

เคมี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่

4

ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551



ผู้เรียบเรียง

นายพงศธร นันทนเศ
นางพรพรหม ชัยนัตรพรสุข
นายสุนทร ภูรีปริชาเลิศ
ดร.ศิริศักดิ์ โล่ห์พิมาน

ผู้ตรวจ

รศ. ดร. นवलจิตต์ เขาวงกิตพิงส์
ผศ. สันติ ศรีประเสริฐ
ดร. บุญทวี เลิศปัญญาพรชัย

บรรณาธิการ

นางสาวจันจิรา รัตนันทเดช

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

ปีที่พิมพ์ 2567

พิมพ์ครั้งที่ 1

จำนวนพิมพ์ 20,000 เล่ม

ISBN : 978-616-606-068-3

รหัสสินค้า 3418026

A+ อักษร

www.aksorn.com

จัดพิมพ์และจำหน่ายทั่วประเทศโดย

บริษัท อักษรเจริญทัศน์ อจก. จำกัด

142 ถนนตะนาว เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 10200

โทร. 0 2622 2999 (อัตโนมัติ 20 คู่สาย)

พิมพ์ที่: บริษัท ไทยรับเกล้า จำกัด โทร. 0 2903 9101-6

คำแนะนำในการใช้สื่อ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 2 จัดทำขึ้นสำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยดำเนินการจัดทำให้สอดคล้องตาม ผลการเรียนรู้ในสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ส่งเสริมการจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) และทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เพื่อให้ผู้เรียนรู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงของ ระบบเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และสภาพแวดล้อม สามารถแข่งขันและอยู่ร่วมกับประชาคมโลกได้

Big Question

คำถามกระตุ้น
การเรียนรู้
ก่อนเข้าสู่เนื้อหา
เพื่อให้เกิด
กระบวนการ
สืบเสาะหาความรู้

4

หน่วยการเรียนรู้ที่ 4

ปริมาณสัมพันธ์

ใบฝึกปร่งจำวน: เราสามารถใช้ปริมาณเคมีที่สัมพันธ์กันมาคำนวณโดยกฎปริมาณสัมพันธ์ได้หรือไม่

ปริมาณสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เข้ามามีความสัมพันธ์ ซึ่งถ้าปฏิกิริยาเคมีใด ๆ ไม่ปริมาณสัมพันธ์ปฏิกิริยาเคมีแล้ว จะสามารถนำความรู้ที่ได้นำไปประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมปริมาณสารต่าง ๆ ในปฏิกิริยาเคมีได้ ดังนั้น ในหน่วยการเรียนรู้ที่ 4 นี้ นักเรียนจะได้ศึกษาความสัมพันธ์ของมวลสารที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาเคมี

Understanding

พิจารณาข้อความตามความเข้าใจในข้อต่อไปนี้ถูกต้องหรือไม่ แล้วชี้แจงเหตุผลอย่างมีหลักการ

1. โซเดียม คลอไรด์ จะถูกเติมปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับน้ำ
2. มวลของธาตุ 1 ชนิด จะสามารถแปรผันตามโมลน้ำหนักของ ธาตุชนิด และชนิดที่ทราบ
3. สารที่มีจำนวนโมลเท่ากันจะมีมวลเท่ากันด้วย
4. ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ แก๊สไฮโดรเจนจะมีมวลเท่ากับ 22.4 กรัม
5. สูตรอย่างง่ายของน้ำตาลกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) คือ CH_2O

Solve It Yourself

สรุปผล

Check for Understanding

คำถามตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียน
ก่อนเข้าสู่การเรียนการสอน

DeJor

Knowledge

อนุภาคธาตุสารประกอบและ
ปฏิกิริยาเคมีเบื้องต้น

1 มวลอะตอมและมวลโมเลกุล

นักวิทยาศาสตร์กำหนดหน่วยมวลมาตรฐานขึ้น เพื่อมาใช้ชี้แจง
หาความสัมพันธ์ของมวลอะตอมของธาตุต่าง ๆ และใช้เปรียบเทียบ
ในการศึกษาความสัมพันธ์ที่มีต่อมวลอนุภาคของธาตุต่าง

1.1 มวลอะตอม

ธาตุแต่ละชนิดจะมีมวลที่แตกต่างกัน และเมื่อจำแนกตามธาตุแต่ละชนิดก็จะมีค่าประมาณ เท่าที่
ใกล้เคียงกันในการหามวลของธาตุแต่ละชนิดโดยตรง นั่นคือ ถ้ามีการนำธาตุชนิดหนึ่งมาปัดให้
เป็นจำนวนเต็ม เราอาจพูดได้ว่ามวลของธาตุนั้นมีค่าประมาณเท่าใด โดยที่ค่าประมาณนี้ใช้เป็นการเปรียบเทียบ
ที่ใด ๆ ชาติใดก็ตาม โดยธาตุไฮโดรเจน 1 อะตอม มีมวล 1.66×10^{-24} กรัม และเปรียบเทียบกับ
1 atom (อะตอม ของมวล 1) ของธาตุคาร์บอน 12 อะตอม ซึ่งมีค่าเท่ากับมวลของธาตุไฮโดรเจน 12
1 อะตอม (ซึ่งเรียกว่า 1 หน่วยมวล (หรือเรียกอีก) คำว่าหน่วยมวล 1 มีมวลเท่ากับธาตุ 12
มวลของคาร์บอน 12 อะตอม (12g) เท่ากับ 12 เท่าของมวลของไฮโดรเจน 1 อะตอมซึ่งหมายถึง
สัมพันธ์กันดี ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{มวลของธาตุของธาตุ} &= \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม (g)}}{\text{มวลของธาตุ 12 อะตอม (g)}} \\ &= \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม (g)}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ (g)}} \end{aligned}$$

ต่อมานักวิทยาศาสตร์ก็มีความสนใจในการใช้ธาตุไฮโดรเจนเป็นมาตรฐานในการ
เปรียบเทียบ ซึ่งเมื่อมีการใช้ธาตุของชนิดหนึ่งเป็นมาตรฐานในการหามวลของธาตุชนิดอื่นก็จะมีค่า
และเปลี่ยนไปตามอัตราค่า รวมทั้งค่ามวลตามค่าปฏิกิริยาที่ต่างออกไป ได้ง่าย โดยที่ค่า 1
16 ของธาตุออกซิเจน แต่กลับมีความเกี่ยวข้องกับธาตุไฮโดรเจนของชนิดอื่น เนื่องจากการคำนวณของ
มีค่าเท่ากับไฮโดรเจน คือ ${}^1_0\text{H}$ และ ${}^{16}_8\text{O}$ ทำให้ได้ค่าที่ต่างกันระหว่างมวลของ
ของธาตุชนิดเดียวกันแล้ว โดยได้ค่าที่แตกต่างของมวลของธาตุชนิดอื่น 16 เท่า แต่ที่ผิดก็
ใช้มวลของธาตุของ ${}^{16}_8\text{O}$ เท่านั้น โดยที่ค่านี้ใช้ $\frac{1}{16}$ ของ C-12 1 อะตอม มาเป็นมาตรฐานในการ
การเปรียบเทียบมวล โดยที่ค่าตามค่าที่ผิด ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{มวลของธาตุของธาตุ} &= \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม (g)}}{\frac{1}{16} \text{ มวลของธาตุ C-12 1 อะตอม (g)}} \\ &= \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม (g)}}{1.66 \times 10^{-23} \text{ (g)}} \end{aligned}$$

มวลอะตอม

www.dejor.com/onlinecourse

3

Prior Knowledge

คำถามทบทวนความรู้เดิมของผู้เรียน
เพื่อเชื่อมโยงสู่ความรู้ใหม่



H.O.T.S.

คำถามท้ายภาคการคิดขั้นสูง

คำถามเพื่อให้ผู้เรียนพัฒนา
การคิดวิเคราะห์ คิดสร้างสรรค์
คิดอย่างมีวิจารณญาณ



Chemistry Focus

ความรู้เสริมจากเนื้อหา
เพื่อขยายความรัของพีเรียน



Chemistry in Real Life

เชื่อมโยงความรู้ทางเคมี สู่ชีวิตประจำวัน



QR Code

ใช้สมาร์ทโฟนเพื่อสแกนเพื่อดู
สื่อดิจิทัลเพิ่มเติม



เชื่อมโยงสู่แบบฝึกหัดเพื่อให้ผู้เรียน
ฝึกฝนจนเกิดความเชี่ยวชาญ

การทดลอง

การทดลองให้ผู้เรียนฝึกปฏิบัติเพื่อเสริมสร้างทักษะทางวิทยาศาสตร์

Summary

สรุปเนื้อหาเพื่อให้ผู้เรียนได้ทบทวน
สาระสำคัญประจำหน่วยการเรียนรู้

2.2 ปริมาตรของแก๊สในปฏิกิริยาเคมี

เราสามารถนำความรู้ในเรื่องการรวมและกฎข้อที่สามของแก๊สไปใช้คำนวณปริมาตรแก๊สได้ในปฏิกิริยาเคมีได้ แต่ในปฏิกิริยาเคมีที่เป็นแก๊สอาจจะคำนวณด้วยสูตรมวลไม่ได้สะดวกนัก ดังนั้น จึงอาจต้องใช้การคำนวณปริมาตรแก๊สเพื่อเข้าปริมาตรของแก๊ส ต่อไปนี้จะเป็นเนื้อหาว่าเมื่อไหร่แก๊ส 2 ชนิดมาทำปฏิกิริยาใน อัตราส่วนโดยปริมาตรแล้วแก๊สทั้งสองจะหักทำปฏิกิริยาพอดีกันจะเป็นอย่างไร จากการทดลองต่อไปนี้

การทดลอง

ศึกษาปฏิกิริยาเคมี

อุปกรณ์

- ขวดแก๊ส
- กรอบเหล็ก
- กระจกเงาเคลือบเงิน

สารเคมี

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
- สารละลายกรดซัลฟิวริก

1. ขวดแก๊สเอียง

2. ขวดแก๊สผกผัน

3. ขวดแก๊สเอียงกลับ

4. ปิดวาล์ว

5. ขวดแก๊สเอียงกลับ

6. ปิดวาล์ว

7. สารละลายกรดซัลฟิวริก

การทดลอง

1. เตรียมแก๊ส O_2 โดยนำ $KMnO_4$ จำนวน 3 g 2. ใส่ลงในขวดแก๊สที่ผกผัน แล้วเก็บแก๊สโดยการแทนที่น้ำในขวดแก๊สจนได้แก๊ส 4 หลอด

3. ปิดวาล์ว

4. ปิดวาล์ว

5. ปิดวาล์ว

6. ปิดวาล์ว

7. ปิดวาล์ว

8. ปิดวาล์ว

9. ปิดวาล์ว

10. ปิดวาล์ว

11. ปิดวาล์ว

12. ปิดวาล์ว

13. ปิดวาล์ว

14. ปิดวาล์ว

15. ปิดวาล์ว

16. ปิดวาล์ว

17. ปิดวาล์ว

18. ปิดวาล์ว

19. ปิดวาล์ว

20. ปิดวาล์ว

21. ปิดวาล์ว

22. ปิดวาล์ว

23. ปิดวาล์ว

24. ปิดวาล์ว

25. ปิดวาล์ว

26. ปิดวาล์ว

27. ปิดวาล์ว

28. ปิดวาล์ว

29. ปิดวาล์ว

30. ปิดวาล์ว

31. ปิดวาล์ว

32. ปิดวาล์ว

33. ปิดวาล์ว

34. ปิดวาล์ว

35. ปิดวาล์ว

36. ปิดวาล์ว

37. ปิดวาล์ว

38. ปิดวาล์ว

39. ปิดวาล์ว

40. ปิดวาล์ว

41. ปิดวาล์ว

42. ปิดวาล์ว

43. ปิดวาล์ว

44. ปิดวาล์ว

45. ปิดวาล์ว

46. ปิดวาล์ว

47. ปิดวาล์ว

48. ปิดวาล์ว

49. ปิดวาล์ว

50. ปิดวาล์ว

51. ปิดวาล์ว

52. ปิดวาล์ว

53. ปิดวาล์ว

54. ปิดวาล์ว

55. ปิดวาล์ว

56. ปิดวาล์ว

57. ปิดวาล์ว

58. ปิดวาล์ว

59. ปิดวาล์ว

60. ปิดวาล์ว

61. ปิดวาล์ว

62. ปิดวาล์ว

63. ปิดวาล์ว

64. ปิดวาล์ว

65. ปิดวาล์ว

66. ปิดวาล์ว

67. ปิดวาล์ว

68. ปิดวาล์ว

69. ปิดวาล์ว

70. ปิดวาล์ว

71. ปิดวาล์ว

72. ปิดวาล์ว

73. ปิดวาล์ว

74. ปิดวาล์ว

75. ปิดวาล์ว

76. ปิดวาล์ว

77. ปิดวาล์ว

78. ปิดวาล์ว

79. ปิดวาล์ว

80. ปิดวาล์ว

81. ปิดวาล์ว

82. ปิดวาล์ว

83. ปิดวาล์ว

84. ปิดวาล์ว

85. ปิดวาล์ว

86. ปิดวาล์ว

87. ปิดวาล์ว

88. ปิดวาล์ว

89. ปิดวาล์ว

90. ปิดวาล์ว

91. ปิดวาล์ว

92. ปิดวาล์ว

93. ปิดวาล์ว

94. ปิดวาล์ว

95. ปิดวาล์ว

96. ปิดวาล์ว

97. ปิดวาล์ว

98. ปิดวาล์ว

99. ปิดวาล์ว

100. ปิดวาล์ว

Unit questions

แบบฝึกหัดประจำหน่วยการเรียนรู้

เพื่อให้ประเมินผลสัมฤทธิ์

Self Check

คำถามเพื่อ
ให้ผู้เรียน
ตรวจสอบ
ความรู้
ความเข้าใจ
ด้วยตนเอง

- Unit questions

แบบฝึกหัดประจำหน่วยการเรียนรู้ เพื่อใช้ประเมินผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียน

– แนวข้อสอบ A-Level

แนวข้อสอบเพื่อเข้าศึกษาต่อ
ในระดับอุดมศึกษา

—กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)

กิจกรรมที่เน้น
ให้ผู้เรียนได้
ลงมือปฏิบัติจริง
เพื่อให้เกิด
การเรียนรู้ และ
สร้างองค์ความรู้
ด้วยตนเอง



คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

เคมี เล่ม 2

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เวลา 60 ชั่วโมง

ศึกษาเกี่ยวกับมวลอะตอมของธาตุ มวลของธาตุ 1 อะตอม มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ มวลโมเลกุลของสาร ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมล อนุภาค มวล และปริมาตรของแก๊ส ที่ STP ศึกษาหน่วยและการคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย การทดลองเตรียมสารละลาย การเปรียบเทียบจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์และสารละลาย ศึกษาความหมายและเขียนสูตรโมเลกุล สูตรเอมพิริคัล หรือสูตรอย่างง่าย และสูตรโครงสร้าง การคำนวณหามวลเป็นร้อยละจากสูตร การคำนวณหาสูตรเอมพิริคัลและสูตรโมเลกุลของสาร ศึกษาการเขียนและดุลสมการเคมี ทดลองและคำนวณหาอัตราส่วนจำนวนโมลของสารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน ศึกษาสมบัติของระบบปิด และระบบเปิด ศึกษาและฝึกคำนวณปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมีที่เป็นไปตามกฎทรงมวล กฎสัดส่วนคงที่ ศึกษา ทดลอง และคำนวณ ปริมาตรของแก๊สในปฏิกิริยาเคมีตามกฎของเกย์-ลุสแซก และกฎของอาวอกาโดร ศึกษาและฝึกคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารในสมการเคมีนั้น ๆ และสมการเคมีที่เกี่ยวข้องมากกว่าหนึ่งสมการ สารกำหนดปริมาณ ผลลัพธ์ร้อยละ

โดยใช้การเรียนรู้ด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสำรวจตรวจสอบ สามารถนำความรู้ และหลักการไปใช้ประโยชน์ เชื่อมโยง อธิบายปรากฏการณ์ หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน สามารถจัดกระทำ และวิเคราะห์ข้อมูล สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ มีความสามารถในการตัดสินใจแก้ปัญหา มีจิตวิทยาศาสตร์ เห็นคุณค่าของ วิทยาศาสตร์ มีจริยธรรม คุณธรรมและค่านิยมที่เหมาะสม



ผลการเรียนรู้

1. บอกความหมายของมวลอะตอมของธาตุ และคำนวณมวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ มวลโมเลกุล และมวลสูตรได้
2. อธิบายและคำนวณปริมาณใดปริมาณหนึ่งจากความสัมพันธ์ของโมล จำนวนอนุภาค มวล และปริมาตรของแก๊ส ที่ STP ได้
3. คำนวณอัตราส่วนโดยมวลของธาตุองค์ประกอบของสารประกอบตามกฎสัดส่วนคงที่ได้
4. คำนวณสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุลของสารได้
5. คำนวณความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยต่าง ๆ ได้
6. อธิบายวิธีการและเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้นในหน่วยโมลาริตี และปริมาตรสารละลายตามที่กำหนดได้
7. เปรียบเทียบจุดเดือดและจุดเยือกแข็งของสารละลายกับสารบริสุทธิ์ รวมทั้งคำนวณจุดเดือดและจุดเยือกแข็งของ สารละลายได้
8. แปลความหมายสัญลักษณ์ในสมการเคมี เขียนและดุลสมการเคมีของปฏิกิริยาเคมีบางชนิดได้
9. คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับมวลสารได้
10. คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของสารละลายได้
11. คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับปริมาตรแก๊สได้
12. คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีหลายขั้นตอนได้
13. ระบุสารกำหนดปริมาณและคำนวณปริมาณสารต่าง ๆ ในปฏิกิริยาเคมีได้
14. คำนวณผลลัพธ์ร้อยละของผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาเคมีได้

รวม 14 ผลการเรียนรู้

สารบัญ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 4



ปริมาณสัมพันธ์ 2-25

หน่วยการเรียนรู้ที่ 5



สารละลาย 26-63

หน่วยการเรียนรู้ที่ 6



ปริมาณสัมพันธ์ ในปฏิกิริยาเคมี 64-99

กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) บรรณานุกรม

มวลอะตอมและมวลโมเลกุล	3
• มวลอะตอม	3
• มวลอะตอมเฉลี่ย	6
• มวลโมเลกุล	9
โมล	11
• ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลและจำนวนอนุภาค	11
• ความสัมพันธ์ระหว่างโมลกับมวลของสาร	13
• ความสัมพันธ์ระหว่างโมลกับปริมาตรของแก๊ส	14
การคำนวณเกี่ยวกับสูตรเคมี	17
• การคำนวณมวลเป็นร้อยละจากสูตร	20
• การคำนวณหาสูตรเอมพิริคัลและสูตรโมเลกุล	22
Unit questions 4	27
แนวข้อสอบ A-Level	29
ความเข้มข้นของสารละลาย	31
การเตรียมสารละลาย	44
สมบัติบางประการของสารละลาย	54
• การเพิ่มขึ้นของจุดเดือดของสารละลาย	56
• การลดลงของจุดเยือกแข็งของสารละลาย	58
Unit questions 5	66
แนวข้อสอบ A-Level	67
สมการเคมี	69
การคำนวณปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมี	73
• มวลสารในปฏิกิริยาเคมี	73
• ปริมาตรของแก๊สในปฏิกิริยาเคมี	78
• ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมี	84
• การคำนวณจากสมการเคมีที่เกี่ยวข้องมากกว่าหนึ่งสมการ	93
• ผลลัพธ์ร้อยละ	96
Unit questions 6	100
แนวข้อสอบ A-Level	102
กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)	103
บรรณานุกรม	104



? ปริมาณสาร
ในปฏิกิริยาเคมี
มีความสัมพันธ์กัน
อย่างไร

4

หน่วยการเรียนรู้ที่

ปริมาณสัมพันธ์

ในชีวิตประจำวันของเรามีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นมากมายโดยทุกปฏิกิริยาจะมีความสัมพันธ์ของปริมาณสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งถ้านักเรียนมีความเข้าใจในปริมาณสัมพันธ์ทางเคมีแล้ว จะสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมปริมาณสารต่างๆ ในปฏิกิริยาเคมีได้ ดังนั้น ในหน่วยการเรียนรู้นี้นักเรียนจะได้ศึกษาความสัมพันธ์ของมวลสารที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาเคมี



Understanding

พิจารณาข้อความตามความเข้าใจของนักเรียนว่าถูกหรือผิด แล้วบันทึกลงในสมุดบันทึก

ถูก/ผิด

- | | |
|---|--|
| 1. ไอโซโทป หมายถึง ธาตุชนิดเดียวกันที่มีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากัน | |
| 2. มวลของธาตุ 1 อะตอม เกิดจากผลรวมของมวลโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน | |
| 3. สารที่มีจำนวนโมลเท่ากันจะมีมวลเท่ากันด้วย | |
| 4. ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ แก๊สทุกชนิดจะมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 ลิตร | |
| 5. สูตรอย่างง่ายของน้ำตาลกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) คือ CH_2O | |

บันทึกลงในสมุด

Prior Knowledge

อนุภาคมูลฐานของอะตอม
ประกอบด้วยอะไรบ้าง

1 มวลอะตอมและมวลโมเลกุล

นักวิทยาศาสตร์ได้กำหนดธาตุมาตรฐานขึ้น เพื่อนำมาใช้หามวลเปรียบเทียบของอะตอมของธาตุต่าง ๆ และใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาความสัมพันธ์เชิงมวลของอนุภาคของสาร

1.1 มวลอะตอม

ธาตุแต่ละชนิดจะมีมวลเฉพาะตัว และเนื่องจากมวลของธาตุแต่ละชนิดมีค่าน้อยมาก ทำให้ไม่สะดวกในการหามวลของธาตุแต่ละชนิดโดยตรง ดังนั้น จึงมีการหาธาตุมาเป็นหลักในการใช้เปรียบเทียบว่าธาตุทั้งหลายมีมวลเป็นกี่เท่าของธาตุนั้น โดยธาตุแรกก็นำมาใช้ในการเปรียบเทียบได้แก่ ธาตุไฮโดรเจน โดยธาตุไฮโดรเจน 1 อะตอม มีมวล 1.66×10^{-24} กรัม และเรียกมวลนี้ว่า 1 amu (atomic mass unit) มวลของธาตุในตารางธาตุจึงเป็นจำนวนเท่าของมวลของธาตุไฮโดรเจน 1 อะตอม ซึ่งเรียกว่า มวลอะตอม (เปรียบเทียบ) ตัวอย่างเช่น Na มีมวลอะตอมเท่ากับ 23 หมายความว่า มวลของโซเดียม (Na) หนักเป็น 23 เท่าของมวลของไฮโดรเจน ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{มวลอะตอมของธาตุ} &= \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม (g)}}{\text{มวลของธาตุ H 1 อะตอม (g)}} \\ &= \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม (g)}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ (g)}}\end{aligned}$$

ต่อมานักวิทยาศาสตร์เกิดความไม่สะดวกในการใช้ธาตุไฮโดรเจนเป็นธาตุมาตรฐานในการเปรียบเทียบ จึงเปลี่ยนมาใช้ธาตุออกซิเจนเป็นธาตุมาตรฐานแทน เนื่องจากธาตุออกซิเจนมีอยู่มากและเป็นอิสระในธรรมชาติ รวมทั้งยังสามารถทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นๆ ได้ง่าย โดยใช้เพียง $\frac{1}{16}$ ของธาตุออกซิเจน แต่เกิดปัญหาเกี่ยวกับการใช้ไอโซโทปของออกซิเจน เนื่องจากธาตุออกซิเจนมีหลายไอโซโทป คือ $^{16}_8\text{O}$, $^{17}_8\text{O}$ และ $^{18}_8\text{O}$ ทำให้นักเคมีและนักฟิสิกส์กำหนดมวลอะตอมของออกซิเจนกันคนละค่า โดยนักเคมีใช้มวลอะตอมเฉลี่ยของออกซิเจนทั้ง 3 ไอโซโทป แต่นักฟิสิกส์ใช้มวลอะตอมของ $^{16}_8\text{O}$ เท่านั้น ในปัจจุบันจึงใช้ $\frac{1}{12}$ ของ C-12 1 อะตอม มาเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบมวล โดยเขียนความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{มวลอะตอมของธาตุ} &= \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม (g)}}{\frac{1}{12} \text{ มวลของธาตุ C-12 1 อะตอม (g)}} \\ &= \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม (g)}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ (g)}}\end{aligned}$$



มวลอะตอม



www.aksorn.com/qrcode/a562402

ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างมวลอะตอมกับมวลของธาตุ 1 อะตอม ของธาตุบางชนิด แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 : ความสัมพันธ์ระหว่างมวลอะตอมกับมวลของธาตุ 1 อะตอม ของธาตุบางชนิด

อะตอมธาตุ	มวลอะตอม	มวลของธาตุ 1 อะตอม (กรัม)
H	1	1.66×10^{-24}
C	12	$12 \times 1.66 \times 10^{-24}$
N	14	$14 \times 1.66 \times 10^{-24}$
O	16	$16 \times 1.66 \times 10^{-24}$
Na	23	$23 \times 1.66 \times 10^{-24}$
P	31	$31 \times 1.66 \times 10^{-24}$
S	32	$32 \times 1.66 \times 10^{-24}$

ตัวอย่างที่ 4.1

ธาตุโซเดียม 1 อะตอม มีมวล $23 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม ดังนั้น ธาตุโซเดียมมีมวลอะตอมเท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{มวลอะตอมของธาตุ} &= \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม (g)}}{\frac{1}{12} \text{ มวลของธาตุ C-12 1 อะตอม (g)}} \\ \text{มวลอะตอมของโซเดียม} &= \frac{23 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ g}} \\ &= 23 \end{aligned}$$

ดังนั้น ธาตุโซเดียมมีมวลอะตอมเท่ากับ 23

ตัวอย่างที่ 4.2

มวลอะตอมของธาตุเหล็กเท่ากับ 56 และ $\frac{1}{12}$ มวลของธาตุ C-12 1 อะตอม เท่ากับ 1.66×10^{-24} กรัม จงหามวลของธาตุเหล็ก 1 อะตอม

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{มวลอะตอมของธาตุ} &= \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม (g)}}{\frac{1}{12} \text{ มวลของธาตุ C-12 1 อะตอม (g)}} \\ 56 &= \frac{\text{มวลของธาตุเหล็ก 1 อะตอม (g)}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ g}} \\ \text{มวลของธาตุเหล็ก 1 อะตอม} &= 56 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ g} \\ &= 9.296 \times 10^{-23} \text{ g} \end{aligned}$$

ดังนั้น มวลของธาตุเหล็ก 1 อะตอม มีค่าเท่ากับ 9.296×10^{-23} กรัม

ตัวอย่างที่ 4.3

ธาตุ A 40 อะตอมหนัก x กรัม และมวลของ C-12 1 อะตอมหนัก y กรัม จงหามวลอะตอมของ A

วิธีทำ

ธาตุ A 40 อะตอมหนัก x กรัม
ธาตุ A 1 อะตอมหนัก $\frac{x}{40}$ กรัม

$$\begin{aligned} \text{มวลอะตอมของธาตุ} &= \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม (g)}}{\frac{1}{12} \text{ มวลของธาตุ C-12 1 อะตอม (g)}} \\ \text{มวลอะตอมของ A} &= \frac{\text{มวลของธาตุ A 1 อะตอม (g)}}{\frac{1}{12} \text{ มวลของธาตุ C-12 1 อะตอม (g)}} \\ &= \frac{\frac{x}{40} \text{ g}}{\frac{y}{12}} \\ &= \frac{3x}{10y} \text{ g} \end{aligned}$$

ดังนั้น มวลอะตอมของ A มีค่าเท่ากับ $\frac{3x}{10y}$

ตัวอย่างที่ 4.4

ธาตุ A 20 อะตอมหนักเป็น $\frac{1}{14}$ ของ N-14 2 อะตอม ถ้า N-14 1 อะตอมหนัก $14 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม มวลอะตอมของ A จะมีค่าเท่าใด

วิธีทำ

N-14 1 อะตอม = $14 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม
N-14 2 อะตอม = $2 \times 14 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม
= $28 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม

ธาตุ A 20 อะตอมหนักเป็น $\frac{1}{14}$ ของ N-14 2 อะตอม

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ธาตุ A 20 อะตอม} &= 10 \times \frac{1}{14} \times 28 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม} \\ \text{ธาตุ A 1 อะตอม} &= \frac{10 \times 1 \times 28 \times 1.66 \times 10^{-24}}{14 \times 20} \text{ กรัม} \\ &= 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลอะตอมของ A} &= \frac{\text{มวลของธาตุ A 1 อะตอม (g)}}{\frac{1}{12} \text{ มวลของธาตุ C-12 1 อะตอม (g)}} \\ &= \frac{1.66 \times 10^{-24} \text{ g}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ g}} = 1 \end{aligned}$$

ดังนั้น มวลอะตอมของ A มีค่าเท่ากับ 1

1.2 มวลอะตอมเฉลี่ย

ธาตุส่วนใหญ่ในธรรมชาติจะมีหลายไอโซโทป โดยแต่ละไอโซโทปจะมีมวลไม่เท่ากัน ดังนั้น ถ้ากล่าวถึงมวลอะตอมโดยไม่ได้ระบุว่าเป็นมวลของไอโซโทปใดโดยเฉพาะเจาะจง จะหมายถึง มวลอะตอมเฉลี่ย ซึ่งการหามวลอะตอมเฉลี่ยนั้นจะต้องคำนึงถึงปริมาณที่พบในธรรมชาติด้วยว่า มากหรือน้อย ซึ่งสามารถหามวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุได้โดยใช้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ} = \sum \left(\frac{\text{มวลอะตอมของแต่ละไอโซโทป} \times \% \text{ที่พบในธรรมชาติ}}{100} \right)$$

ตัวอย่างที่ 4.5

ออกซิเจนในธรรมชาติประกอบด้วย 3 ไอโซโทป คือ ^{16}O (มวลอะตอม = 15.9949) ร้อยละ 99.759 ^{17}O (มวลอะตอม = 16.9991) ร้อยละ 0.037 และที่เหลือเป็น ^{18}O (มวลอะตอม = 17.9991) ตามลำดับ จงคำนวณหามวลอะตอมเฉลี่ยของออกซิเจน

วิธีทำ มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ = $\sum \left(\frac{\text{มวลอะตอมของแต่ละไอโซโทป} \times \% \text{ที่พบในธรรมชาติ}}{100} \right)$

$$\begin{aligned} \text{มวลอะตอมเฉลี่ยของออกซิเจน} &= \frac{(15.9949 \times 99.759) + (16.9991 \times 0.037) + (17.9991 \times 0.204)}{100} \\ &= \frac{1599.9360}{100} = 15.9994 \end{aligned}$$

ดังนั้น มวลอะตอมเฉลี่ยของออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 15.9994

ตัวอย่างที่ 4.6

ไนโตรเจนประกอบด้วย 2 ไอโซโทป คือ N-14 และ N-15 และไนโตรเจนมีมวลอะตอมเฉลี่ยเท่ากับ 14.003 จงหาปริมาณที่พบ (ร้อยละ) ของแต่ละไอโซโทปของไนโตรเจนในธรรมชาติ

วิธีทำ สมมติให้มี N-14 ในธรรมชาติร้อยละ a และ N-15 ในธรรมชาติร้อยละ 100 - a

$$\begin{aligned} \text{มวลอะตอมเฉลี่ยของไนโตรเจน} &= \sum \left(\frac{\text{มวลอะตอมของแต่ละไอโซโทป} \times \% \text{ที่พบในธรรมชาติ}}{100} \right) \\ 14.003 &= \frac{14(a) + 15(100 - a)}{100} \\ 1400.3 &= 14a + 1500 - 15a \\ 15a - 14a &= 1500 - 1400.3 \\ a &= 99.7 \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณที่พบในธรรมชาติของ N-14 และ N-15 คือ ร้อยละ 99.7 และ 0.3 ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ 4.7

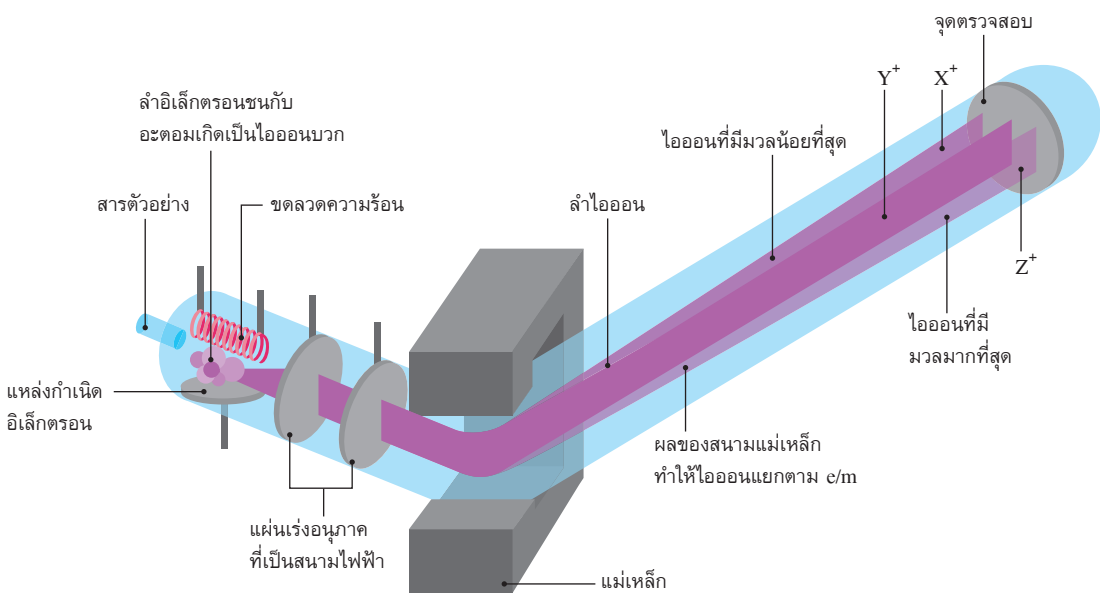
ธาตุคลอรีนในธรรมชาติมี 2 ไอโซโทป คือ ^{35}Cl และ ^{37}Cl มีมวลเท่ากับ 34.969 amu และ 36.956 amu ตามลำดับ และมีมวลอะตอมเฉลี่ยเท่ากับ 35.45 จงคำนวณหาว่ามี ^{35}Cl และ ^{37}Cl อย่างละร้อยละเท่าใดในธรรมชาติ

วิธีทำ สมมติให้มี ^{35}Cl ในธรรมชาติร้อยละ x และมี ^{37}Cl ในธรรมชาติร้อยละ 100 - x

$$\begin{aligned} \text{มวลอะตอมเฉลี่ยของคลอรีน} &= \sum \left(\frac{\text{มวลอะตอมของแต่ละไอโซโทป} \times \% \text{ที่พบในธรรมชาติ}}{100} \right) \\ 35.45 &= \frac{34.969(x) + 36.956(100 - x)}{100} \\ 3545 &= 34.969x + 3695.6 - 36.956x \\ 36.956x - 34.969x &= 3695.6 - 3545 \\ 1.987x &= 150.6 \\ x &= \frac{150.6}{1.987} = 75.79 \end{aligned}$$

ดังนั้น มี ^{35}Cl ในธรรมชาติร้อยละ 75.79 และมี ^{37}Cl ในธรรมชาติร้อยละ 100 - 75.79 = 24.21

ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์สามารถวิเคราะห์หาปริมาณของแต่ละไอโซโทปของธาตุได้โดยใช้แมสสเปกโตรมิเตอร์ (mass spectrometer) โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุไฟฟ้าในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ดังรูป



▲ ภาพที่ 4.1 แมสสเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไอโซโทปของธาตุ ที่มา : คลังภาพ อจท.

การหาไอโซโทปด้วยเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์มีหลักการ คือ เครื่องจะเปลี่ยนอะตอมของธาตุที่จะหาไอโซโทปไปเป็นไอออนบวก จากนั้นจะเร่งไอออนบวกของธาตุนั้นผ่านเข้าไปยังช่องแคบ และเข้าสู่บริเวณที่เป็นสนามแม่เหล็ก ในบริเวณนี้อิออนบวกจะวิ่งเป็นเส้นโค้งในมุมแตกต่างกันขึ้นอยู่กับมวลและประจุ ดังนี้

- ถ้าประจุเท่ากัน อนุภาคที่มีมวลเบา จะเบนไปมากกว่าอนุภาคที่มีมวลหนัก
- ถ้ามวลเท่ากัน อนุภาคที่มีประจุมาก จะเบนไปมากกว่าอนุภาคที่มีประจุน้อย

เมื่อไอออนทั้งหมดนั้นมาตกกระทบกับอุปกรณ์ตรวจสอบ (อาจใช้แผ่นฟิล์มหรือเครื่องบันทึกอิเล็กทรอนิกส์) แล้วบันทึกเป็นความเข้มหรือกระแส โดยปริมาณความเข้มหรือกระแสจะแปรผันโดยตรงกับจำนวนไอออนที่ตกกระทบกับอุปกรณ์ตรวจสอบ ด้วยหลักการดังกล่าว นักวิทยาศาสตร์จึงสามารถหาไอโซโทปของธาตุแต่ละชนิดได้



ตารางที่ 4.2 : มวลอะตอมและปริมาณไอโซโทปของธาตุบางชนิดในธรรมชาติ

ธาตุ	ไอโซโทป	มวลอะตอมของไอโซโทป	% ของแต่ละไอโซโทปที่พบในธรรมชาติ	มวลอะตอมเฉลี่ย
ไนโตรเจน	$^{14}_7\text{N}$	14.0031	99.636	14.007
	$^{15}_7\text{N}$	15.0001	0.364	
ออกซิเจน	$^{16}_8\text{O}$	15.9949	99.757	15.999
	$^{17}_8\text{O}$	16.9991	0.038	
	$^{18}_8\text{O}$	17.9992	0.205	
นีออน	$^{20}_{10}\text{Ne}$	19.9924	90.480	20.180
	$^{21}_{10}\text{Ne}$	20.9938	0.270	
	$^{22}_{10}\text{Ne}$	21.9914	9.250	
คลอรีน	$^{35}_{17}\text{Cl}$	34.9689	75.770	35.453
	$^{37}_{17}\text{Cl}$	36.9659	24.230	

1.3 มวลโมเลกุล

การหามวลโมเลกุลก็มีลักษณะเช่นเดียวกันกับมวลอะตอม เนื่องจากมวลของแต่ละโมเลกุลมีค่าน้อยมาก ไม่สะดวกในการหามวล จึงมีการเปรียบเทียบว่ามวลของสาร 1 โมเลกุล มีมวลเป็นกี่เท่าของธาตุไฮโดรเจน 1 อะตอม และในปัจจุบันจึงใช้เทียบกับ $\frac{1}{12}$ ของ C-12 1 อะตอม ดังนั้น มวลโมเลกุลจึงเป็นมวลเปรียบเทียบเช่นกัน โดยเขียนความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสาร} &= \frac{\text{มวลของสารนั้น 1 โมเลกุล (g)}}{\text{มวลของธาตุ H 1 อะตอม (g)}} \\ &= \frac{\text{มวลของสารนั้น 1 โมเลกุล (g)}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ (g)}} \end{aligned}$$

หรือ

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสาร} &= \frac{\text{มวลของสารนั้น 1 โมเลกุล (g)}}{\frac{1}{12} \text{ มวลของธาตุ C-12 1 อะตอม (g)}} \\ &= \frac{\text{มวลของสารนั้น 1 โมเลกุล (g)}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ (g)}} \end{aligned}$$

ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างมวลโมเลกุลกับมวลของสาร 1 โมเลกุล ของสารบางชนิดแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 : ความสัมพันธ์ระหว่างมวลโมเลกุลกับมวลของสาร 1 โมเลกุล ของสารบางชนิด

โมเลกุล	มวลโมเลกุล	มวล 1 โมเลกุล (กรัม)
CO ₂	44	$44 \times 1.66 \times 10^{-24}$
N ₂	28	$28 \times 1.66 \times 10^{-24}$
H ₂ SO ₄	98	$98 \times 1.66 \times 10^{-24}$
NaCl	58.5	$58.5 \times 1.66 \times 10^{-24}$
NO ₂	46	$46 \times 1.66 \times 10^{-24}$
SO ₂	64	$64 \times 1.66 \times 10^{-24}$
CaCO ₃	100	$100 \times 1.66 \times 10^{-24}$

หมายเหตุ : มวลอะตอมและมวลโมเลกุลเป็นมวลเปรียบเทียบ จึงไม่มีหน่วย และมวล 1 amu (atomic mass unit) มีค่าเท่ากับ 1.66×10^{-24} กรัม



ตัวอย่างที่ 4.8

ลูกเหม็น ($C_{10}H_8$) 1 โมเลกุล มีมวลเท่ากับ $128 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม จะมีมวลโมเลกุลเท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของสาร} &= \frac{\text{มวลของสารนั้น 1 โมเลกุล (g)}}{\frac{1}{12} \text{ มวลของธาตุ C-12 1 อะตอม (g)}} \\ \text{มวลโมเลกุลของลูกเหม็น} &= \frac{\text{มวลของลูกเหม็น 1 โมเลกุล (g)}}{\frac{1}{12} \text{ มวลของธาตุ C-12 1 อะตอม (g)}} \\ &= \frac{128 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ g}} \\ &= 128 \end{aligned}$$

ดังนั้น มวลโมเลกุลของลูกเหม็นมีค่าเท่ากับ 128

ตัวอย่างที่ 4.9

สาร X 10 โมเลกุล มีมวลเป็น 20 เท่าของสาร Y 2 โมเลกุล ถ้าสาร Y มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 28 จงคำนวณหามวลโมเลกุลของสาร X และสาร X 1 โมเลกุล มีมวลกี่ amu

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{สาร Y 1 โมเลกุล มีมวล } &28 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม} \\ \text{ดังนั้น สาร Y 2 โมเลกุล มีมวล } &56 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม} \\ \text{สาร X 10 โมเลกุล มีมวลเป็น 20 เท่าของสาร Y 2 โมเลกุล} & \\ \text{ดังนั้น สาร X 10 โมเลกุล มีมวล } &20 \times 56 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม} \\ \text{สาร X 1 โมเลกุล มีมวล } &\frac{20 \times 56 \times 1.66 \times 10^{-24}}{10} \text{ กรัม} \\ &= 112 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้น สาร X มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 112

$$\begin{aligned} \text{สาร X } &1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม มีค่าเท่ากับ } 1 \text{ amu} \\ &(1 \text{ โมเลกุล}) \\ \text{สาร X } &112 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม มีค่าเท่ากับ } \frac{112 \times 1.66 \times 10^{-24}}{1.66 \times 10^{-24}} \text{ amu} \\ &= 112 \text{ amu} \end{aligned}$$

ดังนั้น สาร X 1 โมเลกุล มีมวลเท่ากับ 112 amu

Prior Knowledge

2 โย

ในทางเคมีเราใช้หน่วยใดบ้าง ในการบอกปริมาณสาร

การบอกปริมาณสิ่งของในชีวิตประจำวัน อาจบอกเป็น หน่วยมวล เช่น กรัม กิโลกรัม หรือบอกเป็นหน่วยปริมาตร เช่น ลูกบาศก์เซนติเมตร ลูกบาศก์เมตร หรือการบอกปริมาณของสิ่งของที่เหมือนกันจำนวนมาก อาจบอกเป็นหน่วยโหล เช่น ปากกา 1 โหล เท่ากับปากกา 12 ด้าม

การบอกปริมาณทางเคมีอาจบอกเป็นหน่วยมวล หน่วยปริมาตร หรือจำนวนอนุภาคของสาร แต่อนุภาคของสารมีขนาดเล็กมาก นักเคมีจึงได้กำหนดหน่วยที่ใช้บอกจำนวนอนุภาคของสารขึ้นมาหน่วยหนึ่ง นั่นคือ การบอกปริมาณสารในหน่วยของโมล (mole)

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลและจำนวนอนุภาค

นักเคมีกำหนดให้ สาร 1 โมล หมายถึง ปริมาณสารที่มีจำนวนอนุภาคเท่ากับจำนวนอะตอมของคาร์บอน-12 ที่มีมวล 12 กรัม

จากที่นักเรียนทราบมาแล้วว่า คาร์บอน-12 จำนวน 1 อะตอม มีมวล $12 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม เมื่อนำมาเขียนความสัมพันธ์ในรูปของอัตราส่วนได้ ดังนี้

$$\frac{\text{C - 12 1 atom}}{\text{C - 12 } 12 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}}$$

ซึ่งสามารถนำอัตราส่วนนี้ไปคำนวณหาจำนวนอะตอมของคาร์บอน-12 ที่มีมวล 12 กรัม ได้ โดยสมมติให้คาร์บอน-12 ที่มีมวล 12 กรัม มีจำนวนอนุภาคเท่ากับ a อะตอม ซึ่งนำมาเขียนเป็นอัตราส่วนที่เท่ากับอัตราส่วนแรกได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{\text{C - 12 1 atom}}{\text{C - 12 } 12 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}} &= \frac{\text{C - 12 1 atom}}{\text{C - 12 12 g}} \\ \text{C - 12 a atom} &= \frac{\text{C - 12 1 atom} \times \text{C - 12 12 g}}{\text{C - 12 } 12 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}} \\ &= 6.02 \times 10^{23} \text{ อะตอม} \end{aligned}$$

แสดงว่า คาร์บอน-12 ที่มีมวล 12 กรัม ประกอบด้วยคาร์บอนจำนวน 6.02×10^{23} อะตอม

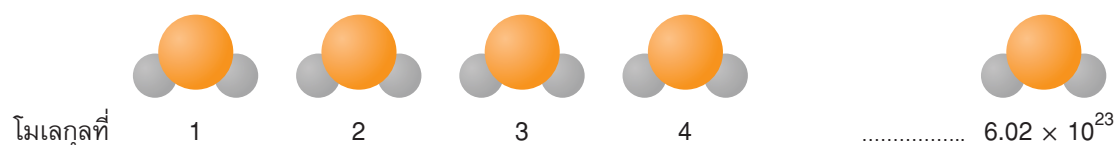
ดังนั้น สารใด ๆ ก็ตามจำนวน 1 โมล จะมีจำนวนอนุภาคเท่ากับ 6.02×10^{23} อนุภาค (คำว่า อนุภาค อาจหมายถึง อะตอม โมเลกุล ไอออน หรืออิเล็กตรอน) และเรียกจำนวน 6.02×10^{23} นี้ว่า เลขอาโวกาโดร (Avogadro's number) ส่วนมากในการบอกปริมาณของสารเป็นโมลนั้น จะไม่ระบุชนิดของอนุภาค โดยจะต้องเข้าใจธรรมชาติของสารที่ต้องการจะสื่อถึงนั้นว่าอยู่ในอนุภาค ลักษณะใด เช่น

Zn	1 โมล	หมายถึง 1 โมลอะตอม	มีจำนวน 6.02×10^{23} อะตอม
CO ₂	1 โมล	หมายถึง 1 โมลโมเลกุล	มีจำนวน 6.02×10^{23} โมเลกุล
Ca ²⁺	1 โมล	หมายถึง 1 โมลไอออน	มีจำนวน 6.02×10^{23} ไอออน
e ⁻	1 โมล	หมายถึง 1 โมลอิเล็กตรอน	มีจำนวน 6.02×10^{23} อิเล็กตรอน

ให้นักเรียนศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโมลโมเลกุลกับโมลอะตอมจากตัวอย่างต่อไปนี้

กำหนดให้  แทน ธาตุไฮโดรเจน (H) และ  แทน ธาตุออกซิเจน (O)

ดังนั้น ถ้านำน้ำ (H₂O) มา 1 โมลโมเลกุล จะมีจำนวน 6.02×10^{23} โมเลกุล ดังรูป



▲ ภาพที่ 4.2 แบบจำลองโมเลกุลน้ำจำนวน 6.02×10^{23} โมเลกุล
ที่มา : คลังภาพ อจท.

จากรูป จะเห็นว่า H₂O จำนวน 1 โมล ประกอบด้วย

จำนวนโมเลกุล 6.02×10^{23} โมเลกุล

จำนวนคาร์บอน (H) $2 \times 6.02 \times 10^{23}$ อะตอม = 2 โมลอะตอม

จำนวนออกซิเจน (O) 6.02×10^{23} อะตอม = 1 โมลอะตอม

ดังนั้น ถ้านำ H₂O มาจำนวน 0.5 โมล จะประกอบด้วย

จำนวนโมเลกุล 3.01×10^{23} โมเลกุล

จำนวนคาร์บอน (H) 6.02×10^{23} อะตอม = 1 โมลอะตอม

จำนวนออกซิเจน (O) 3.01×10^{23} อะตอม = 0.5 โมลอะตอม

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโมลกับมวลของสาร

จากการศึกษาข้อมูลต่างๆ พบว่า ธาตุใด ๆ จำนวน 1 โมลอะตอม (6.02×10^{23} อะตอม) จะมีมวลเป็นกรัมเท่ากับมวลอะตอมของธาตุนั้น เช่น

C	1	อะตอม	มีมวล	$12 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม
C	6.02×10^{23}	อะตอม	มีมวล	$\frac{12 \times 1.66 \times 10^{-24} \times 6.02 \times 10^{23}}{1} \approx 12$ กรัม
	(1 โมล)			

ในทำนองเดียวกัน ถ้าสารนั้นเป็นโมเลกุล จะพบว่า สารใด ๆ จำนวน 1 โมลโมเลกุล (6.02×10^{23} โมเลกุล) จะมีมวลเป็นกรัมเท่ากับมวลโมเลกุลของธาตุนั้น เช่น

O ₂	1	โมเลกุล	มีมวล	$32 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม
O ₂	6.02×10^{23}	โมเลกุล	มีมวล	$\frac{32 \times 1.66 \times 10^{-24} \times 6.02 \times 10^{23}}{1} \approx 32$ กรัม
	(1 โมล)			
H ₂ O	1	โมเลกุล	มีมวล	$18 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม
H ₂ O	6.02×10^{23}	โมเลกุล	มีมวล	$\frac{18 \times 1.66 \times 10^{-24} \times 6.02 \times 10^{23}}{1} \approx 18$ กรัม
	(1 โมล)			

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ธาตุ 1 โมลอะตอม มีมวล = มวลอะตอม ที่มีหน่วยเป็น กรัม (g)

สาร 1 โมลโมเลกุล มีมวล = มวลโมเลกุล ที่มีหน่วยเป็น กรัม (g)

สำหรับธาตุที่มีองค์ประกอบเป็นไอออน ให้ถือว่ามวลเป็นกรัมของไอออนของธาตุใด ๆ มีค่าเท่ากับมวลอะตอมของธาตุนั้น เช่น

โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 1 โมล ประกอบด้วย Na⁺ 1 โมล และ Cl⁻ 1 โมล ซึ่ง Na มีมวลอะตอมเท่ากับ 23 และ Cl มีมวลอะตอมเท่ากับ 35.5 ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{HCl 1 โมล มีมวล} &= \text{มวลของ Na}^+ \text{ 1 โมล} + \text{มวลของ Cl}^- \text{ 1 โมล} \\ &= 23 \text{ กรัม} + 35.5 \text{ กรัม} \\ &= 58.5 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

สารประกอบอื่น ๆ ที่มีองค์ประกอบเป็นไอออนก็สามารถหามวล 1 โมลของสารเหล่านี้ได้ด้วยวิธีการเดียวกัน



2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโมลกับปริมาตรของแก๊ส

ปริมาตรของแก๊สจะมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความดัน ดังนั้น เมื่อต้องการเปรียบเทียบปริมาตรของแก๊สจึงต้องมีการกำหนดอุณหภูมิและความดันด้วย นักวิทยาศาสตร์จึงได้กำหนดอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ เป็นอุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (standard temperature and pressure) และเรียกย่อ ๆ ว่า STP

นักวิทยาศาสตร์ได้ทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลและปริมาตรของแก๊สที่ STP โดยทำการวัดมวลของแก๊สชนิดต่าง ๆ ปริมาตร 1 ลิตร ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน ได้ข้อมูล ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 : มวลของแก๊สปริมาตร 1 ลิตร ณ อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน		
ชนิดของแก๊ส	มวลของแก๊ส 1 ลิตร (กรัม)	มวลของแก๊ส 1 โมล (กรัม)
แก๊สฮีเลียม (He)	0.18	4
แก๊สออกซิเจน (O ₂)	1.43	32
แก๊สไนโตรเจน (N ₂)	1.25	28
แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	1.96	44

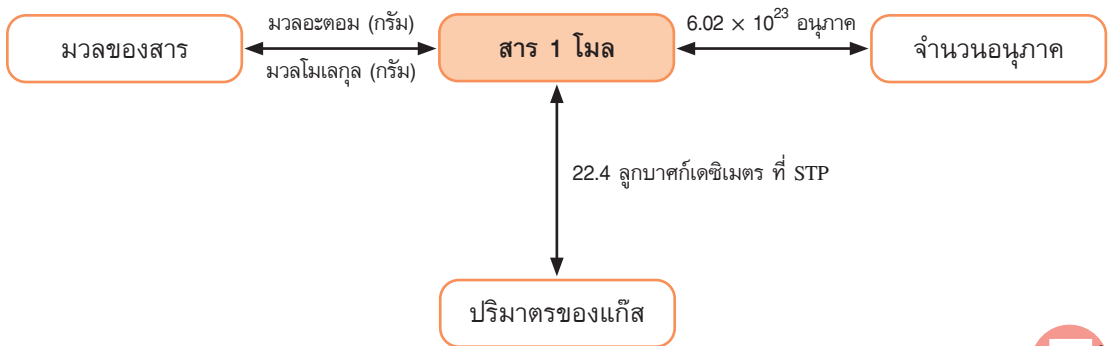
จากข้อมูลในตารางนำมาคำนวณหาปริมาตรของแก๊สใน 1 โมล ที่ STP ได้ ดังนี้

แก๊ส He	0.18 กรัม	มีปริมาตร 1 ลิตร
แก๊ส He	4 กรัม	มีปริมาตร $\frac{1 \times 4}{0.18} = 22.4$ ลิตร
แก๊ส O ₂	1.43 กรัม	มีปริมาตร 1 ลิตร
แก๊ส O ₂	32 กรัม	มีปริมาตร $\frac{1 \times 32}{1.43} = 22.4$ ลิตร
แก๊ส N ₂	1.25 กรัม	มีปริมาตร 1 ลิตร
แก๊ส N ₂	28 กรัม	มีปริมาตร $\frac{1 \times 28}{1.25} = 22.4$ ลิตร
แก๊ส CO ₂	1.96 กรัม	มีปริมาตร 1 ลิตร
แก๊ส CO ₂	44 กรัม	มีปริมาตร $\frac{1 \times 44}{1.96} = 22.4$ ลิตร

เมื่อทำการทดลองในลักษณะเดียวกันนี้กับแก๊สอื่น ๆ ก็จะได้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกัน ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า “แก๊สใด ๆ จำนวน 1 โมล จะมีปริมาตร 22.4 ลิตร ที่ STP เสมอ”

ในการคำนวณเกี่ยวกับจำนวนโมลกับปริมาตรของแก๊สมีข้อควรระวัง ดังนี้ ต้องดูว่าโจทย์กำหนดที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานมาให้หรือไม่ และต้องดูว่าที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน สารนั้นเป็นแก๊สหรือไม่

จากการศึกษาที่ผ่านมา ทำให้ทราบว่า สาร 1 โมล มีจำนวน 6.02×10^{23} อนุภาค หรือมีมวลเป็นกรัมเท่ากับมวลอะตอมของธาตุ หรือมวลโมเลกุลของสาร และถ้าสารนั้นเป็นแก๊ส จะมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่ STP ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างโมลกับมวล จำนวนอะตอมหรือจำนวนโมเลกุล หรือปริมาตรของแก๊สที่ STP ได้ ดังนี้



ตัวอย่างที่ 4.10

กรดซัลฟิวริก 4.9 กรัม จะมีธาตุไฮโดรเจนอยู่กี่อะตอม

วิธีทำ กรด H₂SO₄ มีมวลโมเลกุล 98 ดังนั้น กรด H₂SO₄ 1 โมล มีมวล 98 กรัม
กรด H₂SO₄ 98 กรัม มีธาตุ H $2 \times 6.02 \times 10^{23}$ อะตอม
กรด H₂SO₄ 4.9 กรัม มีธาตุ H $\frac{2 \times 6.02 \times 10^{23} \times 4.9}{98} = 6.02 \times 10^{22}$ อะตอม
ดังนั้น กรดซัลฟิวริก 4.9 กรัม จะมีธาตุไฮโดรเจนอยู่ 6.02×10^{22} อะตอม

ตัวอย่างที่ 4.11

แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) 10 กรัม จะมีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบกี่อะตอม

วิธีทำ CaCO₃ มีมวลโมเลกุล 100 ดังนั้น CaCO₃ 1 โมล มีมวล 100 กรัม
CaCO₃ 100 กรัม สลายตัวได้ O $3 \times 6.02 \times 10^{23}$ อะตอม
CaCO₃ 10 กรัม สลายตัวได้ O $\frac{3 \times 6.02 \times 10^{23} \times 10}{100} = 1.806 \times 10^{23}$ อะตอม
ดังนั้น แคลเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม จะสลายตัวให้ธาตุออกซิเจน 1.806×10^{23} อะตอม

H.O.T.S.

คำถามท้าทายการคิดขั้นสูง

จงเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของแก๊สในอุดมคติ และอธิบายความหมายของแต่ละตัวแปร

ตัวอย่างที่ 4.12

น้ำตาลซูโครส ($C_{12}H_{22}O_{11}$) จำนวน 34.2 กรัม จงคำนวณหาจำนวนโมลอะตอมของคาร์บอน และมวลของออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบในน้ำตาลซูโครสนี้

วิธีทำ น้ำตาล $C_{12}H_{22}O_{11}$ มีมวลโมเลกุล 342
 ดังนั้น น้ำตาล $C_{12}H_{22}O_{11}$ 1 โมล มีมวล 342 กรัม
 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 342 กรัม มีจำนวนธาตุ C 12 โมลอะตอม
 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 34.2 กรัม มีจำนวนธาตุ C $\frac{12 \times 34.2}{342} = 1.2$ โมลอะตอม
 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 342 กรัม มีจำนวนธาตุ O 176 กรัม
 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 34.2 กรัม มีจำนวนธาตุ O $\frac{176 \times 34.2}{342} = 17.6$ กรัม
 ดังนั้น น้ำตาลซูโครส 34.2 กรัม มีจำนวนคาร์บอน 1.2 โมลอะตอม และมีมวลของออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ 17.6 กรัม

ตัวอย่างที่ 4.13

ธาตุโพแทสเซียมก็กรัม จึงมีจำนวนอะตอมเท่ากับธาตุเหล็กจำนวน 28 กรัม (กำหนดให้ มวลอะตอมของ K = 39 และ Fe = 56)

วิธีทำ ธาตุเหล็กมีมวลอะตอม 56
 ดังนั้น ธาตุเหล็ก 28 กรัม มี $\frac{1}{2}$ โมล = 3.01×10^{23} อะตอม
 ดังนั้น จึงต้องการธาตุโพแทสเซียมจำนวน 3.01×10^{23} อะตอม
 ธาตุโพแทสเซียม 6.02×10^{23} อะตอม มีมวล 39 กรัม
 ธาตุโพแทสเซียม 3.01×10^{23} อะตอม มีมวล $\frac{39 \times 3.01 \times 10^{23}}{6.02 \times 10^{23}} = 19.5$ กรัม
 ดังนั้น ธาตุโพแทสเซียมจำนวน 19.5 กรัม จึงมีจำนวนอะตอมเท่ากับธาตุเหล็ก 28 กรัม

ตัวอย่างที่ 4.14

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 11 กรัม จะมีปริมาตรกี่ลิตร ที่ STP

วิธีทำ แก๊ส CO_2 มีมวลโมเลกุล 44
 ดังนั้น แก๊ส CO_2 1 โมล มีมวล 44 กรัม
 แก๊ส CO_2 จำนวน 44 กรัม มีปริมาตร 22.4 ลิตร ที่ STP
 แก๊ส CO_2 จำนวน 11 กรัม มีปริมาตร $\frac{22.4 \times 11}{44} = 5.6$ ลิตร ที่ STP
 ดังนั้น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 11 กรัม จะมีปริมาตร 5.6 ลิตร ที่ STP

Prior Knowledge

สูตรเคมีของสารสามารถระบุสิ่งใดของสารได้

3 การคำนวณเกี่ยวกับสูตรเคมี

สารชนิดต่าง ๆ ในธรรมชาติจะเกิดในรูปของธาตุหรือสารประกอบ ซึ่งการเขียนสัญลักษณ์ของสารด้วยสัญลักษณ์ของธาตุเพื่อแสดงจำนวนอะตอมที่เป็นองค์ประกอบของสาร เรียกว่า สูตรเคมี

พิจารณาข้อมูลผลการทดลองเตรียมสารประกอบคอปเปอร์ (II) ซัลไฟด์ จากปริมาณทองแดง (Cu) และกำมะถัน (S) ที่ทำปฏิกิริยากันพอดี แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 : ปริมาณทองแดง (Cu) และกำมะถัน (S) ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน

การทดลองที่	มวลของทองแดง (g)	มวลของกำมะถัน (g)	อัตราส่วนระหว่างมวลของทองแดงและกำมะถัน
1	1.0	0.5	2 : 1
2	2.0	1.0	2 : 1
3	3.0	1.5	2 : 1
4	4.0	2.0	2 : 1
5	5.0	2.5	2 : 1

จากข้อมูลในตาราง ทำให้ทราบว่า เมื่อนำทองแดง (Cu) มาเผากับกำมะถัน (S) จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบคอปเปอร์ (II) ซัลไฟด์ (CuS) ซึ่งมีอัตราส่วนโดยมวลของ Cu : S = 2 : 1 เสมอ

นอกจากนี้ยังพบว่า การสังเคราะห์คอปเปอร์ (II) ซัลไฟด์ ยังสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟตกับสารละลายไฮโดรเจนซัลไฟด์ก็ให้สารประกอบคอปเปอร์ (II) ซัลไฟด์ ซึ่งมีอัตราส่วนโดยมวลของ Cu : S = 2 : 1 เช่นเดียวกัน

โจเซฟ เพราสต์ (Joseph Proust) และอ็องตวน-โลว์รอง เดอ ลาวัวซีเย (Antoine-Laurent de Lavoisier) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ได้ศึกษาการเตรียมสารประกอบบางชนิด พบว่าสารประกอบชนิดหนึ่งที่เตรียมด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน จะมีอัตราส่วนโดยมวลของธาตุที่รวมกันเป็นสารประกอบคงที่เสมอ เขาจึงตั้งเป็นกฎขึ้นมา เรียกว่า กฎสัดส่วนคงที่ (law of definite proportions) เช่น สารประกอบคอปเปอร์ (II) ซัลไฟด์ที่เตรียมจากทองแดงกับกำมะถันและเตรียมจากสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟตกับสารละลายซัลไฟด์ จะมีอัตราส่วนโดยมวลเท่ากับ 2 : 1 เท่ากัน ดังนั้น สารประกอบจะมีอัตราส่วนโดยโมลของธาตุคงที่

ให้นักเรียนศึกษาการคำนวณปริมาณสารตามกฎสัดส่วนคงที่จากตัวอย่างต่อไปนี้



กฎสัดส่วนคงที่

www.aksorn.com/qrcode/a562603

ตัวอย่างที่ 4.15

เมื่อเผาโลหะแมกนีเซียม (Mg) 5.28 กรัม ในอากาศ จะมีแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เกิดขึ้น 8.80 กรัม และเมื่อนำโลหะแมกนีเซียม 2.73 กรัม มาเผากับออกซิเจน (O₂) 1.82 กรัม จะเกิดเป็นแมกนีเซียมออกไซด์ทั้งหมด ผลการทดลองนี้เป็นไปตามกฎสัดส่วนคงที่หรือไม่

วิธีทำ มวลของ O₂ ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Mg = มวลของ MgO - มวลของ Mg

$$= 8.80 \text{ g} - 5.28 \text{ g}$$

$$= 3.52 \text{ g}$$

การทดลองครั้งแรก

อัตราส่วนโดยมวลของ Mg : O₂ = 5.28 : 3.52

$$= 1.50 : 1.00$$

การทดลองครั้งที่สอง

อัตราส่วนโดยมวลของ Mg : O₂ = 2.73 : 1.82

$$= 1.50 : 1.00$$

จากการทดลอง โลหะแมกนีเซียมทำปฏิกิริยากับออกซิเจนด้วยอัตราส่วนโดยมวลเท่ากัน ทั้งสองครั้ง ดังนั้น ผลการทดลองเป็นไปตามกฎสัดส่วนคงที่

ตัวอย่างที่ 4.16

คาร์บอน 2.4 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับออกซิเจน 6.4 กรัม ได้แก๊สชนิดหนึ่ง ซึ่งไม่มีสี และจากการวิเคราะห์แก๊สชนิดนี้ ซึ่งเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดไฮโดรคลอริกกับแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่า ประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 27.3 โดยมวล ข้อมูลเหล่านี้สนับสนุนกฎสัดส่วนคงที่หรือไม่ เพราะเหตุใด

วิธีทำ การทดลองครั้งแรก

แก๊สที่เกิดขึ้นมีอัตราส่วนโดยมวลของคาร์บอน : ออกซิเจน = 2.4 : 6.4

$$= 1 : 2.66$$

การทดลองครั้งที่สอง

แก๊สที่เกิดขึ้นมีอัตราส่วนโดยมวลของคาร์บอน : ออกซิเจน = 27.3 : 100 - 27.3

$$= 27.3 : 72.7$$

$$= 1 : 2.66$$

ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวสนับสนุนกฎสัดส่วนคงที่ โดยการทดลองทั้งสองครั้งมีอัตราส่วนโดยมวลของคาร์บอน : ออกซิเจนคงที่ คือ 1 : 2.66

ตัวอย่างสูตรเคมีที่เป็นกลุ่มสัญลักษณ์ที่ใช้เขียนแทนสารประกอบ แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 : สูตรเคมีของสารประกอบบางชนิด

ชื่อสาร	สูตรเคมี
แก๊สไฮโดรเจน	H ₂
แก๊สออกซิเจน	O ₂
เลด (II) ไนเตรต	Pb(NO ₃) ₂
โพแทสเซียมไอโอไดด์	KI
แคลเซียมคาร์บอเนต (หินปูน)	CaCO ₃
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (น้ำปูนใส)	Ca(OH) ₂
แคลเซียมออกไซด์ (ปูนขาว)	CaO
โซเดียมคาร์บอเนต	Na ₂ CO ₃
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ)	NaOH
โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (ต่างทับทิม)	KMnO ₄
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	H ₂ O ₂
กรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ)	HCl
กรดซัลฟิวริก (กรดกำมะถัน)	H ₂ SO ₄
กรดแอซิก (กรดน้ำส้ม)	CH ₃ COOH
แอมโมเนีย	NH ₃

สารบางชนิดเมื่อเกิดเป็นผลึกอาจจะมีโมเลกุลของน้ำผลึกปนอยู่ด้วย เช่น สารประกอบคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต เรียกว่า จุนส์สะตุ จะมีลักษณะเป็นผงสีขาวเทา มีสูตรเป็น CuSO₄ แต่เมื่อสัมผัสกับน้ำจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้ม เรียกว่า จุนส์ มีสูตรเป็น CuSO₄·5H₂O โมเลกุลของน้ำที่ประกอบอยู่ในผลึกของสารนั้น เรียกว่า น้ำผลึก ตัวอย่างสูตรเคมีของสารประกอบที่มีน้ำผลึก แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 : สูตรเคมีของสารประกอบที่มีน้ำผลึก

ชื่อสาร	สูตรเคมี
คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต	CuSO ₄ ·5H ₂ O
แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต	MgSO ₄ ·7H ₂ O
โซเดียมเตตระโบเรตเดคะไฮเดรต	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O

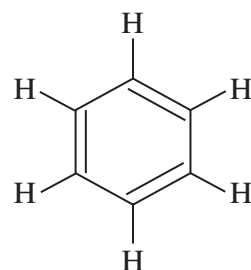
สูตรเคมีสามารถเขียนได้หลายลักษณะ ดังนี้

1. สูตรโมเลกุล (molecular formula) เป็นสูตรที่แสดงจำนวนอะตอมของธาตุองค์ประกอบที่มีอยู่จริงใน 1 โมเลกุลของสาร เช่น คาร์บอนไดออกไซด์มีสูตรโมเลกุลเป็น CO_2 แสดงว่า 1 โมเลกุล ประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และออกซิเจน 2 อะตอม

2. สูตรอย่างง่ายหรือสูตรเอมพิริคัล (empirical formula) เป็นสูตรที่แสดงอัตราส่วนอย่างต่ำของจำนวนอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ เช่น กลูโคสมีสูตรโมเลกุลเป็น $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ซึ่งอัตราส่วนอย่างต่ำของ C : H : O เท่ากับ 1 : 2 : 1 ดังนั้น กลูโคสจึงมีสูตรเอมพิริคัลเป็น CH_2O

ดังนั้น $\text{สูตรโมเลกุล} = (\text{สูตรเอมพิริคัล})_n$

3. สูตรโครงสร้าง (structural formula) คือ การเขียนสูตรที่แสดงให้เห็นว่าอะตอมที่เป็นองค์ประกอบของโมเลกุลดังที่แสดงในสูตรโมเลกุลมีการสร้างพันธะกันอย่างไร เช่น สูตรโครงสร้างของแอมโมเนีย มีสูตรโมเลกุล C_6H_6 เขียนได้ ดังนี้



3.1 การคำนวณมวลเป็นร้อยละจากสูตร

การหามวลโมเลกุลของสารวิธีหนึ่งอาจทำได้โดยนำมวลอะตอมของธาตุองค์ประกอบใน 1 โมเลกุลของสารนั้นมารวมกัน ดังนั้น ถ้าต้องการทราบว่า 1 โมลของสารมีธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดอยู่ร้อยละเท่าใด สามารถคำนวณได้โดยใช้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{ร้อยละโดยมวลของธาตุ} = \frac{\text{จำนวนอะตอมในสูตรสารประกอบ} \times \text{มวลอะตอม}}{\text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ}} \times 100$$



ตัวอย่างที่ 4.17

จงคำนวณหามวลเป็นร้อยละของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนในสารประกอบโพรเพน

วิธีทำ สารประกอบโพรเพนมีสูตรโมเลกุล คือ C_3H_8

C_3H_8 มีมวลโมเลกุล 44

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละโดยมวลของธาตุ C} &= \frac{(3 \times 12)}{44} \times 100 \\ &= 81.82 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละ โดยมวลของธาตุ H} &= \frac{(8 \times 1)}{44} \times 100 \\ &= 18.18 \end{aligned}$$

ดังนั้น ในสารประกอบโพรเพนประกอบด้วย

ธาตุคาร์บอนร้อยละ 81.82

ธาตุไฮโดรเจนร้อยละ 18.18



ตัวอย่างที่ 4.18

จงหามวลเป็นร้อยละของ Na C O และ H_2O ในสารประกอบ $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (กำหนดให้มวลอะตอมของ Na = 23 O = 16 H = 1 และ C = 12)

วิธีทำ $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ มีมวลโมเลกุล 286

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละโดยมวลของธาตุ Na} &= \frac{(2 \times 23)}{286} \times 100 \\ &= 16.08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละโดยมวลของธาตุ C} &= \frac{(1 \times 12)}{286} \times 100 \\ &= 4.20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละโดยมวลของธาตุ O} &= \frac{(3 \times 16)}{286} \times 100 \\ &= 16.78 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละโดยมวลของ } \text{H}_2\text{O} &= \frac{(10 \times 18)}{286} \times 100 \\ &= 62.94 \end{aligned}$$

ดังนั้น ในสารประกอบ $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ประกอบด้วย

Na ร้อยละ 16.08 โดยมวล

C ร้อยละ 4.20 โดยมวล

O ร้อยละ 16.78 โดยมวล

H_2O ร้อยละ 62.94 โดยมวล

3.2 การคำนวณหาสูตรเคมีและสูตรโมเลกุล

1. การคำนวณหาสูตรเคมี มีหลักการ ดังนี้

- 1) พิจารณาว่าสารที่จะหาสูตรเคมีมีธาตุใดประกอบอยู่
- 2) หามวลของแต่ละธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสูตร
- 3) หาอัตราส่วนโดยโมล โดยนำมวลอะตอมของธาตุไปหารมวลของธาตุนั้น
- 4) ทำเป็นอัตราส่วนอย่างต่ำ ถ้าเป็นทศนิยม ให้ปัดจุดทศนิยมโดยใช้หลักการ คือ 0.1–0.2 ให้ปัดลง ถ้า 0.8–0.9 ให้ปัดขึ้น แต่ถ้าหากปัดเศษไม่ได้ให้หาตัวเลขที่มีจำนวนต่ำที่สุดมาคูณจนกระทั่งปัดได้

ตัวอย่างที่ 4.19

แก๊สชนิดหนึ่งประกอบด้วยธาตุไนโตรเจน 2.34 กรัม และออกซิเจน 5.34 กรัม จงหาสูตรเคมีของแก๊สนี้ (กำหนดให้ มวลอะตอมของ N = 14 และ O = 16)

วิธีทำ

N	:	O	
2.34	:	5.34	โดยมวล
$\frac{2.34}{14}$	:	$\frac{5.34}{16}$	โดยโมล
0.167	:	0.334	โดยโมล
$\frac{0.167}{0.167}$	:	$\frac{0.334}{0.167}$	โดยโมล
1	:	2	โดยโมล

ดังนั้น สูตรเคมีของแก๊สนี้ คือ NO_2

ตัวอย่างที่ 4.20

สารประกอบชนิดหนึ่งประกอบด้วยธาตุ Fe ร้อยละ 72.41 และธาตุ O ร้อยละ 27.59 โดยมวล จงหาสูตรเคมีของสารประกอบนี้ (กำหนดให้ มวลอะตอมของ Fe = 56 และ O = 16)

วิธีทำ

Fe	:	O	
72.41	:	27.59	โดยมวล
$\frac{72.41}{56}$	:	$\frac{27.59}{16}$	โดยโมล
1.29	:	1.72	โดยโมล
$\frac{1.29}{1.29}$	:	$\frac{1.72}{1.29}$	โดยโมล
1	:	1.33	โดยโมล
3	:	4	โดยโมล

ดังนั้น สูตรเคมีของสารประกอบนี้ คือ Fe_3O_4

ตัวอย่างที่ 4.21

CuSO_4 ที่มีน้ำผลึกเกาะอยู่จำนวนหนึ่งหนัก 2 กรัม นำมาเผาให้น้ำระเหยไปจนหมดจะเหลือ CuSO_4 1.28 กรัม จงหาจำนวนโมลของน้ำผลึกที่เกาะอยู่ และสูตรโมเลกุลของ CuSO_4 ที่มีน้ำผลึกเกาะอยู่ (กำหนดให้ มวลอะตอมของ H = 1 O = 16 S = 32 และ Cu = 63.5)

วิธีทำ

CuSO_4 ที่มีน้ำผลึกเกาะอยู่จะอยู่ในรูปของ $\text{CuSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
จากโจทย์ CuSO_4 ที่มีน้ำผลึกเกาะอยู่ 2 กรัม นำมาเผาให้น้ำระเหยไปจนหมดเหลือ CuSO_4 1.28 กรัม แสดงว่า มีน้ำผลึกอยู่ 0.72 กรัม จึงได้อัตราส่วนของ

CuSO_4	:	H_2O	
1.28	:	0.72	โดยมวล
$\frac{1.28}{159.5}$	:	$\frac{0.72}{18}$	โดยโมล
0.008	:	0.04	โดยโมล
$\frac{0.008}{0.008}$	:	$\frac{0.04}{0.008}$	โดยโมล
1	:	5	โดยโมล

ดังนั้น ปริมาณน้ำผลึก คือ 5 โมล จึงได้โมเลกุลเป็น $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

2. การคำนวณหาสูตรโมเลกุล มีหลักการ ดังนี้

ในการหาสูตรโมเลกุลจำเป็นต้องทราบสูตรเคมีและมวลโมเลกุลของสารนั้นก่อน แล้วจึงทำการหาค่า n และสูตรโมเลกุลจากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุล} &= (\text{มวลของสูตรเคมี}) \times n \\ \text{สูตรโมเลกุล} &= (\text{สูตรเคมี})_n \end{aligned}$$



ตัวอย่างที่ 4.22

สารประกอบชนิดหนึ่งมีสูตรอย่างง่ายเป็น CH_2O มีมวลโมเลกุลเป็น 180 จงหาสูตรโมเลกุลของสารประกอบนี้

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุล} &= (\text{มวลของสูตรเคมี}) \times n \\ 180 &= (\text{CH}_2\text{O})n \\ 180 &= (12 + 2 + 16)n \\ 180 &= 30n \\ n &= 6 \end{aligned}$$

ดังนั้น สูตรโมเลกุลของสารประกอบนี้ คือ $(\text{CH}_2\text{O})_6 = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

ตัวอย่างที่ 4.23

สารประกอบชนิดหนึ่งประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 17.83 ไฮโดรเจนร้อยละ 2.11 และคลอรีนร้อยละ 80.06 โดยมวล ถ้ามวลโมเลกุลของสารนี้เป็น 267 จงหาสูตรโมเลกุลของสารประกอบนี้ (กำหนดให้มวลอะตอมของ H = 1 C = 12 และ Cl = 35.5)

วิธีทำ อัตราส่วน

C	:	H	:	Cl	
17.83	:	2.11	:	80.06	โดยมวล
$\frac{17.83}{12}$	:	$\frac{2.11}{1}$	:	$\frac{80.06}{35.5}$	โดยโมล
1.49	:	2.11	:	2.26	โดยโมล
$\frac{1.49}{1.49}$	:	$\frac{2.11}{1.49}$	:	$\frac{2.26}{1.49}$	โดยโมล
1.00	:	1.42	:	1.52	โดยโมล
คูณด้วย 2	:	2.00	:	3.0	โดยโมล

สูตรเอมพิริคัลของแก๊สนี้ คือ $C_2H_3Cl_3$

หาสูตรโมเลกุลจาก

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุล} &= (\text{มวลของสูตรเอมพิริคัล}) \times n \\ 267 &= (C_2H_3Cl_3)n \\ 267 &= (24 + 3 + 106.5)n \\ 267 &= 133.5n \\ n &= 2 \end{aligned}$$

ดังนั้น สูตรโมเลกุลของแก๊สนี้ คือ $(C_2H_3Cl_3)_2 = C_4H_6Cl_6$

ตัวอย่างที่ 4.24

แก๊ส X มีสูตรอย่างง่ายเป็น CH_3 แก๊ส X มวล 1 กรัม มีปริมาตร 0.746 ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่ STP จงหาสูตรโมเลกุลของแก๊ส X (กำหนดให้ มวลอะตอมของ C = 12 และ H = 1)

วิธีทำ แก๊ส X 0.746 dm³ ที่ STP มีมวล 1 g

$$\text{แก๊ส X } 22.4 \text{ dm}^3 \text{ ที่ STP มีมวล } \frac{1 \times 22.4}{0.746} = 30.03 \text{ g}$$

ดังนั้น แก๊ส X มีมวลโมเลกุล = 30

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุล} &= (\text{มวลของสูตรเอมพิริคัล}) \times n \\ 30 &= (CH_3)n \\ 30 &= (12 + 3)n \\ 30 &= 15n \\ n &= 2 \end{aligned}$$

ดังนั้น สูตรโมเลกุลของแก๊ส X คือ $(CH_3)_2 = C_2H_6$

Summary

ปริมาณสัมพันธ์

มวลอะตอมและมวลโมเลกุล

มวลอะตอม

- เป็นมวลเปรียบเทียบที่บอกให้ทราบว่า มวลของธาตุ 1 อะตอม หนักเป็นกี่เท่าของมวลของธาตุมาตรฐาน 1 อะตอม
- ปัจจุบันใช้ $\frac{1}{12}$ ของ C-12 1 อะตอม มาเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบมวล ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม (g)}}{\frac{1}{12} \text{ มวลของธาตุ C-12 1 อะตอม (g)}}$$

มวลโมเลกุล

เป็นมวลเปรียบเทียบเช่นเดียวกันกับมวลอะตอม โดยเขียนความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

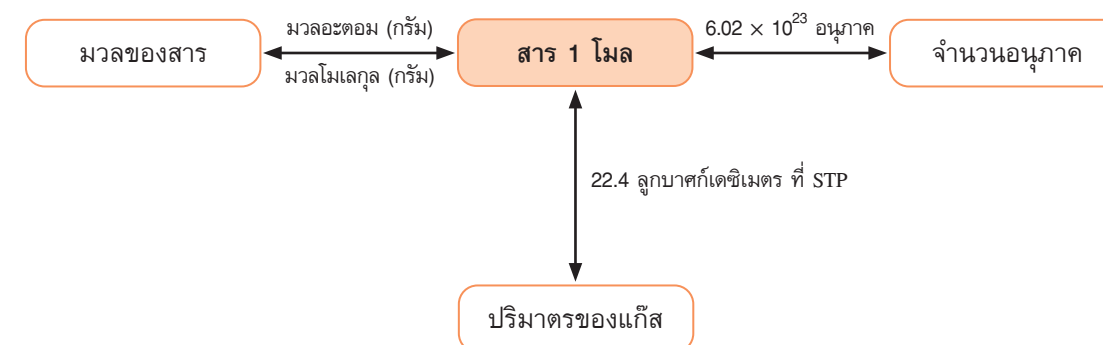
$$\text{มวลโมเลกุลของสาร} = \frac{\text{มวลของสาร 1 โมเลกุล (g)}}{\frac{1}{12} \text{ มวลของธาตุ C-12 1 อะตอม (g)}}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างมวลอะตอมกับมวลอะตอมเฉลี่ย

มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุสามารถหาได้โดยใช้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ} = \Sigma \left(\frac{\text{มวลอะตอมของแต่ละไอโซโทป} \times \% \text{ที่พบในธรรมชาติ}}{100} \right)$$

โมล



การคำนวณเกี่ยวกับสูตรเคมี

การคำนวณมวลเป็นร้อยละจากสูตร

ถ้าต้องการทราบว่า 1 โมลของสารมีธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดอยู่ร้อยละเท่าใด สามารถคำนวณได้โดยใช้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{ร้อยละโดยมวลของธาตุ} = \frac{\text{จำนวนอะตอมในสูตรสารประกอบ} \times \text{มวลอะตอม}}{\text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ}} \times 100$$

การคำนวณหาสูตรเอมพิริคัลและสูตรโมเลกุล

- การหาสูตรเอมพิริคัล ให้พิจารณาว่าสารที่จะหาสูตรเอมพิริคัลมีธาตุใดประกอบอยู่ แล้วหามวลของแต่ละธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสูตร จากนั้นหาอัตราส่วนโดยโมล โดยนำมวลอะตอมของธาตุไปหารมวลของธาตุนั้น สุดท้ายทำเป็นอัตราส่วนอย่างต่ำ
- การหาสูตรโมเลกุล สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุล} &= (\text{มวลของสูตรเอมพิริคัล}) \times n \\ \text{สูตรโมเลกุล} &= (\text{สูตรเอมพิริคัล})_n \end{aligned}$$

Self Check

ให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจ โดยพิจารณาข้อความว่าถูกหรือผิด แล้วบันทึกลงในสมุด หากพิจารณาข้อความไม่ถูกต้อง ให้กลับไปทบทวนเนื้อหาตามหัวข้อที่กำหนดให้

	ถูก/ผิด	บทวนที่หัวข้อ
1. มวลอะตอมเป็นค่าที่บอกว่า มวลของธาตุ 1 อะตอมหนักเป็นกี่เท่าของมวลธาตุมาตรฐาน 1 อะตอม	☐	1.1
2. ธาตุมาตรฐานที่นำมาใช้เปรียบเทียบค่าของมวลอะตอมและมวลโมเลกุลคือ ธาตุไฮโดรเจน	☐	1.1, 1.2
3. สารใด ๆ ก็ตาม จำนวน 1 โมล จะมีจำนวนอนุภาคเท่ากับ 6.02×10^{23} อนุภาค	☒	2.1
4. แก๊สใด ๆ จำนวน 1 โมล จะมีปริมาตร 22.4 ลิตร ที่ STP เสมอ	☐	2.3
5. สูตรเอมพิริคัลคำนวณได้จากอัตราส่วนโดยโมล โดยนำมวลอะตอมไปหารมวลของธาตุ และหากทราบมวลโมเลกุลของสารจะสามารถคำนวณสูตรโมเลกุลได้	☐	3.2



Unit questions 4

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

- ธาตุชนิดหนึ่ง 10 อะตอมหนัก 6.64×10^{-22} กรัม จงหามวลอะตอมของธาตุนั้น
- ธาตุ A 5 อะตอม มีมวล 35 amu เมื่อ A ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนจะได้สารประกอบ A_2O สารประกอบ A_2O 20 โมเลกุล จะมีมวลกี่กรัม (กำหนดให้ มวลอะตอมของธาตุ O = 16)
- จงหามวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุซิลิคอน (Si) จากข้อมูลต่อไปนี้

ไอโซโทป	มวลอะตอมของไอโซโทป	ปริมาณร้อยละในธรรมชาติ
Si-28	27.977	92.21
Si-29	28.976	4.70
Si-30	29.974	3.09

- จงคำนวณหาจำนวนโมลของสารต่อไปนี้
 - น้ำ (H_2O) 4.5 10.8 กรัม
 - แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 224 มิลลิตร ที่ STP
 - อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al^{3+}) จากอะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) 2 โมล
 - โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) ซึ่งมีซัลเฟตไฮดรอกไซด์อยู่ 1.02×10^{22} ไอออน
- สารต่อไปนี้มีอนุภาคเท่าใด
 - แก๊สออกซิเจน (O_2) 56 ลิตร ที่ STP
 - กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 0.5 โมล
 - แอมเฟตามีน ($C_9H_{13}N$) 40.5 กรัม
- น้ำตาลกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) จำนวน 0.25 โมล มีมวลมากกว่าหรือน้อยกว่าหินปูน ($CaCO_3$) จำนวน 0.5 โมล อยู่กี่กรัม
- ถ้าต้องการสารละลายที่มีไอออนของ Cu^{2+} จำนวน 7.525×10^{23} ไอออน จากจุนส์ ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) จะต้องใช้จุนส์กี่กรัม
- โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) จำนวน 7.1 กรัม เมื่อละลายน้ำแล้วจะได้ Na^+ จำนวนกี่ไอออน

9. แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) จำนวน 3.01×10^{22} โมเลกุล มีมวลและปริมาตรเท่าใด ที่ STP
10. X เป็นธาตุที่เกิดเป็นสารประกอบคลอไรด์ มีสูตรเป็น XCl_4 จากการวิเคราะห์พบว่า มี Cl ร้อยละ 75.0 โดยมวล จงหามวลอะตอมของ X
11. ผลึกสารประกอบชนิดหนึ่งมีสูตรเป็น $\text{ASO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ หนัก 0.139 กรัม นำมาเผาให้น้ำระเหยออกไปหมด จะเหลือกาก ASO_4 หนัก 0.076 กรัม จงหามวลอะตอมของ A
12. น้ำ 90 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ STP จะมีจำนวนอะตอมกี่อะตอม (กำหนดให้ ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 g/cm^3)
13. แก๊สปิโตรเลียมเหลวลักษณะเป็นแก๊สไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความไวไฟสูงชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยคาร์บอน C ร้อยละ 85.70 โดยมวล ที่เหลือเป็นไฮโดรเจน ถ้าแก๊สนี้มีความหนาแน่น 1.875 g/cm^3 ที่ STP จงหาสูตรโมเลกุลของแก๊สนี้
14. เกลือเชิงซ้อน $\text{KCl} \cdot \text{MgCl} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ประกอบด้วยผลึกน้ำร้อยละ 38.92 โดยมวล จงคำนวณหาค่า n
15. โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium thiosulphate) เป็นสารที่นำมาต้านพิษของสารไซยาไนด์ได้ สารนี้มีมวลโมเลกุล 158 ประกอบด้วยโซเดียม (Na) ซัลเฟอร์ (S) และออกซิเจน (O)

ธาตุ	ร้อยละโดยมวลของธาตุองค์ประกอบ
Na	29.11
S	40.51
O	30.38

จงหาสูตรโมเลกุลของโซเดียมไธโอซัลเฟต



แนวข้อสอบ A-Level



คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. ธาตุ X 30 อะตอม มีมวล a กรัม และกำหนดให้มวลของ C-12 1 อะตอมหนัก b กรัม มวลอะตอมของ X เท่ากับเท่าใด
 1. $30ab$ 2. $\frac{a}{30b}$ 3. $\frac{30a}{b}$ 4. $\frac{2a}{5b}$ 5. $\frac{5a}{2b}$
2. ธาตุ X มี 2 ไอโซโทป ไอโซโทปที่ 1 มีมวลอะตอม 35 มีปริมาณในธรรมชาติ 75.00 % ที่เหลือเป็นปริมาณของไอโซโทปที่ 2 ถ้ามวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ X เท่ากับ 35.50 มวลอะตอมของไอโซโทปที่ 2 เท่ากับเท่าใด
 1. 36 2. 37 3. 38 4. 39 5. 40
3. อะลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) 94.5 กรัม มีจำนวนอะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) และซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) กี่โมล

	อะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+})	ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-})
1.	0.2	0.3
2.	0.3	0.3
3.	0.6	0.3
4.	0.6	0.9
5.	0.9	0.6

4. พิจารณาข้อความที่เกี่ยวข้องกับน้ำตาลกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)
 ก. น้ำตาลกลูโคส 30.1×10^{23} โมเลกุลหนัก 450 กรัม
 ข. น้ำตาลกลูโคส 0.5 โมลหนัก 90 กรัม
 ค. น้ำตาลกลูโคส 90 กรัม มีไฮโดรเจน $6 \times 6.02 \times 10^{23}$ อะตอม
 ง. สารประกอบนี้มีคาร์บอนร้อยละ 40 โดยมวล
 ข้อใดถูกต้อง
 1. ข้อ ก. และ ข. 2. ข้อ ข. และ ค.
 3. ข้อ ค. และ ง. 4. ข้อ ก. ข. และ ค.
 5. ข้อ ข. ค. และ ง.

