

ของเหลว (Liquid) และสารละลาย (Solution)



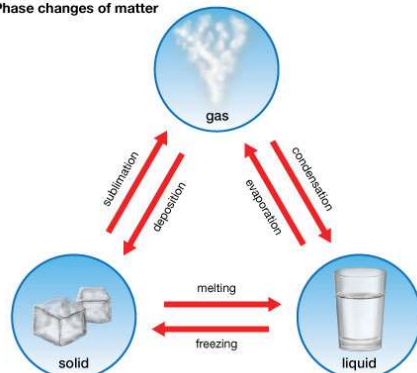
ศิริรัตน์ ไพศาลสุทธิขล
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เนื้อหาของเหลว

1. สมบัติพื้นฐานของของเหลว
2. การเปลี่ยนแปลงสถานะของของเหลว
สมบัติการระเหย ความดันไอ การเดือด
3. สมการของคลอเซียส-คลาเปรอง
(Clausius-Clapeyron)
4. แผนภาพวัฏภาค (Phase Diagram)

2

Phase changes of matter



© 2011 Encyclopedia Britannica, Inc.

การเปลี่ยนสถานะของ แก๊ส ของเหลว และของแข็ง

3

1. สมบัติพื้นฐานของของเหลว

- เมื่ออุณหภูมิและความดันเปลี่ยน ปริมาตรเปลี่ยนน้อยมาก

- ❖ **คุณสมบัติเหมือนแก๊ส** เช่น รูปร่างไม่แน่นอน ไหลได้ แพร่ได้เป็นไอโซโทรปิก (isotropic) คือ สมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง
- ❖ **คุณสมบัติเหมือนของแข็ง** โมเลกุลอยู่ชิดกันแต่จัดเรียงเป็นระเบียบน้อยกว่า

4

แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล น้อย → มาก



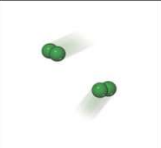
Gas



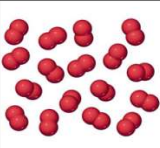
Liquid



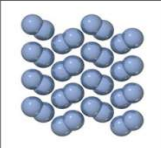
Crystalline Solid



Chlorine, Cl_2
Particles far apart;
possess complete
freedom of motion



Bromine, Br_2
Particles are closely packed but
randomly oriented; retain freedom
of motion; rapidly change neighbors



Iodine, I_2
Particles are closely packed in
an ordered array; positions
are essentially fixed

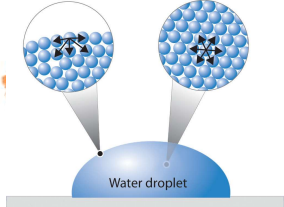
5

ความตึงผิว (Surface tension)

งานที่ใช้ในการขยายพื้นที่ผิวของของเหลว 1 หน่วย
ขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล

ตารางแสดงค่าความตึงผิวของเหลวบางชนิดที่อุณหภูมิ 25°C

ของเหลว	สูตร	ความตึงผิว (N/m)
ปรอท	Hg	0.4855
น้ำ	H_2O	0.0720
เบนซีน	C_6H_6	0.0282
เอทานอล	$\text{C}_2\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$	0.0220
เฮกเซน	C_6H_{14}	0.0179
ไดเอทิลอีเทอร์	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$	0.0167



Water droplet



<https://www.dreamstime.com/royalty-free-stock-image-mercury-hg-image16746076>

6

ความตึงผิว (Surface tension)



A. Water beading on a leaf



B. Water dripping from a tap

$\tau \uparrow$
พลังงานจลน์ $\uparrow$
surface tension $\downarrow$
แรงดึงดูด $\downarrow$

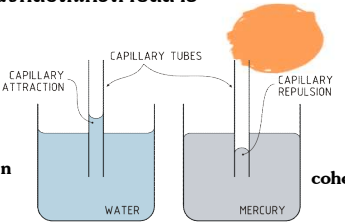


C. Water striders stay atop the liquid because of surface tension

7

คาปิลลารีแอ็กชัน (Capillary action)

- แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลชนิดเดียวกันเรียกว่า **โคฮีชัน (cohesion)** เช่น น้ำ-น้ำ, ปรอท-ปรอท
- ส่วนแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่างชนิดกันเรียกว่า **แอดฮีชัน (adhesion)** เช่น น้ำ-ผนังหลอดแก้วคาปิลลารี



adhesion > cohesion cohesion > adhesion

https://chem.libretexts.org/Core/Physical_and_Theoretical_Chemistry/Physical_Properties_of_Matter/States_of_Matter/Properties_of_Liquids/Capillary_Action

8

ความหนืด (Viscosity)

คือความสามารถของของไหลที่จะต้านการไหล
ยิ่งความหนืดมีค่าสูงของเหลวยิ่งไหลได้ยาก

ความหนืดสูง = แรงระหว่างโมเลกุลสูง

ความหนืดมีหน่วย SI เป็น $\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$ หรือ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$

- อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความหนืดลดลง (พลังงานจลน์สูง)
- อุณหภูมิลดลง ความหนืดเพิ่มขึ้น (พลังงานจลน์ต่ำ)

centipoise (cP). น้ำที่ 20 °C มีความหนืด 1.0020 cP

1 cP = 0.001 $\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$ = 0.001 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$

9

ความหนืด (Viscosity)

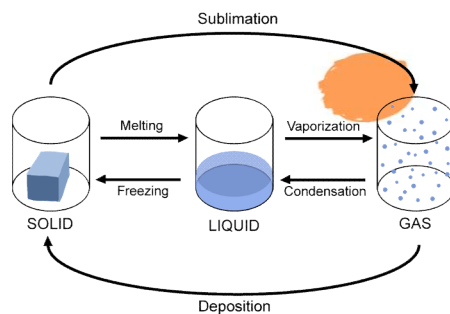
ตารางความหนืดของของเหลวบางชนิดที่ 25 °C

ของเหลว	ความหนืด ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)
Acetone	3.16×10^{-4}
Benzene	6.25×10^{-4}
Carbon tetrachloride	9.69×10^{-4}
Ethanol	1.20×10^{-3}
Ethyl ether	2.33×10^{-4}
Glycerol	1.49
ปรอท	1.55×10^{-3}
น้ำ	1.01×10^{-3}
เลือด	4×10^{-3}

10

2. การเปลี่ยนวัฏภาค

การเปลี่ยนแปลงวัฏภาคหรือสถานะ (Phase) เกิดขึ้นเมื่อมีการใส่พลังงาน
เข้าไป หรือ ดึงพลังงานออกมา ซึ่งมักอยู่ในรูปแบบของความร้อน



<http://www.shmoop.com/matter-properties/phase-change.html>

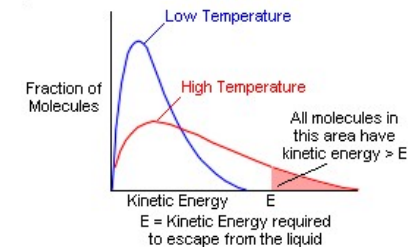
11

การระเหย (Evaporation)

การระเหย เกิดจากการของเหลวเปลี่ยนเป็นแก๊สหรือไอ

ปัจจัยที่มีผลต่อการระเหย

- อุณหภูมิ ($T \propto E_k$)
- แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล
- พื้นที่ผิว
- ความชื้น
- แรงลม

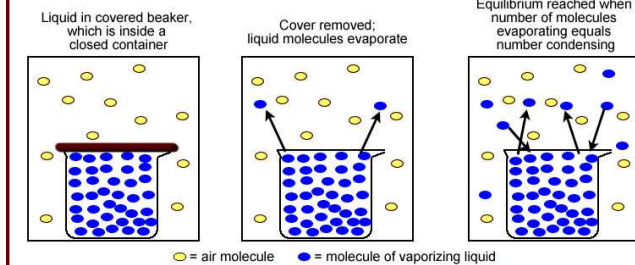


<http://wps.prenhall.com/wps/media/objects/3311/3391416/blb1105.html>

12

การระเหย (Evaporation)

Diagram of Equilibrium Vapor Pressure of Vaporizing Liquid

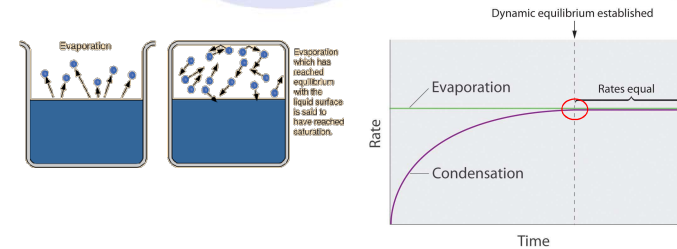


<http://home.miracosta.edu/myeager/108prep/liquidsolids/>

13

ความดันไอ (Vapor pressure)

: ความดันของไอของเหลวที่อยู่เหนือของเหลวในภาชนะปิด



เมื่อ อัตราการควบแน่น = อัตราการระเหย

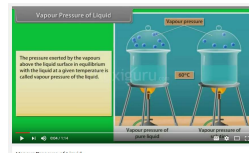
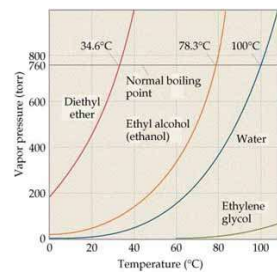
สภาวะสมดุลไดนามิก (dynamic equilibrium)

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Kinetic/vappre.html>

14

ปัจจัยที่มีผลต่อความดันไอ :

1. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล เช่น
แรงดึงดูด: ไดเอทิลอีเทอร์ < เอทานอล < น้ำ
การระเหยและแรงดันไอ: ไดเอทิลอีเทอร์ > เอทานอล > น้ำ
2. อุณหภูมิ

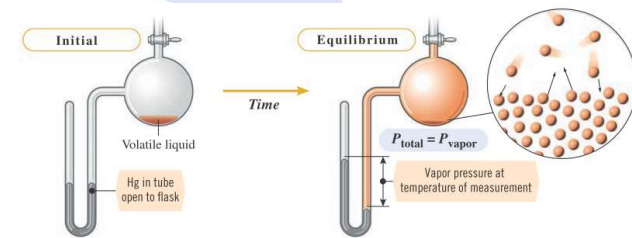


Vapor pressure of four common liquids, shown as a function of temperature. The temperature at which the vapor pressure is 760 torr is the normal boiling point of each liquid.

<http://wps.prenhall.com/wps/media/objects/3311/3391416/blb1105.html>

15

การวัดความดันไอที่สภาวะสมดุล

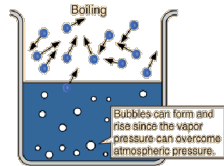


อุปกรณ์วัดความดันไอ Manometer

16

การเดือด (Boiling)

เมื่อของเหลวได้รับความร้อนกลายเป็นไอเกิดเป็นฟองอากาศมีความดัน
ความดันไอของของเหลว = ความดันบรรยากาศ 1 atm



ฟองอากาศลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ เรียกว่า การเดือด
(วัดที่ 1 atm หรือ 760 torr)

อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเดือด เรียกว่าจุดเดือด (Boiling point, T_b)
ถ้าความดัน < 1 atm เช่น บนยอดเขา น้ำจะเดือดที่ < 100 °C

17

การระเหย & การเดือด

Difference Between Evaporation and Vaporisation	
Evaporation	Vaporisation
- The process by which a liquid changes to its vapours at a temperature below its boiling point. - Evaporation takes place at all temperatures. The temperature may change during evaporation. - Evaporation is a slow and silent process. - Evaporation takes place only at the surface of the liquid. - The rate of evaporation depends upon the surface area of the liquid and wind speed, humidity and temperature.	- The process by which a liquid changes to its vapours at its boiling point. - Vaporisation takes place only at a fixed temperature called the boiling point of the liquid. The temperature during vaporisation does not change. - Vaporisation is a fast and violent process. - Vaporisation takes place over the entire mass of the liquid. - The rate of vaporisation does not depend upon the surface area, wind speed, humidity and temperature.

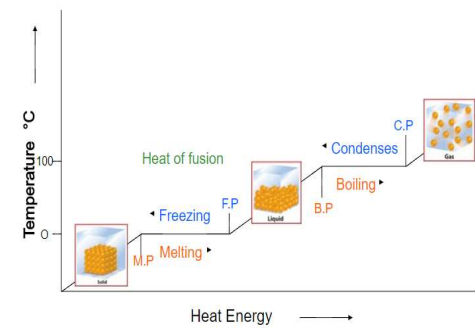
18

การเปลี่ยนแปลงสถานะ



19

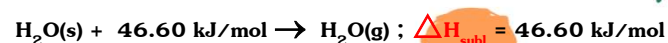
Phase Change Diagram



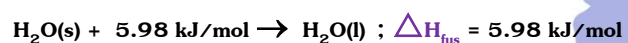
20

พลังงานของการเปลี่ยนวัฏภาค

ถ้าต้องการทำให้น้ำแข็ง 1 โมล เปลี่ยนเป็นไอน้ำโดยตรง เรียกว่า **การระเหิด (sublimation)** 1 โมล พลังงานความร้อนของการระเหิดต่อโมล 46.60 กิโลจูล

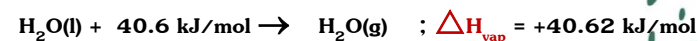


ถ้าต้องการทำให้น้ำแข็ง 1 โมล เปลี่ยนเป็นน้ำโดยตรง เรียกว่า **การหลอมเหลว (fusion)** 1 โมล ความร้อนของการหลอมเหลวต่อโมล 5.98 กิโลจูล



21

ถ้าต้องการทำน้ำ 1 โมล เปลี่ยนเป็นไอน้ำ 1 โมล ที่อุณหภูมิ 25°C เรียกว่า **การระเหย (evaporation)** ต้องให้พลังงานแก่น้ำ 40.62 กิโลจูล



ถ้าต้องการทำไอน้ำ 1 โมล ควบแน่นเป็นน้ำ 1 โมล จะคายพลังงานความร้อน 40.62 กิโลจูล



❖ ความดันไอสูง จุดเดือดต่ำ ΔH_{vap} น้อย

❖ ความดันไอต่ำ จุดเดือดสูง ΔH_{vap} มาก

22

❖ ความร้อนที่ทำให้ ของแข็ง $\rightarrow$ แก๊ส

$\Rightarrow$ ความร้อนของการระเหิดต่อโมล (Molar heat of sublimation) ΔH_{sub}

❖ ความร้อนที่ทำให้ ของแข็ง $\rightarrow$ ของเหลว

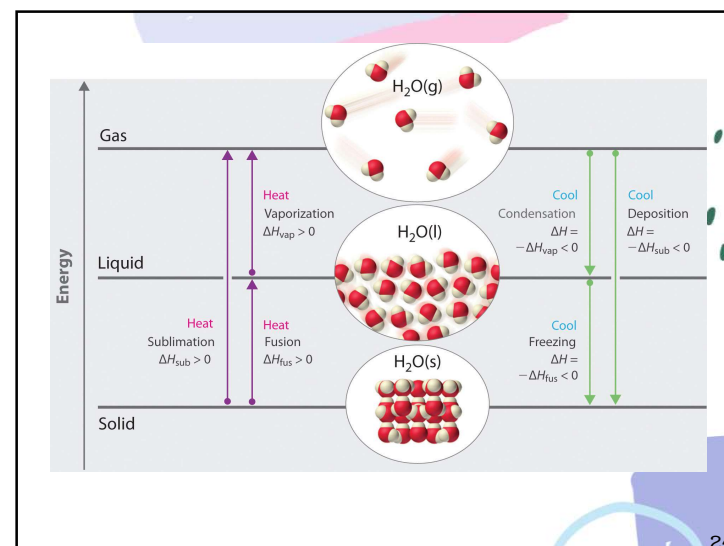
$\Rightarrow$ ความร้อนของการหลอมเหลวต่อโมล (Molar heat of fusion) ΔH_{fus}

❖ ความร้อนที่ทำให้ ของเหลว $\rightarrow$ แก๊ส (ความร้อนของการกลายเป็นไอ)

$\Rightarrow$ ความร้อนของการกลายเป็นไต่อโมล (Molar heat of vaporization) ΔH_{vap}

$$\Delta H_{\text{sub}} = \Delta H_{\text{fus}} + \Delta H_{\text{vap}}$$

23



24

ความร้อนของการกลายเป็นไอต่อโมลาร์ (molar heat of vaporization : ΔH_{vap})

คือ พลังงานที่ต้องใช้ในการทำให้ของเหลว 1 โมล กลายเป็นไอ
: ΔH_{vap} (Vaporization)

สัมพันธ์โดยตรงกับความแข็งแรงของแรงระหว่างโมเลกุล
ถ้าแข็งแรงมาก ΔH_{vap} จะมีค่าสูง แต่ความดันไอจะมีค่าต่ำ

ΔH = เอนทัลปี (Enthalpy) เกี่ยวข้องกับอุณหพลศาสตร์ (thermodynamics)

25

3. สมการของคลอเซียส-คลาเปรอง (Clausius-Clapeyron)

ความดันไอของเหลว P จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ T

$$\ln P = -\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{RT} + C$$

ln คือ log ธรรมชาติ

ΔH_{vap} คือ ความร้อนโมลาร์ของการกลายเป็นไอ

R คือ ค่าคงที่ก๊าซ ($8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

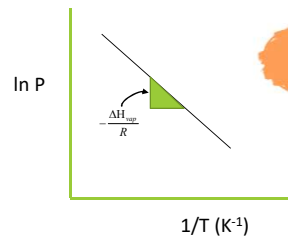
C คือ ค่าคงที่สมการคลอเซียส-คลาเปรอง

26

การหาความร้อนของการกลายเป็นไอ

$$\ln P = \left(-\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{R} \right) \left(\frac{1}{T} \right) + C$$

y = m x + b



ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln P$ กับ $1/T$ ของของเหลว

27

สมการของคลอเซียส-คลาเปรอง

$$\ln P = -\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{RT} + C \quad \Rightarrow \quad 2.303 \log P = -\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{RT} + C$$

ถ้าของเหลวชนิดเดียวกัน มีความดันไอ P_1 ที่อุณหภูมิ T_1 และมีความดันไอ P_2 ที่อุณหภูมิ T_2

$$2.303 \log P_1 = -\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{RT_1} + C \quad \dots\dots(1)$$

$$2.303 \log P_2 = -\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{RT_2} + C \quad \dots\dots(2)$$

28

สารชนิดเดียวกัน C เท่ากัน นำ (2) - (1) จะได้

$$2.303 \log \frac{P_2}{P_1} = -\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{R} \left[\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right] \quad \dots (3)$$

ตัวอย่างที่ 1 ความดันไอของ CCl_4 เท่ากับ 0.132 atm ที่ 23 °C และ 0.530 atm ที่ 60 °C จงคำนวณหา ΔH_{vap} ของสารนี้

โจทย์กำหนด $P_1 = 0.132 \text{ atm}$ $T_1 = 23^\circ\text{C} = 23+273 = 296 \text{ K}$
และ $P_2 = 0.532 \text{ atm}$ $T_2 = 60^\circ\text{C} = 60+273 = 333 \text{ K}$

$$\Delta H_{\text{vap}} = 30.819 \text{ kJ/mol}$$

29

ตัวอย่างที่ 2

ความดันไอของปรอทแสดงดังตาราง จงหา

ก. คำนวณหา ΔH_{vap} ของสารที่อุณหภูมิ 80.0 °C (T_1) กับ 120.0 °C (T_2)

ข. จงหาความดันที่อุณหภูมิ 160.0 °C (T_2) เทียบกับอุณหภูมิ 80.0 °C (T_1)

T (°C)	80.0	100	120	140
P (torr)	0.0888	0.2729	0.7457	1.845

$$2.303 \log \frac{P_2}{P_1} = -\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{R} \left[\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right]$$

$$\text{ก. } 61400 \text{ J/mol} = 61.4 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{ข. } 4.21 \text{ torr}$$

30

ตัวอย่างที่ 3

เอทิลเอเทอร์มีความดันไอ 401 mmHg ที่ 18.0 °C จงหาความดันไอที่ 32.0 °C (กำหนดให้ $\Delta H_{\text{vap}} = 26.0 \text{ kJ/mol}$) **657 mmHg**

ตัวอย่างที่ 4

เอทานอลมีความดันไอ 100 mmHg ที่ 34.9 °C จงหาความดันไอที่ 63.5 °C (กำหนดให้ $\Delta H_{\text{vap}} = 39.3 \text{ kJ/mol}$) **369 mmHg**

31

การหลอมละลาย/แข็งตัว

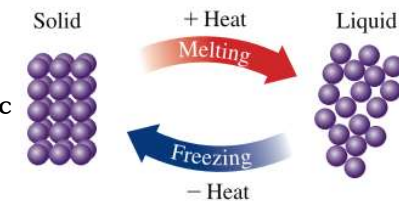
เป็นกระบวนการตรงข้ามกันและที่สำคัญคือ อุณหภูมิจะคงที่ระหว่างที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ

เมื่อให้ความร้อน

ทองคำหลอมละลายที่ 1064 °C

เมื่อคายความร้อน (เย็นตัว)

ทองคำแข็งตัวที่ 1064 °C



Melting and freezing are reversible processes.

32

ความร้อนของการหลอมเหลวต่อโมลาร์:

(molar heat of fusion: ΔH_{fus})

นิยามคือ พลังงานที่ต้องใช้ในการหลอมของแข็ง 1 โมล ΔH_{fus} (Fusion)

ตัวอย่างการคำนวณ ΔH_{fus}

เติมน้ำแข็ง 26.0 g ลงในน้ำชา (ΔH_{fus} 334 J/g) จงหา
ต้องใช้ความร้อนเท่าไรในการละลายน้ำแข็งทั้งหมด

$$\frac{334 \text{ J}}{1 \text{ g H}_2\text{O}} \times 26.0 \text{ g H}_2\text{O} = 8684 \text{ J}$$

33

ตัวอย่างการคำนวณ ΔH_{fus}

ตัวอย่างที่ 4

53.1 g of H_2O exists as a liquid at 0°C . How many kJ must be removed to turn the water into a solid at 0°C

ตัวอย่างที่ 5

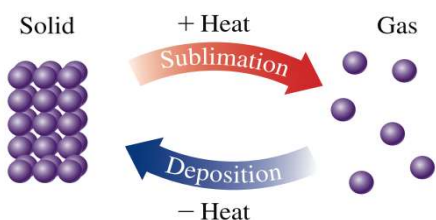
Calculate the heat of fusion for water in J/g

using the heat of fusion for water in J/g, calculate the energy needed to melt 50.0 g of water at its melting point of 0°C .

34

ความร้อนของการระเหิดต่อโมลาร์

(molar heat of sublimation: ΔH_{sub})

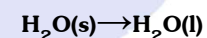


Sublimation and deposition are reversible processes.

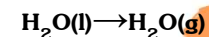
$$\Delta H_{\text{sub}} = \Delta H_{\text{fus}} + \Delta H_{\text{vap}}$$

35

•Step 1: The melting of solid water to generate liquid water



•Step 2: The evaporation of liquid water to generate gaseous water



we're back to the sublimation equation:

Step 1 + Step 2 = Sublimation

$$\Delta H_{\text{fus}} + \Delta H_{\text{vap}} = \Delta H_{\text{sub}}$$

36

การคำนวณพลังงานรวมของการเปลี่ยนแปลงสถานะ

$$Q = mC \Delta T$$

Q คือความร้อน (J)

m คือ มวล (g)

C คือความจุความร้อนจำเพาะ ($J g^{-1} ^\circ C$)

ΔT คืออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ($^\circ C$)

37

ตัวอย่างที่ 6

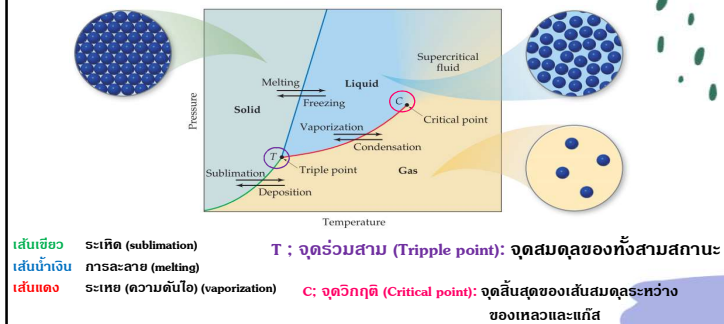
จงคำนวณพลังงาน (เป็นกิโลจูล) ที่ต้องใช้ในการทำให้ น้ำ 346 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก $0 ^\circ C$ เป็น $182 ^\circ C$ กำหนดให้ ความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ $4.181 J/g \cdot ^\circ C$ ตลอดทั้งช่วง ที่เป็นของเหลว และความร้อนจำเพาะของไอน้ำเท่ากับ $1.99 J/g \cdot ^\circ C$ ($\Delta H_{vap} = 40.79 kJ/g$)

$$Q = mC \Delta T$$

38

4. แผนผังวัฏภาค (Phase diagram)

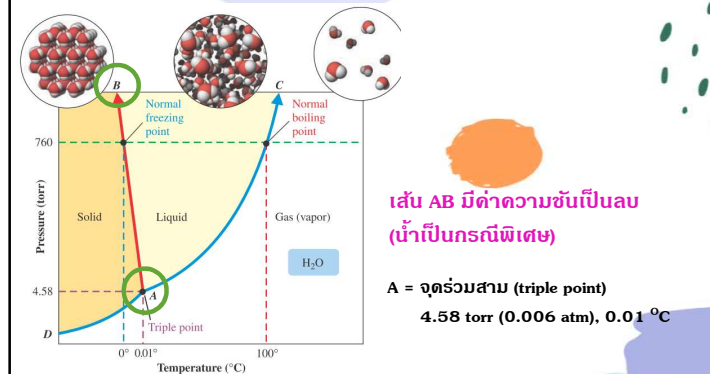
: แผนผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสถานะของสารที่ความดันและอุณหภูมิต่าง ๆ



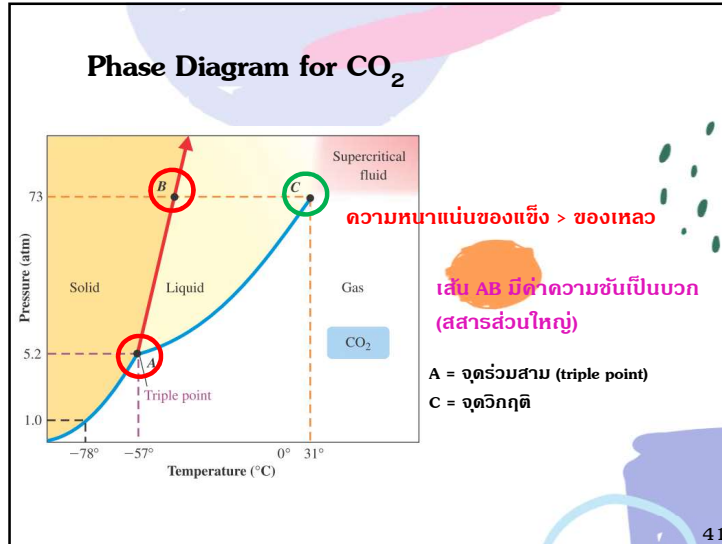
39

Phase Diagram for H_2O

ความหนาแน่นของแข็ง < ของเหลว



40



ข้อสังเกต

เส้นแบ่งวัฏภาคของแข็ง-ของเหลว (solid-liquid line) ของน้ำเอนไปทางซ้าย แต่ของสารอื่นส่วนใหญ่เอนไปทางขวา แสดงว่า เมื่อความดันเพิ่ม อุณหภูมิที่น้ำแข็งอยู่ในสภาวะสมดุลกับน้ำลดลง คือ จุดหลอมเหลวของน้ำแข็งลดลง เพราะน้ำแข็งมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ซึ่งเป็นสมบัติของน้ำที่แปลกกว่าสารอื่น (สารอื่นของแข็งมีความหนาแน่นมากกว่าของเหลว)

42

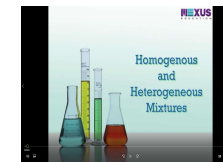
สารละลาย (Solution)



43

เนื้อหาของสารละลาย

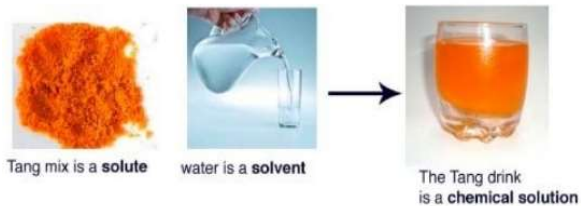
1. คำจำกัดความของสารละลาย ตัวถูกละลาย ตัวทำละลาย
2. หน่วยความเข้มข้นของสารละลาย
3. ปัจจัยที่มีผลต่อการละลาย
4. สมบัติคอลลิเกทีฟ (Colligative) และการคำนวณ



44

1. สารละลาย ตัวถูกละลาย ตัวทำละลาย

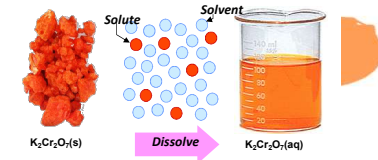
สารละลาย (Solution) คือ ของผสมเนื้อเดียว
(homogeneous mixture)



45

องค์ประกอบของสารละลาย

- สารที่มีปริมาณมากกว่าเป็น **ตัวทำละลาย (solvent)**
- สารที่มีปริมาณน้อยกว่าเป็น **ตัวถูกละลาย (solute)**
- สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายเรียกว่า **aqueous solution (aq)**



การละลาย (dissolve) คือการที่สารชนิดหนึ่ง (ตัวถูกละลาย) แตกตัว
ออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ และแทรกตัวในสารอีกชนิดหนึ่ง (ตัวทำละลาย)

46

การเรียกชนิดสารละลาย

ชนิดของสารละลายเรียกตามจำนวนองค์ประกอบ
ตัวอย่างเช่น

1. สารละลายทวิภาค (Binary Solution)

คือ สารละลายที่มี 2 องค์ประกอบ เช่น
น้ำเชื่อม

2. สารละลายไตรภาค (Ternary Solution)

คือสารละลายที่มี 3 องค์ประกอบ เช่น น้ำหวานโซดา
(น้ำ + น้ำตาล + โซดา)

47

ชนิดของสารละลาย

ประเภท	Solvent	Solute	ตัวอย่าง
สารละลายแก๊ส	แก๊ส	แก๊ส	อากาศ
	แก๊ส	ของเหลว	ไอน้ำในอากาศ
	แก๊ส	ของแข็ง	ไอโอดีนในอากาศ
สารละลายของเหลว	ของเหลว	แก๊ส	น้ำโซดา
	ของเหลว	ของเหลว	แอลกอฮอล์ในน้ำ
	ของเหลว	ของแข็ง	น้ำเกลือ น้ำเชื่อม
สารละลายของแข็ง	ของแข็ง	แก๊ส	H ₂ ใน Pd
	ของแข็ง	ของเหลว	ปรอทในทอง
	ของแข็ง	ของแข็ง	ทองเหลือง นาก

48



การเตรียมสารละลาย

49

ขวดเชิงปริมาตร (Volumetric Flask) ใช้เพื่อปรับปริมาตรของสารละลายรวมให้ได้ปริมาตรที่ต้องการ

❖ ใส่ตัวถูกละลายตามปริมาณที่ต้องการในขวดเชิงปริมาตร (ถ้าเป็นของแข็ง ให้ละลายตัวถูกละลายก่อนใส่ในขวด)

❖ เติมตัวทำละลายจนได้ปริมาตรของสารละลายเท่าที่ต้องการ



<http://www.caruscorporation.com/resources/content/7/5/images/remediation6.png>

50

2. หน่วยความเข้มข้นของสารละลาย

1. ความเข้มข้นร้อยละ

- ร้อยละโดยมวล (%w/w)
- ร้อยละโดยปริมาตร (%w/v)
- ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร (%v/v)



2. โมลาริตี (Molarity)

3. โมแลลิตี (Molality)

4. เศษส่วนโมล (Mole Fraction)

<http://www.oxidationsystems.com/products/permananate.html>

51

1. ความเข้มข้นร้อยละ

ร้อยละโดยมวล (% by weight)

$$\%w/w = \frac{\text{มวลตัวถูกละลาย (g)}}{\text{มวลสารละลาย (g)}} \times 100\%$$

ร้อยละโดยปริมาตร (% by volume)

$$\%v/v = \frac{\text{ปริมาตรตัวถูกละลาย (ml)}}{\text{ปริมาตรสารละลาย (ml)}} \times 100\%$$

ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร (% weight by volume)

$$\%w/v = \frac{\text{มวลตัวถูกละลาย (g)}}{\text{ปริมาตรสารละลาย (ml)}} \times 100\%$$

52

ตัวอย่างที่ 7

1. NaOH เข้มข้น 10% โดยมวล
2. สารละลาย NaCl เข้มข้น 10 % โดยมวลต่อปริมาตร
3. สารละลายเอทานอลเข้มข้น 10% โดยปริมาตร

53

ตัวอย่างที่ 8

สารละลายน้ำตาลซูโครส ประกอบด้วยซูโครส 30.0 กรัม ในน้ำ 150.0 กรัม
จงหาความเข้มข้นเป็นร้อยละโดยมวลของสารละลายนี้

$$\%(w/w) = \frac{\text{mass of solute(g)}}{\text{mass of solution(g)}} \times 100$$

$$\%(w/w) = \frac{30.0 \text{ (g)}}{30.0 + 150.0 \text{ (g)}} \times 100$$

$$\%(w/w) = 16.7\%$$

54

ตัวอย่างที่ 9

จะต้องใช้ CaCl_2 กี่กรัม ละลายน้ำ 150 กรัมเพื่อเตรียมสารละลาย CaCl_2 เข้มข้น 5 % โดยมวล

$$\%w/w = \frac{\text{มวล } \text{CaCl}_2}{\text{มวล } \text{CaCl}_2 + \text{มวลน้ำ}} \times 100\%$$

55

2. โมลาริตี (Molarity, M)

จำนวนโมลของตัวถูกละลายในสารละลาย 1 ลิตร หรือ 1000 มิลลิลิตร

$$M = \frac{\text{โมลตัวถูกละลาย (mol)}}{\text{ปริมาตรสารละลาย (litre)}}$$

$$1 \text{ Litre} = 1000 \text{ ml} = 1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ dm}^3$$

$$\text{Molar} \rightarrow 1 \text{ M (โมลาร์)} = 1 \text{ mol/dm}^3 = 1 \text{ mol/L}$$

สารละลาย Ca(OH)_2 เข้มข้น 0.05 mol/dm^3

หมายถึง Ca(OH)_2 0.05 โมล ในสารละลาย 1 L

56

ตัวอย่างที่ 10

จงคำนวณความเข้มข้นเป็นโมลาริตีของสารละลาย KNO_3 ซึ่งประกอบด้วย KNO_3 จำนวน 15.0 g ละลายอยู่ในสารละลาย 900 cm^3 ($K=39.1$, $N=14.0$ $O=16.0$)

(สารละลาย KNO_3 เข้มข้น 0.1847 M)

57

3. โมแลลิตี (Molality, m)

จำนวนโมลของตัวถูกละลายในตัวทำละลาย 1 กิโลกรัม

$$m = \frac{\text{โมลตัวถูกละลาย (mol)}}{\text{มวลตัวทำละลาย (kg)}}$$

$\frac{\text{g(solute)}}{\text{MW(solute)}}$
 kg(solvent)

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$$

$$\text{Molal} \rightarrow 1 \text{ m (โมแลล)} = 1 \text{ mol/kg}$$

สารละลาย NaOH(aq) เข้มข้น 0.05 molal หมายถึง มี

NaOH 0.05 โมล ในตัวทำละลายน้ำ 1 kg

58

ตัวอย่างที่ 11

จงหาความเข้มข้นเป็นโมแลลิตีของสารละลาย NaCl ซึ่งประกอบด้วย NaCl 10.00 กรัม ในน้ำ 200 กรัม ($\text{Na} = 23.0$, $\text{Cl} = 35.5$)

น้ำ 200 g มี NaCl จำนวน = mol

น้ำ 1000 g มี NaCl จำนวน = mol

สารละลาย NaCl เข้มข้น m (โมแลล)

59

4. เศษส่วนโมล (Mole Fraction, x)

อัตราส่วนระหว่างจำนวนโมลของตัวทำละลายหรือตัวถูกละลายต่อจำนวนโมลทั้งหมดในสารละลาย (ไม่มีหน่วย) ไม่ต้องระบุว่าสารใดเป็นตัวทำละลายหรือตัวถูกละลาย

ถ้าสารละลายประกอบด้วยสาร A และสาร B

$$x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} \quad x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \quad x_A + x_B = 1$$

x_A : เศษส่วนโมลของ A n_A : จำนวนโมลของสาร A

x_B : เศษส่วนโมลของ B n_B : จำนวนโมลของสาร B

60

ตัวอย่างที่ 12

สารละลายชนิดหนึ่งประกอบด้วยน้ำ 36.0 กรัมและกลีเซอริน [$C_3H_5(OH)_3$] 46.0 กรัม จงหาเศษส่วนโมล ของน้ำ (MW=18.0 g/mol) และกลีเซอริน (MW=92.0 g/mol)

โมลของน้ำ (n_1) = mol

โมลของกลีเซอริน (n_2) = mol

เศษส่วนโมลของน้ำ (x_1) =

เศษส่วนโมลของกลีเซอริน (x_2) =

$$x_A + x_B = 1$$

61

แบบฝึกหัด

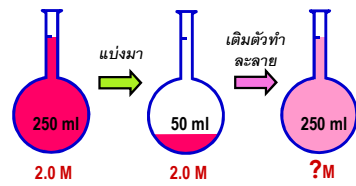
เตรียมสารละลายโดยชั่งสาร $KMnO_4$ 5.00 g (Molecular Weight 158.03) ละลาย แล้วปรับปริมาตรในขวดเชิงปริมาตรขนาด 100 ml น้ำหนักรวมของสารละลายเท่ากับ 105.0 g จงคำนวณหาความเข้มข้น

- Molarity
- % w/v
- % w/w
- Molality
- Mole Fraction

62

การเจือจางสารละลาย (Dilution)

การเจือจางสารละลายคือการทำให้ความเข้มข้นของสารละลายลดลง โดยการเพิ่มตัวทำละลาย



การเจือจางทำให้ความเข้มข้นลดลงแต่จำนวนโมลเท่าเดิม

$$2\text{ M} \times 50\text{ ml} = C_2 \times 250\text{ ml}$$

$$C_2 = \frac{2\text{ M} \times 50\text{ ml}}{250\text{ ml}} = 0.40\text{ M}$$

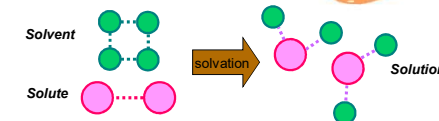
$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

63

การละลายได้ (Solubility)

การที่อนุภาคของตัวถูกละลายเข้าไปแทนที่อนุภาคของตัวทำละลายเกิดขึ้นได้เมื่อ

- ⊗ ทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวทำละลาย (Solvent)
- ⊗ ทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกละลาย (Solute)
- ⊗ สร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวทำละลายและตัวถูกละลาย



64

ความร้อนของการละลาย (ΔH_{soln})

กระบวนการละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลายประกอบด้วย

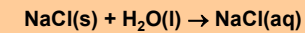
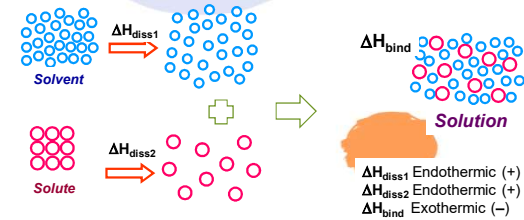
- การทำให้พันธะยึดเหนี่ยว Solvent-Solvent และ Solute-Solute $\rightarrow \Delta H_{\text{diss}}$ มีค่าบวก (ดูดพลังงาน)
- การเกิดแรงยึดเหนี่ยว Solvent-Solute $\rightarrow \Delta H_{\text{bind}}$ มีค่าลบ (คายพลังงาน)
- ความร้อนของการละลาย $\Delta H_{\text{soln}} = \Delta H_{\text{diss}} + \Delta H_{\text{bind}}$

ΔH_{soln} เป็นบวก $\rightarrow$ ดูดความร้อน

ΔH_{soln} เป็นลบ $\rightarrow$ คายความร้อน

65

ขั้นตอนการเกิดสารละลาย



$$\Delta H_{\text{soln}} = \Delta H_{\text{diss}}(\text{NaCl}) + \Delta H_{\text{diss}}(\text{H}_2\text{O}) + \Delta H_{\text{bind}}(\text{NaCl})$$

66

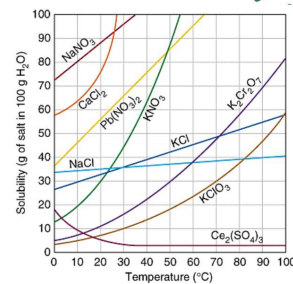
สภาพการละลายได้ (solubility)

สภาพการละลายได้ คือ จำนวนกรัมของตัวถูกละลายที่มากที่สุดที่ละลายได้ในตัวทำละลาย 100 กรัม ในสภาวะสมดุล

สภาพการละลายได้ขึ้นกับ

- ❖ ชนิดของตัวทำละลาย
- ❖ ชนิดของตัวถูกละลาย
- ❖ อุณหภูมิ & ความดัน

Solubility	สมบัติการละลายน้ำ
< 0.1 g	ไม่ละลาย
0.1 – 1.0 g	ละลายได้เล็กน้อย
> 1.0 g	ละลาย

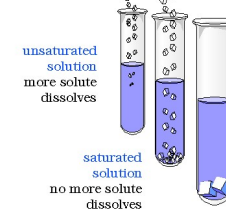


67

สารละลายอิ่มตัว (Saturated Solution)

คือสารละลายที่มีปริมาณตัวถูกละลาย ละลายอยู่มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ที่อุณหภูมินั้น ๆ

Saturated Solutions



สารละลายอิ่มตัวยิ่งยวด

Supersaturation คือ สารละลายที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงกว่าสภาพการละลายได้

<http://byjus.com/chemistry/saturated-solution/>

68

สารละลายอิ่มตัว (Saturated Solution)

- ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย < สภาพละลายได้
→ ตัวถูกละลายสามารถละลายเพิ่มได้อีก
- ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย = สภาพละลายได้
→ สารละลายอิ่มตัว ไม่มีตะกอน
- ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย > สภาพละลายได้
→ สารละลายอิ่มตัวยิ่งยวด มีตะกอน

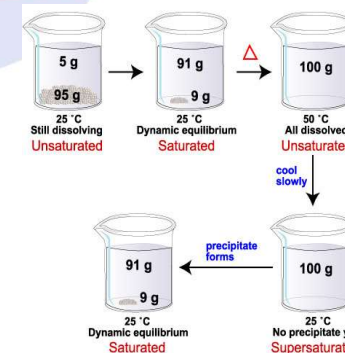


69

สภาพละลายได้และอุณหภูมิ

Temperature	Solubility in grams of glucose per 100 mL of water*
25 C	91
30 C	125
50 C	244
70 C	357
90 C	556

*H₂O 100 mL = 100 g



70

ตัวอย่าง 13 สารละลายอิ่มตัว

สารละลาย C₆H₅COOH (aq) อิ่มตัว มีความเข้มข้น 0.0237 M
จงหาสภาพการละลายได้ของ C₆H₅COOH (aq) ในน้ำ 100 กรัม
(ความหนาแน่นของ C₆H₅COOH (aq) มีค่า 1.02 g/ml)

$$MW(C_6H_5COOH) = 122 \text{ g/mol}$$

71

ความหนาแน่นของ C₆H₅COOH (aq) มีค่า 1.02 g/ml หมายถึง

72

3. ปัจจัยที่มีผลต่อสภาพการละลาย

1. ชนิดของตัวถูกละลายและตัวทำละลาย

- แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคขึ้นอยู่กับชนิดของสาร
- สารมีขั้ว ดึงดูดกันด้วย แรงแบบมีขั้ว (มีค่าสูง)
- สารไม่มีขั้ว ดึงดูดกันด้วย แรงแบบไม่มีขั้ว (มีค่าต่ำ)

"Like dissolves like"

แรงระหว่างสารมีขั้วด้วยกัน คือ dipole – dipole interaction, Hydrogen bond และ Electrostatic interaction

แรงระหว่างสารไม่มีขั้วด้วยกัน คือ Van der Waals interaction

73

ความสามารถในการละลายของแอลกอฮอล์

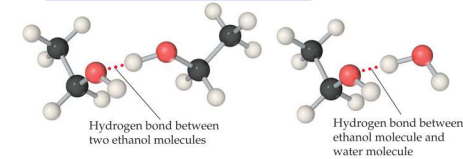


TABLE 13.2 • Solubilities of Some Alcohols in Water and in Hexane*

Alcohol	Solubility in H ₂ O	Solubility in C ₆ H ₁₄
CH ₃ OH (methanol)	∞	0.12
CH ₃ CH ₂ OH (ethanol)	∞	∞
CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH (propanol)	∞	∞
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OH (butanol)	0.11	∞
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OH (pentanol)	0.030	∞
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OH (hexanol)	0.0058	∞

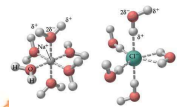
*Expressed in mol alcohol/100 g solvent at 20 °C. The infinity symbol (∞) indicates that the alcohol is completely miscible with the solvent.

จำนวน C มีผลกระทบบต่อการละลายในน้ำ

74

การละลายของสารประกอบไอออนิก

- ❖ สารประกอบไอออนิกส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ (น้ำมีขั้ว) เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างน้ำและไอออน
- ขั้วลบของน้ำ จับกับ ไอออนบวก
- ขั้วบวกของน้ำ จับกับ ไอออนลบ



- ❖ เกลือไอออนิกบางชนิดละลายน้ำได้น้อยหรือไม่ละลาย เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างไอออนบวกและไอออนลบมีค่าสูงมาก เช่น AgCl, Hg₂Cl₂, PbCl₂, BaSO₄, PbSO₄, SrSO₄ (AgCl 0.0018 g / น้ำ 1 ลิตร ที่ 25 °C)

<http://wps.prenhall.com/wps/media/objects/3312/3391718/1/b1301.html>

75

2. อุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน สารจะละลายมากขึ้นหรือน้อยลง ขึ้นกับเป็นกระบวนการดูดหรือคายความร้อน

- ❖ ปฏิกิริยาดูดความร้อน ($\Delta H = +$)
- เพิ่ม T สารละลายมากขึ้น

- ❖ ปฏิกิริยาคายความร้อน ($\Delta H = -$)
- เพิ่ม T สารละลายน้อยลง

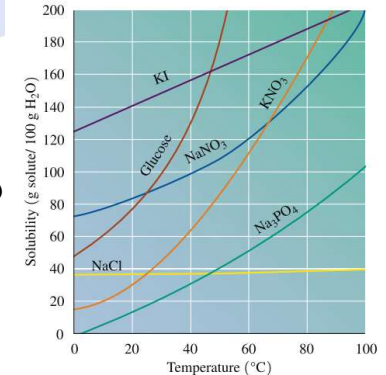


FIGURE 12.5 In water, most common solids are more soluble as the temperature increases.

76

แบบฝึกหัด

ความร้อนของสารละลาย LiCl(aq) มีค่า $= -37.42 \text{ kJ/mol}$ และสภาพการละลายได้ของ LiCl(aq) ที่ 0°C เท่ากับ 63.7 g/100 ml

◦ การละลายของ LiCl คาย หรือ ดูดความร้อน

◦ ถ้าเพิ่มอุณหภูมิ LiCl จะละลายมากขึ้น หรือ น้อยลง

◦ ที่อุณหภูมิ 10°C ถ้าสารละลายมีปริมาณ LiCl 150.0 g ในน้ำ 200 ml สารละลายนี้เป็นสารละลายแบบใด

- เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้สภาพการละลายลดลง ($< 63.7 \text{ g/100ml}$)
- ค่า ΔH เป็นลบ การละลายเป็นกระบวนการคายความร้อน

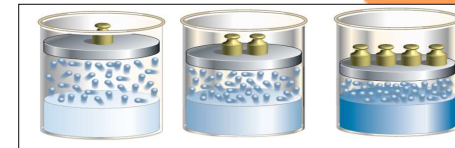
77

3. ความดัน

กรณีที่ตัวถูกละลายเป็นแก๊ส ถ้าความดันแก๊สเพิ่ม แก๊สจะละลายได้มากขึ้น



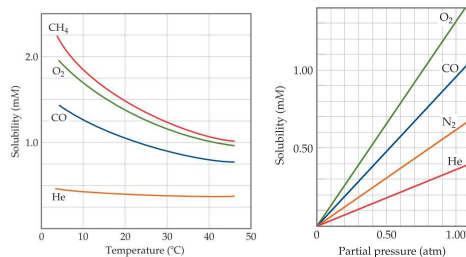
$$(\text{Henry's Law}) \quad C = kP$$



C คือความเข้มข้น (mol L^{-1}), k ค่าคงที่ที่ก๊าซแต่ละชนิด, P คือความดัน (atm)

78

เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิและความดันต่อการละลายก๊าซในของเหลว



น้ำเสียจากโรงงานที่มีอุณหภูมิสูง $\rightarrow \text{O}_2$ ในน้ำลดลง $\rightarrow$ สัตว์น้ำตาย

79

ตัวอย่าง 14

ความสามารถในการละลายก๊าซ N_2 ที่ 25°C , 1 atm เท่ากับ $6.8 \times 10^{-4} \text{ M}$ จงหาความเข้มข้นของ N_2 ที่ละลายอยู่ในน้ำ (เมื่อความดันย่อยของ $\text{N}_2 = 0.78 \text{ atm}$)

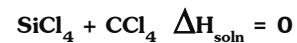
(คำตอบ $5.3 \times 10^{-4} \text{ M}$)

80

สารละลายสมบูรณ์แบบ (Ideal Solution)

คือสารละลายที่ solute และ solvent มีสมบัติใกล้เคียงกัน

- โครงสร้างคล้ายกัน
- ขนาดใกล้เคียงกัน
- แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเป็นแบบเดียวกัน



81

ถ้าพลังงานที่ใช้ในการแยกตัวถูกละลายและแยกตัวทำละลาย (ΔH_{diss}) มีขนาดเท่ากับพลังงานที่คายออกมาเมื่อตัวถูกละลายและตัวทำละลายดึงดูดกัน (ΔH_{bind})

$$\Delta H_{\text{soln}} = \Delta H_{\text{diss}} + \Delta H_{\text{bind}} = 0$$

สารละลายที่ได้เรียกว่า สารละลายสมบูรณ์แบบ

$$\Delta H_{\text{soln}} = 0 \rightarrow \text{ideal solution}$$

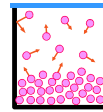
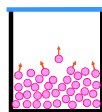
$$\Delta H_{\text{soln}} \neq 0 \rightarrow \text{non-ideal solution}$$

82

ความดันไอเหนือของเหลว (Vapor Pressure)

ความดันไอ คือ ความดันของสารในสภาวะแก๊สเหนือของเหลว ที่สมดุลระหว่างของเหลวและแก๊สที่อุณหภูมินั้น ๆ

- ❖ ความดันไอเกิดจากสารที่ผิวของของเหลวระเหยกลายเป็นไอ เนื่องจากสารที่ผิวมีแรงยึดเหนี่ยวน้อยกว่าสารด้านล่าง
- ❖ ความดันไอขึ้นกับชนิดของสาร และอุณหภูมิ



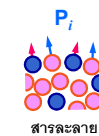
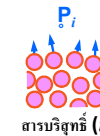
สมดุลระหว่าง
ของเหลวและไอ

83

ความดันไอของสารละลายสมบูรณ์แบบ

ราอูลท์ (Raoult) สรุปว่า

ที่อุณหภูมิคงที่ความดันไอของสารองค์ประกอบในสารละลาย (P_i) มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างเศษส่วนโมลของสาร (X_i) กับความดันไอของสารบริสุทธิ์ (P_i°)



$$P_i^\circ > P_i$$

$$P_i = X_i \times P_i^\circ$$

84

ถ้าสารละลายประกอบด้วยสาร A และ B

$$P_A = x_A \times P_A^\circ$$

$$P_B = x_B \times P_B^\circ$$

$$P_{total} = P_A + P_B$$

◦ P_{total} = ความดันรวม

◦ P_A, P_B = ความดันไอของสาร A และ B ในสารละลาย

◦ P_A°, P_B° = ความดันไอของสาร A และ B บริสุทธิ์

◦ x_A, x_B = เศษส่วนโมลของสาร A และ B ในสารละลาย

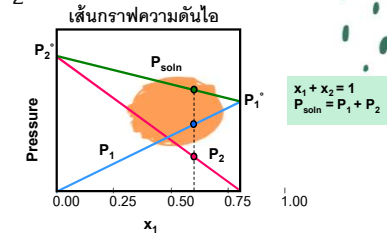
ถ้าสารละลายประกอบด้วยสาร A, B, C ...

$$P_{total} = P_A + P_B + P_C + \dots$$

85

ถ้าทั้งตัวทำละลาย(1)และตัวถูกละลาย(2) ระเหยได้

$$\begin{aligned} P_{soln} &= P_1 + P_2 \\ &= x_1 P_1^\circ + x_2 P_2^\circ \end{aligned}$$



ถ้าตัวถูกละลาย(2) ไม่ระเหยและไม่แตกตัว ($P_2 = 0$)

$$P_{soln} = P_1 = x_1 P_1^\circ$$

86

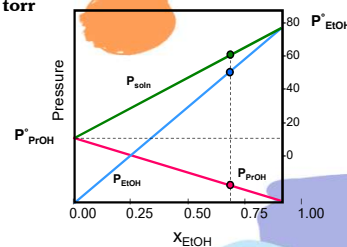
ตัวอย่าง 15 ความดันไอ

จงคำนวณหา P_{soln} ที่ 30°C ของสารละลายสมบูร์กแบบ ซึ่งประกอบด้วย C_2H_5OH และ C_3H_7OH

โดย $x_{EtOH} = 0.75$ $P_{EtOH}^\circ = 79.1$ torr $P_{PrOH}^\circ = 27.6$ torr

$$P_{soln} = P_{EtOH} + P_{PrOH}$$

$$= (0.75 \times 79.1) + (0.25 \times 27.6) \text{ torr}$$



87

ความดันไอของสารละลายไม่สมบูร์กแบบ

สารละลายไม่สมบูร์กแบบไม่เป็นไปตามกฎของราอูลท์

กฎของเฮนรี

สำหรับสารละลายเจือจาง ความดันไอของตัวถูกละลาย แปรผันตาม

ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย: $P_2 = k_2 x_2$ โดย k_2 เป็นค่าคงที่

สำหรับสารละลายไม่สมบูร์กแบบ

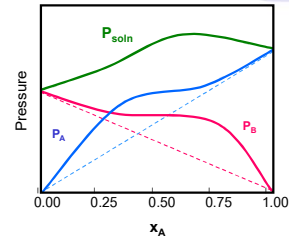
◦ ตัวทำละลาย ใช้กฎราอูลท์ $P_1 = x_1 P_1^\circ$

◦ ตัวถูกละลาย ใช้ตามกฎของเฮนรี $P_2 = k_2 x_2$

$$P_{soln} = P_1 + P_2 = x_1 P_1^\circ + k_2 x_2$$

88

เส้นกราฟความดันไอของสารละลายไม่สมบูรณ์แบบ



$$P_{\text{soln}} = P_A + P_B$$

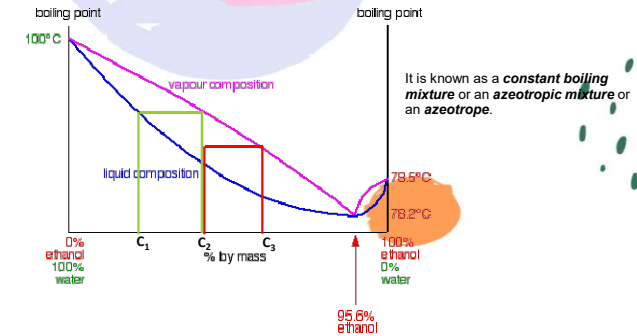
เมื่อ x_A น้อย

- A น้อย (solute): Henry's Law
- B มาก (solvent): Raoult's Law

เมื่อ x_A มาก

- A มาก (solvent): Raoult's Law
- B น้อย (solute): Henry's Law

89



It is known as a **constant boiling mixture** or an **azeotropic mixture** or an **azeotrope**.

<http://www.chemguide.co.uk/physical/phaseeqia/nonideal.html>

90

4. สมบัติคอลลิเกทีฟ

สมบัติทางกายภาพของสารละลายที่ขึ้นกับความเข้มข้นของอนุภาคตัวถูกละลายในสารละลายและชนิดของตัวทำละลาย (เมื่อตัวถูกละลายไม่ระเหยและไม่แตกตัว) แต่ไม่ขึ้นกับชนิดของตัวถูกละลาย

1. การลดต่ำลงของความดันไอ
2. การสูงขึ้นของจุดเดือด
3. การลดต่ำลงของจุดเยือกแข็ง
4. ความดันออสโมติก

*กรณีที่มีตัวถูกละลายแตกตัวเช่นในสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะพิจารณาต่างหาก

91

1. การลดต่ำลงของความดันไอ

ถ้าสารละลายมี **solute** ที่ไม่ระเหย ผิวหน้าสารละลายจะมีจำนวนโมเลกุลของ **solvent** น้อยลง เพราะมีโมเลกุล **solute** ปะปนอยู่

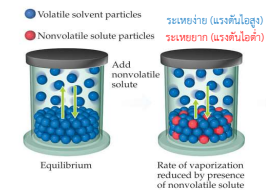


FIGURE 13.21 Vapor-pressure lowering. The presence of nonvolatile solute particles in a liquid solvent results in a reduction of the vapor pressure above the liquid.

$$\text{Raoult's Law: } P_{\text{solution}} = x_{\text{solvent}} P^{\circ}_{\text{solvent}}$$

92

การคำนวณหาความดันไอที่ลดต่ำลง

- ตัวทำละลายบริสุทธิ์ $P = P^\circ_{\text{solvent}}$
- ตัวทำละลาย+ตัวถูกละลาย

$$P_{\text{solution}} = x_{\text{solvent}} P^\circ_{\text{solvent}}$$

ความดันไอที่ลดต่ำลง

$$\Delta P = P^\circ_{\text{solvent}} - x_{\text{solvent}} P^\circ_{\text{solvent}}$$

$$\Delta P = (1 - x_{\text{solvent}}) P^\circ_{\text{solvent}}$$

$$\Delta P = x_{\text{solute}} P^\circ_{\text{solvent}} \quad (x_{\text{solute}} + x_{\text{solvent}} = 1)$$

93

ตัวอย่าง 16 การลดลงของความดันไอ

สารละลายประกอบด้วยซูโครส ($C_{12}H_{22}O_{11}$; MW=180.2 g/mol)
หนัก 68 g ในน้ำ 1 kg ที่อุณหภูมิ 20°C ความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่
อุณหภูมินี้มีค่าเท่ากับ 17.50 torr จงหาความดันไอของสารละลาย

94

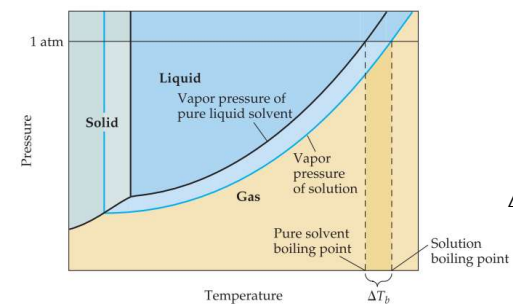
2. การสูงขึ้นของจุดเดือด และการลดต่ำลงของจุดเยือกแข็ง

เมื่อความดันไอของสารเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากอิทธิพลของตัวถูกละลาย จุดเดือดและจุดเยือกแข็งก็จะเปลี่ยนไปด้วย

- ❖ จุดเดือด (boiling point) คือ สภาวะที่ของเหลวและแก๊สอยู่ในสมดุลกัน
- ❖ จุดเยือกแข็ง (freezing point) คือ สภาวะที่ของแข็งและของเหลวอยู่ในสมดุลกัน

95

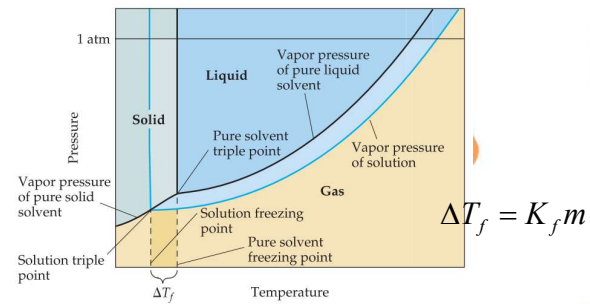
การเพิ่มขึ้นของจุดเดือด



$$\Delta T_b = K_b m$$

96

การลดลงของจุดเยือกแข็ง



97

K_b และ K_f ของสารต่าง ๆ

K_b คือค่าอุณหภูมิจุดเดือดของสารละลายที่เพิ่มขึ้น
เมื่อมี solute 1 โมล ละลาย ใน solvent 1 kg

K_f คือค่าอุณหภูมิจุดเยือกแข็งของสารละลายที่ลดลง
เมื่อมี solute 1 โมล ละลาย ใน solvent 1 kg

สาร	T_f (°C)	K_f (°C/m)	T_b (°C)	K_b (°C/m)
Water	0.00	1.853	100.00	0.515
Benzene	5.53	5.12	80.10	2.53
CCl_4	-22.95	29.8	76.75	4.48
Camphor	178.75	37.7	207.42	5.61

98

แบบฝึกหัด

จงเปรียบเทียบ ΔT_b และ T_b ของสารละลายต่อไปนี้

ตัวทำละลาย	ตัวถูกละลาย*	molality
Water	น้ำตาล	0.5
Water	Ethylene glycol	0.5
Water	Ethylene glycol	1.0
CCl_4	Ethylene glycol	1.0

* ตัวถูกละลายไม่ระเหยและไม่แตกตัว

99

ตัวอย่างที่ 17

จงหาจุดเดือดของสารละลายซึ่งประกอบด้วยตัวถูกละลาย
หนัก 100 กรัม (MW=60) ในน้ำ 500 กรัม

100

ตัวอย่างที่ 18

เมื่อตัวถูกละลายไม่ระเหยและไม่แตกตัวหนัก 2.50 g ละลาย
ในน้ำ 125 g ได้สารละลายซึ่งมีจุดเยือกแข็ง $-0.372\text{ }^{\circ}\text{C}$
จงหาน้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลาย

101

แบบฝึกหัด

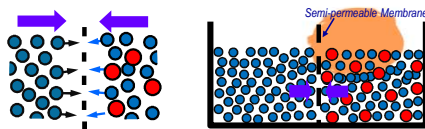
❖ เติม Ethylene glycol $\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}_2(\text{OH})$ ลงไปในน้ำ จงหาจุด
เดือดและจุดเยือกแข็งเมื่อเติมน้ำลงไปทั้งหมดคิดเป็น 25.0 %
โดยมวล (คำตอบ 102.7 และ $-10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$)

❖ เติมสารละลาย unknown โดยการเติมน้ำนั้น 0.250g ลง
ใน CCl_4 40.0 g พบว่าจุดเดือดเพิ่มขึ้น $0.357\text{ }^{\circ}\text{C}$ จงหา
น้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลายนั้น (คำตอบ 88.0 g mol^{-1})

102

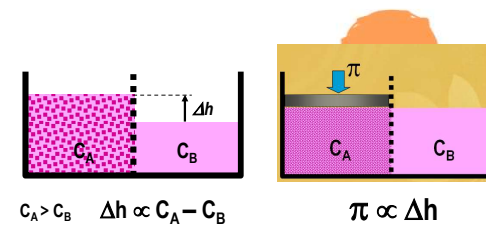
3. ความดันออสโมติก

ความดันออสโมติกคือผลต่างระหว่างความดันของ
สารละลายที่มีความเข้มข้นไม่เท่ากันซึ่งแยกกันด้วยเยื่อกึ่ง
ผ่าน (semipermeable membrane)



103

เมื่อเพิ่มความดันให้กับสารด้านที่มีความเข้มข้นสูง จะทำให้มีการ
เคลื่อนที่ย้อนกลับ เรียกว่า **Reverse-Osmosis**
ความดันที่ทำให้ความสูงของสารทั้งสองฝั่งเท่ากัน
เรียกว่า **ความดันออสโมติก (π)**



$$C_A > C_B \quad \Delta h \propto C_A - C_B$$

$$\pi \propto \Delta h$$

104

104

ความดันออสโมติกระหว่างตัวทำละลาย (C=0) และสารละลายซึ่งแยกออกจากกันด้วยเยื่อกึ่งผ่านสามารถหาได้จากกฎของ Van't Hoff

$$\pi V = nRT \rightarrow \pi = \frac{n}{V} RT$$

$$\pi = CRT$$

π = ความดันออสโมติก (atm)

C = ความเข้มข้นของสารละลาย (mol/L)

R = ค่าคงที่ของแก๊ส (0.0821 L·atm/K·mol)

T = อุณหภูมิ (K)

105

ตัวอย่าง 19 ความดันออสโมติก

ที่อุณหภูมิ 4 °C สารละลายที่มีฮีโมโกลบินหนัก 80 g ในสารละลาย 1 L มีความดันออสโมติก 0.026 atm จงหาน้ำหนักโมเลกุลของฮีโมโกลบิน

$$\pi = CRT \rightarrow \pi = \frac{n}{V} RT$$

$$0.026 \text{ atm} = \left(\frac{80 \text{ g}}{MW} \right) 0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \frac{277.15 \text{ K}}{1 \text{ L}}$$

$$MW = \left(\frac{80 \text{ g}}{0.026 \text{ atm}} \right) 0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \frac{277.15 \text{ K}}{1 \text{ L}}$$

106

Colligative Properties of Electrolytes

สารอิเล็กโทรไลต์: สารที่แตกตัวเป็นไอออนเมื่อละลายอยู่ในน้ำ

ตัวถูกละลายอาจแบ่งออกได้เป็น

- ❖ สารอิเล็กโทรไลต์แก่ (แตกตัวทั้งหมด)
- ❖ สารอิเล็กโทรไลต์อ่อน (แตกตัว << 100%)
- ❖ สารนอนอิเล็กโทรไลต์ (ไม่มีการแตกตัว)

107

สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลายอิเล็กโทรไลต์

อุณหภูมิจุดเยือกแข็งที่เปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับความเข้มข้นของตัวถูกละลาย ?

สารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์			สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่		
สาร	m	$\Delta T_f, ^\circ\text{C}$	สาร	m	$\Delta T_f, ^\circ\text{C}$
Glycerin	0.100	0.187	HCl	0.100	0.352
Sucrose	0.100	0.188	KNO ₃	0.100	0.331
Dextrose	0.100	0.186	KCl	0.100	0.345
Sucrose	0.200	0.376	Na ₂ SO ₄	0.100	0.434
Dextrose	0.200	0.372	CaCl ₂	0.100	0.494
Dextrose	0.300	0.558	NiCl ₂	0.100	0.538

108

แฟกเตอร์แวนต์ฮอฟฟ์ Van 't Hoff factor

ในการแก้ปัญหา electrolyte นี้เราต้องนิยามปริมาณ

$$i = \frac{\text{จำนวนอนุภาคที่แท้จริงใน soln. หลังการละลาย}}{\text{จำนวนหน่วยสูตรที่นำมาละลายใน soln.}}$$

จะเห็นได้ว่า $i = 1$ สำหรับสารที่ไม่แตกตัว

$i = 2$ สำหรับ NaCl, KI

109

สมบัติ colligative ที่แก้ไขสำหรับ electrolyte

$$\Delta T_b = iK_b m$$

$$\Delta T_f = iK_f m$$

$$\pi = iMRT$$

ในความเป็นจริง i มักจะต่ำกว่าที่ทำนายเสมอ เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงจะมีแรงไฟฟ้าสถิตย่อกวนข้อง

110

Table 14-3 Actual and Ideal van't Hoff Factors, i , for Aqueous Solutions of Nonelectrolytes and Strong Electrolytes

Compound	i for 0.100 m Solution	i for 1.00 m Solution
nonelectrolytes	1.00 (ideal)	1.00 (ideal)
sucrose, $C_{12}H_{22}O_{11}$	1.00	1.00
If 2 ions in solution/formula unit	2.00 (ideal)	2.00 (ideal)
KBr	1.88	1.77
NaCl	1.87	1.83
If 3 ions in solution/formula unit	3.00 (ideal)	3.00 (ideal)
K_2CO_3	2.45	2.39
K_2CrO_4	2.39	1.95
If 4 ions in solution/formula unit	4.00 (ideal)	4.00 (ideal)
$K_3[Fe(CN)_6]$	2.85	—

111

แบบฝึกหัด

ความดันออสโมติกของสารละลาย KI 0.010 M ที่ 25 °C เท่ากับ 0.465 atm จงคำนวณแฟกเตอร์แวนต์ฮอฟฟ์

(คำตอบ 1.90)

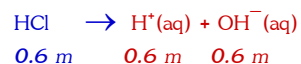
$$R = 0.0821 \text{ L atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

112

ตัวอย่าง 20

สารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.6 m

◦ ก่อนแตกตัว หลังแตกตัว

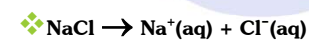


◦ ความเข้มข้นอนุภาคของตัวถูกละลายเท่ากับ 0.6+0.6
= 1.2 m

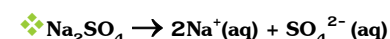
$$\begin{aligned} \Delta T_f &= K_f \cdot m \\ &= 1.8^\circ\text{C}/m \times 1.2 m \\ &= 2.16^\circ\text{C} \end{aligned}$$

113

ความเข้มข้นของอนุภาคตัวถูกละลายอิเล็กโทรไลต์ขึ้นกับจำนวนไอออนที่แตกตัวได้



$$\Delta T_f = K_f \cdot (2 \times C_{\text{NaCl}})$$



$$\Delta T_f = K_f \cdot (3 \times C_{\text{Na}_2\text{SO}_4})$$

ในความเป็นจริง การแตกตัวของสารอิเล็กโทรไลต์จะลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงจุดเดือดจุดหลอมเหลวที่วัดได้ต่างจากที่คำนวณได้

114

Van't Hoff Factor

Van't Hoff Factor (i) คือจำนวนไอออนที่แตกตัวจริงของตัวถูกละลายอิเล็กโทรไลต์ มีค่าขึ้นกับความเข้มข้น

สาร	จำนวน ion	i factor ที่ความเข้มข้น			
		0.1 m	0.01 m	0.001 m	dilute
กลูโคส	1	1	1	1	1
NaCl	2	1.87	1.94	1.97	2.00
MgSO ₄	2	1.21	1.53	1.82	2.00
K ₂ SO ₄	3	2.32	2.69	2.84	3.00

115

ผลของ i Factor ต่อสมบัติคอลลิเกทีฟ

สมบัติคอลลิเกทีฟจะขึ้นกับจำนวนไอออนที่แตกตัว(i)ได้จริงของตัวถูกละลายอิเล็กโทรไลต์

$$P = i X_{\text{solute}} \cdot P_{\text{solv}}^0$$

$$\Delta T_f = i K_f \cdot m$$

$$\Delta T_b = i K_b \cdot m$$

$$\pi = i MRT$$

เราสามารถหาค่า i ได้จากสมบัติคอลลิเกทีฟที่วัดได้ เช่น

$$i = \frac{\text{ค่า } \Delta T_f \text{ ที่วัดได้ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์}}{\text{ค่า } \Delta T_f \text{ ที่คำนวณได้จากสารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์}}$$

116

i factor และปริมาณการแตกตัวเป็น ion

ค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัว (α) หาได้จาก

$$\alpha = \frac{\text{ปริมาณตัวถูกละลายที่แตกตัวจริง}}{\text{ปริมาณตัวถูกละลายก่อนการแตกตัว}} = \frac{i - 1}{n - 1}$$

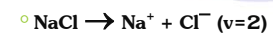
i = Van't Hoff factor

n = จำนวนไอออนที่ได้จากการแตกตัวของตัวถูกละลาย

117

ตัวอย่าง 21 i-factor

NaCl มี i factor 1.87 จงคำนวณหา สปส. การแตกตัว



$$\alpha = \frac{1.87 - 1}{2 - 1} = 0.87$$

• % การแตกตัวเท่ากับ

$$\begin{aligned} \% \alpha &= 0.87 \times 100\% \\ &= 87\% \end{aligned}$$

118

ตัวอย่าง 22

ถ้าสารละลาย NaCl(aq) ความเข้มข้น 1 molal มีจุดเยือกแข็ง -3.4°C จงหาค่า i สัมประสิทธิ์การแตกตัวของ NaCl ในสารละลายนี้

119