

ปริมาณสัมพันธ์

Stoichiometry : Chemical Calculation



Stoicheon = ธาตุ Metron = การวัด

โมล (mole)

หน่วยที่ใช้บอกปริมาณสาร

1 mole

= 6.02×10^{23} อนุภาค

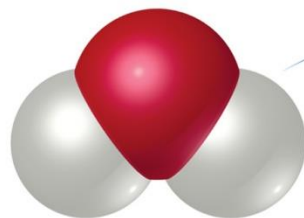
$n = \frac{\text{จำนวนอนุภาค}}{N_A}$

N_A

$n = \text{mole}$

$N_A = \text{Avogadro's number}$
(6.02×10^{23} อนุภาค/mol)

Single molecule



1 molecule H_2O
(18.0 amu)

Avogadro's
number of
molecules
(6.02×10^{23})

Laboratory-size
sample



1 mol H_2O
(18.0 g)

ความสัมพันธ์ของหน่วยต่าง ๆ

สารบริสุทธิ์ / แก๊ส

$$n = \frac{m}{MW} = \frac{dV}{MW} = \frac{PV}{RT} = \frac{N}{N_A} = \frac{V(L)}{22.4 L}$$

n = mol, m = mass, d = density,

V = volume, MW = molecular weight, AW = atomic weight

P = pressure (atm), V = volume (mL หรือ cm^3)

R = gas constant. (0.08206 atm.L/K.mol), T = temperature (K)

N = particle number , $N_A = N_A$ = Avogadro's number

สารละลาย

$$n = \frac{CV}{1000} = \frac{mV}{MW \times 1000}$$

n = mol, C = molarity M (mol/L), V = volume (mL)

มวลโมเลกุล , Molecular mass
น้ำหนักโมเลกุล , Molecular weight
น้ำหนักสูตร , Formula weight

- molecular mass = ผลรวมของมวลอะตอมของทุกอะตอมในโมเลกุล
- g molecular weight = น้ำหนักเป็นกรัมของสารหนึ่งโมล
$$\begin{aligned}\text{MW ของ } \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 &= 6(12)+12(1)+6(16) \\ &= 180 \text{ g}\end{aligned}$$
- g formula weight = น้ำหนักเป็นกรัมของสารตามสูตร
$$\begin{aligned}\text{FW ของ } \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} &= 63.5+32+4(16)+5[2(1)+16] \\ &= 249.5\end{aligned}$$

Ex.1 ก๊าซ CH_4 หนัก 1.6 กรัม จะมีปริมาตรที่ STP จำนวนโมเลกุล และ จำนวน H เท่าใด

$$\text{MW } \text{CH}_4 = 12 + 4(1) = 16$$

$$n = \frac{1.6 \text{ (g)}}{16 \text{ (g/mol)}} = \frac{V}{22.4 \text{ (dm}^3\text{/mol)}}.$$
$$V = 2.24 \text{ dm}^3$$

$$n = \frac{1.6 \text{ (g)}}{16 \text{ (g/mol)}} = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}}.$$
$$N = 6.02 \times 10^{22}$$

$$n = \frac{1.6 \text{ (g)}}{16 \text{ (g/mol)}} = \frac{N_{\text{H}}}{6.02 \times 10^{23} \times 4}.$$
$$N_{\text{H}} = 2.408 \times 10^{23}$$

Ex.2 ธาตุ A มีปริมาตร 10 cm^3 จะหนักกี่กรัมและมีจำนวนอะตอมเท่าใด (d ธาตุ A = 3.50 g/cm^3 AW = 65.4)

$$d = \frac{m}{V}, \quad m = 3.5(\text{g/cm}^3) \times 10(\text{cm}^3) = 35 \text{ g}$$

น้ำหนัก ธาตุ A = 35 กรัม

$$n = \frac{m}{AW} = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}}$$
$$\frac{35}{65.4} = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}}$$

N = จำนวนอะตอม = 3.22×10^{23} อะตอม

Ex.3 สารละลาย HNO_3 เข้มข้น 0.25 mol/L ปริมาตร 125 cm^3
จะหนักกี่กรัมและมีจำนวนโมเลกุลเท่าใด

$$\text{MW } \text{HNO}_3 = 1 + 14 + 3(16) = 63$$

$$n = \frac{0.25(\text{mol/L}) \times 125(\text{cm}^3)}{1000(\text{cm}^3/\text{L})} = \frac{m(\text{g})}{63(\text{g/mol})}$$

$$m = 1.97 \text{ g}$$

$$n = \frac{1.97(\text{g})}{63(\text{g/mol})} = \frac{N(\text{molecules})}{6.02 \times 10^{23}(\text{molecules/mol})}$$

$$N = 18.82 \times 10^{23} \text{ molecules}$$

สูตรเคมี (Chemical formula)

- ♥ Empirical formula แสดงอัตราส่วน อย่างต่ำระหว่างอะตอมของธาตุในสารประกอบ
- ♥ Molecular formula บอกจำนวนอะตอมจริงของธาตุในสารประกอบ
- ♥ Structural formula แสดงโครงสร้างและพันธะระหว่างอะตอม

สูตรโมเลกุล หาได้ถ้าทราบสูตรอย่างง่ายและมวลโมเลกุล

การคำนวณที่เกี่ยวกับปริมาณสารสัมพันธ์

1. การคำนวณสูตรอย่างง่าย (เอมพิริกัล) และสูตรโมเลกุล
2. ปฏิกิริยาของสารที่ผสมกันแล้วให้ผลิตภัณฑ์เดียว
3. การคำนวณจากสมการที่ดุลแล้ว
 - สารที่เกี่ยวข้องในสมการเคมี
 - ผลผลิตทางทฤษฎี (Theoretical yield) และ ผลผลิตจริง (Actual yield)

1. การคำนวณสูตรเอมพิริกัลและสูตรโมเลกุล

1. หาอัตราส่วนโดยมวลของธาตุ
2. หาอัตราส่วนจำนวนโมลของธาตุ
3. หาอัตราส่วนอย่างต่ำธาตุ \rightarrow สูตรเอมพิริกัล
4. สูตรโมเลกุล

$$[\text{สูตรเอมพิริกัล}]_n = \text{สูตรโมเลกุล}$$

การหาสูตรเอมไพริกัลและสูตรโมเลกุล

- สารนั้นมีธาตุใดเป็นองค์ประกอบ
- มีมวลอะตอมเท่าใด
- น้ำหนักของธาตุแต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบ
- คำนวณอัตราส่วนโดยน้ำหนักและอัตราส่วนจำนวนอะตอมของธาตุองค์ประกอบแล้วทำให้เป็นเลขจำนวนเต็มน้อย ๆ

$$\text{สูตรโมเลกุล} = (\text{สูตรเอมไพริกัล})_n \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

0.1 – 0.2

ปัดทิ้ง

0.3 – 0.7

ปัดทิ้งไม่ได้ ต้องหาตัวเลขที่มีค่าต่ำสุด
มาคูณให้มีค่าใกล้เคียงกับตัวเลขที่จะปัดได้

0.8 – 0.9

ปัดขึ้น 1

Ex 4. ผลึกของแข็งชนิดหนึ่งมีส่วนประกอบเป็น %โดยมวล
ของ K , Cl และ O เท่ากับ 28.16, 25.63 และ 46.21 ตามลำดับ

ก. จงหาสูตรเอมพิริกัล

ข. ถ้ามวลสูตร = 138.5 จงหาสูตรโมเลกุลของผลึกนี้

K : Cl : O

28.16

39

0.722

0.722

25.63

35.5

0.722

0.722

46.21

16

2.888

0.722

1

1

4

สูตรอย่างง่าย KClO_4

$$[\text{KClO}_4]_n = 138.5$$

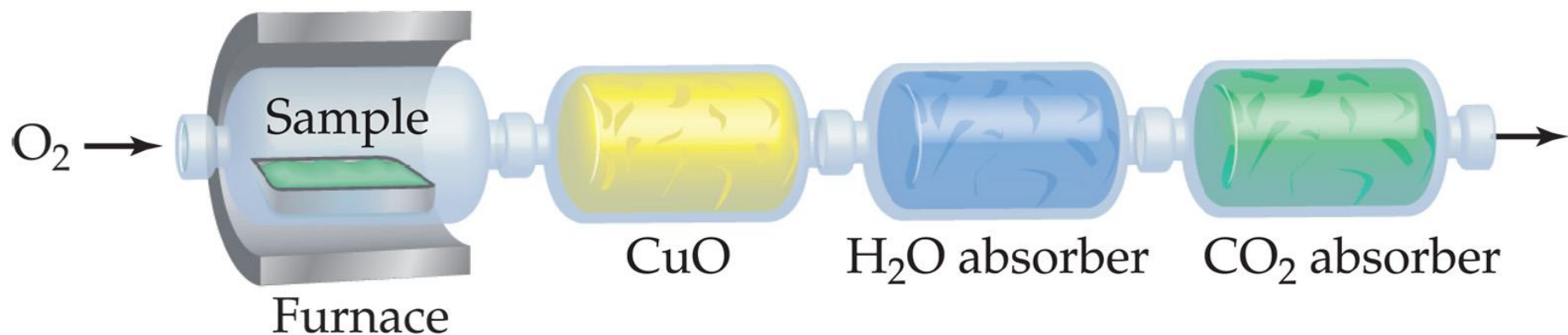
$$[138.5]_n = 138.5$$

$$n = 1$$

Ex.5 ผลึกของแข็งชนิดหนึ่งมีส่วนประกอบเป็น C, H และ O
ถ้าเผาผลึกนี้หนัก 0.4647 g ในอากาศที่มีออกซิเจนมากเกินไป
พอ ได้ผลิตภัณฑ์เป็น CO_2 0.8635 g และ H_2O 0.1767 g

ก. จงหาสูตรเอมพิริกัล

ข. ถ้ามวลโมเลกุล = 142 จงหาสูตรโมเลกุลของผลึกนี้





มวล C , CO_2 หนัก 44 g มี C หนัก = 12 g

$$\frac{\text{ " " } 0.8635 \text{ g " " }}{\text{ " " }} = \frac{0.8635 \times 12}{44.01} = 0.2357$$

มวล H , H_2O หนัก 18 g มี H หนัก = 2 g

$$\frac{\text{ " " } 0.1767 \text{ g " " }}{\text{ " " }} = \frac{0.1767 \times 2}{18.015} = 0.01977$$

มวล O = มวล สาร - มวล C - มวล H

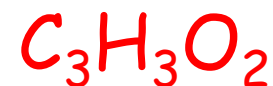
$$= 0.4647 - 0.2357 - 0.01977 = 0.2092 \text{ g}$$

$$\begin{array}{ccc} \text{C} & : & \text{H} & : & \text{O} \\ \frac{0.2357}{12.01} & & \frac{0.01977}{1.00} & & \frac{0.2092}{16.015} \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \frac{1.962}{1.308} & : & \frac{1.962}{1.308} & : & \frac{1.308}{1.308} \end{array}$$

$$1.5 : 1.5 : 1$$

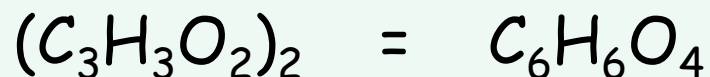
$$3 : 3 : 2$$





$$\text{จาก } (C_3H_3O_2)_n = 142$$

$$71n = 142, \quad n=2$$



Ex.6 หินปูนมี CaCO_3 เป็นองค์ประกอบกี่ % โดยมวล ถ้าเผาหินปูนหนัก 150 กรัม พบว่าเกิดแก๊ส CO_2 13.44 dm³ ที่ STP



$$\text{mol CaCO}_3 = \text{mol CO}_2$$

$$\frac{m \text{ CaCO}_3}{100} = \frac{13.44}{22.4}$$

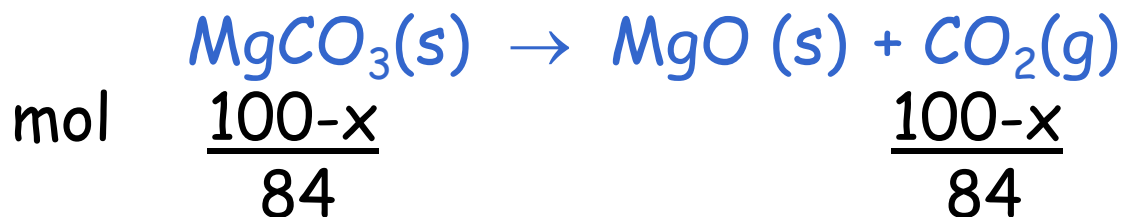
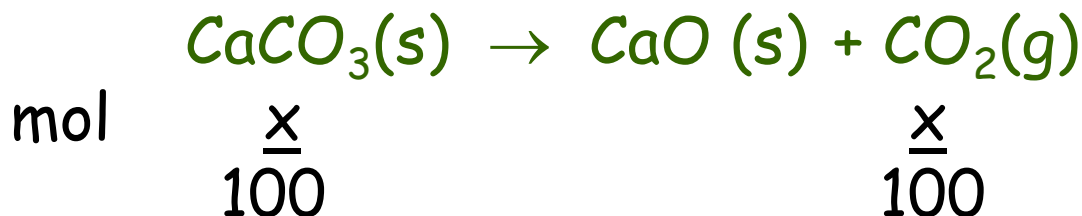
$$m \text{ CaCO}_3 = 60 \text{ g}$$

$$\% = \frac{60 \times 100}{150} = 40 \%$$

Ex.7 หินปูนมี CaCO_3 และ MgCO_3 เป็นองค์ประกอบกี่ % โดยมวล
ถ้าเผาหินปูนหนัก 100 กรัม พบว่าเกิดแก๊ส CO_2 24.10 dm^3 ที่ STP



น้ำหนัก CaCO_3 $X \text{ g}$, น้ำหนัก MgCO_3 $100-X \text{ g}$



$$\text{mol CO}_2, \text{CaO} + \text{mol CO}_2, \text{Mg}_2\text{CO}_3 = 24.10/22.4 \text{ mol}$$

$$X/100 + (100-X)/84 = 1.07 \text{ mol}$$

$$\frac{84X + (10000-100X)}{100(84)} = 1.07 \text{ mol}$$

$$84X + 10000 - 100X = 1.07 \times 100 \times 84 = 8988$$

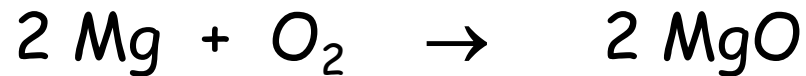
$$16X = 1012$$

$$X = 63.25 \text{ g}$$

$$\% \text{CaCO}_3 = 63.25 \times 100 / 100 = 63.25\%$$

$$\% \text{MgCO}_3 = 36.75 \times 100 / 100 = 36.75\%$$

3. การคำนวณจากสมการที่ดุลแล้ว



2 atoms Mg + 1 molecule O₂ พอดีทำให้เกิด 2 formula units MgO

2 moles Mg + 1 mole O₂ พอดีทำให้เกิด 2 moles MgO

48.6 grams Mg + 32.0 grams O₂ พอดีทำให้เกิด 80.6 g MgO



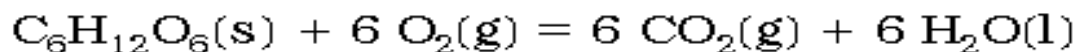
! ไม่ได้หมายความว่า

2 grams Mg + 1 gram O₂ ทำให้เกิด 2 g MgO

สารตั้งต้น 1 ตัว กำหนด ผลิตภัณฑ์

Mole Relations from Chemical Equations

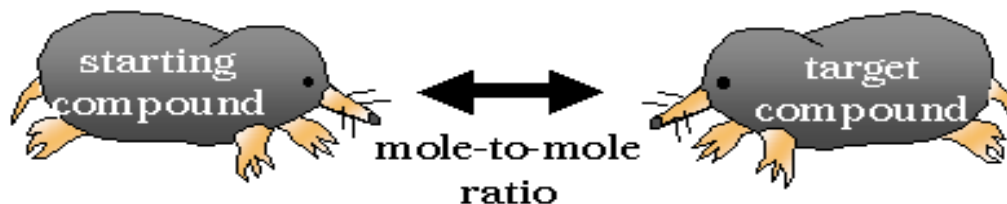
❖ ratios of balanced coefficients = mole ratios



$$\frac{1 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}{6 \text{ mol O}_2}$$

$$\frac{1 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}{6 \text{ mol CO}_2}$$

$$\frac{1 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}{6 \text{ mol H}_2\text{O}}$$



how many grams of oxygen are required to burn exactly 1 kg of glucose?

$$\begin{aligned} \text{mol glucose} &= \text{mol O}_2 / 6 \\ \frac{1000}{180} &= \frac{m}{32 \times 6} \\ m &= 1066.7 \text{ g} \end{aligned}$$

Ex.8 จงหามวลเป็นกรัมของน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของ $\text{CH}_4(\text{g})$ ปริมาณ 2.000 g



วิธีทำ

$$\begin{aligned} \frac{\text{mol CH}_4}{1} &= \frac{\text{mol H}_2\text{O}}{2} \\ \frac{(2.000\text{g})}{(16.04\text{g/mol})} &= \frac{m}{(2 \times 18.02)} \end{aligned}$$

$$\text{มวล H}_2\text{O} = 4.494 \text{ g}$$

จาก Ex.8 จงหามวลของ CH_4 ถ้าต้องการให้เกิด CO_2 ขึ้น 20 dm^3 ที่ STP



วิธีทำ

$$\frac{\frac{\text{mol CH}_4}{1}}{\frac{\text{m}}{16.04}} = \frac{\frac{\text{mol CO}_2}{1}}{\frac{20}{22.4}}$$

$$\text{มวล CH}_4 = 14.32 \text{ g}$$

Ex. 9 ทำการละลาย Al(s) 3.85 g ใน HCl(aq) ที่มากเกินไป



a. จงหาจำนวนโมลของ HCl ที่ใช้ไปในปฏิกิริยานี้

$$\begin{aligned} \frac{\text{mol Al}}{1} &= \frac{\text{mol H}^+}{3} \\ \frac{3.85}{26.98} &= \frac{\text{mol H}^+}{3} \end{aligned}$$

$$\text{mol H}^+ = 0.428 \text{ mol}$$

$$\text{moles Al} = (3.85 \text{ g}) \left(\frac{1 \text{ mol}}{26.98 \text{ g}} \right) = \frac{3.85 \text{ g}}{26.98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.1427 \text{ mol}$$

$$\text{moles H}^+ = (3) \left(\frac{3.85 \text{ g}}{26.98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \right) = 0.428 \text{ mol}$$

b. $H_2(g)$ เกิดขึ้นกี่กรัมในปฏิกิริยานี้

$$\frac{\text{mol Al}}{1} = \frac{\text{mol } H_2}{3/2}$$
$$\frac{3.85}{26.98} = \frac{\text{mol } H_2}{3/2}$$

$$\text{mol } H_2 = 0.431 \text{ g}$$

Ex.10 ปฏิบัติการเกิดแอสไพรินเป็นดังนี้



กรดซาลิซิลิก แอซีติกแอนไฮไดรด์ แอสไพริน กรดแอซีติก

ถ้าเกิดแอสไพริน 18 g ใช้แอซีติกแอนไฮไดรด์ กี่กรัม ทำปฏิกิริยากับ
กรดซาลิซิลิก มากเกินไป

$$\text{mol C}_9\text{H}_8\text{O}_4 = \text{mol C}_4\text{H}_6\text{O}_3$$

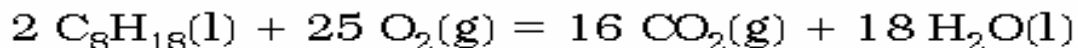
$$\frac{18}{164} = \frac{m}{102}$$

$$\text{น้ำหนัก C}_4\text{H}_6\text{O}_3 = 11.2 \text{ กรัม}$$

4. สารกำหนดปริมาณ

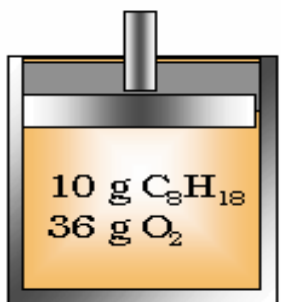
The limiting reactant is the reactant present in the smallest stoichiometric amount

Limiting Reagents



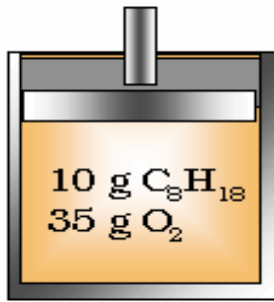
$$\begin{aligned}\text{mol octane} &= 10/114 \\ &= 0.088 \\ &= 0.088/2 \\ &= 0.044\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{mol O}_2 &= 36/32 \\ &= 1.125 \\ &= 1.125/25 \\ &= 0.045\end{aligned}$$

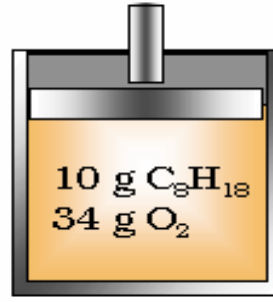


octane is limiting
engine stalls

$$\begin{aligned}\text{mol octane } 10 / 114 &= 0.088 \\ &= 0.088/2 = 0.044 \\ \text{mol O}_2 &= 35/32 = 1.09 \\ &= 1.09/25 = 0.044\end{aligned}$$



optimal



oxygen is limiting
dirty exhaust

$$\begin{aligned}\text{mol octane } 10 / 114 &= 0.088 \\ &= 0.088/2 = 0.044 \\ \text{mol O}_2 &= 34/32 = 1.06 \\ &= 1.06/25 = 0.042\end{aligned}$$

Ex.11 ถ้า Fe 4 mol ทำปฏิกิริยากับ H₂O 5 mol คำนวณ
mol H₂ ที่เกิดขึ้น ?



วิธีทำ

Fe 3 mol ทำปฏิกิริยากับ H₂O 4 mol

Fe 4 mol ทำปฏิกิริยากับ H₂O = $4 \times 4 / 3 = 5.33$

H₂O เป็น limiting agent

$$\frac{\text{mol H}_2}{4} = \frac{\text{mol H}_2\text{O}}{4}$$

$$\text{mol H}_2 = \text{mol H}_2\text{O} = 5 \text{ mol}$$

Ex.12 แก๊ส NH_3 15 g ทำปฏิกิริยากับ แก๊ส CO_2 5.6 dm^3 (STP)
จงคำนวณ น้ำหนักสารยูเรีย , $\text{N}_2\text{H}_4\text{CO}$ ที่เกิดขึ้น ?



วิธีทำ

$$\text{mol NH}_3 = 15/17 = 0.88 \text{ mol} (0.88/2=0.44)$$

$$\text{mol CO}_2 = 5.6/22.4 = 0.25 \text{ mol} (0.25/1=0.25)$$

CO_2 เป็นตัวกำหนดปริมาณ

$$\frac{\text{mol N}_2\text{H}_4\text{CO}}{1} = \frac{\text{mol CO}_2}{1}$$

$$\frac{m}{60} = \frac{0.25}{1}$$

$$\text{น้ำหนัก N}_2\text{H}_4\text{CO} = 15 \text{ กรัม}$$

Ex.13 ใส่ Al 10 กรัม ลงในสารละลาย HNO_3 เข้มข้น 0.82 M จำนวน 500 cm^3 ทำปฏิกิริยากัน เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะเกิดสารละลาย $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ เข้มข้นกี่ mol/L และสารใดเหลือ เหลือกี่กรัม, (Al = 27)



$$\text{mol Al} = 10/27 = 0.37 \text{ mol}$$

$$\text{mol HNO}_3 = 0.82 \times 500 / 1000 = 0.41 \text{ mol} (0.41/3 = 0.137)$$

$$\frac{\text{mol HNO}_3}{3} = \frac{\text{mol Al}(\text{NO}_3)_3}{1}$$

$$\frac{0.41}{3} = \frac{M \times 500}{1000}$$

$$[\text{Al}(\text{NO}_3)_3] = 0.27 \text{ mol/L}$$

$$\frac{\text{mol HNO}_3}{3} = \frac{\text{mol Al}}{1}$$

$$\frac{0.41}{3} = \frac{m}{27}$$

$$m = 3.69 \text{ g}$$

$$\text{Al เหลือ} = 10 - 3.69 = 6.31 \text{ g}$$

5. ผลผลิตทางทฤษฎี (Theoretical yield) ผลผลิตจริง (Actual yield)

ผลผลิตตามทฤษฎี เป็นผลผลิตสูงสุดที่คำนวณได้
ตามสมการ

ผลผลิตจริง เป็นผลผลิตที่ได้จากการทดลอง

$$\% \text{ผลผลิต (percentage yield)} = \frac{\text{ผลผลิตจริง} \times 100}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}}$$

Ex.14 จากปฏิกิริยาการเผาโลหะ Naหนัก 4.60 g ในอากาศที่มีออกซิเจนมากเกินไป ได้ Na_2O หนัก 5.88 g จงคำนวณร้อยละผลผลิตของ Na_2O ที่ได้

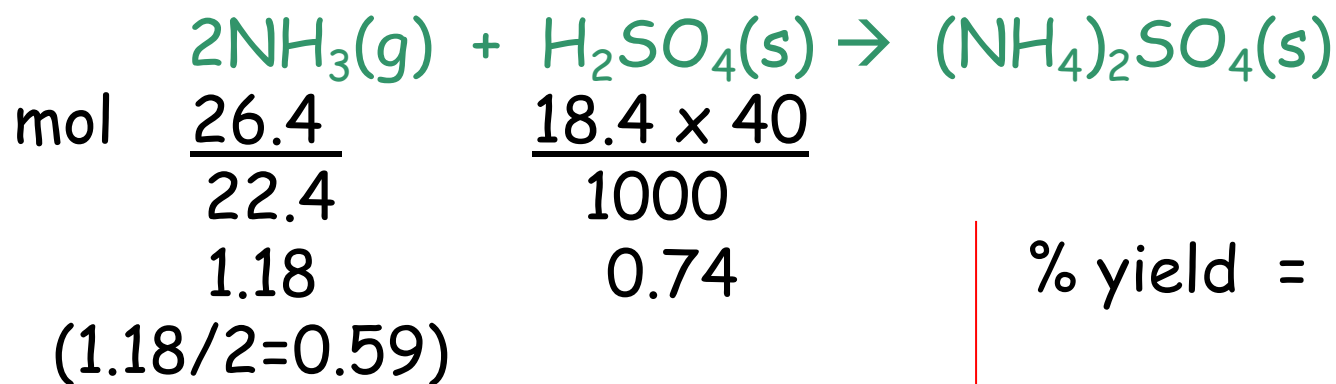


$$\begin{array}{rcl} \text{mol Na}_2\text{O} & = & \frac{1}{2} \text{ mol Na} \\ m & = & (4.60\text{g}) \\ \underline{61.98} & & \underline{2 \times (22.98 \text{ g/mol})} \end{array}$$

$$\text{มวล Na}_2\text{O} \text{ ทฤษฎี} = 6.20 \text{ g}$$

$$\% \text{ yield Na}_2\text{O} = \frac{5.88 \text{ g}}{6.20 \text{ g}} \times 100 = 94.84 \%$$

Ex.15 ในการผลิตปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ใช้กรด H_2SO_4 เข้มข้น 18.4 M จำนวน 40 cm^3 ทำปฏิกิริยากับ NH_3 26.4 dm^3 ที่ STP พบว่าเกิด $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ น้หนัก 70 g จงคำนวณร้อยละผลผลิตของ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ที่ได้



$$\% \text{ yield} = \frac{70.00 \text{ g} \times 100}{77.88 \text{ g}}$$

$$= 89.88 \%$$

NH_3 เป็นตัวกำหนดปริมาณ

$$\text{mol } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = \frac{\text{mol } \text{NH}_3}{2}$$

$$\frac{m}{132} = \frac{1.18}{2}$$

$$\text{น้ำหนัก } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 77.88 \text{ g}$$