

从本次课开始即将学习  
化学基本原理部分的内容，  
请同学们注意有效数字的取舍，  
提升计算能力！

练习3-1: 下列化合物中没有共价键的是:

(A)  $\text{PBr}_3$  (B)  $\text{IBr}$ ; (C)  $\text{HBr}$ ; (D)  $\text{NaBr}$ 。

练习3-2 固态的  $\text{NH}_3$  熔点高于  $\text{PH}_3$ , 这是因为:

(A)  $\text{NH}_3$  是原子晶体,  $\text{PH}_3$  是分子晶体;

(B)  $\text{NH}_3$  的极性大于  $\text{PH}_3$ ;

(C)  $\text{NH}_3$  分子间存在氢键;

(D)  $\text{NH}_3$  分子间色散力大于  $\text{PH}_3$  的色散力。

练习3-3：立方晶系中 $a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

(A) 正确；                      (B) 错误。

练习3-4：本征缺陷是由动力学原因引起的。

(A) 正确；                      (B) 错误。

练习3-5：绝缘体的带隙比半导体宽。

(A) 正确；                      (B) 错误。

## 练习4-1

什么样的真实气体可以被看做是理想气体？

- A. 高温高压；      B. 低温高压；  
C. 高温低压；      D. 低温低压。

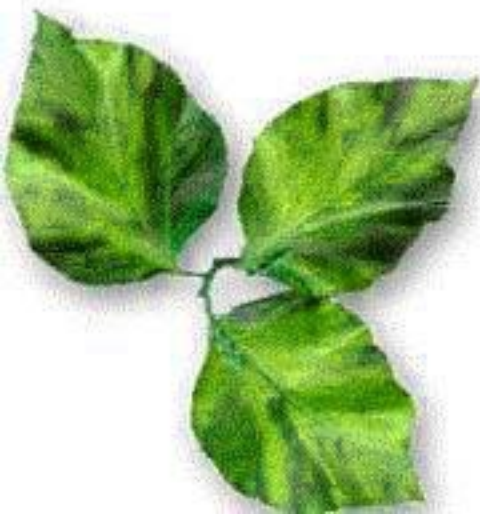
练习4-2 下列哪个方程为正确的理想气体状态方程？

- A.  $pV = nRT$  ;      B.  $PV = nRT$  ;  
C.  $pV = nRT$  ;      D.  $pv = nrt$  ;

# 第四章 气体和溶液

✕ § 4.1 气体

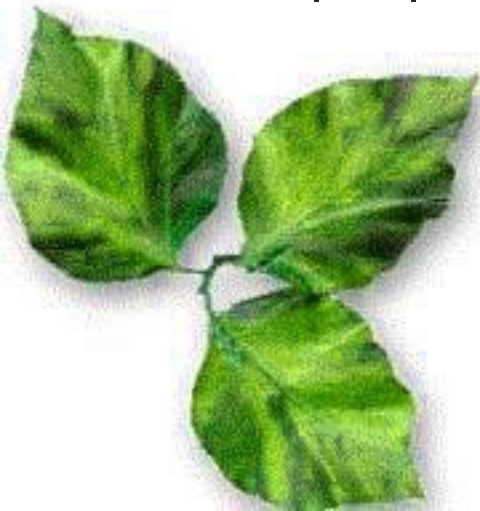
✕ § 4.2 液体和溶液



## § 4.1 气体

✕ 4.1.1 理想气体

✕ 4.1.2 真实气体





## 4.1.1 理想气体

气体的基本特征：具有可**压缩性**和**扩散性**

### 理想气体

- (1) 忽略分子之间相互吸引和排斥力
- (2) 忽略分子本身的体积

理想气体实际上并不存在，真实气体处于**低压、高温**条件下，分子间距离甚远，可忽略分子体积和分子间相互作用力，可近似看作**理想气体**。

# 1. 理想气体状态方程

$$pV = nRT$$

$R$ — 摩尔气体常数

在STP下 ( $p = 101.325 \text{ kPa}$ ,  $T = 273.15 \text{ K}$ )

$n = 1.0 \text{ mol}$  时,  $V_m = 22.414 \text{ L} = 22.414 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

$$\begin{aligned} R &= \frac{pV}{nT} = \frac{101325 \text{ Pa} \times 22.414 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{1.0 \text{ mol} \times 273.15 \text{ K}} \\ &= 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \end{aligned}$$



## 理想气体状态方程的应用:

(1). 计算 $p$ ,  $V$ ,  $T$ ,  $n$ 中的任意物理量

$$pV = nRT$$

(2). 确定气体的摩尔质量

$$pV = nRT \quad n = \frac{m}{M} \quad M = \frac{mRT}{pV}$$

(3). 确定气体的密度

$$M = \frac{\rho RT}{p} \quad \rho = \frac{pM}{RT}$$

## 2. 气体的分压定律

### 组分气体：

理想气体混合物中每一种气体叫做组分气体。

### 分压：

组分气体B在相同温度下占有与混合气体相同体积时所产生的压力，叫做组分气体B的分压。

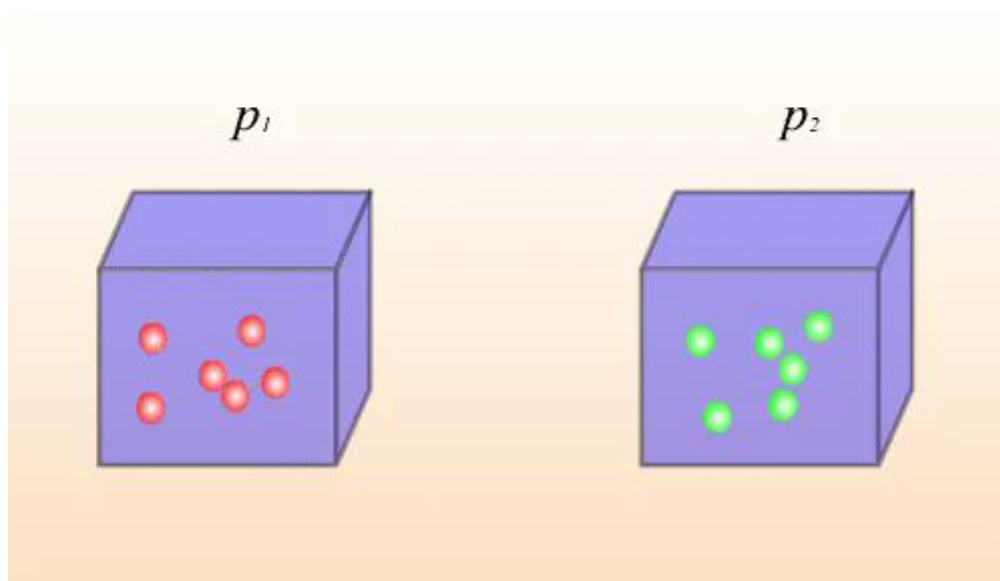
$$p_B = \frac{n_B RT}{V}$$

## 分压定律:

混合气体的总压等于混合气体中各组分气体分压之和。

$$p = p_1 + p_2 + \cdots$$

或 
$$p = \sum p_B$$



$$p_1 = \frac{n_1 RT}{V}, \quad p_2 = \frac{n_2 RT}{V}, \dots$$

$$p = \frac{n_1 RT}{V} + \frac{n_2 RT}{V} + \dots = (n_1 + n_2 + \dots) \frac{RT}{V}$$

$$n = n_1 + n_2 + \dots$$

$$p = \frac{nRT}{V}$$

分压的求解:

$$p_{\text{B}} = \frac{n_{\text{B}}RT}{V} \quad p = \frac{nRT}{V}$$

$$\frac{p_{\text{B}}}{p} = \frac{n_{\text{B}}}{n} = x_{\text{B}}$$

$$p_{\text{B}} = \frac{n_{\text{B}}}{n} p = x_{\text{B}} p$$

$x_{\text{B}}$ ——B的摩尔分数 (mole fraction)

例：某容器中含有 $\text{NH}_3$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{N}_2$ 等气体。其中  
 $n(\text{NH}_3)=0.320\text{mol}$ ， $n(\text{O}_2)=0.180\text{mol}$ ，  
 $n(\text{N}_2)=0.700\text{mol}$ 。混合气体的总压为 $133\text{kPa}$ 。试计算各组分气体的分压。

解：  $n = n(\text{NH}_3) + n(\text{O}_2) + n(\text{N}_2)$

$$= 0.320\text{mol} + 0.180\text{mol} + 0.700\text{mol}$$

$$= 1.200\text{mol}$$

$$p(\text{NH}_3) = \frac{n(\text{NH}_3)}{n} p$$

$$= \frac{0.320}{1.200} \times 133.0\text{kPa} = 35.5\text{kPa}$$

$$p(\text{O}_2) = \frac{n(\text{O}_2)}{n} p$$

$$= \frac{0.180}{1.200} \times 133.0 \text{ kPa} = 20.0 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} p(\text{N}_2) &= p - p(\text{NH}_3) - p(\text{O}_2) \\ &= (133.0 - 35.5 - 20.0) \text{ kPa} \\ &= 77.5 \text{ kPa} \end{aligned}$$



## 4.1.2 真实气体

### 真实气体与理想气体的偏差

理想气体状态方程仅在足够低的压力下适合于真实气体。

例如1.0mol CO<sub>2</sub>

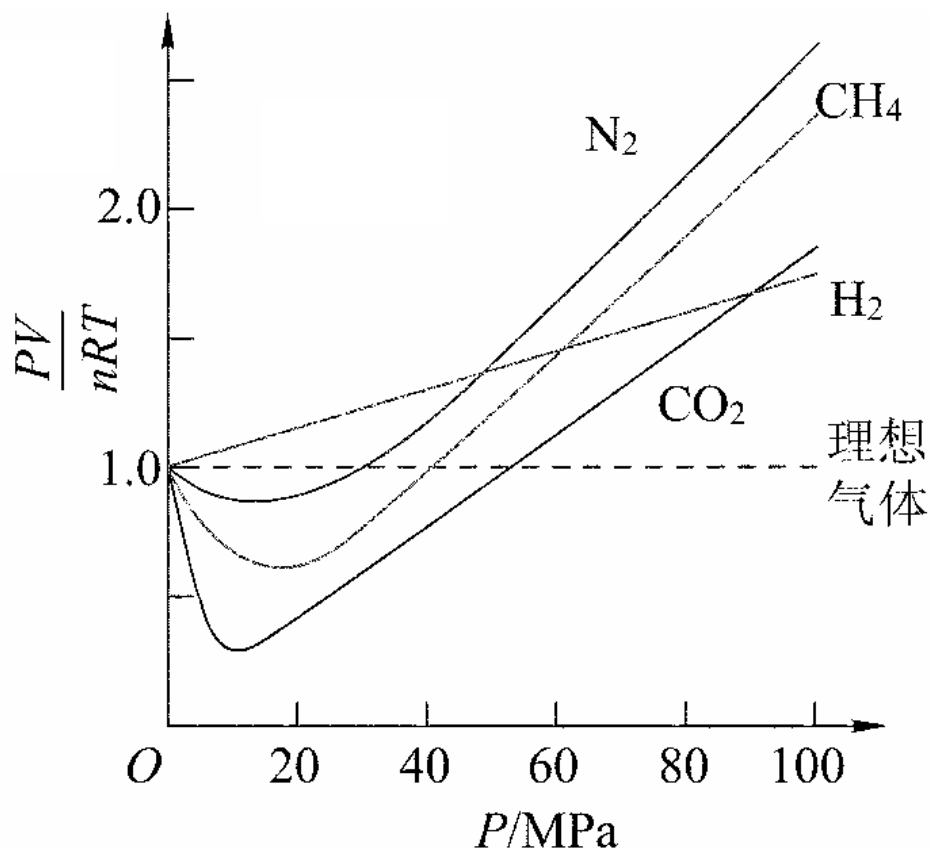
在 $T=320\text{K}$ ,  $p=10132.5\text{kPa}$ 时,

$V_{\text{理}}=0.26\text{L}$ ,  $V_{\text{实}}=0.098\text{L}$ , 误

差高达62.3%

产生偏差的主要原因是:

- ①气体分子本身的体积的影响
- ②分子间力的影响



几种气体的  $pV=nRT-p(200\text{K})$  图

## van der Waals 方程

$$\left(p + a \frac{n^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

$a, b$ 称为van der waals常量。

$(V - nb) = V_{\text{ideal}}$  等于气体分子运动的自由空间

$b$ 为1mol气体分子自身体积的影响。

分子间吸引力正比于  $(n/V)^2$

内压力  $p' = a(n/V)^2$

$$p_{\text{ideal}} = p_{\text{real}} + a(n/V)^2$$

表4-1 某些气体的van der Waals 常量

气体	$a/(10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2})$	$b/(10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1})$
He	0.03457	0.2370
H <sub>2</sub>	0.2476	0.2661
Ar	1.363	0.3219
O <sub>2</sub>	1.378	0.3183
N <sub>2</sub>	1.408	0.3913
CH <sub>4</sub>	2.283	0.4278
CO <sub>2</sub>	3.640	0.4267
HCl	3.716	0.4081
NH <sub>3</sub>	4.225	0.3707
NO <sub>2</sub>	5.354	0.4424
H <sub>2</sub> O	5.536	0.3049
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	5.562	0.6380
SO <sub>2</sub>	6.803	0.5636
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	12.18	0.8407

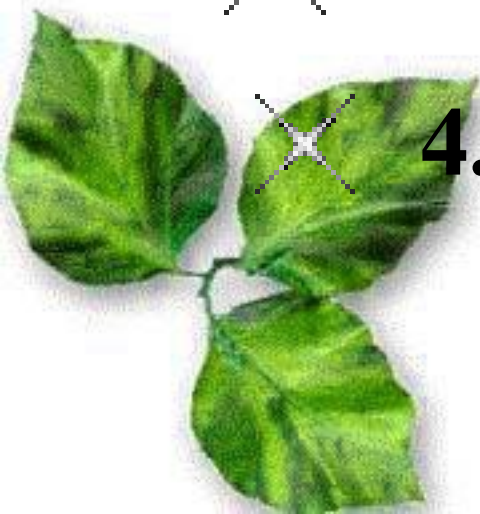
## § 4.2 液体和溶液

✕ 4.2.1 液体的蒸发和饱和蒸气压

✕ 4.2.2 相变和水的相图

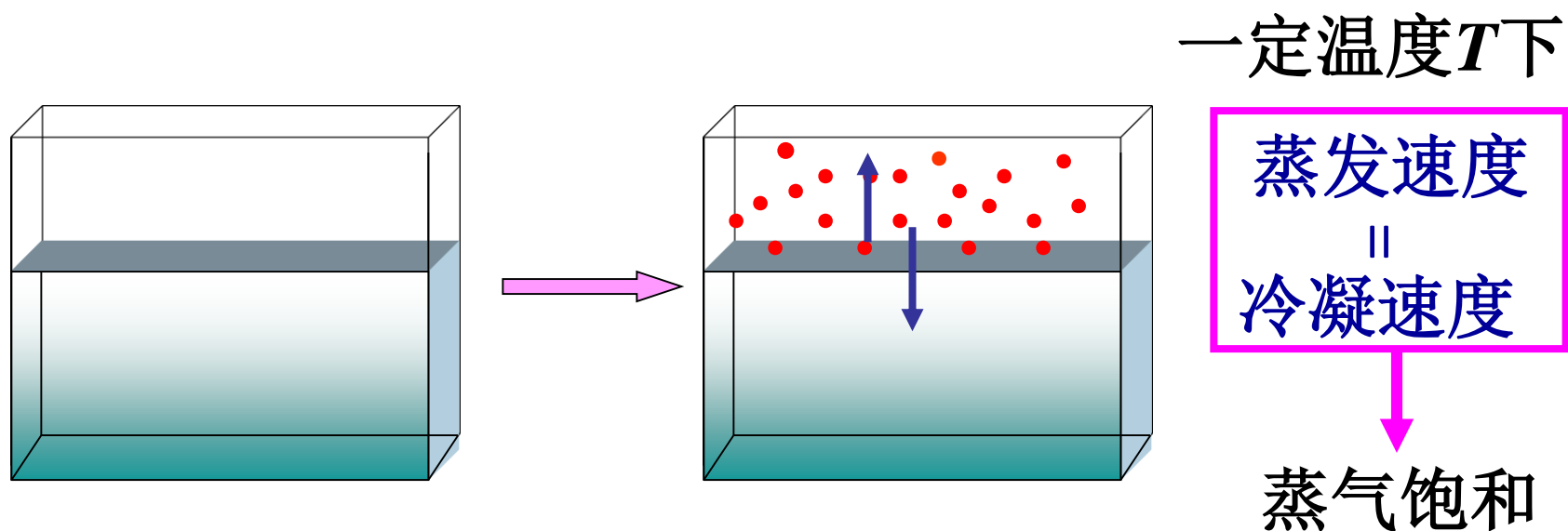
✕ 4.2.3 溶液及其浓度

✕ 4.2.4 稀溶液的依数性



## 4.2.1 液体的蒸发和饱和蒸气压

### (1) 液体的蒸气压



**蒸气压(vapor pressure):** 一定温度下, 当液(或固)体与其蒸气形成液(或固)、气两相平衡时, 此时气相的压力称为该液(或固)体在该温度下的**饱和蒸气压**, 简称蒸气压, **用 $p^*$ 表示**。

- \* 相同温度，不同物质蒸气压不同；
- \* 同一种液体，温度不同，蒸气压不同。

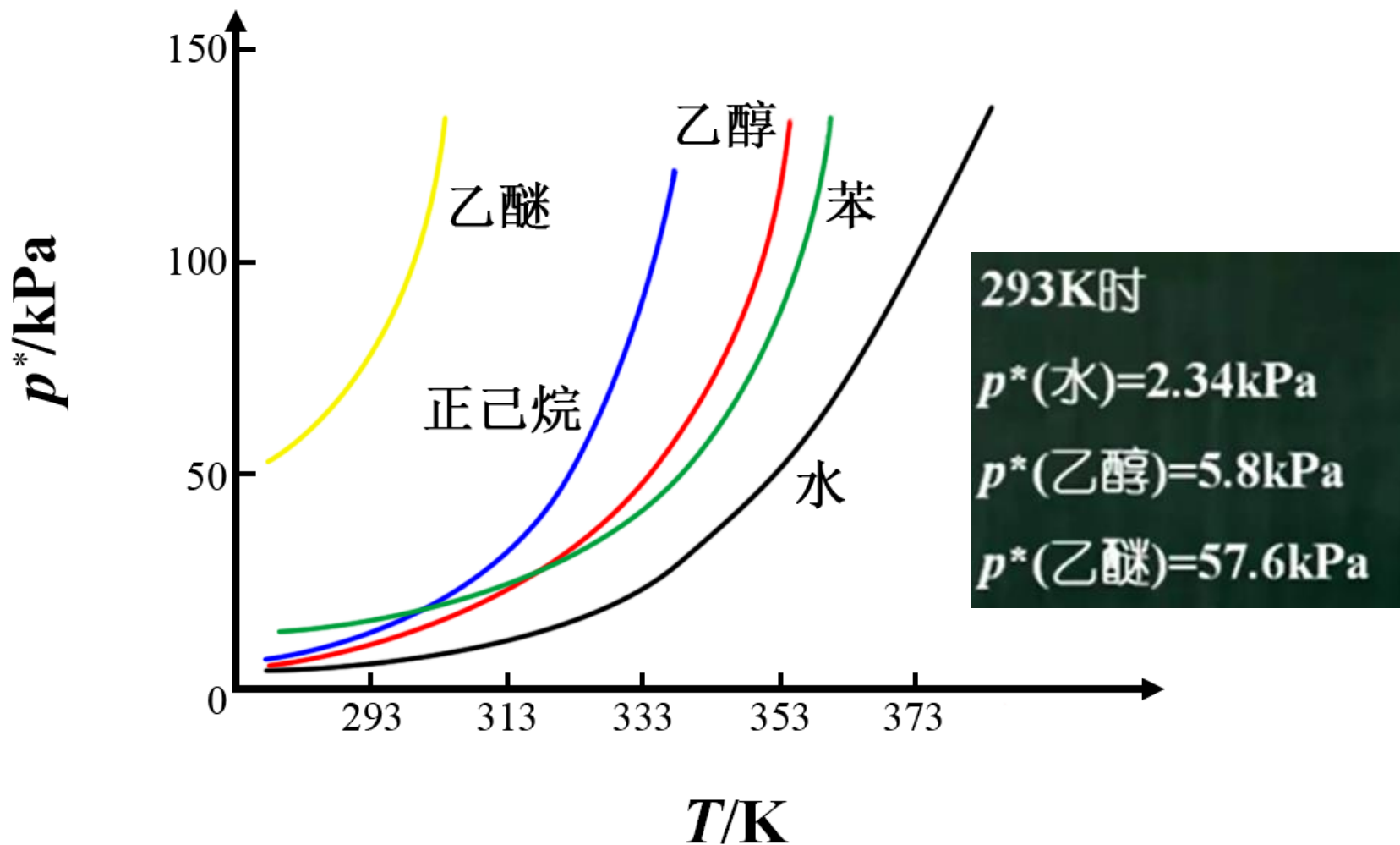




表3-2 不同温度下水的蒸气压

$t/^{\circ}\text{C}$	$p^{*}/\text{kPa}$	$t/^{\circ}\text{C}$	$p^{*}/\text{kPa}$	$t/^{\circ}\text{C}$	$p^{*}/\text{kPa}$
0	0.610 6	30	4.242 3	70	35.1575
5	0.871 9	40	7.375 4	80	47.3426
10	1.227 9	50	12.333 6	90	70.1001
20	2.338 5	60	19.918 3	100	101.3247

\* 同一种液体，温度升高，蒸气压增大。

水的饱和蒸汽压：平衡时水面上的蒸汽压力

当液体的蒸气压等于外界大气压时，液体沸腾，此时的温度称为该液体的沸点。

通常所说的沸点是指大气压为101.325kPa 时液体的正常沸点。



## 4.2.2 相变和水的相图

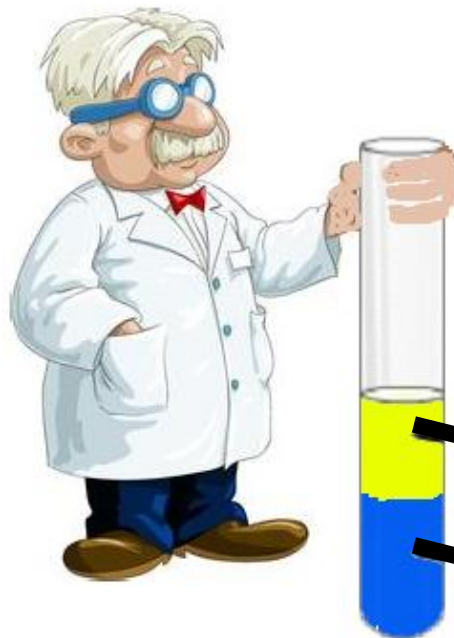
**相(phase):** 系统中任何具有相同的物理性质和化学性质并与其它部分有明确界面分隔开来的均匀部分

只含一相称为**单相系统**  
(homogenous system)



酒精和水

两相和两相以上的系统称为**多相系统**  
(heterogeneous system)

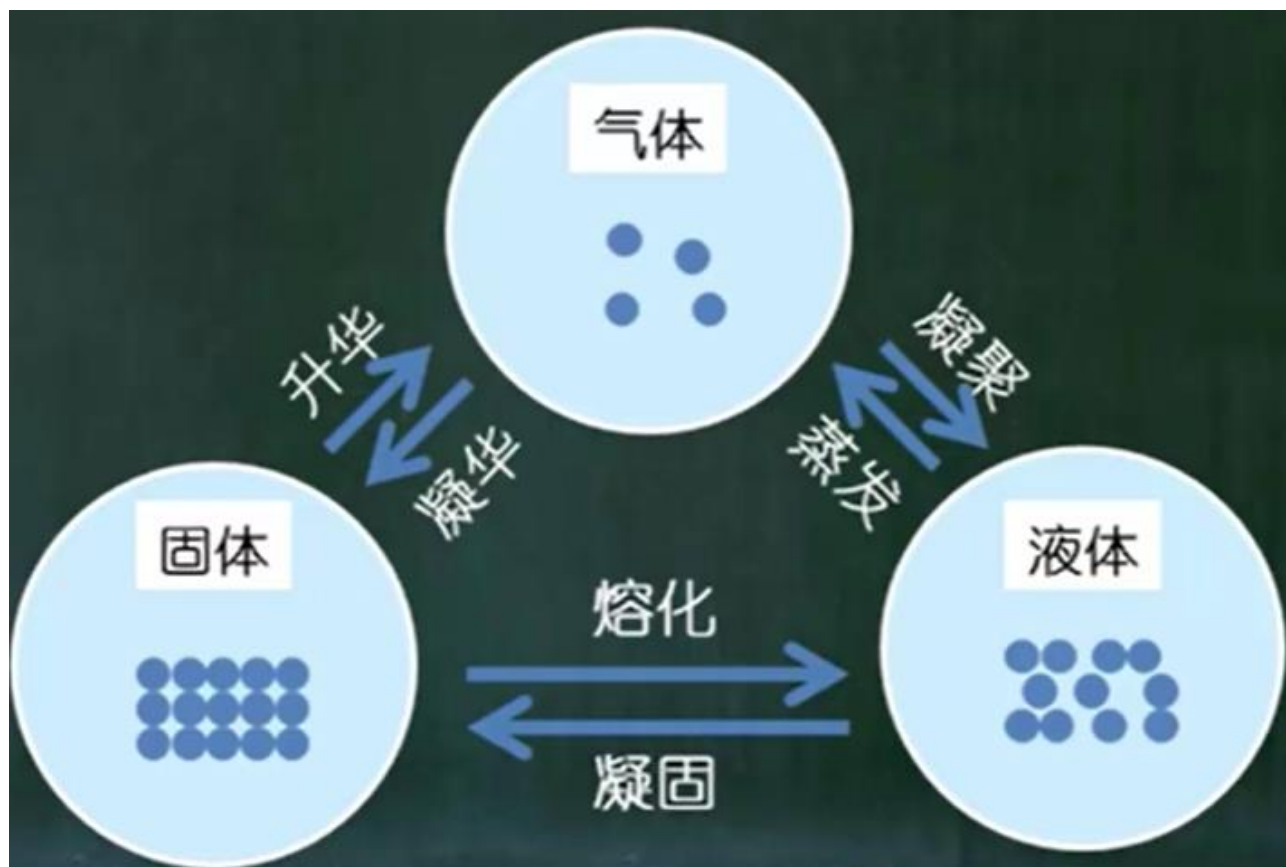


煤油

水

- (1)同一物质可因不同的聚集状态而形成不同的相。如：水、蒸气、冰为不同的相。
- (2)一个相并不一定是一种物质。如：空气或溶液。
- (3)聚集状态相同的物质放在一起，并不一定是单相系统。如：水和油。

◆ 相变化——纯物质聚集状态的变化



物质的存在相态由物质的自身性质、温度、压力决定,化学工作者习惯用“相图”表明温度、压力与相变关系。这种温度与压力对于相变影响的关系图叫作“相图”

✓三个单相区

冰、水、水蒸气

✓两相平衡线

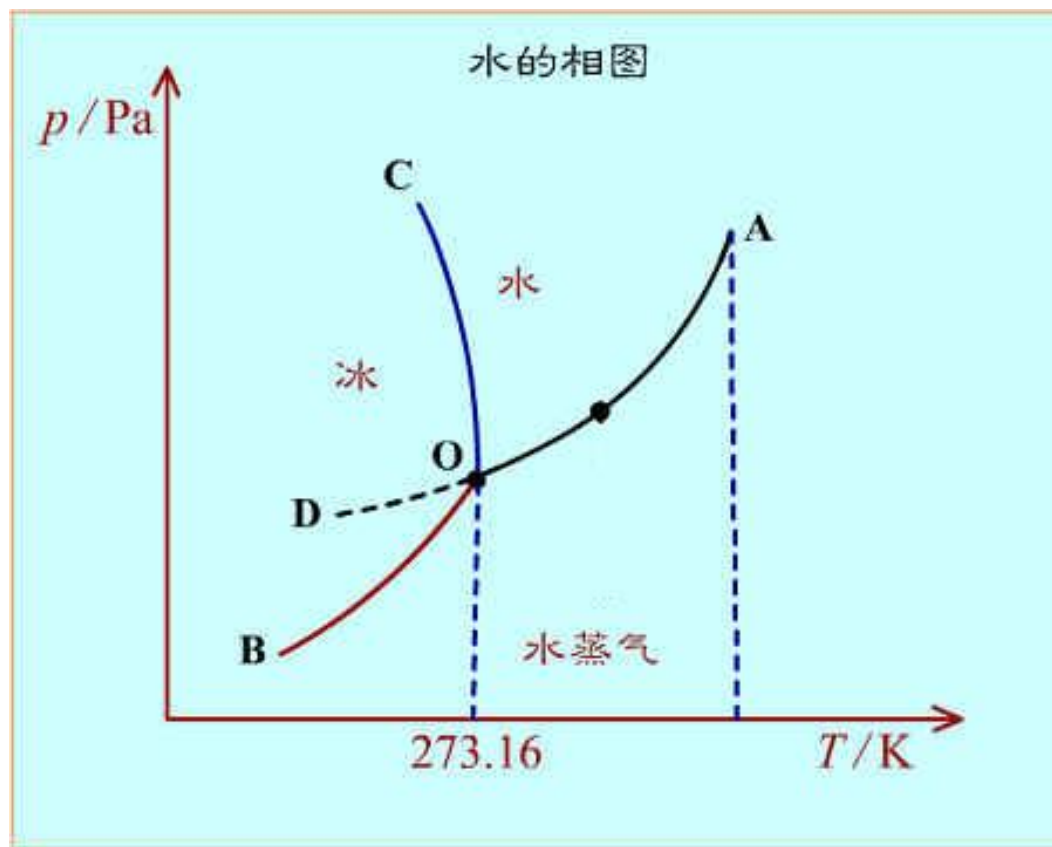
OA,OB OC

✓三相点

g、l、s共存

✓临界点

$T=374.2^{\circ}\text{C}$ 临界温度



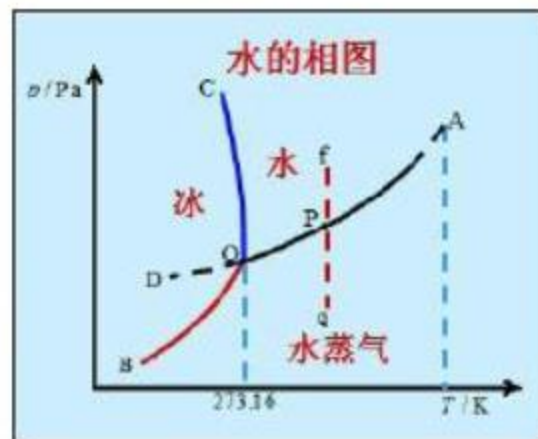
水的相图

**OA** 是气-液两相平衡线，即水的蒸气压曲线。它不能任意延长，终止于**临界点 A**，这时**气-液界面消失**。

临界点：  $T = 647 \text{ K}$  ,  $p = 2.2 \times 10^7 \text{ Pa}$

高于临界温度，不能用加压的方法使气体液化。

**OB** 是气-固两相平衡线，即冰的升华曲线，理论上可延长至0 K附近。



**OC** 是液-固两相平衡线，当C点延长至压力大于  $2 \times 10^8 \text{ Pa}$  时，相图变得复杂，有不同结构的冰生成。

OD线表示过冷水与蒸汽的平衡，因此OD线为不稳定的液-气平衡线，此种液-气平衡处于介稳状态，只要稍受干扰如搅动或有小块冰投入系统，立刻就会有冰析出。

## 4.2.3 溶液的浓度

1. 物质的量浓度  $c_B = \frac{n_B}{V}$ , 单位:  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

2. 质量摩尔浓度  $b_B = \frac{n_B}{m_A}$ , 单位:  $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$

3. 质量分数  $w_B = \frac{m_B}{m}$ , 单位: 1

4. 摩尔分数  $x_B = \frac{n_B}{n}$ , 单位: 1

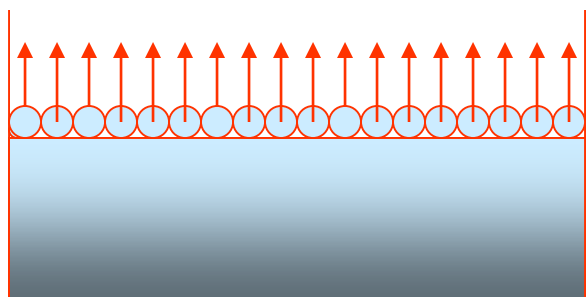
5. 质量浓度  $\rho_B = \frac{m_B}{V}$ , 单位:  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  或  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

## 4.2.4 稀溶液的依数性

### 1. 稀溶液的蒸气压下降

$p^*$ ——纯溶剂蒸气压

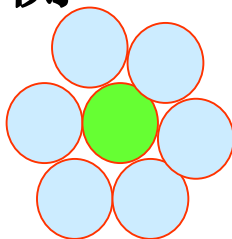
$p$ ——溶液蒸气压



纯溶剂气—液平衡

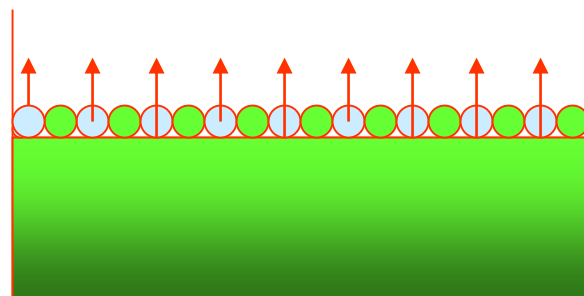


溶剂分子



溶剂化分子束缚  
了一些溶剂分子

实验表明  $p < p^*$



溶液气—液平衡



难挥发溶质分子

1887年，法国化学家拉乌尔(F.M.Raoult)研究得出经验公式：

$$p = p_A^* x_A$$

式中：

$p$  / Pa — 难挥发非电解质稀溶液的蒸气压；

$p_A^*$  / Pa — 纯溶剂A的蒸气压。

$x_A$  — 溶液中溶剂A的摩尔分数。

若溶液仅由溶剂A和溶质B组成，

则：  $x_A + x_B = 1$ ，  $p = p_A^* (1 - x_B)$



溶液的蒸气压下降： $\Delta p = -p_A + p^*$

代入： $p = p_A^*(1-x_B)$

则： $\Delta p = p_A^* - p_A^*(1-x_B) = p_A^* x_B$

$x_B$  — 溶液中溶质B的摩尔分数。

**拉乌尔定律：**在一定温度下，难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降与溶质的摩尔分数成正比

在稀溶液中：  $n_A$  远大于  $n_B$ ，  $n_A + n_B \approx n_A$

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \approx \frac{n_B}{n_A} = \frac{n_B}{\cancel{m_A} / M_A} = b_B M_A$$

$$\Delta p = p_A^* x_B = p_A^* M_A b_B = k b_B$$

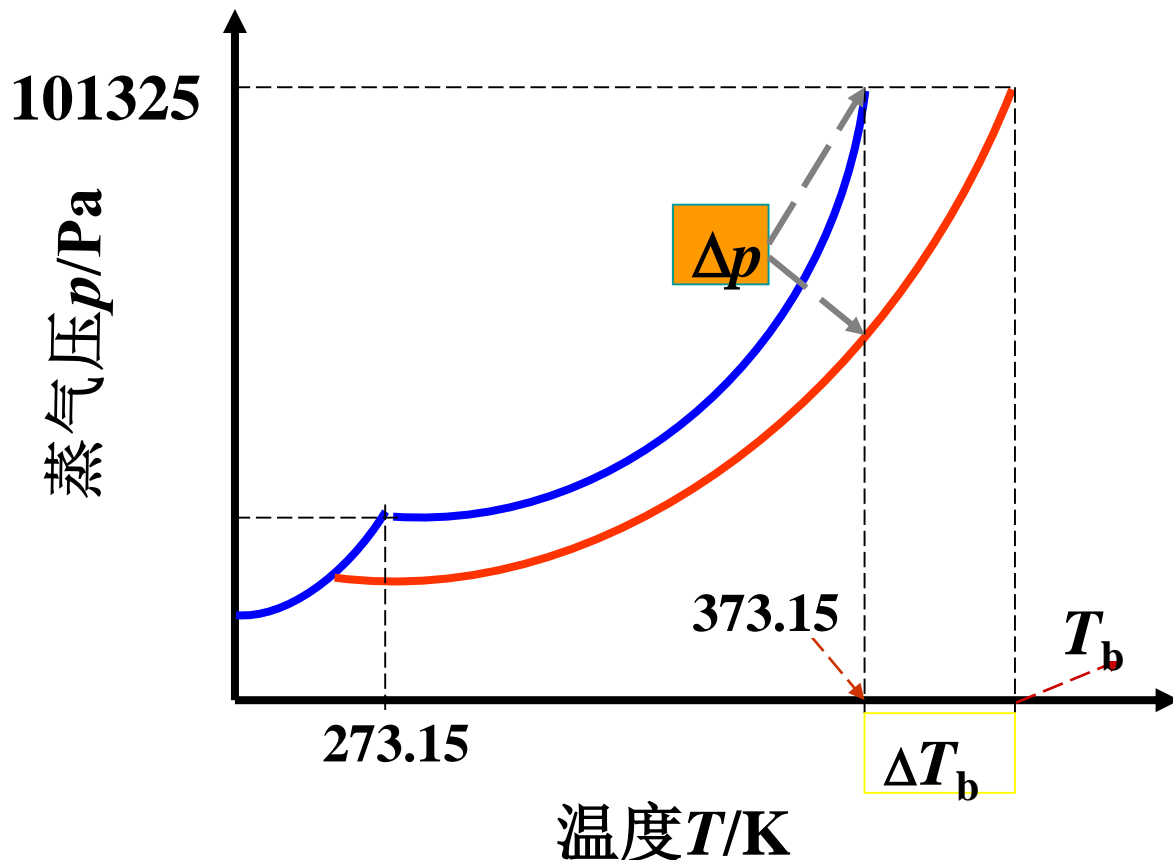
拉乌尔定律的另一种表达形式：

在一定温度下，难挥发非电解质稀溶液的**蒸气压下降**与**溶质的质量摩尔浓度**成正比。

## 2. 稀溶液的沸点升高

沸点：

当液体的蒸气压等于外界压力时，液体会沸腾。此时的温度称为液体的沸点



**沸点升高：**溶液的沸点高于纯溶剂的沸点的性质，称为溶液沸点升高。

实验表明，难挥发非电解质稀溶液的  
**沸点升高**与溶质B的**质量摩尔浓度**成正比：

$$\Delta T_b = k_b b_B$$

式中： $k_b$ —溶剂的沸点升高系数,  $\text{K kg mol}^{-1}$

$b_B$  —溶质B的质量摩尔浓度,  $\text{mol kg}^{-1}$

$\Delta T_b$  —难挥发非电解质稀溶液的  
沸点升高。

溶剂的沸点升高系数 $k_b$ 只与溶剂的性质有关

常见溶剂的沸点和沸点升高系数

溶剂	$T_b^*/\text{K}$	$k_b/$ ( $\text{K kg mol}^{-1}$ )	溶剂	$T_b^*/\text{K}$	$k_b/$ ( $\text{K kg mol}^{-1}$ )
水	373.15	0.512	苯	353.25	2.53
乙醇	315.55	1.22	四氯化碳	349.87	4.95
乙酸	391.05	3.07	三氯甲烷	334.35	3.85
乙醚	307.85	2.02	丙酮	329.65	1.71

稀溶液沸点升高应用：

计算溶质B的摩尔质量

根据：  $\Delta T_b = k_b b_B$

$$\text{因为： } b_B = \frac{n_B}{m_A} = \frac{m_B / M_B}{m_A}$$

代入上式，整理得：

$$M_B = \frac{k_b m_B}{\Delta T_b m_A}$$

### 3. 稀溶液的凝固点降低

**液体的凝固点：**在一定外压下，纯物质的液相与该物质的固相平衡共存时的温度称为该液体的凝固点。

常压下水的凝固点为273.15K，此时水和冰的蒸汽压均为0.610 6kPa。

**溶液的凝固点：**固态纯溶质与溶液中溶剂平衡共存时的温度称为该溶液的凝固点。

**凝固点降低：**溶液凝固点低于纯溶剂凝固点的性质，称为溶液凝固点下降。



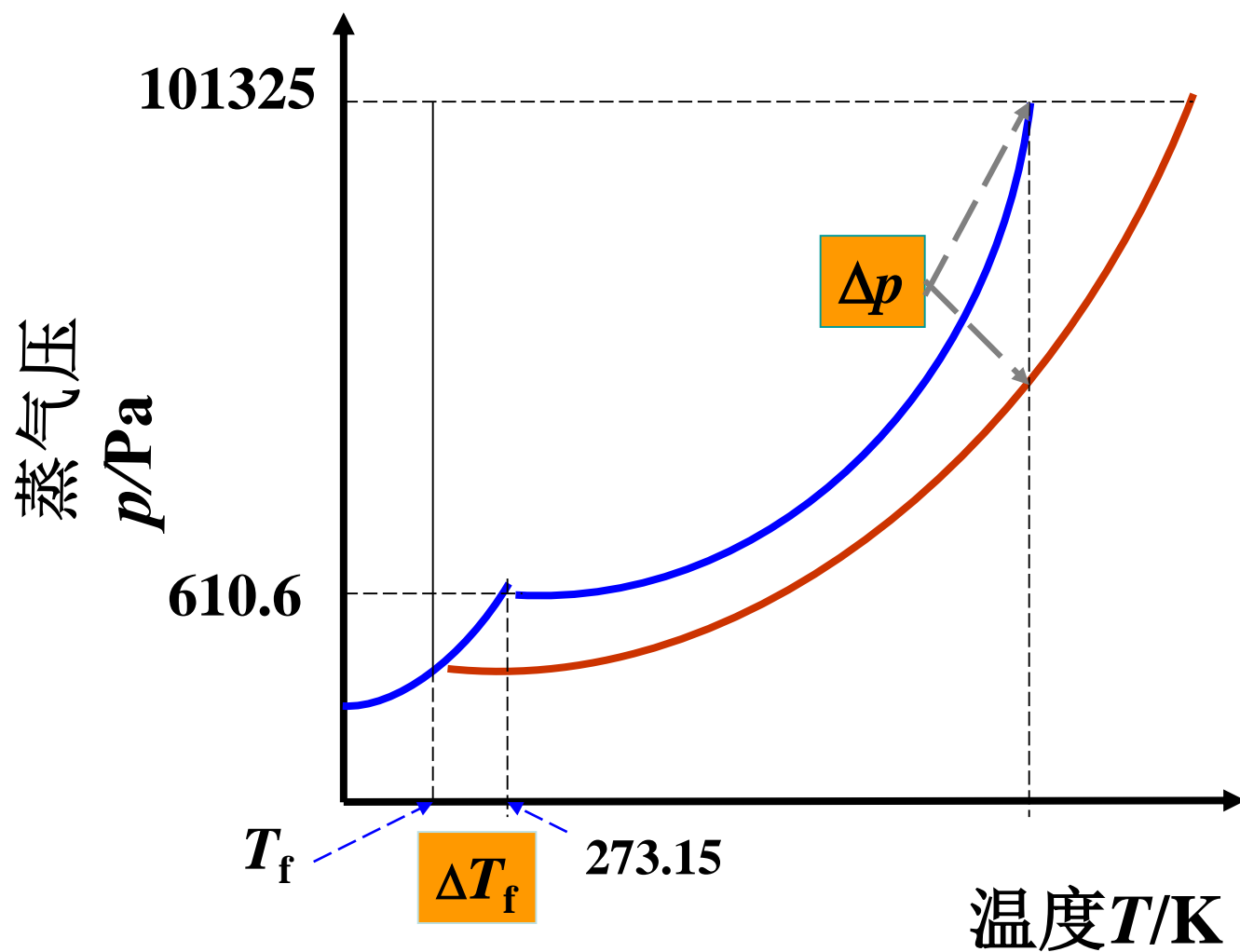
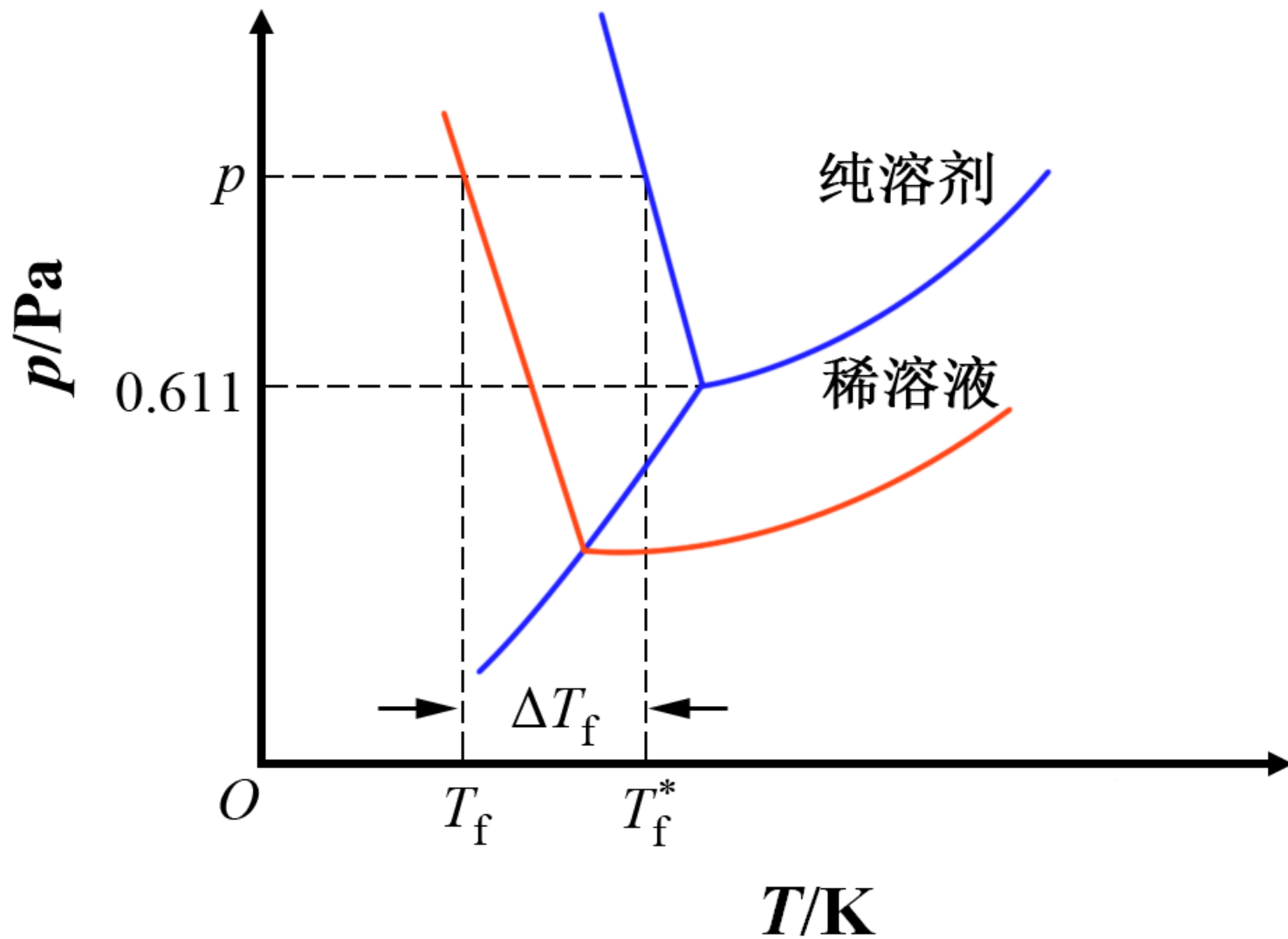


图3-5水溶液的凝固点下降



水溶液的凝固点下降

实验表明，非电解质稀溶液的凝固点降低与溶质B的质量摩尔浓度成正比：

$$\Delta T_f = k_f b_B$$

式中： $k_f$ —溶剂的凝固点凝固降低系数，

$$\text{K kg mol}^{-1}$$

$b_B$ —溶质B的质量摩尔浓度， $\text{mol kg}^{-1}$

$\Delta T_f$ —非电解质稀溶液的凝固点降低

溶剂的凝固点降低系数 $k_b$ 只与溶剂的性质有关。

### 几种溶剂的凝固点和凝固点降低系数

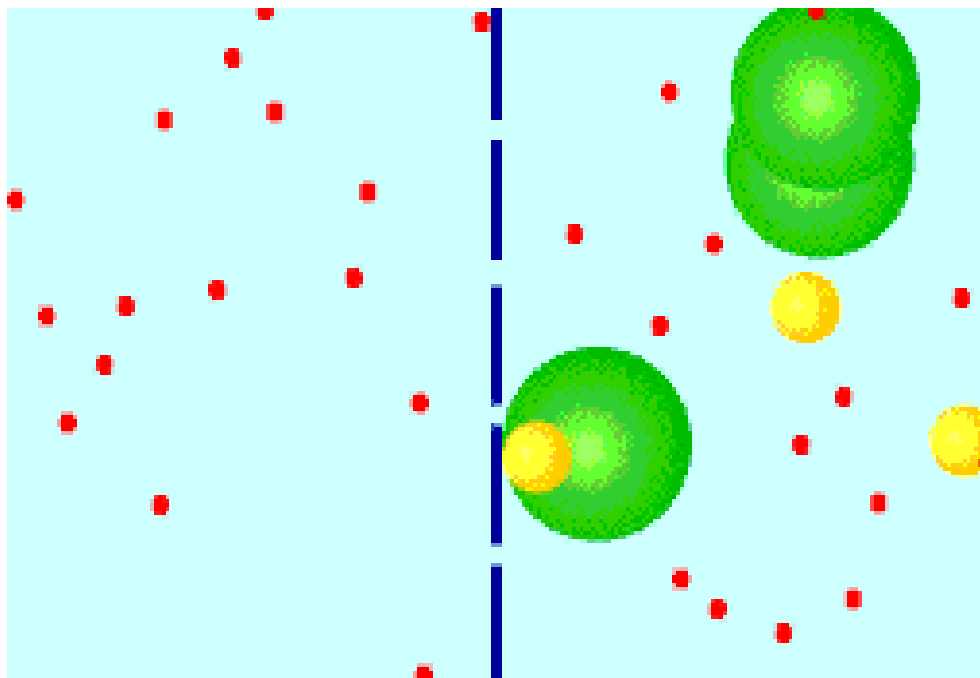
溶剂	$T_f^*/K$	$k_f/$ (K kg mol <sup>-1</sup> )	溶剂	$T_f^*/K$	$k_f/$ (K kg mol <sup>-1</sup> )
水	273.15	1.86	四氯化碳	305.15	32
乙酸	289.85	3.90	乙醚	156.95	1.8
苯	278.65	5.12	萘	353.5	6.9

通过测量非电解质溶液的凝固点降低，可计算出溶质B的摩尔质量

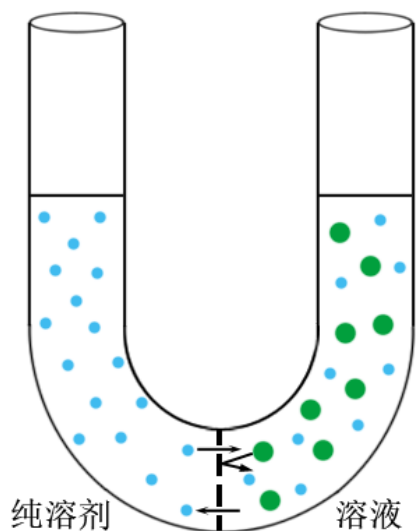
## 4. 溶液的渗透压

**渗透：**用一半透膜将溶剂与溶液(或不同浓度的溶液)分置两侧，溶剂分子通过半透膜向对方运动，净结果使溶剂进入溶液的现象称为渗透

**半透膜：**只允许溶剂分子通过，不允许溶质分子通过的薄膜

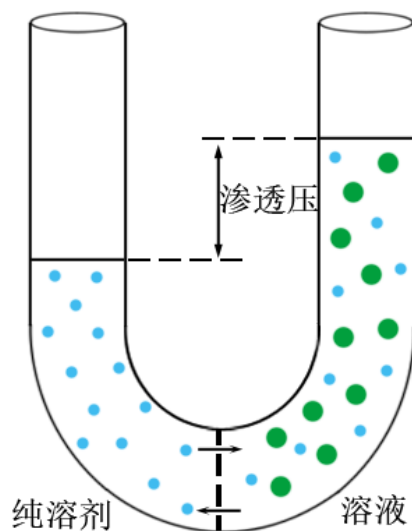


# 渗透现象和渗透压力



半透膜

(a)

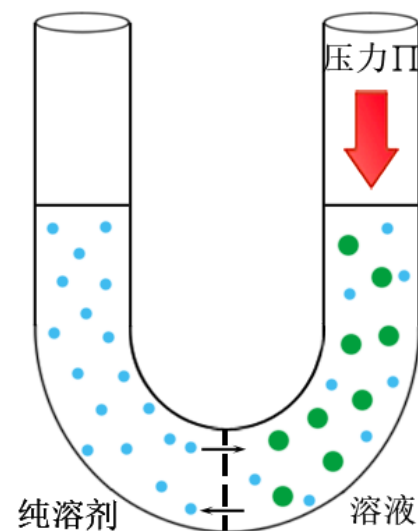


纯溶剂

溶液

半透膜

(b)



纯溶剂

溶液

半透膜

(c)

## 渗透现象和渗透压示意图

**渗透压：**阻止溶剂分子通过半透膜进入溶液所施加于溶液上方的额外压力，称为渗透压。

$$\Pi = c_{\text{B}}RT \quad \text{——称为van't Hoff方程}$$

式中：

$\Pi$ —非电解质稀溶液的渗透压力，kPa

$c_{\text{B}}$ —B的物质的量浓度， $\text{mol L}^{-1}$

$R$ —摩尔气体常数， $8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

$T$ —热力学温度，K

若水溶液的浓度很小，则  $c_{\text{B}} \approx b_{\text{B}}$ ，

$$\Pi = b_{\text{B}}RT$$

范德霍夫方程说明：在一定温度下，非电解质稀溶液的渗透压力仅取决于单位体积溶液中所含溶质的质点数目，而与溶质的性质无关。

通过测量非电解质稀溶液的渗透压力，可计算溶质(小分子除外)的摩尔质量。

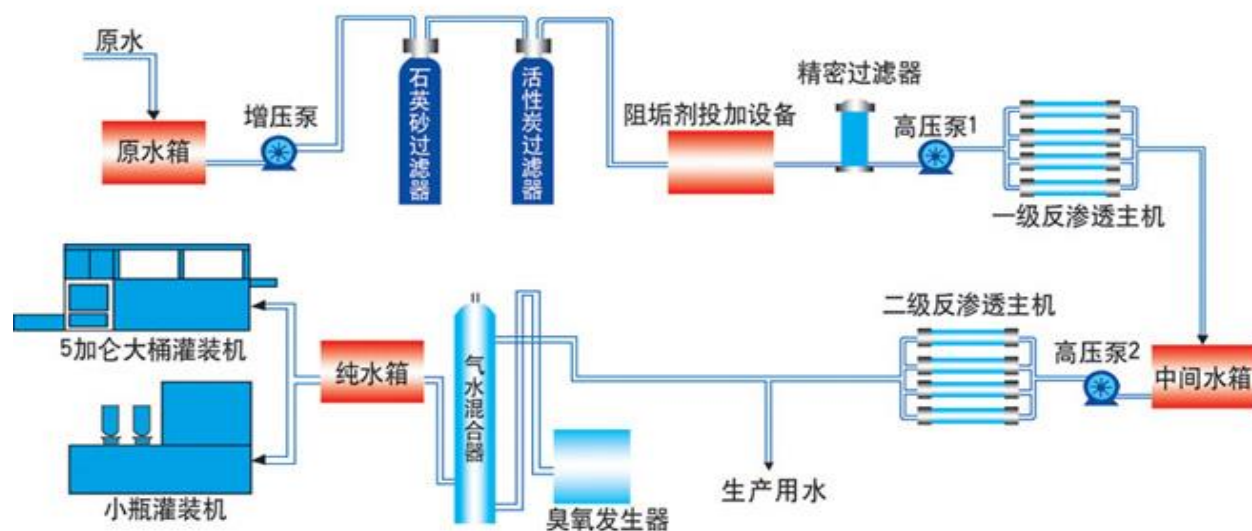
$$\Pi = c_B RT = \frac{m_B / M_B}{V} RT$$

$$M_B = \frac{m_B RT}{\Pi V}$$



**反渗透：**如果在溶液上方施加的压力大于渗透压，则溶液中的溶剂分子会通过半透膜进入纯溶剂中，这个过程叫反渗透。

反渗透的原理多用于海水淡化、污水处理及溶液浓缩等方面。



# 稀溶液定律（稀溶液的依数性）

难挥发、非电解质稀溶液的蒸气压下降、沸点上升、凝固点下降以及渗透压只与一定量溶剂中所含溶质的量(或溶液的浓度)成正比，而与溶质的本性无关。

上述性质称为稀溶液定律 (law of dilute solution)。

稀溶液定律又称为稀溶液的“依数性”  
( colligative properties)。

- 对电解质溶液或浓溶液，不能用拉乌尔定律和范特霍夫公式进行定量计算，可作定性比较；
- 溶液的蒸气压下降、沸点上升、凝固点下降和渗透压等性质取决于所含溶质粒子的数目，与溶质本身性质无关。

例3-1：某氧气钢瓶的容积为40.0L，27℃时氧气的压力为2.02MPa。计算钢瓶内氧气的物质的量。

解：  $V = 40.0 \text{ L} = 4.0 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ ,

$$T = (27 + 273.15) \text{ K} = 300.15 \text{ K}$$

$$p = 2.02 \text{ MPa} = 2.1 \times 10^6 \text{ Pa}$$

由  $pV = nRT$  得：

$$\begin{aligned} n &= \frac{pV}{RT} = \frac{2.02 \times 10^6 \text{ Pa} \times 4.0 \times 10^{-2} \text{ m}^3}{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 300.15 \text{ K}} \\ &= 32.4 \text{ mol} \end{aligned}$$

例：某容器中含有 $\text{NH}_3$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{N}_2$ 等气体。其中  
 $n(\text{NH}_3)=0.320\text{mol}$ ， $n(\text{O}_2)=0.180\text{mol}$ ，  
 $n(\text{N}_2)=0.700\text{mol}$ 。混合气体的总压为 $133\text{kPa}$ 。试计算各组分气体的分压。

解：  $n = n(\text{NH}_3) + n(\text{O}_2) + n(\text{N}_2)$

$$= 0.320\text{mol} + 0.180\text{mol} + 0.700\text{mol}$$

$$= 1.200\text{mol}$$

$$p(\text{NH}_3) = \frac{n(\text{NH}_3)}{n} p$$

$$= \frac{0.320}{1.200} \times 133.0\text{kPa} = 35.5\text{kPa}$$

$$p(\text{O}_2) = \frac{n(\text{O}_2)}{n} p$$

$$= \frac{0.180}{1.200} \times 133.0 \text{ kPa} = 20.0 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} p(\text{N}_2) &= p - p(\text{NH}_3) - p(\text{O}_2) \\ &= (133.0 - 35.5 - 20.0) \text{ kPa} \\ &= 77.5 \text{ kPa} \end{aligned}$$

**例题3-3：**用金属锌与盐酸反应制取氢气。在25℃下，用排水集气法收集氢气，集气瓶中气体压力为98.70kPa（25℃时，水的饱和蒸气压为3.17kPa），体积为2.50L，计算反应中消耗锌的质量。

解：  $T=(273+25)\text{K} = 298\text{K}$

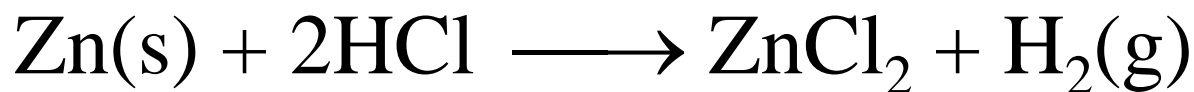
$$p=98.70\text{kPa} \quad V=2.50\text{L}$$

$$298\text{K时}, p(\text{H}_2\text{O})=3.17\text{kPa}$$

$$M_r(\text{Zn})=65.39$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{(98.70 - 3.17)\text{kPa} \times 2.50\text{L}}{8.314\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 298\text{K}}$$

$$= 0.0964\text{mol}$$



65.39g

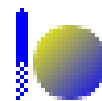
1mol

$m(\text{Zn})=?$

0.0964mol

$$m(\text{Zn}) = \frac{65.39\text{g} \times 0.0964\text{mol}}{1\text{mol}}$$

$$= 6.30\text{g}$$





**例题3-4：** 分别按理想气体状态方程和van der waals方程计算1.50mol SO<sub>2</sub>在30摄氏度占有20.0L体积时的压力，并比较两者的相对误差。如果体积减少为2.00L，其相对误差又如何？

**解：** 已知：  $T=303\text{K}$ ，  $V=20.0\text{L}$ ，  $n=1.50\text{mol}$ ，  
 $a=0.6803\text{Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2}$ ，  
 $b=0.5636 \times 10^{-4} \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$

$$p_1 = \frac{nRT}{V}$$
$$= \frac{1.5\text{mol} \times 8.314\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 303\text{K}}{20.0\text{L}} = 189\text{kPa}$$

$$p_2 = \frac{nRT}{V - nb} - \frac{an^2}{V^2}$$

$$= \frac{1.50\text{mol} \times 8.314\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 303\text{K}}{20.0\text{L} - 0.05636\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1.50\text{mol}} - \frac{(1.5\text{mol})^2 \times 0.6803 \times 10^3 \text{kPa} \cdot \text{L}}{(20.0\text{L})^2}$$

$$= 189.7\text{kPa} - 3.8\text{kPa} = 186\text{kPa}$$

$$\frac{p_1 - p_2}{p_2} = \frac{189 - 186}{186} \times 100\% = 1.61\%$$

$$V = 2.00\text{L} \quad p'_1 = 1.89 \times 10^3 \text{kPa} \quad p'_2 = 1.59 \times 10^3 \text{kPa}$$

$$\frac{p'_1 - p'_2}{p'_2} = \frac{(1.89 - 1.59) \times 10^3}{1.59 \times 10^3} \times 100\% = 18.9\%$$

例3-5将68.4 g 蔗糖 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 溶于1.00 kg 水中，求该溶液的沸点。

解：  $M(C_{12}H_{22}O_{11}) = 342\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

$$n(C_{12}H_{22}O_{11}) = \frac{m(C_{12}H_{22}O_{11})}{M(C_{12}H_{22}O_{11})}$$

$$= \frac{68.4\text{g}}{342\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 0.200\text{mol}$$

$$b(C_{12}H_{22}O_{11}) = \frac{n(C_{12}H_{22}O_{11})}{m(H_2O)} = \frac{0.200\text{mol}}{1.0\text{kg}}$$
$$= 0.200\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$\begin{aligned}\Delta T_b &= k_b b(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) \\ &= 0.512 \text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1} \times 0.200 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1} \\ &= 0.102 \text{ K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_b &= \Delta T_b + T_b(\text{H}_2\text{O}) \\ &= 0.102 \text{ K} + 373.15 \text{ K} \\ &= 373.25 \text{ K}\end{aligned}$$

例3-6：将0.749g某氨基酸溶于50.0 g 水中，测得其凝固点为272.96K。试计算该氨基酸的摩尔质量。

解：  $\Delta T_f = 273.15 \text{ K} - 272.96 \text{ K} = 0.19 \text{ K}$

将：  $b_B = \frac{n_B}{m_A} = \frac{m_B / M_B}{m_A}$       代入：  $\Delta T_f = k_f b_B$

整理得：  $M_B = \frac{k_f m_B}{\Delta T_f m_A}$

$$M_B = \frac{1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.749 \text{ g}}{0.19 \text{ K} \times 50.0 \text{ g}} = 147 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

**例题：** 将下列相同浓度( $0.01\text{mol kg}^{-1}$ )的水溶液，按着蒸气压、沸点、凝固点由低到高顺序排列之：

- |          |                     |
|----------|---------------------|
| (1) NaCl | (2) $\text{CaCl}_2$ |
| (3) 葡萄糖  | (4) HCN             |

**解：**

粒子数目由多到少顺序为 $(2)>(1)>(4)>(3)$ 。

蒸气压由低到高的顺序为 $(2)<(1)<(4)<(3)$ 。

沸点由低到高的顺序为 $(3)<(4)<(1)<(2)$ 。

凝固点由低到高顺序为 $(2)<(1)<(4)<(3)$ 。