1/2566

MIDTERM

GENERAL

203103 CHEMISTRY I

เนื้อหา

ปริมาณสารสัมพันธ์

แก๊ส

ของเหลว

ของแข็ง

เทอมโมไดนามิกส์

โดย

พี่เม่น

จัดติวโดย คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

วันที่ 11 สิงหาคม 2566

***เอกสารห้ามผลิตซ้ำก่อนได้รับอนุญาต

The Periodic Table of The Chemistry Elements
Alkali metals
Alkaline earth metals
Transition metals
Group 12 elements
Basic metals
Metalloids
Nonmetals
Halogen
Noble gas
Lanthanoids
Actinoids
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
1 H Hydrogen 1.008
2 He Helium 4.0026
3 Li Lithium 6.941
4 Be Beryllium 9.0122
5 B Boron 10.81
6 C Carbon 12.011
7 N Nitrogen 14.007
8 O Oxygen 15.999
9 F Fluorine 18.998
10 Ne Neon 20.179
11 Na Sodium 22.990
12 Mg Magnesium 24.305
13 Al Aluminum 26.982
14 Si Silicon 28.086
15 P Phosphorus 30.974
16 S Sulfur 32.06
17 Cl Chlorine 35.45
18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.098
20 Ca Calcium 40.078
21 Sc Scandium 44.956
22 Ti Titanium 47.867
23 V Vanadium 50.941
24 Cr Chromium 51.996
25 Mn Manganese 54.938
26 Fe Iron 55.845
27 Co Cobalt 58.933
28 Ni Nickel 58.693
29 Cu Copper 63.546
30 Zn Zinc 65.38
31 Ga Gallium 69.723
32 Ge Germanium 72.630
33 As Arsenic 74.922
34 Se Selenium 78.971
35 Br Bromine 79.904
36 Kr Krypton 83.798
37 Rb Rubidium 85.468
38 Sr Strontium 87.62
39 Y Yttrium 88.906
40 Zr Zirconium 91.224
41 Nb Niobium 92.906
42 Mo Molybdenum 95.95
43 Tc Technetium (98)
44 Ru Ruthenium 101.07
45 Rh Rhodium 102.91
46 Pd Palladium 106.42
47 Ag Silver 107.87
48 Cd Cadmium 112.41
49 In Indium 114.82
50 Sn Tin 118.71
51 Sb Antimony 121.75
52 Te Tellurium 127.60
53 I Iodine 126.90
54 Xe Xenon 131.30
55 Cs Caesium 132.91
56 Ba Barium 137.33
57 - 71 Lanthaniods
72 Hf Hafnium 178.49
73 Ta Tantalum 180.95
74 W Tungsten 183.85
75 Re Rhenium 186.21
76 Os Osmium 190.23
77 Ir Iridium 192.22
78 Pt Platinum 195.09
79 Au Gold 196.97
80 Hg Mercury 200.59
81 Tl Thallium 204.37
82 Pb Lead 207.2
83 Bi Bismuth 208.98
84 Po Polonium (209)
85 At Astatine (210)
86 Rn Radon (222)
87 Fr Francium 223.020
88 Ra Radium (226)
89 - 103 Actiniods
104 Rf Rutherfordium (261)
105 Db Dubnium (262)
106 Sg Seaborgium (263)
107 Bh Bohrium (264)
108 Hs Hassium (265)
109 Mt Meitnerium (268)
110 Ds Darmstadtium (269)
111 Rg Roentgenium (272)
112 Cn Copernicium (277)
113 Nh Nihonium (286)
114 Fl Flerovium (289)
115 Mc Moscovium (286)
116 Lv Livermorium (293)
117 Ts Tennessine (294)
118 Og Oganesson (294)
57 La Lanthanum 138.91
58 Ce Cerium 140.12
59 Pr Praseodymium 140.91
60 Nd Neodymium 144.24
61 Pm Promethium (145)
62 Sm Samarium 150.36
63 Eu Europium 151.96
64 Gd Gadolinium 157.25
65 Tb Terbium 158.93
66 Dy Dysprosium 162.50
67 Ho Holmium 164.93
68 Er Erbium 167.26
69 Tm Thulium 168.93
70 Yb Ytterbium 173.04
71 Lu Lutetium 174.97
89 Ac Actinium (227)
90 Th Thorium 232.04
91 Pa Protactinium 231.04
92 U Uranium 238.03
93 Np Neptunium (237)
94 Pu Plutonium (244)
95 Am Americium (243)
96 Cm Curium (247)
97 Bk Berkelium (247)
98 Cf Californium (251)
99 Es Einsteinium (252)
100 Fm Fermium (257)
101 Md Mendelevium (258)
102 No Nobelium (259)
103 Lr Lawrencium (262)

ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry)

1. มวลอะตอมและมวลโมเลกุล (Atomic weight and Molecular weight)

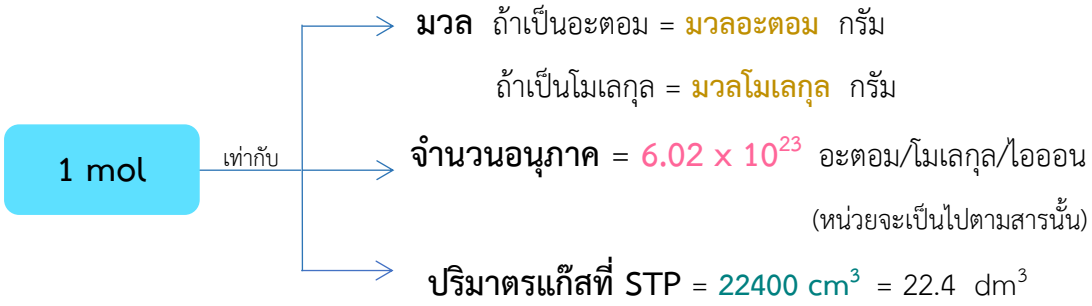
คือ มวลของอะตอมหรือโมเลกุลที่มีปริมาณ 1 mol (หาได้จากตารางธาตุและการคำนวณ)

Ex1 จงหามวลอะตอมหรือมวลโมเลกุลต่อไป

H =	C =	O =	N =	Na =
S =	Cl =	Ca =	K =	Cr =
H_2O =	CH_4 =	CO_2 =	SO_3 =	Na_2CO_3 =
H_2SO_4 =	HCl =	NaOH =	NaCl =	$KMnO_4$ =

2. โมล (mole)

ในเรื่องปริมานสารสัมพันธ์ สิ่งสำคัญที่น้อง ๆ ควรรู้จักคือ คำว่า "โมล" คำว่าโมลคือตัวกลางในการสัมพันธ์ปริมาณต่าง ๆ เข้าด้วยกัน โดยปริมาณสาร 1 โมล มีความหมายดังต่อไปนี้



Ex2 จงเติมเลขในช่องว่าง เพื่อทดสอบความเข้าใจ

สาร NaCl	1	mol	มีมวล	.....	กรัม
น้ำ (H_2O)	.....	mol	มีมวล	18	กรัม
แก๊ส CO_2	1	mol	มีปริมาตร	.....	ลิตร ที่ STP
แก๊ส CH_4	1	mol	มีจำนวนอนุภาค	.....	โมเลกุล
แก๊ส CH_4	1	mol	มีจำนวนอนุภาค	.....	อะตอม

การเปลี่ยนหน่วยต่าง ๆ โดยใช้ความสัมพันธ์ของ "โมล"

Ex3 แก๊สมีเทน (CH_4) 0.5 mol คิดเป็นกี่กรัม

Ex4 สารคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) 2.72 กรัม คิดเป็นกี่โมล

Ex5 แก๊ส NH_3 0.4 โมล คิดเป็นปริมาตรกี่มิลลิลิตรที่ STP

Ex6 เหล็ก (Fe) หนัก 1.12 g มีกี่อะตอม

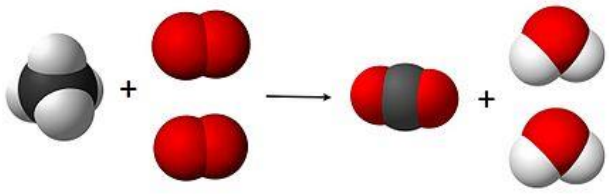
Ex7 แก๊ส O_2 2.0 kg มีปริมาตรกี่ลิตรที่ STP

Ex8 จงหาน้ำหนักของน้ำ 1 โมเลกุล

Ex9 ก๊าซ CH_4 1.6 กรัม จะมีจำนวน H กี่อะตอม

3. สมการเคมี (chemical reaction)

ในสมาการที่ดุลแล้วจะสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวทำปฏิกิริยา และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยความสัมพันธ์ของตัวเลขหน้าสารแต่ละสารจำ**สัมพันธ์กันในหน่วยโมล** เช่น



$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O$

สิ่งที่สมการบอก ถ้าใช้ CH_4 1 mol ใช้ O_2 2 mol จะได้ CO_2 1 mol และได้ H_2O 2 mol

ตัวอย่างความสัมพันธ์ในสมการเคมีที่แปลงไปเป็นหน่วยต่าง ๆ

	$2H_2(g)$ +	$O_2(g)$ ⟶	$2H_2O(g)$
จำนวนโมล	2	1	2
มวล (g)	2 x 2 g	1 x 32 g	2 x 18 g
จำนวนโมเลกุล	$2x6.02x10^{23}$	$6.02x10^{23}$	$2x6.02x10^{23}$
ปริมาตรที่ STP (dm^3)	22.4 x 2	22.4 x 1	22.4 x 2

จากตัวอย่างความสัมพันธ์ข้างต้น จงบอกว่าถ้าใช้แก๊ส H_2 10 กรัม จะต้องใช้แก๊ส O_2 กี่กรัม และจะได้ไอน้ำ H_2O กี่กรัม

Ex10 จงหามวลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้บิวเทน C_4H_{10} 2.00 g โดยมีสมการดังนี้

$C_4H_{10}(g) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(l)$ (สมาการยังไม่ได้ดุล)

Ex11 เมื่อนำสาร Na_2CO_3 หนัก 26.5 กรัม ไปเผาจะได้ NaO กับแก๊ส CO_2 เท่านั้น จงหาปริมาตรของแก๊ส CO_2 ที่ STP ที่เกิดขึ้น

Ex12 จากปฏิกิริยา $2KMnO_4 + 16HCl \longrightarrow 2KCl + 2MnCl_2 + 8H_2O + 5Cl_2$
เมื่อใช้ $KMnO_4$ 3.2 g ทำปฏิกิริยากับ HCl 0.5 M จงหารปริมาตรของสารละลายHCl ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $KMnO_4$ (Mn = 55)

$$mol = \frac{CV}{1000}$$

โดย mol คือ ปริมาณสารในหน่วย mol
C คือ ความเข้มข้นของสารละลาย (M หรือ mol/dm^3)
V คือ ปริมาตรที่ใช้ของสารละลาย (cm^3)

Ex13 ธาตุ X ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนมากเกินพอ เกิดเป็นสารประกอบ X_2O เมื่อใช้สาร X หนัก 16.6 กรัม จะเกิด X_2O หนัก 20 กรัม ธาตุ X คือธาตุชนิดใด

Ex14 หินปูนประกอบด้วย $CaCO_3$ และ $MgCO_3$ ถ้าเผาหินปูน 100 กรัม พบว่าเกิดแก๊ส CO_2 24.10 dm^3 ที่ STP จงหา % โดยมวลของแต่ละองค์ประกอบของหินปูน

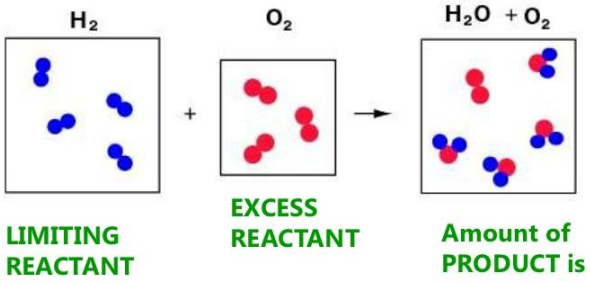
$$CaCO_3(s) \longrightarrow CaO(s) + CO_2(g)$$

$$MgCO_3(s) \longrightarrow MgO(s) + CO_2(g)$$

4. สารกำหนดปริมาณ (limiting reagent)

ในการทำปฏิกิริยาเคมีที่มีสารตั้งต้นมากกว่า 1 ตัว เมื่อเราใส่สารเข้าไป สารมักจะทำปฏิกิริยาไม่พอดีกัน นั่นคือจะมีสารใดสารหนึ่งเป็น**<u>สารที่หมดก่อน</u>** ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น เรียกสารนั้นว่า "สารกำหนดปริมาณ (Limiting Reagent)"

จากรูป จะเห็นว่า O_2 เหลือ นั่นคือ สาร H_2 ใช้หมดก่อน นั่นคือ H_2 เป็น สารกำหนดปริมาณ



Ex15 แก๊สไนโตรเจนเตรียมได้จากการผ่านแก๊สแอมโมเนียไปยัง CuO ที่อุณหภูมิสูง ถ้าใช้ NH_3 หนัก 18.1 g ทำปฏิกิริยากับ CuO 90.4 g สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ และจะเกิดแก๊ส N_2 กี่กรัม (Cu = 63.5)

$$2NH_{3(g)} + 3CuO_{(s)} \longrightarrow N_{2(g)} + 3Cu_{(s)} + 3H_2O_{(g)}$$

Ex16 ในการเตรียมแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตตามสมการ $NH_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow NH_4HCO_3$ หากใช้ NH_3 10.2 กรัม ผสมกับ CO_2 17.6 กรัม และ H_2O มากเกินพอ จะได้ NH_4HCO_3 ตามทฤษฎีกี่กรัม

Ex17 ใส่ Al 10 กรัม ลงในสารละลาย HNO_3 เข้มข้น 0.82 M จำนวน 500 cm^3 เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลงจะเกิดสารละลาย $Al(NO_3)_3$ และแก๊สไฮโดรเจน จงหาว่าเกิดสารละลาย $Al(NO_3)_3$ เข้มข้นกี่โมลาร์ และสารใดเหลือเหลือเท่าไหร่

Ex18 พี่เม่นเติมผงโครเมียม 2.6 กรัม ลงในสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 mol/L ปริมาตร 100 cm^3 ปรากฏว่าได้แก๊สไฮโดรเจนและสารละลาย $CrCl_3$ จงเขียนสมการและตอบคำถามต่อไปนี้ (Cr = 52)

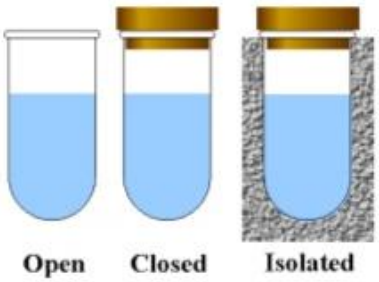
a. จงหารความเข้มข้นของสารละลาย $CrCl_3$ ที่ได้
b. จงหาว่ากรดไฮโดรคลอริกเหลือกี่โมล
c. จงหาปริมาตรแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในหน่วย cm^3 ที่ STP

เทอร์โมไดนามิกส์

ในการศึกษาเรื่องเทอร์โมไดนามิกส์ควรรู้จักคำศัพท์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกันก่อนดังนี้

ระบบ คือ ส่วนที่เราต้องการจะศึกษา

- **ระบบเปิด** มีการถ่ายความร้อนและมวล
- **ระบบปิด** มีการถ่ายเทความร้อน แต่มวลคงที่
- **ระบบโดดเดี่ยว** ไม่มีการถ่ายเทความร้อนและมวล



สิ่งแวดล้อม = ส่วนที่เหลือในจักรวาลที่นอกจากระบบ

ฟังก์ชันสภาวะ (State function) → คือ สมบัติของสารที่การเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับสภาวะสุดท้ายและสภาวะเริ่มต้น

Ex ความดัน อุณหภูมิ ปริมาตร พลังงานภายใน(U)

สมบัติของระบบ แบ่งเป็น 2 ประเภท

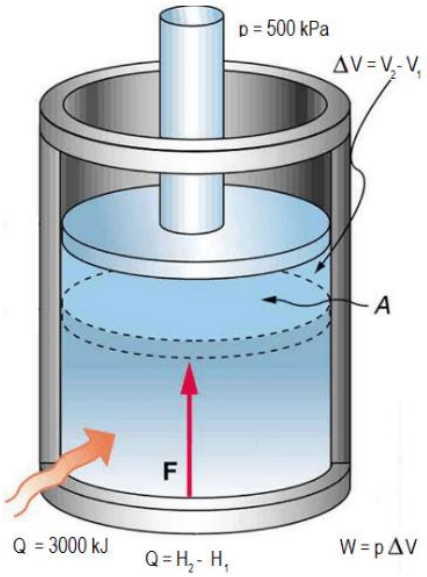
Extensive คือสมบัติที่ขึ้นกับปริมาณของสาร เช่น มวล ปริมาตร โมล

Intensive คือสมบัติที่ไม่ขึ้นกับปริมาณของสาร เช่น ความดัน อุณหภูมิ ความเข้มข้น ความหนาแน่น

1. งาน (Work) W

ในเทอร์โมไดนามิกส์ งาน คือผลที่เกิดจากการขยายตัวของแก๊สต้านความดันภายนอก ซึ่งวิธีหางานหาได้ดังนี้

$$W = -P\Delta V$$



W = งาน (L•atm)

P = ความดันภายนอก (atm)

$\Delta V = V_2 - V_1$ = ปริมาตรสุดท้าย – เริ่มต้น (L)

ถ้า $W < 0$ แก๊สขยายตัว ระบบทำงาน

ถ้า $W > 0$ แก๊สหดตัว สิ่งแวดล้อมทำงาน

Ex19 บรรจุแก๊ส He ปริมาณหนึ่งในกระบอกสูบปริมาตร 400 ml ความดันเริ่มต้น 6.00 atm เกิดการขยาตัวที่อุณหภูมิคงที่ 25 C ต้านกับความดันภายนอกคงที่ 1.5 atm จนกระทั่งแก๊สมีความดันเท่ากับความดันภายนอก จกคำนวณงานที่ได้จากการขยายตัวของแก๊ส

Ex20 แก๊สสมบูรณ์ 0.100 mol ที่ 298 K ปริมาตรเริ่มต้นเป็น V_1 ที่ความดัน 2.4 atm เมื่อลดความดันลงเป็น 1.3 atm แก๊สขยายตัวเป็น V_2 จงคำนวณงานที่เกิดขึ้น

งานเกิดขึ้นได้ 3 เส้นทาง

- แบบผันกลับไม่ได้ $w = -P\Delta V$
- แบบผันกลับได้ $w = -nRT\ln(V_2/V_1)$
- ขยายตัวเข้าสุญญากาศ $w = 0$

2. ความร้อน (Heat) q

ความร้อน คือ พลังงานที่ถ่ายเทหากันระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม

โดย $q < 0$ เมื่อระบบคายพลังงาน

$q > 0$ เมื่อระบบดูดความร้อน

3. พลังงานภายใน (Internal energy) U

พลังงานภายใน คือ ผลรวมของพลังงานทั้งหมดของโมเลกุลของสารในระบบ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานศักย์ พลังงานจลน์

โดย $\Delta U = q + w$

กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์

โดย ถ้า $\Delta U < 0$ พลังงานถูกย้ายจากระบบสู่สิ่งแวดล้อม

$\Delta U > 0$ พลังงานถูกย้ายจากสิ่งแวดล้อมสู่ระบบ

วิถีที่ V คงที่	วิถีที่ P คงที่
$\Delta U = q_v$	$\Delta H = \Delta U + P\Delta V$

ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔU กับ ΔH

$\Delta H - \Delta U = RT\Delta n$

Δn = โมลแก๊สของผลิตภัณฑ์ – สารตั้งต้น

Ex21 จงคำนวณหาค่า ΔH - ΔU ของปฏิกิริยาต่อไปนี้ที่ 25 C

ก. $C_4H_{10(g)} + 13/2O_{2(g)} \longrightarrow 4CO_{2(g)} + 5H_2O_{(l)}$

ข. $C_6H_{12}O_{6(s)} + 6O_{2(g)} \longrightarrow 6CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)}$

Ex22 แก๊สชนิดหนึ่งขยายตัวต้านความดันคงที่ 2.00 atm จากปริมาตรเริ่มต้น 1.40 L จนมีปริมาตร 6.90 L ถ้าภาชนะดังกล่าวมีฉนวนหุ้มอย่างดีจนไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้าออกระบบ จงคำนวณค่า ΔU

Ex23 ระบบดูดความร้อนไป 1500 J ทำให้แก๊ส Ne หดตัวจากปริมาตร 22 ลิตร เป็น 5.5 ลิตร ที่ความดัน 1.5 atm จงคำนวณ ΔU

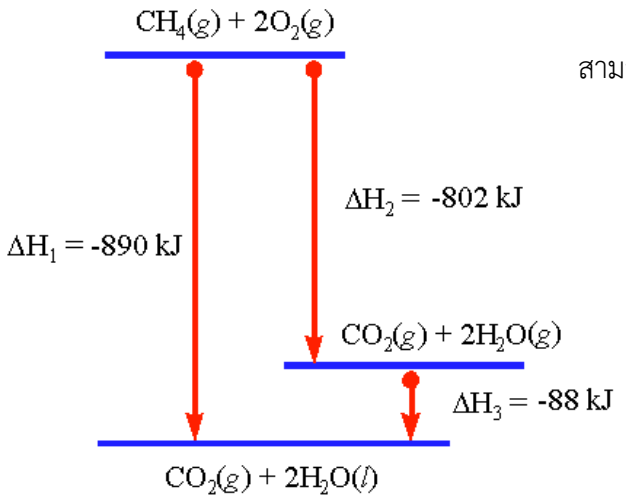
Ex24 เมื่อนำแก๊สไฮโดรเจน 2.00 mol มาทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน 1.00 mol ที่อุณหภูมิ 100 C และความดันคงที่ 1.0 เกิดเป็น ไอน้ำ 2.00 mol พบว่าปฏิกิริยาดังกล่าวให้ความร้อน 484 kJ จงหา ΔH และ ΔU สำหรับการเกิดไอน้ำ 1 mol

4. เทอร์โมเคมี

คือ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อน (ΔH) ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี

กฎของเฮสต์ (Hess's Law)

ΔH ของกระบวนการรวม = ผลรวมของ ΔH ในแต่ละขั้นตอนย่อย



จากแผนภาพจะได้ว่า $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$

สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

Ex25 จงคำนวณ ΔH° (kJ) ของปฏิกิริยา $C_3H_4(g) + 2H_2(g) \longrightarrow C_3H_8(g)$

กำหนดให้ $H_2(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow H_2O(l)$ $\Delta H_1^\circ = -285.8$ kJ

$C_3H_4(g) + 4O_2(g) \longrightarrow 3CO_2(g) + 2H_2O(l)$ $\Delta H_2^\circ = -1937$ kJ

$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(l)$ $\Delta H_1^\circ = -2219$ kJ

สภาวะมาตรฐาน (Standard state) => 1 atm 298 K

Heat of formation ΔH_f คือ ความร้อนของการเกิดสาร ซึ่งธาตุที่มีอยู่ในธรรมชาติด้วยความเสถียรแล้ว ไม่ต้องใช้พลังงานหรือความร้อนในการเกิดสาร ทำให้สารเหล่านั้นมี $\Delta H_f = 0$

$\Delta H_f = 0$

ธาตุที่เสถียรแล้วได้แก่

สถานะแก๊ส : H_2 O_2 N_2 Cl_2 F_2 ของเหลว : Br_2 Hg

ของแข็ง : $C_{(gr)}$ I_2 โลหะทุกชนิด

Ex26 จงเขียนสมการที่ใช้แสดงค่า ΔH_f ของสารต่อไปนี้ที่ 25 C

$HCl_{(g)}$ $N_2O_{(g)}$ $CaCO_{3(s)}$ $Br_{(g)}$ $NH_2CH_2COOH_{(s)}$

การหาร ΔH ของปฏิกิริยา

ΔH ของปฏิกิริยา = ΔH_f ผลิตภัณฑ์ - ΔH_f สารตั้งต้น

ตาราง แสดงค่าΔH_f ของสารต่างๆที่พบบ่อย ในหน่วย kJ/mol

$B_2O_3(s)$	-1272.8	$CHCl_3(l)$	-134.5	$Fe_2O_3(s)$	-824.2
Br(g)	+111.8	$CH_3COOH(l)$	-484.5	$NH_2CH_2COOH(s)$	-537.2
$CaCO_3(s)$	-1207.0	$CO_2(g)$	-393.51	$N_2O(g)$	+82.05
CaO(s)	-636.5	HCl(g)	-92.31	$NO_2(g)$	+33.2
$CH_4(g)$	-74.81	$H_2O(g)$	-241.83	$SO_2(g)$	-296.8
$C_2H_6(g)$	-84.67	$H_2O(l)$	-286.84	ZnO(s)	-348.3

Ex27 จงคำนวณ **ΔH** ของปฏิกิริยา $CH_{4(g)} + 3Cl_{2(g)} \longrightarrow CHCl_{3(l)} + 3HCl_{(g)}$

Ex28 จากสมการ $2C_2H_{4(g)} + 6O_{2(g)} \longrightarrow 4CO_{2(g)} + 4H_2O_{(l)}$ ที่มี **ΔH** ปฏิกิริยา = -2598 .8 kJ/mol

จงหา **ΔH_f** ของ C_2H_4

Heat of combustion ΔH_{com}

ในปฏิกิริยาการเผาไหม้เราจะเรียก ΔH ของปฏิกิริยาว่า ΔH_{com} ซึ่งวิธีการคิดการคำนวณเหมือนเดิม โดยตารางค่า ΔH_{com} ของสารที่พบบ่อยดังนี้

C(gr)	-393.51	$C_6H_6(l)$	-3302
$CH_4(g)$	-890.36	$CH_3COOH(l)$	-874.2
$C_2H_4(g)$	-1411	$CH_3OH(l)$	-726.1
$C_2H_6(g)$	-1559.9	$C_2H_5OH(l)$	-1367
$C_3H_8(g)$	-2220	$H_2(g)$	-286.84

Ex29 จากค่า ΔH_{com} จงหาค่า ΔH_f ของ เอธานอล (C_2H_5OH)

Ex30 จากค่าความร้อนมาตรฐานการเผาไหม้ ของโพเพนเท่ากับ -2220 kJ/mol และค่าความร้อนมาตรฐานของการกลายเป็นไอของน้ำเท่ากับ 44 kJ/mol จงหา ΔH ของปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$C_3H_{8(g)} + 5O_{2(g)} \longrightarrow 3CO_{2(g)} + 4H_2O_{(g)}$$

6. พลังงานพันธะ (Bond enthalpies , BE)

พลังงานพันธะเป็นสิ่งที่หาได้โดยตรงยาก เราจึงใช้**กฎของเฮส** และ**พลังงานในการเกิด**(Heat of formation)เข้ามาช่วย ดังตัวอย่าง

Ex31 จงหาพลังงานพันธะของ C-H จาก CH_4

เริ่มจากการเขียนสมการการสลายพันธะ คือ $CH_4(g) \longrightarrow C(g) + 4H(g)$

หลักการคือ **ΔH ของปฏิกิริยา = พลังงานพันธะของโมเลกุลนั้น**

หา ΔH ของปฏิกิริยาด้วยกฎของเฮส ได้ดังนี้

ข้อมูลที่ทราบคือ **ΔH_f** ของสารแต่ละตัวในสมการ

กำหนด ΔH_f ของ $CH_4(g)$ = -74.8 kJ/mol

ΔH_f ของ C(g) = 716.7 kJ/mol

ΔH_f ของ H(g) = 217.9 kJ/mol

Ex32 จงหาพลังงานพันธะ ของ N-H ในโมเลกุลของ NH_3

โดยกำหนดให้ $N_2(g) \longrightarrow 2N(g)$ D(N≡N) = 946 kJ/mol

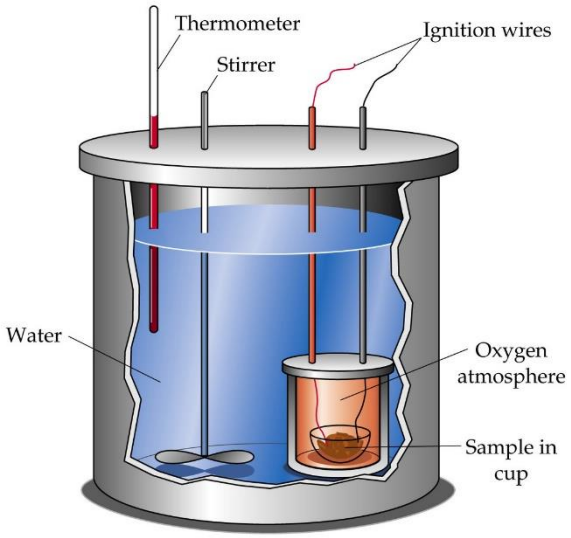
$H_2(g) \longrightarrow 2H(g)$ D(H-H) = 432 kJ/mol

ΔH_f ของ NH_3 = -46 kJ/mol

7. แคลอริเมตรี (Calorimentry)

เป็นวิธีวัดค่าการคายความร้อนของปฏิกิริยา โดยส่วนใหญ่ใช้วัดค่าความร้อนของ**ปฏิกิริยาเผาไหม้**ซึ่งมักเป็นปฏิกิริยา**คายความร้อน** โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า บอมแคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ซึ่งปฏิกิริยาจะเปิดในระบบที่ปริมาตรคงที่

เราสามารถหาค่าความร้อนได้จากหลักการของค่าความจุความร้อนได้ดังนี้



$$C_V \text{ (calorimeter)} = \frac{-n\Delta U}{\Delta T}$$

โดยค่า C_V ของ calorimeter มักหาจากการเผาสารมาตรฐานที่ทราบ ΔU แน่นอน ซึ่งมีค่าเท่ากับ ΔH เช่น $C_{11}H_{12}O_{11}$ หรือ C_6H_5COOH

ลองเขียนสมการเผาไหม้ของ $C_{11}H_{12}O_{11}$ จะได้ .....

จากเทอร์โมครึ่งแรก $\Delta H = \Delta U + \Delta n_{gas}RT$ จากสมการเผาไหม้พบว่า Δn_{gas} = ... ดังนั้น ΔH = ...

Ex33 ถ้ากำหนดให้ Heat of combustion ของซูโครส ($C_{11}H_{12}O_{11}$) มีค่าเท่ากับ -5647 kJ mol^{-1} เมื่อเผาซูโครส 2.000 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่าอุณหภูมิของแคลอริมิเตอร์เพิ่มขึ้น 2.95 °C จงคำนวณค่าความจุความร้อของแคลอริมิเตอร์

Ex34 เผาเมทานอล (CH_3OH) ปริมาณ 1.922 กรัม ในบอมบ์แคลอริมิเตอร์ที่มีค่าความจุความร้อน 10.4 kJ/°C ถ้าอุณหภูมิของน้ำในแคลอริมิเตอร์เพิ่มขึ้น 4.20 °C จงความนวณหาค่า **ΔH** ของปฏิกิริยาการเผาไหม้เอทานอล

Ex35 เมื่อนำกล้วยชิ้นหนึ่งหนัก 2.502 กรัม ไปเผาในบอมบ์แคลอริมิเตอร์ พบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 3.05 °C และเมื่อนำกรดเบนโซอิก (C_6H_5COOH) 0.316 กรัม มาเผาในแคลอริมิเตอร์เดียวกัน พบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 3.24 °C ถ้าความร้อนของปฏิกิริยาเผาไหม้ของกรดเบนโซอิกเท่ากับ -3227 kJ/mol ที่ปริมาตรคงที่ ถ้ากล้วย 1 ผลหนัก 125 กรัม จงคำนวณค่าพลังงานที่ได้จากกล้วย 1 ผลในหน่วย kcal

8. เอนโทรปี (entropy , ΔS)

เอนโทรปี คือ ความไม่เป็นระเบียบของสาร ในปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เองสารมักมีความไม่เป็นระเบียบมากขึ้นและ**มักเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้** เช่น น้ำแข็งกลายเป็นน้ำ ก็มีค่า ΔS มากขึ้น

$\Delta S = q_{rev}/T$

$S_{gas} > S_{liquid} > S_{solid}$

ในกระบวนการที่อุณหภูมิคงที่ U = 0

$q_{rev} = -w_{rev} = nRTln(V_2/V_1)$ ⟹ $\Delta S = nRln(V_2/V_1)$

Ex36 ตัวอย่างแก๊สอุดมคติชนิดหนึ่ง ขยายตัวแบบผันกลับที่อุณหภูมิคงที่ 25.0 ^{o}C เริ่มต้น 4.00 atm ปริมาตร 250.0 mL จนกระทั่งมีความดัน 1.00 atm จงคำนวณ **Δ**U , w , q และ **Δ**S สำหรับกระบวนการนี้

Ex37 แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตรเริ่มต้น 5.0 ลิตร ที่อุณหภูมิ 400 K และความดัน 1.12 atm ค่อย ๆ ขยายตัวจน ΔS ที่เกิดขึ้นมีค่า 0.787 J/K จงหา ปริมาตรสุดท้ายของสารนี้

ΔS ของการเปลี่ยนสถานะ

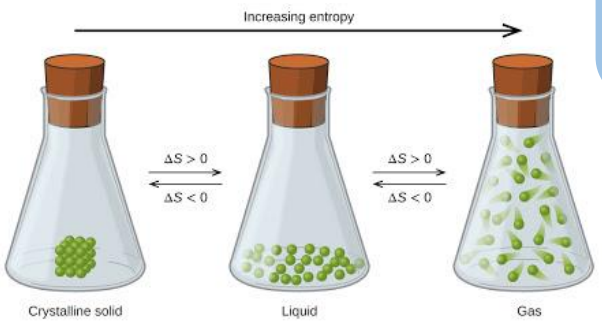
การเปลี่ยนสถานะมักเกิดขึ้นที่ P คงที่ ทำให้ $\Delta S = q_p / T = \Delta H / T$

- **ของแข็ง ⇌ ของเหลว (Fusion)**

$$\Delta S_{fus} = \frac{\Delta Hfus}{Tm}$$

- **ของเหลว ⇌ แก๊ส (Vaporization)**

$$\Delta S_{vap} = \frac{\Delta Hvap}{Tb}$$



Trouton's rule

ΔS_{vap} ของของของเหลวส่วนใหญ่

= 88 ± 5 J/mol K

กฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ :

ในกระบวนการที่เกิดได้เองมักมีการเพิ่มขึ้นของเอนโทรปีเสมอ

กฎข้อที่ 3 ของเทอร์โมไดนามิกส์ :

เอนโทรปีของผลึกสมบูรณ์หรือสารบริสุทธิ์จะมีค่าเป็น 0 ที่ 0 K

Ex38 จงหา ΔS ของการที่น้ำ 1 mol กลายเป็นไอที่จุดเดือด 100 องศาเซลเซียส ถ้ากำหนดให้ ΔH_{fus} ของน้ำ = 6 kJ /mol และ ΔH_{vap} ของน้ำ = 40 kJ /mol

Ex39 จงคำนวณ ΔS°_{fus} และ ΔS°_{vap} สำหรับคลอโรฟอร์ม, $CHCl_3$ จากข้อมูลจุดหลอมเหลว(T_{mp}) , จุดเดือด (T_{bp}) , ความร้อนของการหลอมเหลวและความร้อนของการระเหยของ $CHCl_3$ ดังแสดง

	$T_{mp}(^\circ C)$	$\Delta H^\circ_{fus}(kJmol^{-1})$	$T_{bp}(^\circ C)$	$\Delta H^\circ_{vap}(kJmol^{-1})$
$CHCl_3$	-63.5	9.20	+61.7	29.4

9. พลังงานอิสระ (Gibbs free energy , ΔG)

จากกฎข้อที่ 2 กล่าวว่าปฏิกิริยาจะเกิดได้เอง $\Delta S > 0$ ซึ่งนั้นกล่าวถึงระบบโดดเดี่ยว แต่ถ้าระบบของเราไม่โดดเดี่ยว (มีส่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง) จะได้ว่า

$$\Delta S_{total} = \Delta S_{system} + \Delta S_{surr}$$

$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ → **ΔG เป็น + เกิดเองไม่ได้**

$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ → **ΔG เป็น - เกิดเองได้**

Ex40 จาก ΔH° และ ΔS° จากตาราง จงคำนวณ ΔG° สำหรับปฏิกิริยา

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$$

	$CH_4(g)$	$O_2(g)$	$CO_2(g)$	$H_2O(l)$
$\Delta H_f^{\circ}(kJmol^{-1})$	-74.81	0.00	-393.51	-286.84
$S^{\circ}(Jmol^{-1}K^{-1})$	186.2	206.0	213.6	69.9

Ex41 จงทำนายว่าปฏิกิริยาต่อไปนี้สามารถเกิดได้เองที่สภาวะมาตรฐาน ที่ 25 ^{o}C หรือไม่

	$O_2(g)$	$NO_2(g)$	$N_2(g)$
$\Delta H^{o}_{f}(kJmol^{-1})$	0.00	33.88	0.00
$S^{o}(Jmol^{-1}K^{-1})$	205.0	304.2	191.5

$N_2(g) + 2O_2(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$

10. เทอโมกับสมดุลเคมี

$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + RT\ln Q$$

ที่สมดุล : $\Delta G = 0$ และ $Q = K$

Ex42 จงหาค่าคงที่สมดุล K ของปฏิกิริยา นี้ที่ 25 $^{\circ}$C

$2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2SO_{3(g)}$ ถ้า ΔG° ของปฏิกิริยาเท่ากับ – 140 kJ/mol