



หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เคมี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

ผู้เรียบเรียง

ผศ. ดร.ศิริขวัญ ทินรัตน์ ปว.ด. (เภสัชศาสตร์ชีวภาพ),
วท.บ. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร)

ผู้ตรวจ

ดร.พันธุ์วดี วัฒนสิน ปว.ด. (เคมีวิเคราะห์), วท.บ. (เคมี)
ดร.ปิยวรรณ พันสี ปว.ด. (เคมีวิเคราะห์), วท.บ. (เคมี)
ดร.สุริยา จันทะ ปว.ด. (เคมี), วท.ม. (เทคนิคการแพทย์),
วท.บ. (เทคนิคการแพทย์)

บรรณาธิการ

ดร.พูนทวี แซ่เตีย ปว.ด. (เคมีวิเคราะห์), วท.ม. (เคมีอินทรีย์),
วท.บ. (เคมี)

ปีที่พิมพ์ ๒๕๖๓ พิมพ์ครั้งที่ ๑ จำนวน ๕,๐๐๐ เล่ม ISBN : 978-616-07-2031-6

จัดพิมพ์โดย บริษัท สำนักพิมพ์เอมพันธ์ จำกัด

- ❖ ฝ่ายการตลาด, ฝ่ายการเงินและบัญชี, ฝ่ายผลิตและจัดส่ง :
๖๙/๑๐๙ หมู่ ๑ ซ.พระแม่กรุณา ต.บ้านใหม่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี ๑๑๑๒๐
โทร. ๐ ๒๕๙๙ ๕๙๙๙, ๐ ๒๕๙๙ ๕๙๙๙, ๐ ๒๕๙๖ ๕๙๙๖-๒ โทรสาร ๐ ๒๕๖๑ ๕๕๙๙
- ❖ ฝ่ายวิชาการ :
๙๙/๑๒๒ ถ.เทศบาลสงเคราะห์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ ๑๐๙๐๐
โทร. ๐ ๒๕๕๕ ๕๙๙๙-๒๐, ๐ ๒๕๕๓ ๙๖๖๙-๙ โทรสาร ๐ ๒๕๙๐ ๒๕๖๓

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ ลิขสิทธิ์เป็นของบริษัท สำนักพิมพ์เอมพันธ์ จำกัด

คำนำ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒ ได้เรียบเรียงขึ้นตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลาง
การศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้แบ่งออกเป็น ๓ หน่วยการเรียนรู้ ประกอบด้วย
ปริมาณสารสัมพันธ์ สารละลาย และปริมาณสารสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี
นอกจากนี้ ในหนังสือยังมี QR Code (Quick Response Code) 
ที่เข้าผ่านระบบ LINE หรือแอปพลิเคชันสำหรับอ่าน QR Code เพื่อให้นักเรียน
ได้เข้าถึงข้อมูลและสื่อการเรียนรู้อื่นๆ อีกด้วย

หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒ เล่มนี้ จะอำนวยความสะดวก
ต่อผู้สอนที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนได้พัฒนา
เต็มตามศักยภาพและบรรลุตามเป้าหมายของหลักสูตรต่อไป



ฝ่ายวิชาการ บริษัท สำนักพิมพ์เอมพันธ์ จำกัด



คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

เคมี
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 2

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
เวลา 60 ชั่วโมง จำนวน 1.5 หน่วยกิต

การศึกษาเกี่ยวกับมวลอะตอม มวลอะตอมเฉลี่ย มวลโมเลกุล โมล การคำนวณสูตรเคมี
การคำนวณโดยใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย การคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย การเตรียม
สารละลาย สมบัติบางประการของสารละลาย สมการเคมี การดุลสมการเคมี สารตั้งต้นตัวกำหนด
ปฏิกิริยา ปริมาณสารสัมพันธ์

เพื่อให้นักเรียนได้ศึกษา ค้นคว้า และนำไปใช้ในชีวิตประจำวันเพื่อให้มีคุณลักษณะอันพึง
ประสงค์ พร้อมทั้งคุณธรรมและจริยธรรม การแก้ปัญหา มีความรับผิดชอบ และตระหนักถึง
วิทยาศาสตร์ในกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และความสัมพัทธ์ที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม

ผลการเรียนรู้

- 1 บอก และอธิบายข้อปฏิบัติเบื้องต้น และ
ปฏิบัติตนที่แสดงถึงความตระหนักในการ
ทำปฏิบัติการเคมีเพื่อให้เกิดความปลอดภัย
ทั้งต่อตนเอง ผู้อื่นและสิ่งแวดล้อม และเสนอ
แนวทางแก้ไขเมื่อเกิดอุบัติเหตุ
- 2 อธิบาย และคำนวณปริมาณใดปริมาณหนึ่ง
จากความสัมพันธ์ของโมล จำนวนอนุภาค
มวลและปริมาตรของแก๊สที่ STP
- 3 คำนวณอัตราส่วนโดยมวลของธาตุองค์
ประกอบของสารประกอบตามกฎสัดส่วนคงที่
- 4 คำนวณสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุลของสาร
- 5 คำนวณความเข้มข้นของสารละลายใน
หน่วยต่าง ๆ
- 6 อธิบายวิธีการ และเตรียมสารละลายให้มี
ความเข้มข้นในหน่วยโมลาริตี และปริมาตร
สารละลายตามที่กำหนด
- 7 เปรียบเทียบจุดเดือดและจุดเยือกแข็งของ
สารละลายกับสารบริสุทธิ์ รวมทั้งคำนวณ
จุดเดือดและจุดเยือกแข็งของสารละลาย
- 8 แปลความหมายสัญลักษณ์ในสมการเคมี
เขียนและดุลสมการเคมีของปฏิกิริยาเคมี
บางชนิด
- 9 คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีที่
เกี่ยวข้องกับมวลสาร
- 10 คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีที่
เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของสารละลาย
- 11 คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีที่
เกี่ยวข้องกับปริมาตรแก๊ส
- 12 คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมี
หลายขั้นตอน
- 13 ระบุสารกำหนดปริมาณ และคำนวณ
ปริมาณสารต่าง ๆ ในปฏิกิริยาเคมี
- 14 คำนวณผลได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ใน
ปฏิกิริยาเคมี

สารบัญ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 5 ปริมาณสารสัมพันธ์

• มวลอะตอม	2
• มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ	6
• มวลโมเลกุล	10
• โมล	14
• การคำนวณเกี่ยวกับสูตรเคมี	19
• กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้	34

หน่วยการเรียนรู้ที่ 6 สารละลาย

• สารละลาย	37
• การเตรียมสารละลาย	45
• สมบัติบางประการของสารละลาย	52
• กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้	56

หน่วยการเรียนรู้ที่ 7 ปริมาณสารสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี

• สมการเคมี	60
• การดุลสมการเคมี	65
• สารตั้งต้นตัวกำหนดปฏิกิริยา	70
• ร้อยละผลที่ได้	76
• ปริมาณสารสัมพันธ์	79
• กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้	91

บรรณานุกรม

94

5

ปริมาณสารสัมพันธ์

โมล มวลอะตอม และโมเลกุล มีความสัมพันธ์กันอย่างไร? ในปริมาณสารสัมพันธ์

สาระการเรียนรู้

- 1 มวลอะตอมของธาตุ มวลอะตอมเฉลี่ย มวลโมเลกุลและมวลสูตร
- 2 โมล ความสัมพันธ์ระหว่างโมลกับหน่วยต่าง ๆ และปริมาตรของแก๊สที่ STP
- 3 อัตราส่วนโดยมวลของธาตุ องค์ประกอบของสารประกอบ และกฎสัดส่วนคงที่
- 4 รูปแบบและวิธีการเขียนสูตรเคมี

แนวคิดที่สำคัญ

ในปฏิบัติการทางเคมี นักทดลองต้องคำนวณปริมาณสารเพื่อให้ได้องค์ประกอบและสัดส่วนที่ถูกต้องสำหรับการทดลองแต่ละครั้ง ดังนั้น ความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับมวลอะตอมของธาตุ สูตรเคมี และการคำนวณโมลจึงมีความสำคัญมากสำหรับนักทดลอง โดยทั่วไป $1 \text{ โมล} = 6.02 \times 10^{23}$ อนุภาค

ผลการเรียนรู้

- 1 บอกความหมายของมวลอะตอมของธาตุ และคำนวณมวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ มวลโมเลกุล และมวลสูตร
- 2 อธิบาย และคำนวณปริมาณใดปริมาณหนึ่ง จากความสัมพันธ์ของโมล จำนวนอนุภาค มวล และปริมาตรของแก๊สที่ STP
- 3 คำนวณอัตราส่วนโดยมวลของธาตุ องค์ประกอบของสารประกอบตามกฎสัดส่วนคงที่
- 4 คำนวณสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุลของสาร



ปริมาณสารสัมพันธ์

Stoichiometry I



มวลอะตอม (atomic mass)

มวลอะตอม หมายถึง ผลรวมมวลอนุภาคพื้นฐานของแต่ละธาตุ 1 อะตอมซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละธาตุตามความเป็นจริง อย่างไรก็ตาม ผลรวมดังกล่าวมีค่าน้อยมาก เช่น ค่ามวลอิเล็กตรอนที่นักเรียนได้ศึกษาแล้วในการทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกน หรือค่ามวลของไฮโดรเจน 1.66×10^{-24} กรัม แต่ค่าดังกล่าวเป็นน้ำหนักที่น้อยมาก ทำให้นักเคมีเกิดปัญหาในการใช้คำนวณ และเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงเริ่มมีการกำหนดให้ใช้มวลอะตอมสัมพัทธ์ (relative atomic mass) ขึ้น โดยคำนวณจากการเปรียบเทียบมวลอะตอมของธาตุที่ต้องการกับมวลของธาตุมาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยค่าตัวเลขที่ได้จะไม่มีหน่วย ดังสมการ

$$\text{มวลอะตอมของธาตุใด ๆ (มวลอะตอมสัมพัทธ์)} = \frac{\text{มวลของธาตุใด ๆ 1 อะตอม (g)}}{\text{มวลของธาตุมาตรฐาน 1 อะตอม (g)}}$$

นักเคมีในยุคแรกๆ เสนอให้ใช้ธาตุไฮโดรเจน (H) เป็นธาตุมาตรฐานโดย

$$\text{ธาตุไฮโดรเจน (H) 1 อะตอม} \text{หนัก } 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม หรือ } \frac{1}{6.02 \times 10^{23}}$$

$$\text{ดังนั้น มวลอะตอมของธาตุใด ๆ} = \frac{\text{มวลของธาตุใด ๆ 1 อะตอม (g)}}{\text{มวลของ H 1 อะตอม (g)}}$$

จากสมการข้างต้น นักเคมีสามารถหามวลอะตอมของแต่ละธาตุได้โดยสะดวกขึ้น อาศัยการเปรียบเทียบว่า มวลอะตอมของธาตุนั้นจะหนักเป็นกี่เท่าของมวลอะตอมของไฮโดรเจน (H) เช่น ธาตุโซเดียม (Na) มีมวลอะตอม 23 หมายความว่า ธาตุ Na 1 อะตอม จะมีมวลหนักเป็น 23 เท่าของมวล H 1 อะตอม ดังสมการ

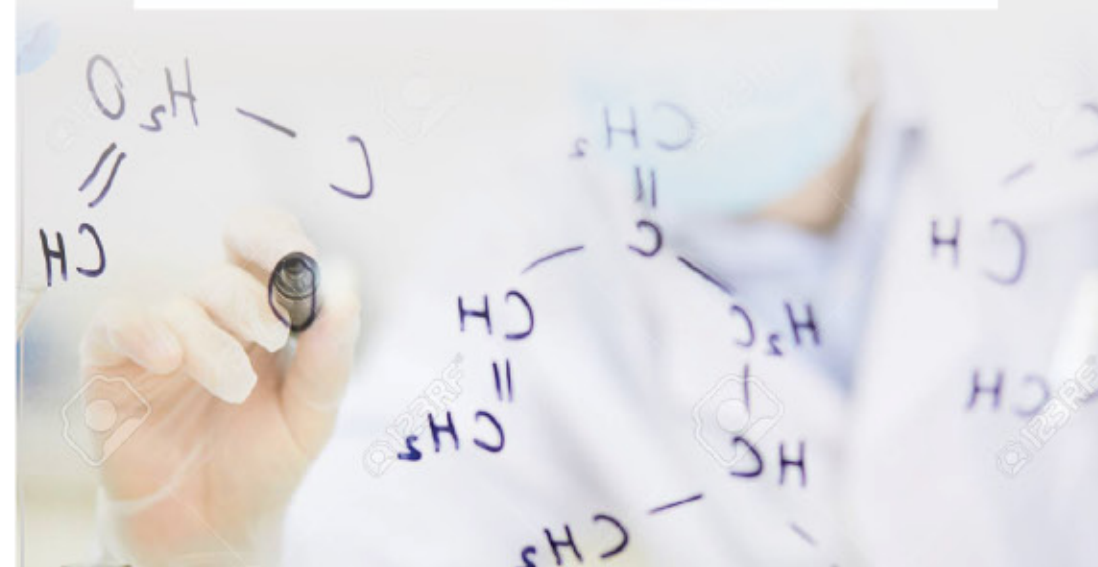
$$\begin{aligned} \text{มวลอะตอมของ Na} &= \frac{\text{มวลของ Na 1 อะตอม (g)}}{\text{มวลของ H 1 อะตอม (g)}} \\ 23 &= \frac{\text{มวลของ Na 1 อะตอม (g)}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ (g)}} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น มวลของ Na 1 อะตอม (g)} = 23 \times 1.66 \times 10^{-24}$$

ในเวลาต่อมา นักเคมีพบว่า ธาตุไฮโดรเจนไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นธาตุมาตรฐานในการคำนวณหามวล 1 อะตอมของธาตุ จึงมีการเสนอให้ใช้ธาตุอื่นๆ แทน ได้แก่ ออกซิเจน (O) โดยให้เหตุผลว่า เป็นธาตุที่มีอยู่อย่างอิสระในอากาศ และทำปฏิกิริยากับธาตุตัวอื่นๆ ได้ดี แต่ความพยายามดังกล่าวก่อให้เกิดปัญหาขึ้นอีกครั้ง เพราะธาตุออกซิเจนมีได้หลายไอโซโทป ไม่ว่าจะเป็น O-16, O-17 และ O-18 จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณระหว่างนักเคมีกับนักฟิสิกส์ เพราะยังไม่มีข้อตกลงกันอย่างเป็นทางการ

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2504 เป็นต้นมา นักวิทยาศาสตร์ตกลงกันว่าจะเปลี่ยนมาใช้คาร์บอน 12 (C-12) ซึ่งเป็นไอโซโทปของธาตุคาร์บอนเป็นธาตุมาตรฐานแทน เพราะธาตุคาร์บอนสามารถทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นๆ แล้วให้กำเนิดสารประกอบได้มากมายเช่นเดียวกับธาตุออกซิเจน อีกทั้งคาร์บอน - 12 ยังเป็นไอโซโทปที่พบได้มากที่สุดตามธรรมชาติอีกด้วย จึงทำให้เกิดการนิยามวิธีคำนวณมวลอะตอมของธาตุใหม่ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{มวลอะตอมของธาตุใด ๆ (มวลอะตอมสัมพัทธ์)} &= \frac{\text{มวลของธาตุใด ๆ 1 อะตอม (g)}}{\frac{1}{12} \text{ (มวลของธาตุคาร์บอน 12 1 อะตอม (g))}} \\ &= \frac{\text{มวลของธาตุใด ๆ 1 อะตอม (g)}}{\frac{1}{12} \times 1.992646547 \times 10^{-23} \text{ (g)}} \\ &= \frac{\text{มวลของธาตุใด ๆ 1 อะตอม (g)}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ (g)}} \end{aligned}$$



การคำนวณมวลของธาตุ 1 อะตอม

การคำนวณมวลอะตอมของธาตุอาศัยความรู้จากสมการข้างต้น โดยถือว่า มวลรวมของแต่ละอนุภาคในอะตอม ได้แก่ โปรตอน นิวตรอน อิเล็กตรอน มีค่า 1.66×10^{-24} (g)



วิธีคำนวณจาก
อาจารย์ผู้สอน

ตัวอย่างที่ 1

ธาตุกำมะถัน (S) มีมวล $32 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม จงหามวลอะตอมของกำมะถัน

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{มวลอะตอม} &= \frac{\text{มวลของธาตุกำมะถัน 1 อะตอม}}{1.66 \times 10^{-24}} \\ &= \frac{32 \times 1.66 \times 10^{-24}}{1.66 \times 10^{-24}} \end{aligned}$$

∴ มวลอะตอมของกำมะถัน เท่ากับ 32

ตอบ

ตัวอย่างที่ 2

ธาตุ A 2 อะตอม มีมวลเป็น 2 เท่าของ S-32 2 อะตอม จงหามวลอะตอมของธาตุ A

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{A 1 อะตอม หนัก} &= \left(\frac{2}{2}\right) \times 32 \times 1.66 \times 10^{-24} \\ \therefore \text{มวลอะตอมของธาตุ A} &= \frac{32 \times 2 \times 1.66 \times 10^{-24}}{1.66 \times 10^{-24}} \\ &= 64 \end{aligned}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 3

ธาตุแคดเมียม (Cd) มีมวลอะตอม 112.4 จงหาจำนวนของธาตุแคดเมียม 5 อะตอม

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{Cd 1 อะตอม หนัก} &= 112.4 \times 1.66 \times 10^{-24} \\ \text{Cd 5 อะตอม หนัก} &= 5 \times 112.4 \times 10^{-24} \\ \therefore \text{Cd 5 อะตอม หนัก} &= 9.32 \times 10^{-24} \text{ หรือ } 562 \text{ a.m.u.} \end{aligned}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 4

ธาตุชนิดหนึ่ง มีมวล 5 อะตอม เท่ากับ 394.54×10^{-24} กรัม จงหาว่า ธาตุนี้มีมวลอะตอมเท่าใด

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{ธาตุ X 1 อะตอม หนัก} &= \frac{394.54 \times 10^{-24}}{5} \\ \text{ธาตุ X 5 อะตอม หนัก} &= \frac{394.54 \times 10^{-24}}{5 \times 1.66 \times 10^{-24}} \end{aligned}$$

∴ มวลอะตอมของ ธาตุ X = 47.535

ตอบ

ตัวอย่างที่ 5

ธาตุ B 10 อะตอม หนักเป็น 200 เท่าของ $\frac{1}{12}$ ของมวล C-12, 1 อะตอม มวลอะตอมของ B เป็นเท่าใด

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{ธาตุ B 10 อะตอม หนัก} &= 200 \times \frac{1}{12} \times 12 \times 1.66 \times 10^{-24} \\ \text{ธาตุ B 1 อะตอม หนัก} &= \frac{200}{10} \times 1.66 \times 10^{-24} \\ \therefore \text{มวลอะตอมของ ธาตุ B} &= \frac{20 \times 1.66 \times 10^{-24}}{1.66 \times 10^{-24}} \\ &= 20 \end{aligned}$$

ตอบ



ฝึกสมอง

- 1 ธาตุ B 10 อะตอม หนักเป็น 200 เท่าของ $\frac{1}{12}$ ของมวล C-12, 1 อะตอม มวลอะตอมของ B เป็นเท่าใด
- 2 ธาตุ E 20 อะตอม หนักเป็น 200 เท่าของ $\frac{1}{12}$ ของมวล C-12, 3 อะตอม มวลอะตอมของ E เป็นเท่าใด
- 3 ธาตุ C 25 อะตอม หนักเป็น 500 เท่าของ $\frac{1}{16}$ ของมวล O-16, 1 อะตอม มวลอะตอมของ C เป็นเท่าใด



น้ำรู้

นักเรียนอาจสงสัยว่า “ทำไมการวัดอะตอมด้วยน้ำหนัก?”
ถึงมีความสำคัญ ลองพิจารณาสมการเคมี ต่อไปนี้



ทุกคนทราบดีว่า ปฏิกริยาระหว่างธาตุคาร์บอนกับโมเลกุลของออกซิเจนจะให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ถ้าถามว่านักเรียนสามารถนับโมเลกุลของออกซิเจนที่ทำปฏิกิริยากับผงถ่านแล้วเกิดผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้หรือไม่? คำตอบคือ ไม่ได้ กล่าวคือ กระบวนการที่ธาตุคาร์บอนจับกับโมเลกุลออกซิเจนแล้วเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมเลกุล ไม่อาจมองเห็นและมีขนาดเล็กมากๆ

เพื่อให้สามารถคำนวณได้อย่างแม่นยำแล้วนักเคมีจึงกำหนดระบบมวลเปรียบเทียบขึ้น (ค่าที่ได้ไม่มีหน่วย) โดยนิยามหน่วยที่เล็กมากนั้นว่า atomic mass unit (amu) โดยที่ $1 \text{ amu} = 1.66 \times 10^{-24}$ กรัมพอดี



มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ

ถึงแม้ว่า นักเคมีจะกำหนดระบบมวลเปรียบเทียบ และ amu เพื่อใช้คำนวณมวลอะตอมแล้วก็ตาม แต่ทว่า ธาตุที่พบในธรรมชาตินั้น เช่น ออกซิเจน (O) กลับมีได้หลายไอโซโทป โดยที่แต่ละไอโซโทปยังมีเปอร์เซ็นต์ของโอกาสในการพบตามธรรมชาติไม่เท่ากัน เพราะฉะนั้น เพื่อให้ค่ามวลอะตอมของแต่ละธาตุสะท้อนความจริงทางกายภาพมากที่สุด นักเคมีจึงเสนอวิธีคำนวณมวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ กำหนดโดย

$$\text{มวลอะตอมเฉลี่ย} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\text{มวลอะตอมของแต่ละไอโซโทป} \times \text{เปอร์เซ็นต์ที่พบในธรรมชาติ}}{100} \right]$$

โดยที่ i = จำนวนไอโซโทปของแต่ละธาตุ เช่น ออกซิเจนในธรรมชาติมี 3 ไอโซโทป ดังนั้น $i = 3$



ถ้าโจทย์กำหนดทั้งเลขมวลและเลขไอโซโทปมาให้
ขอ! ให้ใช้มวลไอโซโทปมา $\times$ %



ตัวอย่าง 6

จงคำนวณมวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุคลอรีนโดยกำหนดให้ ^{35}Cl และ ^{37}Cl พบในธรรมชาติในสัดส่วน 75.76 % และ 24.24 % ตามลำดับ

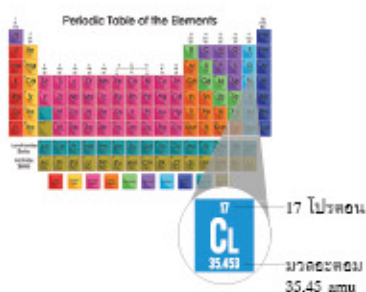
วิธีทำ

$$\text{จาก มวลอะตอมเฉลี่ย} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\text{มวลอะตอมของแต่ละไอโซโทป} \times \text{เปอร์เซ็นต์ที่พบในธรรมชาติ}}{100} \right]$$

$$\text{มวลอะตอมเฉลี่ยของ Cl} = \sum_{i=1}^2 \left[\frac{\text{มวลไอโซโทป Cl 2 อะตอม} \times \text{เปอร์เซ็นต์ที่พบในธรรมชาติ}}{100} \right]$$

$$\text{เพราะฉะนั้น มวลอะตอมเฉลี่ยของ Cl} = \frac{(35 \times 75.76) + (37 \times 24.24)}{100} = \frac{2651.6 + 896.88}{100}$$

$$= \frac{3548.48}{100} = 35.48 \text{ amu (โดยประมาณ)}$$



หมายเหตุ

มวลอะตอม 35.45 amu ในตารางธาตุ คำนวณจาก

$$\frac{(34.97 \times 75.76) + (36.97 \times 24.24)}{100} = 35.45 \text{ amu}$$

ตาราง 6.1 ตัวอย่างมวลอะตอมและปริมาณของไอโซโทปที่พบในธรรมชาติ

ไอโซโทป	มวลอะตอมของไอโซโทป	ปริมาณร้อยละที่พบในธรรมชาติ	มวลอะตอมเฉลี่ย
^{14}N	14.0031	99.632	14.007
^{15}N	15.0001	0.368	
^{16}O	15.9949	99.757	16.000
^{17}O	16.9991	0.038	
^{18}O	17.9992	0.205	
^{20}Ne	19.9924	90.480	20.179
^{21}Ne	20.9938	0.270	
^{22}Ne	21.9914	9.250	
^{35}Cl	34.9689	75.760	35.452
^{37}Cl	36.9659	24.240	

ตัวอย่างที่ 7

จงหามวลอะตอมของธาตุ X 12.04×10^{-24} อะตอมจากข้อมูลดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\text{วิธีทำ} \quad \text{มวลอะตอมของธาตุ X} &= \frac{(12.01 \times 84) + (13.15 \times 16)}{100} \\ &= \frac{(1008.84 + 210.40)}{100} = 12.19\end{aligned}$$

$\therefore$ มวลอะตอมของธาตุ X เท่ากับ 12.19

ตอบ

ตัวอย่างที่ 8

จงหามวลเฉลี่ยของธาตุ M ซึ่งมี 2 ไอโซโทป คือ ไอโซโทปแรกมีร้อยละ 20 มวลอะตอม 54 ไอโซโทปชนิดที่ 2 มีร้อยละ 80 มวลอะตอม 56

$$\begin{aligned}\text{วิธีทำ} \quad \text{มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ M} &= \frac{(54 \times 20) + (56 \times 80)}{100} \\ &= \frac{1080 + 4480}{100} = 55.60\end{aligned}$$

$\therefore$ มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ M เท่ากับ 55.60

ตอบ

ตัวอย่างที่ 9

คาร์บอนทั่วไปมีไอโซโทปอยู่ 2 ชนิดชนิดแรก ^{12}C พบอยู่ในธรรมชาติ 98.89% มีมวลอะตอม 12.00 และชนิดที่ 2 ^{13}C มีมวลอะตอม 13.003 ถ้าคาร์บอนนี้มีมวลอะตอมเฉลี่ย 12.01113 ^{13}C นี้ มี % อยู่ตามธรรมชาติเท่าใด

$$\text{วิธีทำ} \quad \text{มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ C} = \frac{(12.00 \times 98.89) + (13.003 \times A)}{100}$$

$$12.01113 \times 100 = 1186.68 + 13.003A$$

$$14.43 = 13.003A$$

$$A = 1.1099$$

$\therefore$ ^{13}C นี้มี % อยู่ตามธรรมชาติ เท่ากับ 1.1099

ตอบ

ตัวอย่างที่ 10

ธาตุ C มี 2 ไอโซโทปคือ ^{12}C และ ^{13}C มีมวลอะตอมเฉลี่ย 62.8 จงหาเปอร์เซ็นต์ของธาตุแต่ละไอโซโทป

$$\begin{aligned}\text{วิธีทำ} \quad \text{มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ C} &= \frac{(60 \times A) + [63(100 - A)]}{100} \\ 62.8 \times 100 &= 60A + 6300 - 63A \\ 6280 &= 6300 - 3A \\ 3A &= 20 \\ A &= 6.67\end{aligned}$$

$\therefore$ ^{12}C นี้มี % อยู่ตามธรรมชาติ เท่ากับ 6.67

$\therefore$ ^{13}C นี้มี % อยู่ตามธรรมชาติ เท่ากับ $100 - 6.67 = 93.37$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 11

ธาตุเงิน (Ag) พบในธรรมชาติ 2 ไอโซโทป คือ ^{107}Ag มีมวล อะตอมเท่ากับ 106.9051 และ ^{109}Ag มีอยู่ในธรรมชาติร้อยละ 48.161 ถ้าธาตุเงินนี้มีมวลอะตอมเฉลี่ยเท่ากับ 107.868 จงคำนวณหามวลอะตอมของ ^{109}Ag

$$\begin{aligned}\text{วิธีทำ} \quad \text{มี } ^{109}\text{Ag} \text{ ร้อยละ } 48.161 \therefore \text{ จึงมี } ^{107}\text{Ag} &= 100 - 48.161 = 51.839 \\ \text{มวลอะตอม } ^{109}\text{Ag} &= A \\ \text{มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ Ag} &= \frac{(106.9051 \times 51.839) + (A \times 48.161)}{100} \\ 107.868 &= \frac{(5,541.8535) + (A \times 48.161)}{100} \\ 10,786.8 &= 5,541.8535 + 48.161A \\ A &= \frac{10,786.8 - 5,541.8535}{48.161} \\ &= 108.9044\end{aligned}$$

$\therefore$ มวลอะตอมของ ^{109}Ag เท่ากับ 108.9044

ตอบ



นำรู้

เมื่อนักเคมีกล่าวถึง มวลอะตอม (atomic mass) บางครั้งอาจเป็นความหมายอย่างกว้างก็ได้ เช่น อาจหมายถึง น้ำหนักอะตอม (atomic weight), มวลอะตอมเฉลี่ย (average atomic mass), น้ำหนักอะตอมเฉลี่ย (average atomic weight) หรือ มวลอะตอมสัมพัทธ์ (relative atomic mass) ซึ่งการทำความเข้าใจว่า นักวิทยาศาสตร์กำลังกล่าวถึง “มวลอะตอม” ในลักษณะใด ให้สังเกตความหมาย 2 ระดับ ต่อไปนี้

- 1 มวลอะตอมในความหมายของน้ำหนักอะตอม โดยมีค่าคงตัว 1.66×10^{-24} กรัม หรือ 1 amu
- 2 มวลอะตอมในความหมายที่คำนวณจากไอโซโทปของธาตุ เช่น สมการคำนวณมวลอะตอมเฉลี่ย



ฝึกสมอง

- ธาตุคาร์บอนในธรรมชาติมีไอโซโทปอยู่ 2 ชนิด คือ ^{12}C พบอยู่ในธรรมชาติร้อยละ 98.89 ส่วน ^{13}C พบอยู่ในธรรมชาติร้อยละ 1.11 เมื่อ ^{12}C และ ^{13}C มีมวลอะตอมเท่ากับ 12.000 และ 13.000 ตามลำดับ จงหาค่ามวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุนี้



มวลโมเลกุล (Molecular Weight)

มวลโมเลกุลมีหลักคิดเช่นเดียวกับมวลอะตอม โดยเป็นมวลเปรียบเทียบที่แสดงว่า 1 โมเลกุลของสารนั้นหนักเป็นกี่เท่าของมวลคาร์บอน 12 (C-12) 1 อะตอม ($\frac{1}{12}$ ของมวล C-12) ดังสมการ

$$\text{มวลโมเลกุลของสาร} = \frac{\text{มวล 1 โมเลกุลของสาร}}{\frac{1}{12} \left[\text{มวลของธาตุคาร์บอน 12, 1 อะตอม} \right]} = \frac{\text{มวล 1 โมเลกุลของสาร}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}}$$



$$\text{มวล 1 โมเลกุล} = \text{มวลโมเลกุล} \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}$$



ตัวอย่างที่ 12

สาร Z หนัก 237.38×10^{-24} กรัม/โมเลกุล ดังนั้นสาร Z จะมีมวลโมเลกุลเท่าใด

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{มวลโมเลกุลสาร Z} &= \frac{237.38 \times 10^{-24} \text{ กรัม/โมเลกุล}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}} \\ &= 143 \end{aligned}$$

∴ สาร Z จะมีมวลโมเลกุล เท่ากับ 143

ตอบ

ตัวอย่างที่ 13

สาร X 15 โมเลกุล มีมวลเท่ากับ 2.988×10^{-23} กรัม/โมเลกุล ดังนั้นมวลโมเลกุลของสาร X มีค่าเท่าใด

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{มวลโมเลกุลของสาร X} &= \frac{2.988 \times 10^{-23} \text{ กรัม/โมเลกุล}}{15 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}} \\ &= 0.12 \times 10^3 \end{aligned}$$

∴ สาร X จะมีมวลโมเลกุล เท่ากับ 1.2×10^2

ตอบ

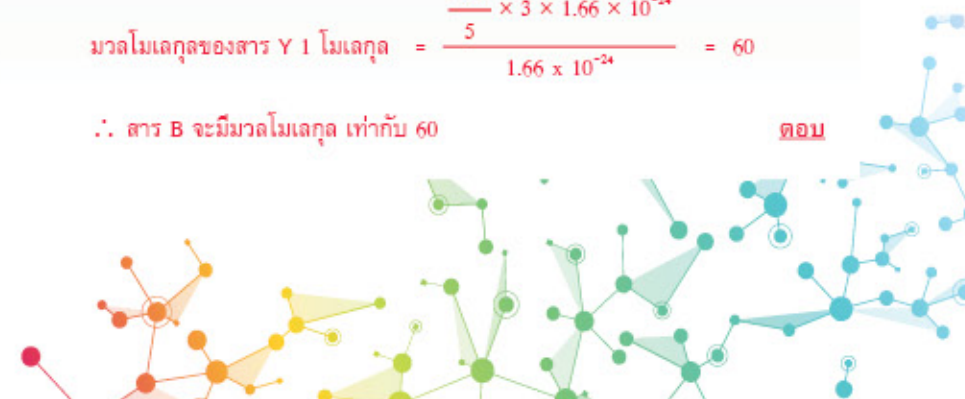
ตัวอย่างที่ 14

สาร B 5 โมเลกุล หนักเป็น 100 เท่าของ $\frac{1}{14}$ ของ N-14, 3 อะตอม จงหามวลโมเลกุลของ B

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{มวลโมเลกุลของสาร Y 5 โมเลกุล} &= \frac{100 \times \frac{1}{14} \times 14 \times 3 \times 1.66 \times 10^{-24}}{1.66 \times 10^{-24}} \\ \text{มวลโมเลกุลของสาร Y 1 โมเลกุล} &= \frac{\frac{100}{5} \times 3 \times 1.66 \times 10^{-24}}{1.66 \times 10^{-24}} = 60 \end{aligned}$$

∴ สาร B จะมีมวลโมเลกุล เท่ากับ 60

ตอบ



ตัวอย่างที่ 15

สาร A 4 โมเลกุล มีมวลเป็น 3 เท่าของ S-32 1 โมเลกุล จงหามวลโมเลกุลของสาร A

วิธีทำ มวลโมเลกุลของสาร Y 4 โมเลกุล = $\frac{3 \times 32 \times 1.66 \times 10^{-24}}{1.66 \times 10^{-24}}$

$$\text{มวลโมเลกุลของสาร Y 1 โมเลกุล} = \frac{\frac{3}{4} \times 32 \times 1.66 \times 10^{-24}}{1.66 \times 10^{-24}} = 24$$

∴ สาร A จะมีมวลโมเลกุล เท่ากับ 24 **ตอบ**

แบบฝึกหัด

- ธาตุ D 100 อะตอมหนักเป็น 200 เท่าของ $\frac{1}{14}$ ของมวล N-14,2 โมเลกุล มวลอะตอมของ D เป็นเท่าใด
- ธาตุ M มีมวลอะตอมเท่ากับ a และธาตุ M 1 อะตอมมีมวล = b กรัม ธาตุ N มีมวลอะตอมเท่ากับ c ธาตุ N 1 อะตอมมีมวลเท่าใด
- คลอรีนในธรรมชาติพบอยู่ 2 ไอโซโทป ^{35}Cl พบในธรรมชาติ 75.77% มีมวลอะตอมเท่ากับ 34.969 amu และ ^{37}Cl พบในธรรมชาติ 24.23% มีมวลอะตอมเท่ากับ 36.966 amu จงหามวลอะตอมของธาตุชนิดนี้
- ธาตุเงิน (Ag) พบในธรรมชาติ 2 ไอโซโทป คือ ^{107}Ag มีมวลอะตอมเท่ากับ 106.9051 และ ^{109}Ag มีอยู่ในธรรมชาติร้อยละ 48.161 ถ้าธาตุเงินมีมวลอะตอมเฉลี่ยเท่ากับ 107.868 จงคำนวณหามวลอะตอมของ ^{109}Ag
- Li ในธรรมชาติพบอยู่ 2 ไอโซโทป คือ ^6Li และ ^7Li ซึ่งมีมวลอะตอม 6.0651 และ 7.0160 ตามลำดับ ซึ่ง ^6Li มีอยู่ในธรรมชาติ 7.7% และ Li มีมวลเฉลี่ย 6.939 จงหาร้อยละของ ^7Li ในธรรมชาติ

การหาค่ามวลโมเลกุล

เมื่อทราบสูตรโมเลกุลของสารประกอบนั้นๆ แล้ว สามารถหาค่ามวลโมเลกุลได้ดังนี้



$$\text{มวลโมเลกุลของ } A_x B_y C_z = a (\text{มวลอะตอม A}) + b (\text{มวลอะตอม B}) + c (\text{มวลอะตอม C})$$

จงหามวลโมเลกุลของสารต่อไปนี้

⊙ H_2O	=	⊙ CO_2	=
⊙ CO	=	⊙ KCl	=
⊙ NaOH	=	⊙ NO_2	=
⊙ HNO_3	=	⊙ NaCl	=
⊙ O_2	=	⊙ H_2SO_4	=
⊙ MgCl_2	=	⊙ SO_2	=
⊙ C_2H_6	=	⊙ CH_4	=
⊙ Cl_2	=	⊙ AlCl_3	=
⊙ CH_3COOH	=	⊙ Na_3PO_4	=

ความรู้เพิ่มเติม

มวลสูตร (formula mass) หมายถึง มวลโมเลกุลเฉลี่ยของสารประกอบ มีวิธีคำนวณคล้ายมวลอะตอมเฉลี่ย กำหนดโดย



$$\text{มวลสูตร} = \text{จำนวนอะตอม} \times \text{มวลอะตอม}$$

ยกตัวอย่างเช่น มวลสูตรของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คำนวณจาก (จำนวนอะตอมคาร์บอน × มวลอะตอมคาร์บอน) + (จำนวนอะตอมออกซิเจน × มวลอะตอมออกซิเจน)

$$\text{มีค่าเท่ากับ } 1 \times 12.01 \text{ amu} + 2 \times 16.00 \text{ amu} = 44.01 \text{ amu}$$

ดังนั้น มวลสูตรของ $\text{CO}_2 = 44.01 \text{ amu}$



โมล (Mol)

โมล (mol) เป็นหน่วยนับทางเคมีในระบบ SI หมายถึง หน่วยที่ใช้นับอนุภาคไม่ว่าจะเป็นอะตอม, โมเลกุล หรือไอออนของธาตุ โดยกำหนดให้ 1 โมล = เลขอาโวกาโดร = 6.02×10^{23} อนุภาค ปริมาณ 1 โมลของสารใด ๆ มีความหมายได้ 3 แบบ ดังนี้

- 1 ปริมาณสารที่มีจำนวนอนุภาค 6.02×10^{23} อนุภาค (เลขอาโวกาโดร) เช่น
 - ⊙ อะตอม H 1 โมลของอะตอม = 6.02×10^{23} อะตอม
 - ⊙ โมเลกุล CO_2 1 โมลของโมเลกุล = 6.02×10^{23} โมเลกุล
 - ⊙ ไอออนของ Br^- 1 โมลของไอออน = 6.02×10^{23} ไอออน
- 2 สารใดๆ จะมีมวลเท่ากับมวลโมเลกุลหรือมวลอะตอม แต่มีหน่วยเป็นกรัม เช่น CO 1 โมเลกุล จะมีมวลเท่ากับ 28 (เรียกมวลโมเลกุล) \ CO 1 โมล (6.02×10^{23} โมเลกุล) จะมีมวลเท่ากับ 28 กรัม (คือเท่ากับมวลโมเลกุลแต่มีหน่วยเป็นกรัม)
- 3 แก๊สหรือไอใด ๆ ที่มีปริมาตร 22.4 ลูกบาศก์เดซิเมตร (ลิตร) ที่ STP (1 atm, 0°C)

⊙ สูตรที่ใช้คำนวณเกี่ยวกับโมล

$$n = \frac{g}{M_w} = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}} = \frac{V}{22.4} = \frac{\text{จำนวนอนุภาคน้อย}}{\text{อัตราอนุภาคน้อย} \times 6.02 \times 10^{23}}$$

เมื่อ n = จำนวนโมล (mol)

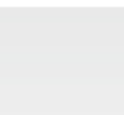
g = มวลของสาร (กรัม)

M_w = มวลโมเลกุล หรือมวลอะตอม

N = จำนวนโมเลกุล

V = ปริมาตรของแก๊ส (dm^3 หรือ ลิตร) $\rightarrow 1000$

$\text{cm}^3 = 1$ ลิตร; STP



ตัวอย่างที่ 16

แก๊ส NH_3 0.34 กรัม จงหา

ก) จำนวนโมล

วิธีทำ $n = \frac{g}{M_w}$

$$= \frac{0.34}{17} = 0.02$$

$\therefore$ จำนวนโมลอะตอม เท่ากับ 0.02 โมล

ตอบ

ตอบ

ข) จำนวนโมเลกุล ($n = N / 6.02 \times 10^{23}$)

วิธีทำ $N = n \times 6.02 \times 10^{23}$

$$= 0.02 \times 6.02 \times 10^{23}$$

$$= 0.1204 \times 10^{23}$$

$\therefore$ จำนวนอะตอม เท่ากับ 12.04×10^{22} อะตอม

ตอบ

ค) ปริมาตรที่ STP ($N = 14, H = 1$)

วิธีทำ $n = \frac{V}{22.4}$

$$V = 0.02 \times 22.4 = 0.448 \text{ dm}^3$$

$\therefore$ ปริมาตรที่ STP เท่ากับ 0.448 dm^3

ตอบ

ตัวอย่างที่ 17

ออกซิเจน (O_2) 1.204×10^{23} โมเลกุล มีกี่โมล กี่โมลอะตอม

วิธีทำ $n = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}}$

$$3 = \frac{1.204 \times 10^{23}}{6.02 \times 10^{23}} = 0.2$$

$\therefore$ ออกซิเจน (O_2) 1.204×10^{23} โมเลกุล มี 0.2 โมล

$\therefore$ โมลอะตอมของ $\text{O}_2 = 0.2 \times 2 = 0.4$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 18

แก๊ส X_2 89.6 ลิตร ที่ STP มีมวล 144 กรัม จงหามวลอะตอมของ X และมวลโมเลกุลของ X_2

วิธีทำ

$$\text{จาก } \frac{g}{M_w} = \frac{V}{22.4} \rightarrow \frac{144}{M_w} = \frac{89.6}{22.4}$$

$$M_w = \frac{144}{4} = 36$$

∴ มวลอะตอมของ X เท่ากับ 36 และมวลโมเลกุลของ $X_2 = 32 \times 2 = 64$ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 19

แก๊ส NH_3 5.6 dm³ ที่ STP มีจำนวนอะตอมเท่าไร

วิธีทำ

$$\text{จาก } \frac{V}{22.4} = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}} \rightarrow \frac{5.6}{22.4} = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}}$$

$$N = 6.02 \times 10^{23} \times 0.25$$

$$= 24.08 \times 10^{22}$$

∴ แก๊ส NH_3 5.6 dm³ ที่ STP มีจำนวนอะตอม เท่ากับ 2.408×10^{24} **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 5

ซิลเวอร์ไนเตรด ($AgNO_3$) 2.98 กรัม มีมวลโมเลกุลเท่าใด ก็โมล ก็โมเลกุล และมีปริมาตรเท่าใดที่ STP

วิธีทำ

1 มวลโมเลกุลของ $AgNO_3 = 108 + 14 + (16 \times 3) = 170$

2 จาก $n = \frac{g}{M_w}$ เพราะฉะนั้น $n = \frac{2.98}{170} = 0.0175$

3 จาก $n = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}}$ เพราะฉะนั้น $N = 0.0175 \times 6.02 \times 10^{23}$
 $= 1.054 \times 10^{22}$

4 จาก $n = \frac{V}{22.4}$ เพราะฉะนั้น $V = 0.0175 \times 22.4$
 $= 0.393 \text{ dm}^3$

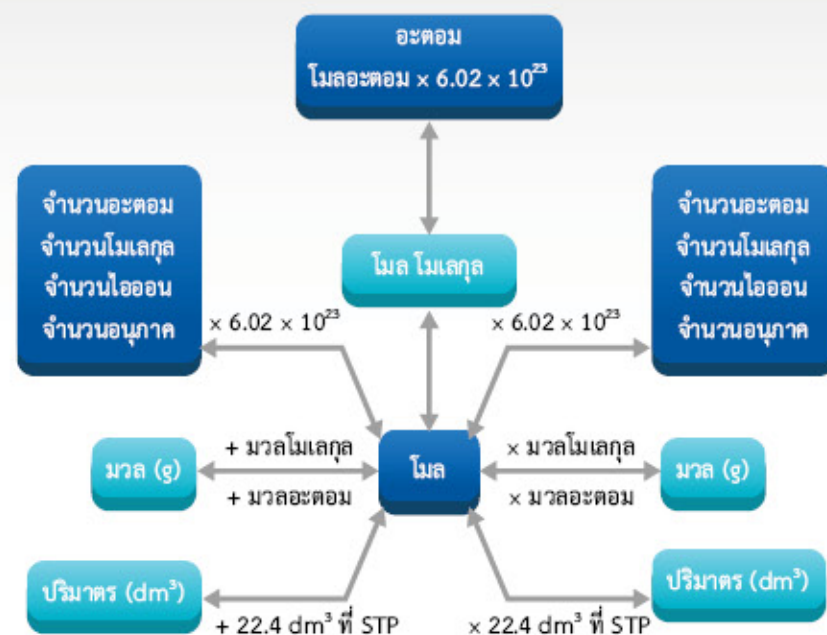
∴ ซิลเวอร์ไนเตรด ($AgNO_3$) 2.98 กรัม

- ⊙ มีมวลโมเลกุล เท่ากับ 170
- ⊙ มีจำนวนโมล เท่ากับ 0.0175
- ⊙ มีจำนวนโมเลกุล เท่ากับ 1.054×10^{22}
- ⊙ มีปริมาตร เท่ากับ 0.393 dm³ ที่ STP **ตอบ**



วิธีคำนวณจาก
อาจารย์ผู้สอน

ความรู้เพิ่มเติม : ความสัมพันธ์ระหว่างโมลโมเลกุลกับโมลอะตอม



ฝึกสมอง

1. P_2O_5 0.284 กรัม (P=31, O=16) จงหา
2. จงหามวลของ $Na_2S_2O_3$ เมื่อมี S อยู่ 1.806×10^{22} อะตอม (Na=23, S=32)
3. จงหามวลของผลึกจูนีลีเมื่อน้ำผลึก 0.9 กรัม (Cu=63, S=32, O=16)

พิชิตโจทย์

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. Na 1 อะตอม มีน้ำหนักเท่าใด
2. Na 6.02×10^{23} อะตอม มีน้ำหนักเท่าใด
3. CO_2 1 โมเลกุล มีน้ำหนักเท่าใด
4. CO_2 1 โมลโมเลกุล มีน้ำหนักเท่าใด
5. K^+ 1 ไอออน มีน้ำหนักเท่าใด
6. CO_2 6.02×10^{23} โมเลกุล มีน้ำหนักเท่าใด
7. Na_2SO_3 3 โมล มีน้ำหนักเท่าใด
8. NH_3 34 กรัม จะมี H มีน้ำหนักเท่าใด
9. ไฮดรอกไซด์ (II) ไนเตรต 27 โมลอะตอม คิดเป็นเท่าใด
10. N_2O ที่มี N $3 \times 6.02 \times 10^{23}$ อะตอม มีน้ำหนักเท่าใด



การคำนวณเกี่ยวกับสูตรเคมี

สูตรเคมี คือ สัญลักษณ์ของสารที่แสดงให้เห็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสารประกอบนั้นๆ เช่น

- น้ำ มีสูตรเคมี คือ H_2O
- กรดซัลฟิวริก มีสูตรเคมี คือ H_2SO_4
- แมกนีเซียมซัลเฟตเพปตะไฮเดรต มีสูตรเคมี คือ $MgSO_4 \cdot 7H_2O$

ใช้สูตร $\% \text{ ของธาตุและสาร} = \frac{\text{มวลของธาตุหรือสารทั้งหมด} \times 100}{\text{มวลของทั้งหมด}}$

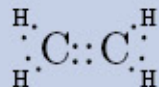
$\% \text{ ของธาตุและไอออน} = \frac{\text{มวลของธาตุหรือไอออน} \times 100}{\text{มวลโมเลกุล (M}_u\text{)}}$

สูตรเคมีแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

- 1 สูตรอย่างง่ายหรือสูตรเอมพิริคัล (empirical formula) คือ สูตรที่แสดงว่า 1 โมเลกุลของสารนั้นๆ มีธาตุใดเป็นองค์ประกอบบ้าง โดยจะอยู่ในรูปของอัตราส่วนอย่างต่ำ เช่น น้ำตาลกลูโคสมีสูตรเอมพิริคัลเป็น CH_2O แสดงว่า 1 โมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสประกอบด้วยธาตุ C : H : O เท่ากับ 1 : 2 : 1
- 2 สูตรโมเลกุล (molecular formula) คือ สูตรที่แสดงว่า 1 โมเลกุลของสารนั้นๆ มีธาตุใดเป็นองค์ประกอบอย่างละกี่อะตอม เช่น น้ำตาลกลูโคสมีสูตรโมเลกุลเป็น $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ แสดงว่า 1 โมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสประกอบด้วยธาตุ C : H : O เท่ากับ 6 : 12 : 6 โดยจะเห็นว่าจะไม่ได้อยู่ในรูปอัตราส่วนอย่างต่ำ
- 3 สูตรโครงสร้าง (structural formula) คือ สูตรที่แสดงว่า 1 โมเลกุลของสารนั้นๆ มีธาตุใดเป็นองค์ประกอบอย่างละกี่อะตอม และแต่ละอะตอมยึดเหนี่ยวกันอย่างไร ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

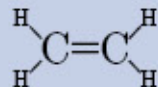


วิธีคำนวณจาก
อาจารย์ผู้สอน



แบบจุด

(1) สูตรโครงสร้างแบบจุด คือ สูตรที่ใช้จุดแทนจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอน โดย 1 จุด จะแทนเวเลนซ์อิเล็กตรอน 1 ตัว และจะเขียนรอบสัญลักษณ์ธาตุ



แบบเส้น

(2) สูตรโครงสร้างแบบเส้น คือ สูตรที่ใช้เส้นตรงแทนอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ 1 คู่ โดยจะเขียนระหว่างสัญลักษณ์ธาตุที่ใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน

ตัวอย่างที่ 21

จงหาร้อยละโดยมวลของ O ใน CO_2 (C = 12 O = 16)

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{ร้อยละโดยมวลของ O} &= \frac{\text{มวลของธาตุหรือไอออน}}{\text{มวลโมเลกุล (M}_w\text{)}} \times 100 \\ &= \left[\frac{16 \times 2}{44} \right] \times 100 = 72.72 \end{aligned}$$

∴ ร้อยละโดยมวลของ O ใน CO_2 เท่ากับ 72.72

ตอบ

ตัวอย่างที่ 22

จงหามวลร้อยละของธาตุ O ใน $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Cu = 63.5 , S = 32)

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{ร้อยละโดยมวลของ O} &= \frac{\text{มวลของธาตุหรือไอออน}}{\text{มวลโมเลกุล (M}_w\text{)}} \times 100 \\ &= \frac{144}{249.5} \times 100 = 57.72 \end{aligned}$$

∴ ร้อยละโดยมวลของ O ใน $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เท่ากับ 57.72

ตอบ

จากตัวอย่างข้างต้น จงหามวลร้อยละของน้ำ

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{ร้อยละโดยมวลของ O} &= \frac{\text{มวลของธาตุหรือไอออน}}{\text{มวลโมเลกุล (M}_w\text{)}} \times 100 \\ &= \frac{90}{249.5} \times 100 = 36.07 \end{aligned}$$

∴ ร้อยละโดยมวลของ H_2O ใน $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เท่ากับ 36.07

ตอบ

ตัวอย่างที่ 23

จงหาร้อยละโดยมวลของ O สารประกอบซิงค์ไนเตรต (Zn = 65 O = 16 N = 14)

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{ร้อยละโดยมวลของ O} &= \frac{\text{มวลของธาตุหรือไอออน}}{\text{มวลโมเลกุล (M}_w\text{)}} \times 100 \\ &= [(16 \times 6) / 189] \times 100 \\ &= 50.79 \end{aligned}$$

∴ ร้อยละโดยมวลของ O ใน $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ เท่ากับ 50.79

ตอบ



ฝึกสมอง

➕ จงหาน้ำหนักของ Fe ในแร่เหล็ก (Fe_2O_3) 2,000 กรัม (Fe = 56, O = 16)

เทคนิคการคำนวณสูตรเคมีและสูตรโมเลกุล

สูตรโมเลกุล คือ สูตรที่บอกให้เรารู้ว่าในหนึ่งโมเลกุลของสารใดๆ ประกอบด้วยอะตอมของธาตุอะไรบ้าง และอย่างละกี่อะตอม

- 1** สูตรอย่างง่าย (สูตรเคมี) คือ สูตรที่แสดงอัตราส่วนอย่างต่ำของแต่ละธาตุที่เข้ามารวมตัวกัน

Ex : สูตรโมเลกุลของกลูโคส คือ $C_6H_{12}O_6 \rightarrow$ สูตรอย่างง่าย คือ $(CH_2O)_6$



(สูตรอย่างง่าย) = สูตรโมเลกุล
(มวลจากสูตรอย่างง่าย) = มวลโมเลกุล

ความรู้เพิ่มเติม

สูตรอย่างง่าย (Empirical)

หลักการ

- นำน้ำหนักหรือร้อยละของธาตุแต่ละชนิดมาเขียนให้อยู่ในรูปสัดส่วนกัน
 - นำน้ำหนักหรือร้อยละของธาตุแต่ละชนิดหารด้วยมวลอะตอม
 - พิจารณาสัดส่วนที่ได้จากข้อ 2) มาปรับให้เป็นจำนวนเต็ม
- สำหรับการปัดจุดทศนิยมของตัวเลขในการหาอัตราส่วนโดยโมล
- โดยการทำให้ตัวเลขตัวใดตัวหนึ่งให้เป็น 1 แล้วจึงปัดจุดทศนิยม 0.1-0.2 ให้ปัดทิ้ง
 - ถ้าเป็น 0.8-0.9 ให้ปัดขึ้น
 - ถ้าเป็น 0.3-0.7 ปัดไม่ได้ต้องหาตัวเลขที่ต่ำที่สุดมาคูณตัวเลขของอัตราส่วนโดยโมลให้ใกล้เคียงกับหลักการปัดจุดทศนิยมข้างต้น

การปัดจุดทศนิยม ถ้าตัวเลข ปัดจุดทศนิยมไม่ได้ ตัวเลขทุกตัวของอัตราส่วนโดยโมลนั้นจะไม่ปัดจุดทศนิยม



วิธีคำนวณจาก
อาจารย์ผู้สอน

ตัวอย่างที่ 24

สารชนิดหนึ่ง 25 กรัม ประกอบด้วย C 4.95 กรัม N 2.9 กรัม O 16.52 กรัม ที่เหลือเป็น H จงหาสูตรอย่างง่ายของสาร (C=12, H=1, N=14, O=16)

วิธีทำ

C	:	H	:	O	:	N
4.95		0.63		16.52		2.9
12		1		170		14
0.412		0.63		1.03		0.21
0.21		0.21		0.21		0.21
1.96		3		4.9		1
2		3		5		1

$\therefore$ สูตรอย่างง่ายของสาร คือ $C_2H_3O_5N$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 25

สารประกอบชนิดหนึ่งมีธาตุ C 24.3% Cl 71.6% H 4.1% โดยมวลจงหาสูตรอย่างง่ายของสาร (C=12, H=1, Cl=35.5)

วิธีทำ

C	:	H	:	Cl
24.3		4.1		71.6
12		1		35.5
2.025		4.1		2.017
2.017		2.017		2.017
1		2		1

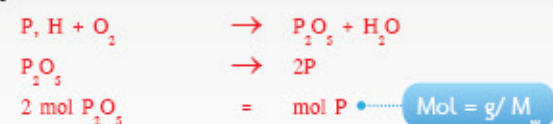
$\therefore$ สูตรอย่างง่ายของสาร คือ CH_2Cl

ตอบ

ตัวอย่างที่ 26

สารชนิดหนึ่งมีธาตุ P และ H เมื่อนำสารนี้มา 0.125 กรัม เผาไหม้กับแก๊ส O_2 จะได้ P_2O_5 0.284 กรัม จงหาสูตรอย่างง่ายของสาร (P=31, O=16, H=1)

วิธีทำ



$$2 \times \frac{0.284}{142} = \frac{g_p}{31}$$

$$\frac{g_p}{P} = 0.124 \rightarrow H = 0.125 - 0.124 = 0.001 \text{ g}$$

$$P : H$$

$$\frac{0.124}{31} = \frac{0.001}{1}$$

$$\frac{0.004}{0.001} = \frac{0.001}{0.001}$$

$$4 = 1$$

∴ สูตรอย่างง่ายของสาร คือ P_4H

ตอบ

ตัวอย่างที่ 27

แก๊สไนโตรเจนและแก๊สฟลูออโรคาร์บอนปริมาณเท่ากัน ภายใต้ความดันและอุณหภูมิเดียวกัน พบว่ามีมวลเท่ากับ 1.12 กรัม และ 4.48 กรัม ตามลำดับ แก๊สฟลูออโรคาร์บอนมีสูตรอย่างไร

วิธีทำ



$$\frac{1.12}{28} = \frac{4.48}{M_w}$$

$$M_w = \frac{4.48 \times 28}{1.12} = 112$$

$$C_xF_y \rightarrow 12x + 19y = 112 \rightarrow x = 3 \text{ และ } y = 4$$

∴ แก๊สฟลูออโรคาร์บอนมีสูตร คือ C_3F_4

ตอบ

ตัวอย่างที่ 28

เมื่อนำสาร C, H, O มา 2.36 กรัม เผาไหม้กับ O_2 มากเกินไป จะได้ CO_2 5.79 กรัม และ H_2O 2.34 กรัม จงหาสูตรอย่างง่ายของสารนี้

วิธีทำ



$$\text{หา } g_c \text{ จาก } CO_2 \rightarrow C = \frac{5.79}{44} \times 1 \times 12 = 1.57 \text{ กรัม}$$

$$\text{หา } g_H \text{ จาก } H_2O \rightarrow H = \frac{2.34}{18} \times 2 \times 1 = 0.26 \text{ กรัม}$$

$$\text{หา } g_o \rightarrow O = 2.36 - (1.57 + 0.26) = 0.53 \text{ กรัม}$$

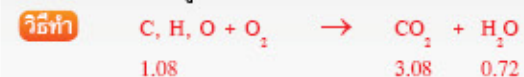
$$\begin{array}{ccc} C & : & H & : & O \\ \frac{0.133}{12} & & \frac{0.26}{1} & & \frac{0.53}{16} \\ \hline \frac{0.133}{0.033} & & \frac{0.26}{0.033} & & \frac{0.033}{0.033} \\ \hline 4 & & 8 & & 1 \end{array}$$

∴ สูตรอย่างง่ายของสาร คือ C_4H_8O

ตอบ

ตัวอย่างที่ 29

เมื่อนำสารอินทรีย์ชนิดหนึ่ง 1.08 กรัม มาเผาไหม้ให้สมบูรณ์ได้คาร์บอนไดออกไซด์ 3.08 กรัม และน้ำ 0.72 กรัม สูตรอย่างง่ายของสารอินทรีย์นี้เป็นอย่างไร



หา g_C จาก $\text{CO}_2 \rightarrow C = \frac{3.08}{44} \times 1 \times 12 = 0.84$ กรัม

หา g_H จาก $\text{H}_2\text{O} \rightarrow H = \frac{0.72}{18} \times 1 \times 2 = 0.08$ กรัม

หา $g_O \rightarrow O = 1.08 - (0.84 + 0.08) = 0.16$ กรัม

C	:	H	:	O
0.84		0.08		0.16
12		1		16
0.07		0.08		0.01
0.01		0.01		0.01
7		8		1

Mol = g / M_w

∴ สูตรอย่างง่ายของสาร คือ $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$

ตอบ



ฝึกสมอง

- นำสารประกอบชนิดหนึ่งมาแยกสลายจนหมด จะได้คาร์บอน (C) 1.2 กรัม ไฮโดรเจน (H) 0.2 กรัม และออกซิเจน (O) 1.6 กรัม เท่านั้น จงหาสูตรอย่างง่าย และ ถ้าสารนี้มีมวลโมเลกุล 60 จงหาสูตรโมเลกุลของสารนี้
- ถ้าไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่งประกอบด้วย C = 82.66%, H = 17.34% ถ้าแก๊สนี้ปริมาตร 1 dm³ หนัก 2.59 กรัม ที่ STP สูตรโมเลกุลของแก๊สนี้เป็นอย่างไร

2 การหาสูตรโมเลกุลวิธีลัด

ถ้าโจทย์กำหนดหรือสามารถหามวลโมเลกุลได้ ให้ดูจากตัวเลขในคำตอบว่า เมื่อแทนค่ามวลอะตอมในสูตรเหล่านั้น ข้อใดมีค่าเท่ากับมวลโมเลกุล ข้อนั้นคือคำตอบ เช่น

ตัวอย่างที่ 30

สารประกอบของ Ca และ X มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 160 ประกอบด้วย Ca 25% โดยน้ำหนัก สูตรโมเลกุลของสารคืออะไร (Ca = 40, X = 60)

ก. CaX ข. CaX_2 ค. Ca_2X ง. Ca_2X_2

วิธีทำ ตอบข้อ ข. เนื่องจาก CaX_2 เมื่อแทนค่ามวลอะตอมแล้วจะได้ $40 + 2(60) = 160$

ตัวอย่างที่ 31

สารประกอบ C, H, O พบว่าสารนี้ 14.4 กรัม มีจำนวนโมเลกุล 6.02×10^{22} โมเลกุล และเมื่อนำมา 2.36 กรัม มาละลายน้ำจะได้ CO_2 5.79 กรัม และ H_2O 2.34 กรัม จงหาสูตรอย่างง่าย และสูตรโมเลกุล

ก. $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$, $\text{C}_2\text{H}_{12}\text{O}_2$ ข. $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$, $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$ ค. $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$, $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$ ง. $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$, $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$

วิธีทำ เนื่องจากโจทย์ไม่ได้กำหนดมวลโมเลกุลมาให้ จึงต้องหาค่อน

$$\text{จาก } \frac{g}{M_w} = \frac{N}{N_0} \rightarrow \frac{14.4}{m} = \frac{6.02 \times 10^{22}}{6.02 \times 10^{23}} \rightarrow m = 144$$

นำมวลโมเลกุล 144 มาแทนในตัวเลือกจะมี ค และ ง เท่านั้น ที่มีมวลรวม 144 จากนั้นย่อให้เป็นอย่างต่ำ จะได้ $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ คำตอบจึงเป็นข้อ ค.



ฝึกสมอง

- จงหาร้อยละโดยมวลของ O ใน CO_2 ($\text{C} = 12, \text{O} = 16$)
- จงหาน้ำหนักของ N ใน KNO_3 50 กรัม
- จงหาค่า a เมื่อ $\text{AgNO}_3 \cdot a\text{H}_2\text{O}$ มีน้ำผลึกร้อยละ 40 ($\text{Ag} = 108$)
- ถ้าเผาสารประกอบ NH_4NO_3 สลายให้ H_2O และ N_2 เมื่อนำสารเข้ามา 3.2 กรัม จะได้ N_2 กี่กรัม
- แร่ตัวอย่างชนิดหนึ่งมี BaCO_3 เป็นองค์ประกอบ เมื่อนำมา 1,320 กรัม ไปวิเคราะห์ เพื่อทำเป็น BaSO_4 จะได้ BaSO_4 1.248 กรัม จงหาเปอร์เซ็นต์ BaCO_3 ในแร่ตัวอย่างนี้
- เมื่อทำให้สารประกอบชนิดหนึ่ง จำนวน 19 กรัม สลายตัวจนหมด ปรากฏว่าได้แก๊ส O_2 8.4 dm³ ที่ STP ที่เหลือเป็นแก๊ส N_2 สารประกอบนี้มีไนโตรเจนอยู่ร้อยละเท่าใดโดยมวล

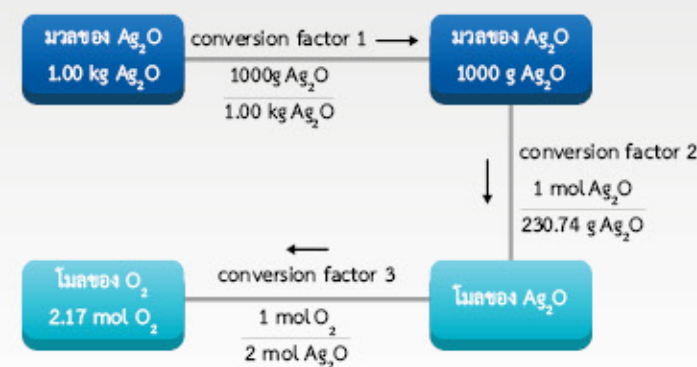
แบบฝึกหัด 2

- ฮีเลียม 3.2 กรัม จะมีกี่อะตอม และปริมาตรที่ STP เท่าใด
- NaHCO_3 จำนวน 0.65 mol จะมีน้ำหนักกี่กรัม
- แก๊สชนิดหนึ่งหนัก 0.2 กรัม มีปริมาตร 400 cm³ ที่ STP แก๊สชนิดนี้มีมวลโมเลกุลเท่าไร
- จงหาปริมาตรของแก๊ส N_2O เมื่อมี N อยู่ 3.01×10^{23} อะตอม
- แก๊ส SO_2 4 กรัม มี a โมเลกุล จงหาว่า แก๊ส H_2S 5 กรัม มีกี่โมเลกุล ($\text{S} = 32, \text{O} = 16$)
- จงหาน้ำหนักของ Fe ในแร่เหล็ก (Fe_2O_3) 2,000 กรัม ($\text{Fe} = 56, \text{O} = 16$)
- จงหา % ของ H_2O ใน $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

การคำนวณโดยใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย

ในหน่วยที่ 1 นักเรียนได้ศึกษาวิธีการคำนวณโดยใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยไปเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ในหัวข้อนี้ จะเป็นการประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยกับโมล

ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นขั้นตอนของการใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยเพื่อคำนวณแต่ละปริมาณ



Conversion factor 1 เป็นการเปลี่ยนหน่วยจาก 1 กิโลกรัม เป็น 1000 กรัม

$$1 \text{ kg ของ } \text{Ag}_2\text{O} = 1000 \text{ g ของ } \text{Ag}_2\text{O}$$

Conversion factor 2 เป็นการเปลี่ยนมวลของ Ag_2O เป็นโมลโดยอาศัยมวลโมเลกุลของ Ag_2O

$$1 \text{ mol ของ } \text{Ag}_2\text{O} = 230.74 \text{ g ของ } \text{Ag}_2\text{O}$$

Conversion factor 3 เป็นการเปลี่ยนโมลของ Ag_2O เป็นโมลของ O_2 โดยอาศัยสมการเคมี

$$2 \text{ mol ของ } \text{Ag}_2\text{O} = 1 \text{ mol ของ } \text{O}_2$$

ตัวอย่างที่ 32

จงคำนวณมวลของ O_2 ที่ใช้พอดีในการเผาไหม้ Octane, C_8H_{18} จำนวน 1.00 กรัม



วิธีทำ มวลของ O_2 ที่ใช้

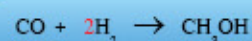
$$= 1 \text{ g C}_8\text{H}_{18} \times \frac{1 \text{ mol C}_8\text{H}_{18}}{114 \text{ g C}_8\text{H}_{18}} \times \frac{25 \text{ mol O}_2}{2 \text{ mol C}_8\text{H}_{18}} \times \frac{32 \text{ g O}_2}{1 \text{ mol O}_2}$$

$$= 3.51 \text{ g O}_2$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 33

จงคำนวณมวลของ H_2 ที่ต้องใช้ในการเตรียม methanol, CH_3OH จำนวน 1.00 กิโลกรัม จากปฏิกิริยาต่อไปนี้ (ยังไม่ดุลสมการ)



วิธีทำ มวลของ H_2 ที่ใช้

$$= \frac{1,000 \text{ g } CH_3OH}{1 \text{ kg } CH_3OH} \times \frac{1 \text{ mol } CH_3OH}{32 \text{ g } CH_3OH} \times \frac{25 \text{ mol } O}{1 \text{ mol } CH_3OH} \times \frac{32 \text{ g } H_2}{1 \text{ mol } H_2}$$

$$= 125 \text{ g}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 34

จงคำนวณมวลของ Ag_2CO_3 เพื่อสลายตัวทำให้เกิด Ag จำนวน 75.1 กรัม จากปฏิกิริยาต่อไปนี้



วิธีทำ มวลของ Ag_2CO_3 ที่สลายตัว

$$= 75.1 \text{ g } Ag \times \frac{1 \text{ mol } Ag_2CO_3}{107.9 \text{ g } Ag} \times \frac{2 \text{ mol } O}{4 \text{ mol } Ag} \times \frac{275.8 \text{ g } Ag_2CO_3}{1 \text{ mol } Ag_2CO_3}$$

$$= 96.0 \text{ g } Ag_2CO_3$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 35

ในการเตรียม H_2 ทางการค้าเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่าง Fe กับไอน้ำ ดังสมการ



จงแสดงการคำนวณหาสิ่งต่อไปนี้

ก มวลของ H_2O ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Fe จำนวน 63.5 กรัม

วิธีทำ มวลของ H_2O ที่ใช้

$$= 63.5 \text{ g } Fe \times \frac{1 \text{ mol } Fe}{55.85 \text{ g } Fe} \times \frac{4 \text{ mol } H_2O}{3 \text{ mol } Fe} \times \frac{18 \text{ g } H_2O}{1 \text{ mol } H_2O}$$

$$= 27.3 \text{ g}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 36

ข มวลของ Fe_3O_4 ที่เกิดขึ้น เมื่อเกิด H_2 จำนวน 7.50 โมล

วิธีทำ มวลของ Fe_3O_4 ที่เกิดขึ้น = $7.50 \text{ mol } H_2 \times \frac{1 \text{ mol } Fe_3O_4}{4 \text{ mol } H_2} \times \frac{231.55 \text{ g } Fe_3O_4}{1 \text{ mol } Fe_3O_4}$

$$= 434.2 \text{ g } Fe_3O_4$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 37

การเตรียมแก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) ทำได้โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) กับน้ำดังสมการ



ก จงคำนวณจำนวนโมลของ C_2H_2 ที่เกิดขึ้นจาก CaC_2 จำนวน 2.50 โมล

วิธีทำ จำนวนโมลของ C_2H_2 ที่เกิดขึ้น = $2.50 \text{ mol } CaC_2 \times \frac{1 \text{ mol } C_2H_2}{1 \text{ mol } CaC_2}$

$$= 2.50 \text{ mol } C_2H_2$$

ตอบ

ข จงคำนวณมวลของ C_2H_2 ที่เกิดขึ้นจาก CaC_2 จำนวน 0.500 โมล

วิธีทำ มวลของ C_2H_2 ที่เกิดขึ้น = $0.5 \text{ mol } CaC_2 \times \frac{1 \text{ mol } C_2H_2}{1 \text{ mol } CaC_2} \times \frac{26.0 \text{ g } C_2H_2}{1 \text{ mol } CaC_2}$

$$= 13.0 \text{ g } C_2H_2$$

ตอบ

ค ถ้าต้องการ C_2H_2 จำนวน 3.20 โมลจะต้องใช้ H_2O กี่กรัม

วิธีทำ มวลของ H_2O ที่ใช้ = $3.20 \text{ mol } C_2H_2 \times \frac{2 \text{ mol } H_2O}{1 \text{ mol } C_2H_2} \times \frac{18.0 \text{ g } H_2O}{1 \text{ mol } H_2O}$

$$= 115.2 \text{ g } H_2O$$

ตอบ