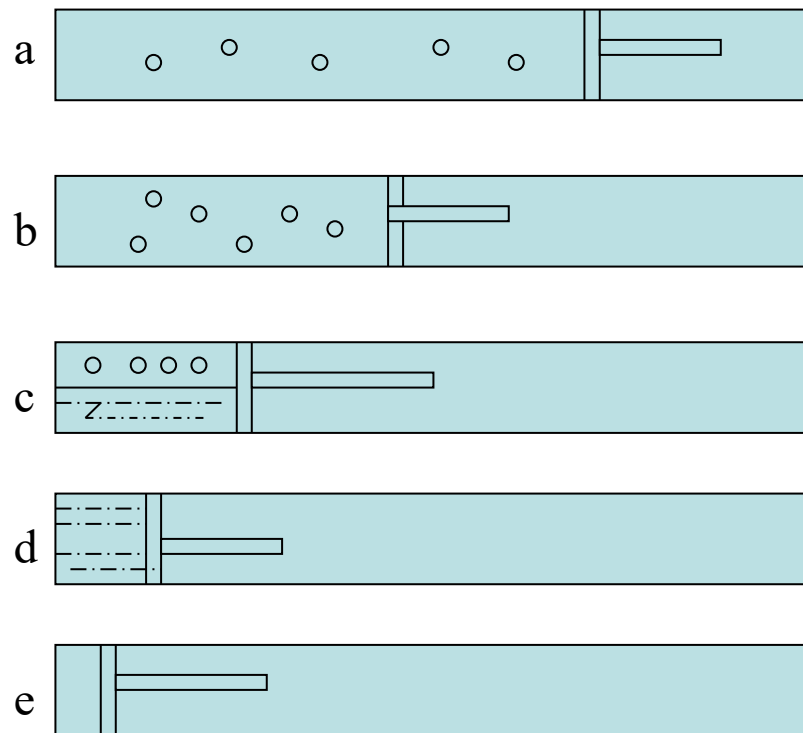
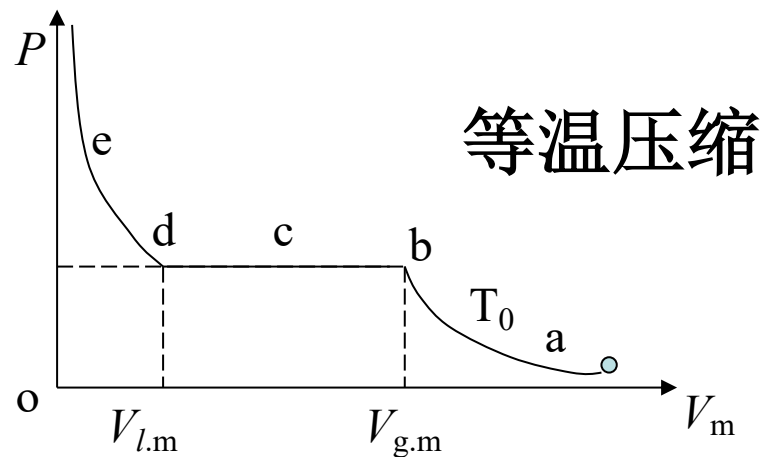
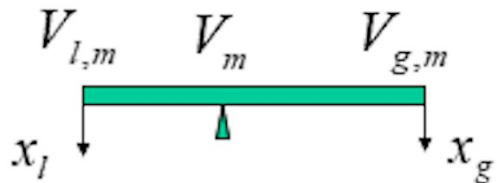
$$V_m = x_l V_{lm} + x_g V_{gm}$$

$$x_l + x_g = 1$$

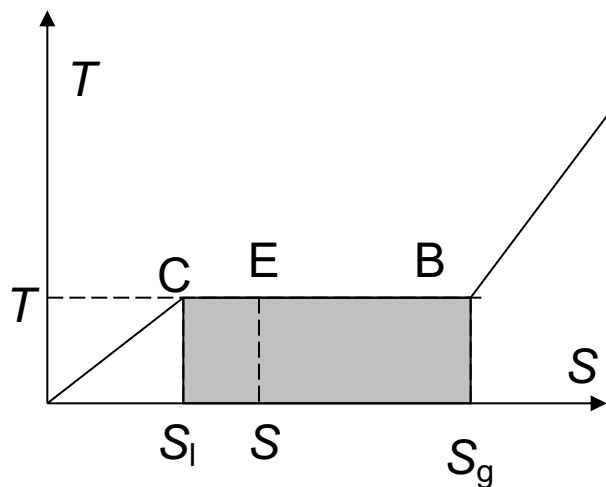
$$x_g = \frac{V_m - V_{lm}}{V_{gm} - V_{lm}}$$

$$x_l = \frac{V_{gm} - V_m}{V_{gm} - V_{lm}}$$

$$x_l (V_m - V_{l,m}) = x_g (V_{g,m} - V_m)$$



真实气体的T-S图与p-V图的比较



杠杆原理

$$x_g = \frac{S - S_l}{S_g - S_l}$$

$$x_l = \frac{S_g - S}{S_g - S_l}$$

$l_{v,m}$ 为摩尔汽化热

$$T(S_g - S_l) = \nu T(S_{g,m} - S_{l,m}) = \nu l_{v,m}$$

汽化热

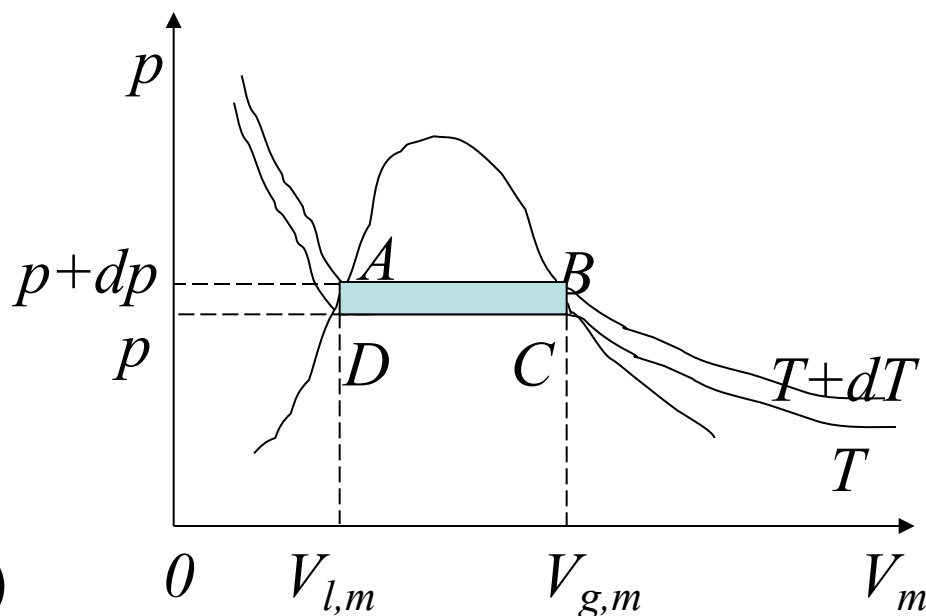
$$l_{v,m} = H_{g,m} - H_{l,m} = U_{g,m} - U_{l,m} + p_0(V_{g,m} - V_{l,m})_{37}$$

四、克拉珀龙方程

ABCD组成可逆卡诺循环

$$\eta = 1 - \frac{T}{T + dT} = \frac{dT}{T + dT}$$
$$= \frac{dT}{T} = \frac{dp \cdot v(V_{g,m} - V_{l,m})}{v l_{v,m}}$$

$$\frac{dp}{dT} = \frac{l_{v,m}}{T(V_{g,m} - V_{l,m})}$$



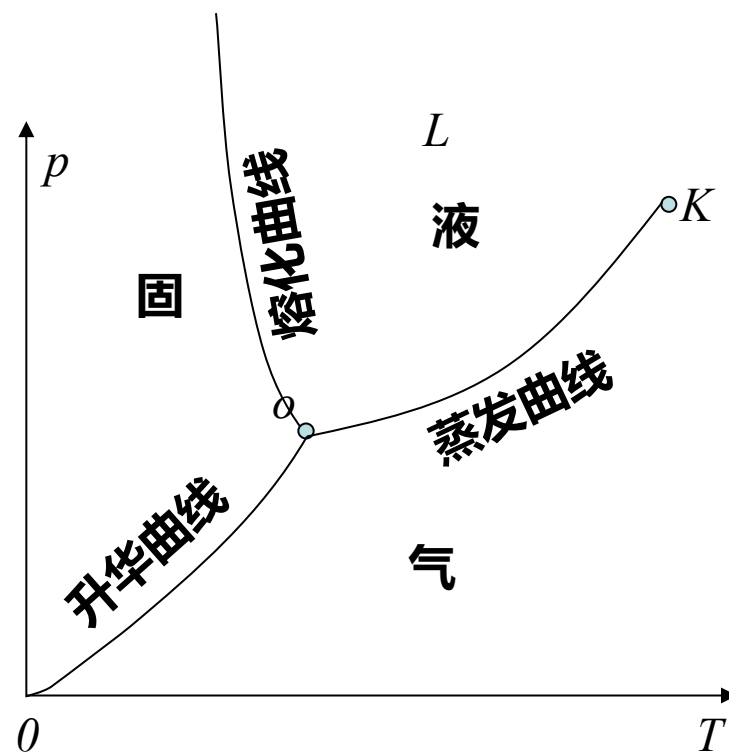
克拉珀龙---克劳修斯方程

气---液两相 → 其它两相

$$\frac{dp}{dT} = \frac{l_{12,m}}{T(V_{1,m} - V_{2,m})} = \frac{l_{12}}{T(V_1 - V_2)}$$

$$\because l_{12,m} = T(S_{1,m} - S_{2,m})$$

$$\therefore \frac{dp}{dT} = \frac{S_{1,m} - S_{2,m}}{V_{1,m} - V_{2,m}}$$



相图上相平衡曲线的斜率等于一级相变中摩尔熵和摩尔体积突变变量的比率。

蒸汽压方程：描述液---气及固----气的饱和蒸汽压
随着相变温度变化的方程。

近似处理

- 温度变化不大时，汽化热或升华热不随温度变化
- 液相或固相的体积比气相少得多可忽略
- 饱和蒸汽压不大时，蒸汽可看作理想气体

$$\frac{dp}{dT} = \frac{l_{v,m}}{T(V_{g,m} - V_{l,m})} \approx \frac{l_{v,m}}{T(RT / p)}$$

$$\frac{dp}{p} = \frac{l_{v,m}}{R} \cdot \frac{dT}{T^2} \qquad p = C \exp\left(-\frac{l_{v,m}}{RT}\right)$$

饱和蒸汽压随温度的增加而迅速增加

例 青藏高原上80度水开，问压强？

$$\frac{p}{p_0} = \exp\left[-\frac{l_m}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right] \sim 0.5$$

地面	$p_0 = 1\text{atm}$	$l_m = 4.07 \times 10^4 \text{ J/mol}$
	$T_0 = 373\text{K}$	$T = 353\text{K}$



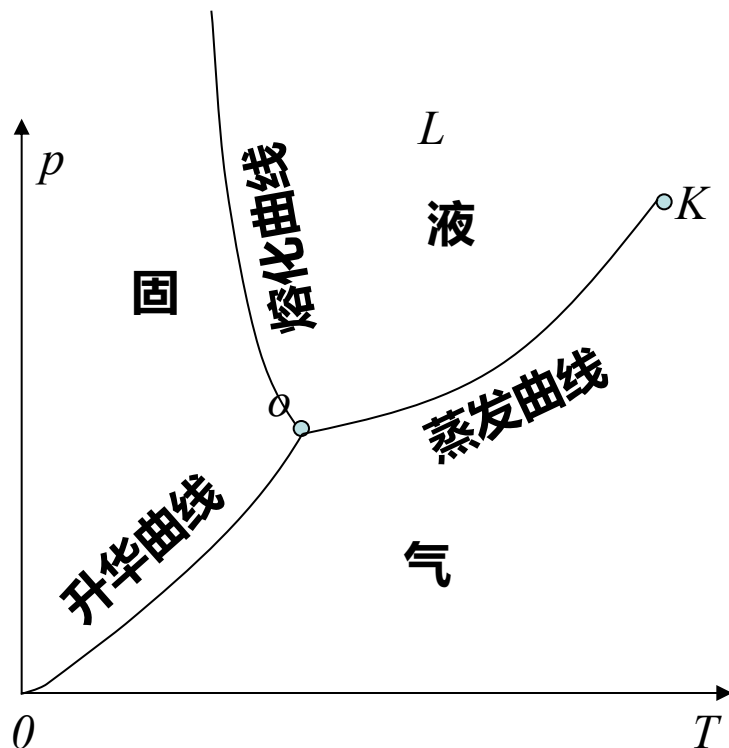
马赫锥

冲击波过后压强陡降，
温度也是陡降，饱和蒸
气压跟着陡降，低于空
气中的水汽分压，水汽
过饱和，有水汽凝结

$$p = C \exp\left(-\frac{l_{v,m}}{RT}\right)$$



冰的熔解反常现象



$$\frac{dp}{dT} < 0$$

滚雪球

冰川

滑雪、滑冰？

冰为什么滑？

- ☐ A 冰表面非常光滑
- ☐ B 冰鞋与冰面之间摩擦产生的热量，促使冰面融化，形成了一层水膜
- ☐ C 冰鞋对冰面施加压力，冰的熔点降低，促使冰面融化，形成了一层水膜
- ☒ D 以上说法都不对

冰为什么滑？

$$\frac{dp}{dT} = \frac{l_{v,m}}{R} \cdot \frac{p}{T^2}$$

标准状态下

$$\frac{dT}{dp} = -0.074 \text{K/MPa}$$

100公斤人, 冰刀面积 1mm×30cm $\Delta T \approx -0.23^\circ \text{C}$

1859年 Michael Faraday

即时是在零点以下温度, 冰面总有一薄层水

薄水层随温度下降逐渐消失