

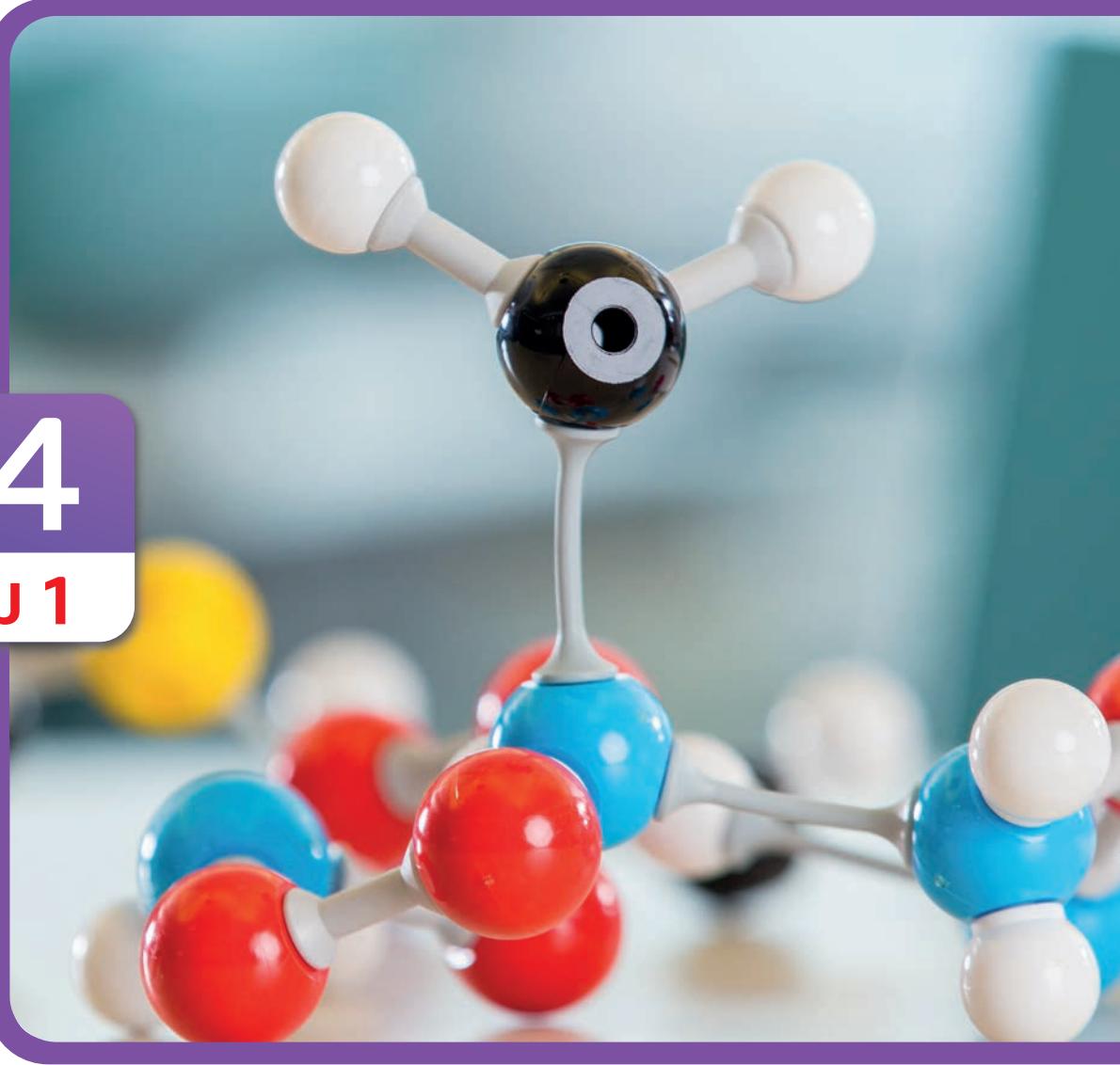
เคมี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1

ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ม.4
เล่ม 1





หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เล่ม 1

เคมี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

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

ผู้เรียนเรียง

นายพงศธร นันทอเนศ
นางพรพรหม ชัยนัตtrapร��ุ
นายสุนทร ภู่วีระชีวะเลิศ
ดร.ศิริศักดิ์ โลลุพิมาน

ผู้ตรวจ

รศ. ดร.นวลจิตต์ เชาวกีรติพงษ์
ผศ.สันติ ศรีประเสริฐ
ดร.บุญทวี เลิศปัญญาพรชัย

บรรณาธิการ

นางสาวจันจิรา รัตนนันทดे�ช

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ
ปีที่พิมพ์ 2563

พิมพ์ครั้งที่ 4

จำนวนพิมพ์ 10,000 เล่ม

ISBN : 978-616-203-769-6

รหัสสินค้า 3418014



www.aksorn.com

จัดพิมพ์และจำหน่ายโดยประกัน
บริษัท อักษรเจริญกัลป์ จำกัด
142 ถนนเตชะบาว เมืองพระนคร กรุงเทพมหานคร 10200
โทรศัพท์. 0 2622 2999 (วันน่ำมื้อ 20 ผู้สื่อ)



คำแนะนำในการใช้สื่อ

**หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติบวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคบี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยดำเนินการจัดทำ
ปีกี่ 4 เล่ม 1** จัดทำขึ้นสำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยดำเนินการจัดทำ
ให้สอดคล้องตามผลการเรียนรู้ในสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ทุกประการ ส่งเสริม
ทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ทั้งทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ
การแก้ปัญหา การคิดสร้างสรรค์ การใช้เทคโนโลยี การสื่อสารและการร่วมมือ เพื่อให้ผู้เรียนรู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลง
ของระบบเศรษฐกิจสังคม วัฒนธรรม และสภาพแวดล้อม สามารถแข่งขันและอยู่ร่วมกับประชาคมโลกได้

คำถ้ามกระตุ้นการเรียนรู้ก่อนเข้าสู่เนื้อหา เพื่อให้เกิดกระบวนการสืบเสาะหาความรู้

H. D. T. S.

คำถ้าหากการคิดขึ้นสูง

คำดำเนินการเพื่อให้ผู้เรียนพัฒนา
ความคิดวิเคราะห์ คิดสร้างสรรค์
คิดอย่างมีวิจารณญาณ



OR Code

นำเสนองานนี้อุปแบบที่รองรับ
การเรียนรู้ผ่านสื่อดิจิตัล



Chemistry Focus

ความรู้เสริมจากเนื้อหา
เพื่อขยายความรับของผู้เรียน



Chemistry in real life

ເຫຼືອມໂຍງຄວາມຮູ້ກາງເຄມີ
ສ່ວນປະຈຳວັນ

การทดลอง

การศึกษาเรื่องของฟลูอิฟ จำกัดประจุบันและเปลี่ยนร่องของธาตุบางชนิด

ขั้นตอนการทดลอง

- นำสารเคมีที่ต้องการมาใช้ในทดลองและเตรียมเครื่องมือ
- ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ระบุไว้

ขั้นตอนและผลลัพธ์

- กรดฟลูอิฟและโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยาและเปลี่ยนร่องของธาตุในกรรมวิธีดังนี้
- ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ระบุไว้และเตรียมเครื่องมือที่ต้องการใช้ตามที่ระบุ

วิธีการทดลอง

- ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กับกรดฟลูอิฟ (HCl) แล้วนำไปใช้กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซเดียมฟลูอิฟ (NaClF) ที่อยู่ในกระถางและต้มให้เดือด
- ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กับกรดฟลูอิฟ (HClF) แล้วนำไปใช้กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซเดียมฟลูอิฟ (NaClF) ที่อยู่ในกระถางและต้มให้เดือด
- ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กับกรดฟลูอิฟ (HClF) แล้วนำไปใช้กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซเดียมฟลูอิฟ (NaClF) ที่อยู่ในกระถางและต้มให้เดือด

ภาพการทดลอง

- แสดงการทดลองของโซเดียมไฮดรอกไซด์ กับกรดฟลูอิฟที่ต้องการใช้ในทดลองและเตรียมเครื่องมือที่ต้องการใช้ในทดลอง
- แสดงการทดลองของโซเดียมฟลูอิฟ กับกรดฟลูอิฟที่ต้องการใช้ในทดลองและเตรียมเครื่องมือที่ต้องการใช้ในทดลอง

คำแนะนำการทดลอง

- เมื่อทดลองเสร็จแล้วต้องล้างห้องปฏิบัติการให้สะอาด ไม่ต้องล้างห้องปฏิบัติการให้สะอาด
- เมื่อทดลองเสร็จแล้วต้องล้างห้องปฏิบัติการให้สะอาด ไม่ต้องล้างห้องปฏิบัติการให้สะอาด

หน้าที่ | 35

การทดลอง

การทดลองให้ผู้เรียนฝึกปฏิบัติเพื่อเสริมสร้างทักษะทางวิทยาศาสตร์

Summary

總括與重點摘要

แบบเขียนและตอบ

ข้อสอบที่ต้องตอบ

การเขียนเรื่องที่ต้องตอบ

หน้าที่ | 89

Summary

สรุปเนื้อหา เพื่อให้ผู้เรียนได้กอบกวนสาระสำคัญประจำหน่วยการเรียนรู้

Self Check

คำถามเพื่อให้ผู้เรียนตรวจสอบความรู้ ความเข้าใจด้วยตนเอง

Self Check

ข้อสอบที่ต้องตอบ	จำนวนที่ต้องตอบ
1. การทดลองของโซเดียมไฮดรอกไซด์ กับกรดฟลูอิฟที่ต้องการใช้ในทดลองและเตรียมเครื่องมือที่ต้องการใช้ในทดลอง	1.2
2. แสดงการทดลองของโซเดียมไฮดรอกไซด์ กับกรดฟลูอิฟที่ต้องการใช้ในทดลองและเตรียมเครื่องมือที่ต้องการใช้ในทดลอง	14, 15
3. ทดลองของโซเดียมฟลูอิฟ กับกรดฟลูอิฟที่ต้องการใช้ในทดลองและเตรียมเครื่องมือที่ต้องการใช้ในทดลอง	2.
4. ลอง ลอง ลองกับกรดฟลูอิฟที่ต้องการใช้ในทดลองและเตรียมเครื่องมือที่ต้องการใช้ในทดลอง	3.
5. ทดลองของโซเดียมไฮดรอกไซด์ กับกรดฟลูอิฟที่ต้องการใช้ในทดลองและเตรียมเครื่องมือที่ต้องการใช้ในทดลอง	4.
6. ลอง ลอง ลองกับกรดฟลูอิฟที่ต้องการใช้ในทดลองและเตรียมเครื่องมือที่ต้องการใช้ในทดลอง	4.
7. ลอง ลอง ลองกับกรดฟลูอิฟที่ต้องการใช้ในทดลองและเตรียมเครื่องมือที่ต้องการใช้ในทดลอง	5.
8. ทดลองของโซเดียมไฮดรอกไซด์ กับกรดฟลูอิฟที่ต้องการใช้ในทดลองและเตรียมเครื่องมือที่ต้องการใช้ในทดลอง	6.
9. ทดลองของโซเดียมฟลูอิฟ กับกรดฟลูอิฟที่ต้องการใช้ในทดลองและเตรียมเครื่องมือที่ต้องการใช้ในทดลอง	6.
10. ลอง ลอง ลองกับกรดฟลูอิฟที่ต้องการใช้ในทดลองและเตรียมเครื่องมือที่ต้องการใช้ในทดลอง	7.

หน้าที่ | 93

Unit Question 2

หน้าที่ | 89

Unit Question

แบบฝึกหัดประจำหน่วยการเรียนรู้ เพื่อใช้ประเมินผลสัมฤทธิ์จากการเรียน

สารบัญ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1

ปฏิบัติการเคมีเบื้องต้น

2-21

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2

อะตอมและตารางธาตุ

22-97

การปฏิบัติแบบในห้องปฏิบัติการเคมี

3

- ข้อปฏิบัติเกี่ยวกับการใช้ห้องปฏิบัติการ 3
- การทำความสะอาดบริเวณที่ปนเปื้อนสารเคมี 4
- ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ 5
- การปฐมพยาบาล 7
- สัญลักษณ์อันตรายจากสารเคมี 8
- การกำจัดของเสียจากห้องปฏิบัติการ 10

เทคโนโลยีการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือทางเคมี 11

11

- เครื่องแก้วและอุปกรณ์พื้นฐาน 11
- เครื่องมือสำหรับการซั่ง 14
- อุปกรณ์ที่ให้ความร้อน 14

การปฏิบัติและเขียนรายงานการทดลอง

15

หน่วยวัดทางเคมี

18

แบบจำลองอะตอม

23

- แบบจำลองอะตอมของดอลตัน 23
- แบบจำลองอะตอมของทอมสัน 24
- แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด 28
- แบบจำลองอะตอมของโบร์ 32
- แบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอก 40

การจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอม

41

- หลักการกีดกันของเพาลี 44
- หลักอาฟบawa 44
- กฎของยกน้ำ 44
- การบรรจุอิเล็กตรอนแบบเต็มและแบบครึ่ง 45

ตารางธาตุ

46

สมบัติของธาตุตามหมู่และตามค่า

52

- ขนาดอะตอม 52
- รัศมีไอโอน 54
- พลังงานไอออกไซเดชัน 55
- อิเล็กโตรเนกติกวิตี้ 57
- สัมพ्रร��ภาพอิเล็กตรอน 58
- จุดเดือดและจุดหลอมเหลว 59
- เลขออกซิเดชัน 61

ธาตุแท่งแซบ

63

- สมบัติของธาตุแท่งแซบ 64
- สารประกอบของธาตุแท่งแซบ 65

ฐานก้ามมันตรังสี

- การเกิดก้ามมันตรังสี 70
- การถ่ายด้วยวิธีที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารก้ามมันตรังสี 72
- คริ่งชีวิตของราตุก้ามมันตรังสี 74
- ปฏิกริยานิวเคลียร์ 75
- การตรวจสอบสารก้ามมันตรังสี และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารก้ามมันตรังสี 78
- ยันตรายะจากราตุก้ามมันตรังสี 81

ฐานและสารประกอบในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

- ราตุคัลเชียม 82
- ราตุอะลูมิเนียม 82
- ราตุซิลิคอน 83
- ราตุไนโตรเจน 83
- ราตุฟอสฟอรัส 84
- ราตุออกซิเจน 84
- ราตุไอโอดีน 85
- ราตุเหล็ก 86
- ราตุทองแดง 86
- ราตุสังกะสี 87
- ราตุโคโรเมียม 87
- ราตุเรเดียม 88

70**พัฒนาคุณภาพ****99**

- การเกิดพัฒนาคุณภาพเลนต์ 99
- ชนิดของพัฒนาคุณภาพเลนต์ 101
- การเขียนสูตรเคมีแสดงพัฒนาคุณภาพเลนต์ 101
- ราตุกับการเกิดพัฒนาคุณภาพเลนต์ 103
- การเขียนสูตรของสารประกอบคุณภาพเลนต์ 104
- การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารประกอบคุณภาพเลนต์ 113
- พลังงานพัฒนาและความยาวพัฒนา 114
- รูปร่างของโมเลกุลคุณภาพเลนต์ 121
- มุมะหวงพัฒนาในโมเลกุลคุณภาพเลนต์ 128
- สภาพขั้วของโมเลกุล 131
- แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล 137
- สารคุณภาพเลนต์โครงผลึกร่วงตาข่าย 143

พัฒนาไอօอนิก**145**

- การเกิดพัฒนาไอօอนิก 145
- โครงสร้างของสารประกอบไอօอนิก 146
- การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารประกอบไอօอนิก 148
- พลังงานกับการเกิดสารประกอบไอօอนิก 151
- สมบัติของสารประกอบไอօอนิก 154
- ปฏิกริยาของสารประกอบไอօอนิก 159

พัฒนาโลหะ**162**

- สมบัติของโลหะ 162

บรรณานุกรม**170**



คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

เคมี เล่ม 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
เวลา 60 ชั่วโมง

ศึกษาข้อปฏิบัติเบื้องต้นในการทำปฏิบัติการเคมี การเลือกใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำปฏิบัติการ การระบุหน่วยวัดปริมาณต่าง ๆ ของสาร การเปลี่ยนหน่วยในระบบเอสไอด้วยการใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย ศึกษาแบบจำลองอะตอม สัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ อนุภาคมูลฐานของอะตอม การจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอม การจัดเรียงธาตุในตารางธาตุ แนวโน้มสมบัติบางประการของธาตุในตารางธาตุตามหมู่และตามค่า สมบัติของธาตุโลหะแทrenชิชัน การเปรียบเทียบสมบัติกับธาตุโลหะในกลุ่มธาตุทรีเซนเทฟิ ศึกษาและอธิบายสมบัติและจำนวนครึ่งชีวิตของไอโซโทปกัมมันตรังสี ยกตัวอย่างการนำธาตุมาใช้ประโยชน์ รวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ศึกษาการเกิดพันธะไอออนิก สูตรและการเรียกชื่อสารประกอบไอออนิก การเปลี่ยนแปลงพลังงานในการเกิดสารประกอบไอออนิกสมบัติของสารประกอบไอออนิก ปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก ศึกษาการเกิดพันธะและชนิดของพันธะโคเวเลนต์ การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารโคเวเลนต์ ความยาวพันธะและพลังงานพันธะในสารโคเวเลนต์ พลังงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของสารโคเวเลนต์ รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ สภาพข้าของโมเลกุลโคเวเลนต์ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์ สมบัติของสารโคเวเลนต์โครงร่างตาข่าย ศึกษาการเกิดโลหะและสมบัติของโลหะ

โดยใช้การเรียนรู้ด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสำรวจตรวจสอบ สามารถนำความรู้และหลักการไปใช้ประโยชน์ เช่น อย่าง อธิบายปรากฏการณ์ หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน สามารถจัดกระทำและวิเคราะห์ข้อมูล สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ มีความสามารถในการตัดสินใจแก้ปัญหา มีจิตวิทยาศาสตร์เห็นคุณค่าของวิทยาศาสตร์ มีจริยธรรม คุณธรรมและค่านิยมที่เหมาะสม



ผลการเรียนรู้

- บอกระอธิบายข้อปฏิบัติเบื้องต้น และปฏิบัติคนที่แสดงถึงความตระหนักในการทำปฏิบัติการเคมีเพื่อให้มีความปลอดภัยทั้งต่อตนเอง ผู้อื่น และสิ่งแวดล้อม และเสนอแนวทางแก้ไขเมื่อเกิดอุบัติเหตุได้
- เลือกและใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือในการทำปฏิบัติการ และวัดปริมาณต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม
- นำเสนอแผนการทดลอง ทดลอง และเขียนรายงานการทดลองได้
- ระบุหน่วยวัดปริมาณต่าง ๆ ของสาร และเปลี่ยนหน่วยวัดให้เป็นหน่วยในระบบเอสไอด้วยการใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยได้
- สืบค้นข้อมูลสมมติฐาน ทดลอง หรือผลการทดลองที่เป็นประจักษ์พยานในการเสนอแบบจำลองอะตอม ของนักวิทยาศาสตร์ และอธิบายวิวัฒนาการของแบบจำลองอะตอมได้
- เขียนสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ และระบุจำนวนโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอนของอะตอมจากสัญลักษณ์นิวเคลียร์ รวมทั้งบอกความหมายของไอโซโทปได้

7. อธิบายและเขียนการจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานหลักและระดับพลังงานย่อย เมื่อทราบเลขอะตอมของธาตุได้
8. ระบุหมู่ คاب ความเป็นโลหะ อโลหะ และกํ่าโลหะ ของธาตุเรพีเซนเททีฟ และธาตุแทรนซิชันในตารางธาตุได้
9. วิเคราะห์และบอกแนวโน้มสมบัติของธาตุเรพีเซนเททีฟตามหมู่และตามคาดป้าได้
10. บอกสมบัติของธาตุโลหะแทรนซิชัน และเบรี่ยบเทียบสมบัติกับธาตุโลหะในกลุ่มธาตุเรพีเซนเททีฟได้
11. อธิบายสมบัติและคำนวนครึ่งชีวิตของไอโซโทปกัมมันต์รังสีได้
12. สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างการนำธาตุมาใช้ประโยชน์ รวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมໄได้
13. อธิบายการเกิดไอออนและการเกิดพันธะไอออนิก โดยใช้แผนภาพ หรือสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสได้
14. เขียนสูตรและเรียกชื่อสารประกอบไออกอนิกได้
15. คำนวนพลังงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบไออกอนิกจากวัสดุกรอบรัตน์-ชาเบอร์ได้
16. อธิบายสมบัติของสารประกอบไออกอนิกได้
17. เขียนสมการไออกอนิก และสมการไออกอนิกสุทธิของปฏิกิริยาของสารประกอบไออกอนิกได้
18. อธิบายการเกิดพันธะโคเวเลนต์แบบพันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสามด้วยโครงสร้างลิวอิสได้
19. เขียนสูตรและเรียกชื่อสารโคเวเลนต์ได้
20. วิเคราะห์และเบรี่ยบเทียบความยาวพันธะ และพลังงานพันธะในสารโคเวเลนต์ รวมทั้งคำนวนพลังงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของสารโคเวเลนต์จากพลังงานพันธะได้
21. คาดคะเนรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์โดยใช้ทฤษฎีการผลักระหว่างคู่อิเล็กตรอนในวงเวเลนซ์ และระบุสภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ได้
22. ระบุชนิดของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์ และเบรี่ยบเทียบจุดหลอมเหลว จุดเดือด และการละลายน้ำของสารโคเวเลนต์ได้
23. สืบค้นข้อมูลและอธิบายสมบัติของสารโคเวเลนต์โครงร่างตาข่ายชนิดต่าง ๆ ได้
24. อธิบายการเกิดพันธะโลหะและสมบัติของโลหะได้
25. เปรียบเทียบสมบัติบางประการของสารประกอบไออกอนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของสารประกอบไออกอนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะได้อย่างเหมาะสม

หน่วยการเรียนรู้ก

1

ปฏิบัติการ เคมีเบื้องต้น

ผลการเรียนรู้

- บอกและอธิบายข้อปฏิบัติเบื้องต้น และปฏิบัติตนที่แสดงถึงความตระหนักในการทำปฏิบัติการเคมี เพื่อให้มีความปลอดภัยทั้งต่อตนเอง ผู้อื่น และสิ่งแวดล้อม และเสนอแนวทางแก้ไขเมื่อเกิดอุบัติเหตุได้
- เลือกและใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือในการทำปฏิบัติการ และวัดปริมาณต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม
- นำเสนอแผนการทำทดลอง ทดลอง และเขียนรายงานการทดลองได้
- ระบุหน่วยวัดปริมาณต่าง ๆ ของสาร และเปลี่ยนหน่วยวัดให้เป็นหน่วยในระบบเอสโอลด้วยการใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยได้

การทดลองในปฏิบัติการทางเคมีจะเกี่ยวข้องกับสารเคมีหลายชนิด ซึ่งสารบางชนิดอาจทำให้เกิดอันตรายแก่ร่างกาย หรืออาจเกิดอุบัติเหตุในขณะทำการทดลอง และทำให้เกิดการบาดเจ็บขึ้นได้เสมอ เช่น ผิวน้ำทึบสารเคมี บาดแผลที่เกิดจากเครื่องแก้วบاد เป็นต้น ดังนั้น นักเรียนจึงจำเป็นต้องทราบถึงการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ วิธีการแก้ไขผลที่เกิดขึ้น และการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์อย่างถูกวิธี

เมื่อนักเรียน
อยู่ในห้องปฏิบัติการเคมี
ลิงที่ต้องคำนึงถึงเป็น
ลำดับแรก
คือลิงได
?



Prior Knowledge

นักเรียนจะป้องกันการเกิดอุบัติเหตุในห้องปฏิบัติการเคมีได้อย่างไร



1. การปฏิบัติในห้องปฏิบัติการเคมี

การศึกษาวิชาเคมี จะประกอบด้วยการศึกษาเนื้อหาภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติควบคู่กัน เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ ในเนื้อหามากยิ่งขึ้น โดยการทำปฏิบัติการจะช่วยสนับสนุน การเรียนรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์หลาย ๆ ด้าน ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์มากมายแก่ผู้เรียน

การทำปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการเคมีอาจมีสภาวะที่เสี่ยงต่ออันตราย ผู้ทำปฏิบัติการจึงควร ตระหนักรถีความปลอดภัยต่อตนเองและทรัพย์สินในห้องปฏิบัติการ โดยในห้องปฏิบัติการควรมี อุปกรณ์ด้านความปลอดภัยอย่างเพียงพอแก่การใช้งาน มีข้อแนะนำแก่ผู้ทำปฏิบัติการด้วยความ ระมัดระวัง และมีความพร้อมที่จะแก้ไขอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งข้อเสนอแนะและข้อควรปฏิบัติ ในการใช้ห้องปฏิบัติการเคมี มีดังนี้

1.1 ข้อปฏิบัติเกี่ยวกับการใช้ห้องปฏิบัติการ

ข้อปฏิบัติในการใช้ห้องปฏิบัติการถูกกำหนดขึ้นเพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจก่อให้เกิด อันตรายหรืออุบัติเหตุขึ้นในห้องปฏิบัติการ ซึ่งข้อปฏิบัติสำหรับผู้ใช้ห้องปฏิบัติการ มีดังนี้

1. ระมัดระวังในการทำปฏิบัติการ และทำปฏิบัติการอย่างตั้งใจ ไม่เล่นหยอดกล้องกัน
2. เรียนรู้ตำแหน่งที่เก็บ และศึกษาการใช้งานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับความปลอดภัย เช่น เครื่องดับเพลิง น้ำพุสำหรับล้างตา ตู้เก็บยาปฐมพยาบาล โทรศัพท์ สัญญาณเตือนภัย เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องเรียนรู้วิธีการใช้อุปกรณ์อย่างถูกต้องด้วย



ถังดับเพลิง

ล้างตาฉุกเฉิน

ชำระล้างฉุกเฉิน

ปฐมพยาบาล

กระดิ่งเตือนภัย

▲ ภาพที่ 1.1 ตัวอย่างสัญลักษณ์แสดงตำแหน่งที่เก็บ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับความปลอดภัย

3. อ่านคู่มือปฏิบัติการให้เข้าใจก่อนลงมือปฏิบัติ และหากยังไม่เข้าใจขั้นตอนใด หรือการ ใช้งานอุปกรณ์การทดลองใด ควรปรึกษาครูให้เข้าใจก่อนลงมือปฏิบัติการ

4. ปฏิบัติตามคู่มืออย่างเคร่งครัด ในการที่ต้องทำปฏิบัติการนอกเหนือจากที่กำหนดจะต้อง ได้รับอนุญาตจากครุก่อนทุกครั้ง

5. ไม่ควรทำปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการเพียงคนเดียว เพราะหากมีอุบัติเหตุเกิดขึ้นจะไม่มี ผู้ให้ความช่วยเหลือ

6. ไม่รับประทานอาหารหรือเครื่องดื่มในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งไม่ใช้เครื่องแก้วหรืออุปกรณ์ ทำปฏิบัติการเป็นภาษาขณะใส่อาหารและเครื่องดื่ม

7. ดูแลรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบจนต้องการทำปฏิบัติการตลอดเวลา สิ่งของเครื่องใช้ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทำปฏิบัติการให้เก็บไว้บริเวณอื่นที่ไม่ใช่โต๊ะการทำปฏิบัติการ

8. อ่านคู่มือการใช้อุปกรณ์ทดลองให้ละเอียดก่อนใช้งาน ถ้าเป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าจะต้องระวังอย่าให้มือเปียกขณะใช้งาน และการถอดหรือเสียบเต้าเสียบต้องจับที่เต้าเสียบท่านั้น

9. หากทำการทดลองที่ต้องใช้ความร้อนจากตะเกียงและแก๊ส จะต้องทำด้วยความระมัดระวังเป็นพิเศษ ไม่รินของเหลวที่ติดไฟง่ายใกล้เปลวไฟ ขณะเผาสารในหลอดทดลองต้องหันปากหลอดไปในบริเวณที่ไม่มีผู้อื่น และดับตะเกียงหรือปิดแก๊สทันทีที่เลิกใช้งาน

10. สารเคมีทุกชนิดในห้องปฏิบัติการเป็นอันตราย จึงไม่ควรสัมผัส ชิม หรือสูดدمสารเคมีใด ๆ นอกจากจะได้รับคำแนะนำที่ถูกต้องแล้ว และไม่นำสารเคมีใด ๆ ออกจากห้องปฏิบัติการ

11. ตรวจสอบสลากที่ปิดสารเคมีทุกครั้งก่อนนำมาใช้ รินหรือตักสารออกมากในปริมาณที่พอใช้เท่านั้น ไม่เทสารเคมีที่เหลือกลับขวดเดิม และเมื่อเทน้ำลงในกรด

12. เมื่อทำการทดลองเสร็จ ต้องทำความสะอาดเครื่องมือและเก็บเข้าที่เดิมทุกครั้ง ทำความสะอาดโดยการทำปฏิบัติการและสอดเก้าอี้เข้าใต้โต๊ะ ล้างมือด้วยสบู่และน้ำก่อนออกจากห้องปฏิบัติการ

1.2 การทำความสะอาดบริเวณที่ปนเปื้อนสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการการทำปฏิบัติการจะมีสมบัติและอันตรายแตกต่างกัน ผู้ทำปฏิบัติการจึงควรมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการทำความสะอาดบริเวณที่อาจมีการปนเปื้อนของสารเคมี เพื่อป้องกันอันตรายจากสารเคมีนั้น ซึ่งข้อแนะนำในการทำความสะอาดบริเวณที่ปนเปื้อนสารเคมี มีดังนี้

1. **สารที่เป็นของแข็ง** ควรใช้แปรงภาชนะรวมกัน ตักสารใส่กระดาษแข็ง แล้วนำไปทำลาย

2. **สารละลายกรด** ควรใช้น้ำล้างบริเวณที่มีสารละลายหากเพื่อทำให้กรดเจือจาง และใช้สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเจือจางล้างเพื่อทำลายสภาพกรด แล้วล้างด้วยน้ำอีกครั้ง

3. **สารละลายเบส** ควรใช้น้ำล้างบริเวณที่มีสารละลายหากและซับน้ำให้แห้ง เนื่องจากสารละลายเบสที่หกบนพื้นจะทำให้พื้นบริเวณนั้นลื่น จึงควรทำความสะอาดลักษณะดังกล่าวหลาย ๆ ครั้ง และถ้ายังไม่หายลื่นอาจต้องใช้ทรายโรย แล้วเก็บภาชนะทรายออก

4. **สารที่เป็นน้ำมัน** ควรใช้ผงซักฟอกล้างสารที่เป็นน้ำมันและไขมันหมุดคราบน้ำมัน และพื้นบริเวณน้ำมันหายลื่น หรือทำความสะอาดโดยใช้ทรายโรยเพื่อซับน้ำมันให้หมดไป

5. **สารที่ระเหยง่าย** ควรใช้ผ้าเช็ดบริเวณที่สารหยดหล่าย ๆ ครั้งจนแห้ง และในขณะเช็ดถูต้องมีการป้องกันไม่ให้สารนั้นสัมผัสผิวหนัง หรือสูดไอของสารเข้าร่างกาย

6. **สารprotox** กวาดสารprotoxรวมกัน แล้วใช้เครื่องดูดเก็บรวมไว้ ในกรณีที่บริเวณที่สารprotoxมีรอยแตกหรือรอยร้าวจะทำให้มีสารprotoxแทรกเข้าไปอยู่ข้างใน จึงต้องปิดรอยแตกหรือรอยร้าวที่ด้วยการทาซีปั๊บรองดังกล่าวเพื่อป้องกันการระเหยของprotox หรืออาจใช้ผงกำมะถันโรยบนprotoxเพื่อให้เกิดสารประกอบชัลไฟด์ แล้วเก็บภาชนะอีกครั้งหนึ่ง



1.3 ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ

ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จะมีสิ่งอำนวยความสะดวกในการทำปฏิบัติการ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายและอุบัติเหตุต่อบุคคล และห้องปฏิบัติการอาจได้รับความเสียหายได้ เพื่อให้การทำปฏิบัติการมีประสิทธิภาพและความปลอดภัยสูง จึงมีแนวทางเกี่ยวกับความปลอดภัยด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. ความปลอดภัยในการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า มีข้อควรระวัง ดังนี้

- 1) ควรใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยความระมัดระวัง เช็คเมื่อและเท้าให้แห้งทุกครั้งที่ต้องสัมผัสกับอุปกรณ์ไฟฟ้า
- 2) ถ้าต้องใช้สายไฟต่อจากเตารับเดียวกันหลายสาย หรือจำเป็นต้องใช้ต่อพ่วงกันควรเลือกเตารับชนิดที่มีสวิตซ์เปิด-ปิด และไม่ต่อพ่วงเกิน 2 สาย
- 3) หลังเลิกใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า ให้ถอดเต้าเสียบออกจากเตารับทุกครั้ง
- 4) อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดควรมีสัญญาณไฟที่แสดงว่าเครื่องกำลังทำงานอยู่ และถ้าเกิดความผิดปกติในระหว่างการใช้งาน ต้องหยุดการทำงานของอุปกรณ์นั้นทันที
- 5) เตาไฟฟ้าต้องมีช่องดูดของเตาไฟฟ้าอยู่ในเบ้าและไม่ชำรุดเสียหาย
- 6) ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้า สายไฟ สวิตซ์ และเครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ชำรุดทันที

2. ความปลอดภัยในการใช้แก๊สและสารไวไฟ มีข้อควรระวัง ดังนี้

- 1) ไม่นำถังแก๊สที่บุบ เป็นสนิม หรือร้าวซึมมาใช้ในห้องปฏิบัติการ
- 2) สถานที่วางถังแก๊สต้องเป็นบริเวณที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก และต้องมีการตรวจสอบการรั่วของแก๊สอย่างสม่ำเสมอ
- 3) จัดทำสัญลักษณ์เตือนอันตรายของสารไวไฟ และข้อปฏิบัติติดไว้ในสถานที่วางถังแก๊ส
- 4) ก่อนเปิด瓦ล์วตรวจสอบสภาพของสายแก๊สและหัวแก๊ส เมื่อเลิกใช้งานต้องปิดวาล์ว ก่อนปิดเครื่องควบคุมความดันของแก๊สที่ใช้ทุกครั้ง
- 5) ตรวจสอบว่าแก๊สที่นำมาใช้เป็นประเภทเดียวกับที่ระบุไว้ที่ถังแก๊ส และต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมความดันแก๊สตามมาตรฐานของแก๊สชนิดนั้น
- 6) ต้องทำการปฏิบัติการที่ต้องใช้เพลาไฟด้วยความระมัดระวัง และหลีกเลี่ยงสิ่งที่ก่อให้เกิดความร้อน หรือเชื้อเพลิงซึ่งอาจทำให้เกิดไฟลุกไหม้ขึ้น
- 7) กรณีเกิดไฟใหม่ต้องรีบปิดตะเกียงแลกออยอล์ หรือท่อแก๊สทุกท่อทันที ปิดถังแก๊ส และนำสารไวไฟทุกชนิดออกจากบริเวณนั้นให้เร็วที่สุด
- 8) ต้องมีเครื่องดับเพลิงอยู่บริเวณที่ใช้งาน และมีทางออกฉุกเฉินที่เปิดได้ตลอดเวลา
- 9) เมื่อมีสารติดไฟต้องแก๊กไขสถานการณ์อย่างเหมาะสม ถ้าลูกไฟมีลักษณะน้อยให้ใช้ผ้าเปียกคลุมสิ่งนั้นไว้ ถ้าเสือผ้าลูกติดไฟให้นอนลงกลิ้งตัวกับพื้น หรือใช้ผ้าหนาห่มคลุมทับ และรีบนำผู้บาดเจ็บส่งโรงพยาบาลทันที

3. ความปลอดภัยจากการรังสีและไอกสารพิช มีข้อควรระวัง ดังนี้

- 1) การทดลองที่มีคัวณพิชเกิดขึ้น จะต้องใช้ผ้ากรองคัวณพิชปิดจมูกและปาก และควรทำการทดลองในตู้ดูดควันที่อยู่ในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก
- 2) การทดลองที่ใช้หลอดเลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสง ไม่ควรมองที่ลำแสงโดยตรง และควรมีข้อความเตือนอันตรายติดไว้ที่หลอดเลเซอร์ พร้อมซึ่งวิธีใช้ที่ถูกต้องก่อนการใช้งาน
- 3) การใช้สารกัมมันตรังสีในการทำปฏิบัติการ ควรเก็บไว้ในบริมานที่จำเป็นต้องใช้เท่านั้น และต้องขออนุญาตจากหน่วยงานราชการที่ควบคุมการใช้สารกัมมันตรังสีด้วย พร้อมทั้งปฏิบัติตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด ต้องเก็บสารกัมมันตรังสีไว้ในกล่องตะกั่วที่มีความหนาโดยรอบไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร และการหยิบสารกัมมันตรังสีต้องใช้อุปกรณ์ที่ออกแบบโดยเฉพาะ
- 4) ขณะทดลองเกี่ยวกับสารกัมมันตรังสี ผู้ทดลองต้องอยู่ไกลจากแหล่งกำเนิดกัมมันตรังสีให้มากที่สุด และต้องใช้เวลาในการทดลองให้น้อยที่สุด ผู้ทำการทดลองและผู้ที่เกี่ยวข้องต้องมีเครื่องวัดกัมมันตรังสีติดตัวไว้ตรวจสอบปริมาณรังสีที่ได้รับตลอดเวลา เพื่อป้องกันการรับรังสีเกินมาตรฐานความปลอดภัย

4. ความปลอดภัยจากไฟไหม้

เมื่อเกิดไฟไหม้ในห้องปฏิบัติการ ผู้ทำปฏิบัติการและผู้ที่เกี่ยวข้องต้องออกจากห้องปฏิบัติการทันที และดึงสัญญาณแจ้งเตือนเหตุไฟไหม้ พร้อมเรียกให้คนช่วยเหลือ และต้องมีสารเคมีที่ใช้ในการดับไฟอยู่ประจำห้องปฏิบัติการ ผู้ใช้ห้องปฏิบัติการทุกคนต้องมีความรู้เกี่ยวกับวิธีการใช้กลไกการทำงานของการดับไฟเพื่อให้สามารถใช้ได้อย่างถูกต้องและเกิดประสิทธิภาพ ซึ่งสารที่นำมาใช้ดับไฟได้ มีดังนี้

- 1) น้ำ ช่วยทำให้เชื้อเพลิงที่กำลังลุกไฟมัดดูดน้ำมีลงได้ และไม่มีการลูกไฟมีเพิ่มขึ้นใหม่ โดยน้ำใช้ดับไฟที่เกิดจากเชื้อเพลิงประเภทของแข็งได้ดี แต่ไม่ควรใช้ดับไฟที่เกิดจากสารประเภทของเหลวที่ไวไฟ เนื่องจากจะทำให้火ของเหลวระเจิด ออกเป็นบริเวณกว้าง และของเหลวส่วนที่อยู่บนผิวน้ำยังคงลุกไฟไหม้และทำให้ไฟลุกกระหายน้ำได้

- 2) โฟมของคาร์บอนไดออกไซด์ มีลักษณะเป็นพองที่มีสมบัติกันอากาศไม่ให้เข้าถึงบริเวณที่เกิดไฟไหม้ และป้องกันไม่ให้เชื้อเพลิงระเหยเพิ่มเติม จึงทำให้เปลวไฟลดลงและดับในที่สุด

Chemistry in real life

สารที่ใช้ดับเพลิงต่าง ๆ จะถูกบรรจุอยู่ในถังดับเพลิง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ดับเพลิงแบบเคลื่อนที่ที่ถูกออกแบบไว้สำหรับการดับเพลิงใหม่ที่ยังไม่ลุกalam ถังดับเพลิงมักมีสีแดงเพื่อให้สังเกตุเห็นได้ง่าย และติดตั้งไว้เป็นระยะห่าง ๆ กันภายในอาคาร เพื่อให้ผู้ใช้สามารถดับเพลิงใหม่ภายใต้ความเสี่ยงในอาคารได้รวดเร็วที่สุด



3) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเข้าไปผสมอยู่กับอากาศในบริเวณไฟไหม้เป็นปริมาณมาก ๆ จะทำให้ปริมาณของแก๊สออกซิเจนในอากาศบริเวณนั้นเสื่อมเสีย จึงทำให้เปลวไฟลดลง และดับในที่สุด

4) ไอของสารอินทรีย์บางชนิด สารอินทรีย์บางชนิดที่เป็นของเหลวที่ระเหยเป็นไอได้ง่ายและหนักกว่าอากาศ เมื่อไอของสารนี้ลอยอยู่เหนือบริเวณไฟไหม้ จะเข้าไปแทนที่อากาศบริเวณนั้น จึงทำให้ไฟไม่ลุกลามต่อไป เช่น คาร์บอนเตตራคลอไรด์ จะใช้ดับไฟกรณีที่ไฟไหม้บริเวณนอกอาคาร และต้องไม่ใช้ดับไฟที่เกิดจากการลูกไฟไหม้ของโลหะโซเดียมหรือโพแทสเซียม เพราะอาจเกิดการระเบิดขึ้นได้

1.4 การปฐมพยาบาล

หากมีอุบัติเหตุเกิดขึ้นระหว่างการทำปฏิบัติการ จะต้องแก้ไขสถานการณ์และปฐมพยาบาลเบื้องต้นได้ทันที จึงต้องมีความรู้ความเข้าใจในการปฐมพยาบาลเบื้องต้น ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 : การปฐมพยาบาลเบื้องต้นหากเกิดอุบัติเหตุในห้องปฏิบัติการ

อุบัติเหตุ	การปฐมพยาบาล
สารเคมีถูกผิวน้ำ	ล้างบริเวณนั้นด้วยน้ำสะอาดปริมาณมาก ๆ ในทันที เพื่อป้องกันสารซึมเข้าผิวน้ำหรือทำลายเซลล์ผิว และหากมีสารถูกผิวน้ำในปริมาณมากต้องรีบนำสูงแพทย์ พร้อมกับแจ้งชนิดของสารให้แพทย์ทราบ เพื่อจะได้แก้ไขอย่างถูกต้องทันที
สารเข้าตา	ล้างด้วยน้ำสะอาดปริมาณมากในทันที เป็นเวลานานไม่น้อยกว่า 15 นาที เพื่อให้สารเจือจางหรือหมดไป และรีบนำสูงแพทย์ทันที
สูดไอหรือแก๊ส	ต้องรีบออกจากบริเวณนี้ไปอยู่ในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก พยายามสูดอากาศบริสุทธิ์ให้เต็มที่ กรณีที่ได้รับสารเข้าร่างกายในปริมาณมากและหมดสติ ต้องใช้วิธีการพยายามปอดหรือใช้เครื่องช่วยหายใจ และนำสูงแพทย์ทันที
การกลืนกินสารเคมี	ต้องรีบนำสูงแพทย์ทันที พร้อมทั้งนำตัวอย่างสารหรือสากไปด้วย เพื่อแจ้งให้แพทย์ได้ช่วยเหลือ และให้การรักษาได้ถูกต้องทันที
ถูกกระแสนไฟฟ้าดูด	รีบตัดกระแสไฟฟ้าทันที โดยการถอดเต้าเสียบหรือยกสายไฟ หรือใช้ช้อนวนผลักษหรือดูดให้ผู้ที่ได้รับอันตรายออกจากแหล่งกระแสไฟฟ้า หรือเขี่ยสายไฟให้หลุดออกจากตัวผู้บาดเจ็บ ห้ามใช้มือเปล่าแตะตัวผู้ที่กำลังได้รับอันตรายจากกระแสไฟฟ้า เมื่อนำผู้ถูกกระแสนไฟฟ้าดูดออกจากแหล่งกระแสไฟฟ้าได้แล้ว ต้องทำการปฐมพยาบาลเบื้องต้นโดยการพยายามปอดหรือเป่าปากให้ปอดทำงาน นวดหัวใจแล้วรีบนำสูงแพทย์ทันที

1.5 สัญลักษณ์อันตรายจากสารเคมี

สัญลักษณ์แสดงอันตรายจะแบ่งออกตามประเภทของอันตราย โดยใช้รูปภาพสีดำเป็นสัญลักษณ์แสดงอันตรายบนพื้นสีเหลี่ยมจัตุรัส ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 : สัญลักษณ์แสดงประเภทสำคัญดับเบิลยูuhnane บรรจุสารเคมี

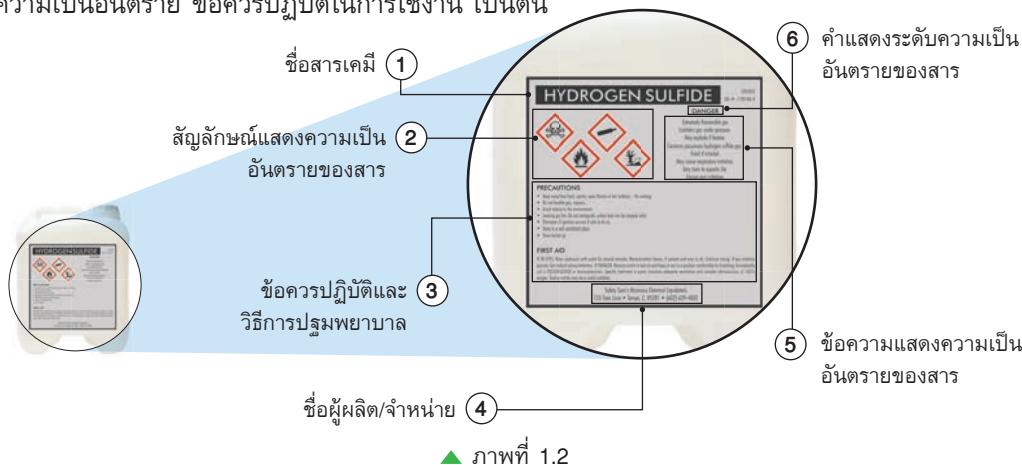
สัญลักษณ์ / ประเภทอันตราย	ความเป็นอันตราย	ข้อระวัง
 ระเบิดได้	สารเคมีที่เกิดปฏิกิริยาแล้วให้ความร้อนและแก๊สอย่างรวดเร็ว หรือเนื้อได้รับความร้อนในสภาวะจำถัดจะเกิดการระเบิดหรือเผาไหม้อย่างรุนแรง	หลีกเลี่ยงการกระแทก การเสียดสีที่ทำให้เกิดความร้อน หรือประกายไฟ และแยกให้อิ่มตัวจากแหล่งเพลิง
 ไวไฟสูงมาก	ของเหลวที่มีจุดติดไฟต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส และจุดเดือดไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส หรือเก็บผสมที่ไวไฟในอากาศที่อุ่นหุ่มและความดันผิดปกติ	เก็บให้ห่างจากเปลวไฟประกายไฟ และความร้อน
 ไวไฟมาก	สารเบอร์ออกไซด์อินทรีย์ 1. ของแข็งที่ลุกใหม่ได้ง่ายและสามารถเผาไหม้ต่อไปได้เอง 2. ของเหลวที่จุดติดไฟต่ำกว่า 21 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ใช่สารไวไฟสูงมาก 3. สารที่ทำปฏิกิริยากับความชื้นแล้วให้สารไวไฟ	เก็บให้ห่างจากเปลวไฟ ประกายไฟ และความร้อน
 สารออกซิไดซ์ (ช่วยให้ไฟติด)	สารเคมีที่ไม่ลุกใหม่เมื่อ แต่สามารถให้ออกซิเจนได้ เมื่อสัมผัสรับสารซึ่งลุกใหม่แล้วเร่งการไหม้ได้	หลีกเลี่ยงการสัมผัสรับสารเคมีไวไฟ ระวังอันตรายจากการจุดติดไฟ เมื่อเกิดไฟไหม้ สารนี้จะร่างให้ไฟไหม้มากขึ้น และทำให้การดับไฟทำได้ยากขึ้น
 เป็นพิษมาก / เป็นพิษ	การสูดดม กลืนกิน หรือซึมผ่านผิวหนังจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ และถ้ารับสารเข้าไปในบริเวณมาก หรือสะสมต่อเนื่องเป็นเวลานาน จะมีอาการรุนแรง ก่อให้เกิดมะเร็ง ทำอันตรายต่อการกินครรภ์ และเกิดการกลายพันธุ์	หลีกเลี่ยงการสัมผัสรับร่างกายทุกรูปแบบ ระวังด้วยเป็นพิเศษสำหรับสารก่อมะเร็ง สารก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ และสารที่มีพิษต่อระบบสืบพันธุ์
 เป็นอันตราย	การสูดดม การกลืนกิน หรือซึมผ่านผิวหนังอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพแบบเดียบพลันหรือเรื้อรัง อาจก่อให้เกิดมะเร็ง มีพิษต่อระบบสืบพันธุ์	หลีกเลี่ยงการสัมผัสรับร่างกายทุกรูปแบบ ระวังด้วยเป็นพิเศษสำหรับสารก่อมะเร็ง สารก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ และสารที่มีพิษต่อระบบสืบพันธุ์
 กัดกร่อน	ทำลายเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต และกัดกร่อนอุปกรณ์การทดลองได้	ป้องกันตา ผิวหนัง และเสื้อผ้าเป็นพิเศษ อย่าสูดดมโดยของสารกลุ่มนี้ ในกรณีที่มีอุบัติเหตุให้รีบอาเจียนหรืออาเจียนทันที
 ระคายเคือง	ถ้าผิวหนังหรือเยื่อเมือกสมมผัสสารนี้ อาจก่อให้เกิดอาการบวม และอาการแพ้ได้	หลีกเลี่ยงการสัมผัสรับดวงตา ผิวหนัง และการสูดดมโดยของสาร
 ก้มมันตั้งสี	หากได้รับปริมาณมากและเดียวพลันจะเสียชีวิตภายใน 24 ชั่วโมง หากได้รับต่อเนื่องเป็นเวลานานจะก่อให้เกิดโรคมะเร็ง และอาจเกิดการกลายพันธุ์	หลีกเลี่ยงการสัมผัสด้วยไม่จำเป็น และอย่าเก็บใกล้บริเวณที่ทำงาน



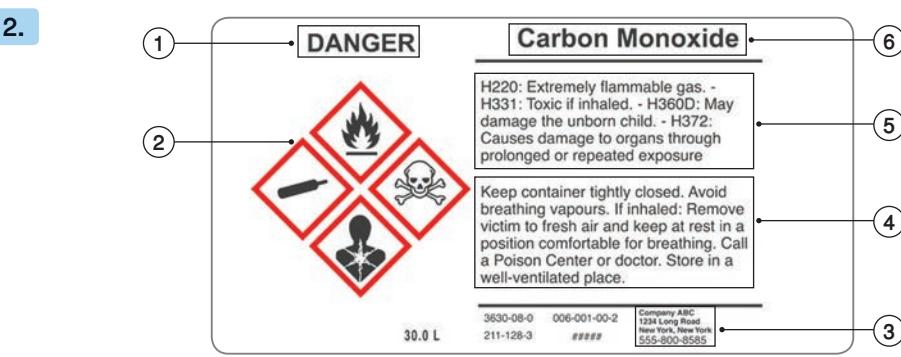
Chemistry Focus

ฉลากข้างขวดสาร

การใช้สารเคมี จำเป็นต้องศึกษาและทำความเข้าใจฉลากข้างขวดสารก่อนการใช้งานอย่างละเอียด ซึ่งบริษัทผู้ผลิตจะให้ข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับสารเคมี เช่น ชื่อสารเคมี สัญลักษณ์หรือเครื่องหมายแสดงความเป็นอันตราย ข้อควรปฏิบัติในการใช้งาน เป็นต้น



แบบฝึกหัด พิจารณาฉลากข้างขวดสารเคมีที่กำหนดให้ แล้วระบุว่าหมายเลขอ 1–6 หมายความว่าอย่างไร



1.6 การกำจัดของเสียจากห้องปฏิบัติการ

ของเสียภายในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นของเสียที่เกิดจากสารเคมี โดยสารเคมีบางประเภทหากทิ้งรวมกับสารเคมีประเภทอื่นอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ ดังนั้น จึงต้องมีการจัดแยกประเภทของเสียภายในห้องปฏิบัติการออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 : ตัวอย่างประเภทของของเสียและการจัดการในห้องปฏิบัติการ

ประเภทของของเสีย	ตัวอย่างของเสีย	วิธีการกำจัด
1. ของเสียที่เป็นกรด ของเสียที่มีค่าของ pH ต่ำกว่า 7 และมีกรดแร่ปนอยู่ในสาร มากกว่า 5%	กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก	ทำให้เป็นกลาง แล้วทิ้งลงท่อ ถ้ามีตะกอนให้กรองน้ำทิ้ง แล้วส่งตะกอนกำจัด
2. ของเสียที่เป็นเบส ของเสียที่มีค่าของ pH สูงกว่า 7 และมีเบสปนอยู่ในสาร มากกว่า 5%	แอมโมเนียมคาร์บอเนต ไฮดรอกไซด์	ทำให้เป็นกลาง แล้วทิ้งลงท่อ ถ้ามีตะกอนให้กรองน้ำทิ้ง แล้วส่งตะกอนกำจัด
3. ของเสียที่เป็นเกลือ ของเสียที่มีคุณสมบัติเป็นเกลือ หรือของเสียที่เป็นผลิตผลจาก การทำปฏิกริยาของกรดกับเบส	โซเดียมคลอไรด์ แอมโมเนียมไนเตรต	ส่งหน่วยงานภายนอกกำจัด
4. ของเสียที่เป็นสารไวไฟ ของเสียที่สามารถถูกติดไฟ ได้ง่าย ต้องแยกเก็บให้ห่างจาก แหล่งกำเนิดไฟ ปฏิกริยาเคมี ความร้อน เปลวไฟ เครื่องไฟฟ้า	แอซีตอ� บЕНชีน เอகเซน เอทานอล เมทานอล โกลูอิน ไซเล่น	ทำให้อุ่นในรูปของตะกอน แคลเซียม / ส่งหน่วยงานภายนอก กำจัด
5. ของเสียที่เผาไหม้ได้ ของเสียที่เป็นของเหลวอินทรีย์ ที่สามารถเผาไหม้ได้	กรดอินทรีย์ ตัวทำละลายอินทรีย์ เอสเทอร์ สารอินทรีย์พวก ไนโตรเจนหรือกำมะถัน เช่น เอมีน เอ้มีด ไพริมิดีน	ส่งหน่วยงานภายนอกกำจัด
6. ของเสียที่เป็นพิษ สารพิษ สารเคมีอันตราย สารก่อมะเร็ง	สารเคมีที่หมดอายุ สารเคมีที่ เสื่อมคุณภาพ สารเคมีที่เป็น อันตรายต่อสุขภาพ	ส่งหน่วยงานภายนอกกำจัด
7. ของเสียที่เป็นของเหลว อินทรีย์ที่ประกอบด้วยน้ำ ของเสียที่เป็นของเหลว อินทรีย์ที่มีน้ำผสมอยู่ มากกว่าร้อยละ 5	สารที่เผาไหม้ได้ผสมน้ำ เช่น แอลกอฮอล์ผสมน้ำ พีโนลผสมน้ำ กรดอินทรีย์ผสมน้ำ เอมีนหรือ แอลดีไฮด์ผสมน้ำ	ส่งหน่วยงานภายนอกกำจัด





นักเรียนรู้จักอุปกรณ์
หรือเครื่องมืออะไรบ้าง
ในห้องปฏิบัติการเคมี



2. เทคนิคการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือทางเคมี

การทดลองในห้องปฏิบัติการเคมีต้องมีความรู้เกี่ยวกับเทคนิค การใช้อุปกรณ์ และเครื่องมืออย่างถูกวิธี เพื่อให้ได้ผลการทดลอง ที่ถูกต้อง และปลอดภัยในขณะทำการทดลอง ดังนั้น ก่อนเริ่มทำการทดลองจะต้องรู้วิธีการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือพื้นฐานในห้องปฏิบัติการเคมี

2.1 เครื่องแก้วและอุปกรณ์พื้นฐาน

อุปกรณ์ที่เกี่ยวกับการทดลองทางเคมีมีอยู่หลายชนิด ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มักผลิตขึ้นจากวัสดุ ที่เป็นแก้ว เนื่องจากป้องกันการทำปฏิกิริยากับสารเคมี รวมทั้งยังมีอุปกรณ์พื้นฐานที่จำเป็นสำหรับ การทดลอง

ตารางที่ 1.4 : ลักษณะการใช้งาน วิธีใช้งาน และการทำความสะอาดอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ ในห้องปฏิบัติการ

อุปกรณ์ / เครื่องมือ	ลักษณะการใช้งาน	วิธีใช้งาน	การทำความสะอาด
 บีเกอร์ (beaker)	ใช้เตรียมสารละลาย ใช้ถ่ายเทสารเคมี	เลือกขนาดให้เหมาะสมกับปริมาณของเหลวที่บรรจุ จากนั้นจับแท่งแก้ว แตะกับปากบีเกอร์ แล้วเอียงบีเกอร์ให้ของเหลวไหลตามแท่งแก้วลงสู่ภาชนะรองรับ	ล้างด้วยน้ำและน้ำยาซักล้าง โดยใช้แปรงช่วยขัด หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปผึ่งให้แห้ง
 หลอดหยดสาร (dropper)	ใช้หยดสารละลาย	บีบจุกยาง จุ่มปลายหลอดลงในสารละลาย ปล่อยจุกยางเพื่อถูดสารละลาย ย้ายหลอดไปยังภาชนะที่ต้องการ แล้วบีบจุกยางเพื่อปล่อยสารออก	ทำความสะอาดโดยการถูดดูดนำเข้าแล้วบีบออก เช็ดให้แห้ง และวางผึ่งในภาชนะสะอาด
 หลอดทดลอง (test tube)	ใช้ใส่สารเพื่อทำการทดลอง	เก็บสารในหลอดทดลอง โดยใช้มือข้างหนึ่งจับบริเวณใกล้ปลายหลอด หากมีการผสมสารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป อาจเขย่าสารโดยให้ก้นหลอดกระแทกฝาเมื่ออีกข้างหนึ่งเบาๆ	ล้างด้วยน้ำและน้ำยาซักล้าง โดยใช้แปรงช่วยขัด แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจากนั้นนำไปผึ่งให้แห้ง
 ขวดรูปชาม (erlenmeyer flask)	ใช้ใส่สารละลาย ตัวอย่าง ใช้ในการทำเทขายสารละลาย	ปล่อยสารจากบีเวตลงสู่ชารูปชามพู่ หรือปล่อยสารจากปีเปตต์ลงสู่ชารูปชามพู่ โดยให้ปลายปีเปตต์สัมผัสกับผิวด้านในชารูปชามพู่แล้วปล่อยสาร	ล้างด้วยน้ำและน้ำยาซักล้าง โดยใช้แปรงช่วยขัด แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจากนั้นนำไปผึ่งให้แห้ง

ตารางที่ 1.4 : ลักษณะการใช้งาน วิธีใช้งาน และการทำความสะอาดอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (ต่อ)

อุปกรณ์ / เครื่องมือ	ลักษณะการใช้งาน	วิธีใช้งาน	การทำความสะอาด
	ใช้เตรียมสารละลาย มาตรฐาน ซึ่งต้องการ วัดปริมาตรที่แน่นอน	ละลายสารให้มีปริมาตร $\frac{3}{4}$ ของ ขวด เติมตัวทำละลายจนสารอยู่ ต่ำกว่าขีดบอกริมาร์ต ปรับปริมาตร โดยใช้หลอดหยดหรือปีเปตต์ ปิดจุกขวด แล้วคว้าขึ้นลง	ล้างด้วยน้ำและน้ำยาซักล้าง แล้ว ล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปผึ่ง ให้แห้ง
	ใช้ตวงสารละลาย ซึ่ง จะบอกริมาร์ตของ ของเหลว	เทสารลงกระบอกตวงจนส่วนโคน้ำว้า อยู่ต่ำกว่าขีดบอกริมาร์ต ปรับ ปริมาตรให้ส่วนโคน้ำต่ำสุดของสาร อยู่ตรงกับขีดบอกริมาร์ต แล้ว อ่านปริมาตร	ล้างด้วยน้ำและน้ำยาซักล้าง แล้ว ล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปผึ่ง ให้แห้ง
	ใช้ดูดปริมาตรของ สารละลายที่ต้องการ อย่างแม่นยำ (ปริมาตรเดียว)	บีบ橡皮囊ออกจากหลักยกยาง สามลูกยก ที่ปลายบนของปีเปตต์ จุ่มปลาย ปีเปตต์ลงลงสาร ดูดของเหลวชี้น จนแลຍขีดบอกริมาร์ต ดึงลูกยกยางออก ใช้นิ้วชี้มือขวาปิดปลายปีเปตต์ ปรับ ปริมาตร แล้วปล่อยสาร	ใส่น้ำยาซักล้างเข้าไป $\frac{1}{3}$ ของปีเปตต์ ค่อยๆ เอียงปีเปตต์จนเกือบอยู่ใน แนวระ旺 แล้วหมุนไปมา จากนั้น ปล่อยน้ำยาให้หล่อออกทางปลาย ปีเปตต์ แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น
	ใช้ดูดสารละลาย ปริมาตรที่ต้องการ (ได้หลักปริมาตร)	บีบ橡皮囊ออกจากหลักยกยาง สามลูกยก ที่ปลายบนของปีเปตต์ จุ่มปลาย ปีเปตต์ลงลงสาร ดูดของเหลวชี้น จนแลຍขีดบอกริมาร์ต ดึงลูกยกยางออก ใช้นิ้วชี้มือขวาปิดปลายปีเปตต์ ปรับ ปริมาตร แล้วปล่อยสาร	ใส่น้ำยาซักล้างเข้าไป $\frac{1}{3}$ ของปีเปตต์ ค่อยๆ เอียงปีเปตต์จนเกือบอยู่ใน แนวระ旺 แล้วหมุนไปมา จากนั้น ปล่อยน้ำยาให้หล่อออกทางปลาย ปีเปตต์ แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น
	ใช้น้ำกลั่นเพื่อใช้ ในการทดลอง และ เตรียมสารละลาย	ใช้มือบีบขวดน้ำกลั่นเพื่อเพิ่มความ ดันภายใน น้ำหรือของเหลวที่อยู่ ภายในก็จะพุ่งออกมาน	ล้างด้วยน้ำยาซักล้าง แล้วล้างด้วย น้ำกลั่น ทำให้แห้ง ระวังอย่าให้ ตัวทำละลายระหว่างจ่าย เช่น แอกซีโนน หรือเมทานอล หยดออกมานៅน ໂຕะปฏิบัติการ หรือบริเวณที่เก็บ ขวดนี้ด้วยน้ำกลั่น

ตารางที่ 1.4 : ลักษณะการใช้งาน วิธีใช้งาน และการทำความสะอาดอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (ต่อ)

อุปกรณ์ / เครื่องมือ	ลักษณะการใช้งาน	วิธีใช้งาน	การทำความสะอาด
	ใช้ดูดสารเข้าสู่ปีเปตต์	แบบธรรมดاجะต้องบีบลูกยางไปอากาศแล้วสวมปีเปตต์ จุ่มปีเปตต์ลงสารแล้วคลายมือที่บีบลูกยางแบบ 3 ทาง ต้องสวมปีเปตต์กับตำแหน่งว่าล้วง S กด A ไปอากาศออก และบีบลูกยาง จุ่มปีเปตต์ลงสาร และกด S เพื่อดูดสารแล้วกดวัวล้วง E เพื่อปล่อยสาร	อย่าให้สารเคมีไหลเข้าสู่ลูกยางเก็บลูกยางในที่เย็น
	ใช้คนสารละลาย	คนสารไปในพิศทางเดียว โดยไม่ให้แห่งแก้วกระหบข้างหลอดทดลอง	ล้างด้วยน้ำยาซักล้างแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น ทำให้แห้ง
	ใช้กรองสารหรือเหลว	ใช้คู่กับกระดาษกรอง เพื่อแยกของแข็งออกจากของเหลว และใช้สามบิวเรตเมื่อจะเทสารละลายลงในบิวเรต	ล้างด้วยน้ำยาซักล้างแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น ทำให้แห้ง
	ใช้บรรจุสารละลายสำหรับการไทเรตเพื่อหาความเข้มข้น	เทสารให้อยู่ในระดับเหนือชีดศูนย์เล็กน้อย แล้วปรับบิวเรตโดยให้ส่วนเว้าต่ำสุดของผิวสารละลายอยู่ตรงขึ้ดปีริมาตราพอตี จากนั้นใช้น้ำหัวแม่มือ นิ้วซี้ และนิ้วกลางของมือข้างหนึ่งบีบปั๊บการไหลของสารละลาย	ล้างด้วยน้ำยาซักล้างแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น ถ่ายงไม่สะอาด (สังเกต้น้ำที่เกาะติดอยู่ในบิวเรต) นำไปทำความสะอาดอีกครั้งหนึ่ง ทิ้งไว้ 10 นาที แล้วปล่อยน้ำยาซักล้างให้ไหลออกทางปลายบิวเรต แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น และหามاءอาผัตันเข้าไปเช็ดภายนอกบิวเรต
	ใช้สำหรับดูดความชื้นออกจากสารเคมี	ทาวาสีนีบริเวณที่ฝาสัมผัสกับโถ เปิดฝาโดยเลื่อนออกช้าๆ นำสารที่ต้องการดูดความชื้นวางบนแผ่นกระเบื้องเคลือบ แล้วเลื่อนฝาปิดหากเลื่อนปิดไม่ได้ให้ปิดจุกด้านบนเพื่อให้ความดันภายในและภายนอกโถเท่ากันก่อน	เมื่อสารดูดความชื้นเบลี่ยนสี ต้องเปิดฝา นำแผ่นกระเบื้องเคลือบและสารดูดความชื้นออกมา แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสจนเปลี่ยนเป็นสีเดิม แล้วเทใส่โถเหมือนเดิมโดยใช้กระดาษช่วยเท
	ใช้เป็นขาตั้งสำหรับวางอุปกรณ์ เพื่อเผาหรือต้มด้วยตะเกียงบุนsen หรือตะเกียงแอลกอฮอล์	ตั้งบีกเกอร์หรือขวดวัดปิริมาตรา เมื่อต้มสารละลายที่บรรจุอยู่ โดยมีตะแกรงรองรับ หรือตั้งเต้าเคลือบ เมื่อเผาด้วยเปลวไฟ	จัดเก็บไว้ในที่ปลอดภัย และหยิบใช้ได้สะดวก

2.2 เครื่องมือสำหรับการซั่ง

เครื่องซั่ง (balance) เป็นเครื่องมือพื้นฐานที่ใช้ในการซั่งสารให้ได้ปริมาณตามต้องการ ถ้าแบ่งตามหลักการทำงานอาจแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ดังนี้

1. เครื่องซั่งแบบกล (mechanical balance)

เครื่องซั่งชนิดนี้มีแขนข้างขวาอยู่ 3 แขน ซึ่งแต่ละแขนมีชีดบอกน้ำหนักไว้ เช่น 0-1.0 กรัม 0-10 กรัม และ 0-100 กรัม แขนทั้ง 3 นี้ ติดกับเข็มซึ้งอันเดียวกัน และยังมีตุ้มน้ำหนักสำหรับเลื่อนไปมาได้อีกด้วย



▲ ภาพที่ 1.5 เครื่องซั่งแบบกล

2. เครื่องซั่งแบบไฟฟ้า (electric balance)

เครื่องซั่งที่แสดงผลเป็นตัวเลขโดยมีความละเอียด 2 หรือ 4 ตำแหน่ง เครื่องซั่งชนิดนี้ มีความแม่นยำสูงและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งสามารถบอกรายละเอียดได้ถึง 0.0001 กรัม



▲ ภาพที่ 1.6 เครื่องซั่งแบบไฟฟ้า

ผู้ใช้งานต้องมีความระวังในการใช้งานและดูแลรักษา โดยไม่ควรซั่งสิ่งของที่มีน้ำหนักเกินขีดความสามารถของเครื่องซั่ง เพื่อป้องกันการชำรุดเสียหายซึ่งอาจทำให้น้ำหนักคลาดเคลื่อน จนไม่สามารถนำมาใช้งานได้ และต้องทำความสะอาดเครื่องซั่ง โดยใช้ผ้าที่แห้งและสะอาดเช็ดสิ่งสกปรกบริเวณเครื่องซั่งออกทุกครั้งหลังใช้งาน

2.3 อุปกรณ์ที่ให้ความร้อน

อุปกรณ์ให้ความร้อน (heating) เป็นสิ่งจำเป็นอีกอย่างหนึ่งที่ต้องใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี วิธีการให้ความร้อนมีหลากหลายวิธีแบ่งตามแหล่งกำเนิดความร้อน

ตัวอย่างอุปกรณ์ให้ความร้อน



▲ ภาพที่ 1.7 เตาให้ความร้อน (hotplates)

อุปกรณ์ให้ความร้อนที่ออกแบบมาสำหรับเครื่องแก้วที่มีก้นแบบ เช่น บีกเกอร์ ซึ่งใช้สำหรับต้มสาร หรืออุ่นสารละลายน้ำที่อุณหภูมิไม่เกิน 400 องศาเซลเซียส



▲ ภาพที่ 1.8 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

อ่างให้ความร้อน โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 15 องศาเซลเซียส แต่ไม่เกินอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส





Prior Knowledge

การทดลองที่ดีมีความมี
ลักษณะอย่างไร



3. การปฏิบัติและเขียนรายงาน การทดลอง

การศึกษาทางเคมี จะประกอบด้วยเนื้อหาทางทฤษฎี และทางปฏิบัติ ซึ่งเนื้อหาทางปฏิบัติส่วนใหญ่เป็นการทดลอง ในห้องปฏิบัติการ โดยการทดลองที่ดีจำเป็นต้องมีการวางแผนการทดลองก่อนลงมือทำการทดลอง เพื่อให้การทดลองมีผลที่ถูกต้องที่สุด และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

การปฏิบัติและเขียนรายงานการทดลอง เป็นการทำการทดลองเพื่อหาคำตอบจากสมมติฐาน ที่ตั้งไว้ และนำผลการทดลองที่ได้มาสรุปและเขียนรายงาน เพื่อนำเสนอข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งประกอบได้ด้วยหลายขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 การวางแผนการทดลอง

การวางแผนการทดลองก่อนลงมือทำการทดลอง ซึ่งจะต้องมีการกำหนดปัญหา ตั้งสมมติฐาน ออกแบบ วิธีการทดลอง และระบุวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ขั้นที่ 2 การทำการทดลอง

การลงมือปฏิบัติการทดลองตามวิธีการทดลองที่ออกแบบไว้ ซึ่งจะต้องมีการใช้อุปกรณ์และสารเคมี อย่างถูกต้องและเหมาะสม เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง หรือคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

ขั้นที่ 3 การบันทึกข้อมูล

การจดบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งอาจเป็นผลจากการสังเกตหรือการวัดค่า โดยการบันทึกข้อมูล จากการทดลองอาจอยู่ในรูปตารางหรือการเขียนกราฟ

ขั้นที่ 4 การสรุปและวิเคราะห์

เป็นการแปลความหมายข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งมักมีการใช้ค่าทางสถิติเข้าช่วยเพื่อวิเคราะห์ผล การทดลอง (กรณีที่เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ)

ขั้นที่ 5 การนำเสนอข้อมูลและการเขียนรายงาน

การเขียนรายงานเพื่อนำเสนอข้อมูลผลการทดลอง สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง รวมทั้งข้อเสนอแนะ ต่างๆ เพื่อใช้ปรับปรุงการทดลองในครั้งต่อไป

ตัวอย่างแบบรายงานการทดลอง

การทดลอง เรื่อง

จุดประสงค์ :

ប័ណ្ណាតាមលក្ខណៈខាងក្រោម :

สมมติฐาน :

ตัวแปรต้น :

ตัวแปรตาม :

ตัวแปรควบคุม :

វេស្ថុ អុបក្រណ៍ និងសារគមី

วิธีการทดลอง

ผลการทดสอบ

สรุปผลการทดลอง

ในการปฏิบัติและเขียนรายงานการทดลองทางเคมี จะเป็นต้องคำนึงถึงด้านต่าง ๆ ดังนี้

- วิธีการทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย 5 ขั้น ได้แก่ ขั้นกำหนดนัยหา ขั้นตั้งสมมติฐาน ขั้นตรวจสอบสมมติฐาน ขั้นวิเคราะห์ข้อมูล และขั้นสรุปผล
- ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เช่น การสังเกต การคำนวณ การทดลอง การตั้งสมมติฐาน
- จิตวิทยาศาสตร์ เช่น ความรับผิดชอบ ความมีเหตุผล การร่วมแสดงความคิดเห็น และยอมรับพึงความคิดเห็นของผู้อื่น การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์
- จริยธรรมทางวิทยาศาสตร์ เช่น ความซื่อสัตย์ ความรอบคอบ ความน่าเชื่อถือ สิงต่าง ๆ เหล่านี้จะทำให้ผู้เรียนหรือผู้ทำการทดลองมีคุณลักษณะหรือลักษณะนิสัยที่เกิดจาก การศึกษาหาความรู้โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง



การทดลอง

การปฏิบัติและเขียนรายงานการทดลอง



วิธีการทดลอง

ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์

- การสังเกต
- การตั้งสมมติฐาน
- การกำหนดและควบคุมตัวแปร
- การทดลอง

จิตวิทยาศาสตร์

- ความอยากรู้อย่างมาก
- ความมีเหตุผล
- ความร่วมมือช่วยเหลือ

- ให้นักเรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 3 คน ออกแบบการทดลอง เรื่อง การละลายของสารในตัวทำละลายต่าง ๆ โดยออกแบบการทดลอง ดังนี้
 - กำหนดนัยหา ตั้งสมมติฐาน และกำหนดตัวแปรในการทดลอง
 - สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย ตัวทำละลาย 2 ชนิด และสารตัวอย่าง 5 ชนิด (สารที่พบในชีวิตประจำวัน)
 - วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
 - วิธีการทดลอง
 - ตารางบันทึกผลการทดลอง
- ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มทำการทดลองดังที่ออกแบบไว้ สังเกตและบันทึกผลการทดลอง
- ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มสรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง พร้อมจัดเขียนรายงานการทดลอง
- ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำมานำเสนอผลการทดลองหน้าชั้นเรียน



อภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองนี้ นักเรียนจะสามารถวางแผนการทดลอง ทำการทดลอง สังเกตและบันทึกผลการทดลอง สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ และสามารถเขียนรายงานการทดลองเพื่อเป็นข้อมูลในการนำเสนอผลการทดลอง อีกทั้งยังช่วยให้นักเรียน มีจิตวิทยาศาสตร์และจริยธรรมทางวิทยาศาสตร์





Prior Knowledge

นักเรียนรู้จักหน่วยทางเคมี
อะไรบ้าง และในปฏิบัติ
การเคมีเกี่ยวข้องกับหน่วย
อะไรบ้าง



4. หน่วยวัดทางเคมี

หน่วยทางเคมี เป็นหน่วยที่ใช้บอกขนาดของปริมาณสารเคมีที่ต้องการใช้ ทั้งหน่วยน้ำหนัก หน่วยปริมาตร และหน่วยความเข้มข้น ในการคำนวณหาปริมาณสารเพื่อเตรียมเป็นสารละลายน้ำต่างๆ ให้มีความเข้มข้นตามต้องการนั้น มีหน่วยที่ใช้เป็นมาตรฐานสากลคือ หน่วยเอสไอ

หน่วยเอสไอ (SI base units) เป็นหน่วยการวัดพื้นฐานของหน่วยวัดอื่น ๆ ประกอบด้วย 7 หน่วยซึ่งแต่ละหน่วยจะเป็นอิสระต่อกัน ดังตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 : หน่วยพื้นฐานในระบบเอสไอ

ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์ของหน่วย
ความยาว	เมตร (meter)	m
มวล	กิโลกรัม (kilogram)	kg
เวลา	วินาที (second)	s
กระแสไฟฟ้า	แอมป์เร (ampere)	A
อุณหภูมิ	เคลวิน (kelvin)	K
ความเข้มของการส่องสว่าง	แคนเดลา (candela)	cd
ปริมาณของสาร	โมล (mole)	mol

จากหน่วย SI ทั้งหมด จะเห็นว่า หน่วยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการวัดทางเคมี มีดังนี้

1. มวล (mass; m) คือ ปริมาณของเนื้อสารในวัตถุใด ๆ ซึ่งมีหน่วยในระบบ SI คือ กิโลกรัม (kg) แต่ในวิชาเคมีมักใช้มวลของสารในหน่วยต่าง ๆ เช่น กรัม (g) มิลลิกรัม (mg) ไมโครกรัม (μg) รวมถึงมวลของอะตอมจะใช้หน่วยที่เรียกว่า หน่วยมวลอะตอม (atomic mass unit; amu)



ตัวอย่างที่ 1.1

จงคำนวณสารหนัก 0.086 กิโลกรัม ให้อยู่ในหน่วยกรัม มิลลิกรัม และไมโครกรัม

วิธีทำ จาก

$$\begin{aligned} 1 \text{ กิโลกรัม} &= 10^3 \text{ กรัม} \\ &= 10^6 \text{ มิลลิกรัม} \\ &= 10^9 \text{ ไมโครกรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} 0.086 \text{ กิโลกรัม} &= 0.086 \times 10^3 = 86 \text{ กรัม} \\ &= 86 \times 10^6 = 86000 = 8.6 \times 10^4 \text{ มิลลิกรัม} \\ &= 86 \times 10^9 = 86000000 = 8.6 \times 10^7 \text{ ไมโครกรัม} \end{aligned}$$

2. อุณหภูมิ (temperature; T) เป็นการวัดค่าของพลังงานจลน์ของอนุภาคในสารได้ ๆ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นปริมาณที่บอกรความร้อนของสารนั้น หน่วยของอุณหภูมิในระบบ SI คือ เคลวิน (K) แต่ยังมีหน่วยอื่น ๆ ที่นิยมใช้ ได้แก่ องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) องศา华เรนไฮต์ ($^{\circ}\text{F}$) และองศาสาร์เมอร์ ($^{\circ}\text{R}$) ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$\frac{{}^{\circ}\text{R}}{4} = \frac{{}^{\circ}\text{C}}{5} = \frac{{}^{\circ}\text{F} - 32}{9} = \frac{\text{K} - 273}{5}$$

หรือ ${}^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273$ หรือ $\text{K} = 273 + {}^{\circ}\text{C}$

ตัวอย่างที่ 1.2

จงเปลี่ยนค่าอุณหภูมิ 25°C ให้เป็นหน่วยของ ${}^{\circ}\text{F}$ ${}^{\circ}\text{R}$ และ K

วิธีทำ	จาก $\frac{{}^{\circ}\text{C}}{5} = \frac{{}^{\circ}\text{F} - 32}{9}$	$\frac{{}^{\circ}\text{R}}{4} = \frac{{}^{\circ}\text{C}}{5}$	$\text{K} = {}^{\circ}\text{C} + 273$
			$= 25 + 273$
แทนค่า	$\frac{25}{5} = \frac{{}^{\circ}\text{F} - 32}{9}$	$\frac{{}^{\circ}\text{R}}{4} = \frac{25}{5}$	$= 298 \text{ K}$
	${}^{\circ}\text{F} = (5 \times 9) + 32$	${}^{\circ}\text{R} = \frac{25}{5} \times 4$	
	$= 77^{\circ}\text{F}$	$= 20^{\circ}\text{R}$	

3. ปริมาณสาร เป็นความสัมพันธ์ระหว่างมวลหรือน้ำหนักของธาตุต่าง ๆ ของสารประกอบในปฏิกิริยาเคมี หน่วยของปริมาณสารในหน่วย SI คือ โมล (mol) ซึ่งโมลจะมีความสัมพันธ์กับมวลของสาร ปริมาตรของแก๊ส และจำนวนอนุภาค มีสูตรคำนวณความสัมพันธ์เชิงโมล ดังนี้

$$\text{จำนวนโมล} = \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม)}}{\text{มวลโมเลกุล (กรัม / โมล)}} = \frac{\text{ปริมาตร (ลิตร, STP)}}{22.4 \text{ ลิตร}} = \frac{\text{จำนวนอนุภาค}}{6.02 \times 10^{23}}$$

โดยสารได้ ๆ จำนวน 1 โมล จะมีมวลเป็นกรัม = มวลโมเลกุลของสารนั้น

แก๊สได้ ๆ จำนวน 1 โมล จะมีปริมาตร = 22.4 ลิตร ที่ STP

สารได้ ๆ จำนวน 1 โมล จะมีจำนวนอนุภาค = 6.02×10^{23} อนุภาค

ตัวอย่างที่ 1.3

จงคำนวณโมลของ H_2O 0.36 กรัม และ CO_2 1.806×10^{24} โมเลกุล

วิธีทำ H_2O 0.36 กรัม $= 0.36 \times \frac{1 \text{ โมล}}{18 \text{ กรัม } \text{H}_2\text{O}}$
 $= 0.2$

$$\text{CO}_2 1.806 \times 10^{24} \text{ โมเลกุล} = 1.806 \times 10^{24} \text{ โมเลกุล} \times \frac{1 \text{ โมล}}{6.02 \times 10^{23}}$$
 $= 3 \text{ โมล}$

H. O. T. S.

คำนำท้าทายการคิดขั้นสูง



แก๊ส NH_3 2 โมล
จะมีมวลกี่กรัม
มีปริมาตรกี่ลิตร
ที่ STP และมีกี่อนุภาค



Summary

ปฏิบัติการเคมีเบื้องต้น



การปฏิบัติแบบในห้องปฏิบัติการเคมี

การทดลองทางเคมีในห้องปฏิบัติการจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการทดลอง การใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ อย่างถูกวิธี อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการเป็นอย่างมาก เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้

เทคนิคการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือทางเคมี

ในห้องปฏิบัติการจะมีอุปกรณ์และเครื่องมือทางเคมีต่าง ๆ เช่น เครื่องแก้วและอุปกรณ์พื้นฐาน เครื่องมือสำหรับการซึ่ง อุปกรณ์ให้ความร้อน เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ จะมีวิธีการใช้งาน และวิธีการดูแลรักษาที่แตกต่างกัน

การปฏิบัติและเขียนรายงานการทดลอง

การปฏิบัติและเขียนรายงานการทดลอง ประกอบด้วยการวางแผนการทดลอง การทำการทดลอง การบันทึกข้อมูล การสรุปและวิเคราะห์ การนำเสนอข้อมูลและการเขียนรายงาน

หน่วยวัดทางเคมี

หน่วยวัดทางเคมีที่ใช้อยู่ในระบบ SI ที่สำคัญ เช่น มวลมีหน่วยเป็นกิโลกรัม อุณหภูมิมีหน่วยเป็นเคลวิน และปริมาณสารมีหน่วยเป็นโมล ซึ่งหน่วยต่าง ๆ สามารถเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในหน่วยอื่น ๆ ได้ เช่นกัน

Self Check

ให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจ โดยพิจารณาข้อความว่าถูกหรือผิด และบันทึกลงในสมุด หากพิจารณาข้อความไม่ถูกต้อง ให้กลับไปทบทวนเนื้อหาตามหัวข้อที่กำหนดให้

ถูก/ผิด	กบกวนที่หัวข้อ
<input type="radio"/>	1.1
<input type="radio"/>	1.6
<input checked="" type="radio"/>	2.1
<input type="radio"/>	3.
<input type="radio"/>	4.



Unit Question 1

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. เมื่อยูในห้องปฏิบัติการทดลอง นักเรียนควรปฏิบัติตนอย่างไร
2. สัญลักษณ์ที่กำหนดให้ต่อไปนี้ แสดงความเป็นอันตรายประเภทใด



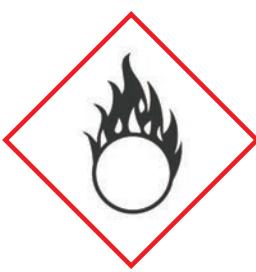
▲ ภาพที่ 1.9



▲ ภาพที่ 1.10



▲ ภาพที่ 1.11



▲ ภาพที่ 1.12

3. เพราะเหตุใดวัสดุอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการทางเคมีจึงมักทำจากแก้ว
4. เพราะเหตุใดจึงต้องวางแผนการทดลองก่อนทำการทดลองทุกครั้ง
5. จงคำนวณโมลของสารที่กำหนดให้ต่อไปนี้
 (กำหนดให้ มวลอะตอมของ Al = 27 Sn = 119 Pb = 207 N = 14 O = 16 K = 39
 P = 31 และ C = 12)
 - 1) อะลูมิเนียม (Al) 2.70 กรัม
 - 2) ดีบุก (Sn) 17.5 กรัม
 - 3) เลಡ (II) ไนเตรต ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) 82.75 กรัม
 - 4) โพแทสเซียมไอออน (K^+) 1.505×10^{23} ไอออน
 - 5) ฟอสฟอรัส (P) 6.02×10^{22} อะตอม
 - 6) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 44.8 ลิตร ที่ STP

อะตอมและ ตารางธาตุ

ผลการเรียนรู้

5. สืบค้นข้อมูลสมมติฐาน การทดลอง หรือผลการทดลองที่เป็นประจักษ์พยานในการเสนอแบบจำลอง อะตอมของนักวิทยาศาสตร์ และ อธิบายวิวัฒนาการของแบบจำลอง อะตอมได้
6. เชื่อมสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ และระบุจำนวนโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอนของอะตอมจาก สัญลักษณ์นิวเคลียร์ รวมทั้งบอก ความหมายของไอโอดีโนได้
7. อธิบายและเชื่อมการจัดเรียง อิเล็กตรอนในระดับพลังงานหลัก และระดับพลังงานย่อย เมื่อทราบ เลขอะตอมธาตุได้
8. ระบุหมุน ควบ ความเป็นโลหะ ไมโลหะ และกึ่งโลหะของธาตุเรพีเซนแทฟฟ์ และธาตุแทรนซิชันในตารางธาตุได้
9. วิเคราะห์และบอกแนวโน้มสมบัติ ของธาตุเรพีเซนแทฟฟ์ตามกฎ และ ตามค่าได้
10. บอกสมบัติของธาตุโลหะแทรนซิชัน และเปรียบเทียบสมบัติกับธาตุโลหะ ในกลุ่มธาตุเรพีเซนแทฟฟ์ได้
11. อธิบายสมบัติและค่านวนครึ่งชีวิต ของไอโอดีโนได้
12. สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างการนำ ธาตุมาใช้ประโยชน์ รวมทั้งผลกระทบ ต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้

อะตอมของธาตุประกอบด้วยโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน ซึ่งการจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานนอกสุดของธาตุ จะสัมพันธ์กับสมบัติและการเกิดปฏิกิริยาเคมีของธาตุ ดังนั้น การศึกษาโครงสร้างอะตอมจะทำให้ทราบว่าธาตุแต่ละชนิด มีสมบัติและการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่คล้ายคลึงหรือแตกต่างกัน อย่างไร

ถ้านักเรียน
ค้นพบธาตุใหม่
จะจัดเรียงธาตุนี้ลงใน
ตารางธาตุได้อย่างไร





Prior Knowledge

อนุภาคที่เล็กที่สุดของสาร
ประกอบด้วยอะไรมาก?

1. แบบจำลองอะตอม

นักปรัชญาชาวกรีกในสมัยโบราณได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับส่วนประกอบของสารไว้หลายแนวคิด แต่มีแนวคิดหนึ่งที่ถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษาอะตอม คือ แนวคิดของดิโมคริตุส (Democritus) ซึ่งกล่าวไว้ว่า “เมื่อนำสารมาแบ่งย่อยลงไปเรื่อย ๆ จะได้ออนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก และไม่สามารถแบ่งย่อยออกไปได้อีก” โดยเรียกอนุภาคนี้ว่า อะตอม (atom)

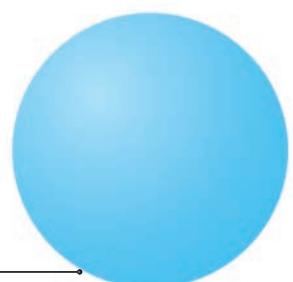
1.1 แบบจำลองอะตอมของดอลตัน

เมื่อความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีความเจริญก้าวหน้ามากขึ้น ทำให้แนวคิดของดิโมคริตุสนั้นไม่สามารถอธิบายเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับสารได้ เนื่องจากยังไม่มีการทดลองเพื่อพิสูจน์และสนับสนุนแนวคิดดังกล่าว ต้นคริสตวรรษที่ 19 จอห์น ดอลตัน (John Dalton, ค.ศ. 1766 – 1844) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ได้พัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับอะตอมเพื่อที่จะอธิบายผลการทดลองของเขาระบบนั้น

สรุปปกติแก้แบบจำลองอะตอมของดอลตัน

- ◉ ธาตุแต่ละชนิดจะประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กที่สุด เรียกว่า “อะตอม” ซึ่งอะตอมไม่สามารถแยกออกไปได้อีก และไม่สามารถสร้างขึ้นหรือทำลายได้ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาเคมี
- ◉ อะตอมในธาตุชนิดเดียวกันจะมีมวลและสมบัติต่าง ๆ เหมือนกัน ส่วนอะตอมในธาตุต่างชนิดกันจะมีมวลและสมบัติต่างกัน
- ◉ สารประกอบเคมีเกิดมาจากอะตอมของธาตุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป รวมตัวกันด้วยพันธะเคมี โดยมีอัตราส่วนของจำนวนอะตอมที่เป็นเลขลงตัวอย่างต่อไป โดยอะตอมของธาตุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป อาจมาร่วมตัวกันเป็นสารประกอบด้วยอัตราส่วนที่มากกว่า 1 แบบ ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นสารประกอบเคมีได้มากกว่า 1 ชนิด

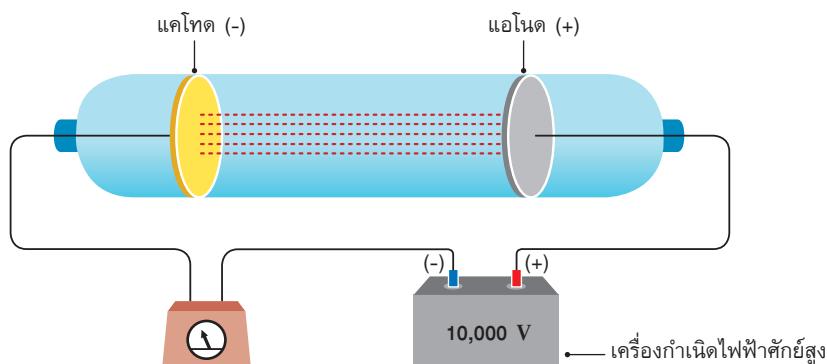
ภาพที่ 2.1 แบบจำลองอะตอมของดอลตัน



ต่อมาในกิจกรรมที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับอะตอมมากขึ้นและค้นพบข้อมูลบางประการที่ไม่สอดคล้องกับแนวคิดของดอลตัน เช่น อะตอมจะประกอบด้วยอนุภาคโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน ซึ่งทำให้อะตอมสามารถแบ่งแยกได้ นอกจากนี้ยังพบว่าอะตอมของธาตุชนิดเดียวกันจะมีจำนวนนิวตรอนต่างกันได้ เป็นต้น

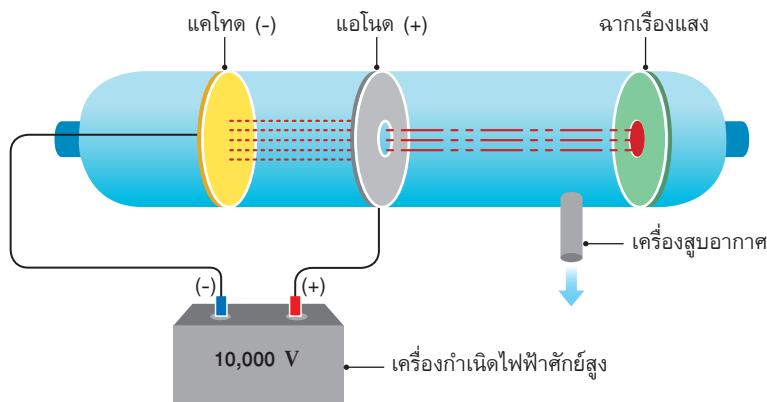
1.2 แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

นักวิทยาศาสตร์หลายท่านพยายามศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อนำไปอธิบายข้อมูลบางประการที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีอะตอมของอลตัน เช่น อะตอมสามารถแบ่งแยกได้ โดยจะประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าต่าง ๆ ต่อมา เชอร์วิลเลียม ครูกส์ (Sir William Crookes, ค.ศ. 1832–1919) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างประจุไฟฟ้าโดยให้ศักย์ไฟฟ้าผ่านหลอดที่สูบอากาศออกเกือบหมด ซึ่งเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าแรงสูงเข้าไป พบว่า เกิดรังสีขึ้นภายในหลอด โดยรังสีจะเคลื่อนที่จากขั้วแคโทด (ขั้วนอก) ไปยังขั้วแอนด์ (ขั้วนอก) ครูกส์เรียกรังสีชนิดนี้ว่า รังสีแคโทด (Cathode ray) และเรียกหลอดแก้วชนิดนี้ว่า หลอดรังสีแคโทด (Cathode ray tube)



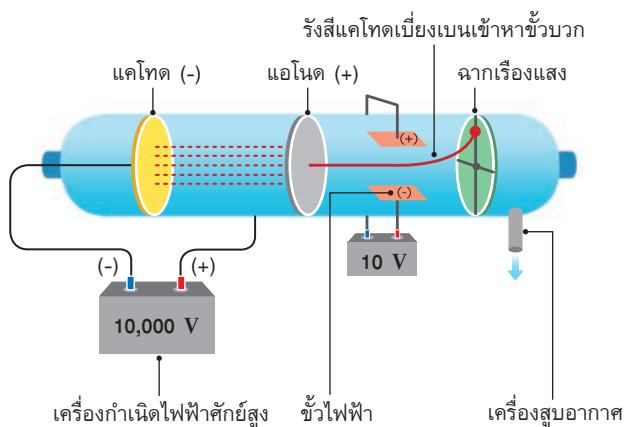
▲ ภาพที่ 2.2 หลอดรังสีแคโทดที่ใช้ในการศึกษาการสร้างประจุไฟฟ้า

ต่อมา เชอร์โจเซฟ จอห์น ทอมสัน (Sir Joseph John Thomsom, ค.ศ. 1856–1940) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ได้ทำการดัดแปลงหลอดรังสีแคโทดโดยทำการเจาะรูที่ตรงกลางขั้วแอนด์ แล้วนำจากเรืองแสงไปวางไว้ข้างหลังขั้วแอนด์ ดังรูป

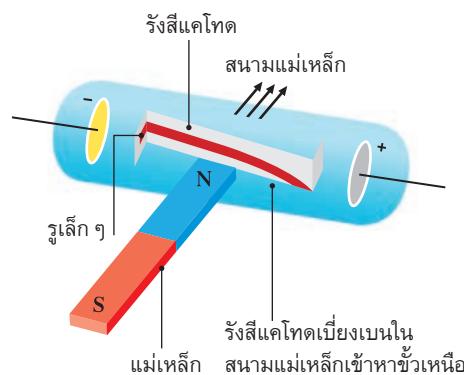


▲ ภาพที่ 2.3 หลอดรังสีแคโทดที่เจาะรูตรงกลางที่ขั้วแอนด์

หลังจากนั้นทอมสันได้เพิ่มข้อไฟฟ้าเข้าไปในหลอดรังสีแคโตด เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ว่า อะตอมประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุ และต้องการจะทราบว่าเป็นประจุไฟฟ้าบวกหรือลบ ผลปรากฏว่า รังสีแคโตดเบี่ยงเบนเข้าหาข้อบกของสนามไฟฟ้า และทดสอบการเบี่ยงเบนของรังสีแคโตดในสนามแม่เหล็ก ปรากฏว่า รังสีแคโตดเบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กเข้าหาข้อหนึ่ง ผลการทดลองนี้แสดงว่า รังสีแคโตดมีประจุลบ



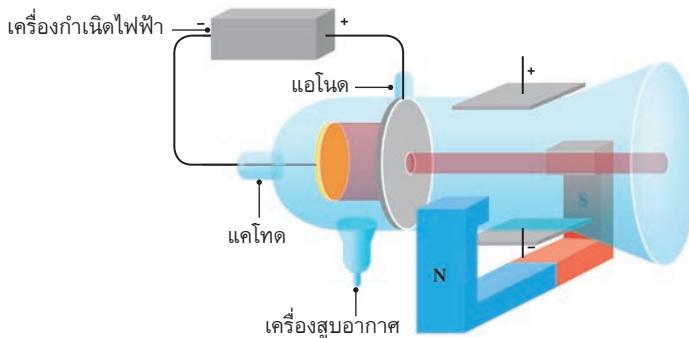
▲ ภาพที่ 2.4 การต่อข้อไฟฟ้าในหลอดรังสีแคโตด



▲ ภาพที่ 2.5 การต่อสนามแม่เหล็กในหลอดรังสีแคโตด

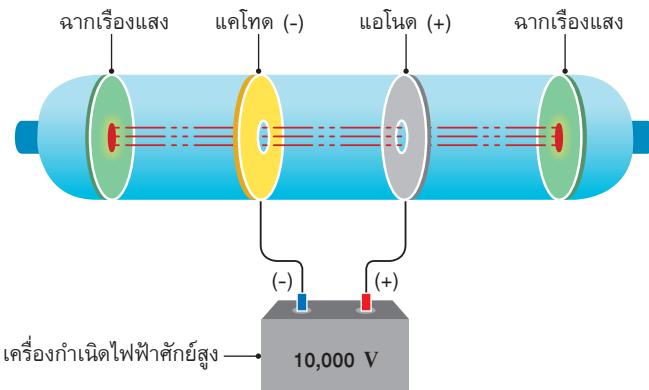
ทอมสันได้ทดลองเปลี่ยนชนิดของแก๊สที่บรรจุในหลอดรังสีแคโตด พบร่วมกับผลการทดลอง เมื่อเดิม และเมื่อได้คำนวนหาอัตราส่วนของประจุต่อมวล (c/m) ของอนุภาค โดยทำการทดลองใส่สนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าอย่างใดอย่างหนึ่งไปยังรังสีแคโตด เพื่อให้รังสีแคโตดเบี่ยงเบนไปจากแนวเดิม จากนั้นใช้อีกสนามหนึ่งมาดึงให้รังสีแคโตดเบนกลับมาเป็นเส้นตรงเหมือนเดิม ภาวะเช่นนี้แสดงว่า แรงจากสนามแม่เหล็กและแรงจากสนามไฟฟ้าสมดุลกัน เมื่อนำแรงทั้งสองมาคำนวนพบว่า ได้ค่าเท่ากับ 1.76×10^8 คูลอมบ์/กรัม

จากการทดลองและการคำนวน ทอมสันจึงสรุปได้ว่า อนุภาครังสีแคโตดมีประจุลบ และเรียกอนุภาคดังกล่าวว่า อิเล็กตรอน (electron)



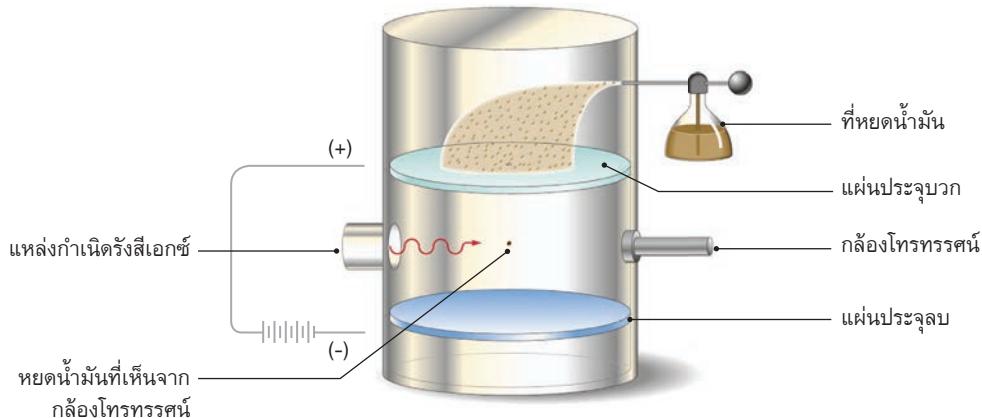
▲ ภาพที่ 2.6 หลอดรังสีแคโตดภายใต้สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

ในปี ค.ศ. 1886 ออยเกิน โกลด์ชไตน์ (Eugen Goldstein, ค.ศ. 1850–1930) ได้ดัดแปลงหลอดรังสีแคโทดใหม่ โดยเจาะรูที่ขั้วแคโทดในหลอดรังสีแคโทด พบร่วมกับร่องสีแคโทด ทำให้ร่องสีแคโทดมีอนุภาคชนิดหนึ่งเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงไปในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของรังสีแคโทดผ่านรูของขั้วแคโทด และทำให้คาดเดาได้ว่าอนุภาคที่เคลื่อนที่ในร่องนี้จะมีอิเล็กตรอน ซึ่งรังสีนี้จะเปลี่ยนเป็นรังสีที่มีอนุภาคที่เคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกับรังสีแคโทด แสดงว่ารังสีนี้ประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ และพบว่ามีอัตราส่วนประจุต่อมวลไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สในหลอด และถ้าเป็นแก๊สไฮโดรเจนรังสีนี้จะมีอัตราส่วนประจุต่อมวลสูงที่สุด เรียกอนุภาคบางในรังสีแคแอนอลของไฮโดรเจนว่า **โปรตอน (proton)**



▲ ภาพที่ 2.7 หลอดรังสีแคโทดที่ปรับปรุงโดยออยเกิน โกลด์ชไตน์

โรเบิร์ต แอนดรูส์ มิลลิกาน (Robert Andrews Millikan, ค.ศ. 1868–1953) ทำการหาค่าประจุ (e) และมวล (m) ของอิเล็กตรอน โดยทำการทดลองเพื่อคำนวณหาประจุของอิเล็กตรอน โดยใช้วิธีหยดน้ำมัน เริ่มจากพ่นน้ำมันเป็นละอองเม็ดเล็ก ๆ ให้ตกลงมาระหว่างแผ่นโลหะ 2 แผ่นแล้วใช้รังสีเอกซ์ไปนีกอิเล็กตรอนให้หลุดออกจากอะตอมของแก๊สในอากาศ และให้อิเล็กตรอนไปเกาะติดบนหยดน้ำมัน หยดน้ำมันบางหยดมีอิเล็กตรอนเกาะเพียงอนุภาคเดียว บางหยดมีอิเล็กตรอนเกาะหลายอนุภาค จึงทำให้หยดน้ำมันมีประจุลบ (หยดน้ำมันก็จะตกลงมาตามแรงดึงดูดของโลก จากนั้นผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่แผ่นโลหะทั้งสอง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้น โดยด้านบนเป็นขั้วบวกและด้านล่างเป็นขั้วลบ) หยดน้ำมันจึงเคลื่อนที่ตกลงมาช้าลง จากนั้นทำการปรับค่าสนามไฟฟ้าให้เหมาะสมจนกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่แผ่นโลหะทั้งสอง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้น โดยด้านบนเป็นขั้วบวกและด้านล่างเป็นขั้วลบ) แรงโน้มถ่วงของโลก และความต่างค่าประจุอุอกมาได้มีค่าเท่ากับ 1.602×10^{-19} คูลอมบ์



▲ ภาพที่ 2.8 การทดลองหัวดูดน้ำมันของมิลลิแกน

เมื่อทราบค่าประจุของอิเล็กตรอน ก็จะสามารถคำนวณมวลของอิเล็กตรอนได้ ดังนี้

$$\text{จาก } \frac{e}{m} = 1.76 \times 10^8 \text{ C/g} \quad e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad m = \frac{1.602 \times 10^{-19} \text{ C}}{1.76 \times 10^8 \text{ C/g}} = 9.109 \times 10^{-28} \text{ g}$$

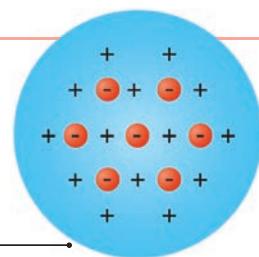
จึงสรุปได้ว่า มวลของอิเล็กตรอนจำนวน 1 อนุภาค มีค่าเท่ากับ 9.109×10^{-28} กรัม

จากการทดลองดังกล่าววนั้นทำให้athomสันได้ข้อมูลเกี่ยวกับอะตอมมากขึ้น และได้นำเสนอแบบจำลองอะตอมใหม่ขึ้นมาแทนแบบจำลองอะตอมของดอลตัน

สรุปทฤษฎีแบบจำลองอะตอมของกอมสัน

- ◉ อะตอมมีลักษณะเป็นทรงกลมซึ่งประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าบวก (โปรตอน) และอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบ (อิเล็กตรอน) กระจายอยู่ทั่วไป
- ◉ อะตอมในสภาพที่เป็นกลางทางไฟฟ้าจะมีประจุบวกเท่ากับประจุลบ

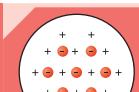
ภาพที่ 2.9 แบบจำลองอะตอมของกอมสัน



แบบจำลองอะตอมของกอมสันถือว่าเป็นความก้าวหน้าเกี่ยวกับการศึกษาแบบจำลองอะตอม เพราะกอมสันเป็นนักวิทยาศาสตร์ท่านแรกที่เสนอรายละเอียดภายในอะตอม ทำให้ภาพของอะตอมมีความชัดเจนขึ้น แต่ก็ยังไม่สามารถอธิบายผลการทดลองอื่น ๆ อีกมากได้ ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงต้องมีการค้นคว้าเพิ่มเติม เพื่อนำเสนอแบบจำลองอะตอมที่มีความใกล้เคียงกับอะตอมของธาตุมากที่สุด

H. D. T. S.

คำนำท้าทายการคิดขั้นสูง

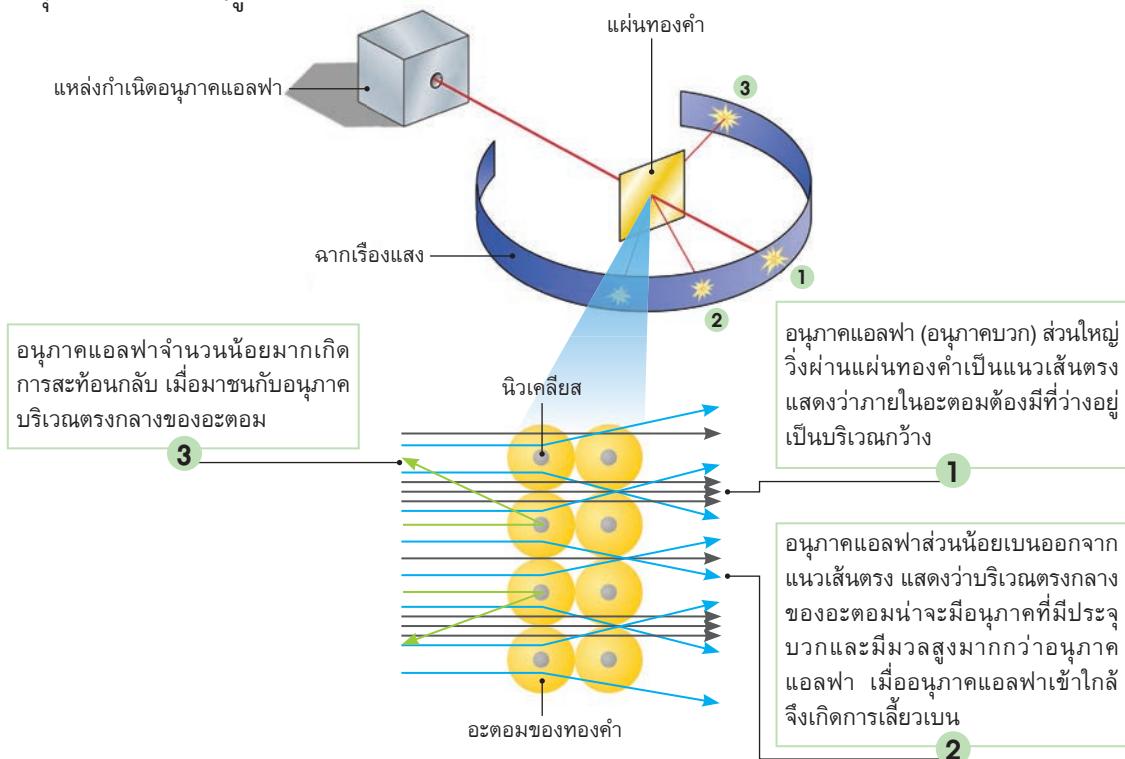


การทดลองของกอมสัน ถ้าทำ การเปลี่ยนแปลง

ความดันในหลอดแก้ว จะส่งผลต่อการทดลองอย่างไร

1.3 แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

ในปี ค.ศ. 1911 ลор์ดเออร์เนสต์ รัทเทอร์ฟอร์ด (Lord Ernest Rutherford, ค.ศ. 1871–1937) พิสูจน์แบบจำลองอะตอมของทอมสัน โดยการยิงอนุภาคแอลฟ่าไปยังแผ่นทองคำบาง ๆ และใช้คลาเรื่องแสงที่เคลือบด้วยซิงค์ซัลไฟต์ (ZnS) โถงเป็นวงล้อมรอบแผ่นทองคำ เพื่อตรวจจับอนุภาคแอลฟ่า ดังรูป

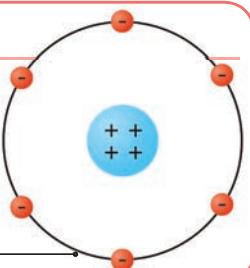


▲ ภาพที่ 2.10 การทดลองและการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด

จากการทดลอง พบว่า ส่วนใหญ่การเรืองแสงบนคลาเรื่องที่อยู่บริเวณด้านหลังของแผ่นทองคำ มีบางครั้งที่เกิดการเรืองแสงบริเวณด้านข้าง และน้อยครั้งมากที่มีการเรืองแสงบริเวณด้านหน้า ซึ่งหากแบบจำลองอะตอมเป็นไปตามที่ทอมสันศึกษา การเรืองแสงน่าจะมีการเบี่ยงเบนอย่างสม่ำเสมอ รัทเทอร์ฟอร์ดจึงได้เสนอแบบจำลองอะตอมขึ้นมาใหม่ ดังนี้

สรุปกฎภัยแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

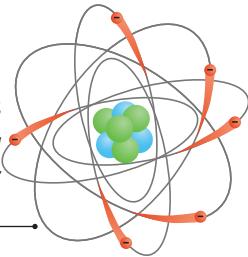
- อะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสที่มีขนาดเล็กมากอยู่ตรงกลาง และมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก โดยมีอิเล็กตรอนวิ่งอยู่บริเวณรอบ ๆ



ภาพที่ 2.11 แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

ต่อมา เซอร์ เจมส์ แซดวิก (Sir James Chadwick) ทดลองยิงอนุภาคแอลฟ่าไปยังแผ่นโลหะเบริลเลียมปรากฏว่าได้ออนุภาคใหม่ที่มีมวลใกล้เคียงกับโปรตอนและเป็นกลางทางไฟฟ้า เรียกอนุภาคนี้ว่า นิวตรอน (neutron) และแซดวิกคำนวณมวลของนิวตรอนออกมาได้เท่ากับ 1.675×10^{-24} กรัม

ภาพที่ 2.12 อนุภาคมูลฐานของอะตอมประกอบด้วย อิเล็กตรอน โปรตอน และ นิวตรอน



อนุภาคมูลฐานของอะตอม (fundamental particles) จากความรู้ในเรื่องของแบบจำลองอะตอม ทำให้ทราบว่าอะตอมของธาตุทุกชนิดต้องมีนิวเคลียส ซึ่งภายในประกอบด้วยโปรตอน และนิวตรอน (ยกเว้นนิวเคลียสของอะตอมไฮโดรเจนที่ไม่มีนิวตรอน) และมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่รอบ ๆ นิวเคลียส จึงทำให้ทราบว่าอะตอมของธาตุประกอบด้วยอนุภาคที่สำคัญ 3 ชนิด คือ อิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน โดยเรียกอนุภาคทั้ง 3 ชนิดนี้ว่า อนุภาคมูลฐาน ซึ่งสัญลักษณ์มวล และประจุไฟฟ้าของอนุภาคมูลฐานของอะตอม แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 : อนุภาคมูลฐานของอะตอม

อนุภาค	สัญลักษณ์	มวล (กรัม)	มวล เปรียบเทียบกับ อิเล็กตรอน	ประจุไฟฟ้า (คูลومบ์)	ชนิดของ ประจุไฟฟ้า
โปรตอน	p	1.673×10^{-24}	1,836	1.602×10^{-19}	+1
นิวตรอน	n	1.675×10^{-24}	1,839	0	0
อิเล็กตรอน	e ⁻	9.109×10^{-28}	1	1.602×10^{-19}	-1

ผลงานของนักวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับอะตอมทำให้ทราบว่า อะตอมของธาตุแต่ละชนิดจะมีจำนวนโปรตอนที่มีค่าเฉพาะตัว กล่าวคือ อะตอมของธาตุชนิดเดียวกันจะมีจำนวนโปรตอนเท่ากัน

สัญลักษณ์นิวเคลียร์ เป็นการเขียนสัญลักษณ์ของธาตุ เพื่อแสดงรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคที่อยู่ภายในนิวเคลียสของอะตอม ซึ่งมีวิธีการเขียน ดังนี้

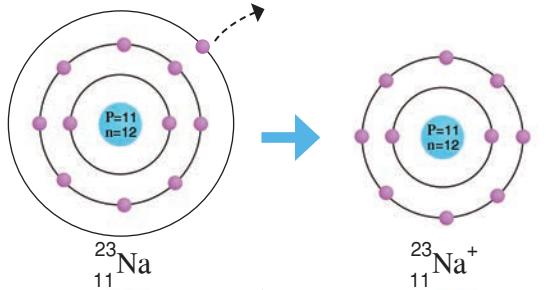


▲ ภาพที่ 2.13 สัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ

ในสภาวะที่อะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้า อะตอมจะมีจำนวนprotoonเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอน แต่ถ้าภายในอะตอมมีจำนวนprotoonและจำนวนอิเล็กตรอนไม่เท่ากัน จะเรียกว่า ไอออน (ion) ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด ดังนี้

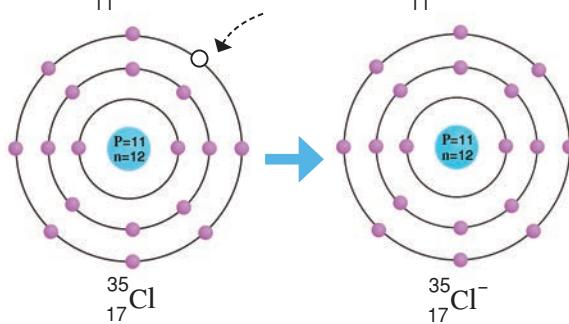
1. ไอออนบวก

ไอออนที่มีจำนวนprotoonมากกว่าจำนวนอิเล็กตรอน



2. ไอออนลบ

ไอออนที่มีจำนวนprotoonน้อยกว่าจำนวนอิเล็กตรอน



จากภาพจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงจากอะตอมของธาตุไปเป็นไอออนนั้นเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนในอะตอมของธาตุแต่ละชนิด โดยจะไม่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงจำนวนprotoon

▲ ภาพที่ 2.14 ไอออนบวกและไอออนลบ



ตัวอย่างที่ 2.1

ธาตุ Q มีเลขมวลเท่ากับ 35 และมีเลขอะตอมเท่ากับ 17 จงระบุจำนวนอนุภาคมูลฐาน และเขียนสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ Q

วิธีทำ ธาตุ Q มีเลขอะตอมเท่ากับ 17 หมายความว่า ธาตุ Q มีจำนวนprotoonเท่ากับ 17

ในสภาวะนี้อะตอมของธาตุ Q เป็นกลางทางไฟฟ้า นั่นหมายความว่าธาตุ Q จะมีจำนวนprotoonเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอน

ธาตุ Q มีเลขมวลเท่ากับ 35 หมายความว่า ผลรวมของจำนวนprotoonและนิวตรอนภายในนิวเคลียสเท่ากับ 35 อนุภาค จะได้ว่า

$$\text{เลขมวล} = \text{จำนวนprotoon} + \text{จำนวนนิวตรอน}$$

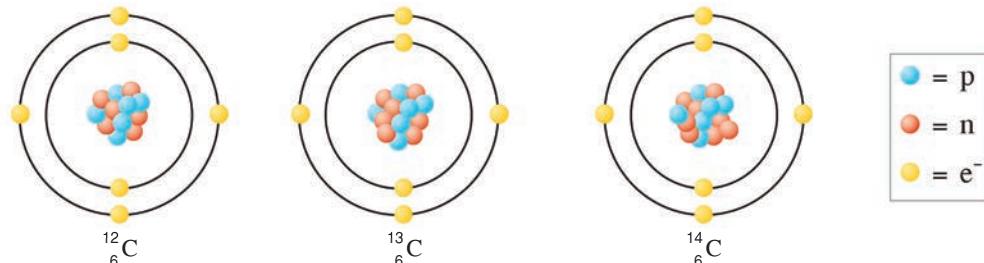
$$35 = 17 + \text{จำนวนนิวตรอน}$$

$$\text{จำนวนนิวตรอน} = 35 - 17$$

$$\text{จำนวนนิวตรอน} = 18$$

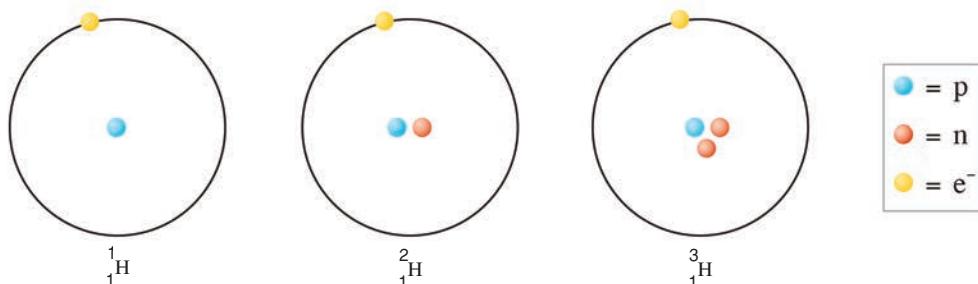
ดังนั้น จำนวนอนุภาคมูลฐานของธาตุ Q คือ protoonเท่ากับ 17 นิวตรอนเท่ากับ 18 และอิเล็กตรอนเท่ากับ 17 ดังนั้น ธาตุ Q มีสัญลักษณ์นิวเคลียร์ คือ $^{35}_{17}\text{Q}$

ไอโซโทป ไอโซโทน และไอโซบาร์ การศึกษาเกี่ยวกับอนุภาคมูลฐานของธาตุแต่ละชนิดพบว่า ส่วนมากมวลอะตอมของธาตุแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน นั่นหมายความว่า แต่ละอะตอมของธาตุมีจำนวนนิวตรอนไม่เท่ากัน จึงทำให้อะตอมของธาตุชนิดเดียวกันมีมวลต่างกัน แต่มีจำนวนprotoonหรือเลขอะตอมเท่ากัน ซึ่งเรียกอะตอมของธาตุเหล่านี้ว่า ไอโซโทป (Isotope)



▲ ภาพที่ 2.15 かるบอนมี 3 ไอโซโทป คือ $^{12}_{\text{C}}$ $^{13}_{\text{C}}$ และ $^{14}_{\text{C}}$

ไอโซโทปของธาตุส่วนใหญ่อยู่ในธรรมชาติ แต่บางไอโซโทปอาจได้มาจากการสังเคราะห์เช่น ไฮโดรเจนมี 3 ไอโซโทป คือ $^1_{\text{H}}$ ที่มีชื่อเรียกเฉพาะว่า ไฮโดรเจนหรือโปรเทียม ซึ่งใช้สัญลักษณ์ H เป็นไอโซโทปที่มีอยู่ในธรรมชาติจำนวนมากอีกไอโซโทปหนึ่ง คือ $^2_{\text{H}}$ มีชื่อเรียกเฉพาะว่า ดิวทีเรียม เป็นไอโซโทปที่มีอยู่ในธรรมชาติน้อยมาก ซึ่งใช้สัญลักษณ์ D และ $^3_{\text{H}}$ มีชื่อเรียกเฉพาะว่า ทรีเทียม ซึ่งใช้สัญลักษณ์ T เป็นไอโซโทปที่เป็นกัมมันตรังสี

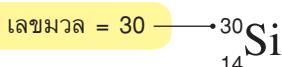
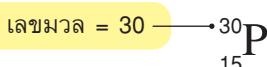


▲ ภาพที่ 2.16 ไฮโดรเจนมี 3 ไอโซโทป คือ ไฮโดรเจน ($^1_{\text{H}}$) ดิวทีเรียม ($^2_{\text{H}}$) และทรีเทียม ($^3_{\text{H}}$)

นอกจากนี้ยังพบว่า ถ้าอะตอมของธาตุต่างชนิดกัน มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน จะเรียกอะตอมของธาตุคู่นี้ว่า ไอโซโทน (Isotones) เช่น



หากอะตอมของธาตุต่างชนิดกัน มีเลขมวลเท่ากัน จะเรียกอะตอมของธาตุคู่นี้ว่า ไอโซบาร์ (Isobar) เช่น



Chemistry in real life

การใช้ไอโซโทปรังสีในการถนอมอาหาร (การฉายรังสีอาหาร) เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เพื่อช่วยลดการสูญของผลไม้



1.4 แบบจำลองอะตอมของ玻尔

นีลส์ 玻尔 (Niels Bohr, ค.ศ. 1885–1962) ได้ศึกษาและทำการแก้ไขแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด เนื่องจากแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด ทำให้รู้ว่าอิเล็กตรอนวิ่งอยู่รอบ ๆ นิวเคลียส แต่ไม่ได้อธิบายว่าอิเล็กตรอนอยู่บริเวณใดของอะตอม และอยู่ในลักษณะใด นักวิทยาศาสตร์จึงนำความรู้ด้านความคุณตัมพิสิกสมาร์บิยาด์มาเขียนแบบจำลองอะตอมขึ้นมาใหม่ ซึ่งวิธีหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการหาข้อมูลคือการศึกษาสเปกตรัมของสารประกอบและธาตุ ซึ่งมีองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

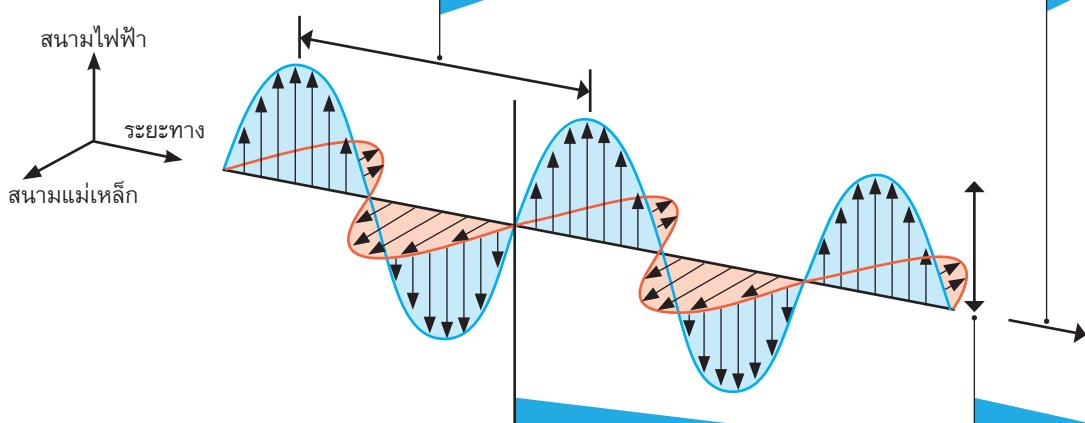
1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง จึงสามารถเคลื่อนที่ในสัญญาการได้มีความเร็วประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที ตัวอย่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น คลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ รังสีอินฟารेड แสงขาว รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์ รังสีแกรมมา เป็นต้น โดยคลื่นจะมีองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ประการ ดังนี้

ความยาวคลื่น (wave length; λ)

ระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ หรือระยะทางระหว่างจุดที่คล้ายคลึงกัน 2 จุด บนคลื่นสองคลื่นที่ต่อเนื่องกันไป มีหน่วยเป็น เมตร (m) แต่คลื่นแสงที่จะทำการศึกษาในหน่วยการเรียบเรียงนี้ มีความยาวคลื่นน้อยมาก จึงจะใช้หน่วยเป็นนาโนเมตร (nm) (1 นาโนเมตร เท่ากับ 1×10^{-9} เมตร)

ความเร็วของคลื่น (wave velocity; C)

ระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ในเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที (m/s) โดยในสัญญาการคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทุกชนิดจะมีความเร็วในการเคลื่อนที่เท่ากัน คือ มีความเร็ว 3×10^8 เมตร/วินาที

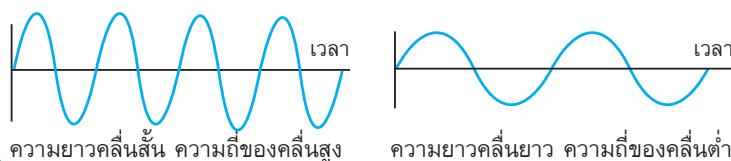


ความถี่ของคลื่น (wave frequency; ν)

จำนวนรอบของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งในเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็น รอบ/วินาที (s^{-1}) หรือ เฮิรตซ์ (Hz)

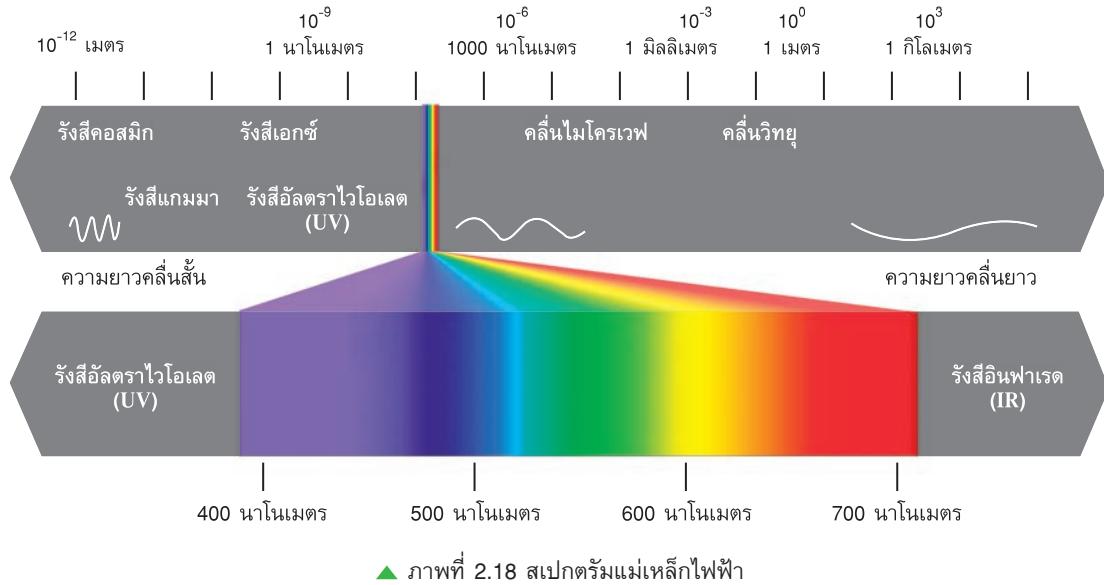
แอมเพลจูด (amplitude; A)

ความสูงของคลื่น



▲ ภาพที่ 2.17 องค์ประกอบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน และมีความถี่ต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้าง มีทั้งที่มองเห็นได้และมองไม่เห็น รวมกันเรียกว่า สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเรียงลำดับจาก ความถี่สูงสุดไปยังความถี่ต่ำสุดได้ ดังรูป



▲ ภาพที่ 2.18 สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า

2. สเปกตรัม แสงที่ประสาทตามนุษย์สามารถรับรู้ได้มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400 – 700 นาโนเมตร ซึ่งประกอบด้วยแสงสีต่าง ๆ กัน แต่ประสาทตาของมนุษย์ไม่สามารถแยกแสงที่มองเห็น จำกัดวงอาทิตย์ออกเป็นสีต่าง ๆ ได้ ทำให้มองเห็นเป็นสีรวมกัน เรียกว่า แสงขาว (Visible light) เมื่อแสงขาวเดินทางผ่านปริซึม แสงขาวจะแยกออกเป็นสีรุ้งต่อเนื่องกัน เรียก ปรากฏการณ์นี้ว่า สเปกตรัมของแสงขาว ซึ่งช่วงความยาวคลื่นและความถี่ของสีต่าง ๆ ในแต่ สเปกตรัมของแสงขาวแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 : ความยาวคลื่นและความถี่ของสีต่าง ๆ ในแบบสเปกตรัมของแสงขาว

สีสเปกตรัม	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ความถี่ (เฮิรตซ์)
ม่วง	400 - 420	$(7.14 - 7.50) \times 10^{14}$
คราม - น้ำเงิน	420 - 490	$(6.12 - 7.14) \times 10^{14}$
เขียว	490 - 580	$(5.17 - 6.12) \times 10^{14}$
เหลือง	580 - 590	$(5.08 - 5.17) \times 10^{14}$
แสด (ส้ม)	590 - 650	$(4.62 - 5.08) \times 10^{14}$
แดง	650 - 700	$(4.29 - 4.62) \times 10^{14}$

แสงที่มีความยาวคลื่นเป็นช่วงจะเรียกว่า **スペクトรัมต่อเนื่อง** (Continuous spectrum) เช่น ปรากฏการณ์รุ้งกินน้ำ แต่ถ้าหากเราดูหรือสารประกอบมาให้ความร้อนสูงมาก ๆ จะเห็นว่าสารประกอบกล้ายเป็นอะตอมจะให้สเปกตรัมที่เป็นค่าเฉพาะความยาวคลื่น เรียกว่า **スペกตรัมแบบเส้น** (Line spectrum)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นอินฟาร์มาร์ทสามารถเกิดการหักเหได้ แต่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ในปี ค.ศ. 1900 มัคซ์ พลังค์ (Max Planck, ค.ศ. 1858 – 1947) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ทำการศึกษาเกี่ยวกับพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยพลังค์ตั้งข้อสันนิษฐานว่า พลังงานที่อะตอมปลดปล่อยออกมารือถูกคลื่นเข้าไปแต่ละครั้ง จะต้องมีปริมาณเฉพาะที่มีค่าน้อยที่สุดค่าหนึ่ง ซึ่งเรียกพลังงานปริมาณเหล่านี้ว่า ความตั้ม (Quantum) กล่าวคือ พลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมารือถูกคลื่นเข้าไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของคลื่น

จากทฤษฎีความตั้มของพลังค์ พอกจะสรุปได้ว่า พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยออกมานั้นมีลักษณะเป็นกลุ่ม ๆ ซึ่งจะเรียกว่า ความตั้มของพลังงาน โดยพลังงานของคลื่นแสงแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับความถี่ของแสงนั้นเอง ดังความสัมพันธ์ดังนี้

$$E = h\nu$$

พลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมารือถูกคลื่นเข้าไป มีหน่วยเป็น จูล (J)
ค่าคงที่ของพลังค์ มีค่า 6.626×10^{-34} จูล·วินาที ($J \cdot s$)
ความถี่ของคลื่น มีหน่วยเป็น รอบ/วินาที (s^{-1}) หรือ เอิร์ทซ์ (Hz)

ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ายังมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น ดังนี้

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ
มีค่าเท่ากับ 3.0×10^8 เมตร/วินาที (m/s)
ความยาวคลื่น มีหน่วยเป็น นาโนเมตร (nm)

ดังนั้น พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$



การทดลอง

การศึกษาสีของเบลวไฟ จากสารประกอบ และสเปกตรัมของธาตุบางชนิด



จุดประสงค์

- ทำการทดลองเพื่อศึกษาสีของเบลวไฟและสีเส้นสเปกตรัมของธาตุในสารประกอบบางชนิดได้
- ระบุได้ว่าสีของเบลวไฟและสีเส้นสเปกตรัมเกิดจากองค์ประกอบใดของสารประกอบ

ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์

- การสังเกต
- การเปรียบเทียบ
- การระบุ

จิตวิทยาศาสตร์

- ความสนใจฝรั่ง
- ความรับผิดชอบ
- การทำงานร่วมกับผู้อื่น



วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

- ผงโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
- กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl)
- ผงโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)
- ผงโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
- ผงโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)

- ผงแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)
- ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)
- ผงแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2)
- ผงแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3)
- ตะเกียงแลกอซอล

- คิมคีบ (forceps)
- กระজานาพิก้า
- แผ่นเกรตติง
- บีกเกอร์
- ลวดนิโครม

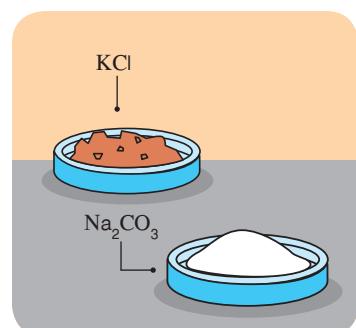
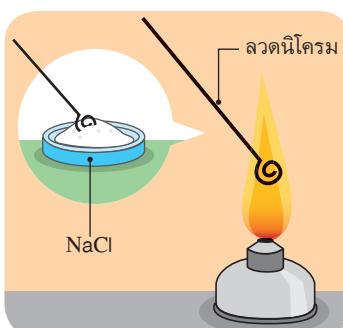


วิธีการทดลอง

1. ล้างลวดนิโครมด้วยกรด HCl เข้มข้น แล้วนำไปเผาให้ร้อน โดยทำซ้ำเช่นนี้อีกหลายครั้ง จนลวดนิโครมสะอาด (สังเกต ได้จากสีของเบลวไฟบนลวดนิโครมจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง)

2. จุ่มลวดนิโครมที่ได้จากข้อ 1. ลงในกรด HCl เข้มข้น แล้วนำไปแตะกับผง NaCl จากนั้นนำไปเผาในเบลวไฟจากตะเกียง แลกอซอลโดยตรง สังเกตสีของเบลวไฟที่เกิดขึ้น จากนั้นใช้แผ่นเกรตติงส่องดูเส้นสเปกตรัม แล้วบันทึกผล

3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1. และ 2. โดยเปลี่ยนมาใช้สารชนิดอื่นแทนผง NaCl เช่น Na_2CO_3 KCl K_2SO_4 CaCl_2 CaCO_3 BaCl_2 BaCO_3 เป็นต้น



▲ ภาพที่ 2.19



คำถามท้ายการทดลอง

- เมื่อเผาสารประกอบของโลหะชนิดเดียวกัน จะให้สีของเบลวไฟสีเดียวกันหรือไม่ และเส้นสเปกตรัมที่สังเกตได้เหมือนกันหรือไม่
- เมื่อเผาสารประกอบของโลหะชนิดเดียวกัน จะให้สีของเบลวไฟสีเดียวกันหรือไม่ และเส้นสเปกตรัมที่สังเกตได้เหมือนกันหรือไม่



อกิจกรรมการทดลอง

เมื่อสารประกอบชนิดต่าง ๆ มาเผาในเบลาไฟแล้ว จะเห็นสีของเบลาไฟเป็นสีต่าง ๆ ซึ่งสีของสารประกอบเกิดจากธาตุองค์ประกอบที่เป็นไอออนของโลหะ และเมื่อใช้แ芬เกรตติงส่องดู จะพบว่าสีนั้นสเปกตรัมของแต่ละธาตุจะมีลักษณะที่ไม่เหมือนกัน และมีค่าเฉพาะตัวไม่ซ้ำกัน ดังนี้

สารประกอบ	สีของเบลาไฟที่เกิดขึ้น	สีของสีนั้นสเปกตรัมที่ส่องด้วยเกรตติง
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	สีเหลือง	สีเหลืองเข้ม
โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	สีเหลือง	สีเหลืองเข้ม
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	สีม่วง	สีม่วงเข้ม
โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)	สีม่วง	สีม่วงเข้ม
แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)	สีแดงอิฐ	สีแดงส้มเข้ม
แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)	สีแดงอิฐ	สีแดงส้มเข้ม
แบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2)	สีเขียวอมเหลือง	สีเขียว
แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3)	สีเขียวอมเหลือง	สีเขียว

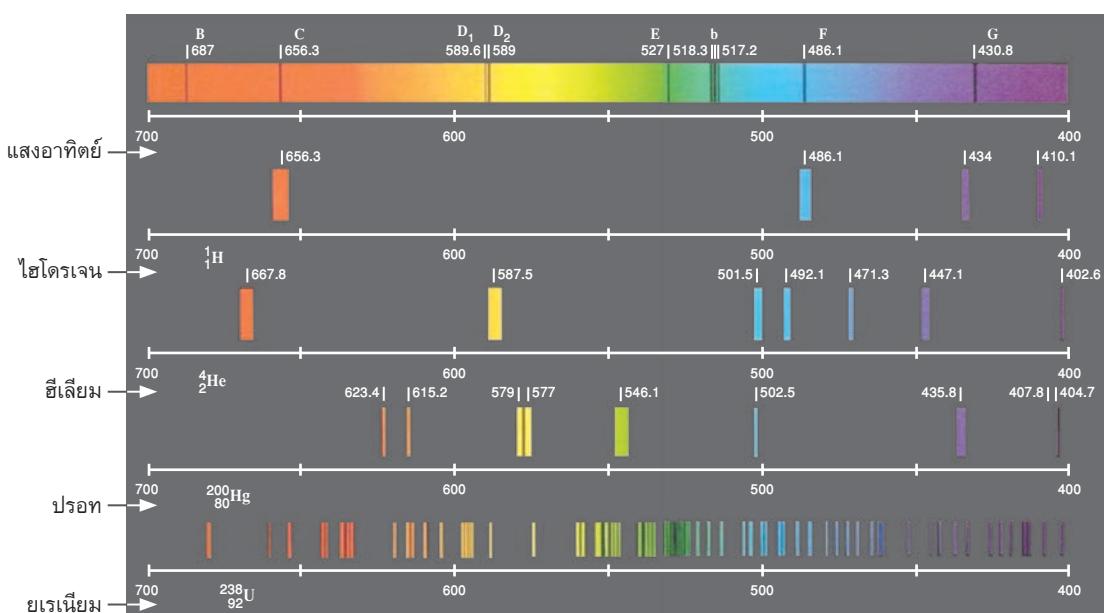
3. สเปกตรัมของธาตุและการแปลความหมาย จากกิจกรรมการศึกษาสีของเบลาไฟจากสารประกอบ และสเปกตรัมของธาตุบางชนิด อธิบายได้ว่า อิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่อยู่รอบ ๆ นิวเคลียสมีพลังงานเฉพาะตัวอยู่ในระดับชั้นพลังงานต่ำ เรียกว่า **สถานะพื้น** (ground state) ซึ่งเมื่ออิเล็กตรอนถูกกระตุ้นให้มีพลังงานสูงขึ้น อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ขึ้นไปในระดับชั้นพลังงานที่สูงขึ้น เรียกว่า **สถานะกระตุ้น** (excited state) ซึ่งอิเล็กตรอนในสถานะนี้จะไม่เสถียร (เนื่องจากมีพลังงานสูงมาก) อิเล็กตรอนจึงมีการรายพลังงานออกมานំบุญช่วย เพื่อให้พลังงานในอะตอมลดลง จนกระทั่งอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่กลับเข้าสู่ระดับที่มีพลังงานต่ำกว่าสถานะกระตุ้น



▲ ภาพที่ 2.20 รูปkinน้ำเป็นสเปกตรัมต่อเนื่อง

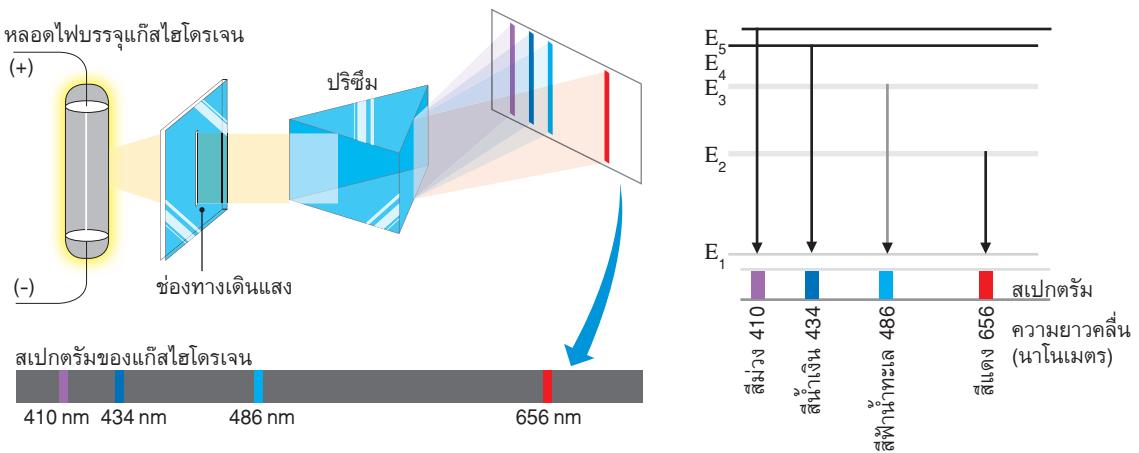
นักวิทยาศาสตร์ใช้อะตอมของไฮโดรเจนมาเป็นตัวอย่างในการแปลความหมายของเส้นสเปกตรัม เนื่องจากอะตอมของไฮโดรเจนเป็นแก๊สสีขาวที่ให้อะตอมอยู่ห่างกันมาก ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวมากกระทำต่อกัน และอะตอมนั้นมีอิเล็กตรอนเพียง 1 อิเล็กตรอน

จากการทดลองหาเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนหลาย ๆ ครั้ง นักวิทยาศาสตร์จึงพบว่าอะตอมของไฮโดรเจนให้เส้นสเปกตรัมได้หลายเส้นและมีลักษณะเหมือนกันทุกครั้ง จึงสามารถสรุปได้ว่า อิเล็กตรอนในอะตอมของไฮโดรเจนขึ้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้นที่มีพลังงานแตกต่างกันได้หลายระดับ ซึ่งค่าพลังงานของสเปกตรัมแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนภายในอะตอมจะกระตุ้นพลังงานสูงมายังระดับพลังงานต่ำ และออกจากเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนแล้ว นักวิทยาศาสตร์ยังได้ศึกษาสเปกตรัมของอะตอมของธาตุอื่น ๆ ด้วย ซึ่งพบว่าอะตอมของธาตุจะมีค่าพลังงานได้บางค่าและมีเส้นสเปกตรัมเฉพาะตัวไม่ซ้ำกัน ดังรูป



▲ ภาพที่ 2.21 เส้นสเปกตรัมของธาตุบางชนิด

ต่อมา约翰น์ ยากออบ บัลเมอร์ (Johann Jakob Balmer) ได้ศึกษาการเกิดสเปกตรัมของแก๊สไฮโดรเจน พบร่วมกับ สเปกตรัมของแก๊สไฮโดรเจนที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มี 4 เส้น คือ สีม่วง สีน้ำเงิน สีฟ้า น้ำทะเล และสีแดง จึงสรุปได้ว่า อิเล็กตรอนในอะตอมของแก๊สไฮโดรเจน ที่อยู่ในสถานะพื้น เมื่อได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจะขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงขึ้นได้แตกต่างกัน 4 ระดับ และเมื่อคายพลังงานเพื่อกลับเข้าสู่ระดับพลังงานเดิม จะคายพลังงานไม่เท่ากัน ซึ่งมี 4 ค่า แต่ละค่ามีความยาวคลื่นและพลังงานต่างกัน ดังรูป



▲ ภาพที่ 2.22 การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของธาตุไฮโดรเจน

การท่อตอมของไฮโดรเจนมีหลายระดับพลังงาน ทำให้ศึกษาต่อไปอีกจึงพบว่า ผลต่างระหว่างพลังงานของเส้นสเปกตรัมที่อยู่ติดกันจะมีค่าไม่เท่ากัน กล่าวคือ เมื่อเริ่มต้นจะมีค่าของผลต่างระหว่างพลังงานมากและจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อระดับชั้นพลังงานเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 : ผลต่างพลังงานของเส้นสเปกตรัมที่มองเห็นได้ของอะตอมไฮโดรเจน

สเปกตรัม	ความยาวคลื่น (nm)	พลังงาน (kJ)	ผลต่างระหว่างพลังงานของเส้นสเปกตรัมที่อยู่ติดกัน (kJ)
ม่วง	410	4.84×10^{-22}	2.70×10^{-23}
น้ำเงิน	434	4.57×10^{-22}	4.90×10^{-23}
ฟ้า	486	4.08×10^{-22}	
แดง	565	3.02×10^{-22}	10.6×10^{-23}

จากตาราง สามารถสรุปได้ว่า

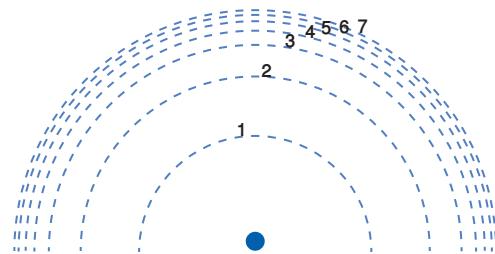
1. เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานในปริมาณที่เหมาะสม อิเล็กตรอนจะขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าระดับพลังงานเดิม แต่จะไปอยู่ในระดับพลังงานโดยย่อมขึ้นกับปริมาณพลังงานที่ได้รับ ซึ่งการที่อิเล็กตรอนขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานสูงขึ้น จะทำให้อะตอมไม่เสถียร อิเล็กตรอนจึงต้องกลับมาอยู่ในระดับพลังงานที่ต่ำกว่า ซึ่งในการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนนั้น จะมีการคายพลังงานออกมานะ

2. การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนระหว่างระดับพลังงานที่อยู่ติดกัน ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนขั้มระดับได้ แต่อย่างไรก็ตามอิเล็กตรอนจะไม่สามารถขึ้นไปอยู่บริเวณระหว่างระดับพลังงานได้

3. ระดับพลังงานต่ำจะอยู่ห่างกันมากกว่าระดับพลังงานที่สูงขึ้นไป

การศึกษาเกี่ยวกับเส้นสเปกตรัมของอะตอมของไฮโดรเจนนี้ เป็นการนำไปสู่การนำเสนอแบบจำลองอะตอมของโบร์ โดยในปี ค.ศ. 1913 นีลส์ โบร์ (Niels Bohr, ค.ศ. 1885 – 1962) นักวิทยาศาสตร์ชาวเดนมาร์ก ได้เสนอทฤษฎีอะตอมที่อธิบายได้โดย pragmatics การเกิดเส้นของแสงที่เรียกว่า สเปกตรัม (Spectrum) และได้นำความรู้เรื่องสเปกตรัมมาสร้างแบบจำลองอะตอมขึ้นมาใหม่ โดยโบร์ได้ใช้อะตอมของไฮโดรเจนในการอธิบายแบบจำลองอะตอมที่เขานำเสนอ ทั้งนี้ เพื่อให้เห็นลักษณะการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเมื่อได้รับพลังงานกระตุ้น

ต่อมาได้มีการใช้ตัวเลขแสดงถึงระดับพลังงานของอิเล็กตรอน คือ $n = 1$ หมายถึง ระดับพลังงานที่ 1 ซึ่งอยู่ใกล้กับนิวเคลียสมากที่สุด และชั้นตัดออกไปเป็น $n = 2, 3, 4, 5,$... ซึ่งหมายถึง ระดับพลังงานที่ 2, 3, 4, 5 และสูงขึ้นไปตามลำดับ

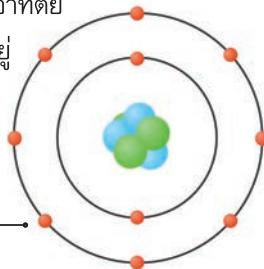


▲ ภาพที่ 2.23 ระดับชั้นพลังงานตามแบบจำลองของอะตอมของโบร์ ซึ่งระบุห่างระหว่างแต่ละระดับชั้นจะมีค่าไม่เท่ากัน

สรุปทฤษฎีแบบจำลองอะตอมของโบร์

- อะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสอยู่ตรงกลางของอะตอม โดยมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่โดยรอบอะตอมเป็นระดับพลังงานที่มีค่าพลังงานเฉพาะ คล้ายกับวงโคจรของดาวเคราะห์รอบดวงอาทิตย์
- แต่ละระดับชั้นพลังงานจะมีพลังงานไม่เท่ากัน โดยระดับชั้นพลังงานที่อยู่ใกล้กับนิวเคลียสที่สุดจะมีพลังงานต่ำที่สุด คือ ชั้น $n = 1$ และชั้นตัด ๆ ไปเป็น $n = 2, 3, 4, \dots$ ซึ่งจะมีพลังงานสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามลำดับ

ภาพที่ 2.24 แบบจำลองอะตอมของโบร์



Chemistry Focus

สเปกตรัมของอะตอม

การศึกษาเกี่ยวกับสเปกตรัมของอะตอมในวิชาเคมี ทำให้ทราบว่าอะตอมมีหลายระดับชั้นพลังงาน โดยในแต่ละระดับชั้นพลังงานจะมีพลังงานไฟฟ้าไม่เท่ากัน ซึ่งการคำนวณหาพลังงานที่อิเล็กตรอนใช้ในการเปลี่ยนระดับชั้น ศึกษาได้จากเรื่องพิสิกส์อะตอมโดยอิเล็กตรอนจะเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานได้โดยการดูดกลืนหรือคายพลังงานเป็นปริมาณ ΔE ซึ่งหาได้จากสมการ $\Delta E = E_{ni} - E_{nf}$



แบบจำลองอะตอมของโบร์



1.5 แบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอก

แบบจำลองอะตอมของบอร์มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถอธิบายการเกิดสเปกตรัมที่เกิดจากอะตอมของธาตุที่มี helyo หรือเล็กตرونได้ แต่จะอธิบายได้ดีกับอะตอมขนาดเล็กที่มีอิเล็กตرونเดียว เช่น ไฮโดรเจน และเป็นการอธิบายโครงสร้างอะตอมในระดับสองมิติเท่านั้น

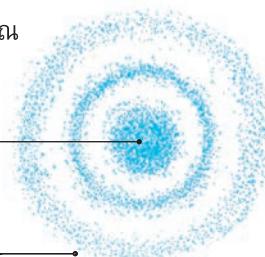
ต่อมา教授วิทยาศาสตร์จึงศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของอิเล็กตرون พบร่วมกับ อิเล็กตرونสามารถเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาค ซึ่งการค้นพบนี้ทำให้นักวิทยาศาสตร์เลิกศึกษาเกี่ยวกับตำแหน่งของ อิเล็กตرون แต่กลับหันมาศึกษาเกี่ยวกับโอกาสหรือความเป็นไปได้ที่จะพบอิเล็กตرونในบริเวณรอบ ๆ นิวเคลียส ซึ่งจากการศึกษาดังกล่าว ทำให้พบว่า บริเวณที่มีโอกาสพบอิเล็กตرونมากกว่า บริเวณอื่น ๆ ได้แก่ บริเวณใกล้กับนิวเคลียส และโอกาสที่จะพบอิเล็กตرونในระยะห่างออกไปจะค่อยๆ น้อยลงตามลำดับ

สรุปทฤษฎีแบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอก

- อะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง และมีอิเล็กตرونเคลื่อนที่อยู่รอบ ๆ นิวเคลียสทั่วทั้งอะตอม โดยมีพิศทางการเคลื่อนที่อย่างไม่แน่นอน ทำให้โอกาสที่จะพบอิเล็กตرونในบริเวณต่าง ๆ ของอะตอม มีได้ไม่เท่ากัน
- บริเวณที่มีกลุ่มหมอกหนาแน่นจะมีโอกาสพบอิเล็กตرونมาก ซึ่งจะอยู่บริเวณใกล้ ๆ นิวเคลียส และเมื่อย้ายห่างออกจากนิวเคลียส กลุ่มหมอกจะจางลงจน "มีโอกาสพบอิเล็กตرونได้น้อย"

บริเวณที่มีกลุ่มหมอกทึบแสดงว่า ——————
มีโอกาสพบอิเล็กตرونได้มากกว่า ——————

ภาพที่ 2.25 แบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอก



แบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอกที่นักวิทยาศาสตร์เสนอขึ้นมา นี้ ทำให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างของอะตอมมากขึ้น และสามารถเข้าใจปรากฏการณ์บางอย่างที่ไม่สอดคล้องกับทฤษฎีอะตอมของบอร์ได้ เช่น อธิบายได้ว่าเพระเหตุใดอิเล็กตرونจึงไม่ถูก proton ดึงดูดเข้าไปในนิวเคลียส โดยพิจารณาว่าอิเล็กตرونประพฤติตัวเป็นคลื่นนิรrov นิวเคลียสนั้นเอง และอธิบายได้ว่า เพระเหตุใดในการเกิดพันธะเคมี อิเล็กตرونจึงเข้าคู่กันได้โดยไม่ผลักกัน โดยให้พิจารณาว่า อิเล็กตرونเป็นคลื่น ซึ่งสามารถเกิดการแทรกสอดกันได้ เป็นต้น

แบบจำลองอะตอมแบบต่าง ๆ นั้น ถูกสร้างขึ้นมาตามจินตนาการบนพื้นฐานของความรู้ ตามแต่ละยุคสมัยนั้น ๆ และเมื่อนักวิทยาศาสตร์ค้นพบข้อบกพร่อง หรือมีความรู้ใหม่ ๆ เกิดขึ้น ก็จะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงแบบจำลองอะตอม เพื่อให้เกิดความเหมาะสมและถูกต้อง ต่อไป





Prior Knowledge

การจัดเรียนอิเล็กตรอน
ในอะตอมจะมีหลักการ
อย่างไร



2. การจัดเรียนอิเล็กตรอนในอะตอม

จากการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองอะตอมแบบต่าง ๆ ของนักวิทยาศาสตร์ โดยการใช้สมการคณิตศาสตร์ชั้นสูงที่เรียกว่าสมการคลื่น เพื่อคำนวณหาระดับพลังงานของอิเล็กตรอน ทำให้ทราบว่าอิเล็กตรอนสามารถอยู่ในระดับชั้นพลังงานต่าง ๆ กันได้ ซึ่งในแต่ละระดับพลังงานจะมีจำนวนอิเล็กตรอนสูงสุดเท่าใด ให้พิจารณาจากข้อมูลการจัดเรียนอิเล็กตรอนของธาตุบางธาตุ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 : การจัดเรียนอิเล็กตรอนของธาตุบางธาตุ

ธาตุ	เลข อะตอม	จำนวนอิเล็กตรอนในระดับพลังงาน				ธาตุ	เลข อะตอม	จำนวนอิเล็กตรอนในระดับพลังงาน			
		n = 1	n = 2	n = 3	n = 4			n = 1	n = 2	n = 3	n = 4
H	1	1				Ne	10	2	8		
He	2	2				Na	11	2	8	1	
Li	3	2	1			Mg	12	2	8	2	
Be	4	2	2			Al	13	2	8	3	
B	5	2	3			Si	14	2	8	4	
C	6	2	4			P	15	2	8	5	
N	7	2	5			S	16	2	8	6	
O	8	2	6			Cl	17	2	8	7	
F	9	2	7			Ar	18	2	8	8	

เมื่อพิจารณาข้อมูลจากตาราง จะเห็นว่า จำนวนอิเล็กตรอนในระดับพลังงานที่ 1 มีได้มากที่สุด 2 อิเล็กตรอน ระดับพลังงานที่ 2 มีได้มากที่สุด 8 อิเล็กตรอน และจากการสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม พบว่า ระดับพลังงานที่ 3 มีได้มากที่สุด 18 อิเล็กตรอน ดังนั้น Bourjé จึงเสนอแนวคิดว่า “จำนวนอิเล็กตรอนที่อยู่ในแต่ละระดับชั้นพลังงานได้มีค่ามากที่สุดเท่ากับ $2n^2$ (เมื่อ n คือ ระดับชั้นพลังงาน)” ดังนั้น

ระดับพลังงาน $n = 1$ จำนวนอิเล็กตรอนที่บรรจุได้มากที่สุด คือ 2 อิเล็กตรอน

ระดับพลังงาน $n = 2$ จำนวนอิเล็กตรอนที่บรรจุได้มากที่สุด คือ 8 อิเล็กตรอน

ระดับพลังงาน $n = 3$ จำนวนอิเล็กตรอนที่บรรจุได้มากที่สุด คือ 18 อิเล็กตรอน

ระดับพลังงาน $n = 4$ จำนวนอิเล็กตรอนที่บรรจุได้มากที่สุด คือ 32 อิเล็กตรอน

จากความรู้เกี่ยวกับสมบัติของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและกลศาสตร์ควอนตัม ทำให้สามารถอธิบายถึงตำแหน่งของอิเล็กตรอนได้ว่า อิเล็กตรอนจะอยู่ในระดับชั้นพลังงานต่าง ๆ และในแต่ละชั้นจะมีชั้นพลังงานอยู่อีกด้วย ซึ่งกำหนดเป็น s p d และ f ตามลำดับ โดยตัวอย่างจำนวนระดับพลังงานอยู่ที่เป็นไปได้ในแต่ละระดับพลังงานตั้งแต่ระดับพลังงานที่ 1-4 เป็นดังนี้

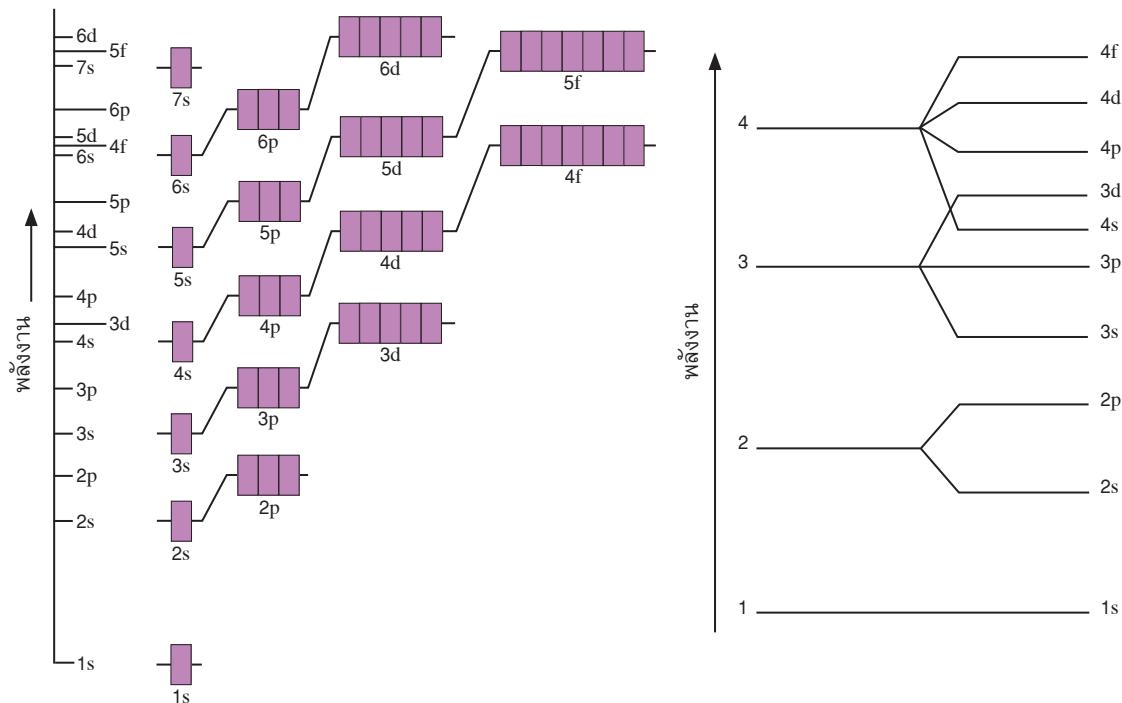
ระดับพลังงานที่ 1 ($n = 1$) มี 1 ระดับพลังงานอยู่ คือ s

ระดับพลังงานที่ 2 ($n = 2$) มี 2 ระดับพลังงานอยู่ คือ s p

ระดับพลังงานที่ 3 ($n = 3$) มี 3 ระดับพลังงานอยู่ คือ s p d

ระดับพลังงานที่ 4 ($n = 4$) มี 4 ระดับพลังงานอยู่ คือ s p d f

ซึ่งในแต่ละระดับพลังงานหลักจะประกอบด้วยระดับพลังงานอยู่ ดังนี้

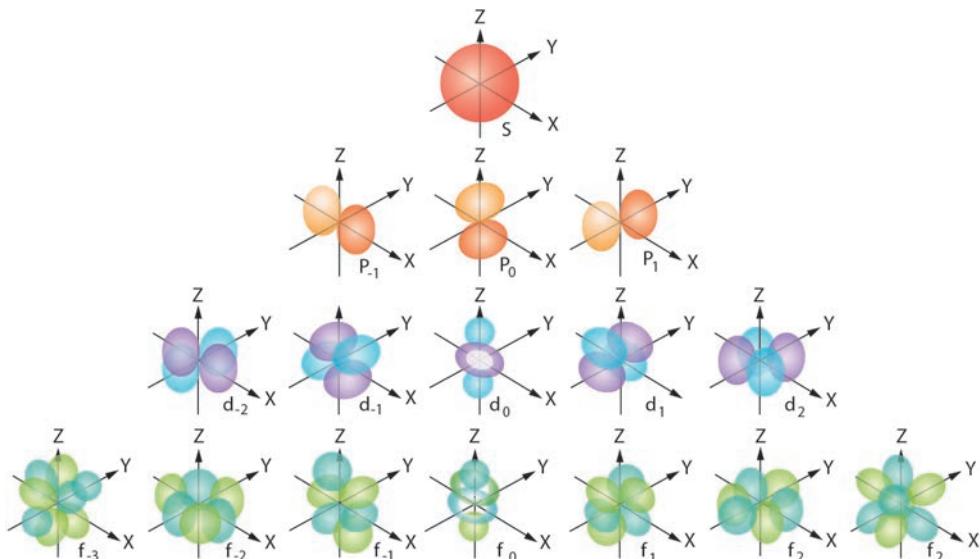


▲ ภาพที่ 2.26 แผนภาพแสดงระดับชั้นพลังงานอยู่ในระดับชั้นพลังงานหลัก

เนื่องจากอิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาในลักษณะ 3 มิติ การวัดความหนาแน่นของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนนั้น จึงหาได้จากโอกาสในการพบอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่รอบนิวเคลียสโดยบริเวณที่อยู่ใกล้กัน叫做 “electrostatic potential” และมีพลังงานเฉพาะค่าที่แตกต่างกันไป เรียกว่า “orbital” (orbital)

ออร์บิทัลแต่ละออร์บิทัลจะมีรูปแบบที่แตกต่างกัน ดังนี้ s ออร์บิทัล มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสเท่ากันทุกทิศทาง ทำให้เหมือนเห็นออร์บิทัลมีรูปร่างเป็นทรงกลมรอบนิวเคลียส p ออร์บิทัล มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสอยู่ในบริเวณแกน x y และ z เรียกว่า P_x P_y P_z ตามลำดับ ซึ่งมีรูปร่างคล้ายดัมเบลล์ทั้งสามออร์บิทัล และมีพลังงานเท่ากัน แต่มีทิศทางแตกต่างกัน d ออร์บิทัลจะมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น โดยออร์บิทัล d_{z^2} และ $d_{x^2-y^2}$ มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสอยู่ในแกน z และแกน x กับแกน y ตามลำดับ ส่วนออร์บิทัล d_{xy} d_{yz} และ d_{zx} มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสอยู่ในแกน x กับ y แกน y กับ z และแกน x กับ z ตามลำดับ ส่วน f ออร์บิทัล มีรูปร่างซับซ้อนมาก จึงควรศึกษาโดยละเอียดในระดับสูงต่อไป

รูปร่างออร์บิทัล s p d และ f มีลักษณะ ดังรูป



▲ ภาพที่ 2.27 รูปร่างออร์บิทัล s p d และ f

โดยในแต่ละออร์บิทัลจะสามารถบรรจุอิเล็กตรอนได้ 2 อิเล็กตรอน และแต่ละระดับพลังงานย่อย จะมีจำนวนออร์บิทัลที่แตกต่างกัน ดังตาราง

ตารางที่ 2.5 : จำนวนออร์บิทัลและอิเล็กตรอนที่สามารถบรรจุได้ในแต่ละระดับขั้นพลังงานย่อย

ระดับขั้นพลังงานย่อย	จำนวนออร์บิทัล	จำนวนอิเล็กตรอนที่สามารถบรรจุได้
s	1	2
p	3	6
d	5	10
f	7	14

2.1 หลักการกีดกันของเพาลี (Pauli exclusion principle)

หลักการนี้กล่าวว่า ในการจัดเรียงอิเล็กตรอนลงในแต่ละออร์บิทัลนั้น สามารถจัดเรียงอิเล็กตรอนได้มากที่สุดเพียง 2 อิเล็กตรอนเท่านั้น และทั้ง 2 อิเล็กตรอนจะต้องมีสมบัติที่แตกต่างกัน คือ อิเล็กตรอนคู่นั้นต้องมีทิศทางของอิเล็กตรอนต่างกัน โดยถ้ามีอิเล็กตรอนตัวหนึ่งมีทิศทางขึ้นแล้ว อิเล็กตรอนอีกตัวหนึ่งต้องมีทิศทางลง

ถ้าออร์บิทัล เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\boxed{}$ การเขียนสัญลักษณ์แสดงอิเล็กตรอนจะสามารถเขียนได้ ดังนี้

1. มี 1 อิเล็กตรอนในออร์บิทัล เรียกวิธีการจัดเรียงแบบนี้ว่า อิเล็กตรอนเดียว โดยสามารถเขียนแสดงได้ ดังนี้ $\boxed{1}$ หรือ $\boxed{1}$

2. มี 2 อิเล็กตรอนในออร์บิทัล เรียกวิธีการจัดเรียงแบบนี้ว่า อิเล็กตรอนคู่ โดยสามารถเขียนแสดงได้ ดังนี้ $\boxed{11}$

แต่หากจัดเรียงเป็น $\boxed{11}$ หรือ $\boxed{11}$ จะไม่สอดคล้องกับหลักการกีดกันของเพาลี

2.2 หลักอาฟบauer (Aufbau principle)

หลักการนี้กล่าวว่า การจัดเรียงอิเล็กตรอนลงในแต่ละออร์บิทัลจะต้องจัดเรียงลงในออร์บิทัลที่มีพลังงานต่ำสุดก่อน แล้วจึงจัดเรียงลงในออร์บิทัลถัดไปที่มีพลังงานสูงขึ้น

ตารางที่ 2.6 : ลำดับการบรรจุอิเล็กตรอนลงในระดับพลังงานย่อย

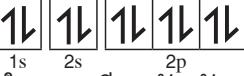
ระดับพลังงานหลัก	ระดับพลังงานย่อยที่มีอยู่ในแต่ละระดับพลังงานหลัก
$n = 1$	$1s^2$
$n = 2$	$2s^2$ $2p^6$
$n = 3$	$3s^2$ $3p^6$ $3d^{10}$
$n = 4$	$4s^2$ $4p^6$ $4d^{10}$ $4f^{14}$
$n = 5$	$5s^2$ $5p^6$ $5d^{10}$ $5f^{14}$
$n = 6$	$6s^2$ $6p^6$ $6d^{10}$
$n = 7$	$7s^2$ $7p^6$
$n = 8$	$8s^2$

2.3 กฎของชุนด์ (Hund's rule)

กฎนี้กล่าวว่า การบรรจุอิเล็กตรอนลงในออร์บิทัลที่มีระดับพลังงานเท่ากัน จะต้องบรรจุอิเล็กตรอนให้อยู่ในลักษณะเดี่ยวให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เช่น มี 2 อิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงาน $2p$ การบรรจุอิเล็กตรอนที่ถูกต้องตามกฎของชุนด์เป็น ดังนี้ $\boxed{1} \boxed{1}$ แต่ถ้าบรรจุเป็น $\boxed{1} \boxed{1}$ จะดัดแปลงการบรรจุที่ผิด เพราะไม่เป็นไปตามกฎของชุนด์

2.4 การบรรจุอิเล็กตรอนแบบเต็มและแบบครึ่ง

การบรรจุอิเล็กตรอนจนเต็มในทุกอิอร์บิทัลที่มีพลังงานเท่ากัน เรียกว่า การบรรจุแบบเต็ม ซึ่งจะส่งผลให้ออร์บิทัลนั้นมีความเสถียรมากที่สุด และการบรรจุอิเล็กตรอนลงในอิอร์บิทัลที่ทำให้ออร์บิทัลมีความเสถียรของลงมา คือ การบรรจุอิเล็กตรอนอยู่เพียงครึ่งเดียวเหมือนกันทั้งหมดในทุกอิอร์บิทัลที่มีพลังงานเท่ากัน ซึ่งเรียกวิธีการบรรจุแบบนี้ว่า การบรรจุแบบครึ่ง ตัวอย่างการบรรจุอิเล็กตรอนแบบเต็มและแบบครึ่ง ดังนี้

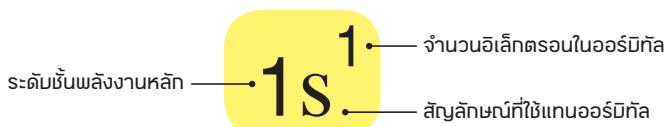
การบรรจุแบบเต็ม: 

$1s^1$ $1s^1$ $1s^1$ $1s^1$ $1s^1$

การบรรจุแบบครึ่ง: 

$1s^1$ $1s^1$ $1s^1$ $1s^1$ $1s^1$

ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการเขียนสัญลักษณ์แสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนในอิอร์บิทัลสามารถเขียนได้เป็น $1s^1$ โดยมีความหมาย ดังนี้



▲ ภาพที่ 2.28 การเขียนสัญลักษณ์แสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนในอิอร์บิทัล

การจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานย่อยของธาตุบางชนิด แสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 : การจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานย่อยของธาตุบางชนิด

เลข อะตอม	สัญลักษณ์ ธาตุ	การจัดเรียงอิเล็กตรอน ในระดับชั้นพลังงานย่อย	เลข อะตอม	สัญลักษณ์ ธาตุ	การจัดเรียงอิเล็กตรอน ในระดับชั้นพลังงานย่อย
1	H	$1s^1$	13	Al	$[Ne] 3s^2 3p^1$
2	He	$[1s^2]$	14	Si	$[Ne] 3s^2 3p^2$
3	Li	$[He] 2s^1$	15	P	$[Ne] 3s^2 3p^3$
4	Be	$[He] 2s^2$	19	K	$[Ar] 4s^1$
5	B	$[He] 2s^2 2p^1$	20	Ca	$[Ar] 4s^2$
6	C	$[He] 2s^2 2p^2$	21	Sc	$[Ar] 4s^2 3d^1$
11	Na	$[Ne] 3s^1$	22	Ti	$[Ar] 4s^2 3d^2$
12	Mg	$[Ne] 3s^2$	23	V	$[Ar] 4s^2 3d^3$

สรุปหลักการจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอม

- อิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับชั้นพลังงานนอกสุด เรียกว่า เวลานซ์อิเล็กตรอน (valance electron) ซึ่งมีค่าไม่เกิน 8
- เมื่อมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนมากขึ้น สามารถเขียนแบบย่อได้ โดยเขียนธาตุหมู่ VIIIA แล้วตามด้วยจำนวนอิเล็กตรอนที่เหลือ เช่น Li เขียนแบบสมบูรณ์ คือ $1s^2 2s^1$ และสามารถเขียนแบบย่อได้ คือ $[He] 2s^1$ (He เป็นธาตุหมู่ VIIIA ซึ่งมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2$)
- ในกรณีของธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 21 – 30 (Sc-Zn) จะมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนที่แตกต่างจากธาตุ 20 ตัวแรก เพราะธาตุทั้ง 10 ตัวนี้เป็นธาตุในกลุ่มแทรนซิชัน แต่อย่างไรก็ตามธาตุทั้ง 10 ตัวนี้ยังคงมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนตามหลักการจัดเรียงอิเล็กตรอนเช่นกัน



อะตอมและ
ตารางธาตุ



Prior Knowledge

เกณฑ์ใดบ้างที่สามารถนำ
มาใช้ในการจัดธาตุให้เป็น[?]
หมวดหมู่

3. ตารางธาตุ

เนื่องจากมีการค้นพบธาตุจำนวนมาก นักวิทยาศาสตร์จึง[?]
ได้จำแนกและจัดหมวดหมู่ของธาตุที่คล้ายคลึงกันให้อยู่ร่วมกัน[?]
จะเกิดเป็นตารางธาตุที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ดังนี้



ตารางธาตุ

The Periodic Table is divided into two main groups:

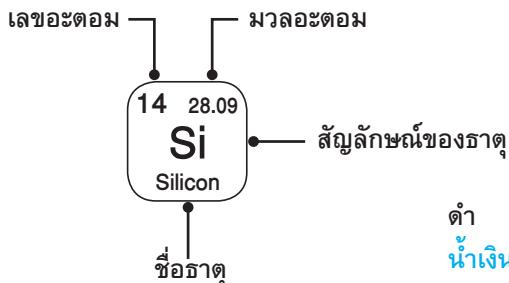
- Group A (representative elements):** Elements 1A through 8A.
- Group B (transition elements):** Elements 2A through 8B.

The table is organized by period (rows) and group (columns). The first column (1A) includes Hydrogen (H). The second column (2A) includes Helium (He). The third column (3B) includes Lithium (Li), Beryllium (Be), Sodium (Na), Magnesium (Mg), Potassium (K), Calcium (Ca), Rubidium (Rb), Strontium (Sr), Cesium (Cs), and Barium (Ba). The fourth column (4B) includes Scandium (Sc), Titanium (Ti), Vanadium (V), Chromium (Cr), Manganese (Mn), Iron (Fe), Ruthenium (Ru), Rhodium (Rh), and Palladium (Pd). The fifth column (5B) includes Yttrium (Y), Zirconium (Zr), Niobium (Nb), Molybdenum (Mo), Technetium (Tc), Tantalum (Ta), Tungsten (W), Rhenium (Re), Osmium (Os), Iridium (Ir), and Platinum (Pt). The sixth column (6B) includes Lanthanum (La), Hafnium (Hf), and Actinium (Ac). The seventh column (7B) includes Rutherfordium (Rf), Dubnium (Db), Seaborgium (Sg), Bohrium (Bh), Hassium (Hs), Meitnerium (Mt), and Darmstadtium (Ds). The eighth column (8B) includes Cerium (Ce), Praseodymium (Pr), Neodymium (Nd), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Europium (Eu), Thorium (Th), Protactinium (Pa), Uranium (U), Neptunium (Np), Plutonium (Pu), and Americium (Am).

▲ ภาพที่ 2.29 ตารางธาตุและสมบัติของธาตุ



ສັນລັກເໝັນຂອງຮາຕຸ



ດຳ
ນ້ຳເຈີນ
ແດງ
ໝາວ

ຂອງແຂ້ງ¹
ຂອງເຫລວ²
ແກ້ສ³
ຮາດຸສັງເຄຣະທໍ⁴

ຄຸນສນັບຕິຂອງຮາຕຸ

ໄວໂໂດເຈນ

- ມີສຳນະເປັນແກ້ສ
- ມີຈຸດເຕືອດ ຈຸດຫລອມເຫລວ ແລະ ຄວາມ
ໜາແນ່ນຕໍ່າ
- ໄໝ່ນໍາໃໝ່ພໍາແລະ ຄວາມຮ້ອນ
- ມີຄ່າ IE_1 ແລະ EN ສູງ

ໂລຫະຫຼຸງ 1A ແລະ 2A

- ມີສຳນະເປັນຂອງແຂ້ງ
- ມີຈຸດເຕືອດ ຈຸດຫລອມເຫລວ ແລະ ຄວາມໜາແນ່ນສູງ
- ນໍາໄຟຟ່າແລະ ຄວາມຮ້ອນໄດ້ຕື່ມາກ
- ມີຄ່າ IE_1 ແລະ EN ຕໍ່າ

ໂລຫະແກຣນສີເບັນ

- ມີສຳນະເປັນຂອງແຂ້ງ (ຍກເວັນປ່ອກເປັນ
ຂອງເຫລວ)
- ມີຄວາມເປັນເລື່ອທັນອກກ່າວໂລຫະຫຼຸງ 1A ແລະ 2A
- ມີຈຸດເຕືອດ ຈຸດຫລອມເຫລວ ແລະ ຄວາມໜາແນ່ນສູງ
- ນໍາໄຟຟ່າແລະ ຄວາມຮ້ອນໄດ້ຕື່ມາກ
- ມີຄ່າ IE_1 ແລະ EN ຕໍ່າ

ກິ່ງໂລຫະ

- ມີສຳນະເປັນຂອງແຂ້ງ
- ມີສົນບໍດຶກສູງກິ່ງກລາງຮະຫວ່າງໂລຫະກັນຍົດໂລຫະ
- ມີຈຸດເຕືອດ ຈຸດຫລອມເຫລວ ແລະ ຄວາມໜາແນ່ນສູງ
- ນໍາໄຟຟ່າໄດ້
- ມີຄ່າ IE_1 ແລະ EN ສູງ

ໂລຫະ

- ມີທີ່ 3 ສຳນະ
- ມີຈຸດເຕືອດ ຈຸດຫລອມເຫລວ ແລະ ຄວາມໜາແນ່ນຕໍ່າ
- ໄໝ່ນໍາໃໝ່ພໍາແລະ ຄວາມຮ້ອນ (ຍກເວັນແກຣໄຟຟ່າ)
- ມີຄ່າ IE_1 ແລະ EN ສູງ

ແກສເວື່ອຍ

- ມີສຳນະເປັນແກ້ສ
- ໄໝ່ວ່ອງໃນການເກີດປົງກິໂຮງຢາ

ແບນທານິບ

- ມີເລຂອະຕອມມາກ
- ເປັນຮາດຸຫຍາກ

ແອກກິບໄຟ

- ເປັນຮາຕຸກົມມັນດັງສື
- ມີເລຂອະຕອມມາກ
- ມີຮົ່ງຮົ່ວສັນ
- ເປັນຮາດຸຫຍາກ

11	12	13	14	15	16	17	18
1B	2B	3A	4A	5A	6A	7A	8A
11 1B	12 2B	Al Aluminum	Si Silicon	P Phosphorus	S Sulfur	Cl Chlorine	Ar Argon
29 63.55 Cu Copper	30 65.37 Zn Zinc	31 69.72 Ga Gallium	32 72.59 Ge Germanium	33 74.92 As Arsenic	34 78.96 Se Selenium	35 79.90 Br Bromine	36 83.80 Kr Krypton
47 107.87 Ag Silver	48 112.41 Cd Cadmium	49 114.82 In Indium	50 118.69 Sn Tin	51 121.75 Sb Antimony	52 127.60 Te Tellurium	53 126.90 I Iodine	54 131.30 Xe Xenon
79 196.97 Au Gold	80 200.59 Hg Mercury	81 204.37 Tl Thallium	82 207.19 Pb Lead	83 208.98 Bi Bismuth	84 (209) Po Polonium	85 (210) At Astatine	86 (222) Rn Radon
111 (280) Rg Roentgenium	112 (289) Cn Copernicium	113 (286) Nh Nihonium	114 (289) Fl Flerovium	115 (288) Mc Moscovium	116 (293) Lv Livermorium	117 (294) Ts Tennessine	118 (294) Og Oganesson
64 157.25 Gd Gadolinium	65 158.93 Tb Terbium	66 162.50 Dy Dysprosium	67 164.93 Ho Holmium	68 167.26 Er Erbium	69 168.93 Tm Thulium	70 173.04 Yb Ytterbium	71 174.97 Lu Lutetium
96 (247) Cm Curium	97 (247) Bk Berkelium	98 (251) Cf Californium	99 (252) Es Einsteinium	100 (257) Fm Fermium	101 (260) Md Mendelevium	102 (259) No Nobelium	103 (262) Lr Lawrencium

ในปี ค.ศ. 1817 โยหันน์ เดอเบอไรเนอร์ (Johann Döbereiner, ค.ศ. 1780 – 1849) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน เป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรกที่เสนอแนวคิดเกี่ยวกับการจัดเรียงตารางธาตุ โดยเสนอว่า “เมื่อเรียงธาตุตามมวลอะตอมจากน้อยไปหามาก มวลอะตอมของธาตุที่อยู่ต่ำลงมาจะเป็นค่าเฉลี่ยของมวลอะตอมของธาตุตัวบนและตัวล่าง” ซึ่งเรียกการจัดแบบนี้ว่า กฎ律ชุดสาม ตัวอย่างเช่น

ธาตุ	มวลอะตอม	ธาตุ	มวลอะตอม	ธาตุ	มวลอะตอม
ลิเทียม (Li)	6.94	แคลเซียม (Ca)	40.08	คลอรีน (Cl)	35.45
โซเดียม (Na)	22.99	สตรอนเซียม (Sr)	87.62	ไบร์มีน (Br)	79.90
โพแทสเซียม (K)	39.10	แบเรียม (Ba)	137.33	ไอโอดีน (I)	126.90

ตารางธาตุที่เดอเบอไรเนอร์เสนอขึ้น ไม่สามารถอธิบายการจัดธาตุให้เป็นไปตามกฎชุดสาม ได้ทั้งหมด ดังนั้น กฎนี้จึงไม่เป็นที่ยอมรับมากนัก

ต่อมาในปี ค.ศ. 1864 จอห์น นิวแลนด์ (John Newlands, ค.ศ. 1837 – 1898) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ได้นำเสนอกฎออกเตต (Law of Octaves) ซึ่งมีเจตนาสำคัญว่า “ถ้านำธาตุ 8 ธาตุ มาจัดเรียงตามมวลจากน้อยไปหามาก ธาตุตัวที่ 8 จะมีสมบัติคล้ายคลึงกับธาตุตัวที่ 1 เสมอ” (ไม่ว่าจะเป็นธาตุไฮโดรเจนและไฮเลียม) ซึ่งจัดเรียงได้ ดังนี้

Li	Be	B	C	N	O	F
Na	Ca	Al	Si	P	S	Cl
K	Mg					

▲ ภาพที่ 2.30

ตารางธาตุของนิวแลนด์สามารถใช้อธิบายได้เฉพาะธาตุที่มีมวลอะตอมน้อย ๆ เท่านั้น เมื่อธาตุมีมวลอะตอมมากขึ้นจะไม่สามารถจัดเรียงธาตุตามที่นิวแลนด์เสนอໄได้ ทำให้แนวคิดของนิวแลนด์ไม่เป็นที่ยอมรับในเวลาต่อมา

ในช่วงปี ค.ศ. 1869 – 1870 ดิมิทีรี อิวานovich เมเดเลอฟ (Dmitri Ivanovitch Mendeleev, ค.ศ. 1834 – 1907) นักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย และยูลิอุส โลثار์ ไมเออร์ (Julius Lothar Myer, ค.ศ. 1830 – 1895) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันได้ศึกษาเกี่ยวกับการจัดเรียงธาตุ ซึ่งทั้งสองได้เสนอแนวคิดที่คล้ายกันว่า “เมื่อนำธาตุมาจัดเรียงลำดับตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น จะได้กลุ่มของธาตุที่มีสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพเป็นชุด ๆ” โดยต่อมาได้เรียกแนวคิดนี้ว่า กฎพิริออดิก (periodic law) ซึ่งนับว่าเป็นก้าวแรกของตารางธาตุในสมัยปัจจุบัน

ทั้งนี้ผลงานของเมเดเลอฟได้รับการยอมรับมากกว่าผลงานของไมเออร์ เพราะผลงานของเมเดเลอฟมีการพัฒนาและเผยแพร่กว้างต่อเนื่อง จึงทำให้เมเดเลอฟได้รับเกียรติโดยตั้งชื่อเขาเป็นชื่อตารางธาตุว่า ตารางธาตุของเมเดเลอฟ (Periodic of Mendeleev)

Reihen	Gruppe I.	Gruppe II.	Gruppe III.	Gruppe IV.	Gruppe V.	Gruppe VI.	Gruppe VII.	Gruppe VIII.
	-	-	-	RH ⁴	RH ³	RH ²	RH	-
	R ² O	RO	R ² O ³	RO ²	R ² O ⁵	RO ³	R ² O ⁷	RO ⁴
1	H = 1							
2	Li = 7	Be = 9.4	B = 11	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19	
3	Na = 23	Mg = 24	Al = 27.3	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35.5	
4	K = 39	Ca = 40	- = 44	Ti = 48	V = 51	Cr = 52	Mn = 55	Fe = 56 ,Co = 59 Ni = 59 ,Cu = 63
5	(Cu = 63)	Zn = 65	- = 68	- = 72	As = 75	Se = 78	Br = 80	
6	Rb = 85	Sr = 87	? Yt = 88	Zr = 90	Nb = 94	Mo = 96	- = 100	Ru = 104, Rh = 104 Pd = 106, Ag = 108
7	(Ag = 108)	Cd = 112	In = 113	Sn = 118	Sb = 122	Te = 125	J = 127	
8	Cs = 133	Ba = 137	? Di = 138	? Ce = 140	-	-	-	- - - -
9	(-)	-	-	-	-	-	-	
10	-		? Er = 178	? La = 180	Ta = 182	W = 184	-	Os = 195, Ir = 197 Pt = 198, Au = 199
11	(Au = 199)	Hg = 200	Tl = 204	Pb = 207	Bi = 208	-	-	
12	-	-	-	Th = 231	Th = 23	-	U = 240	- - - -

▲ ภาพที่ 2.31

ผลงานที่มีชื่อเสียงที่สุดผลงานหนึ่งของเมเดเลอฟ คือ การทำนายสมบัติของธาตุที่ในสมัยนั้นยังไม่ได้ถูกค้นพบ เช่น ธาตุเอคา – ซิลิคอน (ธาตุที่อยู่ใต้ซิลิคอน) ซึ่งในเวลาต่อมาธาตุนี้ถูกค้นพบและมีชื่อเรียกว่า ธาตุเจอร์เมเนียม (Germanium, Ge) โดยสมบัติของธาตุเอคา – ซิลิคอน ที่เมเดเลอฟได้ทำนายไว้มีความใกล้เคียงกับสมบัติของธาตุเจอร์เมเนียมที่ค้นพบเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าเมเดเลอฟจะสามารถถือวิทยาลัยสิ่งต่าง ๆ ในตารางธาตุได้อย่างมากมาย แต่ไม่สามารถถือวิทยาลัยได้ว่า เพาะเหตุใดจึงต้องจัดเรียงธาตุตามมวลอะตอม

ปี ค.ศ. 1913 เฮนรี โมสลีย์ (Henry Moseley, ค.ศ. 1887 – 1915) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ศึกษาเกี่ยวกับเลขอะตอม และพัฒนากฎพิริออดิกิของเมเดเลอฟใหม่儿ว่า “ควรจะจัดเรียงธาตุตามเลขอะตอม เนื่องจากสมบัติต่าง ๆ ของธาตุมีความสัมพันธ์กับปริมาณในนิวเคลียสหรือเลขอะตอมมากกว่า ‘มวลอะตอม’” นอกจากนี้โมสลีย์ยังได้ทำนายไว้ว่า ต้องเพื่อช่องว่างในตารางธาตุ เพื่อรอการค้นพบธาตุใหม่ในอนาคต ดังนั้น ตารางธาตุที่ใช้กันในปัจจุบันจึงได้รับการปรับปรุงมาจากตารางธาตุของเมเดเลอฟ โดยการเรียงธาตุตามลำดับของเลขอะตอมจากน้อยไปหามาก แทนการเรียงลำดับธาตุตามมวลอะตอม

ตารางธาตุที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ตารางธาตุที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แสดงรายการของธาตุที่มีอยู่ในโลก แบ่งออกเป็น 7 คาบ (periods) และ 18 หมู่ (groups) ตามระบบ IUPAC ดังนี้

- หมู่ (group)**

 - หมู่ 1A: Hydrogen (H)
 - หมู่ 2A: Lithium (Li), Beryllium (Be)
 - หมู่ 3A: Sodium (Na), Potassium (K)
 - หมู่ 4A: Magnesium (Mg), Calcium (Ca), Scandium (Sc), Titanium (Ti), Vanadium (V), Chromium (Cr), Manganese (Mn), Iron (Fe), Cobalt (Co), Nickel (Ni), Copper (Cu), Zinc (Zn)
 - หมู่ 5A: Boron (B), Aluminum (Al), Gallium (Ga), Germanium (Ge), Tin (Sn), Antimony (Sb)
 - หมู่ 6A: Carbon (C), Nitrogen (N), Oxygen (O)
 - หมู่ 7A: Fluorine (F), Neon (Ne), Chlorine (Cl), Bromine (Br), Iodine (I), Atoms (At)
 - หมู่ 8A: Helium (He), Argon (Ar), Krypton (Kr), Xenon (Xe), Radon (Rn)
 - หมู่ 18A: ไม่มีชื่อ

- คาบ (period)**

 - คาบ 1: 1 ธาตุ (Hydrogen)
 - คาบ 2: 2 ธาตุ (Lithium, Beryllium)
 - คาบ 3: 3 ธาตุ (Sodium, Potassium, Magnesium)
 - คาบ 4: 3 ธาตุ (Calcium, Scandium, Titanium)
 - คาบ 5: 3 ธาตุ (Vanadium, Chromium, Manganese)
 - คาบ 6: 3 ธาตุ (Iron, Cobalt, Nickel)
 - คาบ 7: 3 ธาตุ (Copper, Zinc, Gallium)
 - คาบ 8: 3 ธาตุ (Germanium, Tin, Antimony)
 - คาบ 9: 3 ธาตุ (Phosphorus, Sulfur, Arsenic)
 - คาบ 10: 3 ธาตุ (Chlorine, Bromine, Iodine)
 - คาบ 11: 3 ธาตุ (Thallium, Lead, Bismuth)
 - คาบ 12: 3 ธาตุ (Mercury, Cadmium, Polonium)
 - คาบ 13: 3 ธาตุ (Gold, Mercury, Livermorium)
 - คาบ 14: 3 ธาตุ (Platinum, Rhodium, Rhenium)
 - คาบ 15: 3 ธาตุ (Iridium, Osmium, Osmium)
 - คาบ 16: 3 ธาตุ (Ruthenium, Rhodium, Rhodium)
 - คาบ 17: 3 ธาตุ (Technetium, Ruthenium, Rhodium)
 - คาบ 18: 3 ธาตุ (Zirconium, Niobium, Molybdenum)
 - คาบ 19: 3 ธาตุ (Yttrium, Lanthanum, Cerium)
 - คาบ 20: 3 ธาตุ (Actinium, Thorium, Protactinium)
 - คาบ 21: 3 ธาตุ (Rutherfordium, Dubnium, Seaborgium)
 - คาบ 22: 3 ธาตุ (Bohrium, Hassium, Meitnerium)
 - คาบ 23: 3 ธาตุ (Darmstadtium, Roentgenium, Copernicium)
 - คาบ 24: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 25: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 26: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 27: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 28: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 29: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 30: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 31: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 32: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 33: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 34: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 35: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 36: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 37: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 38: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 39: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 40: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 41: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 42: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 43: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 44: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 45: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 46: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 47: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 48: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 49: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 50: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 51: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 52: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 53: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 54: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 55: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 56: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 57: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 58: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 59: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 60: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 61: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 62: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 63: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 64: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 65: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 66: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 67: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 68: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 69: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 70: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)
 - คาบ 71: 3 ธาตุ (Nh, Fl, Mc)

▲ ภาพที่ 2.32 ตารางธาตุที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ตามตารางธาตุที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ธาตุที่อยู่ในแนวตั้ง เรียกว่า หมู่ (group) แบ่งออกได้ทั้งหมด 18 例外 และธาตุที่อยู่ในแนวโน้น เรียกว่า คาบ (periods) แบ่งออกเป็น 7 คาบ

หมู่ (group)

- แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ธาตุกลุ่ม A เรียกว่า ธาตุ REPRESENTATIVE ELEMENT และธาตุกลุ่ม B เรียกว่า ธาตุ TRANSITION ELEMENT
- ตามระบบ IUPAC ธาตุในกลุ่ม A ประกอบด้วยหมู่ 1, 2, 13 - 18 และธาตุในกลุ่ม B ประกอบด้วยหมู่ 3 - 12
- ตามระบบของสหราชอาณาจักร เรียกว่า ธาตุในกลุ่ม A ประกอบด้วยหมู่ 1A - 8A และธาตุในกลุ่ม B ประกอบด้วยหมู่ 1B - 8B (โดยเรียงจาก 3B, 4B, 5B, 6B, 7B, 8B, 1B และ 2B ตามลำดับ)

คาบ (periods)

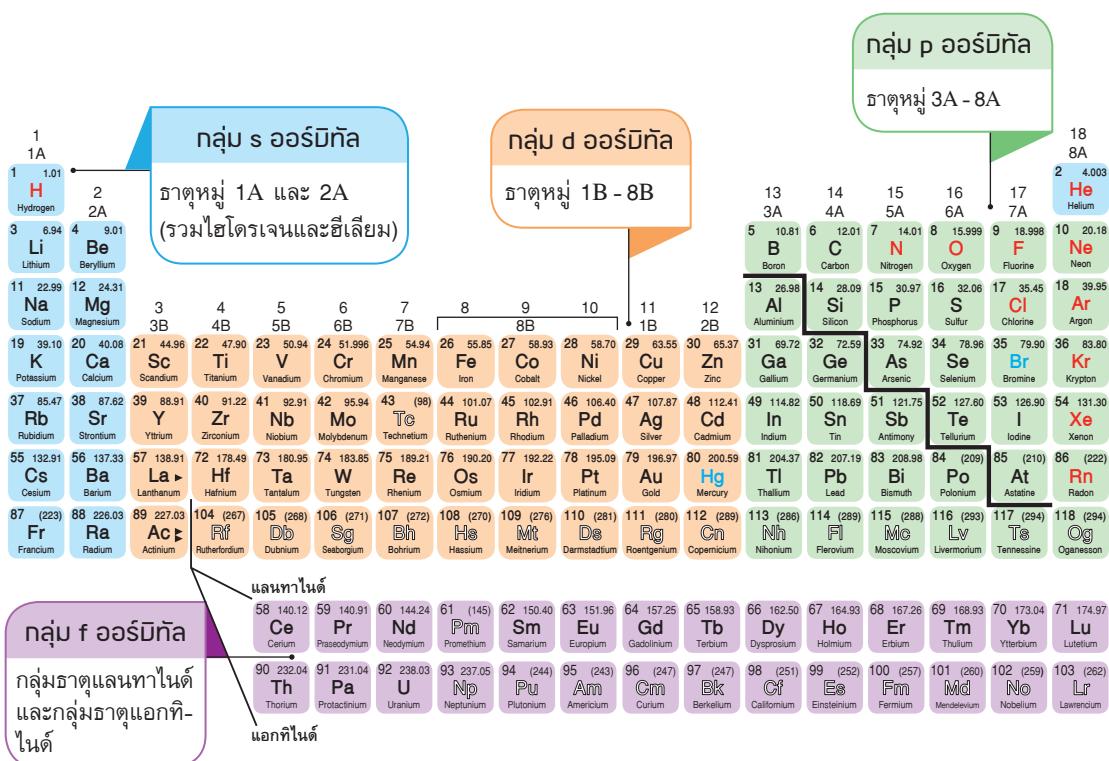
- คาบที่ 1 มีธาตุ 2 ธาตุ
- คาบที่ 2 และ 3 มีธาตุครบละ 8 ธาตุ
- คาบที่ 4 และ 5 มีธาตุครบละ 18 ธาตุ
- คาบที่ 6 มีธาตุทั้งหมด 32 ธาตุ โดยแบ่งเป็นธาตุกลุ่มแรก ซึ่งประกอบด้วยธาตุกลุ่ม A และ B จำนวน 18 ธาตุ และธาตุในกลุ่มธาตุกลุ่มแรก จำนวน 14 ธาตุ
- คาบที่ 7 มีธาตุทั้งหมด 32 ธาตุ โดยแบ่งเป็นธาตุกลุ่มแรก ซึ่งประกอบด้วยธาตุกลุ่ม A และ B จำนวน 18 ธาตุ และธาตุในกลุ่มธาตุกลุ่มแรก จำนวน 14 ธาตุ

หากพิจารณาตามการจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานย่อยของธาตุจะพบว่า ในระดับชั้นพลังงานย่อยที่มีพลังงานสูงสุดสามารถแบ่งออกได้ ดังนี้



การจัดธาตุในตารางธาตุ

ตามการจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานย่อย



▲ ภาพที่ 2.33

การที่นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาและค้นพบธาตุเพิ่มขึ้นจำนวนมาก โดยที่ไม่ได้มีการกำหนดหลักเกณฑ์ในการตั้งชื่อและสัญลักษณ์ของธาตุที่แน่นอน จึงทำให้ในบางครั้งนักวิทยาศาสตร์ได้เสนอธาตุที่ค้นพบใหม่เป็นธาตุตัวเดียวกัน แต่มีการเรียกชื่อที่ต่างกัน ดังนั้น องค์กรนานาชาติทางเคมี (IUPAC) จึงกำหนดข้อตกลงในการเรียกชื่อธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 100 ขึ้นไป โดยให้อ่านชื่อธาตุตามตัวเลขภาษาละติน ซึ่งลงท้ายเสียงของธาตุด้วยอุปสรรค (-ium) ยกเว้นหมู่ 7A ลงท้ายเสียงของธาตุด้วยchein (-ine) เช่น Ts อ่านว่า เทนเนสเชิน (Tennessee) และหมู่ 8A ให้ลงท้ายเสียงของธาตุด้วยoön (-on) เช่น Og อ่านว่า ออแกเนสเซ่น (Oganesson)





Prior Knowledge

ราตุเรพรีเซนเททีฟในหมู่
เดียวกันมีจำนวนเวลน์
อิเล็กตรอนเท่ากัน
หรือไม่?



4. สมบัติของธาตุตามหมู่ และตามค่า

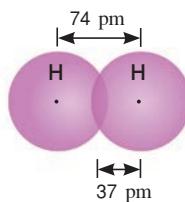
ราตุเรพรีเซนเททีฟในหมู่เดียวกันจะมีจำนวนเวลน์
อิเล็กตรอนเท่ากัน และราตุที่อยู่ในคาดเดียวกันมีเวลน์
อิเล็กตรอนในระดับพลังงานหลักเดียวกัน ราตุรีพรีเซนเททีฟมีสมบัติคล้ายคลึงกันตามหมู่
และตามค่า เช่น ขนาดอะตอม รัศมีไอออน พลังงานไอออโนไซซ์ อิเล็กโโทรเนกติกวิตี้
สัมพรรดภพอิเล็กตรอน

4.1 ขนาดอะตอม

จากแบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอกทำให้ทราบว่าการกระจายตัวของอิเล็กตรอนจะ¹
หนาแน่นมากในบริเวณใกล้นิวเคลียส และหนาแน่นน้อยลงเมื่ออยู่ห่างจากนิวเคลียสออกไป²
เรื่อยๆ ดังนั้น อะตอมจึงไม่มีขอบเขตหรือขนาดที่แน่นอน การบวกขนาดอะตอมของราตุ³
จึงสามารถบวกได้ด้วยรัศมีอะตอม โดยเป็นค่าประมาณเท่านั้น ซึ่งทำได้โดยสมมติว่าอะตอม
มีลักษณะเป็นทรงกลมที่เกิดพันธะกับอะตอมอื่น แล้วทำการวัดระยะห่างระหว่างนิวเคลียส⁴
ทั้งสองอะตอมนั้น โดยความยาวครึ่งหนึ่งของระยะห่างระหว่างนิวเคลียสทั้งสองอะตอม เรียกว่า⁵
รัศมีอะตอม ซึ่งรัศมีอะตอมแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

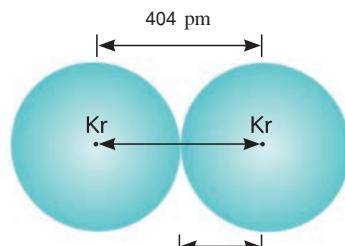
1. รัศมีโคเวเลนต์

ระยะทางครึ่งหนึ่งของความยาวพันธะโคเวเลนต์ที่เกิดจากอะตอมของราตุชนิดเดียวกัน ซึ่งการเกิดพันธะโคเวเลนต์นี้อะตอมทั้งสองจะมีการนำอิเล็กตรอนมาใช้ร่วมกัน



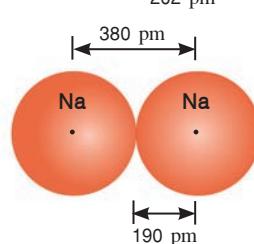
2. รัศมีแวนเดอร์วาลส์

ระยะทางครึ่งหนึ่งของระยะทางระหว่างนิวเคลียสของอะตอมที่อยู่ใกล้ที่สุด ซึ่งรัศมีแวนเดอร์วาลส์เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์ 2 โมเลกุล ซึ่งในที่นี้รัศมีแวนเดอร์วาลส์นั้นจะหมายถึง แรงแวนเดอร์วาลส์ที่เกิดจากอะตอมของแก๊สเดี่ยว



3. รัศมีโลหะ

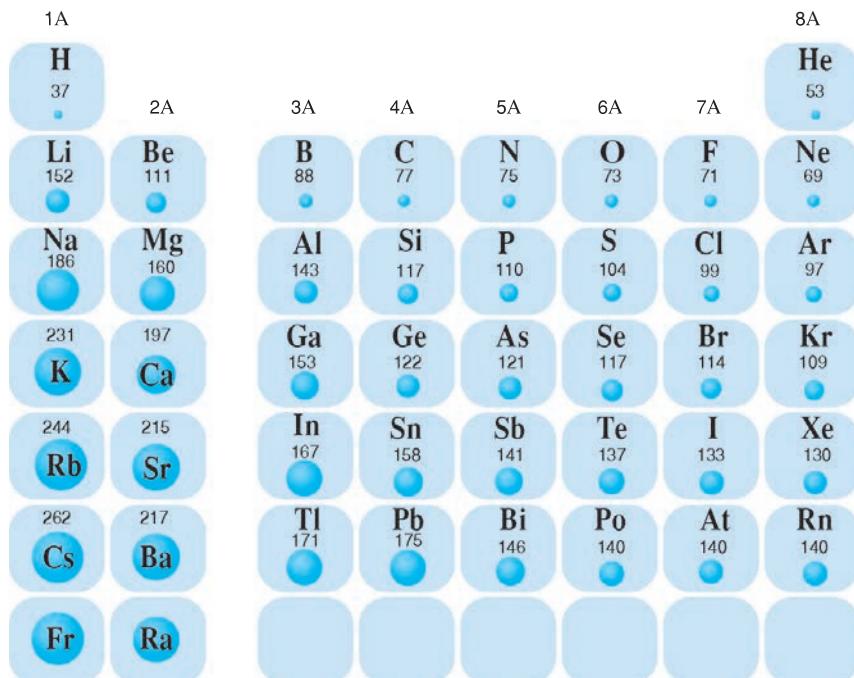
ระยะทางครึ่งหนึ่งของระยะห่างระหว่างนิวเคลียสของอะตอมโลหะที่อยู่ใกล้กันมากที่สุด



รัศมีแวนเดอร์วาลส์จะยาวกว่ารัศมีโคเวเลนต์เนื่องจากอะตอมที่สร้างพันธะโคเวเลนต์จะถูกยึดเหนี่ยวเข้าไปชิดกันมากกว่าอะตอมที่สัมผัสนกัน

▲ ภาพที่ 2.34 รัศมีอะตอมชนิดต่างๆ

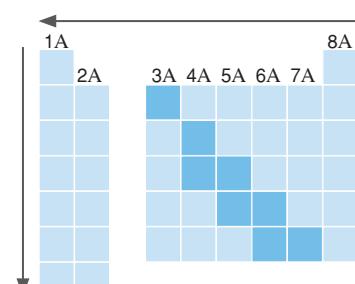
การศึกษารัศมีอะตอมของธาตุทำให้ทราบขนาดอะตอมของธาตุ และสามารถเปรียบเทียบขนาดอะตอมของธาตุที่อยู่ในคาบเดียวกันหรือหมู่เดียวกันได้ โดยตัวอย่างรัศมีอะตอมของธาตุในกลุ่ม A แสดงดังรูป



▲ ภาพที่ 2.35 รัศมีอะตอม (หน่วยพิโภเมตร) ของธาตุในกลุ่ม A

แนวโน้มของขนาดอะตอมของธาตุกลุ่ม A

- ในหมู่เดียวกัน อะตอมจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อมีเลขอะตอมเพิ่มขึ้น เนื่องจากธาตุในหมู่เดียวกัน จำนวนระดับชั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนจะมากขึ้น ทำให้แรงดึงดูดของโปรตอนกับเวลน์อิเล็กตรอนลดลง ดังนั้น ในหมู่เดียวกัน อะตอมจะมีขนาดใหญ่ขึ้นจากบนลงล่าง
- ในคาบเดียวกัน อะตอมจะมีขนาดเล็กเมื่อมีเลขอะตอมเพิ่มขึ้น เนื่องจากธาตุในคาบเดียวกันจะมีการจัดอิเล็กตรอนในระดับพลังงานหลักเท่ากัน แต่จำนวนโปรตอนในนิวเคลียสจะแตกต่างกัน โดยธาตุที่มีจำนวนโปรตอนมากจะดึงดูดอิเล็กตรอนได้มากกว่า ธาตุที่มีจำนวนโปรตอนน้อย ดังนั้น ในคาบเดียวกัน อะตอมจะมีขนาดใหญ่ขึ้นจากขวาไปซ้ายของตารางธาตุ



▲ ภาพที่ 2.36

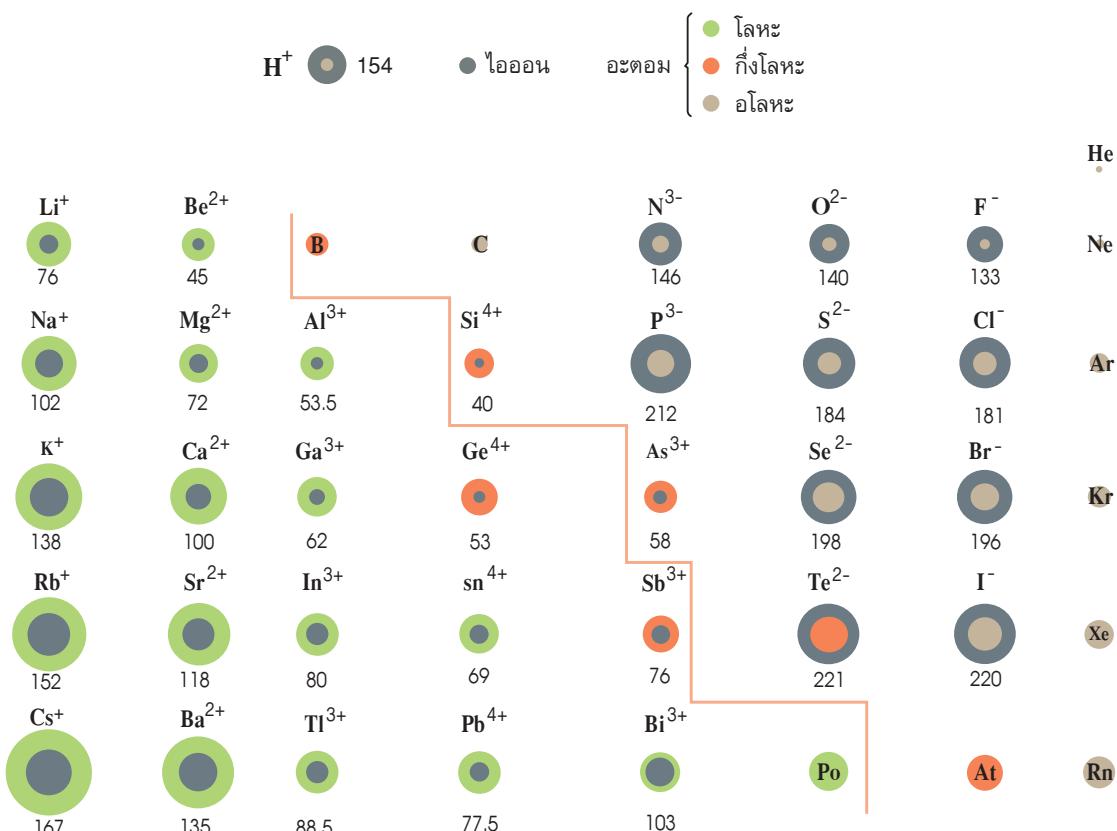
4.2 รัศมีไอออน

อะตอมของธาตุที่มีการรับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามาหรือเสียอิเล็กตรอนออกไป ทำให้อะตอมกล้ายเป็นไอออนบวกหรือไอออนลบ ซึ่งจะมีผลต่อรัศมีของธาตุ โดยจะพิจารณาจากระยะห่างระหว่างนิวเคลียสของไอออนคู่หนึ่ง ๆ ที่มีแรงดึงดูดเนื่องจากชั้นและกันในโครงสร้าง

ถ้าอะตอมของธาตุรับอิเล็กตรอนเข้ามาจะทำให้จำนวนอิเล็กตรอนมีมากกว่าจำนวนprotoon ในนิวเคลียส อัตราส่วนของแรงดึงดูดระหว่างprotoon กับอิเล็กตรอนจะลดลง ขนาดของไอออนลบ จึงใหญ่กว่าขนาดของอะตอมของธาตุชนิดเดียวกัน

ถ้าอะตอมของธาตุเสียอิเล็กตรอนออกไปจะทำให้จำนวนอิเล็กตรอนมีน้อยกว่าจำนวนprotoon ในนิวเคลียส อัตราส่วนของแรงดึงดูดระหว่างprotoon กับอิเล็กตรอนจะมากขึ้น ขนาดของไอออนบวก จึงเล็กกว่าขนาดของอะตอมของธาตุชนิดเดียวกัน

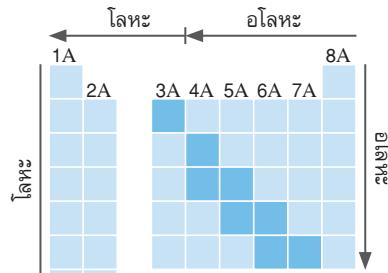
ตัวอย่างรัศมีไอออนของธาตุในกลุ่ม A และดังรูป



▲ ภาพที่ 2.37 รัศมีไอออน (หน่วยพิโภเมตร) ของธาตุในกลุ่ม A

แนวโน้มของรัศมีไออ่อนของธาตุในกลุ่ม A

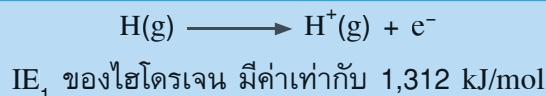
- ในหมู่เดียวกันจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อมีเลขอะตอมเพิ่มขึ้น
- เมื่อมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนในจำนวนที่เท่ากัน ไออ่อนบวกจะมีขนาดเล็กกว่าไออ่อนลบ เพราะจำนวน proton ในนิวเคลียสของไออ่อนบวกจะมีมากกว่าในนิวเคลียสของไออ่อนลบ
- ไออ่อนบวกที่มีประจุมากจะมีขนาดเล็กกว่าไออ่อนบวกที่มีประจุน้อย แต่ไออ่อนลบที่มีประจุมากจะมีขนาดใหญ่กว่าไออ่อนลบที่มีประจุน้อย



▲ ภาพที่ 2.38

4.3 พลังงานไอออกไซเซชัน

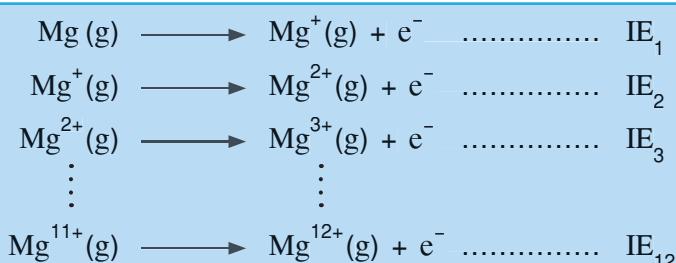
พลังงานไอออกไซเซชัน (Ionization energy : IE) หมายถึง พลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการดึงอิเล็กตรอนให้หลุดออกจากอะตอมในสภาพแก๊ส เช่น พลังงานไอออกไซเซชันของธาตุไฮโดรเจนเป็นไปตามสมการ ดังนี้



จากสมการ กล่าวได้ว่า การทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมของไฮโดรเจนจะต้องใช้พลังงานอย่างน้อยที่สุด 1,312 กิโลจูลต่้อมล นั่นคือ พลังงานไอออกไซเซชันของไฮโดรเจนอะตอมเท่ากับ 1,312 กิโลจูลต่้อมล

ไฮโดรเจนมี 1 อิเล็กตรอน จึงทำให้มีค่าพลังงานไอออกไซเซชันเพียงค่าเดียว แต่หากเป็นธาตุที่มีหลายอิเล็กตรอนก็จะมีค่าพลังงานไอออกไซเซชันได้หลายค่า โดยพลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการดึงอิเล็กตรอนให้หลุดออกจากอะตอมในสภาพแก๊ส เรียกว่า พลังงานไอออกไซเซชันลำดับที่ 1 เขียนย่อเป็น IE₁ ส่วนพลังงานในลำดับต่อ ๆ ไป จะเรียกว่า พลังงานไอออกไซเซชันลำดับที่ 2, 3, 4, ... เขียนย่อเป็น IE₂, IE₃, IE₄, ... ตามลำดับ ตัวอย่างเช่น

ธาตุแมกนีเซียมมีจำนวนอิเล็กตรอน 12 อิเล็กตรอน จึงมีค่า IE 12 ค่า ซึ่งสามารถเขียนสมการแสดงได้ ดังนี้



การดึงอิเล็กตรอนของนักจะดึงได้ง่าย เพราะนิวเคลียสส่งแรงดึงดูดมาน้อย ดังนั้น $IE_1 < IE_2 < IE_3 < \dots < IE_n$ โดยค่า IE_1 จะมีค่าน้อยที่สุด เพราะว่าดึงอิเล็กตรอนตัวนอกสุด ซึ่งจะดึงได้ง่ายกว่า และค่า IE_{12} จะมีค่ามากที่สุด เพราะว่าเป็นการดึงอิเล็กตรอนตัวที่อยู่ใกล้ นิวเคลียสมากที่สุด

ตารางที่ 2.8 : ค่าพลังงานไอออกไนเซชันของธาตุ 14 ธาตุแรกในตารางธาตุ (หน่วยเมกะจูล/โมล)

ธาตุ	IE_1	IE_2	IE_3	IE_4	IE_5	IE_6	IE_7	IE_8	IE_9	IE_{10}	IE_{11}	IE_{12}	IE_{13}	IE_{14}
H	1.312													
He	2.379	5.257												
Li	0.520	7.305	11.822											
Be	0.906	1.763	14.855	21.013										
B	0.807	2.433	3.665	25.033	32.834									
C	1.093	2.359	4.627	6.229	37.838	47.285								
N	1.407	2.862	4.585	7.482	9.452	53.274	64.368							
O	1.320	3.395	5.307	7.476	10.996	13.333	71.343	84.086						
F	1.687	3.381	6.057	8.414	11.029	15.171	17.874	92.047	106.443					
Ne	2.087	3.959	6.128	9.375	12.184	15.245	20.006	23.076	115.389	131.442				
Na	0.492	4.569	6.919	9.550	13.356	16.616	20.121	25.497	141.373	159.086				
Mg	0.744	1.457	7.739	10.547	13.636	18.001	21.710	25.663	31.650	35.469	170.003	189.379		
Al	0.584	1.823	2.751	11.584	14.837	18.384	23.302	27.466	31.905	38.464	42.661	201.283	222.327	
Si	0.793	1.583	3.238	4.362	16.098	19.791	23.793	29.259	33.884	38.740	45.941	50.519	235.218	257.932

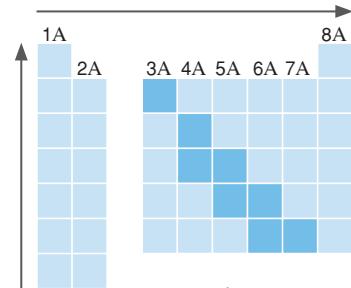
เนื่องจากธาตุแต่ละชนิดจะมีจำนวนอิเล็กตรอนไม่เท่ากัน ทำให้แต่ละธาตุมีจำนวนค่า IE ไม่เท่ากัน เช่น ธาตุไฮโดรเจนจะมีค่า IE_1 เท่านั้น ส่วนธาตุแมกนีเซียมมีค่า IE_{12} ค่า คือ IE_1 ถึง IE_{12} ดังนั้น หากจะเปรียบเทียบค่า IE ของธาตุแต่ละชนิดจะเปรียบเทียบที่ค่า IE_1 เท่านั้น

1A	8A													
H 1312	He 2372													
Li 520	Be 899	B 801	C 1086	N 1402	O 1314	F 1681	Ne 2081							
Na 492	Mg 738	Al 578	Si 786	P 1012	S 1000	Cl 1251	Ar 1521							
K 419	Ca 590	Ga 579	Ge 762	As 947	Se 941	Br 1140	Kr 1351							
Rb 403	Sr 549	In 558	Sn 709	Sb 834	Te 869	I 1008	Xe 1170							
Cs 376	Ba 503	Tl 589	Pb 716	Bi 703	Po 812	At -	Rn 1037							

▲ ภาพที่ 2.39 ค่าพลังงานไอออกไนเซชันลำดับที่ 1 (หน่วยกิโลจูล/โมล) ของธาตุในกลุ่ม A

แนวโน้มของค่าพลังงานไออ่อนในเซ็ปบันล้ำดับกี่ 1 (IE_1) ของธาตุในกลุ่ม A

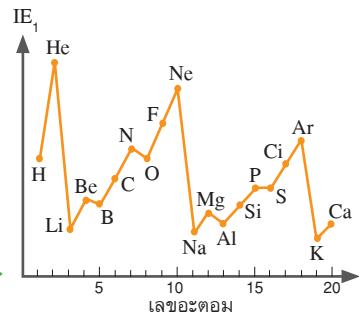
- ค่า IE_1 ตามหมู่จะลดลงจากบนลงล่าง เพราะเมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น จำนวนระดับขั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนจะมีมากขึ้น ระยะห่างระหว่างนิวเคลียสและเวลน์ซึ่งอิเล็กตรอนมากขึ้น ขนาดอะตอมจึงใหญ่ขึ้น ทำให้แรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสกับเวลน์ซึ่งอิเล็กตรอนลดลง อิเล็กตรอนจึงหลุดออกจากอะตอมได้ง่ายขึ้น



▲ ภาพที่ 2.40

- ค่า IE_1 ตามคาดจะมากขึ้นจากซ้ายไปขวา เพราะเมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น จำนวน proton ในนิวเคลียสจะมีมากขึ้น ขนาดอะตอมจึงเล็กลง ทำให้มีแรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสกับเวลน์ซึ่งอิเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้น อิเล็กตรอนจึงหลุดออกจากอะตอมไดยากขึ้น

ภาพที่ 2.41 ธาตุหมู่ 2A และธาตุหมู่ 5A มีค่า IE_1 สูงกว่าธาตุที่อยู่ใกล้เคียงกัน



หมายเหตุ : ค่า IE_1 ของธาตุหมู่ 2A จะสูงกว่าค่า IE_1 ของธาตุหมู่ 3A และค่า IE_1 ของธาตุหมู่ 5A จะสูงกว่าค่า IE_1 ของธาตุหมู่ 6A เนื่องจากการจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุหมู่ 2A เป็นแบบการบรรจุแบบเต็ม และการจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุหมู่ 5A เป็นแบบการบรรจุแบบครึ่ง ทำให้อะตอมของธาตุมีความเสถียร อิเล็กตรอนจึงหลุดออกจาก原子ขึ้น ดังนั้น ค่า IE_1 จึงสูง

4.4 อิเล็กโตรเนกາติวิตี้

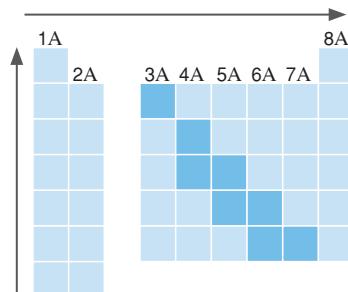
อิเล็กโตรเนกາติวิตี้ (Electronegativity : EN) หมายถึง ค่าความสามารถของอะตอมในการดึงดูดอิเล็กตรอนของอะตอมคู่ที่เกิดพันธะ เพื่อให้เกิดเป็นสารประกอบ ตัวอย่างค่าอิเล็กโตรเนกากิติวิตี้ของธาตุในตารางธาตุ แสดงดังรูป

1A							
1 H 2.20	2A	3A	4A	5A	6A	7A	
3 Li 0.98	4 Be 1.57	5 B 2.04	6 C 2.55	7 N 3.04	8 O 3.44	9 F 3.98	
11 Na 0.93	12 Mg 1.31	13 Al 1.61	14 Si 1.90	15 P 2.19	16 S 2.58	17 Cl 3.16	
19 K 0.82	20 Ca 1.00	31 Ga 1.81	32 Ge 2.01	33 As 2.18	34 Se 2.55	35 Br 2.96	
37 Rb 0.82	38 Sr 0.95	49 In 1.78	50 Sn 1.96	51 Sb 2.05	52 Te 2.1	53 I 2.66	
55 Cs 0.79	56 Ba 0.89	81 Tl 1.62	82 Pb 2.33	83 Bi 2.02	84 Po 2.0	85 At 2.2	
87 Fr 0.7	88 Ra 0.9						

▲ ภาพที่ 2.42 ค่าอิเล็กโตรเนกากิติวิตี้ของธาตุในกลุ่ม A

แนวโน้มของค่าอิเล็กโกรนกาติวิตต์ (EN) ของธาตุในกลุ่ม A

- ค่า EN ตามที่จะลดลงจากบนลงล่าง เพราะเมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น อะตอมจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้นิวเคลียสของอะตอมมีความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนลดลง ดังนั้น ค่า EN จึงลดลง
- ค่า EN ตามคาดจะเพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวา เพราะเมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น อะตอมจะมีขนาดเล็กลง ส่งผลให้นิวเคลียสของอะตอม มีความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น ดังนั้น ค่า EN จึงเพิ่มขึ้น



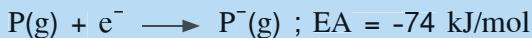
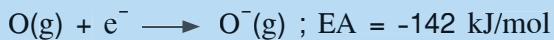
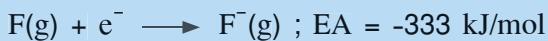
▲ ภาพที่ 2.43

4.5 สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน

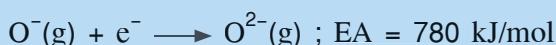
สมบัติทางเคมีที่สำคัญอีกประการหนึ่งของธาตุ คือ อะตอมของธาตุในสภาวะแก๊สสามารถรับ อิเล็กตรอนเพิ่มได้อย่างน้อย 1 อิเล็กตรอน เรียกสมบัตินี้ว่า สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน (Electron affinity : EA) เขียนสมการแสดงการเปลี่ยนแปลงได้ ดังนี้



จากสมการจะเห็นได้ว่า ค่าสัมพรรคภาพอิเล็กตรอนเป็นค่าพลังงานที่คายออกมาก ดังนั้น ค่าสัมพรรคภาพอิเล็กตรอนจะมีค่าเป็นลบ ตัวอย่างเช่น



จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่า พลุออรีนมีแนวโน้มในการรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่าออกซิเจนและ พอฟอรัส ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าค่าสัมพรรคภาพอิเล็กตรอนยังติดลบมากเท่าใด ธาตุจะสามารถรับอิเล็กตรอนเข้ามาสู่อะตอมได้ง่ายขึ้นเท่านั้น และเมื่ออะตอมรับอิเล็กตรอนแล้ว 1 อิเล็กตรอน การรับอิเล็กตรอนเพิ่มอีก 1 อิเล็กตรอน จะทำได้ยากขึ้น ค่าสัมพรรคภาพอิเล็กตรอนจึงอาจมีค่า เป็นบวกได้ เช่น



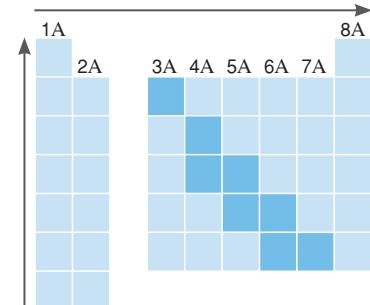
ตัวอย่างค่าสัมพรรคภาพอิเล็กตรอนของธาตุในกลุ่ม A แสดงดังรูป

	1A						8A	
H -72.8	2A	B -27.0	C -121.8	N > 0	O -141.0	F -328.2	He > 0	Ne > 0
Li -59.6	Be > 0	Al -41.8	Si -134.1	P -72.0	S -200.4	Cl -348.6	Ar > 0	
Na -52.9	Mg > 0	Ga -40	Ge -118.9	As -78	Se -195.0	Br -324.5	Kr > 0	
K -48.4	Ca -2.4	In -39	Sn -107.3	Sb -101.1	Te -190.2	I -295.2	Xe > 0	
Rb -46.9	Sr -5.0	Tl -37	Pb -35	Bi -90.9	Po -180	At -270	Rn > 0	
Cs -45.5	Ba -14.0	Nh	Fl	Mc				
Fr	Ra							

▲ ภาพที่ 2.44 ค่าสัมพ्रรคภำพอิเล็กตรอนของธาตุในกลุ่ม A

แนวโน้มของค่าสัมพ्रรคภำพอิเล็กตรอน (EA) ของธาตุในกลุ่ม A

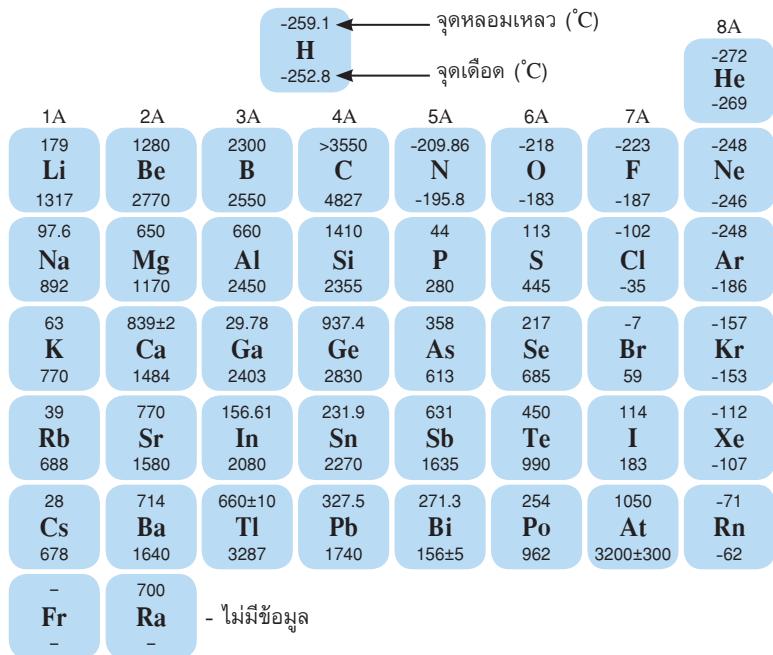
- ค่า EA ตามหลักเดิมลดลง เมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น เนื่องจากอะตอมมีขนาดใหญ่ขึ้นจากบันลังล่าง อิเล็กตรอนที่รับเข้ามาอยู่ห่างจากประจุบวกในนิวเคลียสมาก แรงดึงดูดจึงลดลง มีผลทำให้ค่า EA ลดลง
- ค่า EA ตามคาดจะเพิ่มขึ้น (ค่าเป็นลบมากขึ้น) เนื่องจากอะตอมมีขนาดเล็กลงจากซ้ายไปขวา ประจุบวกในนิวเคลียสเพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวา อิเล็กตรอนที่รับเข้ามาจึงถูกดึงดูดจากนิวเคลียสได้ง่าย มีผลทำให้ค่า EA เพิ่มขึ้น



▲ ภาพที่ 2.45

4.6 จุดเดือดและจุดหลอมเหลว

การทำให้อณุภาคของสารแยกออกจากกัน สามารถทำได้โดยการให้ความร้อนแก่สารนั้นจนสารมีอุณหภูมิสูงถึงจุดหลอมเหลวหรือจุดเดือด ซึ่งพลังงานความร้อนที่ให้แก่สารจะต้องใช้ในปริมาณมากหรือน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารนั้น กล่าวคือ สารที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากจะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง เช่น อะตอมของโลหะยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโลหะ ซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง การทำลายพันธะจึงต้องใช้พลังงานความร้อนมาก โลหะจึงมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง แต่อะตอมของโลหะยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ ซึ่งเป็นพันธะที่ค่อนข้างอ่อน การทำลายพันธะจึงใช้พลังงานความร้อนไม่มากนัก โลหะจึงมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวต่ำ โดยตัวอย่างจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของธาตุในกลุ่ม A เป็นดังนี้

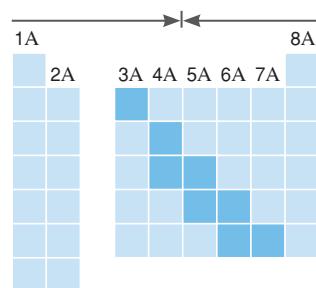


▲ ภาพที่ 2.46 จุดเดือดและจุดหลอมเหลวของธาตุในกลุ่ม A

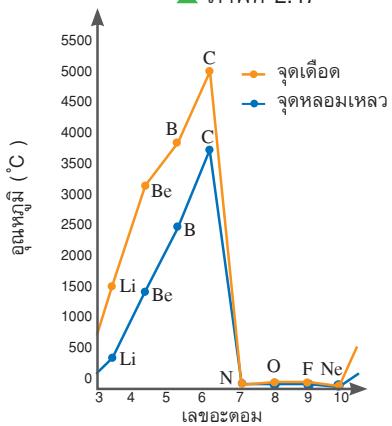
แนวโน้มของจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของธาตุในกลุ่ม A (ตามค่าบ)

- ส่วนที่ 1 คือ ธาตุหมู่ 1A - 4A จะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูงขึ้น ตามลำดับ โดยหมู่ 4A จะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูงที่สุด ซึ่งแนวนอนของหมู่ 1A - 3A สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนมีมากขึ้น แรงดึงดูดระหว่างprotoion ในนิวเคลียสกับเวเลนซ์อิเล็กตรอนจะมากขึ้น ส่วนหมู่ 4A นั้น ธาตุบางชนิด เช่น คาร์บอนมีโครงสร้างเป็นโครงผลึกร่างตาข่าย จึงทำให้มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง

- ส่วนที่ 2 คือ ธาตุหมู่ 5A - 8A จะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวลดลง ตามลำดับ และมีค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของธาตุเหล่านี้ เป็นแรงแวงแหนเดอร์วัลส์ ซึ่งแรงแวงแหนเดอร์วัลส์จะแปรผันตรงกับขนาดและมวลของธาตุ



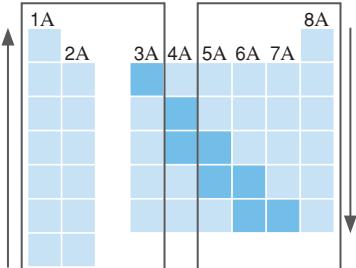
▲ ภาพที่ 2.47



▲ ภาพที่ 2.48 กราฟแสดงจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของธาตุในคบคับที่ 2

จุดเดือดและจุดหลอมเหลวของธาตุในกลุ่ม A (ตามหู่)

- ส่วนที่ 1 คือ ธาตุหู่ 1A - 3A ส่วนใหญ่จุดเดือดและจุดหลอมเหลวจะมีค่าลดลง เมื่อเลขอะตอมเพิ่มมากขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อจำนวนระดับชั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนอยู่มีมากขึ้น จะทำให้มีแรงดึงดูดระหว่างproto-on ในนิวเคลียสกับเวลอนซึ่งอิเล็กตรอนลดลง จุดเดือดและจุดหลอมเหลวจึงลดลงตามไปด้วย
- ส่วนที่ 2 คือ ธาตุหู่ 4A จุดเดือดและจุดหลอมเหลวมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน เนื่องจากธาตุในหู่นี้มีโครงสร้างและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมที่แตกต่างกัน จึงไม่สามารถสรุปเป็นแนวโน้มได้ เช่น ธาตุคาร์บอนและซิลิคอนเป็นธาตุที่มีโครงสร้างเป็นโครงผลึกร่างตาข่าย แต่พลังงานพันธะระหว่าง C กับ C จะมากกว่า Si กับ Si ดังนั้น จุดเดือดของคาร์บอนจะมากกว่าซิลิคอน
- ส่วนที่ 3 คือ ธาตุหู่ 5A - 8A จุดเดือดและจุดหลอมเหลวของธาตุจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเลขอะตอมเนื่องจากเมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของธาตุ (แรงวนเดอร์วัลส์) มีมากขึ้น จุดเดือดและหลอมเหลวจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



▲ ภาพที่ 2.49

4.7 เลขอะกซิเดชัน

สารประกอบเกิดขึ้นจากการรวมตัวของธาตุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยเมื่อธาตุที่มีพลังงานไอลอยด์ต่างกันมากสามารถมารวมตัวกัน อะตอมของธาตุจะเกิดการให้และรับอิเล็กตรอนซึ่งกันและกัน จนถูกแบ่งเป็นไอโอนบวกและไอโอนลบ yied เนื่องจากน้ำหนักอะตอมของธาตุต่างกัน จึงทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของธาตุทั้งสองจะใช้อิเล็กตรอนร่วมกันและเกิดอำนาจทางไฟฟ้าเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบ นักเคมีจึงได้มีการกำหนดเลขอะกซิเดชันเพื่อแสดงถึงค่าประจุไฟฟ้าของอะตอมของธาตุในโมเลกุลของสารประกอบหรือไอโอนของสารนั้น เช่น แก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) ประกอบด้วยไฮโดรเจนไอโอน (H^+) ที่มีประจุไฟฟ้าเป็น +1 ดังนั้น ไฮโดรเจนจะมีเลขอะกซิเดชันเป็น +1 และคลอไรด์ไอโอน (Cl^-) ที่มีประจุไฟฟ้าเป็น -1 ดังนั้น คลอรินจะมีเลขอะกซิเดชันเป็น -1 โดยการกำหนดค่าเลขอะกซิเดชันนั้นมีข้อตกลงสำคัญ ดังนี้

- อะตอมของธาตุอิสระ เช่น $\text{H}_2 \text{Na} \text{K} \text{O}_2 \text{S}_8$ เป็นต้น จะมีเลขอะกซิเดชันเท่ากับ 0
- ไอโอนของธาตุหู่ 1A - 3A เลขอะกซิเดชันมีค่าเป็น +1 +2 และ +3 ตามลำดับ เช่น
 - Na อุ่หู่ 1A เมื่อเป็นไอโอนจะเป็น Na^+ มีเลขอะกซิเดชันเท่ากับ +1
 - Ca อุ่หู่ 2A เมื่อเป็นไอโอนจะเป็น Ca^{2+} มีเลขอะกซิเดชันเท่ากับ +2
 - Al อุ่หู่ 3A เมื่อเป็นไอโอนจะเป็น Al^{3+} มีเลขอะกซิเดชันเท่ากับ +3
- ฟลูออรินมีเลขอะกซิเดชันเป็น -1 เสมอ เพราะมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงที่สุดในตารางธาตุ และธาตุในหู่ 7A ส่วนใหญ่จะมีเลขอะกซิเดชันเป็น -1 เช่นกัน

4. ออกซิเจนในสารประกอบส่วนใหญ่จะมีเลขออกซิเดชันเป็น -2 เช่น CaO ซึ่ง O จะมีเลขออกซิเดชันเป็น -2 แต่ถ้าเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ ออกซิเจนจะมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -1 เช่น H_2O_2 ซึ่ง O จะมีเลขออกซิเดชันเป็น -1

5. ไฮโดรเจนจะมีเลขออกซิเดชันได้ 2 ค่า ดังนี้

- เมื่อรวมตัวกับธาตุโลหะ หรือกลุ่มของไอออนลบ ไฮโดรเจนจะมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +1 เช่น H_2O

• เมื่อรวมตัวกับธาตุโลหะ ไฮโดรเจนจะมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -1 เช่น CaH_2

6. โมเลกุลของสารประกอบ หรือไอออนจะมีเลขออกซิเดชันรวมเท่ากับประจุของสารนั้น เช่น

- NH_4^+ เกิดจาก H ซึ่งมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +1 และ N ซึ่งมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -3 ดังนั้น ไอออนนี้จึงมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +1

• NO_3^- เกิดจาก N ซึ่งมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +5 และ O ซึ่งเลขออกซิเดชันเท่ากับ -2 ดังนั้น ไอออนนี้จึงมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -1

• SO_4^{2-} เกิดจาก S ซึ่งมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +6 และ O ซึ่งมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -2 ดังนั้น ไอออนนี้จึงมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -2

• PO_4^{3-} เกิดจาก P ซึ่งมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +5 และ O ซึ่งมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -2 ดังนั้น ไอออนนี้จึงมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -3

• CO_2 เกิดจาก C ซึ่งมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +4 และ O ซึ่งมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -2 ดังนั้น สารประกอบนี้จึงมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 0

• CaCO_3 เกิดจาก Ca ซึ่งมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +2 C ซึ่งมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +4 และ O ซึ่งมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -2 ดังนั้น สารประกอบนี้จึงมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 0

H -1,+1									He
Li +1	Be +2	B +3	C -4,+4 +2	N -3,+5 +4 +3,+2	O -1,-2	F -1			
Na +1	Mg +2	Al +3	Si -4,+4 +2	P -3,+5 +3	S -2,+6 +4,+2	Cl -1,+7 +5,+3			
K +1	Ca +2	Ga +3,+1	Ga +4,+2	As -3,+5 +3	Se -2,+6 +4,+2	Br -1,+7 +5,+1	Kr +2		
Rb +1	Sr +2	In +3,+1	Sn +4,+2	Sb -3,+5 +3	Te -2,+6 +4,+2	I -1,+7 +5,+1	Xe +8,+6 +4,+2		
Cs +1	Ba +2	Tl +1	Pb +4,+2	Bi +3	Po +4,+2	At -1	Rn +2		
Fr +1	Ra +2								

▲ ภาพที่ 2.50 เลขออกซิเดชันของธาตุในกลุ่ม A





Prior Knowledge

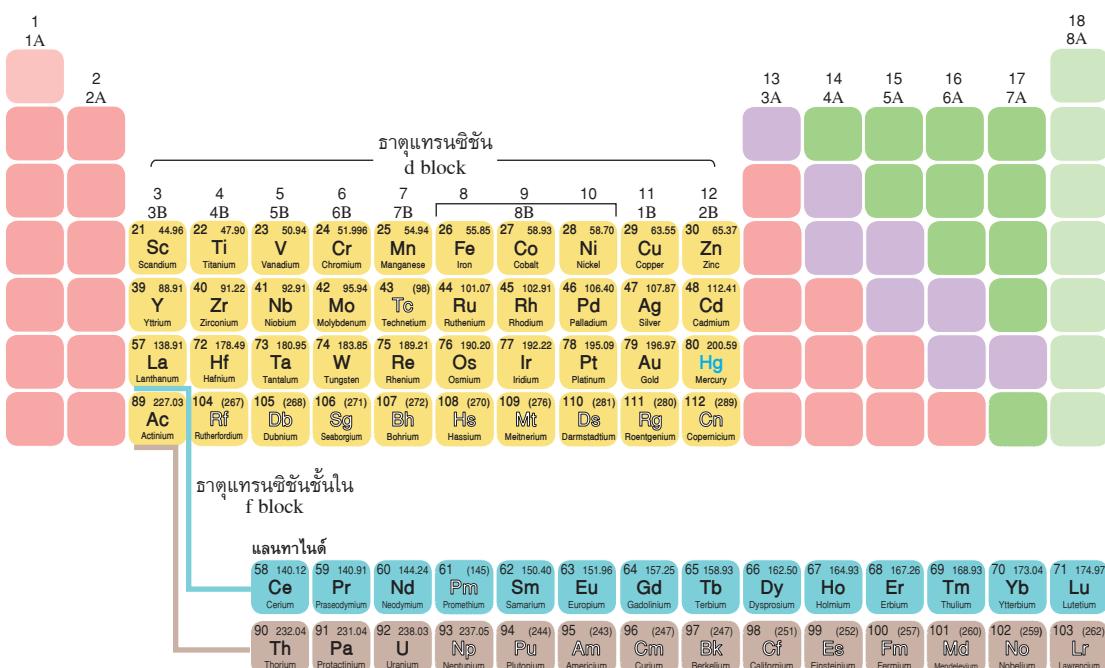
อนุภาคที่เล็กที่สุดของสาร มีลักษณะอย่างไร และประกอบด้วยอะไรมาก?

5. ธาตุแทرنซิชัน

นักเรียนได้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติต่าง ๆ ของธาตุในหมู่ A มาแล้ว ในหัวข้อนี้นักเรียนจะได้ศึกษาเกี่ยวกับการจัดเรียง อิเล็กตรอน สมบัติบางประการของธาตุแทرنซิชัน สารประกอบของ

ของธาตุแทرنซิชัน และสารประกอบเชิงซ้อนของธาตุแทرنซิชัน

ธาตุแทرنซิชัน (transition elements) ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม B ซึ่งมี 8 หมู่ ตั้งแต่ หมู่ IB - VIIIB และเริ่มจากคาบที่ 4 จนถึงคาบที่ 7 โดยในคาบที่ 6 และ 7 จะมีธาตุแทرنซิชันซึ่งใน (inner transition elements) เพิ่มขึ้นมา ซึ่งธาตุในคาบที่ 6 จะเรียกว่า ธาตุแลนಥานิด (lanthanide elements) ได้แก่ ธาตุที่มีเลขอะตอม 58 - 71 (ธาตุ Ce ถึง Lu) และธาตุในคาบที่ 7 จะเรียกว่า ธาตุแอกตินิด (actinide elements) ได้แก่ ธาตุที่มีเลขอะตอม 90 - 103 (ธาตุ Th ถึง Lr) ซึ่งตำแหน่งของธาตุแทرنซิชันในตารางธาตุ แสดงดังภาพ



▲ ภาพที่ 2.51 ตำแหน่งของธาตุแทرنซิชันในตารางธาตุปัจจุบัน

5.1 สมบัติของธาตุแทرنซิชัน

ธาตุแทرنซิชันถูกจัดไว้ในกลุ่มของธาตุที่เป็นโลหะ แต่จะมีสมบัติที่แตกต่างจากโลหะหมู่ IA และ IIA ดังนั้น ธาตุแทرنซิชันจึงถูกจัดไว้คนละกลุ่มกับโลหะหมู่ IA และ IIA ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาสมบัติของธาตุแทرنซิชันเปรียบเทียบกับสมบัติของโลหะหมู่ IA และ IIA ที่อยู่ในคาบเดียวกัน จากตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 : เปรียบเทียบสมบัติบางประการของโพแทสเซียม แคลเซียม และธาตุแทرنซิชันในคาบที่ 4

ธาตุ	เลข อะตอม	รัศมี อะตอม ในโลหะ (pm)	จุดหลอม เหลว (°C)	อุณหภูมิ เดือด (°C)	ความ หนาแน่น (g/cm ³)	IE ₁ (kJ/mol)	EN	การจัดเรียง อิเล็กตรอน	จำนวน อิเล็กตรอน
K	19	227	64	759	0.89	425	0.82	[Ar] 3d ⁰ 4s ¹	2 8 8 1
Ca	20	197	842	1,484	1.54	596	1.00	[Ar] 3d ⁰ 4s ²	2 8 8 2
Sc	21	162	1,541	2,836	2.99	639	1.36	[Ar] 3d ¹ 4s ²	2 8 9 2
Ti	22	147	1,670	3,287	4.51	665	1.54	[Ar] 3d ² 4s ²	2 8 10 2
V	23	134	1,910	3,407	6.00	657	1.63	[Ar] 3d ³ 4s ²	2 8 11 2
Cr	24	128	1,907	2,671	7.15	659	1.66	[Ar] 3d ⁵ 4s ²	2 8 13 1
Mn	25	127	1,246	2,061	7.30	723	1.55	[Ar] 3d ⁵ 4s ²	2 8 13 2
Fe	26	126	1,538	2,861	7.87	768	1.83	[Ar] 3d ⁶ 4s ²	2 8 14 2
Co	27	125	1,495	2,927	8.86	766	1.88	[Ar] 3d ⁷ 4s ²	2 8 15 2
Ni	28	124	1,455	2,913	8.90	743	1.91	[Ar] 3d ⁸ 4s ²	2 8 16 2
Cu	29	128	1,085	2,562	8.96	752	1.90	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹	2 8 18 1
Zn	30	134	420	907	7.14	913	1.65	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ²	2 8 18 2

จากตาราง เมื่อพิจารณาการจัดเรียงอิเล็กตรอน พบร่วมกันว่า ธาตุแทرنซิชันในคาบเดียวกันจะมีจำนวนอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นในระดับพลังงานถัดจากระดับพลังงานชั้นนอกสุด จึงทำให้ธาตุแทرنซิชันมีสมบัติบางประการที่แตกต่างจากโลหะหมู่ IA และ IIA ดังนี้

- มีเวลเนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 2 (ยกเว้น Cr และ Cu มีเวลเนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 1)
- มีขนาดอะตอมใกล้เคียงกัน เพราะอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นในระดับพลังงานถัดจากพลังงานชั้นนอกสุด จึงกำบังแรงดึงดูดจากนิวเคลียสที่มีต่ออิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานนอกสุดได้ และอะตอมจะมีขนาดเล็กกว่าโลหะหมู่ IA และ IIA เนื่องจากมีประจุบวกในนิวเคลียสเพิ่มขึ้น

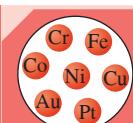
- มีจุดหลอมเหลว จุดเดือด และความหนาแน่นสูง และสูงกว่าโลหะหมู่ IA และ IIA ในควบเดียวกันมาก เนื่องจากอะตอมมีขนาดเล็ก และมีพื้นจะโลหะที่แข็งแรง
- มีค่าพลังงานไออ่อนในเชิงลำดับที่ 1 และค่าอิเล็กโตรเนกติกิติ่งต่ำ โดยจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากอะตอมมีขนาดไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ธาตุแกรนซิชันในควบเดียวกันจะมีค่าพลังงานไออ่อนในเชิงลำดับที่ 1 และค่าอิเล็กโตรเนกติกิติ่งกว่าโลหะหมู่ IA และ IIA ในควบเดียวกัน จากสมบัติต่าง ๆ ที่กล่าวมา จึงจัดธาตุแกรนซิชันเป็นโลหะอิกกอลุ่มนี้ที่ไม่รวมอยู่กับโลหะหมู่ IA และ IIA นอกจากนี้ ธาตุแกรนซิชันยังมีสมบัติอื่น ๆ ที่น่าสนใจ ดังนี้
 - ธาตุแกรนซิชันบางชนิดเป็นโลหะมีตระกูล (noble metals) เช่น Ag Au Pt เป็นต้น ซึ่งเป็นโลหะที่มีค่า ราคาแพง

หมายเหตุ : โลหะมีตระกูลเป็นกลุ่มโลหะในธรรมชาติ ซึ่งจะไม่ทำปฏิกิริยาหรือทำปฏิกิริยากับสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นได้ยาก และทนทานต่อการกัดกร่อน

- ธาตุแกรนซิชันบางชนิดเป็นโลหะที่มีสมบัติในการดึงดูดกับแม่เหล็กได้ และธาตุแกรนซิชันบางชนิด เช่น Fe Co Ni เป็นต้น สามารถแสดงสมบัติความเป็นแม่เหล็กได้ เมื่อนำไปวางไว้ในสนามแม่เหล็ก
 - ธาตุแกรนซิชันมีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า ทำให้เกิดสารประกอบได้หลายชนิด เนื่องจากสามารถให้อิเล็กตรอนในระดับพลังงานสูงสุดและระดับพลังงานที่อยู่ถัดเข้าไปได้และธาตุทางด้านข้างของควบจะมีเลขออกซิเดชันสูงสุดเป็นเลขหมู่ของธาตุนั้น

H. D. T. S.

คำนำท้าทายการคิดขั้นสูง



ธาตุแกรนซิชันในควบที่ 4 มีสมบัติใดคล้ายกันและสมบัติใดแตกต่างจากโพแทสเซียมและแคลเซียม

5.2 สารประกอบของธาตุแกรนซิชัน

สารประกอบของธาตุหมู่ A ทั้งสารประกอบคลอไรด์และสารประกอบออกไซด์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เมื่อเกิดการละลายโดยมีน้ำเป็นตัวทำละลาย จะได้สารละลายไม่มีสีแต่เมื่อพิจารณาสารละลายของโพแทสเซียมเบอร์แมกนีเต (KMnO_4) หรือโพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ซึ่งเป็นสารประกอบของธาตุแกรนซิชัน พบร่วมกับสารละลายน้ำแล้วจะเกิดสารละลายสีม่วงและสีส้ม ตามลำดับ ซึ่งทำให้ต้องสังเกตได้ว่า สีของสารละลายหรือสีของสารประกอบของธาตุแกรนซิชันที่เกิดขึ้นนั้นน่าจะเป็นผลจากโลหะแกรนซิชัน

เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับสารประกอบของธาตุแกรนซิชันมากขึ้น ให้นักเรียนทำการทดลองต่อไปนี้



การทดลอง

ศึกษาสมบัติของสารประกอบของโคโรเมียม และแบ่งกานีส



จุดประสงค์

- ทำการทดลองเพื่อศึกษาสมบัติบางประการของสารประกอบของโคโรเมียมและแบ่งกานีสได้
- บอกเหตุผลที่ร้าดโคโรเมียมและแบ่งกานีสเกิดสารประกอบได้หลายชนิดและมีสีแตกต่างกันได้



วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

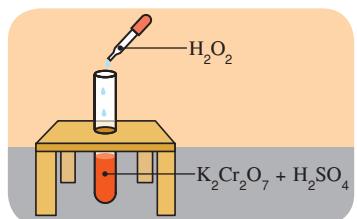
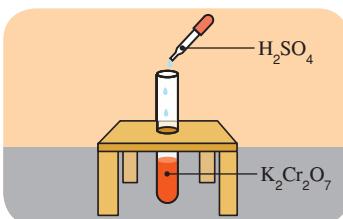
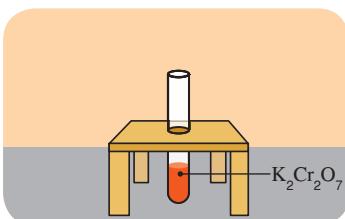
- หลอดทดลองขนาดเล็กและกล่าง
- ขวดรูปชามพู่
- หลอดหยด
- ตะเกียงและกอกอชอล์
- กรวยและกระดาษกรอง
- น้ำกลั่น
- ผงโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- ผงแบ่งกานีสไดออกไซด์ (MnO_2)
- สารละลายนโพแทสเซียมไดโคโรเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) เข้มข้น $0.1 \text{ mol}/\text{dm}^3$
- สารละลายนกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น $1 \text{ mol}/\text{dm}^3$
- สารละลายนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เข้มข้นร้อยละ 6 w/w



วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 สารประกอบของโคโรเมียม

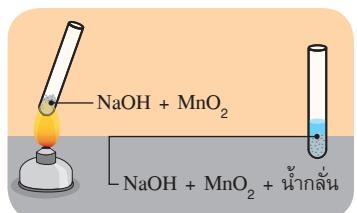
- ใส่สารละลายน $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ เข้มข้น $0.1 \text{ mol}/\text{dm}^3$ จำนวน 0.5 cm^3 ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก
- เติมสารละลายน H_2SO_4 เข้มข้น $1 \text{ mol}/\text{dm}^3$ ลงไปจำนวน 1 cm^3 แล้วเขย่าจนเป็นเนื้อเดียวกัน
- เติมสารละลายน H_2O_2 เข้มข้นร้อยละ 6 w/w ลงไปจำนวน 1 cm^3 เขย่าและสังเกตการเปลี่ยนแปลง



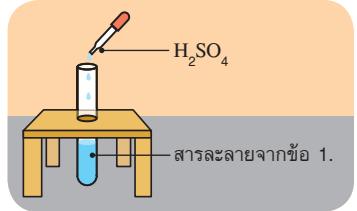
▲ ภาพที่ 2.52

ตอนที่ 2 สารประกอบของแบ่งกานีส

- ใส่ผง NaOH ประมาณ 0.5 g ลงในหลอดทดลองขนาดกล่าง และใส่ผง MnO_2 ลงไปประมาณ 0.3 g นำไปเผาจนสังเกตเห็นการเปลี่ยนสีจากน้ำดีไว้ให้เป็นสีฟ้า แล้วเติมน้ำกลั่นลงไป 5 cm^3 เขย่าและตั้งทิ้งไว้จนส่วนที่ไม่ละลายตกตะกอน สังเกตสีของสารละลายน



- นำสารละลายนจากข้อ 1. ประมาณ 4 cm^3 ใส่ในหลอดทดลองขนาดกล่าง เติมสารละลายน H_2SO_4 เข้มข้น $1 \text{ mol}/\text{dm}^3$ ลงไปประมาณ 2 cm^3 เขย่าและสังเกตการเปลี่ยนแปลง



ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์

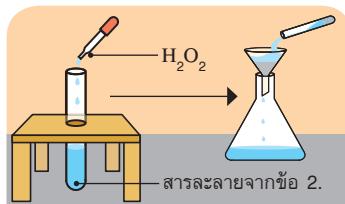
- การเปรียบเทียบ
- การตั้งสมมติฐาน
- การทดลอง

จิตวิทยาศาสตร์

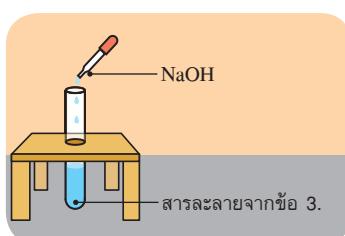
- ความสนใจฝรั่ງ
- การอุดหนุน



3. นำสารละลายจากข้อ 2. มาเติมสารละลาย H_2O_2 เข้มข้น ร้อยละ 6 w/w ทีละหยด พร้อมกับเขย่าจนไม่มีตะกอนเกิดเพิ่มขึ้นอีก สังเกตสีของตะกอนและสารละลาย กรองและเก็บสารละลายไว้ทำการทดลองต่อไป



4. นำสารละลายที่กรองได้จากข้อ 3. ประมาณ 2 cm^3 มาเติมสารละลาย NaOH เข้มข้น 2 mol/dm^3 ทีละหยด พร้อมกับเขย่าจนไม่มีตะกอนเกิดเพิ่มขึ้นอีก สังเกตสีของตะกอนที่เกิดขึ้นในตอนแรก และหลังจากที่เขย่าแล้วประมาณ 3 นาที



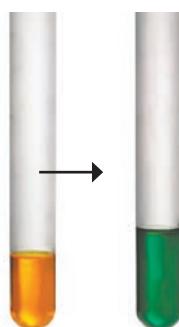
▲ ภาพที่ 2.53

คำถามท้ายการทดลอง

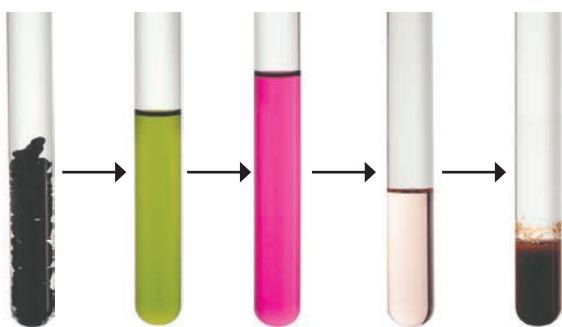
- จงระบุสารที่เกิดขึ้นจากการทดลองในแต่ละตอนว่ามีสารใดบ้าง และทราบได้อย่างไร
- เขียนสมการอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในการทดลองแต่ละตอน
- เลขອอคซิเดชันของธาตุแทรนซิชันที่ใช้ในการทดลองแต่ละตอนเป็นอย่างไร
- เลขออคซิเดชันที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารหรือไม่ เพราจะเหตุใด

อภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า ในตอนที่ 1 สารประกอบของโคโรเมียมจะเปลี่ยนจากสีส้มไปเป็นสีเขียว ส่วนในการทดลองตอนที่ 2 สารประกอบของแมงกานีสจะเปลี่ยนจากสีดำไปเป็นสีเขียว สีม่วงแดง สีชมพูอ่อน และสีน้ำตาล ตามลำดับ การที่สารประกอบของโคโรเมียมและแมงกานีสมีสีที่เปลี่ยนแปลงไป ก็เนื่องมาจากโคโรเมียมและแมงกานีสมีเลขออคซิเดชันที่เปลี่ยนแปลงไปนั่นเอง



▲ ภาพที่ 2.54 สีของสารประกอบโคโรเมียม

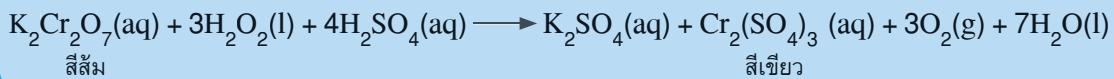


▲ ภาพที่ 2.55 สีของสารประกอบแมงกานีส

จากการทดลองสามารถเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ ดังนี้

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการทดลองตอนที่ 1

เมื่อนำสารละลายนาโนโซเดียมโครเมี่ยม $K_2Cr_2O_7$ ที่เติมกรด H_2SO_4 ลงไปแล้ว มาเติม H_2O_2 จะทำให้สารละลายนามีสีเขียว แสดงว่า โครเมียมอะตอมใน $Cr_2O_7^{2-}$ เปลี่ยนไปเป็น Cr^{3+} เลขออกซิเดชันของโครเมียม (Cr) เป็น +6 ไปเป็น +3 เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ ดังนี้

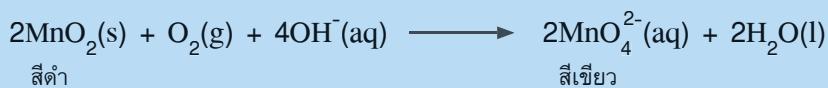


และเขียนเป็นสมการไอลอ่อนนิกได้ ดังนี้

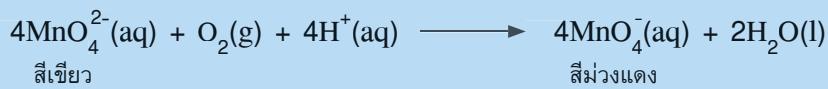
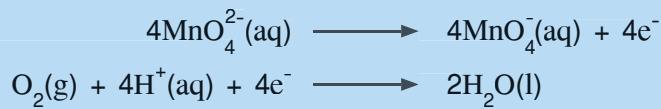


ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการทดลองตอนที่ 2

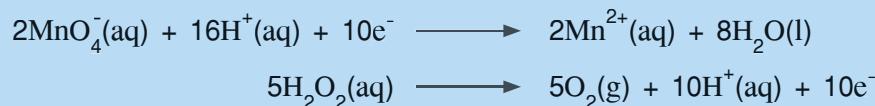
1. เมื่อเพาผง $NaOH$ ที่ผสานอยู่กับผง MnO_2 จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไป จะได้สารละลายนามีสีเขียว เลขออกซิเดชันของแมงกานีส (Mn) เป็น +4 ไปเป็น +6 เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ ดังนี้



2. เมื่อเติมกรด H_2SO_4 ลงในสารละลายนามีสีเขียว เลขออกซิเดชันของแมงกานีสเปลี่ยนจาก +6 ไปเป็น +7 เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ ดังนี้



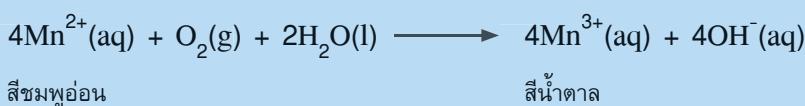
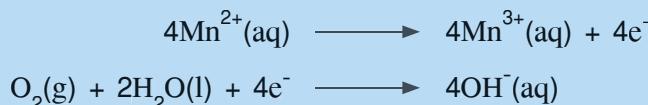
3. เมื่อเติมสารละลายน้ำ H_2O_2 ลงในสารละลายน้ำ MnO_4^- เลขออกซิเดชันของแมงกานีสเปลี่ยนจาก +7 ไปเป็น +2 เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ ดังนี้



สี่ม่วงแดง

สีเข้มพูอ่อน

4. เมื่อเติม NaOH ลงในสารละลายน้ำของ Mn^{2+} เลขออกซิเดชันของแมงกานีสเปลี่ยนจาก +2 ไปเป็น +3 เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ ดังนี้



สีเข้มพูอ่อน

สีน้ำตาล

การทดลองข้างต้น สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. ธาตุแกรนซิชันมีสมบัติเป็นโลหะ จึงง่ายต่อการเสียอิเล็กตรอน และมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับօโลหะหรือพวกแอนิโอลอน (อนุมูลไออกอนที่มีประจุเป็นลบ)

2. ธาตุแกรนซิชันชนิดหนึ่งๆ อาจเกิดเป็นสารประกอบที่มีธาตุองค์ประกอบควบรวมกันได้มากกว่า 1 ชนิด โดยสีของสารประกอบแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน เช่น ชนิดของธาตุแกรนซิชัน เลขออกซิเดชันของธาตุแกรนซิชัน ชนิดและจำนวนของสารที่เข้าสร้างพันธะกับธาตุแกรนซิชัน เป็นต้น

3. เหตุที่ธาตุแกรนซิชันมีสีเนื่องจากอิเล็กตรอนในระดับ d - orbital มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ตามองเห็น (Visible Light) ซึ่งแสงที่ไม่ถูกดูดกลืนนั้นจะปรากฏเป็นสีของสารประกอบหรือสีของไออกอนแต่ละชนิด

H. D. T. S.

คำนำກ้าหากายการคิดขั้นสูง



เพราະເຫດຸໄດ
ສາຣປະກອບ
ຂອງຮາຕຸແກຣນ-
ຈີ່ຈັກຈິງມີສີທີ່ແຕກຕ່າງກັນ



Prior Knowledge

หากราชบุตรนิเดหนึ่งไม่เสถียร
ราชบุตรนี้จะทำอย่างไรเพื่อให้
กลับมาเสถียร



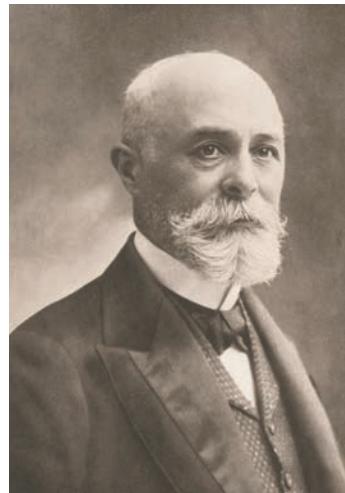
6. ราชบุตรมันตังสี

ในตารางราชบุตรยังมีราชบุตรอีกกลุ่มนหนึ่งซึ่งมีสมบัติแตกต่าง
ไปจากราชบุตรอื่น ๆ ที่ได้ศึกษาไปแล้ว กล่าวคือ ราชบุตรกลุ่มนี้สามารถ
แพร่งสีแล้วกลายเป็นอะตอมของราชบุตรใหม่ได้ โดยจะเรียกราชบุตร

ในกลุ่มนี้ว่า ราชบุตรมันตังสี ซึ่งต่อไปนักเรียนจะได้ศึกษาว่าการเปลี่ยนแปลงของราชบุตรมันตังสี
เกิดขึ้นได้อย่างไร

ในปี ค.ศ. 1896 องค์ตวน อองรี เบ็คเคอเรล (Antoine Henri Becquerel) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส พบร่วม เมื่อเก็บ
แผ่นฟิล์มถ่ายรูปที่ห้มด้วยกระดาษสีดำไว้กับสารประกอบของ
ยูเรเนียม ฟิล์มจะมีลักษณะเหมือนถูกแสง และเมื่อทำการทดลอง
กับสารประกอบของยูเรเนียมชนิดอื่น ๆ ก็ได้ผลเช่นเดียวกัน
เข้าใจง่ายว่าจะมีรังสีแผ่ออกมาจากราชบุตรยูเรเนียม

ต่อมารี ปีแอร์ ภูรี (Pierre Curie) และมาเร ภูรี (Marie Curie)
พบร่วม ราชบุตรโพลนีียม เรเดียม และทอเรียม สามารถแพร่งสี
ได้เช่นเดียวกัน ปรากฏการณ์ที่ราชบุตรแพร่งสีได้เรียกว่า “กัมมันตภาพรังสี” ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียส
ของอะตอมของราชบุตรที่อยู่ในสภาพที่ไม่เสถียร โดยการค้นพบนี้เอง
ส่งผลให้มาเร ภูรีได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์จากการค้นพบ
กัมมันตังสี ในปี ค.ศ. 1903 และได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมี
จากการค้นพบโพลนีียม เรเดียม และทอเรียม ในปี ค.ศ. 1911



▲ ภาพที่ 2.56 เบ็คเคอเรล ค้นพบ
กัมมันตภาพรังสีในสารประกอบ
ยูเรเนียม



▲ ภาพที่ 2.57 มาเร ภูรี
เป็นนักวิทยาศาสตร์ที่ได้รับรางวัล
โนเบลถึง 2 ครั้ง

6.1 การเกิดกัมมันตภาพรังสี

กัมมันตภาพรังสีเป็นปรากฏการณ์ที่ราชบุตรมันตังสีเกิด¹
การแพร่งสีออกมากตลอดเวลา เนื่องจากในนิวเคลียสของราชบุตร
กัมมันตังสีมีพลังงานสูงมาก และไม่เสถียร จึงต้องปลดปล่อย
พลังงานส่วนเกินออกมายในรูปของอนุภาคหรือรังสีบางชนิด
เพื่อทำให้ราชบุตรมันตังสีอยู่ในสภาพที่เสถียรต่อไป ซึ่งอนุภาค
หรือรังสีที่แผ่หรือสลายตัวออกมายากจากราชบุตรมันตังสีแบ่งออก
เป็น 3 ประเภท ดังนี้



อนุภาคหรือรังสีที่แผ่ออกจากธาตุกับมันตรังสี

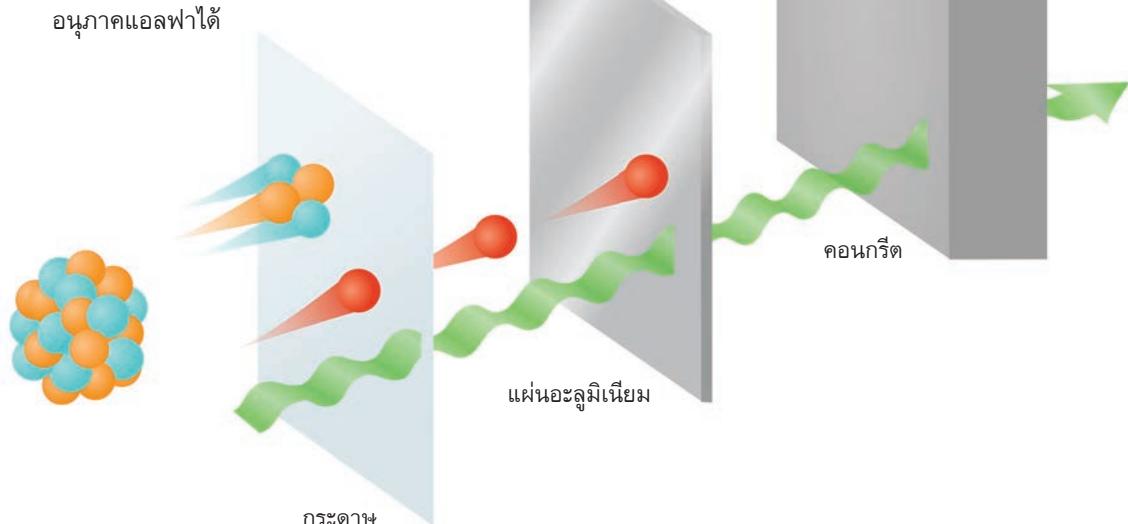


อนุภาคแอลฟ่า (alpha particle)

- มีสัญลักษณ์เป็น α หรือ ${}^4_2\text{He}$
- เป็นนิวเคลียสของอะตอมไฮเดรียม มีโปรตอนและนิวตรอนอย่างละ 2 อนุภาค
- มีประจุไฟฟ้า +2 มีมวล 4
- มีมวล 4.00260 amu หรือ 6.55×10^{-24} กรัม
- มีความเร็วในสูญญากาศประมาณ $1.6 - 2.1 \times 10^4$ กิโลเมตรต่อวินาที

อำนาจทะลุทะลวง

มีอำนาจทะลุทะลวงต่ำ กระดาษที่หนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร หรือโลหะบาง ๆ สามารถกันอนุภาคแอลฟ่าได้



อนุภาคบีตา (beta particle)

- มีสัญลักษณ์เป็น β หรือ ${}^0_{-1}\text{e}$
- มีสมบัติเหมือนอิเล็กตรอน
- มีประจุไฟฟ้า -1
- มีมวล 0.000549 amu หรือ 9.11×10^{-28} กรัม
- มีความเร็วในสูญญากาศประมาณ 2.7×10^5 กิโลเมตรต่อวินาที

อำนาจทะลุทะลวง

มีอำนาจทะลุทะลวงสูงกว่าอนุภาคแอลฟ่าประมาณ 100 เท่า สามารถผ่านแผ่นตะกั่วที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร หรือแผ่นอะลูมิเนียมที่มีความหนา 5 มิลลิเมตรได้



รังสีแกมมา (Gamma ray)

- มีสัญลักษณ์เป็น γ
- เป็นพลังงานที่อยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีช่วงคลื่นสั้นมาก
- ไม่มีมวลและมีประจุไฟฟ้า จึงไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็ก
- มีความเร็วในสูญญากาศประมาณ 3.0×10^5 กิโลเมตรต่อวินาที



อำนาจทะลุทะลวง

มีอำนาจทะลุทะลวงสูง สามารถผ่านแผ่นตะกั่วหนา 8 มิลลิเมตร หรือแผ่นคอนกรีตหนา ๆ ได้

▲ ภาพที่ 2.58 อนุภาคหรือรังสีที่แผ่ออกจากธาตุกับมันตรังสีและอำนาจทะลุทะลวง

นอกจากอนุภาคแอลฟ่า อนุภาคบีตา และรังสีแกมมาแล้ว ยังมีรังสีหรืออนุภาคชนิดอื่นๆ ที่เกิดจากการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสีที่น่าสนใจ แสดงดังตารางที่ 2.10

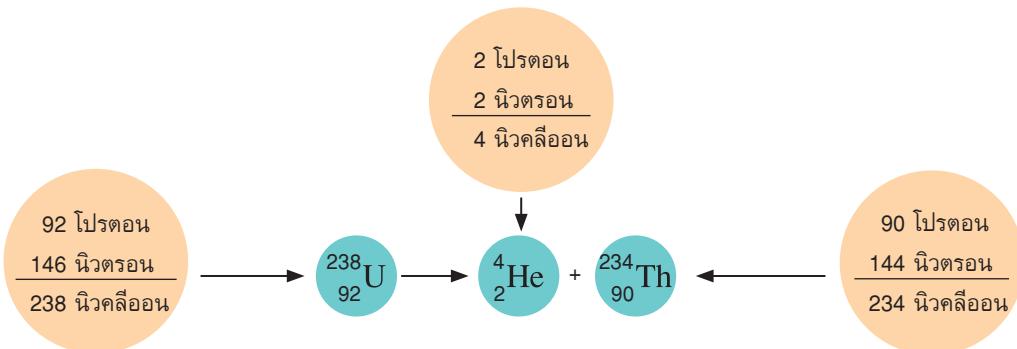
ตารางที่ 2.10 : อนุภาคชนิดอื่นๆ ที่เกิดจากการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสี

อนุภาค	สัญลักษณ์	ชนิดของประจุ	มวล (amu)
โพซิตรอน	$\beta^+, {}_1^0e$	+1	0.000540
นิวตรอน	${}_0^1n, n$	0	1.0087
โปรตอน	${}_1^1H, p$	+1	1.0073
ดิวเทอرون	${}_1^2D, {}_1^2H$	+1	2
นิวตริโน	ϑ	-	-

6.2 การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี

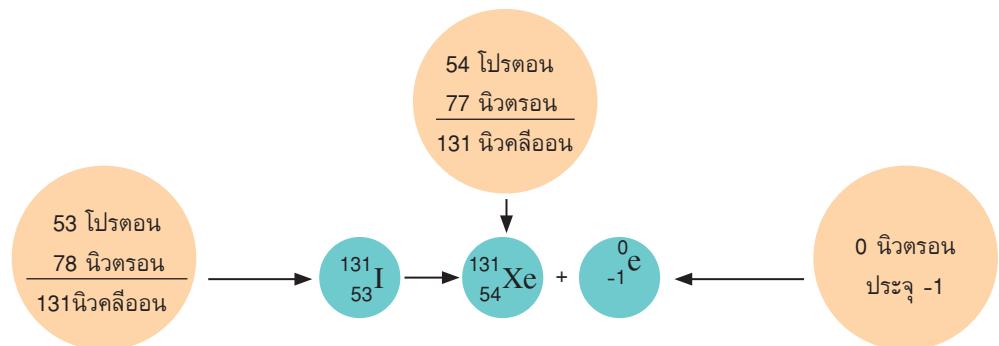
จากการศึกษาไอโซโทปของธาตุหลายชนิด พบร่วมกับ “ไอโซโทปของนิวเคลียสที่มีอัตราส่วนระหว่างจำนวนนิวตรอนต่อจำนวนโปรตอนไม่เหมาะสม” คือ นิวเคลียสที่มีจำนวนนิวตรอนแตกต่างจากจำนวนโปรตอนมากเกินไปจะไม่เสถียร จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสแล้วเกิดเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่ที่เสถียรกว่า โดยการปลดปล่อยอนุภาคหรือรังสีออกมานั่นเอง

1. การแผ่อนุภาคแอลฟ่า เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ให้อนุภาคแอลฟ่า เกิดกับนิวเคลียสที่มีเลขอะตอมเท่ากับหรือมากกว่า 84 ขึ้นไป นิวเคลียสใหม่ที่เกิดขึ้นจะมีเลขอะตอมลดลงจากเดิม 2 หน่วย และเลขมวลลดลง 4 หน่วย เช่น การสลายตัวของธาตุยูเรเนียม-238 (${}^{238}_{92}U$) เป็นต้น



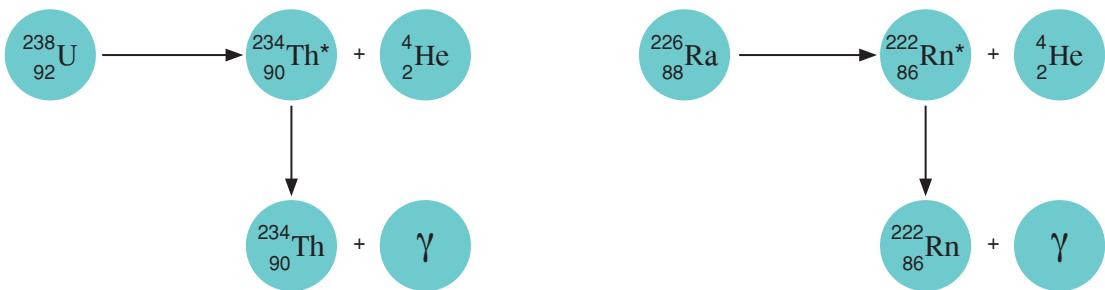
▲ ภาพที่ 2.59 การสลายตัวของยูเรเนียม-238

2. การแผ่นดินไหวบีต้า เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดกับนิวเคลียสที่อัตราส่วนของนิวตรอนต่อโปรตอนมีค่าสูงมาก หรืออาจกล่าวได้ว่าอัตราส่วนของนิวตรอนต่อโปรตอนมีค่ามากกว่า 1.5 เป็นเหตุให้นิวตรอนในนิวเคลียสเปลี่ยนเป็นโปรตอน อิเล็กตรอน หรืออนุภาคอื่นเพื่อลดอัตราส่วนลงดังนั้น นิวเคลียสของธาตุใหม่จะมีเลขมวลคงที่ แต่มีเลขอะตอมเพิ่มขึ้น 1 หน่วย เช่น การถ่ายตัวของไอโอดีน-131 ($I-131$, $^{131}_{53}I$) เป็นต้น



▲ ภาพที่ 2.60 การถ่ายตัวของไอโอดีน-131

3. การแผรังสีแกมมา เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ให้รังสีแกมมา เกิดจากไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ถ่ายตัวให้อนุภาคแอลฟาร์บีต้า ภายหลังนิวเคลียสใหม่ที่ได้ยังคงมีพลังงานสูงอยู่ นิวเคลียสใหม่จะปล่อยรังสีส่วนเกินออกมารูปของรังสีแกมมา การแผรังสีแกมมานี้จะไม่ทำให้เลขมวลและเลขอะตอมของธาตุเปลี่ยนแปลงไป เช่น การถ่ายตัวของยูเรเนียม-238 ($U-238$, $^{238}_{92}U$) การถ่ายตัวของเรเดียม-226 ($Ra-226$, $^{226}_{88}Ra$) เป็นต้น



▲ ภาพที่ 2.61 การถ่ายตัวของยูเรเนียม-238 (ซ้าย) และเรเดียม-226 (ขวา)

นิวเคลียสของไอโซโทปกัมมันตรังสีสามารถถ่ายตัวและแผรังสีได้ตลอดเวลา โดยไม่ใช้เงื่อนไขภายนอก อยู่กับอุณหภูมิหรือความดัน ซึ่งการถ่ายตัวและแผรังสีของไอโซโทปกัมมันตรังสีจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอนุภาคในนิวเคลียสกัมมันตรังสีนั้น โดยปริมาณการถ่ายตัวจะบวกกันด้วยค่าคงรักษ์ของธาตุกัมมันตรังสี

6.3 ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสี

ธาตุกัมมันตรังสีสามารถเกิดการสลายตัวปลดปล่อยรังสีได้เองตลอดเวลา แต่จะช้าหรือเร็วแตกต่างกันไปตามธาตุแต่ละชนิด นักเคมีจะบอกปริมาณการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีด้วยค่าครึ่งชีวิต (half-life) ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สารกัมมันตรังสีสลายตัวจนเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม ใช้สัญลักษณ์เป็น $t_{\frac{1}{2}}$ เช่น ธาตุเรเดียมมีครึ่งชีวิตเท่ากับ 1,600 ปี หมายความว่า หากมีเรเดียม-226 (Ra-226) เริ่มต้น 1 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 1,600 ปี จะเหลือธาตุเรเดียม-226 อยู่ 0.5 กรัม และเมื่อเวลาผ่านไปอีก 1,600 ปี จะเหลือธาตุเรเดียม-226 อยู่ 0.25 กรัม เป็นต้น

ครึ่งชีวิตเป็นสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละไอโซโทป และสามารถใช้เปรียบเทียบอัตราการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีแต่ละชนิดได้ ตัวอย่างครึ่งชีวิตของไอโซโทปกัมมันตรังสีบางชนิดแสดงดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 : ตัวอย่างครึ่งชีวิตของไอโซโทปกัมมันตรังสีบางชนิด

ไอโซโทป กัมมันตรังสี	ครึ่งชีวิต	รังสีที่ แผ่อออกมา	ไอโซโทป กัมมันตรังสี	ครึ่งชีวิต	รังสีที่ แผ่อออกมา
Po-214	1.6×10^{-4} วินาที	α	Ra-226	1,600 ปี	α และ γ
I-131	8.1 วัน	β	C-14	5,730 ปี	β
Co-60	5.3 ปี	β	U-238	4.5×10^9 ปี	α
K-40	1.3×10^9 ปี	β	U-235	7.1×10^8 ปี	α

การหาค่าครึ่งชีวิตและเวลาในการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$N_{\text{เหลือ}} = \frac{N_{\text{เริ่มต้น}}}{2^n}$$

$$n = \frac{T}{t_{\frac{1}{2}}}$$

$N_{\text{เหลือ}}$ = ปริมาณของกัมมันตรังสีที่เหลือ

$N_{\text{เริ่มต้น}}$ = ปริมาณของกัมมันตรังสีเริ่มต้น

n = จำนวนครั้งในการสลายตัว

T = เวลาที่ใช้ในการสลายตัว

$t_{\frac{1}{2}}$ = ครึ่งชีวิต



ตัวอย่างที่ 2.2

Ra-226 มีครึ่งชีวิต 1,620 ปี ถ้าเริ่มต้นมี Ra-226 อยู่ 16 กรัม ในเวลา 4,860 ปี ธาตุ Ra-226 จะสลายตัวไปกี่กรัม

$$\text{วิธีทำ } n = \frac{T}{t_{\frac{1}{2}}} = \frac{4,860}{1,620} = 3$$

$$N_{\text{เหลือ}} = \frac{N_{\text{เริ่มต้น}}}{2^n} = \frac{16}{2^3} = \frac{16}{8} = 2 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น เมื่อเวลาผ่านไป 4,860 ปี ธาตุ Ra-226 จะสลายตัวไป $16 - 2 = 14$ กรัม

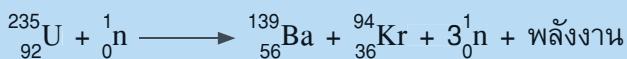
6.4 ปฏิกิริยานิวเคลียร์

ปฏิกิริยานิวเคลียร์ (Nuclear reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดในนิวเคลียสของอะตอมของธาตุ แล้วทำให้เกิดธาตุใหม่ที่มีความเสถียรมากขึ้น พร้อมกับปล่อยอนุภาคแอลฟ่า (α) อนุภาคนีตริตา (β) หรือรังสีแกมมา (γ) ออกมาย โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นจะไม่เกิดขึ้นกลับ และไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดัน หรือตัวเร่งปฏิกิริยา รวมทั้งในการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

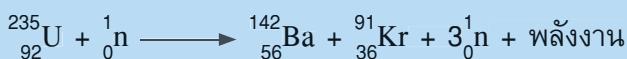
1. ปฏิกิริยาพิชชัน (Fission reaction) คือ กระบวนการที่นิวเคลียสของธาตุหนักบางชนิดถูกยิงด้วยนิวตรอน แล้วเกิดการแตกตัวออกเป็นไอโซโทปของธาตุที่เบากว่า โดยการยิงนิวตรอนเข้าไปที่นิวเคลียสของธาตุหนัก จะทำให้ธาตุนั้นแตกตัวเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่หลายชนิดที่เบาขึ้นและมีความเสถียรมากขึ้น และมีการดึงความร้อน (พลังงาน) ออกมากจำนวนมากในรูปของรังสีแกมมา และรังสีชนิดอื่น ๆ พร้อมทั้งยังได้นิวตรอนออกมารีกจำนวนหนึ่งด้วย ซึ่งนิวตรอนที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะไปชนกับนิวเคลียสอื่น ๆ ของธาตุหนักต่อไป ทำให้ปฏิกิริยาพิชชันเกิดขึ้นแบบต่อเนื่องเป็นปฏิกิริยาลูกอโซ่ ในปี พ.ศ. 2482 นักวิทยาศาสตร์ พบว่า เมื่อใช้นิวตรอนยิงไปที่นิวเคลียสของยูเรเนียม-235 ($^{235}_{92}\text{U}$) จะเกิดการแตกตัวได้ธาตุใหม่ คือ แบเรียม-139 (Ba-139 , $^{139}_{56}\text{Ba}$) กับคริปтон-94 (Kr-94 , $^{94}_{36}\text{Kr}$) หรือแบเรียม-142 (Ba-142 , $^{142}_{56}\text{Ba}$) กับคริปتون-91 (Kr-91 , $^{91}_{36}\text{Kr}$) ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็น ดังนี้



▲ ภาพที่ 2.62 การระเบิดของระเบิดนิวเคลียร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาพิชชัน ซึ่งเกิดต่อเนื่องเป็นปฏิกิริยาลูกอโซ่ พลังงานที่ปลดปล่อยออกมานั้น รวมกันเป็นแรงระเบิดมหาศาล

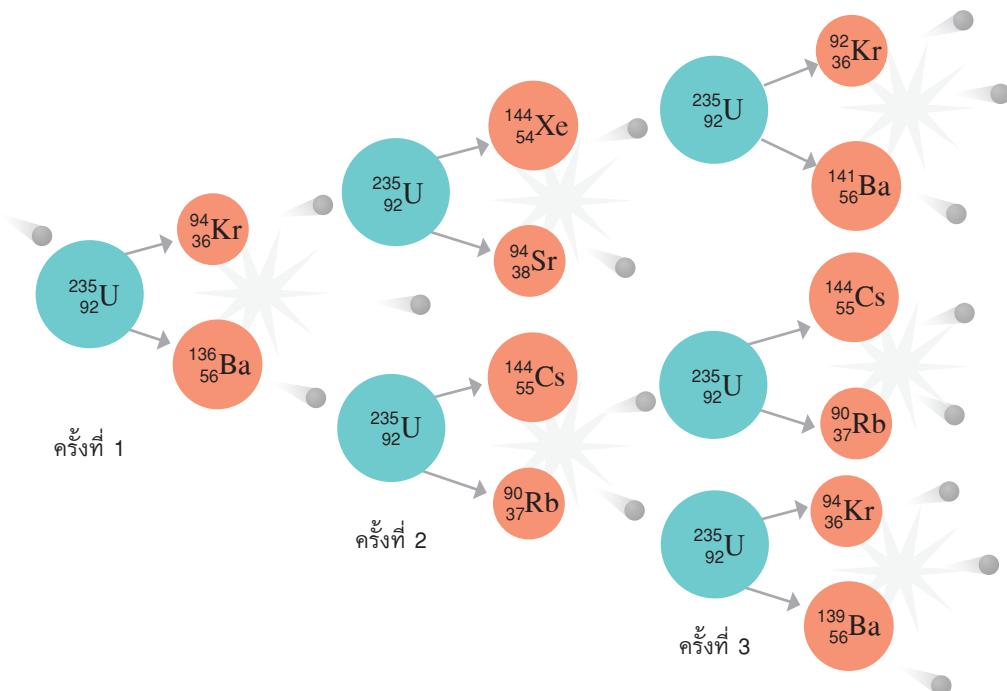


หรือ



ปฏิกิริยาพิชชัน



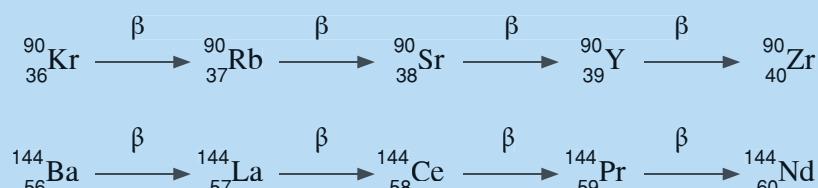


▲ ภาพที่ 2.63 ปฏิกิริยาพิชชันแบบลูกโซ่ของยูเรเนียม-235 ($\text{U}-235$)

ปฏิกิริยาพิชชันสามารถเกิดได้กับนิวเคลียสของธาตุหนัก เช่น ยูเรเนียม-233 ($\text{U}-233$) ยูเรเนียม-235 ($\text{U}-235$) ยูเรเนียม-238 ($\text{U}-238$) และ plutoniuem-239 ($\text{Pu}-239$) พิจารณาตัวอย่างของปฏิกิริยาพิชชันต่อไปนี้

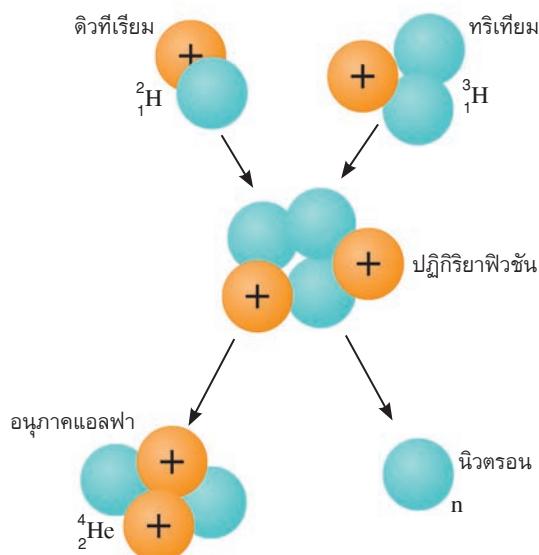
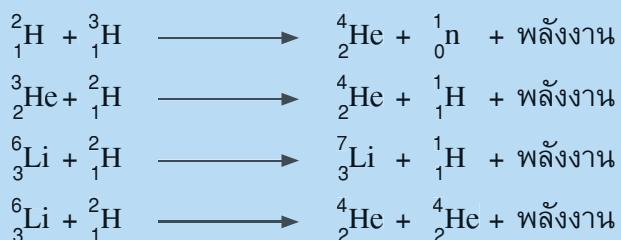


นิวตรอนที่เกิดขึ้นใหม่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่จนกว่าจะได้นิวเคลียสที่เสถียร ซึ่งเป็นผลผลิตจากการสลายตัวของธาตุที่มีนิวเคลียสมิ่งเสถียร เช่น Kr Ba เป็นต้น โดยการ decay รังสีบีต้า หรือรังสีแกมมาของธาตุ คือ เชอร์โคเนียม-90 ($\text{Zr}-90$) และไนโอดีเนียม-144 ($\text{Nd}-144$) ดังนี้



ปฏิกริยาฟิชชันที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะทำให้เกิดพลังงานมหาศาล จึงได้มีการนำหลักการของปฏิกริยาฟิชชันนี้เองมาผลิตระเบิดปรมาณูในสงครามโลกครั้งที่ 2 แต่ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์สามารถควบคุมปฏิกริยาลูกโซ่ในปฏิกริยาฟิชชันได้ และนำมาใช้ประโยชน์ทางสันติ เช่น ใช้สร้างเตาปฏิกรณ์ปรมาณู ผลิตไอโซโทปกัมมันตรังสี เพื่อใช้ในทางการแพทย์ การเกษตร และอุตสาหกรรม ในขณะที่พลังงานที่ได้ก็สามารถนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีกด้วย

2. ปฏิกริยาฟิวชัน (Fusion reaction) คือ ปฏิกริยาที่เกิดการรวมตัวกันของไอโซโทปที่มีมวลอะตอมต่ำ เกิดเป็นไอโซโทปใหม่ที่มีมวลมากขึ้นกว่าเดิม และปลดปล่อยพลังงานจำนวนมาก มหาศาลออกมามากโดยทั่วไปจะให้พลังงานมากกว่าปฏิกริยาฟิชชัน ตัวอย่างปฏิกริยาฟิวชัน เช่น



▲ ภาพที่ 2.65 ปฏิกริยาฟิวชันของดิวทีเรียม (${}_1^2H$) และทริเทียม (${}_1^3H$)



▲ ภาพที่ 2.64 การผลิตไอโซโทปกัมมันตรังสี เพื่อนำมาใช้ทางการแพทย์ การเกษตร และอุตสาหกรรม



ปฏิกริยาพิวชันจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงมากเท่านั้น เพื่อเอาชนะแรงผลักระหว่างนิวเคลียส ที่จะเข้ามาร่วมกัน โดยอุณหภูมิที่ทำให้เกิดปฏิกริยาพิวชันได้จะมีค่าประมาณ 2×10^8 องศาเซลเซียส ซึ่งความร้อนดังกล่าวจะได้จากปฏิกริยาพิวชัน ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นชานวนให้เกิดปฏิกริยาพิวชัน

พลังงานในปฏิกริยาพิวชันถ้าควบคุมให้ปล่อยออกมาย่างชา ๆ จะเป็นประโยชน์ต่อมนุษย์อย่างมากmany และมีข้อได้เปรียบกว่าปฏิกริยาพิวชัน เนื่องจากสารตั้งต้นเป็นไอโซโทปของไฮโดรเจน ซึ่งหาได้ง่าย นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกริยาพิวชัน ยังเป็นธาตุกัมมันตรังสีที่มีอายุสั้น และมีอันตรายน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกริยาพิวชัน ซึ่งจัดเป็นข้อได้เปรียบในแง่ของสิ่งแวดล้อม และปฏิกริยาพิวชันยังเป็นแหล่งของพลังงานมหาศาลที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์

6.5 การตรวจสอบสารกัมมันตรังสีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารกัมมันตรังสี

การตรวจสอบธาตุกัมมันตรังสีหรือสารที่ส่งสัญญาณเป็นธาตุกัมมันตรังสีสามารถทำได้ ดังนี้

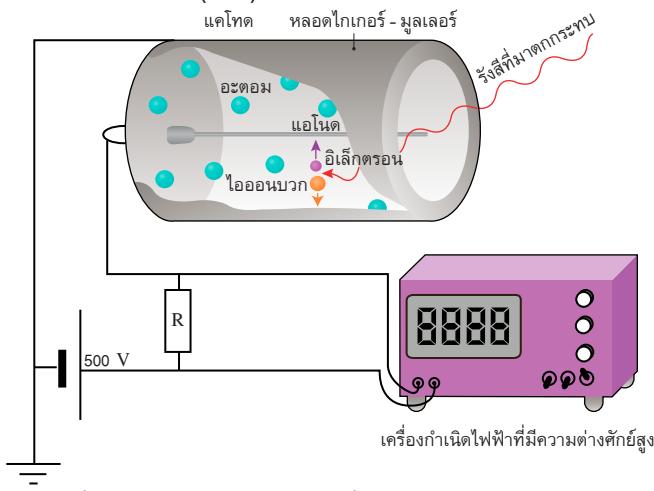
- ใช้ฟิล์มถ่ายรูปหุ้มสารที่ส่งสัญญาณเป็นธาตุกัมมันตรังสีไว้แล้วนำไปไว้ในที่มีดี จากนั้นนำฟิล์มมาล้าง ถ้าฟิล์มปรากฏสีดำ แสดงว่าสารนั้นเป็นธาตุกัมมันตรังสี ซึ่งได้มีการนำหลักการนี้ไปสร้างเครื่องโดยสิมิเตอร์ หรือมาตรวัดปริมาณรังสี สำหรับใช้เดือนผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับกัมมันตรังสี
- นำสารที่ส่งสัญญาณเป็นกัมมันตภาพรังสีไปไว้ใกล้กับสารเรืองแสง ถ้าเกิดการเรืองแสงขึ้น แสดงว่าสารนั้นเป็นสารกัมมันตรังสี
- ใช้เครื่องไกเกอร์ - มูลเลอร์ เคาน์เตอร์ (Geiger - Muller Counter) ในการตรวจหาแหล่งและวัดปริมาณของรังสี ซึ่งเครื่องมือนี้เป็นเครื่องมือวัดรังสีที่ได้รับความนิยมและใช้กันมากที่สุด โดยเครื่องมือนี้มีส่วนประกอบและหลักการทำงาน ดังนี้



▲ ภาพที่ 2.66 ลักษณะของเครื่องไกเกอร์ - มูลเลอร์ เคาน์เตอร์

ในเครื่องไกเกอร์ - มูลเลอร์ เคาน์เตอร์ จะประกอบด้วยหัววัดปริมาณรังสี ที่มีชื่อเรียกว่า หลอดไกเกอร์ - มูลเลอร์ (Geiger - Muller Tube) ซึ่งเป็นหลอดแก้วที่อยู่ในระบบบอกโลหะ ภายในบรรจุแก๊สที่มีความดันต่ำ เช่น แก๊ส氩กอนที่ปั่นอยู่กับไออกซ์เจน หรือไออกซ์บอร์มินที่พุ่งกระจายอยู่ ตรงกลางหลอดจะมีลวดโลหะเส้นเล็ก ๆ ทำหน้าที่เป็นขั้วบวก (แอนโนด) ส่วนระบบบอกโลหะจะทำหน้าที่เป็นขั้วลบ (แคโทด) ขั้วทั้งสองต่อไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูงมาก

การวัดรังสีจะอาศัยสมบัติของรังสีที่ทำให้สารเกิดเป็นไออ่อนได้ โดยเมื่อให้รังสีผ่านเข้าไปในหลอดที่มีแก๊สอาร์กอนบรรจุอยู่ รังสีจะไปกระแทกอะตอมของอาร์กอน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา อาร์กอนเจึงเกิดเป็นไออ่อนบวก (Ar^+) ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างไออ่อนบวก (Ar^+) กับประจุลบ (อิเล็กตรอนที่หลุดออกมา) ในหลอด ซึ่งจะอ่านค่าความต่างศักย์ได้จากตัวเลขหรือเข็มบนหน้าปัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งค่าที่อ่านได้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของรังสีที่ทำให้อาร์กอน (Ar) กลายเป็นไออ่อนบวก (Ar^+)



▲ ภาพที่ 2.67 หลักการทำงานของเครื่องไกเกอร์ - มูลเลอร์ เคนันเตอร์

ผู้ที่ต้องปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับมันตภาพรังสี เช่น คนงานเหมืองแร่ ผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู เป็นต้น ต้องมีการป้องกันอันตรายจากกัมมันตภาพรังสีโดยการสวมหน้ากาก และชุดป้องกันกัมมันตภาพรังสี เพื่อป้องกันไม่ให้รังสีผ่านเข้าสู่ระบบหายใจ และสัมผัสถกับผิวนังของผู้สวมใส่

มาตรฐานกัมมันตรังสีสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้หลายด้าน ดังนี้

1. ด้านธุรกิจวิทยา ใช้คาร์บอน-14 ($\text{C}-14$) โพแทสเซียม-40 ($\text{K}-40$) และยูเรนีียม-238 ($\text{U}-238$) ในการคำนวณอายุของวัตถุโบราณและโครงกระดูก เช่น $\text{C}-14$ เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ระหว่างอนุภาคนิวตรอนที่ได้จากการสกัดกับอะตอมของธาตุในโทรศัพท์ในชั้นบรรยากาศ เมื่อคาร์บอนในบรรยากาศทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเป็นแก๊ส CO_2 ซึ่งจะมีทั้ง $^{12}\text{CO}_2$ และ $^{14}\text{CO}_2$ ปนกัน เมื่อพืชนำไปใช้ในการสร้างหัวด้วยแสง $\text{C}-14$ จะเข้าไปอยู่ในพืช และเมื่อสัตว์กินพืชเป็นอาหาร $\text{C}-14$ ก็จะเข้าไปอยู่ในร่างกายของสัตว์ด้วยขณะที่พืชและสัตว์มีชีวิต $^{14}\text{CO}_2$ จะเข้าไปและขับออกมากอยู่ตลอดเวลา ทำให้มี $\text{C}-14$ ในสัดส่วนคงที่ แต่เมื่อสิ่งมีชีวิตตายลง การรับ $\text{C}-14$ ก็จะหยุดลง ปริมาณ $\text{C}-14$ ก็จะลดลง เพราะเกิดการสลายตัวให้รังสีบีตาตลอดเวลา ดังนั้น ถ้าทราบอัตราการสลายตัวของ $\text{C}-14$ ในขณะที่ยังมีชีวิตอยู่ และทราบอัตราการสลายตัวในขณะนั้น ก็จะสามารถคำนวณอายุของวัตถุโบราณได้



▲ ภาพที่ 2.68 อายุของชากร่องสัชล คำนวณได้โดยใช้คาร์บอน-14

2. ด้านการแพทย์ ใช้ไอโอดีน-131 (I-131) ในการติดตามและศึกษาความผิดปกติของต่อมไทรอยด์ ใช้โคบอลต์-60 (Co-60) และเรเดียม-226 (Ra-226) ในการรักษาโรคมะเร็ง ใช้ฟอสฟอรัส-32 (P-32) ในการตรวจดูการทำงานของตับ และการเกิดเนื้องอก ใช้โครเมียม-51 (Cr-51) และเหล็ก-59 (Fe-59) ในการตรวจดูการทำงานของเม็ดเลือดแดง ใช้โซเดียม-24 (Na-24) ในการตรวจดูระบบการหมุนเวียนของเลือดในร่างกาย ใช้ซีเชียม-133 (Xe-133) ในการตรวจดูการทำงานของปอด ใช้โมลิบดีนัม-59 (Mo-59) ในการศึกษากระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกาย ใช้สตรอนเซียม-87 (Sr-87) ในการตรวจดูการทำงานของกระดูก ใช้ไอโอดีน-132 (I-132) ในการติดตามดูภาพสมอง ใช้เทคโนโลยีเชียม-99 (Tc-99) ในการติดตามดูภาพหัวใจ ตับ และปอด

3. ด้านอุตสาหกรรม ใช้ไอโซโทปกัมมันตรังสีในงานหลายด้าน เช่น ใช้ชาตุกัมมันตรังสีตรวจหารอยตำหนินิต่าง ๆ เช่น รอยร้าวของโลหะหรือห่อขันส่งของเหลว ใช้ชาตุกัมมันตรังสีในการตรวจสอบและควบคุมความหนาของวัตถุ และใช้รังสีคลายนอญมณีเพื่อให้มีสีสันสวยงาม โดยใช้รังสีแกมมา นิวตรอน หรืออิเล็กตรอนพลังงานสูงถาวรไปบนอัญมณี จะทำให้สารที่ทำให้เกิดสีบนอัญมณีเปลี่ยนสีไปได้ ซึ่งอัญมณีที่ฉายด้วยรังสีแกมมาจะไม่มีรังสีตกค้าง แต่การอาบด้วยรังสีนิวตรอนจะมีไอโซโทปกัมมันตรังสีเกิดขึ้น จึงต้องปล่อยให้ไอโซโทปกัมมันตรังสีสลายตัวจนมีระดับรังสีที่ปลอดภัยก่อน จึงจะนำมาใช้ประโยชน์ได้

4. ด้านเกษตรกรรม ใช้ฟอสฟอรัส 32 (P-32) ศึกษาความต้องการปุ๋ยของพืช เพื่อปรับปรุงเมล็ดพันธุ์ที่ต้องการ ใช้โพแทสเซียม-32 (K-32) ในการหาอัตราการดูดซึมของต้นไม้ และใช้รังสีเพื่อบรรบปรุงเมล็ดพันธุ์พืชให้ได้พันธุกรรมตามต้องการ โดยการนำเมล็ดพันธุ์พืชมาอาบรังสีนิวตรอนในปริมาณและระยะเวลาที่เหมาะสม จะทำให้พืชเกิดการกลایพันธุ์ได้

5. ด้านการถนอมอาหาร ใช้รังสีแกมมาของชาตุโคบอลต์-60 (Co-60) ในปริมาณที่พอเหมาะ เพื่อทำลายแบคทีเรียในอาหาร ซึ่งจะช่วยให้เก็บรักษาอาหารไว้ได้นานขึ้น และรังสีแกมมาไม่เกิดการตกค้างในอาหาร

6. ด้านพลังงาน มีการใช้พลังงานความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ในเตาปฏิกิริณ์ปรมาณูของยูเรเนียม-238 (U-238) มาต้มน้ำให้กลাযเป็นไออกแล้วผ่านไอน้ำไปหมุนกังหันเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า



▲ ภาพที่ 2.69 โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์เป็นการนำชาตุกัมมันตรังสีมาใช้ประโยชน์อีกทางหนึ่ง



6.6 อันตรายจากราดูก้มมันตั้งสี

อันตรายจากราดูก้มมันตั้งสีสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากหากร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้รับก้มมันตภาพรังสีในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ในร่างกาย ซึ่งจะทำให้สิ่งมีชีวิตเกิดความเจ็บป่วย หรือหากได้รับในปริมาณมากก็อาจทำให้เสียชีวิตได้

ตารางที่ 2.12 : ผลกระทบของก้มมันตภาพรังสีต่อร่างกายมนุษย์

ปริมาณรังสี (มิลลิซีเวิร์ต)	ผลกระทบต่อร่างกาย
2.2	เป็นระดับรังสีปกติในธรรมชาติที่มนุษย์แต่ละคนได้รับใน 1 ปี
5	เป็นเกณฑ์รังสีสูงสุดที่อนุญาตให้บุคคลทั่วไปรับได้ใน 1 ปี
50	เป็นเกณฑ์สูงสุดที่อนุญาตให้ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับรังสีรับได้ใน 1 ปี
250	เป็นระดับที่ไม่ทำให้ร่างกายปราศจากการพิດปักษ์ ทั้งในระยะสั้น และในระยะยาว
500	ทำให้ปริมาณเม็ดเลือดขาวลดลงเล็กน้อย
1,000	ทำให้เกิดอาการคลื่นเหลียน อ่อนเพลีย และมีปริมาณเม็ดเลือดขาวลดลง
3,000	ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย อาเจียน ท้องเสีย เม็ดเลือดขาวลดลง ผอมร่วง เบื้องอาหาร ตัวชี้ดี คอแห้ง มีไข้ และอาจเสียชีวิตได้ภายใน 3-6 สัปดาห์
6,000	ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย อาเจียน ท้องร่วงภายใน 1-2 ชั่วโมง เม็ดเลือดขาวลดลง อย่างรวดเร็ว ผอมร่วง มีไข้ อักเสบบริเวณปากและลำคออย่างรุนแรง และมีโอกาสเสียชีวิตได้ถึง 50% ภายใน 2-6 สัปดาห์
10,000	ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย อาเจียน ท้องร่วงภายใน 1-2 ชั่วโมง เม็ดเลือดขาวลดลง อย่างรวดเร็ว ผอมร่วง มีไข้ อักเสบบริเวณปากและลำคออย่างรุนแรง ผิวหนังพอง บวม ผอมร่วง และเสียชีวิตภายใน 2-3 สัปดาห์

หมายเหตุ : มิลลิซีเวิร์ต (millisievert) คือ หน่วยย่อยของหน่วยวัดปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับ

จะเห็นได้ว่า หากในบริเวณที่มีโรงปฏิกรณ์ปรมาณู หรือโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เกิดการรั่วไหล ของก้มมันตภาพรังสี จะส่งผลกระทบต่อร่างกายของผู้ที่ได้รับรังสีอย่างร้ายแรง ทั้งส่งผลกระทบแบบเรื้อรัง โดยผู้ที่ได้รับรังสีอาจต้องเผชิญกับผลของรังสีในอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย ส่งผลให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น ทำให้เป็นหมัน แท้ง ผอมร่วง ปอดอักเสบ และรังสีสามารถก่อให้เกิดอาการอื่น ๆ ตามมาภายหลังได้ เช่น เกิดต้อกระจก และเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในอีกหลายปีต่อมา และส่งผลกระทบแบบเฉียบพลัน โดยผู้ที่ได้รับรังสีในปริมาณสูง อาจเสียชีวิตได้ในช่วงเวลาสั้น ๆ



Prior Knowledge

ราตุและสารประกอบในธรรมชาติสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายหรือไม่อย่างไร



7. ราตุและสารประกอบในสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม

นักเรียนได้ศึกษาเกี่ยวกับราตุและสมบัติของราตุต่างๆ มาแล้ว ต่อไปนักเรียนจะได้ศึกษาเกี่ยวกับราตุและสารประกอบของราตุที่สำคัญบางชนิด ซึ่งเกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของมนุษย์ สัตว์ และพืช โดยจะยกตัวอย่างประโยชน์ของราตุและสารประกอบของราตุ ทั้งราตุเรพีเซนเทฟิ ราตุแทรนซิชัน และราตุกัมมันตรังสี ที่สามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน ดังนี้

7.1 ราตุแคลเซียม

ราตุแคลเซียมพบมากในส่วนที่เป็นเปลือกโลก โดยจะพบประมาณร้อยละ 5.4 โดยมวลของเปลือกโลก ซึ่งนับว่ามากเป็นอันดับที่ 5 เมื่อเทียบกับราตุอื่น ๆ ที่มีในเปลือกโลก ส่วนใหญ่จะพบอยู่ในรูปของสารประกอบพากหินปูน ซึ่งมี CaCO_3 เป็นองค์ประกอบ เช่น ในเปลือกหอยหินปะรัง หินงอก หินย้อย ดินมะรล นอกจากนี้ยังพบในหินแร่ในรูปของแคลเซียมชัลเฟต เช่น แร่ยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

ประโยชน์ของแคลเซียม

- ◉ ช่วยควบคุมการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อในร่างกายในสิ่งมีชีวิต รวมทั้งการแข็งตัวของเลือด
- ◉ สารประกอบแคลเซียมในรูป CaCO_3 จากหินปูน ใช้ทำปูนขาว ดินสอพอง ชอล์ก และเครื่องปั้นดินเผา
- ◉ CaCO_3 ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตโซดาแอช (Na_2CO_3)
- ◉ ใช้หินปูน ดินมะรล หรือเปลือกหอย แก้ความเป็นกรดของดิน
- ◉ CaSO_4 จากยิปซัมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมแผ่นวัสดุกันความร้อน เช่น ยิปซัมบอร์ด และใช้ในอุตสาหกรรมแก้วและซีเมนต์



▲ ภาพที่ 2.70 ดินสอพองและเครื่องปั้นดินเผาทำมาจาก CaCO_3

7.2 ธาตุอะลูมิเนียม

มักพบอะลูมิเนียมอยู่ในรูปของสารประกอบต่าง ๆ เช่น บอกไซต์ ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ไครโอลิต (Na_3AlF_6) โดยอะลูมิเนียมมีสีเงิน มีความหนาแน่นต่ำ นำไปฟื้นและความร้อนได้ดี เหนียว และแข็ง ดัดโค้งงอได้ ตีเป็นแผ่นหรือดึงเป็นเส้นได้

ประโยชน์ของอะลูมิเนียม

- ◎ นำมาเจือในโลหะต่าง ๆ ทำให้ได้โลหะผสมที่มีความหนาแน่นต่ำ ใช้ทำเครื่องเงิน ยานอวกาศ กลอน-ประดุจและหน้าต่าง เครื่องใช้ต่าง ๆ ในครัวเรือน
- ◎ ใช้ทำกระป๋องบรรจุน้ำอัดลมและน้ำผลไม้
- ◎ ใช้ทำอะลูมิเนียมแผ่นบางสำหรับห่อวัสดุ
- ◎ ใช้ทำลวดตัวนำไฟฟ้า



▲ ภาพที่ 2.71 อะลูมิเนียมฟอยล์ถูกนำมาใช้ห่ออาหารเพื่อรักษาความสดของอาหาร



▲ ภาพที่ 2.72 กระป๋องบรรจุผลไม้尼มนำมาจากอะลูมิเนียม

7.3 ชาตุซิลิคอน

มักพบซิลิคอนอยู่ในแร่ควอตซ์และทรวย ในรูปของซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) หรือที่เรียกว่า ซิลิกา ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับเพชร แต่มีความแข็งน้อยกว่าเพชร อะตอมมีดเห็นยังกันด้วยพันธะ โคลเวเลนต์เป็นโครงผลึกร่วงตามข่าย นอกจากนี้ยังพบธาตุซิลิคอนได้ในรูปของสารประกอบซิลิกาเกต อีกด้วย

ประโยชน์ของซิลิคอน

- ◎ ใช้เป็นสารกึ่งตัวนำ สำหรับทำวงจรไฟฟ้าขนาดเล็ก เพื่อใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น โทรศัพท์ ไมโครคอมพิวเตอร์ วิทยุ เซลล์สูริยะ เป็นต้น
- ◎ ซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) เป็นสารโครงผลึกร่วงตามข่ายที่มีความแข็งแรงมาก จึงนิยมนำมาใช้ทำเครื่องสับ เครื่องบด เครื่องโม่
- ◎ ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) นำมาใช้เป็นวัตถุติดในการทำแก้ว และส่วนประกอบของนาฬิกาควอตซ์
- ◎ ซิลิกาเจล เป็นซิลิกาที่มีรูพรุน และมีน้ำปนอยู่ร้อยละ 5 นำมาใช้เป็นสารดูดความชื้น และใช้ในเทคนิคโคมไฟฟ้า
- ◎ ซิลิกาเจลนำมาใช้ในอุตสาหกรรมทำแก้ว เส้นใยแก้ว เส้นใยนำแสง และเครื่องปั๊มน้ำดินเผา



▲ ภาพที่ 2.73 ซิลิกาเจลนำมายังเป็นสารดูดความชื้น

7.4 ราตุ่ในໂຕຣເຈນ

ຮາຕຸ້ໃນໂຕຣເຈນພບໄດ້ທັງໃນຮູປີສະ (ໃນອາກະພບປະມານຮ້ອຍລະ 79 ໂດຍບໍລິມາຕຣ) ແລະ ໃນຮູປຂອງສາຮປະກອບໃນໂຕຣເຈນທີ່ຢູ່ໃນຮູປກຽດຂະມິໂນແລະ ໂປຣຕິນ

ປະໂຍບົນຂອງໃນໂຕຣເຈນ

- ◉ ແກັສໃນໂຕຣເຈນ (N_2) ນຳມາໃຊ້ບຣຈຸໃນຫລວດໄຟ
- ◉ ແກັສໃນໂຕຣເຈນ (N_2) ໃຊ້ໃນເຕີມກຽດໄຟຕິກ (HNO_3) ທີ່ນຳໄປໃຊ້ໃນອຸຕສາຫກຮມສື ພລາສຕິກ ໄກເທີມ ວັດຄຸຮະເບີດ ນອກຈາກນີ້ກຽດໄຟຕິກຍັງນຳມາໃຊ້ເຕີມສາຮປະກອບໃນເຕຣຕ (NO_3) ເພື່ອນຳໄປ ໃຊ້ໃນເລືດປຸ່ຍ ພລຸສີ ແລະ ໃຊ້ໃນກະບວນກາຮົມພິມພັ້ນ
- ◉ ແກັສໃນໂຕຣເຈນ (N_2) ໃຊ້ໃນເຕີມແກັສແອມໂມເນີຍ (NH_3) ທີ່ເປັນສາຮຕັ້ງຕັນໃນເຕີມ ຫຼື ເຕີມຄາරົບນັດຫົ້ວໂຈດາແອຊ (Na_2CO_3) ປຸ່ຍແອມໂມເນີຍ ຜັລົມ ($(NH_4)_2SO_4$) ແລະ ປຸ່ຍຢູ່ເຮີຍ (NH_2CONH_2)
- ◉ ໃນໂຕຣເຈນມີຄວາມສຳຄັງຫຼືຕ່ອງສິ່ງມີເຊີວິຕເປັນອຍ່າງມາກ ໂດຍພຶ່ສ່ວນໃໝ່ ສັງເຄຣະທີ່ໂປຣຕິນໂດຍໃຊ້ໃນເຕຣຕໄອອອນ (NO_3^-) ຈາກດິນ ແລະ ພຶ່ຕະຮະກຸລຄ່າວ່າສາມາດເປັນແກັສໃນໂຕຣເຈນໃນອາກະທີ່ເປັນ ສາຮອາຫາຮໄດ້



▲ ກາພທີ 2.74 ແກັສແອມໂມເນີຍໃຊ້ ເປັນສາຮຕັ້ງຕັນໃນເຕີມປຸ່ຍເຄີມ

7.5 ຮາຕຸຟອສົມົກ

ຮາຕຸຟອສົມົກຈະໄມ່ພບໃນຮູປີສະໃນຮຽມໜາຕີ ແຕ່ຈະພບອູ້ໃນຮູປສາຮປະກອບ ເຊັ່ນ ແຮ່ນ ພົມສົມົກໃນຟຸລູອໂຮອະປາໄຕຕີ ($Ca_5F(PO_4)_3$) ແລະ ເຄລເຊີມພົມສົມົກ ($Ca_3(PO_4)_2$) ນອກຈາກນີ້ ຍັງພບົມສົມົກໄດ້ໃນໄຟແດງ ເສັ້ນປະສາກ ສມອງ ກະດູກ ແລະ ພັນ

ປະໂຍບົນຂອງົມສົມົກ

- ◉ ສາຮປະກອບົມສົມົກນຳມາໃຊ້ກຳປຸ່ຍົມສົມົກ ແລະ ປຸ່ຍໆໜູປປົມສົມົກ ແລະ ໃຊ້ກຳຍາ່ແມລົງໜີດອອົກ ແກັນົມສົມົກ ທີ່ສລາຍຕົວ່າຍ ແລະ ມີສາຮພິ່ນຕົກຄ້ານີ້ນອຍ
- ◉ ເສັ້ນປະສາກແດງໃຊ້ກຳເບີດເປັດເປັນ ຮະເບີດໜອກຄວັນ ແລະ ໄມ້ມີຂີດໄຟ ແລະ ໃຊ້ເຕີມໄດ້ົມສົມົກເພັນຕະອອກໄຟຕີ (P_2O_5) ທີ່ເປັນສາຮຕັ້ງຕັນ ສໍາຫັບຜົດກຽດົມສົມົກ (H_3PO_4)
- ◉ ເສັ້ນປະສາກເປັນອົງຄົມປະກອບທີ່ສຳຄັງໃນສິ່ງມີເຊີວິຕ ທີ່ກຳທຳໜ້າທີ່ຄວບຄຸມ ຄວາມເປັນກຽດ - ເບສິນເລືອດແລະ ຂອງເຫຼວໃນຮ່າງກາຍຂອງສິ່ງມີເຊີວິຕ



▲ ກາພທີ 2.75 ໄມ້ຂີດໄຟທຳມາຈາກ ເສັ້ນປະສາກແດງ

7.6 ธาตุออกซิเจน

พบทั้งในรูปของธาตุอิสระและในรูปของสารประกอบ ซึ่งในรูปของธาตุอิสระจะพบออกซิเจนเป็นแก๊สในอากาศ ซึ่งมีประมาณร้อยละ 21 โดยปริมาตร ส่วนในรูปของสารประกอบจะพบออกซิเจนเกิดอยู่ในแร่เป็นส่วนมาก โดยแร่ที่พบออกซิเจนมากที่สุด คือ แร่ซิลิกา (SiO_2) นอกจากนี้ออกซิเจนยังเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอาหารต่าง ๆ เช่น แป้ง น้ำตาล และไขมัน

ออกซิเจนเป็นแก๊สไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีสมบัติช่วยให้ไฟติด เกิดสารประกอบกับธาตุต่าง ๆ ได้ดี เช่น สารประกอบออกไซด์เกิดกับธาตุโดยทั่วไป สารประกอบเบอร์ออกไซด์เกิดกับโลหะหมุ่ IA และ IIA เช่น K_2O CaO_2 เป็นต้น สารประกอบซุปเบอร์ออกไซด์เกิดกับโลหะหมุ่ IA เช่น NaO_2 LiO_2 เป็นต้น สารประกอบไฮไดรด์เกิดกับธาตุไฮโดรเจน เช่น H_2O H_2O_2 เป็นต้น

ประโยชน์ของออกซิเจน

- ◉ ใช้ในกระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิต
- ◉ ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้และการสันดาปของสารต่าง ๆ ในร่างกายของสิ่งมีชีวิต
- ◉ ใช้ผสมกับแก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) จะได้เพลาไฟที่ร้อนแรงใช้ในการเชื่อมหรือตัดโลหะ
- ◉ ออกซิเจนเหลวใช้เป็นตัวออกซิไดส์ และเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ของจรวด
- ◉ ใช้ในการสังเคราะห์สารเคมีชนิดอื่น ๆ เช่น กรดไนโตริก (HNO_3) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เป็นต้น
- ◉ ออกซิเจนในรูปโออกซอน (O_3) ใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำ นำมาระบายน้ำกับอากาศทำให้อากาศบริสุทธิ์ และใช้ฟอกสี กระดาษและเส้นใยที่ใช้ทอผ้า



▲ ภาพที่ 2.76 ออกซิเจนเหลวใช้เป็นเชื้อเพลิงของจรวด



▲ ภาพที่ 2.77 แก๊สออกซิเจนผสมแก๊สอะเซทิลีนใช้ในการเชื่อมโลหะ

7.7 ราตุไอกอเดิน

ราตุไอกอเดินเป็นราตุที่มีปริมาณน้อย ส่วนมากพบในสารประกอบไฮโอดีดในน้ำทะเล ซึ่งมีความเข้มข้นเพียง 0.05 ppm โดยมวลเท่านั้น นอกจากนี้แหล่งกำเนิดราตุไอกอเดินที่สำคัญ ในธรรมชาติอีกแหล่งหนึ่ง คือ พbowy ในรูปของ NaIO_3 ซึ่งเมื่อนำมาเผาจะได้ไฮโอดีนร้อยละ 1 โดยมวล

ประโยชน์ของไฮโอดีน

- ◎ ไฮโอดีนละลายใน.ethanol เรียกว่า ทิงเจอร์ไฮโอดีน ใช้ทาแผล ผ่าเชื้อโรค
- ◎ ซิลเวอร์ไฮโอดีด (AgI) ใช้ในกิจกรรมภาพถ่าย และใช้ทำฟันเทียม
- ◎ ไฮโอดีนมีความสำคัญต่อมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการผลิตฮอร์โมนไทรอยด์ ($\text{C}_{15}\text{H}_{11}\text{O}_4\text{NI}_4$) ในต่อมไทรอยด์ ซึ่งใช้ควบคุมเมแทบอลิซึมของร่างกาย ถ้าขาดไฮโอดีนจะทำให้เกิดโรคคอพอก เพราะต่อมไทรอยด์เกิดการขยายตัว เนื่องจากทำหน้าที่มากเกินไป



▲ ภาพที่ 2.78 ทิงเจอร์ไฮโอดีน นำมาใช้ทาแผลเพื่อผ่าเชื้อโรค

7.8 ราตุเหล็ก

ในธรรมชาติจะพบเหล็กอยู่ในรูปของแร่นิิดต่าง ๆ โดยแร่เหล็กส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ เช่น แร่แมกนีไทต์ (Fe_2O_3) และแมกนีไทต์ (Fe_3O_4) เป็นต้น ซึ่งแร่เหล่านี้สามารถนำมายากราดเหล็กออกมาราดโดยนำมายังด้วยวิธีรีดิวช์ ด้วยการเผากับถ่านโค้กในเตาพ่นลม

ประโยชน์ของเหล็ก

- ◎ เหล็กกล้าประกอบด้วยเหล็กกับคาร์บอน และอาจมีโลหะอื่น ๆ ผสมอยู่ในปริมาณเล็กน้อย นำมาใช้ในงานก่อสร้าง ทำเครื่องยนต์ กลไกต่าง ๆ รวมทั้งเป็นส่วนประกอบของของใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ลวด ตะปู ตัวถังรถยนต์ รถไฟ เรือ เป็นต้น และเมื่อนำมาเผาเป็นสังกะสีมุงหลังคา และทำกระป๋องบรรจุอาหาร ซึ่งมีความทนทานต่อการผู้กร่อนได้ดี
- ◎ เหล็กกล้าที่ผสมนิกเกิลร้อยละ 3 และโครเมียมร้อยละ 1 นำมาทำส่วนประกอบของเครื่องจักรประเภทเฟือง เกียร์เพลา และข้อเสือ และเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผสมโครเมียมร้อยละ 18 นิกเกิลร้อยละ 8 และคาร์บอนร้อยละ 0.4 นำมาทำมีด ช้อน ส้อม นาฬิกา เครื่องมือผ่าตัด และเครื่องมือที่ต้องการความต้านทานการผุกร่อน ต่อกรดและสารเคมี



▲ ภาพที่ 2.79 เครื่องมือผ่าตัด นิยมนำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิม ที่ผสมโครเมียม นิกเกิล และคาร์บอน

7.9 ธาตุทองแดง

ในธรรมชาติทองแดงส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแร่ชัลไฟต์และออกไซด์ซึ่งแร่ทองแดงส่วนใหญ่จะมีทองแดงเป็นองค์ประกอบไม่มากนัก โดยแร่สำคัญที่พบทองแดง คือ แร่คาลโคไฟโรต์ (CuFeS_2) นอกจากนี้ยังมีแร่อื่น ๆ อีก เช่น แร่คาลโคไซต์ (Cu_2S) แร่โคเวลไลต์ (CuS) แร่คิวไพร็ต (Cu_2O) แร่มาลาไซต์ ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$) แร่เทนอิร์ต (CuO) เป็นต้น

ประโยชน์ของทองแดง

- ◉ เนื่องจากทองแดงเป็นโลหะอ่อนจึงดัดเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ง่าย และทองแดงนำไฟฟ้าได้ดี ประโยชน์ส่วนใหญ่จึงใช้ในงานด้านไฟฟ้า เช่น ทำสายไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เป็นต้น
- ◉ โลหะสมรรถนะทางเคมีสูงกว่า ทองเหลือง นำมาใช้ทำปืนใหญ่ ระเบิด ลูกกระสุนปืน กุญแจ กระดุม และใบพัดเรือ โลหะสมรรถนะทางเคมีสูงกว่า ทองสัมฤทธิ์ นำมาใช้ทำปืนใหญ่ ระเบิด ลูกกระสุนปืน โลหะสมรรถนะทางเคมีสูงกว่า ทองแดงกับอะลูมิเนียมจัดเป็นทองสัมฤทธิ์อีกประเภทหนึ่งซึ่งถ้ามีอะลูมิเนียมผสมอยู่ร้อยละ 25 จะมีศักยภาพสูง จึงนำมาใช้ทำห้องเที่ยมได้
- ◉ สารประกอบเชิงซ้อนของทองแดงเป็นองค์ประกอบในเลือดปู หมึก หอยโข่ง แมงป่อง ซึ่งทำให้เลือดของสัตว์เหล่านี้มีสีน้ำเงิน



▲ ภาพที่ 2.80 ทองแดงนำไฟฟ้า
ได้ดี จึงนำมาทำสายไฟฟ้า

7.10 ธาตุสังกะสี

ในธรรมชาติมักจะพบสังกะสีอยู่ในแร่ต่าง ๆ จำนวนมาก โดยแร่ที่สำคัญ คือ แร่สฟารอิร์ต หรือซิงค์เบลน (ZnS) แร่ไฮมอร์ไฟต์ ($\text{Zn}_4(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})_2\text{H}_2\text{O}$) แร่สมิทโซไนต์ (ZnCO_3) และแร่ซิงค์ไซต์ (ZnO)

ประโยชน์ของสังกะสี

- ◉ สังกะสีชุบเหล็กกล้านำมาทำเป็นสังกะสีมุ่งหลังคาและถังบรรจุน้ำซึ่งจะช่วยป้องกันการผุกร่อนได้
- ◉ แผ่นสังกะสีบริสุทธิ์ใช้ทำกล่องของขันไฟฉาย ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นขั้วลบของเซลล์
- ◉ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตยากรถยนต์ ใช้เป็นส่วนผสมของสีขาว และใช้ทำยาจำพวกชี้ฟัน หรือเครื่องสำอาง
- ◉ ซิงค์คลอไรต์ (ZnCl_2) ใช้ในการรักษาเนื้อไม้ให้คงทน
- ◉ สังกะสีเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์บางชนิดที่ช่วยย่อยและสังเคราะห์โปรตีน ถ้าร่างกายขาดสังกะสีจะทำให้ผิวหยาบกร้าน เป็นโรคเห็บชา ตับแข็ง ม้ามโต และร่างกายเจริญเติบโตช้า



▲ ภาพที่ 2.81 กล่องถ่านไฟฉาย
ทำมาจากแผ่นสังกะสีบริสุทธิ์

7.11 ราตุโคโรเมียม

ในธรรมชาติพบอยู่ในรูปของออกไซเต็ดฟลูออไรด์ ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$) ซึ่งเมื่อเผาแล้วจะได้โคโรเมียม (K_2CrO_4) ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งที่แข็งมาก สีขาวเงิน มีความมันวาว มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง และทนต่อการผู้กร่อน

ประโยชน์ของโคโรเมียม

- ◉ ใช้เคลือบผิวของเหล็กและโลหะอื่น ๆ โดยการชุบด้วยไฟฟ้า เรียกว่า การชุบโคโรเมียม ทำให้ได้ผิวโลหะที่เป็นมันวาว สีเทาเงิน และไม่ผุกร่อน ซึ่งเป็นการป้องกันการผุกร่อนตามธรรมชาติ
- ◉ ใช้เป็นส่วนประกอบของเหล็กกล้าผสมที่ใช้ทำตู้นิรภัย เครื่องยนต์ กลไก เครื่องกันกระสุน เครื่องบินไโอลิน และจรวด เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทาน และเหนียว
- ◉ โลหะเจือระหว่างโดยล็อกกับโคโรเมียมนำมาใช้ทำกระดูกเทียม เนื่องจากมีความแข็งแรงมาก และมีปฏิกิริยาต่อร่างกายน้อย



▲ ภาพที่ 2.82 ก๊อกน้ำที่ผ่านการชุบโคโรเมียมจะมีลักษณะมันวาว

7.12 ราตุเรเดียม

ราตุเรเดียมเป็นธาตุกัมมันตรังสี สามารถเตรียมได้จากการแยกสลายสารประกอบและไลด์ของเรเดียมด้วยไฟฟ้าโดยใช้protoเป็นข้าว ซึ่งprotoที่เสถียรที่สุด คือ เรเดียม-226 ($\text{Ra}-226$)

ประโยชน์ของเรเดียม

- ◉ การสลายตัวของเรเดียมจะให้รังสีเกมมา ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง จึงนำเรเดียมมาใช้ในการรักษาโรคมะเร็งได้
- ◉ เรเดียมเป็นสารที่เรืองแสงได้ในที่มืด จึงนำเรเดียมมาใช้ในอุตสาหกรรมสารเรืองแสง

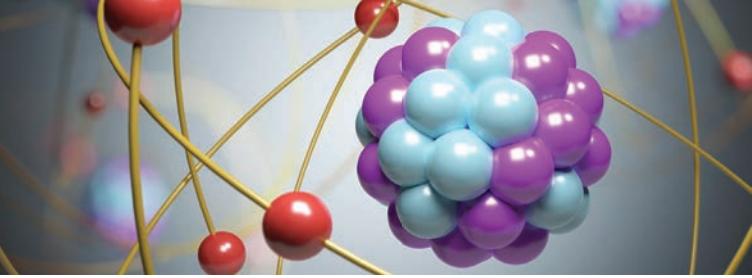


ภาพที่ 2.83 ยาเม็ดที่ผลิตจาก Ra-223 ใช้รักษาโรคมะเร็ง



Summary

อะตอมและตารางธาตุ



แบบจำลองอะตอม



การจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอม

จำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละระดับชั้น พลังงาน
มีค่าเท่ากับ $2n^2$ เมื่อ n คือ ระดับพลังงาน

ระดับพลังงานย่อย
แต่ละชั้นพลังงานหลักจะมีชั้นพลังงานย่อย เป็น s, p, d และ f ตามลำดับ โดยแต่ละ ออร์บิทัลจะสามารถบรรจุอิเล็กตรอนได้ 2 อิเล็กตรอน

หลักเกณฑ์ในการจัดเรียงอิเล็กตรอนลงในระดับชั้นพลังงานย่อย

- หลักการกีดกันของเพลา : การจัดเรียงอิเล็กตรอนลงในแต่ละออร์บิทัล สามารถ จัดเรียงลงได้มากที่สุดเพียง 2 อิเล็กตรอนเท่านั้น และทั้ง 2 อิเล็กตรอนจะต้องมี ทิศทางต่างกัน
- หลักของอาฟบัว : การบรรจุอิเล็กตรอนลงในแต่ละออร์บิทัลจะต้องบรรจุลงใน ออร์บิทัลที่มีพลังงานต่ำสุดก่อน และเมื่อบรรจุอิเล็กตรอนลงในออร์บิทัลดังไปที่มี พลังงานสูงขึ้น
- กฎของสุนต์ : การบรรจุอิเล็กตรอนลงในออร์บิทัลที่มีระดับพลังงานเท่ากันจะต้อง บรรจุอิเล็กตรอนให้อยู่ในลักษณะเดี่ยวให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

ตารางธาตุ

วิวัฒนาการของการสร้างตารางธาตุ

โยหันน์ เดอเบอไรเนอร์

กฎชุดสาม : เมื่อเรียงธาตุตามมวลอะตอมจากน้อยไปมาก มวลอะตอมของธาตุที่อยู่ตรงกลางจะเป็นค่าเฉลี่ยของมวลอะตอมของธาตุทั้งหมดและตัวล่าง



ดิมิตรี อิวานovich เมเดเลอฟ

กฎพิริออดิก : เมื่อนำมาตราฐานจัดเรียงลำดับตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น จะได้กลุ่มของธาตุที่มีสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพเป็นชุดๆ

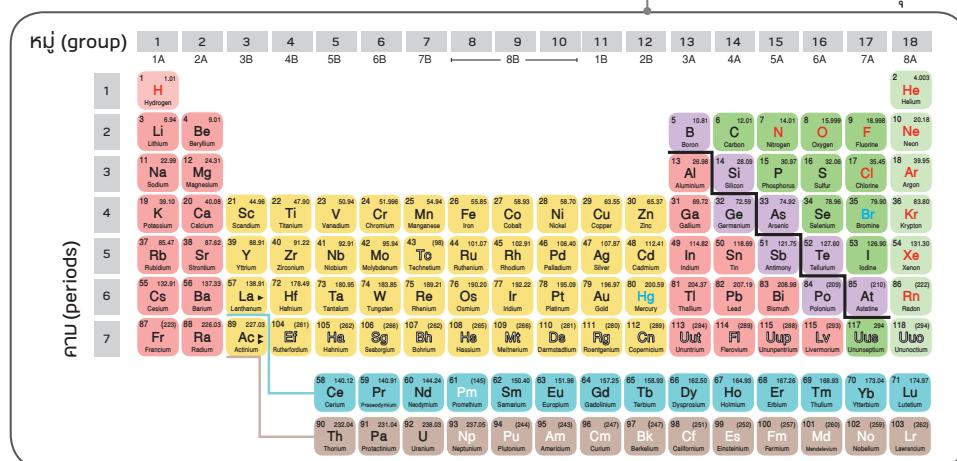


จอห์น นิวแอลันด์

กฎออกเดต : ถ้านำธาตุมา 8 ธาตุ แล้วจัดเรียงธาตุตามมวลจากน้อยไปมากมา 8 ธาตุ ตัวที่ 8 จะมีสมบัติคล้ายคลึงกับธาตุตัวที่ 1
เสมอ

เอนรี โมสเลีย

จัดเรียงธาตุตามเลขอะตอม เนื่องจากสมบัติต่างๆ ของธาตุ มีความสัมพันธ์กับโปรดอนในนิวเคลียสหรือเลขอะตอมมากกว่ามวลอะตอม และเป็นตารางธาตุที่ใช้งานบังคับ



▲ ภาพที่ 2.85

สมบัติของธาตุตามหมู่และตามค่า

ขนาดอะตอม

- ในหมู่เดียวกัน อะตอมจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อมีเลขอะตอมเพิ่มขึ้น
- ในครบเดียวกัน อะตอมจะมีขนาดเล็กลง เมื่อมีเลขอะตอมเพิ่มขึ้น

รัศมีไอโอน

- ในหมู่เดียวกันจะมีขนาดเพิ่มขึ้น เมื่อมีเลขอะตอมเพิ่มขึ้น
- ไอออนบวกจะมีขนาดเล็กกว่าไอออนลบ เมื่อมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนในจำนวนที่เท่ากัน
- ไอออนลบที่มีประจุมากจะมีขนาดเล็กกว่าไอออนลบที่มีประจุน้อย
- ไอออนลบที่มีประจุน้อยจะใหญ่กว่าไอออนลบที่มีประจุน้อย พลังงานไอโอนในเชิงลบ
- เป็นพลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการดึงอิเล็กตรอนให้หลุดออกจากอะตอมในสภาวะแก๊ส
- ตามค่าจะมีค่ามากขึ้น เมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น
- ตามหมู่จะมีค่าลดลง เมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น

อิเล็กโทร negativity

- เป็นค่าความสามารถของอะตอมในการดึงดูดอิเล็กตรอนเพื่อให้เกิดเป็นสารประกอบ

• ตามค่าจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น

• ตามหมู่จะมีค่าลดลง เมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น

สมพร่องภาพอิเล็กตรอน

- เป็นพลังงานที่อะตอมในสถานะแก๊สภายในกماเมื่อได้รับอิเล็กตรอน
- ตามค่าจะเพิ่มขึ้น (ค่าเป็นลบมากขึ้น) เมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น
- ตามหมู่จะลดลง เมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น

จุดเดือดและจุดหลอมเหลว

• ตามค่า หมู่ 1A - 4A จะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูงขึ้น ตามลำดับ ส่วนหมู่ 5A - 8A จะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวลดลงตามลำดับ

• ตามหมู่ หมู่ 1A - 3A ส่วนใหญ่จุดเดือดและจุดหลอมเหลวจะมีค่าลดลง หมู่ 4A จุดเดือดและจุดหลอมเหลว มีแนวโน้มไม่ชัดเจน

เลขออกซิเดชัน

- เป็นเลขที่แสดงถึงค่าประจุไฟฟ้าของอะตอมของธาตุในไมโครกลุ่มสารประกอบหรือไอโอนของสาร

ธาตุแทرنซิชัน

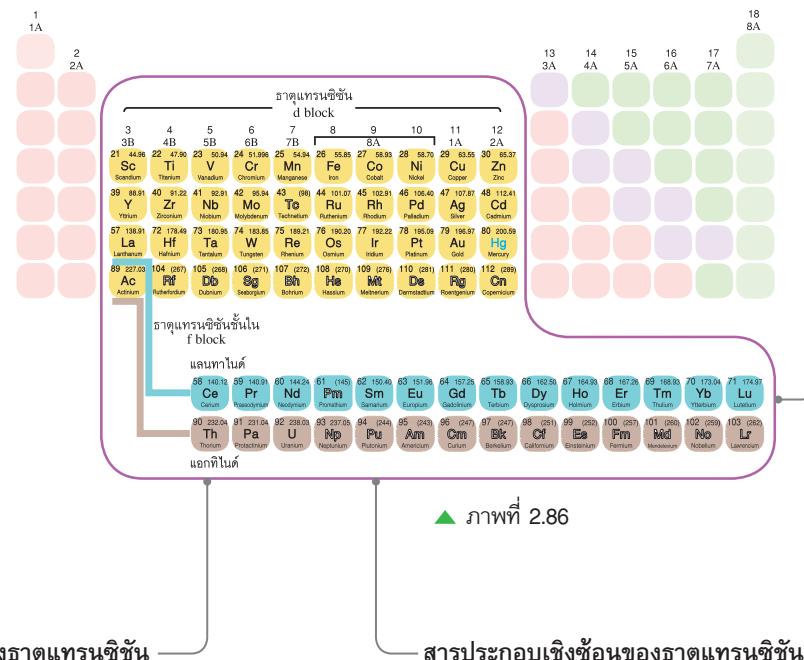
สมบัติของธาตุแทرنซิชัน

ถูกจัดไว้ในกลุ่มของธาตุที่เป็นโลหะ แต่จะมีสมบัติที่แตกต่างจากโลหะหมู่ IA และ IIA

ดังนั้น ธาตุแทرنซิชันจึงถูกจัดไว้คู่กับกลุ่มกับโลหะหมู่ IA และ IIA

สมบัติที่แตกต่างจากโลหะหมู่ IA และ IIA มีดังนี้

- มีเวลน์อิเล็กตรอนเท่ากับ 2 (ยกเว้น Cr และ Cu มีเวลน์อิเล็กตรอนเท่ากับ 1)
- มีขนาดอะตอมใกล้เคียงกัน
- มีจุดหลอมเหลว จุดเดือด และความหนาแน่นสูงกว่าโลหะหมู่ IA และ IIA หาก
- มีค่าพลังงานไอออกไซเดชันในลำดับที่ 1 และมีค่าอิเล็กโตรเนกติกวิตี้ต่ำ แต่สูงกว่าโลหะหมู่ IA และ IIA



สารประกอบของธาตุแทرنซิชัน

- สีของสารประกอบและไอออกอนของธาตุแทرنซิชันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของธาตุแทرنซิชัน เลขออกซิเดชัน ชนิดและจำนวนของสารที่เข้าสร้างพันธะกับธาตุแทرنซิชัน เป็นต้น
- ธาตุแทرنซิชันมีสีได้ เนื่องจากอิเล็กตรอนในระดับ d-orbital มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ตามองเห็น และแสงที่ไม่ถูกดูดกลืนนั้นจะปรากฏเป็นสีของสารประกอบหรือสีของไอออกอน แต่ละชนิด

สารประกอบเชิงซ้อนของธาตุแทرنซิชัน

- ไอออกอนเชิงซ้อนจะประกอบด้วยอะตอมหรือไอออกอนของโลหะแทرنซิชันอยู่ต่ำลงมา โดยมีกลุ่มของไอออกอนหรือโมเลกุลอื่น (ลิแกนด์) ล้อมรอบด้วยพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ ซึ่งไอออกอนเชิงซ้อนสามารถเกิดได้ทั้งไอออกอนบวกและไอออกอนลบ
- สารประกอบเชิงซ้อน เป็นสารประกอบของโลหะแทرنซิชันที่มีไอออกอนเชิงซ้อนมาเป็นองค์ประกอบ ซึ่งอาจเป็นไอออกอนบวกหรือไอออกอนลบก็ได้

ราตุกัมมันตภาพรังสี

การเกิดกัมมันตภาพรังสี

- กัมมันตภาพรังสีเป็นปรากฏการณ์ที่ราตุกัมมันตัวรังสีเกิดการแพร่รังสีออกมานานตลอดเวลา เนื่องจากในนิวเคลียสของราตุกัมมันตัวรังสี มีพลังงานสูงมาก และไม่เสถียร จึงต้องปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมานิรูปของอนุภาคหรือรังสีบางชนิด เพื่อทำให้ราตุกัมมันตัวรังสีอยู่ในสภาพที่เสถียร

อนุภาคหรือรังสีที่แผ่หรือสลายตัวออกมานอกจากราตุกัมมันตัวรังสี แบ่งออกเป็น 3 ประเภท

	อนุภาคแอลฟ่า	อนุภาคบีตา	รังสีแกมมา
สัญลักษณ์	α หรือ ${}^4_2\text{He}$	β หรือ ${}^0_{-1}\text{e}$	γ
สมบัติ	เป็นนิวเคลียสของอะตอมซีเลียม	มีสมบัติเหมือนอิเล็กตรอน	เป็นพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
ประจุไฟฟ้า	+2	-1	ไม่มีมวลและไม่มีประจุไฟฟ้า

การสลายตัวของราตุกัมมันตัวรังสี

การแพร่งสีแอลฟ่า : นิวเคลียสใหม่ที่เกิดขึ้นจะมีเลขอะตอมลดลงจากเดิม 2 หน่วย และเลขมวลลดลง 4 หน่วย

การแพร่งสีบีตา : นิวเคลียสของราตุกั่วจะมีเลขอะตอมเพิ่มขึ้น 1 หน่วย

การแพร่งสีแกมมา : ไม่ทำให้เลขมวลและเลขอะตอมของราตุกั่วเปลี่ยนแปลงไป

ครึ่งชีวิตของราตุกัมมันตัวรังสี

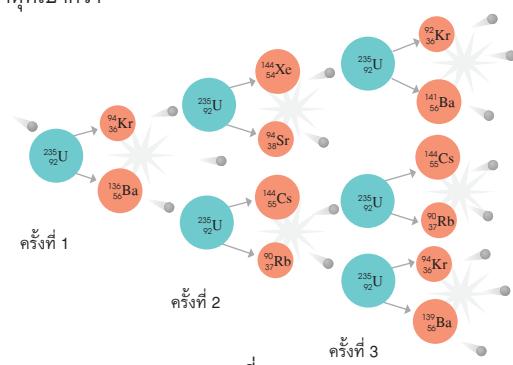
- เป็นระยะเวลาที่สารกัมมันตัวรังสีสลายตัวจนเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม ใช้สัญลักษณ์เป็น $t_{\frac{1}{2}}$
- หาได้จากการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$N_{\text{เหลือ}} = \frac{N_{\text{เริ่มต้น}}}{2^n} \quad \text{และ} \quad n = \frac{T}{t_{\frac{1}{2}}}$$

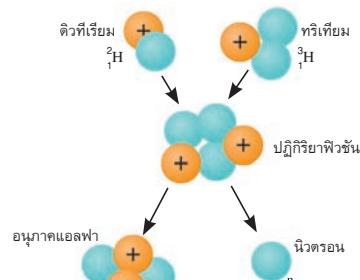
ปฏิกิริยานิวเคลียร์

ปฏิกิริยาพิวชัน คือ กระบวนการที่นิวเคลียสของราตุกั่วนักบางชนิดถูกยิงด้วยนิวตรอน แล้วเกิดการแตกตัวออกเป็นไอโซโทปของราตุกั่วที่เบากว่า

ปฏิกิริยาพิวชัน คือ ปฏิกิริยาที่เกิดการรวมตัวของไอโซโทปที่มีมวลอะตอมต่ำ ทำให้เกิดไอโซโทปใหม่ที่มีมวลมากขึ้นกว่าเดิม



▲ ภาพที่ 2.87



▲ ภาพที่ 2.88

- การตรวจสอบสารที่สงสัยว่าเป็นราตุกัมมันตัวรังสีสามารถทำได้ ดังนี้ ใช้ฟิล์มถ่ายรูปหุ้มสารที่สงสัยว่าจะเป็นราตุกัมมันตัวรังสีไว แล้วนำไปไว้ในที่เงียบ นำสารที่สงสัยว่าจะมีกัมมันตภาพรังสีไปไว้ใกล้กับสารเรืองแสง และใช้เครื่องไกเกอร์-มูลเลอร์ เคาน์เตอร์
- ราตุกัมมันตัวรังสีสามารถนำมาราดได้ในหลายด้าน ดังนี้ ด้านธุรกิจ ด้านการแพทย์ ด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตรกรรม ด้านการอนามาหาร ด้านพลังงาน
- หากร่างกายได้รับกัมมันตภาพรังสีอาจก่อให้เกิดผลกระทบทั้งแบบเรื้อรังและแบบเฉียบพลัน ซึ่งอาจทำให้เสียชีวิตได้

Self Check

ให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจ โดยพิจารณาข้อความว่าถูกหรือผิด และบันทึกลงในสมุด หากพิจารณาข้อความไม่ถูกต้อง ให้กลับไปทบทวนเนื้อหาตามหัวข้อที่กำหนดให้

	ถูก/ผิด	กบกวนที่หัวข้อ
1. การทดลองของทอมสันทำให้ค้นพบอนุภาคโปรตอน และการทดลองของ ออยเกิน โกลด์ชไตน์ทำให้ค้นพบอนุภาคอิเล็กตรอน	<input type="radio"/>	1.2
2. แบบจำลองอะตอมของโบร์และแบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอก แตกต่างกันตรงตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน	<input type="radio"/>	1.4, 1.5
3. หลักของอาฟนาวกล่าวว่า การจัดเรียงอิเล็กตรอนลงในแต่ละอร์บิทัล จะต้องจัดเรียงลงในอร์บิทัลที่มีพลังงานต่ำสุดก่อน	<input type="radio"/>	2.
4. จอห์น นิวแอลน์ดเป็นผู้เสนอกฎพิริออดิก ซึ่งมีใจความว่า “เมื่อนำรัต្រ มาจัดเรียงลำดับตามลำดับที่เพิ่มขึ้น จะได้กลุ่มรัต្រที่มีสมบัติทางเคมี และสมบัติทางกายภาพเป็นชุดๆ”	<input type="radio"/>	3. บันทึกลงในสมุด
5. พลังงานไอօอีนเซชันเป็นพลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการดึงอิเล็กตรอน ให้หลุดออกจากอะตอมในสภาพแก๊ส ส่วนอิเล็กโโทรเนกติกิตี้เป็นค่า ความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนของอะตอมคู่ที่เกิดพันธะเพื่อให้ เกิดเป็นสารประกอบ	<input type="radio"/>	4.
6. โลหะมีพลังงานไอօอีนเซชัน ค่าอิเล็กโโทรเนกติกิตี้ และค่าสัมพรรคภาพ อิเล็กตรอนต่ำกว่าโลหะ	<input type="radio"/>	4.
7. โลหะแทรนซิชันมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดต่ำกว่าโลหะหมู่ IA และ IIA เนื่องจากอะตอมมีขนาดเล็ก และมีพันธะโลหะที่แข็งแรง	<input type="radio"/>	5.
8. การแผ่ออนุภาคแอลฟ่าจะทำให้นิวเคลียสใหม่ที่เกิดขึ้นมีเลขมวลลดลง จากเดิม 2 หน่วย และเลขอะตอมลดลง 4 หน่วย	<input type="radio"/>	6.
9. ปฏิกิริยาฟิชชัน คือ ปฏิกิริยาที่เกิดการรวมตัวกันของไอโซโทปที่มี มวลอะตอมต่ำ เกิดเป็นไอโซโทปใหม่ที่มีมวลมากขึ้นกว่าเดิม	<input type="radio"/>	6.
10. เหล็กกล้าประกอบด้วยเหล็กกับคาร์บอน ส่วนทองเหลืองประกอบด้วย ทองแดงกับสังกะสี	<input type="radio"/>	7.



Unit Question 2

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. แนวคิดเกี่ยวกับแบบจำลองอะตอมของทอมสันกับของรัทเทอร์ฟอร์ดมีความแตกต่างกันอย่างไร
2. จงอธิบายความหมายของรังสีแคโทด นิวเคลียส และสเปกตรัม
3. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งมีความยาวคลื่น 4.73×10^{-7} เมตร จงหา
 - 1) พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดนี้
 - 2) ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดนี้
 - 3) ตามาจะสามารถมองเห็นสีที่เกิดจากการปลดปล่อยพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดนี้ หรือไม่ ถ้าเห็นจะเห็นเป็นสีอะไร
4. ถ้าอะตอมของธาตุชนิดหนึ่งมีการเปล่งแสงสีม่วงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร จงหาความถี่ และพลังงานของแสงนี้
5. เพราะเหตุใดธาตุไฮโตรเจนที่มีเพียง 1 อิเล็กตรอน จึงมีสันสเปกตรัมได้หลายสัน
6. ถ้านำธาตุชนิดหนึ่งไปให้ความร้อนเพื่อศึกษาเกี่ยวกับสันสเปกตรัม ผลปรากฏว่าเกิดสันสเปกตรัม ที่มีความยาวคลื่น 476 623 และ 697 นาโนเมตร สันสเปกตรัมแต่ละสันของธาตุชนิดนี้จะหาย พลังงานออกมากเส้นละเท่าไร
7. จงเขียนแผนภาพอะตอมบิทัลของการจัดเรียงอิเล็กตรอนของฟลูอิรีนและโพแทสเซียมที่มีเลขอะตอมเป็น 9 และ 19 ตามลำดับ
8. จงแสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนของ ${}_{32}^{75}\text{Ge} {}_{52}^{75}\text{Te} {}_{75}^{75}\text{Re}$ พร้อมระบุว่าธาตุเหล่านี้มีจำนวนเวเลนซ์ อิเล็กตรอนเท่าไร และอยู่ในหมู่และคาบใดในตารางธาตุ
9. ธาตุ X Y และ Z มีการจัดเรียงอิเล็กตรอน ดังนี้

ธาตุ X : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

ธาตุ Y : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$

ธาตุ Z : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$

 - 1) ธาตุ X Y และ Z มีเลขอะตอมเท่าใด ตามลำดับ
 - 2) ธาตุ X Y และ Z มีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่าใด ตามลำดับ

10. จงเติมข้อความลงในช่องว่างต่อไปนี้ให้ถูกต้อง

ธาตุหรือ ไอออน	เลขมวล	เลขอะตอม	จำนวน นิวตรอน	จำนวน โปรตอน	จำนวน อิเล็กตรอน	การจัดเรียงอิเล็กตรอน ในระดับชั้นพลังงานย่อย
V	51	23	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^3$
Br	80	35
Cs	132	55	55
Mn	30	25	25
As	75	33	33
Si	14	14	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
Se	45	34
K ⁺	19	20
Ca ²⁺	40	20	20	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
Al ³⁺	13	14	13
Se ²⁻	34	45	[Ar] $4s^2 3d^{10} 4p^6$
P ³⁻	31	15	15
I ⁻	126	73	54
S ²⁻	16	16	[Ne] $3s^2 3p^6$
Kr	36	48	[Ar] $3d^{10} 4s^2 4p^6$
Mn ⁵⁺	55	25
Cs ⁺	78	54
F ⁻	19	10

- 11.** จงจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานย่อของอะตอมหรือไอออนต่อไปนี้
- 1) ${}_{18}^{36}\text{Ar}$
 - 2) ${}_{27}^{56}\text{Co}$
 - 3) ${}_{30}^{60}\text{Zn}$
 - 4) ${}_{34}^{75}\text{Se}^{2-}$
 - 5) ${}_{37}^{87}\text{Rb}^+$
- 12.** Ca^{2+} และ S^{2-} มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนและขนาดไอออนแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
- 13.** ธาตุ A B C D และ E มีเลขอะตอมเท่ากับ 19 33 34 50 และ 51 ตามลำดับ จงเปรียบเทียบสมบัติต่อไปนี้
- 1) ขนาดของอะตอม
 - 2) สัมพ्रดារภาพอิเล็กตรอน
 - 3) อิเล็กโทรอนกาติวิตี
 - 4) พลังงานไอออนในเซ็นเตอร์ 1
- 14.** เพราะธาตุไดคาร์บอนเจ้มีจุดเดือดสูงกว่าธาตุอื่น ๆ ในความเดียวกัน
- 15.** เลขอะกซิเดชันของธาตุแมงกานีสในสารประกอบหรือไอออนต่อไปนี้ KMnO_4 MnO_2 MnO MnO_4^{2-} และ Mn_2O_7 มีค่าเท่าใด
- 16.** จงแสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานย่อของอะตอมหรือไอออนที่กำหนดให้ต่อไปนี้ Fe Fe^{2+} Fe^{3+} Cu Cu^+ และ Cu^{2+}
- 17.** จงระบุสีของธาตุโครเมียม (Cr) ในสารประกอบหรือไอออนบางจาก A \longrightarrow F ให้ถูกต้อง พร้อมระบุว่า เพราะเหตุใดจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงสีของโครเมียมไอออนได้ในขั้นตอนต่าง ๆ
- $$\begin{array}{ccccccc}
 & \text{1. H}_2\text{O} & & \text{NaOH} & \text{H}_2\text{SO}_4 & \text{1. H}_2\text{SO}_4 & \\
 \text{CrO}_3 & \xrightarrow{\text{2. NH}_3} & (\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4 & \longrightarrow & \text{Cr}_2\text{O}_3 & \longrightarrow & \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \\
 & \text{A.} & \text{B.} & & \text{C.} & & \text{D.} \\
 & & & & & & \text{E.} \\
 & & & & & & \text{F.}
 \end{array}$$
- 18.** เพราะเหตุใดสารประกอบเชิงช้อนของธาตุแทรนซิชันเจ้มีเลขอะกซิเดชันได้หลายค่า
- 19.** การปลดปล่อยอนุภาคน้ำตาเกิดขึ้นได้อย่างไร และเลขมวล เลขอะตอมของธาตุเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
- 20.** จงเขียนแผนภาพการสลายตัวของ $\text{U}-235$ จนสิ้นสุดที่ $\text{Pb}-207$ โดยมีการปล่อยรังสี α β α β α α β α โดยอธิบายการเปลี่ยนแปลงใน 5 ขั้นตอนแรก

21. หากยิงอนุภาคแอลฟ้าเข้าไปในนิวเคลียสของธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 12 เลขมวลเท่ากับ 24 จะให้ธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 13 เลขมวลเท่ากับ 28 และอนุภาค X หากยิงอนุภาคแอลฟ้าไปในนิวเคลียสของธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 4 เลขมวลเท่ากับ 9 จะให้ธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 6 เลขมวลเท่ากับ 12 และอนุภาค Y หากยิงธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 7 เลขมวลเท่ากับ 14 ด้วยอนุภาค Z จะให้ธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 6 เลขมวลเท่ากับ 14 และโปรดอน อนุภาค X Y และ Z ควรเป็นอนุภาคใด ตามลำดับ
22. เริ่มต้นมี Sr-90 จำนวน 1.00 กรัม สลายตัวเหลือ 0.953 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 2 ปี ดังนั้น Sr-90 จะมีครึ่งชีวิตเท่าไร และเมื่อเวลาผ่านไป 5 ปี จะมี Sr-90 เหลืออยู่จำนวนเท่าไร
23. ธาตุกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งจำนวน 2.66×10^{21} อะตอม มีครึ่งชีวิต 800 ปี จงคำนวณว่า เมื่อเวลาผ่านไป 4,000 ปี ธาตุกัมมันตรังสีชนิดนี้จะมีจำนวนเหลืออยู่กี่อะตอม
24. ธาตุแคลเซียมมีประโยชน์ในด้านใดบ้าง
25. ธาตุใดทำหน้าที่ควบคุมความเป็นกรด-เบสในเลือดและของเหลวในร่างกายของสิ่งมีชีวิต

พันธะเคมี

3

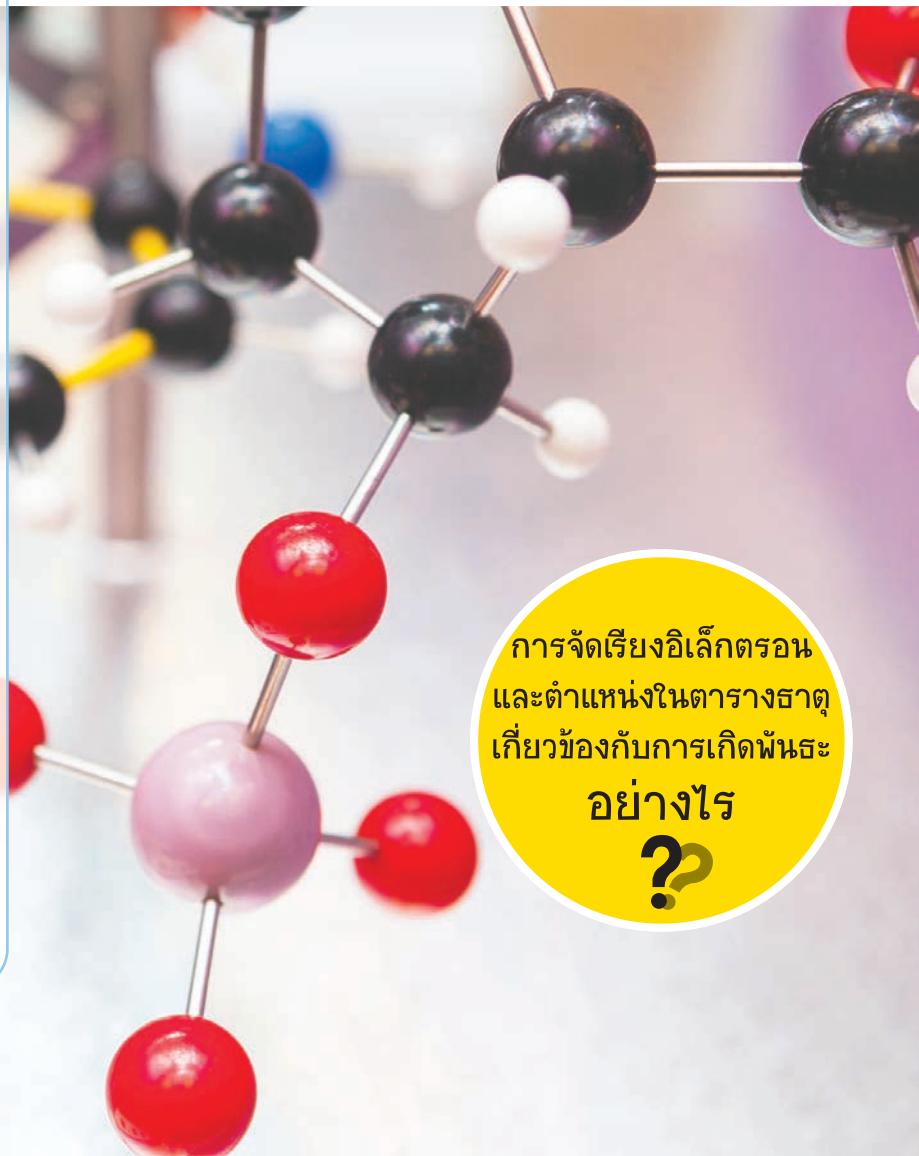
ผลการเรียนรู้

13. อธิบายการเกิดไออ่อนและการเกิดพันธะไอออนิก โดยใช้แผนภาพหรือสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสได้
14. เขียนสูตรและเขียนชื่อสารประกอบไอออนิกได้
15. คำนวนพลังงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบไอออนิกจากวัฏจักรบอร์น-ชาเบอร์ได้
16. อธิบายสมบัติของสารประกอบไอออนิกได้
17. เขียนสมการไอออนิกและสมการไอออนิกสุทธิของปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิกได้
18. อธิบายการเกิดพันธะโคเวเลนต์แบบพันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสาม ด้วยโครงสร้างลิวอิสได้
19. เขียนสูตรและเขียนชื่อสารโคเวเลนต์ได้
20. วิเคราะห์และเปรียบเทียบความยาวพันธะและพลังงานพันธะในสารโคเวเลนต์ รวมทั้งคำนวนพลังงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของสารโคเวเลนต์จากพลังงานพันธะได้
21. คาดคะเนรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์โดยใช้ทฤษฎีการผลลัgrößeระหว่างคู่อิเล็กตรอนในวงเวเลนซ์ และรูปส่วนของโมเลกุลโคเวเลนต์ได้
22. ระบุชนิดของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์ และเปรียบเทียบจุดหลอมเหลว จุดเดือด และการละลายน้ำ ของสารโคเวเลนต์ได้
23. สืบค้นข้อมูลและอธิบายสมบัติของสารโคเวเลนต์โครงร่างตาข่ายชนิดต่างๆ ได้
24. อธิบายการเกิดพันธะโลหะและสมบัติของโลหะได้
25. เปรียบเทียบสมบัติบางประการของสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะ สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ และโลหะได้อย่างเหมาะสม

มาตรฐานฯ ที่อยู่ในธรรมชาติสามารถรวมตัวกันกลายเป็นสารประกอบได้มากหลายชนิดที่มีสมบัติแตกต่างกันออกไป โดยสาเหตุที่ทำให้มาตรฐานฯ เหล่านี้รวมตัวกันเป็นสารประกอบได้ ก็เนื่องจากมาตรฐานฯ มีแรงยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกัน ที่เรียกว่า พันธะเคมี

การจัดเรียนอิเล็กตรอน
และตัวแทนในตารางธาตุ
เกี่ยวข้องกับการเกิดพันธะ

อย่างไร





Prior Knowledge

พันธะโคเวเลนต์จะเกิดขึ้นกับธาตุที่มีลักษณะอย่างไร



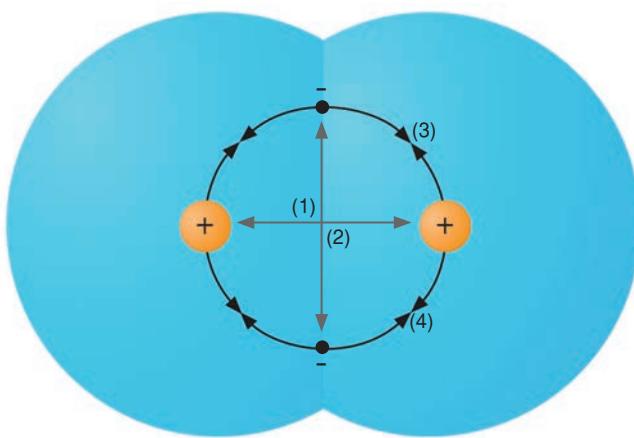
1. พันธะโคเวเลนต์

พันธะโคเวเลนต์ (covalent bonding) เป็นพันธะเคมีชนิดหนึ่งที่เกิดจากอะตอมของอลูมิการนำอิเล็กตรอนมาใช่วิ่งกัน แล้วเกิดเป็นแรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนกับโปรตอนที่อยู่ในนิวเคลียสของหั้งสองอะตอม ซึ่งสารประกอบโคเวเลนต์อาจเกิดจากอะตอมของอลูมิชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้

1.1 การเกิดพันธะโคเวเลนต์

การเกิดพันธะโคเวเลนต์สามารถอธิบายได้โดยใช้การเกิดพันธะโคเวเลนต์ของไฮโดรเจนเป็นต้นแบบ ดังนี้

ไฮโดรเจน 1 อะตอม ประกอบด้วย 1 โปรตอน และ 1 อิเล็กตรอน ในสภาวะนี้ไฮโดรเจนจะมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^1$ ซึ่งเป็นการจัดเรียงอิเล็กตรอนที่ไม่เสถียร ดังนั้น สภาวะนี้อะตอมจะมีพลังงานสูง และมีความเสถียรต่ำ แต่เมื่ออะตอมของไฮโดรเจน 2 อะตอม เคลื่อนที่เข้ามาอยู่ใกล้กันจะเกิดหั้งแรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนของอะตอมหนึ่งกับนิวเคลียสของอีกอะตอมหนึ่ง แรงผลักระหว่างนิวเคลียสของอะตอมหนึ่งกับนิวเคลียสของอีกอะตอมหนึ่ง และแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนของอะตอมหนึ่งกับอิเล็กตรอนของอีกอะตอมหนึ่ง ซึ่งเมื่อหั้ง 2 อะตอมเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันถึงจุดหนึ่ง และเกิดสมดุลระหว่างแรงดึงดูดและแรงผลักขึ้น ผลรวมของแรงนี้จะทำให้นิวเคลียสของหั้ง 2 อะตอมไม่แยกออกจากกัน และเกิดการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันเรียกแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันนี้ว่า พันธะโคเวเลนต์



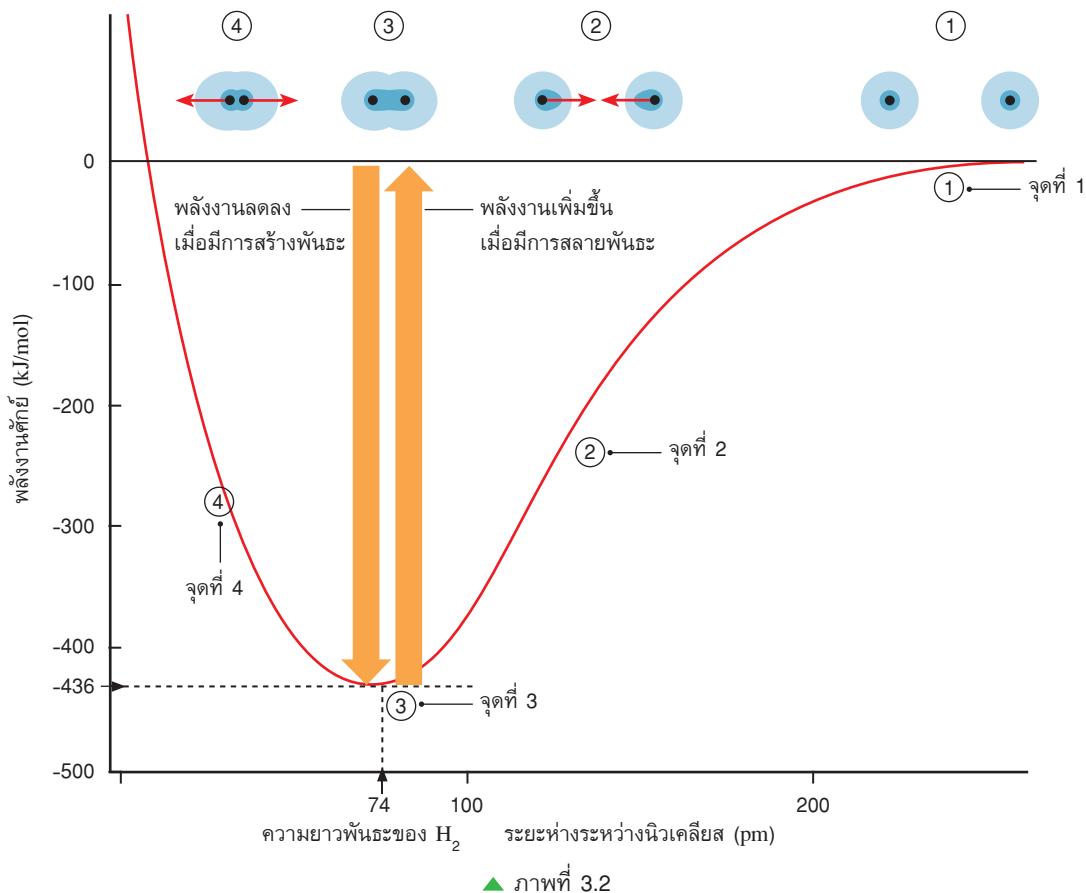
▲ ภาพที่ 3.1 แรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนกับนิวเคลียส (3, 4) แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนกับอิเล็กตรอน (2) และแรงผลักระหว่างนิวเคลียสกับนิวเคลียส (1)



การเกิดพันธะโคเวเลนต์



การเกิดพันธะโคเวเลนต์เกี่ยวข้องกับพลังงานศักย์ที่สะสमภายในโมเลกุล ดังแผนภาพ



สรุปเกี่ยวกับการเกิดพันธะโคเวเลนต์ของแก๊สไฮโดรเจน

- จุดที่ 1 อะตอมของไฮโดรเจน 2 อะตอม อยู่ห่างกันมากจนไม่มีแรงผลักหรือแรงดึงดูดกระทำต่อกัน และอะตอมจะมีพลังงานสะสม (พลังงานศักย์) เป็นศูนย์
- จุดที่ 2 เมื่ออะตอมของไฮโดรเจนหัน 2 อะตอม เริ่มเคลื่อนที่เข้าหากัน จะเกิดหักแรงดึงดูดและแรงผลักกัน ณ ตำแหน่งนี้แรงดึงดูดจะมีค่ามากกว่าแรงผลัก และพลังงานศักย์จะค่อย ๆ ลดลง
- จุดที่ 3 เมื่ออะตอมของไฮโดรเจนหัน 2 อะตอม เริ่มเคลื่อนที่เข้าใกล้กันมากขึ้น จนกระทั่งนิวเคลียสของอะตอมห่างกันเป็นระยะ 74 พิโภเมตร แรงดึงดูดและแรงผลักกระหว่างอะตอมจะมีค่าเท่ากัน ณ ตำแหน่งนี้จะเป็นพลังงานศักย์น้อยที่สุด โดยผลิต่างระหว่างพลังงานศักย์ที่จุดเริ่มต้นกับพลังงานศักย์ ณ ตำแหน่งนี้จะเป็นพลังงานที่คายออกมานั่นเอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 436 กิโลจูล และไฮโดรเจนหัน 2 อะตอม จะรวมตัวกันเกิดเป็นโมเลกุล
- จุดที่ 4 เมื่ออะตอมของไฮโดรเจนหัน 2 อะตอม เคลื่อนที่เข้าใกล้กันมากขึ้น จะเกิดแรงผลักกระหว่างอะติกตอรอนกับอะติกตอรอน และนิวเคลียสกับนิวเคลียสมากขึ้น จนทำให้แรงผลักมีค่ามากกว่าแรงดึงดูด อะตอมหัน 2 จึงไม่สามารถอยู่ร่วมกันเป็นโมเลกุลได้

1.2 ชนิดของพันธะเคมี

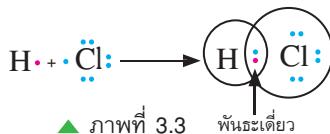
พันธะเคมีเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างอะตอมของธาตุโลหะกับโลหะ ซึ่งโลหะมีพลังงานไออ่อนในเชิงสูง จึงเสียอิเล็กตรอนได้ยาก ดังนั้น การเกิดพันธะเคมีไม่มีอะตอมใดให้อิเล็กตรอนแก่กืออะตอมหนึ่ง แต่จะมีการใช้เวลาเคมีอิเล็กตรอนร่วมกัน เพื่อให้แต่ละอะตอมมีเวลาเคมีอิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเดต

หมายเหตุ : การที่อะตอมของธาตุต่าง ๆ พยายามที่จะทำให้เวลาเคมีอิเล็กตรอนครบ 8 ซึ่งเป็นสภาพที่สตีเบิร์ ยกเว้นไฮโดรเจนที่เวลาเคมีอิเล็กตรอนแค่ 2 ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ได้ตั้งเป็นกฎเรียกว่า กฎออกเดต (Octet rule)

พันธะเคมีแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด

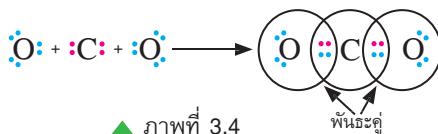
1. พันธะเดี่ยว (single bond)

เกิดจากอะตอมของโลหะที่มาสร้างพันธะกันมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ เช่น



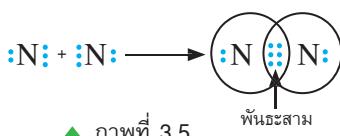
2. พันธะคู่ (double bond)

เกิดจากอะตอมของโลหะที่มาสร้างพันธะกันมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 2 คู่ เช่น



3. พันธะสาม (triple bond)

เกิดจากอะตอมของโลหะที่มาสร้างพันธะกันมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 3 คู่ เช่น



1.3 การเขียนสูตรเคมีแสดงพันธะเคมี

สูตรเคมี หมายถึง สัญลักษณ์ที่ใช้เพื่อแสดงว่าสารประกอบนั้นประกอบด้วยธาตุชนิดใดบ้าง อย่างละเอียด ก่ออะตอม ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. สูตรโมเลกุล เป็นสูตรที่สามารถบอกจำนวนและธาตุที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลได้แต่ไม่สามารถบอกรายละเอียดเกี่ยวกับการสร้างพันธะกันระหว่างอะตอมในโมเลกุล เช่น น้ำตาลกลูโคสมีสูตรโมเลกุล $C_6H_{12}O_6$ และแสดงว่า ใน 1 โมเลกุล ของน้ำตาลกลูโคสประกอบด้วย C H และ O อย่างละ 6 12 และ 6 อะตอม ตามลำดับ



2. สูตรอย่างง่าย เป็นสูตรที่แสดงให้ทราบว่าสารประกอบนั้น ประกอบด้วยธาตุชนิดใดบ้าง และมีอัตราส่วนของอะตอมเป็นเท่าใด ตัวอย่างเช่น น้ำตาลกลูโคส มีสูตรโมเลกุล $C_6H_{12}O_6$ แต่จะมีสูตรอย่างง่ายเป็น CH_2O ซึ่งแสดงว่า กลูโคสประกอบด้วย C : H : O ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1

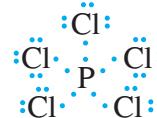
3. สูตรโครงสร้าง เป็นสูตรที่สามารถบอกจำนวนและธาตุที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลได้ และสามารถบอกการย้ายอิเล็กตรอนระหว่างอะตอมในโมเลกุลด้วย การเขียนสูตรโครงสร้างจะยึดอะตอมกลางเป็นหลัก โดยอะตอมกลางจะเป็นธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกติกต่ำที่สุด ซึ่งการเขียนสูตรโครงสร้างมี 2 ลักษณะ ดังนี้

1) สูตรโครงสร้างแบบจุด (electron dot formula) หรือ สัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิส (Lewis formula) จะใช้จุดหรือกาบทาทเพื่อแสดงจำนวนเวลน์อิเล็กตรอนของธาตุนั้น ๆ ซึ่งเมื่ออะตอม 2 อะตอมมาใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน จะนำจุดมาวางใกล้กันบริเวณตรงกลางระหว่างอะตอมทั้งสอง โดยเรียกอิเล็กตรอนที่ใช้ร่วมกันนี้ว่า อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ (bond pair electron) ส่วนอิเล็กตรอนที่เหลือให้กระจายเป็นคู่ ๆ อยู่รอบอะตอม ซึ่งเรียกอิเล็กตรอนที่เหลือนี้ว่า อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone pair electron)



สูตรโครงสร้างแบบจุดของ HCl

▲ ภาพที่ 3.6



สูตรโครงสร้างแบบจุดของ PCl_5

▲ ภาพที่ 3.7

แบบฝึกหัด

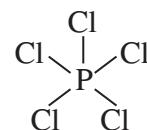
จงเขียนสูตรโครงสร้างแบบจุดของโมเลกุลต่อไปนี้ H_2O CS_2 และ NH_3

2) สูตรโครงสร้างแบบเส้น (line structure formula) จะใช้เส้นแทนพันธะโดยเวลน์ หรืออิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ 1 คู่ (ส่วนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่เหลืออาจจะเขียนหรือไม่ก็ได้) สูตรแบบเส้นจึงเป็นการกำหนดขึ้นมาเพื่อให้เขียนสูตรโครงสร้างได้ง่ายขึ้น โดยใช้เส้นตรง 1 เส้น (=) แทน อิเล็กตรอนที่ใช้ร่วมกัน 1 คู่ ใช้เส้นตรง 2 เส้น (=) แทน อิเล็กตรอนที่ใช้ร่วมกัน 2 คู่ และใช้เส้นตรง 3 เส้น (≡) แทน อิเล็กตรอนที่ใช้ร่วมกัน 3 คู่



สูตรโครงสร้างแบบเส้นของ HCl

▲ ภาพที่ 3.8



สูตรโครงสร้างแบบเส้นของ PCl_5

▲ ภาพที่ 3.9

แบบฝึกหัด

จงเขียนสูตรโครงสร้างแบบเส้นของโมเลกุลต่อไปนี้ H_2O CS_2 และ NH_3

1.4 ธาตุกับการเกิดพันธะโคเวเลนต์

ธาตุที่มีสร้างพันธะกันเกิดเป็นพันธะโคเวเลนต์ มีดังนี้

1. ธาตุอลูมิเนียมตัวกับธาตุอลูมิเนียม จะสร้างพันธะโคเวเลนต์เสมอ เพราะอลูมิเนียม ธาตุที่มีพลังงานไอออกอิเล็กตรอนสูง ดังนั้น จึงเสียอิเล็กตรอนได้ยาก เมื่ออลูมิเนียมตัวกับอลูมิเนียมไม่มีอะตอมโดยอ้อมเสียอิเล็กตรอน เพราะต่างฝ่ายต่างต้องการรับอิเล็กตรอนหักคู่ ดังนั้น เพื่อให้มีเวลน์อิเล็กตรอนครบ 8 อะตอม อลูมิเนียมต้องนำอิเล็กตรอนมาใช้ร่วมกัน เช่น $H_2 O$, H_2O , $C_6H_{12}O_6$, C_2H_5OH เป็นต้น

2. ธาตุกึ่งโลหะรวมตัวกับธาตุอลูมิเนียม ธาตุกึ่งโลหะ เช่น B, Si, As, Sb และ Ge จัดเป็น ธาตุที่มีพลังงานไอออกอิเล็กตรอนสูงเช่นกัน ดังนั้น จึงสามารถสร้างพันธะโคเวเลนต์กับธาตุอลูมิเนียมได้ เช่น BF_3 , $SiCl_4$, $AsCl_3$, $GeCl_4$ เป็นต้น

3. ธาตุโลหะรวมตัวกับธาตุอลูมิเนียม โลหะบางชนิดที่มีพลังงานไอออกอิเล็กตรอนสูง เช่น Be, Sn และ Hg ก็สามารถสร้างพันธะโคเวเลนต์กับธาตุอลูมิเนียมได้ เช่นกัน เช่น $BeCl_2$, $HgCl_2$, $SbCl_2$, $SnCl_4$ เป็นต้น

หมายเหตุ : พันธะระหว่างโลหะแท่นชิ้นกับอลูมิเนียมในไอออกอิเล็กตรอนเชิงซ้อนจะเกิดพันธะโคเวเลนต์เช่นเดียวกัน เช่น MnO_4^{2-} , CrO_4^{2-} , $Fe(CO)_5$, $Fe(CN)_4^{3-}$ เป็นต้น

จะเห็นได้ว่า ธาตุที่สามารถเกิดพันธะโคเวเลนต์ได้นั้นมีจำนวนไม่มาก ดังนั้น จึงสามารถสรุปรูปแบบพันธะที่สามารถเกิดขึ้นได้ของธาตุเหล่านี้ได้ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 : รูปแบบพันธะที่สามารถเกิดขึ้นได้ของธาตุที่สามารถเกิดพันธะโคเวเลนต์

หมู่	ธาตุ	รูปแบบพันธะที่สามารถเกิดขึ้นได้
-	H	
IIA	Be	
IIIA	B	

ตารางที่ 3.1 : รูปแบบพันธะที่สามารถเกิดขึ้นได้ของธาตุที่สามารถเกิดพันธะโคเวเลนต์ (ต่อ)

หมู่	ธาตุ	รูปแบบพันธะที่สามารถเกิดขึ้นได้				
IVA	C					$:C\equiv$
	Si					
VA	N					$:N\equiv$
VIA	O				$:O^-$	$:O\equiv$
VIIA	Cl					
VIIIA	Xe					

หมายเหตุ : รูปแบบพันธะใน ○ หมายถึง รูปแบบพันธะที่พบได้ง่าย

1.5 การเขียนสูตรของสารประกอบโคเวเลนต์

จากลักษณะการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันของธาตุที่กล่าวมาแล้วนั้น สามารถใช้ข้อมูลนี้มาช่วยในการเขียนโครงสร้างของสารประกอบโคเวเลนต์ได้ ดังนี้

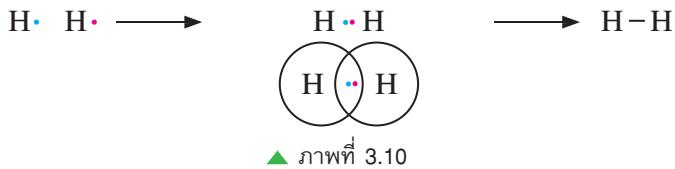
- เลือกอะตอมกลาง โดยอะตอมกลางต้องเป็นธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกติกวิตติ่งอยู่ที่สุด
- เลือกรูปแบบของอะตอมกลางที่เหมาะสม
- เลือกรูปแบบของอะตอมที่อยู่รอบข้าง
- รวมอะตอมกลางกับอะตอมรอบข้างเข้าไว้ด้วยกัน
- เปลี่ยนจากจุดเป็นเส้น โดยอิเล็กตรอน 2 ตัว จะมีค่าเท่ากับเส้นที่สร้างพันธะกัน 1 เส้น

หมายเหตุ : การเลือกรูปแบบอะตอมกลางหรืออะตอมรอบข้าง ให้สังเกตการใช้อะตอมรอบข้าง ดังนี้

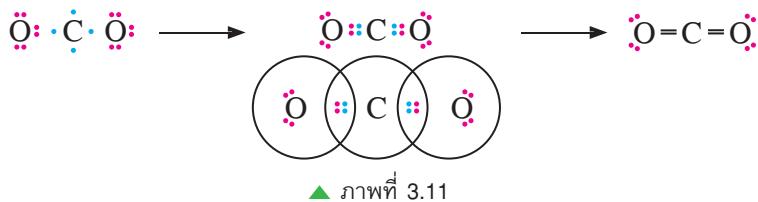
- ถ้าอะตอมรอบข้างต้องการ 1 อิเล็กตรอน จะเลือกรูปแบบที่แซร์ 1 อิเล็กตรอน (พันธะเดี่ยว)
- ถ้าอะตอมรอบข้างต้องการ 2 อิเล็กตรอน จะเลือกรูปแบบที่แซร์ 2 อิเล็กตรอน (พันธะคู่)
- ถ้าอะตอมรอบข้างต้องการ 3 อิเล็กตรอน จะเลือกรูปแบบที่แซร์ 3 อิเล็กตรอน (พันธะสาม)

ตัวอย่างการเขียนสูตรของสารประกอบโคเวเลนต์ เช่น

ไฮโดรเจน (H_2)



คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)



สูตรของสารประกอบโคเวเลนต์ที่ควรรู้จัก มีดังนี้

- โมเลกุลที่เป็นไปตามกฎออกเตต การเกิดสารประกอบโคเวเลนต์นั้น มาตรฐานพยาามปรับตัวให้มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 8 (สำหรับ H จะพยาามปรับตัวให้มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 2) หรือที่เรียกว่า กฎออกเตต ดังนั้น มาตรฐานต่าง ๆ จึงพยาามรวมตัวกันให้เป็นไปตามกฎออกเตต ซึ่งจะทำให้ได้สารประกอบหรือโมเลกุลที่เสถียร

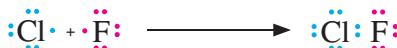
การรวมตัวกันด้วยพันธะโคเวเลนต์จะมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างอะตอมคู่ร่วมพันธะ โดยอิเล็กตรอนที่ใช้ร่วมกันนั้นจะถือว่าเป็นอิเล็กตรอนของอะตอมที่สร้างพันธะกัน ด้วยเช่น F_2 อะตอมของ F มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 7 เมื่อเกิดพันธะระหว่าง F กับ F ด้วยกัน จะมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ ซึ่งอิเล็กตรอนที่ใช้ร่วมกันนี้ ถือว่าเป็นอิเล็กตรอนของ F ทั้ง 2 อะตอม ดังนั้น จึงทำให้ F ในโมเลกุลของ F_2 มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 8 ซึ่งการคาดคะเนสร้างเพื่อที่จะแสดงจำนวนอิเล็กตรอนให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงนิยมวงกลมล้อมรอบจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละอะตอม ดังนี้



▲ ภาพที่ 3.12

นอกจากจะใช้กฎออกเตตในการเขียนสูตรโครงสร้างของสารแล้ว ยังสามารถใช้กฎออกเตตในการทำนายสัดส่วนจำนวนอะตอมของธาตุที่ทำปฏิกิริยากัน และทำนายสูตรของสารประกอบได้ เช่น

กรณี Cl กับ F จะเห็นว่าทั้ง Cl และ F เป็นธาตุที่อยู่ในหมู่ VIIA ซึ่งมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 7 จึงต้องการอีก 1 อิเล็กตรอน เพื่อครบออกเตต ทั้ง Cl และ F จึงสามารถสร้างพันธะได้ 1 พันธะ ดังนั้น การสร้างพันธะระหว่าง Cl และ F จึงต้องสร้างพันธะเดียว 1 พันธะ แสดงว่าสารประกอบระหว่าง Cl และ F ควรประกอบด้วย Cl และ F อย่างละ 1 อะตอม



▲ ภาพที่ 3.13

กรณี H C และ N จะเห็นว่า C เป็นธาตุที่อยู่ในหมู่ IVA ซึ่งมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 4 จึงต้องการอีก 4 อิเล็กตรอน เพื่อครบออกเตต C จึงสามารถสร้างพันธะได้ 4 พันธะ ส่วน N เป็นธาตุที่อยู่ในหมู่ VA ซึ่งมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 5 จึงต้องการอีก 3 อิเล็กตรอน เพื่อครบออกเตต N จึงสามารถสร้างพันธะได้ 3 พันธะ และ H เป็นธาตุที่มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 1 จึงต้องการอีก 1 อิเล็กตรอน เพื่อครบ 2 อิเล็กตรอน H จึงสามารถสร้างพันธะได้ 1 พันธะ ดังนั้น การสร้างพันธะระหว่าง H C และ N จึงต้องสร้างพันธะเดียวกัน C กับ H 1 พันธะ และพันธะสามระหว่าง C กับ N 1 พันธะ แสดงว่าสารประกอบระหว่าง H C และ N ควรประกอบด้วย H C และ N อย่างละ 1 อะตอม



▲ ภาพที่ 3.14

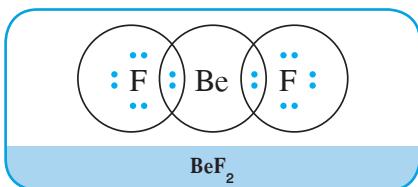
แบบฝึกหัด

จงเขียนสูตรโครงสร้างแบบบุคคลของโมเลกุลโคเวเลนต์ต่อไปนี้ O_2 CH_4 และ CH_2O

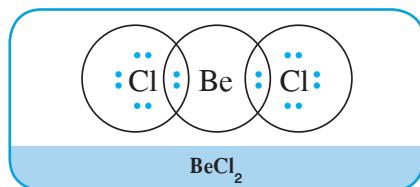
2. โมเลกุลที่ไม่เป็นไปตามกฎออกเตต อะตอมของธาตุที่เสถียรมากจะเป็นไปตามกฎออกเตต แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อนักวิทยาศาสตร์ได้ทำการศึกษามากขึ้นพบว่า ในสารประกอบบางชนิดจะมีจำนวนอิเล็กตรอนไม่เป็นไปตามกฎออกเตต โดยบางชนิดมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนน้อยกว่า 8 ส่วนบางชนิดกลับมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนมากกว่า 8 แต่สารประกอบเหล่านี้มีความเสถียรเช่นเดียวกัน จึงจัดสารเหล่านี้ไว้เป็นข้อยกเว้นสำหรับกฎออกเตต ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) โมเลกุลที่ไม่ครบออกเตต สารประกอบของธาตุที่มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนน้อยกว่า 4 เช่น Be B เป็นต้น เมื่อก็จะเป็นสารประกอบโคเวเลนต์แล้วจะไม่ครบออกเตต เช่น BeF_2 BeCl_2 BF_3 BCl_3 เป็นต้น

กรณีของ BeF_2 และ BeCl_2 จะเห็นว่า Be มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 4 ซึ่งไม่ครบออกเตต ส่วน F และ Cl มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 8 ซึ่งครบออกเตต

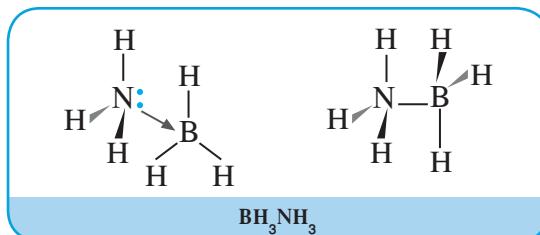


▲ ภาพที่ 3.15



▲ ภาพที่ 3.16

สำหรับธาตุที่ไม่ครบกฎออกเตต เมื่อเกิดสารประกอบเชิงชั้nonแล้ว อาจทำให้เกิดสารประกอบที่ครบออกเตตได้ เช่น BF_4^- BH_3NH_3 เป็นต้น



▲ ภาพที่ 3.17

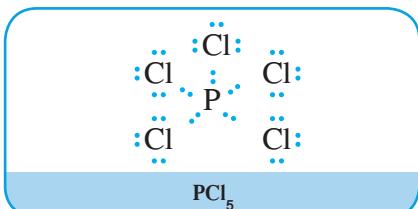
แบบฝึกหัด

จงเขียนสูตรโครงสร้างแบบจุดของโมเลกุลโคเวเลนต์ต่อไปนี้ AlF_3 และ BeH_2

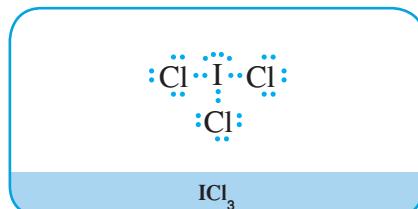
2) โมเลกุลที่เกินออกเตต สารประกอบของธาตุที่มีอะตอมกลางอยู่ในคาบที่ 3 ของตารางธาตุเป็นต้นไป สามารถสร้างพันธะโคเวเลนต์แล้วทำให้มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเกิน 8 ได้ (เป็นธาตุในคาบที่ 3 เพราะจากการจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบบรรดับพลังงานย่อย จะเห็นว่า ในคาบที่ 3 สามารถบรรจุอิเล็กตรอนได้เต็มที่ถึง 18 อิเล็กตรอน) ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วธาตุที่เกินออกเตต มักจะเป็นธาตุ P S และโลหะแกรนซิชัน ตัวอย่างของโมเลกุลที่เกินออกเตต เช่น SiF_6^{2-} PCl_5 SF_4 SF_6 ICl_3 IF_7 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{2-}$ $\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{2+}$ เป็นต้น

กรณีของ PCl_5 จะเห็นว่าธาตุ P เกิดพันธะกับ Cl รวมทั้งหมด 5 พันธะ (1 พันธะ หรือ 1 เส้น ประกอบด้วย 2 อิเล็กตรอน) จึงมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 10 อิเล็กตรอน ซึ่งเกินกฎออกเตต

กรณีของ ICl_3 จะเห็นว่าธาตุ I เกิดพันธะกับ Cl รวมทั้งหมด 3 พันธะ และที่ I ยังมีอิเล็กตรอนคูณโดดเดี่ยวเหลืออีก 2 คู่ (4 อิเล็กตรอน) รวมแล้วที่ I จะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 10 อิเล็กตรอน ซึ่งเกินกฎออกเตต



▲ ภาพที่ 3.18



▲ ภาพที่ 3.19

แบบฝึกหัด

จงเขียนสูตรโครงสร้างแบบจุดของโมเลกุลโคเวเลนต์ต่อไปนี้ PF_5 และ SCl_6

3) โมเลกุลที่มีจำนวนอิเล็กตรอนเป็นเลขคี่ มักเกิดกับธาตุ N หรือ Cl ที่สามารถมีอิเล็กตรอนที่ไม่ได้จับคู่ หรืออิเล็กตรอนเดี่ยว (unpaired electron) ได้ เรียกสารประเภทนี้ว่าอนุมูลอิสระ (free radical) โมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยวส่วนใหญ่จะมีสมบัติเป็นพาราแมกเนติก (มีสภาพเป็นแม่เหล็ก) และว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมี ตัวอย่างของโมเลกุลที่มีจำนวนอิเล็กตรอนเป็นเลขคี่ เช่น ClO_2 NO NO_2 เป็นต้น

กรณีของ ClO_2 จะเห็นว่า ClO_2 มีเวลน์ช้อลีกตรอนรวม 19 ตัว โดยที่ธาตุ Cl มีเวลน์ช้อลีกตรอนเพียง 7 ตัว ซึ่งไม่เป็นไปตามกฎของเตต

กรณีของ NO จะเห็นว่า NO มีเวลน์ช้อลีกตรอนรวม 11 ตัว โดยที่ธาตุ N มีเวลน์ช้อลีกตรอนเพียง 7 ตัว ซึ่งไม่เป็นไปตามกฎของเตต



ClO_2



NO

▲ ภาพที่ 3.20

▲ ภาพที่ 3.21

กรณีของ NO_2 จะเห็นว่า NO_2 มีเวลน์ช้อลีกตรอนรวม 17 ตัว โดยที่ธาตุ N มีเวลน์ช้อลีกตรอนเพียง 7 ตัว ซึ่งไม่เป็นไปตามกฎของเตต แต่ NO_2 เป็นโมเลกุลที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีมาก จึงมักเกิดการรวมกันของ 2 โมเลกุลเป็นโมเลกุลเดี่ยว เรียกกระบวนการนี้ว่า ไดเมอไรเซชัน (dimerization) ซึ่งทำให้กลายเป็น N_2O_4



NO_2

▲ ภาพที่ 3.22



N_2O_4

▲ ภาพที่ 3.23

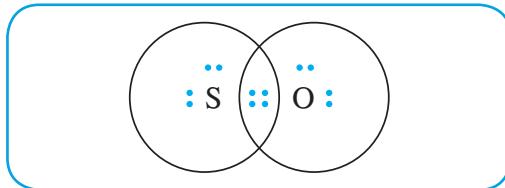
แบบฝึกหัด

จงเขียนสูตรโครงสร้างแบบจุดของโมเลกุลโคเวเลนต์ต่อไปนี้ NOCl_3

3. โมเลกุลที่มีโคออดิเนตโคเวเลนต์ในโมเลกุล พันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์เป็นพันธะโคเวเลนต์อีกประเภทหนึ่งที่แตกต่างจากพันธะโคเวเลนต์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยพันธะโคเวเลนต์ทั่ว ๆ ไปจะเกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างอะตอมคู่ร่วมพันธะ โดยที่อิเล็กตรอนที่ใช้ร่วมกันนี้จะได้จากอะตอมที่สร้างพันธะร่วมกันอย่างละเท่า ๆ กัน

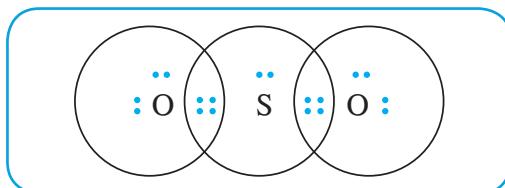
สำหรับในกรณีของพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์ จะเป็นการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันอีกแบบหนึ่ง โดยที่อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะทั้ง 2 อิเล็กตรอนจะได้มาจากอะตอมเพียงอะตอมเดี่ยว ส่วนอีกอะตอมหนึ่งจะเป็นเพียงอะตอมที่เข้ามาใช้อิเล็กตรอนให้ครบออกเตตเท่านั้น ตัวอย่างเช่น

โมเลกุลของ SO_2 ในตอนแรกให้พิจารณาพันธะระหว่าง S กับ O ตัวที่ 1 ก่อน โดยในส่วนนี้ O จะสร้างพันธะคู่กับ S ก่อน ทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ล้อมรอบ S และ O ครอบออกเตต ดังรูป



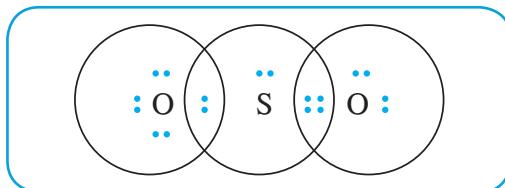
▲ ภาพที่ 3.24

ยังเหลือ O อีก 1 ตัว ซึ่งถ้า O ตัวนี้สร้างพันธะคู่กับ S ที่เป็นอะตอมกลาง จะทำให้ S มีอิเล็กตรอนล้อมรอบเท่ากับ 10 ซึ่งไม่เป็นไปตามกฎของออกเตต ดังรูป



▲ ภาพที่ 3.25

เพื่อให้สูตรโครงสร้างเป็นไปตามกฎของออกเตต O ที่เหลืออีกตัวหนึ่งจะเลือกใช้พันธะโคเวเลนต์แบบใหม่ ซึ่ง O จะไปดึงอิเล็กตรอนของ S มาใช้ 1 คู่ โดยไม่มีการนำอิเล็กตรอนมาใช้ร่วมกัน ทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่รอบ S และ O ทั้ง 2 อะตอม มีจำนวนอิเล็กตรอนครบออกเตต ซึ่งจะเรียกว่าพันธะที่สร้างขึ้นโดยการดึงอิเล็กตรอนมาใช้ 1 คู่นี้ว่า พันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์ โดยที่พันธะนี้จะมีลักษณะคล้ายกับพันธะเดี่ยวนั้นเอง ดังรูป



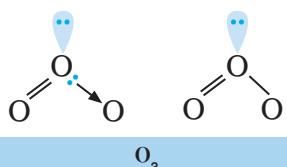
▲ ภาพที่ 3.26

ในการเขียนสูตรแบบเส้นเพื่อแสดงพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์ อาจใช้เส้นตรง 1 เส้น (一) หรือลูกศร (\rightarrow) แทนพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์ โดยที่หัวลูกศรจะชี้ไปทางอะตอมที่เข้ามาใช้อิเล็กตรอนร่วมด้วย ซึ่งการใช้สัญลักษณ์ที่เป็นลูกศรนี้จะดีกว่าการใช้เส้นตรงธรรมดานะเนื่องจากทำให้สามารถแยกพันธะเดี่ยวโคเวเลนต์กับพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์ออกจากกันได้ นอกจากนั้น การใช้ลูกศรยังสามารถบอกให้ทราบถึงลักษณะการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันได้อีกด้วย ดังรูป

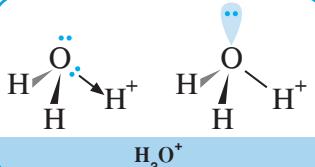


▲ ภาพที่ 3.27

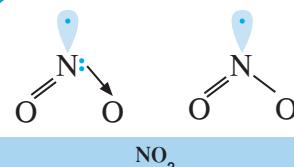
ตัวอย่างโมเลกุลที่มีพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์



▲ ภาพที่ 3.28



▲ ภาพที่ 3.29



▲ ภาพที่ 3.30

แบบฝึกหัด

จงเขียนสูตรโครงสร้างแบบเส้นของโมเลกุลโคเวเลนต์ต่อไปนี้ SO_3 N_2O_4 และ N_2O_5

4. โมเลกุลกรดออกซี กรดออกซี (H_nXO_m) จัดเป็นสารประกอบโคเวเลนต์ที่มี X ทำหน้าที่เป็นอะตอมกลาง การเขียนสูตรโครงสร้างของกรดออกซีจะเป็นไปตามกฎของเตตซึ่งมีหลักการเขียน ดังนี้

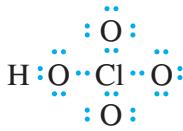
- 1) หาอะตอมกลาง โดยสังเกตว่าอะตอมกลางจะเป็นธาตุที่มีขนาดใหญ่ หรือธาตุที่มีค่าอิเล็กโโทรเนกติกวิตติ์ต่ำที่สุด
- 2) นำ H ไปสร้างพันธะเดียวกับ O (สังเกตจากสูตรโมเลกุลว่ามี H กี่ตัว ก็จะมี O ที่มาต่อกับ H จำนวนเท่ากัน) ซึ่งจะได้โครงสร้าง ดังรูป
- 3) นำ O ที่ติดกับ H ไปสร้างพันธะเดียวกับอะตอมกลางก่อน



▲ ภาพที่ 3.31

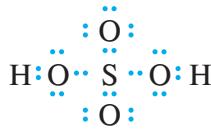
4) ใส่ธาตุที่เหลือ โดยถ้าอะตอมกลางมีอิเล็กตرونครบ 8 อาจใส่ธาตุที่เหลือโดยใช้พันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์

ตัวอย่างโมเลกุลกรดออกซี

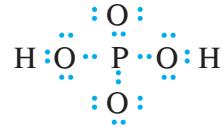


HClO_4

▲ ภาพที่ 3.32



▲ ภาพที่ 3.33



▲ ภาพที่ 3.34

แบบฝึกหัด

จงเขียนสูตรโครงสร้างแบบจุดของโมเลกุลกรดออกซีต่อไปนี้ HNO_3 และ H_2CO_3

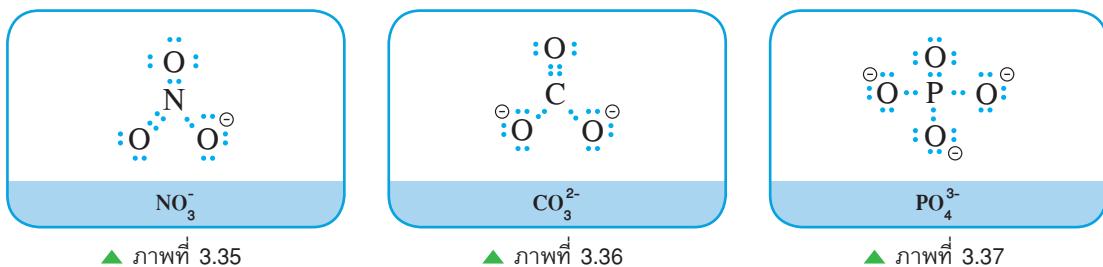
5. อนุมูลของไอออน เป็นกลุ่มของสารประกอบที่มีการให้และเสียอิเล็กตรอน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

- 1) ไอออนลบ เกิดจากการรับอิเล็กตรอนเข้ามาในโมเลกุล เช่น NO_3^- จะมีการรับอิเล็กตรอนเข้ามาในโมเลกุล 1 อิเล็กตรอน หรือ SO_4^{2-} จะมีการรับอิเล็กตรอนเข้ามาในโมเลกุล 2 อิเล็กตรอน เป็นต้น การสังเกตว่าธาตุตัวใดในอนุมูลของไอออนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนนั้น ให้พิจารณาที่ค่าอิเล็กโโทรเนกติกวิตติ (EN) ซึ่งธาตุที่มีค่าอิเล็กโโทรเนกติกวิตติสูงจะเป็นธาตุที่รับอิเล็กตรอน ตัวอย่าง เช่น NO_3^- CN^- CO_3^{2-} PO_4^{3-} เป็นต้น

กรณีของ NO_3^- ค่า EN ของ O > N แสดงว่า O 1 อะตอม จะรับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามา 1 อิเล็กตรอน ทำให้ O มีเวลน์อิเล็กตรอนเท่ากับ 7 ซึ่งจะสร้างเป็นพันธะเดี่ยว 1 พันธะ

กรณีของ CO_3^{2-} ค่า EN ของ O > C แสดงว่า O 2 อะตอม จะรับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามาตัวละ 1 อิเล็กตรอน ทำให้ O มีเวลน์อิเล็กตรอนเท่ากับ 7 ซึ่งจะสร้างเป็นพันธะเดี่ยว 1 พันธะ

กรณีของ PO_4^{3-} ค่า EN ของ O > P แสดงว่า O 3 อะตอม จะรับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามาตัวละ 1 อิเล็กตรอน ทำให้ O มีเวลน์อิเล็กตรอนเท่ากับ 7 ซึ่งจะสร้างเป็นพันธะเดี่ยว 1 พันธะ

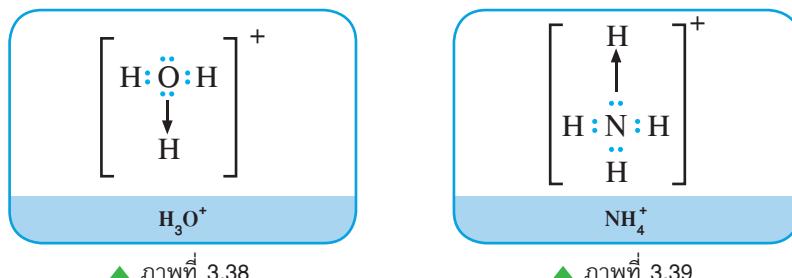


แบบฝึกหัด จงเขียนสูตรโครงสร้างแบบจุดของไอออนลบต่อไปนี้ CN^- และ SO_4^{2-}

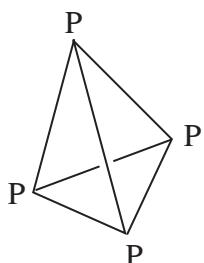
2) ไอออนบวก เกิดจากการจ่ายอิเล็กตรอนออกจากโมเลกุล การสังเกตว่าธาตุตัวใดในอนุมูลของไอออนเป็นตัวจ่ายอิเล็กตรอนนั้นให้พิจารณาที่ค่าอิเล็กโโทรเนกາติวิตี้ (EN) เช่นกัน ซึ่งธาตุที่มีค่าอิเล็กโโทรเนกากาติวิตี้ต่ำจะเป็นธาตุที่จ่ายอิเล็กตรอนได้ง่าย ตัวอย่างเช่น H_3O^+ NH_4^+ เป็นต้น

กรณีของ H_3O^+ ค่า EN ของ O > H แสดงว่า H 1 อะตอม จะเสียอิเล็กตรอนไป 1 อิเล็กตรอน (นิยมเขียนเป็น H^+) ทำให้ H^+ ต้องยืมอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวจาก O ที่เป็นอะตอมกลาง 1 คู่ ส่วน H ที่เหลือจะสร้างพันธะเดี่ยวตามปกติ

กรณีของ NH_4^+ ค่า EN ของ N > H แสดงว่า H 1 อะตอม จะเสียอิเล็กตรอนไป 1 อิเล็กตรอน ทำให้ H^+ ต้องยืมอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวจาก N ที่เป็นอะตอมกลาง 1 คู่ ส่วน H ที่เหลือจะสร้างพันธะเดี่ยวตามปกติ

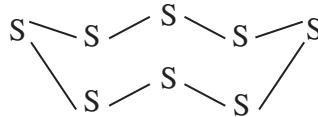


6. โครงสร้างของโมเลกุลของธาตุบางตัว ธาตุบางตัวจะมีการสร้างพันธะเฉพาะตัว เช่น พอสฟอรัสขา (P_4) จะมีรูปร่างเป็นทรงสี่เหลี่ยม และกำมะถันรองบิก (S_8) จะมีรูปร่างเป็นวง เป็นต้น



พอสฟอรัส (P_4)

▲ ภาพที่ 3.40

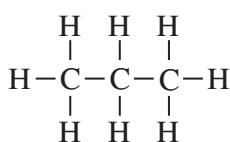


กำมะถันรองบิก (S_8)

▲ ภาพที่ 3.41

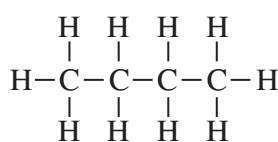
7. โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นโมเลกุลที่มีธาตุ C และ H เป็นองค์ประกอบเท่านั้น โดย C ทำหน้าที่เป็นอะตอมกลาง ส่วน H จะทำหน้าที่เป็นอะตอมที่อยู่ล้อมรอบ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) แอลเคน มีสูตรทั่วไปเป็น C_nH_{2n+2} ภายใต้โมเลกุลจะมีเชิงพันธะเดี่ยวของ C – C และ C – H เช่น C_3H_8 C_4H_{10} เป็นต้น



C_3H_8

▲ ภาพที่ 3.42



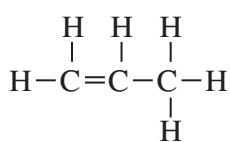
C_4H_{10}

▲ ภาพที่ 3.43

แบบฝึกหัด

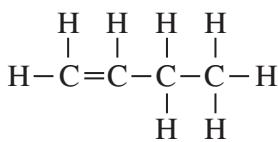
จงเขียนสูตรโครงสร้างแบบเส้นของแอลเคนต่อไปนี้ C_2H_6 และ C_6H_{14}

2) แอลกีน มีสูตรทั่วไปเป็น C_nH_{2n} ภายใต้โมเลกุลจะมีพันธะคู่ของ C = C 1 พันธะซึ่งจะอยู่ตำแหน่งเดียวกันในโครงสร้าง ส่วนพันธะที่เหลือจะเป็นพันธะเดี่ยวของ C – C และ C – H เช่น C_3H_6 C_4H_8 เป็นต้น



C_2H_4

▲ ภาพที่ 3.44



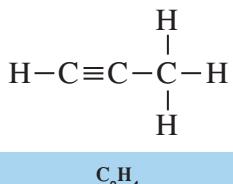
C_3H_6

▲ ภาพที่ 3.45

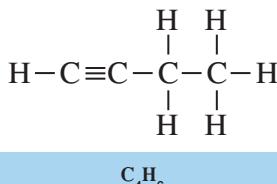
แบบฝึกหัด

จงเขียนสูตรโครงสร้างแบบเส้นของแอลกีนต่อไปนี้ C_2H_4 และ C_6H_{12}

3) แอลไคน์ มีสูตรทั่วไปเป็น C_nH_{2n-2} ภายในโมเลกุลจะมีพันธะสามของ $C \equiv C$ 1 พันและซึ่งจะอยู่ตำแหน่งใดก็ได้ในโครงสร้าง ส่วนพันธะที่เหลือจะเป็นพันธะเดี่ยวของ $C - C$ และ $C - H$ เช่น C_3H_4 C_4H_6 เป็นต้น



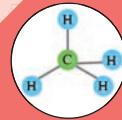
▲ ภาพที่ 3.46



▲ ภาพที่ 3.47

H. Q. T. S.

คำนำก้ากการคิดขับสูง



เพราะเหตุใด
โมเลกุลที่
ไม่เป็นไปตาม
กฎออกเตต จึงมีความเสถียร

แบบฝึกหัด

จงเขียนสูตรโครงสร้างแบบเส้นของแอลไคน์ต่อไปนี้ C_2H_2 และ C_6H_{10}

1.6 การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารประกอบโคลเวเลนต์

การเขียนสูตรโมเลกุลของสารประกอบโคลเวเลนต์ ให้เขียนสัญลักษณ์ของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ โดยเขียนสัญลักษณ์ของธาตุที่เป็นอะตอมกลางและตามด้วยธาตุที่ล้อมรอบ โดยเรียงลำดับจากธาตุที่มีค่าอิเล็กโโทรเนกาติกิตติ์ต่ำ ตามด้วยธาตุที่มีค่าอิเล็กโโทรเนกาติกิตติ์สูง และถ้าธาตุใดมีจำนวนอิเล็กตรอนมากกว่า 1 อะตอม ให้ระบุจำนวนอะตอมของธาตุนั้นไว้หมุนล่างด้านขวาของสัญลักษณ์ เช่น NO_2 H_2O H_2SO_4 เป็นต้น

การเรียกชื่อสารประกอบโคลเวเลนต์มีหลักการ ดังนี้

1. สารประกอบโคลเวเลนต์ที่โมเลกุลประกอบด้วยธาตุเพียงชนิดเดียว ให้เรียกชื่อตามชื่อของธาตุนั้น ซึ่งโดยส่วนใหญ่โมเลกุลเหล่านี้มีสถานะเป็นแก๊สที่อุณหภูมิห้อง จึงนิยมเรียกชื่อโดยระบุสถานะด้วย เพื่อให้แตกต่างจากอะตอมของธาตุนั้น เช่น O_2 เรียกว่า แก๊สออกซิเจน N_2 เรียกว่า แก๊สไนโตรเจน เป็นต้น

2. สารประกอบโคลเวเลนต์ที่โมเลกุลประกอบด้วยธาตุ 2 ชนิด ให้เรียกชื่อธาตุที่อยู่ด้านหน้าก่อน แล้วตามด้วยธาตุที่อยู่ด้านหลัง และเปลี่ยนเสียงพยางค์ท้ายเป็น ไ-ด (ide)

- การระบุจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุล จะระบุด้วยภาษากรีก ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 : จำนวนอะตอมในภาษากรีกที่ใช้เรียกสารประกอบโคลเวเลนต์

จำนวนอะตอม	ภาษากรีก	จำนวนอะตอม	ภาษากรีก
1	มอนอ (mono)	6	เซกซ์ (hexa)
2	ได (di)	7	เซปต์ (hepta)
3	ไตร (tri)	8	ออกต๊ะ (octa)
4	เตตระ (tetra)	9	โนนา (nona)
5	เพนต๊ะ (penta)	10	เดคา (deca)

• ในกรณีที่ธาตุแกรมมีเพียงอะตอมเดียว ไม่ต้องระบุจำนวนอะตอมของธาตุนั้น แต่ธาตุหลังยังคงระบุจำนวนอะตอมแม้ว่าจะมีเพียงอะตอมเดียว ก็ตาม

• การอ่านชื่อสารประกอบโคลเวเลนต์บางชนิด เช่น สารประกอบออกไซด์ นิยมเรียกชื่อโดยตัดตัวอักษรสุดท้ายของภาษากรีกที่ระบุจำนวนอะตอมออก เช่น CO คาร์บอนมอนออกไซด์ (carbon monooxide) นิยมเรียกเป็น คาร์บอนมอนออกไซด์ (carbonmonoxide)

ตารางที่ 3.3 : ตัวอย่างการเขียนสูตรและเรียกชื่อสารประกอบโคลเวเลนต์

สาร	ชื่อ	สาร	ชื่อ
P_4O_{10}	เตตራฟอรัสเดโคอกไซด์	SiO_2	ซิลิคอนไดออกไซด์
SiH_4	ซิลิคอนเตตราไฮไดรด์	P_2O_5	ไดฟอรัสเพนตะออกไซด์
N_2O_5	ไนโตรเจนเพนตะออกไซด์	BF_3	ไบرونไตรฟลูออไรด์
PCl_3	ฟอรัสไตรคลอไรด์	S_2F_2	ไดซัลเฟอร์ไดฟลูออไรด์

1.7 พลังงานพันธะและความยาวพันธะ

โมเลกุลของสารที่มาสร้างพันธะโคลเวเลนต์ต้องมีพลังงานพันธะและความยาวพันธะที่เหมาะสม จึงจะเกิดเป็นสารประกอบโคลเวเลนต์

1. พลังงานพันธะ เป็นพลังงานปริมาณน้อยที่สุดที่ใช้ในการสลายพันธะโคลเวเลนต์ หรือเป็นพลังงานปริมาณน้อยที่สุดที่คายออกมากเมื่อทำการสร้างพันธะโคลเวเลนต์ ตัวอย่างเช่น

การสร้างพันธะของแก๊สไฮโดรเจน (H_2) ดังสมการ



จากสมการ จะเห็นว่าการสร้างพันธะของแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 1 มอล จากระยะห่างของธาตุไฮโดรเจน (H) ในสถานะแก๊ส 2 อะตอม จะมีการคายพลังงานอย่างน้อย 436 กิโลจูล ซึ่งเรียกพลังงานที่ใช้ในการสร้างพันธะนี้ว่า พลังงานพันธะ

ในทางตรงกันข้าม การสลายพันธะของแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 1 มอล ให้กลับเป็นอะตอมของธาตุไฮโดรเจน (H) ในสถานะแก๊ส 2 อะตอม จะเป็นต้องใช้พลังงานอย่างน้อย 436 กิโลจูล ซึ่งเรียกพลังงานที่ใช้นี้ว่า พลังงานพันธะ เช่นเดียวกัน

ในบางกรณีการสลายพันธะชนิดเดียวกันในสารประกอบต่างชนิดกัน จะใช้พลังงานในการสลายพันธะไม่เท่ากัน เช่น การสลายพันธะของ C – H ใน CH_4 และ C_2H_6 เป็นต้น

การสลายพันธะชนิดเดียวกันในสารประกอบชนิดเดียวกัน จะใช้พลังงานในการสลายพันธะไม่เท่ากัน เช่น การสลายพันธะ C – H ใน CH_4 ดังสมการ



เมื่อรวมทั้ง 4 สมการเข้าด้วยกัน จะได้ว่า



จะเห็นได้ว่า พลังงานในการสลายพันธะระหว่าง C – H จะมีค่าแตกต่างกันไปในโมเลกุลของสารที่ต่างกัน ดังนั้น ในการระบุพลังงานพันธะของพันธะใด ๆ จะนิยมใช้พลังงานพันธะเฉลี่ย (average bond energy) ซึ่งตัวอย่างพลังงานพันธะเฉลี่ยระหว่างอะตอมคู่ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 : ตัวอย่างพลังงานพันธะเฉลี่ยระหว่างอะตอมคู่ต่าง ๆ

พลังงานพันธะเฉลี่ย							
พันธะ	พลังงาน (kJ)	พันธะ	พลังงาน (kJ)	พันธะ	พลังงาน (kJ)	พันธะ	พลังงาน (kJ)
พันธะเดียว							
H–H	436	N–H	391	Si–H	323	S–H	347
H–F	565	N–N	163	Si–Si	226	S–S	266
H–Cl	431	N–P	209	Si–O	368	S–F	327
H–Br	363	N–O	201	Si–S	226	S–Cl	271
H–I	295	N–F	272	Si–F	565	S–Br	218
C–H	413	N–Cl	200	Si–Cl	381	S–I	~170
C–C	347	N–Br	243	Si–Br	310	F–F	159
C–Si	301	N–I	159	Si–I	234	F–Cl	193
C–N	305	O–H	467	P–H	320	F–Br	212
C–O	358	O–P	351	P–Si	213	F–I	263
C–P	264	O–O	204	P–P	200	Cl–Cl	243
C–S	259	O–S	265	P–F	490	Cl–Br	215
C–F	453	O–F	190	P–Cl	328	Cl–I	208
C–Cl	339	O–Cl	203	P–Br	272	Br–Br	193
C–Br	276	O–Br	234	P–I	184	Br–I	175
C–I	216	O–I	234			I–I	151
พันธะคู่และพันธะสาม							
C=C	614	N=N	418	C≡C	839	N≡N	945
C=N	615	N=O	607	C≡N	891		
C=O	745 (799 in CO ₂)	O=O	498	C≡O	1070		

ข้อสังเกตเกี่ยวกับพลังงานพันธะ มีดังนี้

1) พลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะจำนวน 1 โมล หรือพลังงานที่ทำให้เกิดพันธะจำนวน 1 โมล เรียกว่า พลังงานพันธะ มีหน่วยเป็น กิโลจูล/โมล (kJ/mol) หรือกิโลแคลอรี่/โมล (kcal/mol)

2) พลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะชนิดเดียวกันจะมีค่าเท่ากัน เรียกว่า พลังงานพันธะ เคลื่y แต่พลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะต่างชนิดกันจะมีค่าแตกต่างกัน

3) พลังงานพันธะบวกให้ทราบถึงความแข็งแรงของพันธะ ซึ่งพันธะที่ต้องใช้พลังงานในการสลายพันธะสูง จะมีความแข็งแรงมาก โดยทั่วไปความแข็งแรงของพันธะจะเรียงตามลำดับ ดังนี้

$$\text{พันธะเดี่ยว} < \text{พันธะคู่} < \text{พันธะสาม}$$

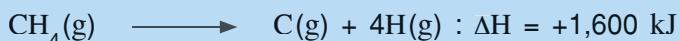
4) ปฏิกิริยาเคมีใด ๆ ที่มีการสลายพันธะเดิม (ดูพลังงาน) และการสร้างพันธะใหม่ (คายพลังงาน) โดยพลังงานที่เปลี่ยนแปลงในการเกิดปฏิกิริยา (ΔH) จะเท่ากับผลต่างระหว่างพลังงานที่ระบบดูดเข้าไปเพื่อสลายพันธะเดิมกับพลังงานที่ระบบคายออกมามีอิสระพันธะใหม่ ดังนี้

$$\Delta H = \text{พลังงานที่ระบบดูด} - \text{พลังงานที่ระบบคาย}$$

ถ้าระบบดูดพลังงาน > คายพลังงาน (ปฏิกิริยาดูดพลังงาน) ค่า ΔH จะมีเครื่องหมายเป็น บวก

ถ้าระบบดูดพลังงาน < คายพลังงาน (ปฏิกิริยาคายพลังงาน) ค่า ΔH จะมีเครื่องหมายเป็น ลบ

5) ปฏิกิริยาเคมีที่มีเฉพาะการสลายพันธะ ไม่เกิดพันธะใหม่ จะเป็นปฏิกิริยาดูดพลังงาน เช่น



6) ปฏิกิริยาเคมีที่มีเฉพาะการสร้างพันธะ ไม่มีการสลายพันธะ จะเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน เช่น



7) ปฏิกิริยาเคมีใด ๆ ที่มีทั้งการสร้างพันธะ และการสลายพันธะ ปฏิกิริยานี้จะเป็นปฏิกิริยาคายพลังงานหรือดูดพลังงานจะขึ้นอยู่กับว่า พลังงานที่ใช้ในการสลายหรือการสร้างพันธะ มีค่ามากกว่ากัน

8) ถ้าไม่ทราบพลังงานพันธะอาจทำนายได้โดยการสังเกตจากจำนวนพันธะทั้งหมดที่ต้องสลาย และพันธะทั้งหมดที่ต้องการสร้างในผลิตภัณฑ์ โดยถ้ามีจำนวนพันธะที่สลายมากกว่าพันธะที่สร้าง จะเป็นปฏิกิริยาดูดพลังงาน แต่ถ้ามีจำนวนน้อยกว่าจะเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน หรืออาจพิจารณาจากลักษณะของปฏิกิริยา โดยถ้าเป็นการสลายโมเลกุลใหญ่ออกเป็นโมเลกุลเล็ก จะเป็นปฏิกิริยาดูดพลังงาน แต่ถ้าเป็นการรวมกันของโมเลกุลเล็กเป็นโมเลกุลใหญ่ หรือปฏิกิริยาการเผาไหม้ ส่วนมากจะเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน

การคำนวณพลังงานที่เกี่ยวข้องกับพลังงานพันธะ แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

1) การคำนวณเกี่ยวกับการสร้างหรือการถลายโมเลกุล มีวิธีการคำนวณ ดังนี้

ขั้นที่ 1 วัดโครงสร้างของโมเลกุลที่โจทย์ถาม

ขั้นที่ 2 สังเกตพันธะที่มีในโครงสร้างของโมเลกุลนั้น

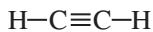
ขั้นที่ 3 รวมพลังงานพันธะของโมเลกุล



ตัวอย่างที่ 3.1

จงคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการถลายแก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) 1 มोล (กำหนดให้ พลังงานพันธะของ $C \equiv C$ เท่ากับ 839 kJ/mol และพลังงานพันธะของ C-H เท่ากับ 413 kJ/mol)

วิธีทำ ขั้นที่ 1 วัดโครงสร้างแบบเส้นของแก๊สอะเซทิลีน



ขั้นที่ 2 สังเกตพันธะที่มีในโครงสร้างของแก๊สอะเซทิลีน

ในโครงสร้าง ประกอบด้วย $C \equiv C$ 1 พันธะ คิดเป็นพลังงาน 839 kJ/mol

$C-H$ 2 พันธะ คิดเป็นพลังงาน 2×413 kJ/mol

ขั้นที่ 3 รวมพลังงานพันธะทั้งหมด คิดเป็นพลังงานรวม 1,665 kJ/mol

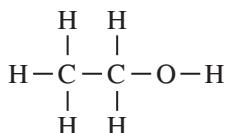
ดังนั้น ในการถลายแก๊สอะเซทิลีน 1 มोล จะต้องใช้พลังงาน 1,665 กิโลจูล



ตัวอย่างที่ 3.2

จงคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการถลายเอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) 1 มोล (กำหนดให้ พลังงานพันธะของ C-C เท่ากับ 347 kJ/mol พลังงานพันธะของ C-H เท่ากับ 413 kJ/mol พลังงานพันธะของ C-O เท่ากับ 358 kJ/mol และพลังงานพันธะของ O-H เท่ากับ 467 kJ/mol)

วิธีทำ ขั้นที่ 1 วัดโครงสร้างแบบเส้นของเอทิลแอลกอฮอล์



ขั้นที่ 2 สังเกตพันธะที่มีในโครงสร้างของไไฮดรอซีน

ในโครงสร้าง ประกอบด้วย $C-C$ 1 พันธะ คิดเป็นพลังงาน 347 kJ/mol

$C-H$ 5 พันธะ คิดเป็นพลังงาน 5×413 kJ/mol

$C-O$ 1 พันธะ คิดเป็นพลังงาน 358 kJ/mol

$O-H$ 1 พันธะ คิดเป็นพลังงาน 467 kJ/mol

ขั้นที่ 3 รวมพลังงานพันธะทั้งหมด

คิดเป็นพลังงานรวม 3,237 kJ/mol

ดังนั้น ในการถลายเอทิลแอลกอฮอล์ 1 มोล จะต้องใช้พลังงาน 3,237 กิโลจูล

2) การคำนวณเกี่ยวกับพลังงานในปฏิกิริยาเคมี จากหัวข้อที่ผ่านมา ได้แสดงวิธีการคำนวณพลังงานในการสร้างและการสลายของสารเพียง 1 โครงสร้าง ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการคำนวณพลังงานจากสมการเคมี ในสมการเคมีนี้จะประกอบด้วยสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ โดยใน การคำนวณจะต้องคำนวณพลังงานที่ดูดเข้าไปเพื่อใช้สลายพันธะในสารตั้งต้นให้เป็นอะตอมเดียว ๆ และคำนวณพลังงานที่คายออกมารากการสร้างพันธะในผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลต่างของพลังงานทั้งสอง จะเป็นพลังงานการเปลี่ยนแปลงในปฏิกิริยาเคมีนั้น ๆ โดยในการคำนวณพลังงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมี มีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยา พร้อมทั้งดูลสมการ

ขั้นที่ 2 สังเกตพันธะที่มีในโครงสร้างของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์

ขั้นที่ 3 เปรียบเทียบและหาผลต่างของพลังงาน ดังนี้

$$\Delta H = \text{ผลรวมของพลังงานด้านสารตั้งต้น} - \text{ผลรวมของพลังงานด้านสารผลิตภัณฑ์}$$

ถ้า ΔH มีค่าเป็นลบ แสดงว่าปฏิกิริยาเคมีเป็นแบบคายพลังงาน

ถ้า ΔH มีค่าเป็นบวก แสดงว่าปฏิกิริยาเคมีเป็นแบบดูดพลังงาน



ตัวอย่างที่ 3.3

จงคำนวณหาพลังงานในการสังเคราะห์ PCl_5 1 โมล จาก PCl_3 และ Cl_2 (กำหนดให้ พลังงานพันธะของ P–Cl เท่ากับ 328 kJ/mol และพลังงานพันธะของ Cl–Cl เท่ากับ 243 kJ/mol)

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยา $\text{PCl}_3 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{PCl}_5$

ขั้นที่ 2 สังเกตพันธะที่มีในโครงสร้างของสารในปฏิกิริยาเคมี

สารตั้งต้น ประกอบด้วย P–Cl 3 พันธะ คิดเป็นพลังงาน 3×328 kJ/mol

Cl–Cl 1 พันธะ คิดเป็นพลังงาน 243 kJ/mol

รวมคิดเป็นพลังงาน 1,227 kJ/mol

ผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย P–Cl 5 พันธะ คิดเป็นพลังงาน 5×328 kJ/mol

รวมคิดเป็นพลังงาน 1,640 kJ/mol

ขั้นที่ 3 เปรียบเทียบและหาผลต่างของพลังงาน

$$\Delta H = 1,227 - 1,640 \text{ kJ} = -413 \text{ kJ}$$

แสดงว่า การสังเคราะห์ PCl_5 จะมีการคายพลังงาน 413 กิโล焦ล/โมล



ตัวอย่างที่ 3.4

การเกิดแก๊ส CO_2 จากปฏิกิริยาระหว่างแก๊ส CO และแก๊ส O_2 มีการความพลังงานออกมา 558 kJ จงคำนวณพลังงานพันธะของ $\text{C}\equiv\text{O}$ ในแก๊ส CO (กำหนดให้ พลังงานพันธะของ $\text{C}=\text{O}$ เท่ากับ 745 kJ/mol และพลังงานพันธะของ $\text{O}=\text{O}$ เท่ากับ 498 kJ/mol)

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยา $2\text{CO} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{CO}_2$

ขั้นที่ 2 สังเกตพันธะที่มีในโครงสร้างของสารในปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากโจทย์ให้หาพลังงานพันธะของ $\text{C}\equiv\text{O}$ ในแก๊ส CO ดังนั้น จึงกำหนดให้พลังงานพันธะของ $\text{C}\equiv\text{O}$ คิดเป็นพลังงาน $Y \text{ kJ}$

สารตั้งต้น ประกอบด้วย $\text{C}\equiv\text{O}$ 2 พันธะ คิดเป็นพลังงาน $2 \times Y \text{ kJ/mol}$

$\text{O}=\text{O}$ 1 พันธะ คิดเป็นพลังงาน 498 kJ/mol

รวมคิดเป็นพลังงาน $498 + 2Y \text{ kJ/mol}$

ผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย $\text{C}=\text{O}$ 4 พันธะ คิดเป็นพลังงาน $4 \times 745 \text{ kJ/mol}$

รวมคิดเป็นพลังงาน $2,980 \text{ kJ/mol}$

ขั้นที่ 3 เปรียบเทียบและหาผลต่างของพลังงาน

$$\Delta H = \text{ผลรวมของพลังงานด้านสารตั้งต้น} - \text{ผลรวมของพลังงานด้านสารผลิตภัณฑ์}$$

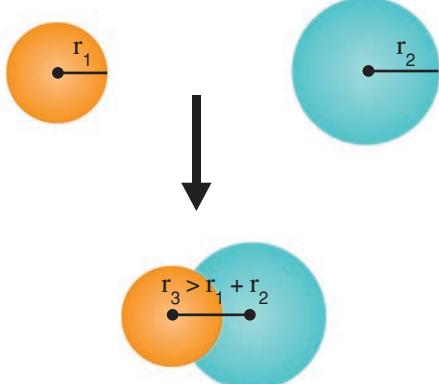
$$-558 = 498 + 2Y - 2,980$$

$$2Y = 1,924$$

$$Y = 962$$

แสดงว่า พลังงานพันธะของ $\text{C}\equiv\text{O}$ ในแก๊ส CO มีค่าเท่ากับ 962 กิโลจูล/โมล

2. ความยาวพันธะ คือ ระยะทางระหว่างนิวเคลียสของอะตอมคู่หนึ่งที่สร้างพันธะโคลเวเลนต์ต่อกัน ในทางปฏิบัติการหาความยาวพันธะจะทำการศึกษาจากการกระจายตัวของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) ผ่านโครงผลึกของสารหรืออาจคำนวณได้จากการลบวงของ



▲ ภาพที่ 3.48 สารประกอบโคลเวเลนต์จะมีการซ้อนทับกันของอะตอมที่มาสร้างพันธะกัน จึงทำให้ความยาวพันธะมีค่าน้อยกว่าค่าตามทฤษฎี

รัศมีอะตอมของธาตุที่มาสร้างพันธะกัน เช่น ความยาวพันธะของ HCl เมื่อรัศมีอะตอมของ H มีค่า 0.037 pm ส่วนรัศมีอะตอมของ Cl มีค่า 0.099 pm ดังนั้น ตามทฤษฎีความยาวพันธะของ HCl ควรจะมีค่าเป็น $0.037 + 0.099$ เท่ากับ 0.136 pm แต่จากการทดลองจริง พบว่า ความยาวพันธะของ HCl มีค่าเพียง 0.127 pm เท่านั้น ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าตามทฤษฎี ทั้งนี้ ก็เนื่องมาจากการเกิดพันธะโคลเวเลนต์นั้นจะมีการซ้อนกันของอะตอมที่มาสร้างพันธะกัน จึงทำให้ความยาวพันธะมีค่าน้อยลงนั่นเอง

เช่นเดียวกับพลังงานพันธะ ในสารประกอบต่างชนิดกัน แต่มีพันธะชนิดเดียวกัน ความยาวพันธะอาจมีค่าแตกต่างกัน หรือในสารประกอบชนิดเดียวกัน และมีพันธะชนิดเดียวกัน อาจมีความยาวพันธะแตกต่างกันได้ เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตาม ความยาวพันธะเหล่านั้นมักมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น การบอกรความยาวพันธะจะจงนิยมใช้เป็นค่าความยาวพันธะเฉลี่ย (average bond lengths)

ข้อสังเกตเกี่ยวกับความยาวพันธะมี ดังนี้

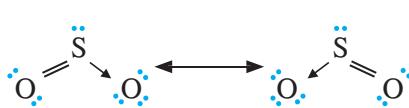
- 1) ความยาวพันธะ มีหน่วยเป็น พิโภเมตร ($\text{pm} = 10^{-12} \text{ m}$)
- 2) ความยาวพันธะจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของพันธะและพลังงานพันธะ
- 3) ในการเบริยบที่ความยาวพันธะที่เกิดจากคู่ของอะตอมชนิดเดียวกัน จะมีลำดับความยาวพันธะ ดังนี้ พันธะเดี่ยว > พันธะคู่ > พันธะสาม
- 4) ในพันธะที่เกิดจากคู่ของอะตอมชนิดเดียวกัน ความยาวพันธะจะแปรผกผันกับพลังงานพันธะ

ความสับ派บ์ระหว่างความแข็งแรง พลังงาน ความยาว และความเสถียรของพันธะ

- ◉ ความแข็งแรงของพันธะ : พันธะสาม > พันธะคู่ > พันธะเดี่ยว
- ◉ พลังงานของพันธะ : พันธะสาม > พันธะคู่ > พันธะเดี่ยว
- ◉ ความยาวของพันธะ : พันธะเดี่ยว > พันธะคู่ > พันธะสาม
- ◉ ความเสถียรของพันธะ : พันธะเดี่ยว > พันธะคู่ > พันธะสาม

ปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ เป็นปรากฏการณ์ที่สารประกอบหรือไอออนของสารประกอบโคเวเลนต์สามารถเขียนสูตรโครงสร้างได้มากกว่า 1 แบบ โดยปรากฏการณ์เรโซแนนซ์นี้เกิดจากการที่อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะคู่หนึ่งหรือประจุสามารถเคลื่อนที่ไปมาในโมเลกุลได้อย่างอิสระ มักเกิดกับโครงสร้างที่มีพันธะคู่อยู่ติดกับพันธะเดี่ยว ตัวอย่างเช่น

SO_2 ในโมเลกุลประกอบด้วย S ที่เป็นอะตอมกลาง และมี O สร้างพันธะคู่กับ S 1 คู่ และ O สร้างโคออดิเนตโคเวเลนต์กับ S อีก 1 คู่ ซึ่งการเกิดพันธะระหว่าง S กับ O ทั้ง 2 ตัวนี้ อาจเกิดสลับซ้ายขวาได้ กล่าวคือ O ด้านซ้ายอาจเกิดพันธะคู่ ส่วน O ด้านขวาอาจเกิดพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์ หรือ O ด้านซ้ายอาจเกิดพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์ ส่วน O ด้านขวาอาจเกิดพันธะคู่ ซึ่งการสลับซ้ายขวาของพันธะนี้เองทำให้เกิดปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ขึ้น



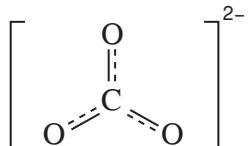
▲ ภาพที่ 3.49

จากการวิเคราะห์พบว่า พันธะที่เกิดเรโซแนนซ์จะมีความเหมือนกัน เท่าเทียมกัน และไม่แตกต่างกัน ดังนั้น พันธะที่เกิดจากปรากฏการณ์เรโซแนนซ์จึงไม่จัดเป็นพันธะเดียว พันธะคู่หรือพันธะสาม แต่อาจจัดเป็นอันดับของพันธะ $\frac{3}{2}$ หรือ $\frac{4}{3}$ (ซึ่งเป็นพันธะที่อยู่ระหว่างพันธะเดียว กับพันธะคู่) ซึ่งการคำนวณอันดับของพันธะในสารประกอบที่มีเรโซแนนซ์ ทำได้โดยใช้สูตร ดังนี้

$$\text{อันดับของพันธะ} = \frac{\text{จำนวนพันธะ}}{\text{จำนวนอะตอมที่สร้างพันธะ}}$$

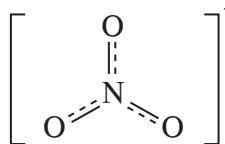
ตัวอย่างเช่น ในโมเลกุลของ SO_2 มีอะตอมที่สร้างพันธะกัน 3 อะตอม และมีพันธะที่เกิดขึ้นได้ 2 พันธะ ดังนั้น อันดับของพันธะจึงมีค่าเป็น $\frac{3}{2}$ เป็นต้น

การเขียนสูตรสารประกอบที่เกิดปรากฏการณ์เรโซแนนซ์นั้น บริเวณพันธะที่มีการเกิดเรโซแนนซ์ นิยมเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ----- ตัวอย่างเช่น



คาร์บอนเนตไออกอน (CO_3^{2-})

▲ ภาพที่ 3.50

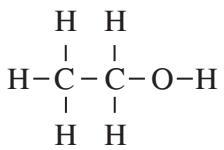


ไนเตรตไออกอน (NO_3^-)

▲ ภาพที่ 3.51

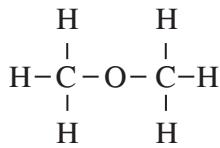
1.8 รูปร่างของโมเลกุลโคเวเลนต์

การจัดเรียงอะตอมต่าง ๆ ในโมเลกุลโคเวเลนต์แต่ละชนิดจะมีลักษณะและตำแหน่งที่แน่นอน ทำให้โมเลกุลโคเวเลนต์มีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับสมบัติของสารประกอบ ดังนั้น การศึกษารูปร่างของโมเลกุลโคเวเลนต์ก็เพื่อใช้ในการอธิบายสมบัติของสารโคเวเลนต์นั่นเอง เช่น เอทานอลและเมทอกซีมีเทนเป็นสารประกอบที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกัน คือ $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ แต่มีสูตรโครงสร้างหรือรูปร่างโมเลกุลแตกต่างกัน จึงทำให้สารทั้งสองมีสมบัติแตกต่างกันโดยเอทานอลจะเป็นของเหลว ใส ไม่มีสี ละลายน้ำได้ มีจุดหลอมเหลว -117 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 78.5 องศาเซลเซียส ส่วนเมทอกซีมีเทนจะเป็นแก๊ส ไม่มีสี ไม่ละลายน้ำ มีจุดหลอมเหลว -138.5 องศาเซลเซียส และจุดเดือด -23 องศาเซลเซียส เป็นต้น



เอทานอล

▲ ภาพที่ 3.52



เมทอกซิมีเทน

▲ ภาพที่ 3.53

การบอกรูปร่างของโมเลกุลโคเวเลนต์ต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญ 2 ปัจจัย ดังนี้

1. ความยาวพันธะ (bond length) คือ ระยะทางระหว่างนิวเคลียสของอะตอมคู่ที่สร้างพันธะโคเวเลนต์ระหว่างกัน

2. มุมพันธะ (bond angle) คือ มุมที่เกิดขึ้นเมื่ออะตอม 2 อะตอม มาสร้างพันธะกับอะตอมกลาง โดยมุ่งระหว่างพันธะจะกว้างหรือแคบนั้นขึ้นอยู่กับแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนที่อยู่รอบ ๆ อะตอมกลาง ซึ่งมุ่งระหว่างพันธะจะต้องเป็นมุมที่ทำให้โมเลกุlnนั้นเสถียรหรือมีพลังงานต่ำ หรือมีแรงผลักของอิเล็กตรอนระหว่างอะตอมน้อยที่สุด เรียกทฤษฎีนี้ว่า แบบจำลองแรงผลักของคู่อิเล็กตรอนชั้นนอกสุด (Valence-shell electron-pair repulsion model, VSEPR)

การทำนายรูปร่างของโมเลกุลโคเวเลนต์สามารถทำได้ ดังนี้

1. เลือกอะตอมกลาง ซึ่งเป็นอะตอมที่สร้างพันธะมากที่สุด

2. นับจำนวนพันธะที่อะตอมกลางสร้างได้

3. นับจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อยู่ล้อมรอบอะตอมกลางนั้น

4. แรงจากอิเล็กตรอนที่สร้างพันธะและไม่ได้สร้างพันธะ จะทำให้โมเลกุลมีรูปร่างแบบต่าง ๆ โดยรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามการมีหรือไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอมกลาง ดังนี้

1. กลุ่มที่ไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอมกลาง เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณารูปร่าง จึงจะพิจารณาสารประกอบที่มีรากเป็นองค์ประกอบเพียง 2 ชนิด โดยสมมติให้ A เป็นอะตอมกลาง และ X เป็นอะตอมที่อยู่ล้อมรอบ โดยทั่วไปสูตรโมเลกุลของสารประกอบจะเป็น AX_n โดยที่ n เป็นจำนวนอะตอมที่อยู่ล้อมรอบอะตอมกลาง และ n มีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 6

จะเห็นว่า รูปร่างของสารประกอบโคเวเลนต์กลุ่มที่ไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอมกลาง ที่เป็นไปได้จะมีอยู่ 5 แบบ คือ AX_2 , AX_3 , AX_4 , AX_5 และ AX_6 ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ จะพยายามจัดตัวให้เกิดแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนภายในโมเลกุln้อยที่สุด จึงทำให้เกิดรูปร่างได้ 5 ลักษณะ ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 : รูปร่างของโมเลกุลโดยเวลน์กัมที่ไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอมกลาง

สูตรโมเลกุล	จำนวนคู่ อิเล็กตรอน	รูปร่างของโมเลกุล	ชื่อรูปร่าง ของโมเลกุล	ตัวอย่าง
AX_2	2	$X \begin{array}{c} \nearrow 180^\circ \\ \\ \searrow \end{array} A \begin{array}{c} \nearrow \\ \\ \searrow X \end{array} X$ หรือ 	เส้นตรง	$BeCl_2$ $HgCl_2$
AX_3	3	$X \begin{array}{c} \\ \nearrow 120^\circ \\ \\ \searrow \end{array} A \begin{array}{c} \nearrow \\ \\ \searrow X \end{array} X$ หรือ 	สามเหลี่ยม แบบราบ	BF_3 BCl_3
AX_4	4	$X \begin{array}{c} \\ \nearrow 109.5^\circ \\ \\ \searrow \end{array} A \begin{array}{c} \nearrow \\ \\ \searrow X \end{array} X$ หรือ 	ทรงสี่หน้า	CH_4 CCl_4
AX_5	5	$X \begin{array}{c} \\ \nearrow 90^\circ \\ \\ \searrow 120^\circ \end{array} A \begin{array}{c} \nearrow \\ \\ \searrow X \end{array} X$ หรือ 	พีระมิดคู่ สานสามเหลี่ยม	PCl_5
AX_6	6	$X \begin{array}{c} \\ \nearrow 90^\circ \\ \\ \searrow 90^\circ \end{array} A \begin{array}{c} \nearrow \\ \\ \searrow X \end{array} X$ หรือ 	ทรงแปดหน้า	SF_6

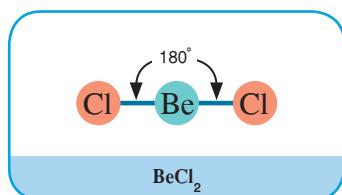
หมายเหตุ : — หมายถึง พันธะที่อยู่บนระนาบกระดาษ
----- หมายถึง พันธะที่พุ่งไปข้างหลังระนาบกระดาษ
→ หมายถึง พันธะที่พุ่งออกจากระนาบกระดาษ

1) กรณี AX_2 โมเลกุลที่มีสูตรทั่วไปเป็น AX_2 หรือโมเลกุลที่อะตอมกลางมี 2 พันธะ (จะเป็นพันธะชนิดไดกีต์ได) และไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอมกลาง เพื่อให้มีแรงผลักของ อิเล็กตรอนในโมเลกุลน้อยที่สุด โมเลกุลเหล่านี้จะมีรูปร่างเป็น เส้นตรง (linear) ที่มีมุมพันธะเป็น 180 องศา เช่น $BeCl_2$ $HgCl_2$ Hg_2Cl_2 Hg_2Br_2 CO_2 CS_2 N_2O HCN $Ag(NH_3)^+$ เป็นต้น
พิจารณาโมเลกุล $BeCl_2$ จะมีโครงสร้างแบบปุดและแบบเส้น ดังนี้



▲ ภาพที่ 3.54

ในโครงสร้างจะเห็นว่า Be ในโมเลกุล $BeCl_2$ ทำ หน้าที่เป็นอะตอมกลาง ซึ่งมีเวลน์อิเล็กตรอนทั้งหมด 2 คู่ และทั้ง 2 คู่ เป็นอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ เพื่อให้มีแรงผลักของ อิเล็กตรอนในโมเลกุลน้อยที่สุด อิเล็กตรอนทั้ง 2 คู่จะถูกผลักให้ อยู่ห่างกันมากที่สุด จึงทำให้โมเลกุลมีรูปร่างเป็นเส้นตรงที่มีมุม พันธะเป็น 180 องศา ดังรูป



▲ ภาพที่ 3.55

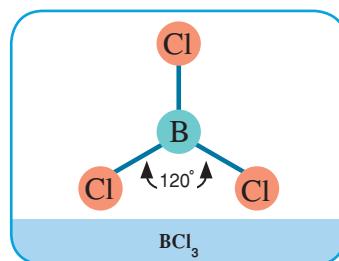
2) กรณี AX_3 โมเลกุลที่มีสูตรหัวใจเป็น AX_3 หรือโมเลกุลที่อะตอมกลางมี 3 พันธะ (จะเป็นพันธะชนิดใดก็ได้) และไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอมกลาง เพื่อให้มีแรงผลักของอิเล็กตรอนในโมเลกุln้อยที่สุด โมเลกุลเหล่านี้จะมีรูปร่างเป็น สามเหลี่ยมแบบราบ (trigonal planar) ที่มีมุมพันธะเป็น 120 องศา เช่น BF_3 BCl_3 NO_3^- CO_3^{2-} SO_3 GaI_3 $HCHO$ $COCl_2$ เป็นต้น

พิจารณาโมเลกุล BCl_3 จะมีโครงสร้างแบบบุดและแบบเส้น ดังนี้



▲ ภาพที่ 3.56

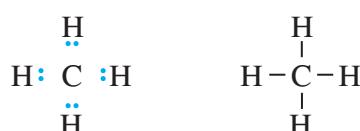
ในโครงสร้างจะเห็นว่า B ในโมเลกุล BCl_3 ทำหน้าที่เป็นอะตอมกลาง ซึ่งมีเวลน์ช้อร์อิเล็กตรอนหั้งหมด 3 คู่ และหั้ง 3 คู่ เป็นอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ เพื่อให้มีแรงผลักของอิเล็กตรอนในโมเลกุln้อยที่สุด อิเล็กตรอนหั้ง 3 คู่จะถูกผลักให้อยู่ห่างกันมากที่สุด จึงทำให้โมเลกุลมีรูปร่างเป็นสามเหลี่ยมแบบราบ ที่มีมุมพันธะเป็น 120 องศา ดังรูป



▲ ภาพที่ 3.57

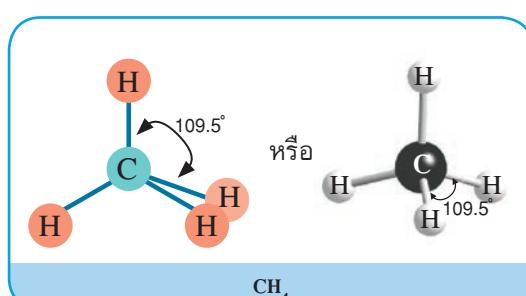
3) กรณี AX_4 โมเลกุลที่มีสูตรหัวใจเป็น AX_4 หรือโมเลกุลที่อะตอมกลางมี 4 พันธะ (จะเป็นพันธะชนิดใดก็ได้) และไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอมกลาง เพื่อให้มีแรงผลักของอิเล็กตรอนในโมเลกุln้อยที่สุด โมเลกุลเหล่านี้จะมีรูปร่างเป็น ทรงสี่หน้า (tetrahedral) ที่มีมุมพันธะเป็น 109.5 องศา เช่น CH_4 CCl_4 BH_4^- PH_4^+ AsO_4^{3-} ClO_4^- PO_4^{3-} SO_4^{2-} MnO_4^- CrO_4^{2-} $Zn(NH_3)_4^+$ เป็นต้น

พิจารณาโมเลกุล CH_4 จะมีโครงสร้างแบบบุดและแบบเส้น ดังนี้



▲ ภาพที่ 3.58

ในโครงสร้างจะเห็นว่า C ในโมเลกุล CH_4 ทำหน้าที่เป็นอะตอมกลาง ซึ่งมีเวลน์ช้อร์อิเล็กตรอนหั้งหมด 4 คู่ และหั้ง 4 คู่ เป็นอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ เพื่อให้มีแรงผลักของอิเล็กตรอนในโมเลกุln้อยที่สุด อิเล็กตรอนหั้ง 4 คู่จะถูกผลักให้อยู่ห่างกันมากที่สุด จึงทำให้โมเลกุลมีรูปร่างเป็นทรงสี่หน้า ที่มีมุมพันธะเป็น 109.5 องศา ดังรูป



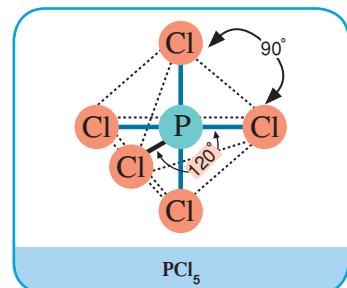
▲ ภาพที่ 3.59

4) กรณี AX_5 โมเลกุลที่มีสูตรหัวไปเป็น AX_5 หรือโมเลกุลที่อะตอมกลางมี 5 พันธะ (จะเป็นพันธะชนิดใดก็ได้) และไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอมกลาง เพื่อให้มีแรงผลักของอิเล็กตรอนในโมเลกุln้อยที่สุด โมเลกุลเหล่านี้จะมีรูปร่างเป็น พีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยม (trigonal bipyramidal) ที่มีมุมพันธะเป็น 120 และ 90 องศา เช่น PCl_5 AsF_5 MoCl_5 เป็นต้น พิจารณาโมเลกุล PCl_5 จะมีโครงสร้างแบบจุดและแบบเส้น ดังนี้



▲ ภาพที่ 3.60

ในโครงสร้างจะเห็นว่า P ในโมเลกุล PCl_5 ทำหน้าที่เป็นอะตอมกลาง ซึ่งมีเวลน์ช้ออิเล็กตรอนหั้งหมด 5 คู่ และหั้ง 5 คู่ เป็นอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ เพื่อให้มีแรงผลักของอิเล็กตรอนในโมเลกุln้อยที่สุด อิเล็กตรอนหั้ง 5 คู่จะถูกผลักให้อยู่ห่างกันมากที่สุด จึงทำให้โมเลกุลมีรูปร่างเป็นพีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยมที่มีมุมพันธะเป็น 120 และ 90 องศา ดังรูป

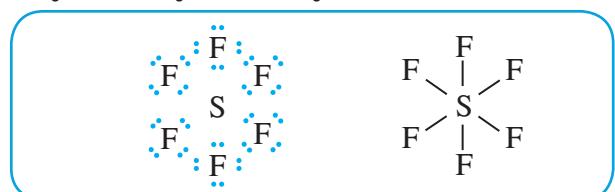


▲ ภาพที่ 3.61

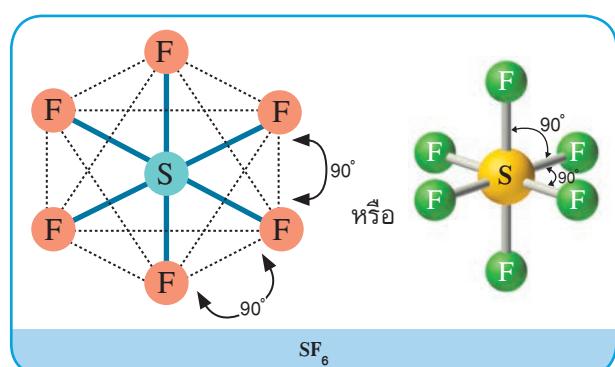
5) กรณี AX_6 โมเลกุลที่มีสูตรหัวไปเป็น AX_6 หรือโมเลกุลที่อะตอมกลางมี 6 พันธะ (จะเป็นพันธะชนิดใดก็ได้) และไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอมกลาง เพื่อให้มีแรงผลักของอิเล็กตรอนในโมเลกุln้อยที่สุด โมเลกุลเหล่านี้จะมีรูปร่างเป็น ทรงแปดหน้า (octahedral) ที่มีมุมพันธะเป็น 90 องศา เช่น SF_6 UF_6 WF_6 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ เป็นต้น

พิจารณาโมเลกุล SF_6 จะมีโครงสร้างแบบจุดและแบบเส้น ดังนี้

ในโครงสร้างจะเห็นว่า S ในโมเลกุล SF_6 ทำหน้าที่เป็นอะตอมกลาง ซึ่งมีเวลน์ช้ออิเล็กตรอนหั้งหมด 6 คู่ และหั้ง 6 คู่ เป็นอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ เพื่อให้มีแรงผลักของอิเล็กตรอนในโมเลกุln้อยที่สุด อิเล็กตรอนหั้ง 6 คู่จะถูกผลักให้อยู่ห่างกันมากที่สุด จึงทำให้โมเลกุลมีรูปร่างเป็นทรงแปดหน้าที่มีมุมพันธะเป็น 90 องศา ดังรูป

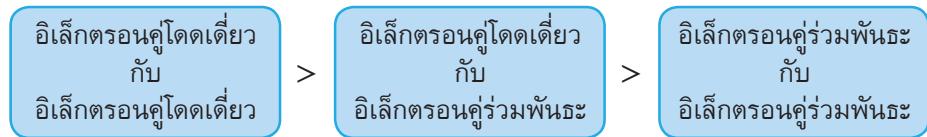


▲ ภาพที่ 3.62



▲ ภาพที่ 3.63

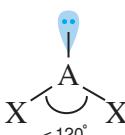
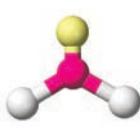
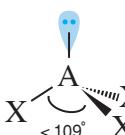
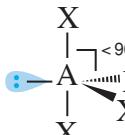
2. กลุ่มที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอมกลาง ในโมเลกุลโคเวเลนต์บางโมเลกุลที่อะตอมกลางยังมีอิเล็กตรอนที่ยังไม่สร้างพันธะเหลืออยู่ เรียกอิเล็กตรอนนี้ว่า อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone pair electron) ซึ่งตามปกติแล้วอิเล็กตรอนจะส่งแรงผลักระหว่างกัน โดยเรียงลำดับความแรงของแรงผลักได้ ดังนี้



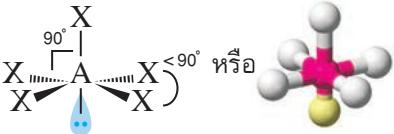
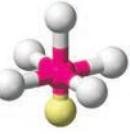
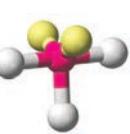
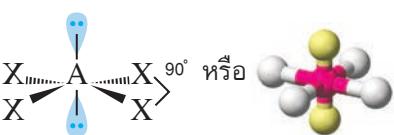
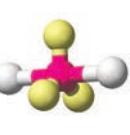
เพื่อจ่ายต่อการพิจารณาภูริปั่น จึงจะพิจารณาสารประกอบที่มีธาตุเป็นองค์ประกอบเพียง 2 ชนิด โดยสมมติให้ A เป็นอะตอมที่อยู่ล้อมรอบ และ E เป็นอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอม A โดยทั่วไปสูตรโมเลกุลของสารประกอบจะเป็น AX_nE_m โดยที่ n เป็นจำนวนอะตอมที่อยู่ล้อมรอบอะตอมกลาง ซึ่ง n มีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 5 และ m เป็นจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่เหลืออยู่ที่อะตอมกลาง

โครงสร้างของสารประกอบโคเวเลนต์ในกลุ่มที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอมกลางที่สามารถเป็นไปได้มีอยู่ 8 ลักษณะ ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 : รูปร่างของโมเลกุลโคเวเลนต์กลุ่มที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอมกลาง

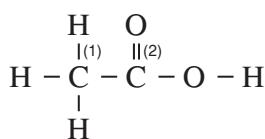
สูตรโมเลกุล	จำนวนคู่อิเล็กตรอน		รูปร่างของโมเลกุล	ชื่อรูปร่างของโมเลกุล	ตัวอย่าง
	ที่สร้างพันธะ	โดดเดี่ยว			
AX_2E	2	1	 หรือ 	มุมงอ	SO_2 O_3
AX_3E	3	1	 หรือ 	พีระมิดฐานสามเหลี่ยม	NH_3 PH_3
AX_4E	4	1	 หรือ 	ทรงสี่หน้าบิดเบี้ยว หรือม้ากระดก	SF_4 XeO_2F_2

ตารางที่ 3.6 : รูปร่างของโมเลกุลโคเวเลนต์กลุ่มที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอมกลาง (ต่อ)

สูตรโมเลกุล	จำนวนคู่อิเล็กตรอน		รูปร่างของโมเลกุล	ชื่อรูปร่างของโมเลกุล	ตัวอย่าง
	ที่สร้างพันธะ	โดดเดี่ยว			
AX_5E	5	1	 หรือ 	พิรมิตฐานสีเหลือง	IF_5 XeOF_4
AX_2E_2	2	2	 หรือ 	มุมงอ	H_2O H_2S
AX_3E_2	3	2	 หรือ 	ตัวที	ClF_3
AX_4E_2	4	2	 หรือ 	สีเหลืองแบบราบ	XeF_4
AX_2E_3	2	3	 หรือ 	เส้นตรง	I^-_3 XeF_2

ให้  = A  = X  = อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอมกลาง

จากที่กล่าวมาข้างต้น เป็นการพิจารณาสูตรร่วงของโมเลกุลที่มีอะตอมมากกว่าเดียว แต่ในความจริงแล้วโมเลกุลโคเวเลนต์อาจมีอะตอมมากกว่าได้หลายโมเลกุล ซึ่งแต่ละอะตอมมากกว่าอาจมีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับอะตอมที่มาล้อมรอบ ตัวอย่างเช่น ในโมเลกุลของกรดแอกซิติก (CH_3COOH) จะมีโครงสร้างแบบเส้น ดังนี้



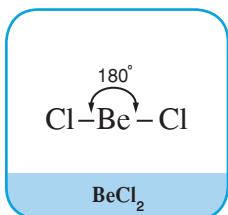
▲ ภาพที่ 3.64

ถ้าใช้ C (1) เป็นอะตอมมากกว่า จะได้รูปร่างโมเลกุลเป็นทรงสี่เหลี่ยม ถ้าใช้ C (2) เป็นอะตอมมากกว่า จะได้รูปร่างโมเลกุลเป็นสามเหลี่ยมแบบราบ แต่ถ้าใช้ O เป็นอะตอมมากกว่า จะได้รูปร่างโมเลกุลเป็นมุมมอง

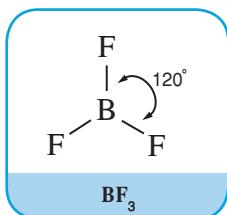
1.9 มุมระหว่างพันธะในโมเลกุลโคเวเลนต์

มุมพันธะ (bond angle) คือ มุมที่เกิดขึ้นเมื่ออะตอม 2 อะตอม มาสร้างพันธะกับอะตอมมากกว่า โดยมุมพันธะจะมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อยู่รอบอะตอมมากกว่า รูปร่างของโมเลกุล จำนวนพันธะที่อยู่รอบอะตอมมากกว่า และค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีหลักเกณฑ์ในการพิจารณา มุมพันธะในโมเลกุลโคเวเลนต์ทำได้ ดังนี้

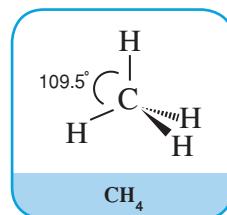
1. โมเลกุลโคเวเลนต์ที่อะตอมมากกว่าไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว มีแต่อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ ให้พิจารณาจากจำนวนพันธะ หากโมเลกุลได้มีจำนวนพันธะที่อยู่ล้อมรอบอะตอมมากกว่า โมเลกุลนั้นจะมีมุมพันธะน้อย ตัวอย่างเช่น โมเลกุล BeCl_2 มีรูปร่างเป็นเส้นตรง Be มีการสร้างพันธะทั้งหมด 2 พันธะกับอะตอมที่อยู่รอบข้าง โมเลกุล BF_3 มีรูปร่างเป็นสามเหลี่ยมแบบราบ B มีการสร้างพันธะทั้งหมด 3 พันธะกับอะตอมที่อยู่รอบข้าง โมเลกุล CH_4 มีรูปร่างเป็นทรงสี่เหลี่ยม C มีการสร้างพันธะทั้งหมด 4 พันธะกับอะตอมที่อยู่รอบข้าง และโมเลกุล SF_6 มีรูปร่างเป็นทรงแปดเหลี่ยม S มีการสร้างพันธะทั้งหมด 6 พันธะกับอะตอมที่อยู่รอบข้าง ดังนั้น จึงเรียกลำดับขนาดของมุมพันธะจากมากไปน้อยได้ ดังนี้ $\text{BeCl}_2 > \text{BF}_3 > \text{CH}_4 > \text{SF}_6$



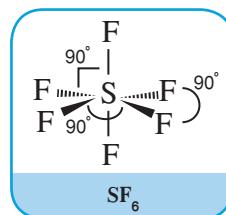
▲ ภาพที่ 3.65



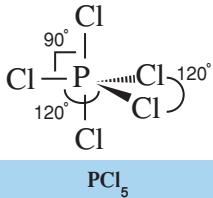
▲ ภาพที่ 3.66



▲ ภาพที่ 3.67



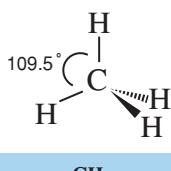
▲ ภาพที่ 3.68



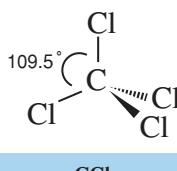
▲ ภาพที่ 3.69

จะเห็นว่าในตัวอย่างที่กล่าวมา ไม่ได้กล่าวถึงโมเลกุลที่มีรูปร่างเป็นพีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยม ที่เป็นเซ็นทรัลเนื่องมาจากโมเลกุลที่มีรูปร่างเป็นพีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยมจะมีมุมได้หลายค่า คือ มุมพันธะที่ฐานจะเป็น 120 องศา และมุมพันธะที่ตั้งจากกับฐานจะเป็น 90 องศา

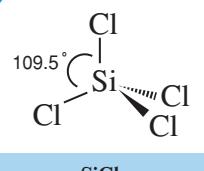
2. โมเลกุลโคเวเลนต์ที่อะตอมกลางไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว มีรูปร่างแบบเดียวกัน และมีพันธะรอบอะตอมเหมือนกัน โมเลกุลของสารเหล่านี้จะมีมุมพันธะเท่ากันเสมอ เช่น CH_4 CCl_4 SiCl_4 และ GeCl_4 มีรูปร่างเป็นทรงสี่เหลี่ยมเมื่ອอกันทั้งหมด ดังนั้น มุมพันธะในทุกโมเลกุล จึงมีค่าเท่ากัน คือ 109.5 องศา



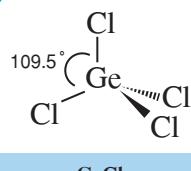
▲ ภาพที่ 3.70



▲ ภาพที่ 3.71



▲ ภาพที่ 3.72



▲ ภาพที่ 3.73

3. โมเลกุลโคเวเลนต์ที่อะตอมกลางไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว มีรูปร่างแบบเดียวกัน แต่มีพันธะรอบอะตอมแตกต่างกัน โมเลกุลของสารเหล่านี้จะมีมุมพันธะเท่ากันเสมอ เช่น BeCl_2 CO_2 HCN และ CS_2 มีรูปร่างเป็นเส้นตรงเหมือนกันทั้งหมด ดังนั้น มุมพันธะในทุกโมเลกุลจึงมีค่าเท่ากัน คือ 180 องศา



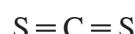
▲ ภาพที่ 3.74



▲ ภาพที่ 3.75



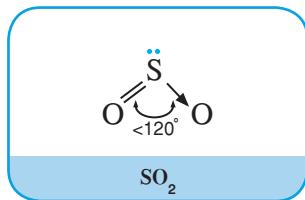
▲ ภาพที่ 3.76



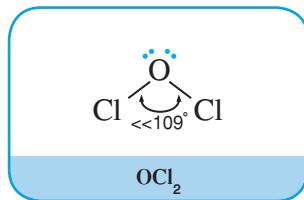
▲ ภาพที่ 3.77

4. โมเลกุลโคเวเลนต์ที่อะตอมกลางมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว ให้พิจารณาจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว โดยในโมเลกุลใดมีจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อยู่ล้อมรอบอะตอมกลางมาก โมเลกุลนั้นจะมีมุมพันธะน้อย ตัวอย่างเช่น

พิจารณาโมเลกุลของ SO_2 และ OCl_2 พบว่า ในโมเลกุล SO_2 มี S เป็นอะตอมกลาง และมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเหลืออยู่ 1 คู่ ส่วนในโมเลกุล OCl_2 มี O เป็นอะตอมกลาง และมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเหลืออยู่ 2 คู่ จะเห็นว่า O มีจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวมากกว่า S จึงทำให้มุมพันธะของ OCl_2 มีขนาดเล็กกว่า SO_2

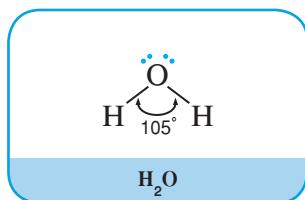


▲ ภาพที่ 3.78

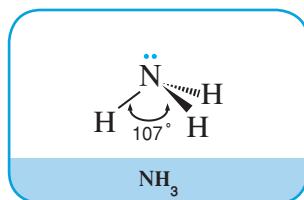


▲ ภาพที่ 3.79

พิจารณาโมเลกุลของ H_2O และ NH_3 พบว่า ในโมเลกุล H_2O มี O เป็นอะตอมกลาง และมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเหลืออยู่ 2 คู่ ส่วนในโมเลกุล NH_3 มี N เป็นอะตอมกลาง และมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเหลืออยู่ 1 คู่ จะเห็นว่า O มีจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวมากกว่า N จึงทำให้มุมพันธะของ H_2O มีขนาดเล็กกว่า NH_3



▲ ภาพที่ 3.80



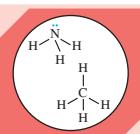
▲ ภาพที่ 3.81

5. โมเลกุลโคลเวเลนต์ที่มีรูปร่างเหมือนกัน โดยอะตอมกลางมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเหลืออยู่เท่ากัน แต่มีอะตอมกลางไม่เหมือนกัน หรืออะตอมที่มาสร้างพันธะด้วยไม่เหมือนกัน โมเลกุลเหล่านี้จะมีมุมพันธะต่างกัน การพิจารณา มุมพันธะของโมเลกุลเหล่านี้แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

1) โมเลกุลโคลเวเลนต์มีรูปร่างเหมือนกัน แต่มีอะตอมกลางไม่เหมือนกัน เนื่องจากขนาดของมุมขึ้นอยู่กับแรงผลักของโมเลกุล โมเลกุลที่มีแรงผลักของอิเล็กตรอนบริเวณอะตอมกลางมาก โมเลกุลนั้นจะมีขนาดโมเลกุลใหญ่ ซึ่งการพิจารณาว่าบริเวณใดจะมีอิเล็กตรอนมากหรือน้อยนั้นจะอาศัยค่าอิเล็กโตรเนกติกวิตี เป็นเกณฑ์ ดังนั้น โมเลกุลที่มีรูปร่างแบบเดียวกัน แต่มีอะตอมกลางที่ต่างกัน โมเลกุลที่อะตอมกลางมีค่าอิเล็กโตรเนกติกวิติกสูงจะมีการดึงอิเล็กตรอนเข้ามาก ทำให้มุมมีขนาดใหญ่

H. D. T. S.

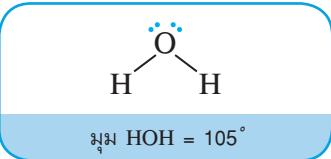
คำนำท้าทายการคิดขั้นสูง



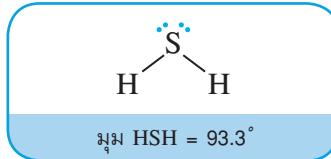
เหตุใดมุมระหว่างพันธะในโมเลกุล

ของ NH_3 จึงมีค่าห้อยกว่า มุมระหว่างพันธะในโมเลกุลของ CH_4

พิจารณาโมเลกุลของ H_2O และ H_2S ทั้งสองโมเลกุลมีรูปร่างเป็นรูปมุงอที่มี 2 อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวทั้งคู่ แต่ O มีค่าอิเล็กโโทรเนกติกวิตี้มากกว่า S ดังนั้น จึงทำให้ O ดึงดูดอิเล็กตรอนเข้ามาใกล้อะตอมกลางได้มากกว่า ดังนั้น มุ่งพันธะของ $\text{H}_2\text{O} > \text{H}_2\text{S}$



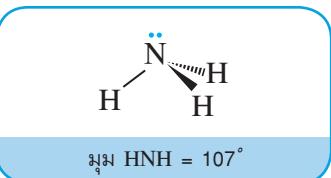
▲ ภาพที่ 3.82



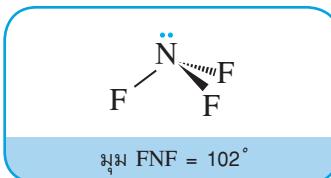
▲ ภาพที่ 3.83

2) โมเลกุลโคเวเลนต์มีรูปร่างเหมือนกัน แต่มีอะตอมที่ล้อมรอบไม่เหมือนกัน ให้พิจารณาจากค่าอิเล็กโโทรเนกติกวิตี้ของอะตอมที่มาล้อมรอบ โดยอะตอมที่มาล้อมรอบที่มีค่าอิเล็กโโทรเนกติกวิตี้สูงกว่า โมเลกุลนั้นจะดึงดูดอิเล็กตรอนของมาจากอะตอมกลางได้มากกว่า จึงทำให้มุ่งมีขนาดเล็ก

พิจารณาโมเลกุลของ NH_3 และ NF_3 ทั้งสองโมเลกุลมีรูปร่างเป็นพีระมิดฐานสามเหลี่ยมที่มี 1 อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวทั้งคู่ แต่ F มีค่าอิเล็กโโทรเนกติกวิตี้สูงกว่า H ดังนั้น จึงทำให้ F ดึงดูดอิเล็กตรอนของมาจากอะตอมกลางได้มากกว่า ดังนั้น มุ่งพันธะของ $\text{NH}_3 > \text{NF}_3$



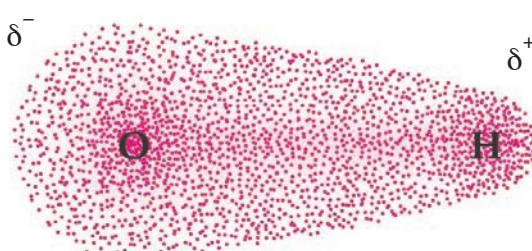
▲ ภาพที่ 3.84



▲ ภาพที่ 3.85

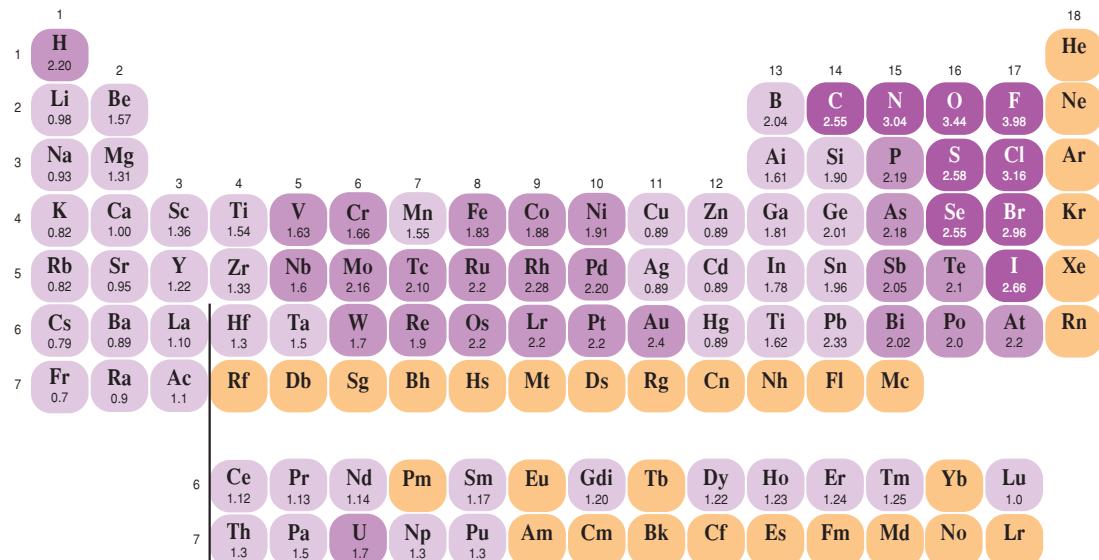
1.10 สภาพขั้วของโมเลกุล

เมื่ออะตอม 2 อะตอมมาสร้างพันธะโคเวเลนต์กัน จะมีการนำอิเล็กตรอนมาใช้ร่วมกัน แต่เนื่องจากความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนของชาตุแต่ละชนิดอาจเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ ดังนั้น การกระจายตัวของอิเล็กตรอนจึงไม่เท่ากัน เรียกว่า ไดโพลโมเมนต์ (Dipole Moments) ดังรูป



▲ ภาพที่ 3.86 การกระจายตัวของอิเล็กตรอนในโมเลกุลโคเวเลนต์

ค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนของธาตุในรูปสารประกอบ เรียกว่า ค่าอิเล็กโโทรเนกาติวิตี้ (Electronegativity; EN) ซึ่งค่า EN จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประจุที่อยู่ในนิวเคลียส และระยะห่างระหว่างนิวเคลียสกับเวลน์อิเล็กตรอน



▲ ภาพที่ 3.87 ค่าอิเล็กโโทรเนกาติวิตี้ของธาตุบางชนิดในตารางธาตุ

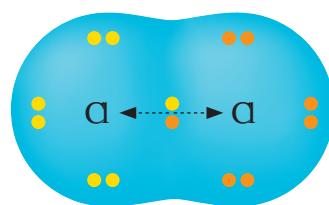
หมายเหตุ : ลำดับค่า EN ที่ควรทราบ : F > O > Cl > N > Br > I > S > C > H > P > As > T

สภาพขั้วที่พบในโมเลกุลโคเวเลนต์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ สภาพขั้วของพันธะ ซึ่งเป็นผลต่างของค่า EN ของธาตุที่มาสร้างพันธะกัน และสภาพขั้วของโมเลกุล ซึ่งเป็นผลรวมของสภาพขั้วของพันธะ

1. สภาพขั้วของพันธะ เป็นการพิจารณาสภาพขั้วเฉพาะคู่ของธาตุที่มาสร้างพันธะกัน โดยแบ่งสภาพขั้วของพันธะออกได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

1) พันธะไม่มีข้าว (non-polar covalent bond) เป็นพันธะที่เกิดจากธาตุชนิดเดียวกัน มาสร้างพันธะร่วมกัน จึงทำให้มีการกระจายของอิเล็กตรอนเท่า ๆ กันระหว่าง 2 อะตอม พันธะโคเวเลนต์แบบไม่มีข้าวเมื่อนำไปไว้ในสนา�แม่เหล็ก จะไม่เกิดการเบี่ยงเบน พันธะโคเวเลนต์แบบไม่มีข้าวอาจพบได้ทั้งในพันธะเดี่ยว เช่น H_2 , Cl_2 พันธะคู่ เช่น O_2 และพันธะสาม เช่น N_2 เป็นต้น

พิจารณาโมเลกุลของ Cl_2 เนื่องจากอะตอมของ Cl ที่มาสร้างพันธะตัวกันนั้นมีค่าอิเล็กโโทรเนกาติวิตี้เท่ากัน ดังนั้น อิเล็กตรอนจึงถูกแรงดึงดูดจากนิวเคลียสของทั้งสองอะตอม ด้วยแรงเท่า ๆ กัน จึงทำให้มีการกระจายตัวของอิเล็กตรอนเท่ากัน Cl_2 จึงเป็นพันธะไม่มีข้าว ดังรูป



▲ ภาพที่ 3.88

2) พันธะมีชาร์จ (polar covalent bond) เป็นพันธะที่เกิดจากธาตุต่างชนิดสร้างพันธะร่วมกัน ทำให้มีการกระจายของอิเล็กตรอนไม่เท่ากันระหว่าง 2 อะตอม โดยด้านอโละหะที่มีค่า EN สูงกว่า จะมีการกระจายตัวของอิเล็กตรอนสูง จะมีสภาพเป็นประจุลบ เขียนแทนด้วย δ^- ส่วนด้านอโละหะที่มีค่า EN ต่ำกว่าจะมีการกระจายตัวของอิเล็กตรอนน้อย จะมีสภาพเป็นประจุบวก เขียนแทนด้วย δ^+ การแสดงสภาพชาร์จของพันธะนิยมใช้เครื่องหมาย \longleftrightarrow โดยที่ด้านหัวลูกศรเป็นด้านที่แทนประจุลบ ส่วนอีกด้านหนึ่งจะแทนประจุบวก พันธะมีชาร์จเมื่อนำไปไว้ในสนามแม่เหล็กจะเกิดการเบี้ยงเบน ตัวอย่างของพันธะมีชาร์จ เช่น พันธะในโมเลกุลของ HF HCl HBr ClF เป็นต้น

พิจารณาในโมเลกุลของ HF เนื่องจากอะตอมของ F มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงกว่า H อิเล็กตรอนจึงถูกแรงดึงดูดจากนิวเคลียสของอะตอม F ดึงเข้ามากกว่า จึงทำให้มีการกระจายตัวของอิเล็กตรอนบริเวณ F มากกว่า H ดังนั้น ทางด้าน F จึงมีประจุเป็นลบ (δ^-) ส่วนด้าน H เป็นด้านที่มีอิเล็กตรอนอยู่น้อยกว่าจึงมีประจุเป็นบวก (δ^+) สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนชาร์จของพันธะได้ ดังรูป

พิจารณาโมเลกุลของ ClF เนื่องจากอะตอมของ F มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงกว่า Cl อิเล็กตรอนจึงถูกแรงดึงดูดจากนิวเคลียสของอะตอม F ดึงเข้ามากกว่า จึงทำให้มีการกระจายตัวของอิเล็กตรอนบริเวณ F มากกว่า Cl ดังนั้น ทางด้าน F จึงมีประจุเป็นลบ (δ^-) ส่วนด้าน Cl เป็นด้านที่มีอิเล็กตรอนอยู่น้อยกว่า จึงมีประจุเป็นบวก (δ^+) สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนชาร์จของพันธะได้ ดังรูป

ความแรงของชาร์จในพันธะโคเวเลนต์จะพิจารณาจากผลต่างของค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตี (EN) ของอะตอมที่มาสร้างพันธะกัน โดยถ้าอะตอมที่มาสร้างพันธะกันมีผลต่างของค่า EN มาก พันธะนั้นจะมีสภาพชาร์จไฟฟ้ามาก แต่ถ้าผลต่างของค่า EN น้อย พันธะนั้นจะมีสภาพชาร์จไฟฟ้าน้อย เช่น

$$\text{HF} \quad \text{H มีค่า EN} = 2.20 \quad \text{ส่วน F มีค่า EN} = 3.98$$

$$\text{ผลต่างของค่า EN มีค่าเท่ากับ } 3.98 - 2.20 = 1.78$$

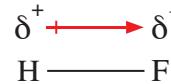
$$\text{HCl} \quad \text{H มีค่า EN} = 2.20 \quad \text{ส่วน Cl มีค่า EN} = 3.16$$

$$\text{ผลต่างของค่า EN มีค่าเท่ากับ } 3.16 - 2.20 = 0.96$$

จะเห็นว่า ผลต่างของค่า EN ที่เกิดในพันธะ HF > HCl ดังนั้น สภาพชาร์จของพันธะ HF > HCl ด้วย

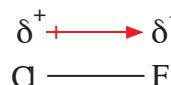
แบบฝึกหัด

พิจารณาโมเลกุลโคเวเลนต์ต่อไปนี้ HCN BF₃ H₂O CH₄ และ CHCl₃ แล้วระบุว่ามีชาร์จหรือไม่มีชาร์จ ถ้าเป็นโมเลกุลมีชาร์จให้เขียนสัญลักษณ์แสดงสภาพชาร์จของพันธะด้วย



สัญลักษณ์แทนชาร์จของพันธะ
ในโมเลกุล HF

▲ ภาพที่ 3.89



สัญลักษณ์แทนชาร์จของพันธะ
ในโมเลกุล ClF

▲ ภาพที่ 3.90

2. สภาพขั้วของโมเลกุล เป็นผลรวมของสภาพขั้วของพันธะแบบเวกเตอร์ ซึ่งในการพิจารณาว่า โมเลกุลใดเป็นโมเลกุลโคลเวเลนต์แบบมีขั้วหรือไม่มีขั้วนั้น สามารถพิจารณาได้ 2 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 โมเลกุลที่มีเพียง 2 อะตอม การพิจารณาสภาพขั้วของโมเลกุลทำได้ ดังนี้

- ถ้าโมเลกุลโคลเวเลนต์ที่พิจารณา มีเพียง 2 อะตอม และทั้ง 2 อะตอมนั้นเป็นธาตุชนิดเดียวกัน โมเลกุlnนั้นจะเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว เช่น H_2 F_2 O_2 N_2 เป็นต้น

- ถ้าโมเลกุลโคลเวเลนต์ที่พิจารณา มีเพียง 2 อะตอม และทั้ง 2 อะตอมนั้นเป็นธาตุต่างชนิดกัน โมเลกุlnั้นจะเป็นโมเลกุลมีขั้ว เช่น HF HCl HBr HI ClF เป็นต้น

กรณีที่ 2 โมเลกุลที่มีตั้งแต่ 3 อะตอมขึ้นไป พิจารณาสภาพขั้วของโมเลกุลได้ ดังนี้

- วัดรูปร่างของโมเลกุลโคลเวเลนต์ที่ต้องการพิจารณาให้ถูกต้อง

- เขียนลูกศรแสดงสภาพขั้วของพันธะ

- หาแรงลัพธ์ของสภาพขั้วแบบเวกเตอร์ โดย

ถ้าแรงลัพธ์ไม่เป็นศูนย์ แสดงว่า โมเลกุlnั้นเป็นโมเลกุลมีขั้ว (dipole molecule)

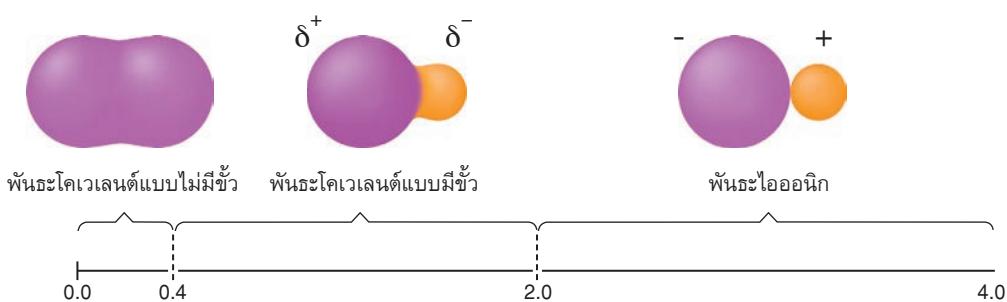
ถ้าแรงลัพธ์เป็นศูนย์ แสดงว่า โมเลกุlnั้นเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว (non-dipole molecule)

Chemistry Focus

การระบุชุดของพันธะจากผลต่างของค่าอิเล็กโโทรเนกาติวตี

ผลต่างของค่าอิเล็กโโทรเนกาติวตีของอะตอมที่มาสร้างพันธะกันนั้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการบอกความเป็นพันธะไออ่อนิกหรือพันธะโคลเวเลนต์ของสารประกอบได้ ดังนี้

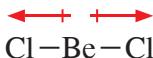
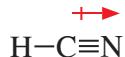
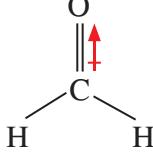
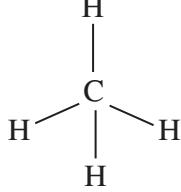
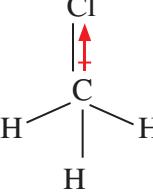
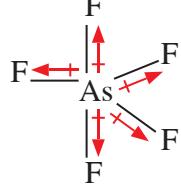
- พันธะโคลเวเลนต์แบบไม่มีขั้ว จะมีผลต่างของค่า EN น้อยกว่า 0.4
- พันธะโคลเวเลนต์แบบมีขั้ว จะมีผลต่างของค่า EN อยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 2.0
- พันธะไออ่อนิก จะมีผลต่างของค่า EN มากกว่า 2.0



▲ ภาพที่ 3.91 ผลต่างของค่าอิเล็กโโทรเนกาติวตี

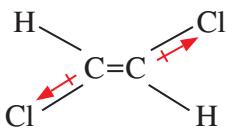
ตัวอย่างการพิจารณาสภาพขั้วของโมเลกุลที่มีตั้งแต่ 3 อะตอมขึ้นไป แสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 : สภาพขั้วของโมเลกุลโดยเล่นต์บานงนิด

โมเลกุล	ทิศทาง ของขั้วพันธะ	รูปร่าง โมเลกุล	แรงลับมือ [*] ของสภาพขั้ว	สภาพขั้วของโมเลกุล	
				มีขั้ว	ไม่มีขั้ว
BeCl_2		เส้นตรง	เป็นศูนย์		✓
HCN		เส้นตรง	ไม่เป็นศูนย์	✓	
CH_2O		สามเหลี่ยม แบบราบ	ไม่เป็นศูนย์	✓	
CH_4		ทรงสี่หน้า	เป็นศูนย์		✓
CH_3Cl		ทรงสี่หน้า	ไม่เป็นศูนย์	✓	
AsF_5		พีระมิดคู่ล้าน สามเหลี่ยม	เป็นศูนย์		✓
SO_2		มุมงอ	ไม่เป็นศูนย์	✓	

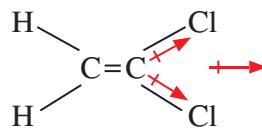
ในโมเลกุลโคเวเลนต์บางโมเลกุลอាជเป็นได้ทั้งโมเลกุลที่มีข้าว หรือไม่มีข้าว ก็ได้ ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเขียนสูตรโครงสร้าง ตัวอย่างเช่น

กรณี $C_2H_2Cl_2$ สามารถเขียนสูตรโครงสร้างได้ 3 แบบ ดังนี้



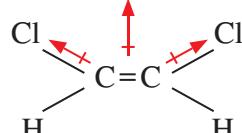
โครงสร้างนี้ผลรวมของข้าวของพันธะเท่ากับศูนย์ จึงเป็นโมเลกุลไม่มีข้าว

▲ ภาพที่ 3.92



โครงสร้างนี้ผลรวมของข้าวของพันธะไม่เท่ากับศูนย์ จึงเป็นโมเลกุลมีข้าว

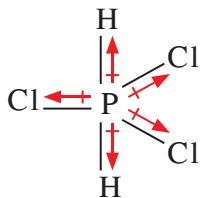
▲ ภาพที่ 3.93



โครงสร้างนี้ผลรวมของข้าวของพันธะไม่เท่ากับศูนย์ จึงเป็นโมเลกุลมีข้าว

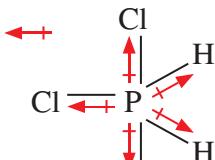
▲ ภาพที่ 3.94

กรณี PH_2Cl_3 สามารถเขียนสูตรโครงสร้างได้ 3 แบบ ดังนี้



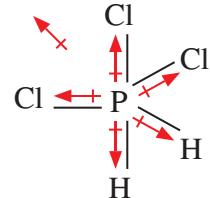
โครงสร้างนี้ผลรวมของข้าวของพันธะเท่ากับศูนย์ จึงเป็นโมเลกุลไม่มีข้าว

▲ ภาพที่ 3.95



โครงสร้างนี้ผลรวมของข้าวของพันธะไม่เท่ากับศูนย์ จึงเป็นโมเลกุลมีข้าว

▲ ภาพที่ 3.96



โครงสร้างนี้ผลรวมของข้าวของพันธะไม่เท่ากับศูนย์ จึงเป็นโมเลกุลมีข้าว

▲ ภาพที่ 3.97

จากที่ได้ศึกษามา จะสามารถสรุปเกี่ยวกับสภาพข้าวของโมเลกุลโคเวเลนต์ได้ ดังนี้

- โมเลกุลโคเวเลนต์ที่มีพันธะโคเวเลนต์แบบไม่มีข้าว โมเลกุลจะไม่มีข้าวด้วย

• โมเลกุลโคเวเลนต์ที่มีพันธะโคเวเลนต์แบบมีข้าว โมเลกุลอាជจะมีข้าวหรือไม่มีข้าว ก็ได้ โดยสภาพข้าวของโมเลกุล จะขึ้นอยู่กับผลรวมเวกเตอร์ของทุกพันธะในโมเลกุล ดังนี้

- ถ้าผลรวมเวกเตอร์หักล้างกันหมด (ผลรวมเท่ากับศูนย์) แสดงว่าเป็นโมเลกุลไม่มีข้าว

- ถ้าผลรวมเวกเตอร์หักล้างกันไม่หมด (ผลรวมไม่เท่ากับศูนย์) แสดงว่าเป็นโมเลกุlmีข้าว

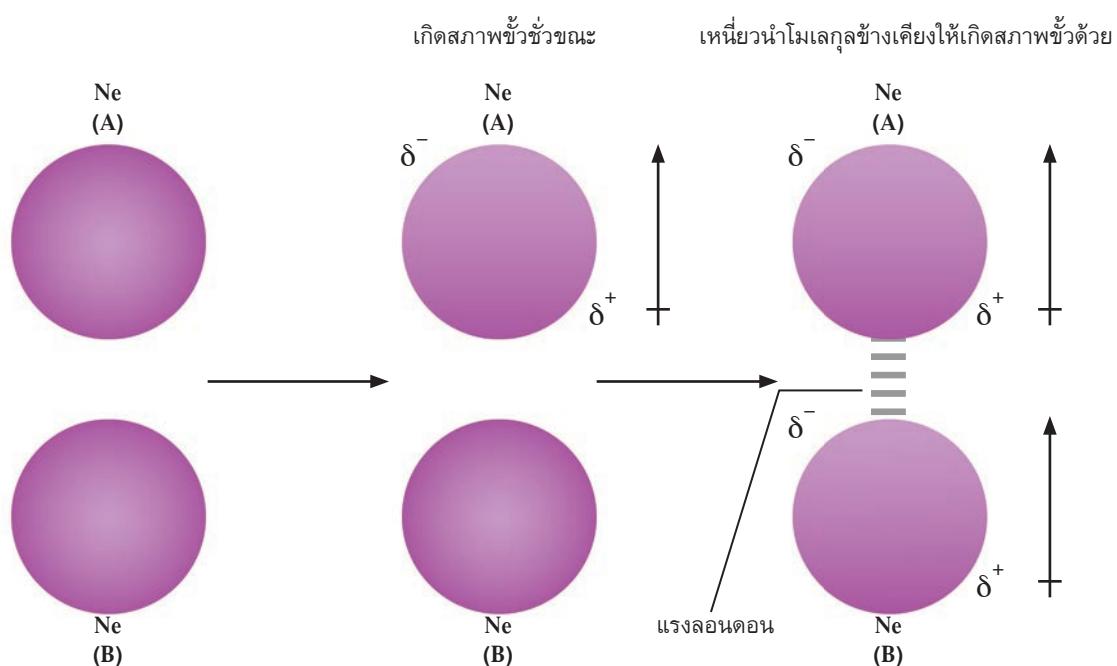
Chemistry in real life

เตาไมโครเวฟให้ความร้อนแก่อาหาร โดยการแผ่คลื่นไมโครเวฟ ช่วงความถี่ 2.45 GHz ผ่านเข้าไปในอาหาร โดยหลักการที่ทำให้อาหารสุกได้เกิดจากอัตราการร้าว ระหว่างสนามไฟฟ้าของรังสีกับโมเลกุลมีข้าวในอาหาร (น้ำ) ส่งผลโมเลกุลเหล่านี้หมุนสลับไปมาทำให้เกิดความร้อนขึ้น

1.11 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นแรงที่ยึดระหว่างโมเลกุลกับโมเลกุล ซึ่งเป็นแรงที่ใช้ในการอธิบายสมบัติทางกายภาพของสารประกอบ เช่น จุดเดือด จุดหลอมเหลว ความหนาแน่น การละลายของโมเลกุลโคเวเลนต์ เป็นต้น โดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์มีหลายชนิด ดังนี้

1. แรงลอนดอน (London force) หรือแรงกระจาย (Disperse force) เป็นแรงที่พบร่วมในสารประกอบโคเวเลนต์ทุก ๆ โมเลกุล แต่จะเห็นได้ชัดเจนในโมเลกุลที่ไม่มีช้า เกิดจากการที่โมเลกุล มีการสั่นอยู่ตลอดเวลา ทำให้การกระจายตัวของอิเล็กตรอนไม่ส่วนมากเสมอ จึงทำให้เกิดสภาพช้า ช้าคราวในโมเลกุลขึ้น เมื่อสภาพช้า ช้าคราวที่เกิดขึ้นมาอยู่ใกล้กันจะเกิดแรงดึงดูดซึ้งกัน และกัน ทำให้เกิดแรงลอนดอนขึ้น ตัวอย่างโมเลกุลที่มีแรงระหว่างโมเลกุลเป็นแรงลอนดอน เช่น H_2 F_2 Cl_2 Br_2 I_2 CH_4 CO_2 BCl_3 เป็นต้น



▲ ภาพที่ 3.98 ลักษณะการเกิดแรงลอนดอนในโมเลกุลของสารประกอบโคเวเลนต์

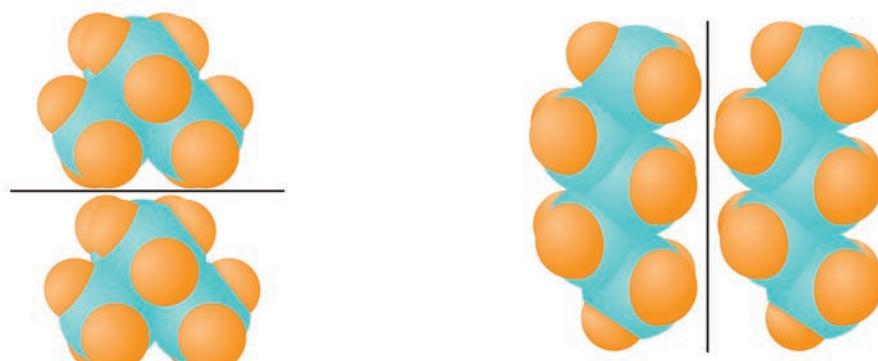
แรงที่ยึดระหว่างโมเลกุลกับโมเลกุลเป็นแรงที่ใช้ในการอธิบายการหลอมเหลวและการเดือดของสาร ตัวอย่างเช่น เมื่อทำลายแรงลอนดอนที่ยึดเหนี่ยวโมเลกุลของผลึก I_2 จะทำให้ I_2 มีการหลอมเหลวขึ้น แต่ถ้าให้พลังงานเพิ่มอีกจะทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลหมดไป I_2 จะกล้ายเป็นแก๊ส I_2

สำหรับจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของโมเลกุลที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นแรงลอนดอนนัน จะมีค่ามากขึ้นเมื่อขนาดของโมเลกุลเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 : จุดเดือดและจุดหลอมเหลวของโมเลกุลที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นแรงลอนดอน

สาร	มวลโมเลกุล	จุดเดือด ($^{\circ}\text{C}$)	จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)
F_2	38	-220	-188
Cl_2	71	-101	-35
Br_2	160	-7	59
I_2	254	114	184
CH_4	16	-182	-161
SiH_4	32	-185	-112
GeH_4	77	-165	-88
SnH_4	123	-150	-52

แต่ในความเป็นจริง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่เป็นแรงลอนดอนนัน ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุลเสียที่เดียว แต่จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างโมเลกุลมากกว่า หลักฐานที่สำคัญอย่างหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่า แรงลอนดอนนันขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างโมเลกุล คือ โครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น 2,2-ไดเมทธิลโพรเพน และเพนเทน พบร้าสารทั้ง 2 มีมวลโมเลกุลเท่ากัน แต่เพนเทนเป็นสารที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า จึงทำให้มีจุดเดือดสูงกว่า ดังรูป

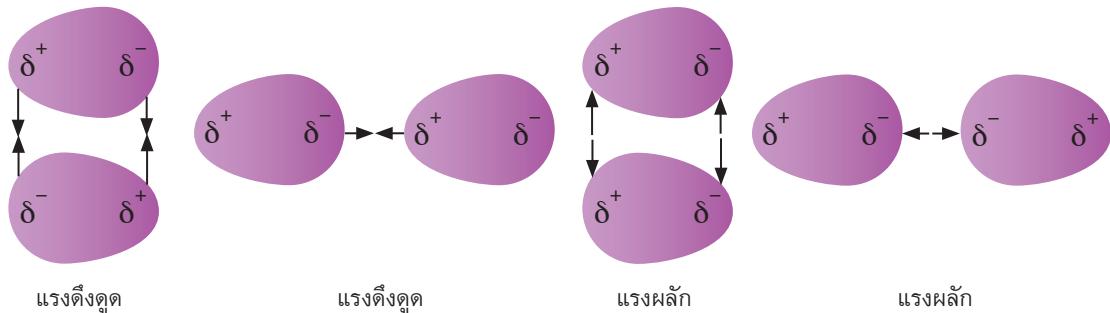


2,2-ไดเมทธิลโพรเพน (72 g/mol , b.p. 9.5°C)

เพนเทน (72 g/mol , b.p. 36.1°C)

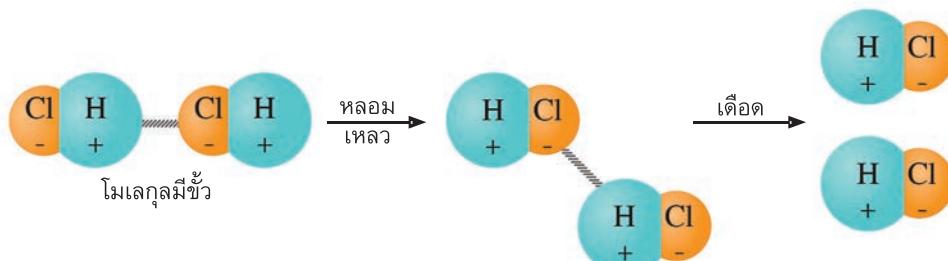
▲ ภาพที่ 3.99 เพนเทนมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า 2,2-ไดเมทธิลโพรเพน จึงมีจุดเดือดสูงกว่า

2. แรงดึงดูดระหว่างข้าว (Dipole force) เป็นแรงที่พบในโมเลกุลที่มีข้าว เช่น HCl HI HBr H₂S เป็นต้น แรงดึงดูดระหว่างข้าวเกิดจากการที่โมเลกุลมีการกระจายตัวของอิเล็กตรอนไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดสภาพข้าวในโมเลกุลขึ้น เมื่อข้าวต่างกันมาอยู่ใกล้กันจะเกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างข้าวขึ้น ดังรูป



▲ ภาพที่ 3.100 ลักษณะการเกิดแรงดึงดูดระหว่างข้าวในโมเลกุลสารประกอบบโคเวเลนต์

แรงดึงดูดระหว่างข้าวเป็นแรงที่ใช้ในการอธิบายการหลอมเหลวและการเดือดของสาร เช่นเดียวกับแรงกลอนดอน ตัวอย่างเช่น เมื่อทำลายแรงดึงดูดระหว่างข้าวที่ยึดเหนี่ยวโมเลกุล ของผลึก HCl จะทำให้ HCl มีการหลอมเหลวขึ้น แต่ถ้าให้พลังงานเพิ่มขึ้นอีก จะทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลหมดไป HCl จะกลายเป็นแก๊ส HCl ดังรูป



▲ ภาพที่ 3.101

สำหรับโมเลกุลที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นแรงดึงดูดระหว่างข้าว จะมีจุดเดือด และจุดหลอมเหลวสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับสภาพข้าวของโมเลกุล ถ้าโมเลกุลเมื่อข้าวมาก แรงดึงดูดระหว่างข้าว ก็จะมาก จึงทำให้สารนั้นมีจุดเดือดสูง ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะเข้าใจว่า แรงดึงดูดระหว่างข้าว เป็นแรงที่ขึ้นอยู่กับมวลโมเลกุล แต่ในความเป็นจริงแรงดึงดูดระหว่างข้าวจะขึ้นอยู่กับสภาพข้าว ของโมเลกุลนั้นมากกว่า ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 : จุดเดือดของโมเลกุลที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นแรงดึงดูดระหว่างข้าว

สาร	มวลโมเลกุล	ไดโพลโมเมนต์ (D)	จุดเดือด (K)
โพรเพน ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$)	44	0.1	231
ไดเมทธิลออกซิเทอร์ (CH_3OCH_3)	46	1.3	248
เมทิลคลอไรด์ (CH_3Cl)	50	1.9	249
อะเซตัลดีไฮด์ (CH_3CHO)	44	2.7	294
แอซีโตไนโตร์ (CH_3CN)	41	3.9	355

เมื่อเปรียบเทียบจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของสารที่มีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกัน แต่มีแรงยึดเหนี่ยวต่างกัน จะพบว่า สารที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นแรงดึงดูดระหว่างข้าว จะมีจุดเดือดสูงกว่าโมเลกุลที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นแรงลอนดอน ตัวอย่างดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 : การเปรียบเทียบจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของสารที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแตกต่างกัน

สาร	ชนิดของแรงระหว่างโมเลกุล	มวลโมเลกุล	จุดเดือด (°C)	จุดหลอมเหลว (°C)
SiH_4	แรงลอนดอน	32	-185	-112
H_2S	แรงดึงดูดระหว่างข้าว	34	-86	-60
SnH_4	แรงลอนดอน	123	-150	-52
HI	แรงดึงดูดระหว่างข้าว	128	-51	-35

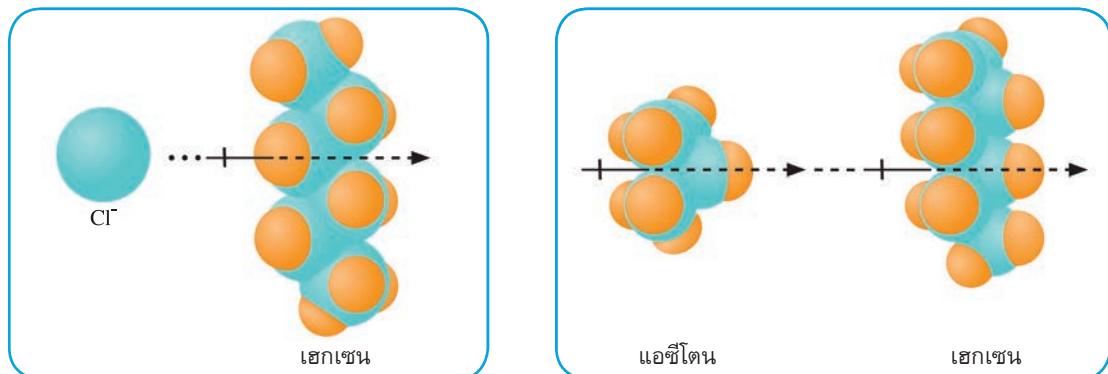
ในความเป็นจริง ความสัมพันธ์นี้จะไม่เป็นจริงเสมอไป ตัวอย่างเช่น

- กรณีของ PCl_3 และ PCl_5 พบว่า PCl_3 มีจุดเดือด 76.1 องศาเซลเซียส ส่วน PCl_5 มีจุดเดือด 106.5 องศาเซลเซียส จะเห็นว่า PCl_3 เป็นโมเลกุลที่มีข้าว และ PCl_5 เป็นโมเลกุลที่ไม่มีข้าว แต่ PCl_5 มีจุดเดือดสูงกว่า PCl_3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ขนาดโมเลกุลมีความสำคัญต่อจุดเดือดมากกว่า สภาพข้าวของโมเลกุล

- กรณีของ SO_2 และ SO_3 พบว่า SO_2 มีจุดเดือด -10 องศาเซลเซียส ส่วน SO_3 มีจุดเดือด 45 องศาเซลเซียส จะเห็นว่า SO_3 เป็นโมเลกุลที่ไม่มีข้าว และ SO_2 เป็นโมเลกุลที่มีข้าว แต่ SO_2 มีจุดเดือดต่ำกว่า SO_3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ขนาดโมเลกุลมีความสำคัญต่อจุดเดือดมากกว่า สภาพข้าวของโมเลกุล

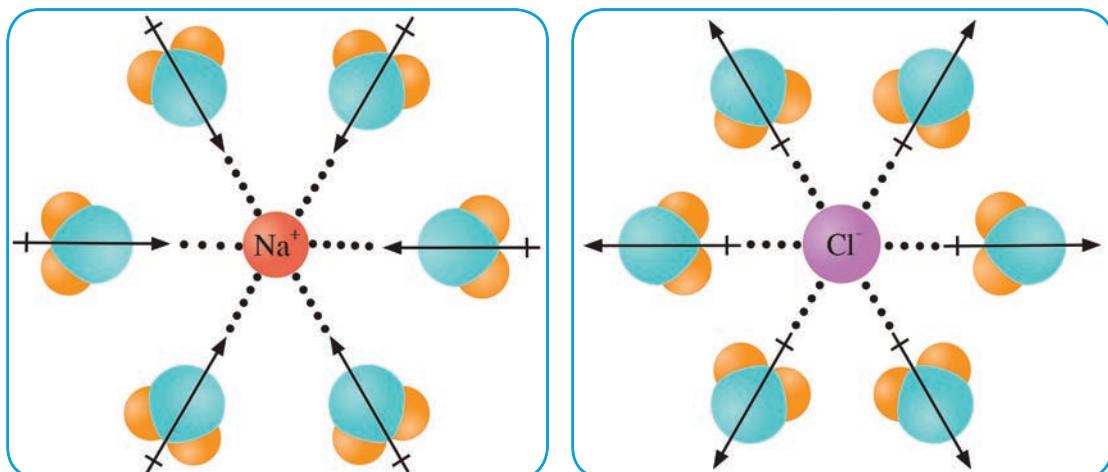
- อีกกรณีหนึ่ง เช่น SF_2 SF_4 และ SF_6 พบว่า SF_2 มีจุดเดือด 59 องศาเซลเซียส SF_4 มีจุดเดือด -38 องศาเซลเซียส ส่วน SF_6 มีจุดเดือด -64 องศาเซลเซียส จะเห็นว่า SF_2 และ SF_4 เป็นโมเลกุลที่มีข้าว ส่วน SF_6 เป็นโมเลกุลที่ไม่มีข้าว พบว่า SF_2 มีจุดเดือดสูงที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สภาพข้าวของโมเลกุลมีความสำคัญต่อจุดเดือดมากกว่าขนาดของโมเลกุล

3. แรงไออ่อน-ไดโอลหนี่ยวนำ (Ion induced dipole Interaction) และแรงไดโอล-ไดโอลหนี่ยวนำ (Dipole induced dipole Interaction) โดยแรงไออ่อน-ไดโอลหนี่ยวนำ เป็นแรงที่เกิดจากการเหนี่ยวนำโมเลกุลที่ไม่มีขั้วด้วยไออ่อน เช่น เมื่อนำคลอไรด์ไออ่อน (Cl^-) ใส่ลงในสารละลายนอก สารละลายนอกจะถูกดึงดูดโดยโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีขั้ว สารละลายนอกจะถูกดึงดูดโดยโมเลกุลที่มีขั้ว เช่น เมื่อนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นสารที่ไม่มีขั้วมาละลายในสารละลายนอก เช่น อะเซติน ซึ่งเป็นสารละลายน้ำที่มีขั้วอยู่เล็กน้อย สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะถูกอะเซตินเหนี่ยวนำให้เกิดขั้วขึ้น ดังรูป (ขวา)



▲ ภาพที่ 3.102 ลักษณะของแรงไออ่อน-ไดโอลหนี่ยวนำ (ซ้าย) และแรงไดโอล-ไดโอลหนี่ยวนำ (ขวา)

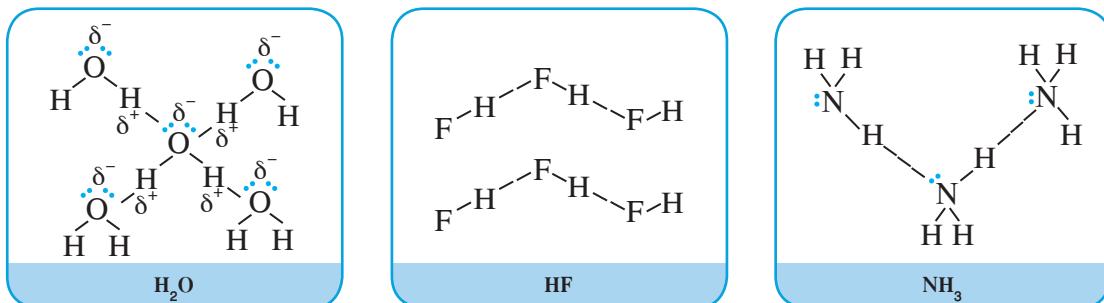
4. แรงไออ่อน-ไดโอล (Ion Dipole Interaction) เป็นแรงที่เกิดจากการดึงดูดระหว่างไออ่อนกับโมเลกุลที่มีขั้ว ซึ่งจัดเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีความแข็งแรงมากที่สุด ตัวอย่าง เช่น ไออ่อนที่อยู่ในน้ำ ดังรูป



▲ ภาพที่ 3.103 ลักษณะของแรงไออ่อน-ไดโอลที่เกิดขึ้นระหว่าง Na^+ (ไออ่อนบวก) กับน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว

▲ ภาพที่ 3.104 ลักษณะของแรงไออ่อน-ไดโอลที่เกิดขึ้นระหว่าง Cl^- (ไออ่อนลบ) กับน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว

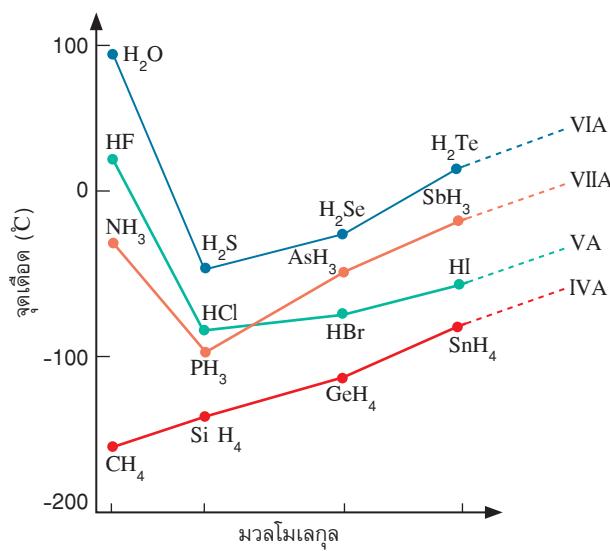
5. พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) เกิดในโมเลกุลที่มีพันธะ H-N H-O หรือ H-F อยู่ในโมเลกุล เนื่องจาก EN ของ F O และ N มีค่าสูงกว่า H ดังนั้น อะตอมของ F O และ N จึงดึงอิเล็กตรอนของ H มาอยู่ล้อมรอบอะตอมของมัน แต่ H ก็ต้องการอิเล็กตรอนล้อมรอบตัวมัน 2 ตัว H จึงไปดึงอิเล็กตรอนจาก N O หรือ F ของโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง และเรียกแรงดึงดูดนี้ว่า พันธะไฮโดรเจน ตัวอย่างของสารที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ ได้แก่ HF H_2O NH_3 และกอฮอร์ส์ (R-OH) เช่น เมทานอล (CH_3OH) เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) เป็นต้น กรดอินทรีย์ (R-COOH) เช่น กรดฟอร์มิก (HCOOH) กรดแอซิติก (CH_3COOH) เป็นต้น เอมีน ($\text{R}-\text{NH}_2$) เช่น CH_3NH_2 เป็นต้น เอเมิร์ด ($\text{R}-\text{CONH}_2$) เช่น CH_3CONH_2 เป็นต้น



▲ ภาพที่ 3.105 พันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลที่มีพันธะ H-O H-F และ H-N

ลักษณะสำคัญของพันธะไฮโดรเจน มีดังนี้

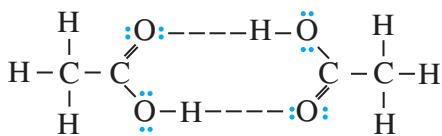
- สารที่มีพันธะไฮโดรเจนจะมีจุดเดือดสูงกว่าสารที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นแรงวนเดอร์วาร์ลส์



▲ ภาพที่ 3.106 จุดเดือดของสารชนิดต่าง ๆ

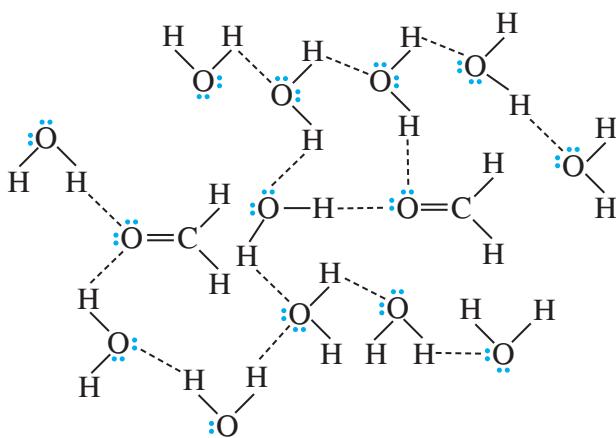
จากราฟ NH_3 H_2O และ HF มีแรงระหว่างโมเลกุลเป็นพันธะไฮโดรเจนเหมือนกัน ทุกตัว จะพบว่า ลำดับของจุดเดือดเรียงจากมากไปน้อยได้ ดังนี้ $\text{H}_2\text{O} > \text{HF} > \text{NH}_3$ ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจาก H_2O สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนได้ 4 พันธะ ส่วน NH_3 และ HF เกิดพันธะไฮโดรเจนได้เพียงพันธะเดียว แต่ HF มีมวลโมเลกุลมากกว่า จึงทำให้ HF มีจุดเดือดสูงกว่า NH_3

2. ทำให้สารบางอย่างละลายกันได้ เช่น เอทานอล (C_2H_5OH) หรือกรดแอกซีติก (CH_3COOH) สามารถละลายน้ำได้ เพราะสารทั้ง 2 ตัวสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ดังรูป



▲ ภาพที่ 3.107

3. โมเลกุลบางโมเลกุลไม่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลชนิดเดียวกันเอง แต่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลอื่นได้ เช่น พอร์มาลดีไฮด์ไม่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับพอร์มาลดีไฮด์ด้วยกันเองได้ เพราะความแรงของข้าวชั่วคราวของโมเลกุลของพอร์มาลดีไฮด์ไม่แรงพอที่จะดึงอิเล็กตรอนของออกซิเจนในโมเลกุลของพอร์มาลดีไฮด์ได้ แต่พอร์มาลดีไฮด์จะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ดังรูป



▲ ภาพที่ 3.108

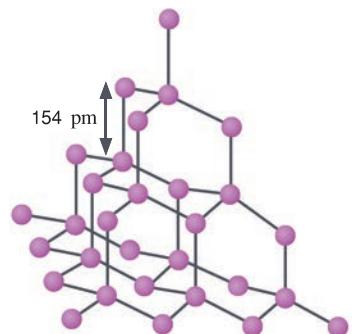
4. พันธะไฮโดรเจนเป็นพันธะที่มีความแข็งแรงสูงมีค่าพลังงานพันธะสูงถึง 40 kJ/mol และถูกเรียกว่า พันธะไฮโดรเจน ไม่ใช่แรงเหมื่อนกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลชนิดอื่น ๆ

1.12 สารโคเวเลนต์โครงผลึกร่างตาข่าย

สารโคเวเลนต์โครงผลึกร่างตาข่าย เป็นสารประกอบโคเวเลนต์ที่มีการสร้างพันธะเชื่อมต่อกันเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ จึงส่งผลให้สารโคเวเลนต์โครงผลึกร่างตาข่ายมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูงมาก สารโครงผลึกร่างตาข่ายจะไม่มีสูตรโมเลกุลมีเพียงสูตรอย่างง่ายเท่านั้น ด้วยรูปของสารที่มีโครงสร้างเป็นโครงผลึกร่างตาข่าย มีดังนี้

1. เพชร มีลักษณะสำคัญ ดังนี้

- คริบอนทุกอะตอมในเพชรยึดเหนี่ยว กันด้วยพันธะเดียว มีความยาวพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอน 154 พิโภเมตร และคาร์บอน 1 อะตอม จะยึดกับอะตอมรอบข้าง 4 อะตอม ทำให้ไม่มีอิเล็กตรอนอิสระเหลืออยู่ เพชรจึงนำไฟฟ้าไม่ได้



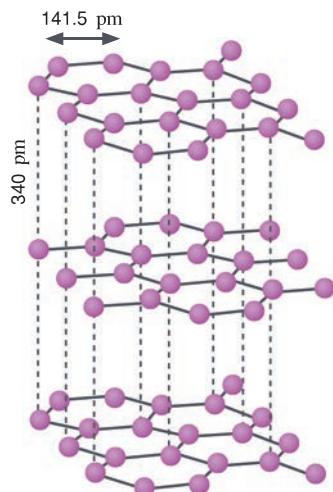
▲ ภาพที่ 3.109 โครงสร้างของเพชร

2. แกรไฟต์ มีลักษณะสำคัญ ดังนี้

- คริบอนในแกรไฟต์จะมีโครงสร้างซ้อนกันเป็นชั้น ๆ โดยในชั้นเดียวกันคริบอน 1 อะตอม จะจับกับอะตอมของคริบอนรอบข้างอีก 3 อะตอม ทำให้มีอิเล็กตรอนอิสระเหลืออยู่ แกรไฟต์จึงนำไฟฟ้าได้ แต่อิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนไหวไปมาระหว่างชั้นได้ จึงทำให้แกรไฟต์นำไฟฟ้าได้ในทิศทางเดียว

• พันธะที่สร้างขึ้นระหว่างอะตอมของคริบอนที่อยู่ในชั้นเดียวกัน จะมีความกว้างมากกว่าพันธะคู่และพันธะเดียว โดยมีความยาวพันธะประมาณ 140 พิโภเมตร

- ระหว่างชั้นของแกรไฟต์จะยึดกันด้วยแรงลอนดอน ระยะห่างระหว่างชั้นของแกรไฟต์เท่ากับ 340 พิโภเมตร เนื่องจากแรงระหว่างชั้นของแกรไฟต์เป็นแรงอย่างอ่อนจึงทำให้ไม่หลุดของแกรไฟต์ลื่นไถลได้ จึงนิยมนำมาใช้ทำการหล่อลื่นและล้างดินสองด้าน



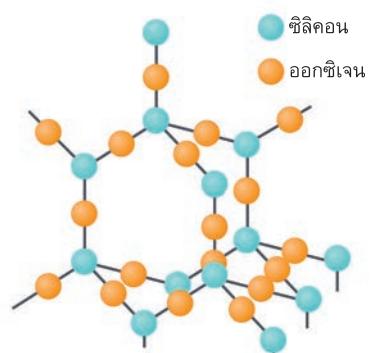
▲ ภาพที่ 3.110 โครงสร้างของแกรไฟต์

3. ซิลิคอนไดออกไซด์ หรือซิลิกา (SiO_2) มีลักษณะสำคัญดังนี้

- อะตอมของซิลิคอนจัดเรียงเหมือนคริบอนในเพชร เพียงแต่มีออกซิเจนอยู่ระหว่างอะตอมของซิลิคอนแต่ละคู่

• ในธรรมชาติสามารถพบได้หลายรูป เช่น ควอตซ์ ไตรดีเมอร์ คริสโทบালิก เป็นต้น

- มีจุดหลอมเหลว $1,730^\circ\text{C}$
- นำมาใช้ทำแก้ว กระจนาพิกา และไยแก้วนำแสง



▲ ภาพที่ 3.111 โครงสร้างของซิลิคอนไดออกไซด์





Prior Knowledge

เมื่อโลหะทำปฏิกิริยา กับ
โลหะ จะเกิดการสร้าง
พันธะเคมีกันใน
ลักษณะใด



2. พันธะไอออนิก

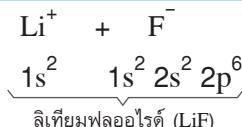
พันธะไอออนิก (Ionic bonding) เกิดจากธาตุที่เป็นโลหะซึ่งมีค่าพลังงานไออ่อนในเซชันต่ำ จึงมีแนวโน้มที่จะเสียอิเล็กตรอน (เกิดเป็นไออ่อนบวก) ให้กับโลหะซึ่งมีค่าพลังงานไออ่อนสูง จึงมีแนวโน้มที่จะรับอิเล็กตรอน (เกิดเป็นไออ่อนลบ) ซึ่งไออ่อน

บวกและไออ่อนลบที่เกิดขึ้นจะดึงดูดกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้า ทำให้เกิดเป็นสารประกอบ ไออ่อนิกขึ้น

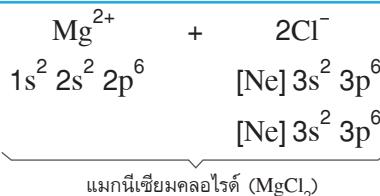
2.1 การเกิดพันธะไออ่อนิก

เมื่อโลหะรวมตัวกับโลหะเกิดเป็นสารประกอบ ไออ่อนิก โลหะและโลหะนั้นจะต้องมีการปรับตัวให้มีความเสถียรที่สุด โดยปรับให้มีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากัน 8 หรือเท่ากับเวเลนซ์อิเล็กตรอนของแก๊สเดือย ตัวอย่างการเกิดพันธะไออ่อนิก เช่น

- การเกิดสารประกอบลิเทียมฟลูออไรด์ (LiF) ลิเทียมมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^1$ ซึ่งจะเป็นฝ่ายให้อิเล็กตรอน 1 อิเล็กตรอน แล้วกลายเป็นไออ่อนบวก (ลิเทียมไออ่อน, Li^+) ที่มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเหมือน He คือ $1s^2$ ในขณะที่ฟลูออเรน มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^5$ ซึ่งจะเป็นฝ่ายรับอิเล็กตรอน 1 อิเล็กตรอน แล้วกลายเป็นไออ่อนลบ (ฟลูออไรด์ไออ่อน, F^-) ที่มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเหมือน Ne คือ $1s^2 2s^2 2p^6$ จากนั้นลิเทียมไออ่อนและฟลูออไรด์ไออ่อนจะดึงดูดกันเกิดเป็นสารประกอบลิเทียมฟลูออไรด์



- การเกิดสารประกอบแมgnีเชียมคลอไรด์ (MgCl_2) แมgnีเชียมมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ หรือ $[\text{Ne}] 3s^2$ ซึ่งจะเป็นฝ่ายให้อิเล็กตรอน 2 อิเล็กตรอน แล้วกลายเป็นแมgnีเชียมไออ่อน (Mg^{2+}) ซึ่งมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเหมือน Ne คือ $1s^2 2s^2 2p^6$ ในขณะที่คลอร์ มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$ หรือ $[\text{Ne}] 3s^2 3p^5$ ซึ่งจะเป็นฝ่ายรับอิเล็กตรอน 1 อิเล็กตรอน แล้วกลายเป็นคลอไรด์ไออ่อน (Cl^-) ที่มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเหมือน Ar แต่เนื่องจากแมgnีเชียม 1 อะตอม ให้อิเล็กตรอน 2 อิเล็กตรอน ดังนั้น จึงต้องใช้คลอร์ 2 อะตอม มารับอิเล็กตรอนนั้น เพื่อเกิดเป็นสารประกอบแมgnีเชียมคลอไรด์



จากตัวอย่างการเกิดสารประกอบ ไออ่อนิก จะเห็นได้ว่า สารประกอบ ไออ่อนิกจะเกิดจาก การรวมตัวของไออ่อนด้วยอัตราส่วนที่ทำให้ผลรวมของประจุบวกเท่ากับประจุลบ และอัตราส่วนของไออ่อนในสารประกอบ ไออ่อนิกจะเป็นเลขลงตัวน้อย ๆ ดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 : อัตราส่วนระหว่างไอออนบวกและไอออนลบที่รวมตัวกันเกิดเป็นสารประกอบไฮอนิก

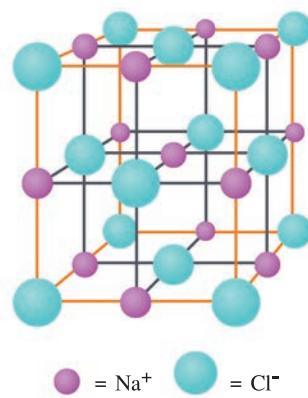
โลหะไฮอน	อโลหะไฮอน	อัตราส่วนของจำนวนไฮอน	ตัวอย่าง
หมู่ 1A (+1)	หมู่ 5A (-3)	3 : 1	Li_3N
	หมู่ 6A (-2)	2 : 1	Na_2S
	หมู่ 7A (-1)	1 : 1	LiBr
หมู่ 2A (+2)	หมู่ 5A (-3)	3 : 2	Ca_3N_2
	หมู่ 6A (-2)	1 : 1	CaS
	หมู่ 7A (-1)	1 : 2	CaF_2
หมู่ 3A (+3)	หมู่ 5A (-3)	1 : 1	AlN
	หมู่ 6A (-2)	2 : 3	Al_2O_3
	หมู่ 7A (-1)	1 : 3	AlF_3

2.2 โครงสร้างของสารประกอบไฮอนิก

สารประกอบไฮอนิกมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ในผลึกจะประกอบด้วยไฮอนบวกและไฮอนลบเรียงสลับกันเป็นโครงผลึกขนาดใหญ่ ดังนั้น สารประกอบไฮอนิกจึงไม่มีสูตรโมเลกุลแต่มีเพียงสูตรเอมพิริคัล

ภายในโครงผลึกของสารประกอบไฮอนิก ไฮอนบวกจะถูกล้อมรอบด้วยไฮอนลบ และในขณะเดียวกันไฮอนลบก็ถูกล้อมรอบด้วยไฮอนบวก โดยจำนวนไฮอนที่มาล้อมรอบ เรียกว่า เลขโคลอดิเนชัน (Co-ordination number) ซึ่งจำนวนไฮอนที่มาล้อมรอบนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของไฮอนบวกและไฮอนลบ โดยอาศัยหลักการที่สำคัญ คือ ต้องทำให้มีแรงผลักดันระหว่างไฮอนชนิดเดียวกันน้อยที่สุด และมีแรงดึงดูดระหว่างไฮอนต่างชนิดกันให้มากที่สุด ซึ่งโครงสร้างผลึกของของแข็งไฮอนิกแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

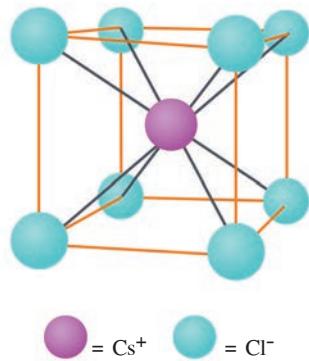
- โครงสร้างผลึกแบบโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โครงสร้างผลึกของ NaCl มีรูปร่างเป็นทรงเหลี่ยมแปดหน้า ที่มีเลขโคลอดิเนชันเป็น 6 : 6 หมายความว่า ไฮอนบวกแต่ละไฮอนถูกล้อมรอบด้วยไฮอนลบจำนวน 6 ไฮอน ไฮอนลบแต่ละไฮอนจะถูกล้อมรอบด้วยไฮอนบวกจำนวน 6 ไฮอน ซึ่งจะเห็นว่าอัตราส่วนระหว่างไฮอนบวกกับไฮอนลบเป็น 6 : 6 หรือ 1 : 1 โครงสร้างผลึกแบบ NaCl เป็นผลึกที่พบมากในสารประกอบไฮอนิกนิ โดยส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮไดรด์ของหมู่ 1A และสารประกอบไฮไอล์ดของหมู่ 2A เช่น LiF NaF KF LiCl RbCl LiBr NaBr LiI NaI KI RbI เป็นต้น และออกไฮด์กับซัลไฟด์ของโลหะหมู่ 2A และธาตุแทرنชิชัน เช่น MgO CaO SrO BaO NiO CdO และสารประกอบไฮไอล์ดของธาตุแทرنชิชัน เช่น AgF AgCl AgBr NH_4I เป็นต้น



▲ ภาพที่ 3.112 โครงสร้างผลึกแบบโซเดียมคลอไรด์

2. โครงสร้างผลึกแบบซีเชียมคลอไรด์ (CsCl)

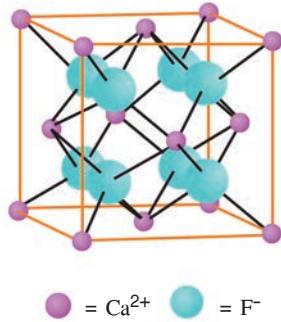
โครงสร้างผลึกของ CsCl มีรูปร่างเป็นรูปกลูกบาศก์ ที่มีเลขโකออดิเนชันเป็น 8 : 8 หมายความว่า ไอออนบวกแต่ละไอออนถูกล้อมรอบด้วยไอออนลบจำนวน 8 ไอออน และไอออนลบแต่ละไอออนถูกล้อมรอบด้วยไอออนบวกจำนวน 8 ไอออน จะเห็นว่าอัตราส่วนระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบเป็น 1 : 1 ซึ่งตัวอย่างของสารประกอบไอออนิกที่มีโครงสร้างผลึกแบบ CsCl เช่น CsBr CsI RbF RbBr_3 NH_4Cl NH_4Br TiCl TiBr เป็นต้น



ภาพที่ 3.113 โครงสร้างผลึกแบบซีเชียมคลอไรด์

3. โครงสร้างผลึกแบบแคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF_2)

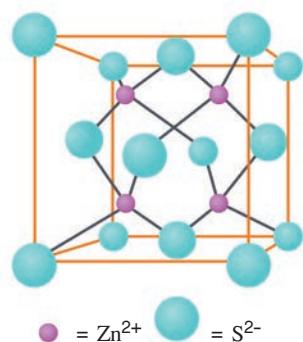
โครงสร้างผลึกของ CaF_2 มีรูปร่างเป็นทรงเหลี่ยมสี่หน้า ที่มีเลขโκออดิเนชันเป็น 8 : 4 หมายความว่า ไอออนบวกแต่ละไอออนถูกล้อมรอบด้วยไอออนลบจำนวน 8 ไอออน และไอออนลบแต่ละไอออนถูกล้อมรอบด้วยไอออนบวกจำนวน 4 ไอออน ซึ่งจะเห็นว่า อัตราส่วนระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบเป็น 1 : 2 ตัวอย่างของสารประกอบไอออนิกที่มีโครงสร้างแบบ CaF_2 เช่น BaF_2 SrF_2 BaCl_2 CdF_2 HgF_2 GeO_2 UO_2 เป็นต้น



ภาพที่ 3.114 โครงสร้างผลึกแบบแคลเซียมฟลูออไรด์

4. โครงสร้างผลึกแบบซิงค์ซัลไฟร์ด หรือซิงค์เบلن (ZnS)

โครงสร้างผลึกของ ZnS มีรูปร่างเป็นทรงเหลี่ยมสี่หน้า ที่มีเลขโโคออดิเนชันเป็น 4 : 4 หมายความว่า ไอออนบวกแต่ละไอออนถูกล้อมรอบด้วยไอออนลบจำนวน 4 ไอออน และไอออนลบแต่ละไอออนจะถูกล้อมรอบด้วยไอออนบวกจำนวน 4 ไอออน ซึ่งจะเห็นว่าอัตราส่วนระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบเป็น 1 : 1 ตัวอย่างของสารประกอบไอออนิกที่มีโครงสร้างผลึกแบบ ZnS เช่น CuCl BeS CuBr CuI AlP GaP InP AgI CdS MgS HgS SiC เป็นต้น



ภาพที่ 3.115 โครงสร้างผลึกแบบซิงค์ซัลไฟร์ด



2.3 การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารประกอบไฮอนิก

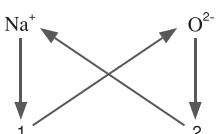
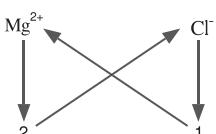
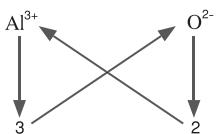
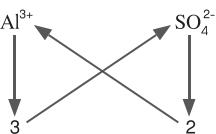
การเขียนสูตรของสารประกอบไฮอนิกมีหลักเกณฑ์ ดังนี้

- แสดงประจุบวกของโลหะหรือกลุ่มของประจุบวกที่มีอยู่ในสูตรก่อน จากนั้นตามด้วยประจุลบของโลหะหรือกลุ่มของประจุลบ ยกเว้นในกรณีที่สารประกอบไฮอนิกนั้นเป็นเกลือของกรดอินทรีย์ เช่น แอกซิเตตไฮอน (CH_3COO^-) จะนำด้วยประจุลบก่อนแล้วจึงตามด้วยประจุบวก เช่น โซเดียมแอกซิเตต (CH_3COONa) แคลเซียมแอกซิเตต ($(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$)
- เมื่อร่วมประจุบวกกับประจุลบเข้าด้วยกันต้องมีค่าเท่ากับศูนย์
- ถ้ามีประจุบวกหรือประจุลบมากกว่า 1 กลุ่ม ให้ส่วนเล็บและระบุจำนวนกลุ่มไว้ทางมุมล่างด้านขวามือ

ตัวอย่างการเขียนสูตรสารประกอบไฮอนิก แสดงดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 : การเขียนสูตรสารประกอบไฮอนิก

ตัวอย่างการเขียนสูตรสารประกอบไฮอนิก

โซเดียมกับออกซิเจน	แมกนีเซียมกับคลอรีน
	
สูตรที่ได้ คือ Na_2O	สูตรที่ได้ คือ MgCl_2
อะลูมิเนียมกับซัลเฟต	แอมโมเนียมกับคลอไรด์
	
สูตรที่ได้ คือ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	สูตรที่ได้ คือ NH_4Cl

การเรียกชื่อสารประกอบไฮอนิกแบ่งตามชนิดของสารประกอบได้เป็น การเรียกชื่อสารประกอบที่มีธาตุอยู่ 2 ชนิด (binary compound) และการเรียกชื่อสารประกอบที่มีธาตุอยู่ 3 ชนิด (ternary compound) ดังนี้

1. การเรียกชื่อสารประกอบไฮอนิกที่มีชาตุอยู่ 2 ชนิด มีหลักเกณฑ์ ดังนี้

- กรณีที่สารประกอบเกิดจากโลหะรวมกับอลูมิเนียม ให้เรียกไฮอนบวกซึ่งเป็นโลหะก่อน แล้วตามด้วยไฮอนลบซึ่งเป็นอลูมิเนียม แล้วเปลี่ยนท้ายเสียงเป็น “ไอเด้ (ide)”

ตัวอย่างการเรียกชื่อไฮอนบวก แสดงดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 : สูตรและชื่อของไฮอนบวก

ไฮอนบวก	ชื่อ	ไฮอนบวก	ชื่อ
Li^+	ลิเทียมไฮอน (lithium ion)	NH_4^+	แอมโมเนียมไฮอน (ammonium ion)
Na^+	โซเดียมไฮอน (sodium ion)	Ba^{2+}	แบเรียมไฮอน (barium ion)
H^+	ไฮdroเจนไฮอน (hydrogen ion)	Al^{3+}	อะลูมิเนียมไฮอน (aluminium ion)

ตัวอย่างการเรียกชื่อไฮอนลบ แสดงดังตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 : สูตรและชื่อของไฮอนลบ

ไฮอนลบ	ชื่อ	ไฮอนลบ	ชื่อ
F^-	ฟลูออไรด์ไฮอน (fluoride ion)	S^{2-}	ซัลไฟฟ์ไฮอน (sulfide ion)
H^-	ไฮไทรไดไฮด์ไฮอน (hydride ion)	P^{3-}	ฟอสฟ์ไฮดไฮอน (phosphide ion)
O^{2-}	ออกไซด์ไฮอน (oxide ion)	C^{4-}	คาร์บีดไฮอน (carbide ion)
O_2^{2-}	เปอร์ออกไซด์ไฮอน (peroxide ion)	Si^{4-}	ซิลิซิคไฮอน (silicide ion)

ตัวอย่างการเรียกชื่อสารประกอบไฮอนิกที่เกิดจากโลหะรวมกับอลูมิเนียม แสดงดังตารางที่ 3.15

ตารางที่ 3.15 : การเรียกชื่อสารประกอบไฮอนิกที่เกิดจากโลหะรวมกับอลูมิเนียม

สาร	การเรียกชื่อ	สาร	การเรียกชื่อ
NaCl	โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride)	Li_3N	ลิเทียมไนไตรด์ (lithium nitride)
CaC_2	แคลเซียมคาร์บไบด์ (calcium carbide)	NH_4Cl	แอมโมเนียมคลอไรด์ (ammonium chloride)
Al_2O_3	อะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide)	K_2O_2	โพแทสเซียมเปอร์ออกไซด์ (potassium peroxide)

- กรณีที่สารประกอบไฮอนิกมีไฮอนบวกที่มาจากการรวมกับโลหะที่มีค่าประจุบวกหลายค่า รวมตัวกับอลูมิเนียม ให้เรียกชื่อไฮอนบวกซึ่งเป็นโลหะแล้วตามด้วยประจุของไฮอนโลหะนั้นเป็นเลขโรมันอยู่ภายใต้ชื่อ แล้วตามด้วยไฮอนลบซึ่งเป็นอลูมิเนียม แล้วเปลี่ยนท้ายเสียงเป็น “ไอเด้ (ide)”

ตารางที่ 3.16 : สูตรและชื่อของไอออนบางที่มีประจุบวกหลายค่าบางชนิด

ไอออน บวก	ชื่อ	ไอออน บวก	ชื่อ
Cr^{2+}	โครเมียม (II) ไอออน (chromium (II) ion)	Pb^{2+}	เลด (II) ไอออน (lead (II) ion)
Cr^{3+}	โครเมียม (III) ไอออน (chromium (III) ion)	Pb^{4+}	เลด (IV) ไอออน (lead (IV) ion)
Co^{2+}	โคบอลต์ (II) ไอออน (cobalt (II) ion)	Mn^{2+}	แมงกานีส (II) ไอออน (manganese (II) ion)
Co^{3+}	โคบอลต์ (III) ไอออน (cobalt (III) ion)	Mn^{3+}	แมงกานีส (III) ไอ้อน (manganese (III) ion)
Cu^+	คอปเปอร์ (I) ไอออน (copper (I) ion)	Hg_2^{2+}	เมอร์คิวรี่ (I) ไอ้อน (mercury (I) ion)
Cu^{2+}	คอปเปอร์ (II) ไอออน (copper (II) ion)	Hg^{2+}	เมอร์คิวรี่ (II) ไอ้อน (mercury (II) ion)
Fe^{2+}	ไอร์โอน (II) ไอออน (iron (II) ion)	Sn^{2+}	ทิน (II) ไอ้อน (tin (II) ion)
Fe^{3+}	ไอร์โอน (III) ไอออน (iron (III) ion)	Sn^{4+}	ทิน (IV) ไอ้อน (tin (IV) ion)

ตารางที่ 3.17 : การเรียกชื่อสารประกอบไอออนิกที่เกิดจากโลหะที่มีค่าประจุบวกหลายค่ารวมกับโลหะ

สาร	การเรียกชื่อ	สาร	การเรียกชื่อ
FeCl_2	ไอร์โอน (II) คลอไรด์ (iron (II) chloride)	CuS	คอปเปอร์ (II) ซัลไฟด์ (copper (II) sulfide)
FeCl_3	ไอร์โอน (III) คลอไรด์ (iron (III) chloride)	MnO	แมงกานีส (II) ออกไซด์ (manganese (II) oxide)
Cu_2S	คอปเปอร์ (I) ซัลไฟด์ (copper (I) sulfide)	Mn_2O_3	แมงกานีส (III) ออกไซด์ (manganese (III) oxide)

2. การเรียกชื่อสารประกอบไอออนิกที่มีธาตุอยู่ 3 ชนิด มีหลักเกณฑ์ ดังนี้

- กรณีที่สารประกอบเกิดจากโลหะรวมกับกลุ่มของโลหะ ให้เรียกชื่อไอออนบางของโลหะก่อน แล้วตามด้วยกลุ่มไอออนลบของโลหะ

ตารางที่ 3.18 : สูตรและชื่อของกลุ่มไอออนลบบางชนิด

ไอออนลบ	ชื่อ	ไอออนลบ	ชื่อ
OH^-	ไฮdroอกไซด์ไอออน (hydroxide ion)	BrO^-	ไฮโปบรอยเมต์ไอ้อน (hypobromite ion)
CN^-	ไซยาไนด์ไอ้อน (cyanide ion)	BrO_2^-	บอร์มาเต้ไอ้อน (bromite ion)
SCN^-	ไธโอดไซยาเนต์ไอ้อน (thiocyanate ion)	BrO_3^-	บอร์เมต์ไอ้อน (bromate ion)
NO_2^-	ไนไตรท์ไอ้อน (nitrite ion)	BrO_4^-	เบอร์บอร์เมต์ไอ้อน (perbromate ion)
NO_3^-	ไนเตรต์ไอ้อน (nitrate ion)	CO_3^{2-}	คาร์บอนเนต์ไอ้อน (carbonate ion)

ตารางที่ 3.18 : สูตรและชื่อของกลุ่มไฮอนคลับบางชนิด (ต่อ)

ไฮอนคลับ	ชื่อ	ไฮอนคลับ	ชื่อ
HCO_3^-	ไฮโดรเจนคาร์บอเนตไฮอน (hydrogencarbonate ion)	SO_3^{2-}	ชัลไฟต์ไฮอน (sulphite ion)
SO_4^{2-}	ชัลเฟต์ไฮอน (sulphate ion)	$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	ไทโธชัลเฟต์ไฮอน (thiosulphate ion)
MnO_4^-	เบอร์แมงกานเนตไฮอน (permanganate ion)	HSO_4^-	ไฮโดรเจนชัลไฟต์ไฮอน (hydrogensulphite ion)
MnO_4^{2-}	แมงกานเนตไฮอน (manganate ion)	HSO_3^-	ไฮโดรเจนชัลไฟต์ไฮอน (hydrogensulphite ion)

ตารางที่ 3.19 : การเรียกชื่อสารประกอบไฮอนิกที่เกิดจากโลหะรวมกับกลุ่มของไฮอน

สาร	การเรียกชื่อ	สาร	การเรียกชื่อ
Na_2SO_4	โซเดียมชัลเฟต์ (sodium sulphate)	$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$	แอมโมเนียมฟอสเฟต์ (ammonium phosphate)
CaCO_3	แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate)	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	โพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate)

- กรณีที่สารประกอบไฮอนิกมีไฮอนบวกที่มาจากการรวมกับกลุ่มของโลหะที่มีค่าประจุบวกหลายค่า รวมตัวกับกลุ่มของโลหะ ให้เรียกชื่อไฮอนบวกซึ่งเป็นโลหะตามด้วยประจุของไฮอนโลหะนั้น เป็นเลขโรมันอยู่ภายใต้ชื่อ นิยมในวงเล็บก่อน และตามด้วยกลุ่มไฮอนลบของโลหะ

ตารางที่ 3.20 : การเรียกชื่อสารประกอบไฮอนิกที่เกิดจากโลหะที่มีค่าประจุบวกหลายค่า รวมกับกลุ่มของโลหะ

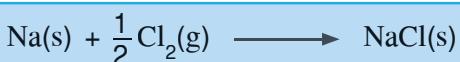
สาร	การเรียกชื่อ	สาร	การเรียกชื่อ
CrSO_4	โครเมียม (II) ชัลเฟต์ (chromium (II) sulphate)	$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$	เมอร์คิวรี (II) ไนเตรต (mercury (II) nitrate)
$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$	โครเมียม (III) ชัลเฟต์ (chromium (III) sulphate)	$\text{Co}(\text{CO}_3)_2$	โคบัลต์ (II) คาร์บอเนต (cobalt (II) carbonate)

แบบฝึกหัด

เรียกชื่อสารประกอบไฮอนิกต่อไปนี้ Li_2SO_4 AgCl $\text{Be}(\text{OH})_2$ ZnH_2PO_4 $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ และ $\text{Co}(\text{CO}_3)_2$

2.4 พลังงานกับการเกิดสารประกอบไฮอนิก

กระบวนการเกิดสารประกอบไฮอนิกจะมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานเกิดขึ้นด้วย อาจพิจารณาจากวัฏจักรบอร์นฮาร์เบอร์ (Born-haber cycle) โดยอธิบายว่าการเกิดสารประกอบไฮอนิก มีหลายขั้นตอน ในแต่ละขั้นตอนจะมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานเกิดขึ้นด้วย โดยให้พิจารณาการเกิดโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จากปฏิกิริยาระหว่างโลหะโซเดียม (Na) กับแก๊สคลอรีน (Cl_2) ดังนี้





พลังงานกับการเกิดสารประกอบไฮอ่อนิก



พลังงานไออุ่นโซเดียม
(ionization energy : IE)

เป็นพลังงานที่ทำให้อะตอมของโซเดียมในสถานะแก๊สเสียอิเล็กตรอนออกไปกล้ายเป็นโซเดียมไออุ่น

$$IE = 496 \text{ kJ/mol}$$



พลังงานการสลายพันธะ
(dissociation energy : D)

เป็นพลังงานที่ทำให้โมเลกุลของแก๊สคลอรีนแตกออกเป็นอะตอมของคลอรีนในสถานะแก๊ส

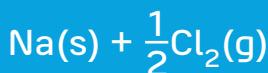
$$D = 122 \text{ kJ/mol}$$



พลังงานการระเหด
(sublimation energy : ΔH_{sub})

เป็นพลังงานที่ทำให้โลหะโซเดียมในสถานะของแข็งระเหดกล้ายเป็นอะตอมในสถานะแก๊ส

$$\Delta H_{\text{sub}} = 107 \text{ kJ/mol}$$

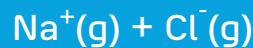


พลังงานรวมของ
การเกิดปฏิกิริยา
(heat of formation : H_f)

$$\Delta H_f = 411 \text{ kJ/mol}$$

พลังงานสัมพรภาคภูมิเล็กตรอน
(electron affinity : EA)

เป็นพลังงานที่ทำให้อะตอมของคลอรีนในสถานะแก๊สรับอิเล็กตรอนที่หลุดจากอะตอมของโซเดียมกล้ายเป็นคลอไรด์ไออุ่น



พลังงานโครงผลึก
หรือพลังงานแลดทิช
(lattice energy : U)

เป็นพลังงานที่ระบบคายออกมาก เมื่อโซเดียมไออุ่นและคลอไรด์ไออุ่นในสถานะแก๊สมารวมตัวกันเป็นโซเดียมคลอไรด์

$$U = 787 \text{ kJ/mol}$$



ดูดพลังงาน

คายพลังงาน

▲ ภาพที่ 3.116 พลังงานในการเกิดโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

ค่าพลังงานแลตทิซจะมีความสัมพันธ์กับจุดหลอมเหลวของสารประกอบไฮอนิก ดังแสดงในตารางที่ 3.21

ตารางที่ 3.21 : ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแลตทิซกับจุดหลอมเหลวของสารประกอบไฮอนิก

สารประกอบ	พลังงานแลตทิซ (kJ/mol)	จุดหลอมเหลว (°C)
LiF	1,017	845
LiCl	828	610
LiBr	787	550
LiI	732	450
NaCl	787	801
NaBr	736	750
NaI	686	662
KF	808	858
KCl	701	772
KBr	671	734
MgCl ₂	2,527	714
Na ₂ O	2,570	ระเหิดที่ 1,275
MgO	3,890	2,800

จากตาราง สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. พลังงานแลตทิซที่มีค่ามากขึ้นจะบ่งบอกถึงความมีเสถียรภาพของแข็ง และการยึดเกาะกันระหว่างไฮอนที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ต้องใช้พลังงานในการหลอมเหลวของแข็งชนิดนั้น ๆ มากขึ้น ของแข็งจึงมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้นตามค่าพลังงานแลตทิซที่มากขึ้น

2. ไฮอนที่มีประจุบวกหรือประจุลบมากขึ้น เช่น Mg²⁺ หรือ O²⁻ จะทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สารประกอบ MgCl₂ Na₂O และ MgO มีค่าพลังงานแลตทิซที่สูงกว่าปกติเมื่อเทียบกับสารประกอบอื่น ๆ ส่วนจุดหลอมเหลวที่มีค่าแปรเปลี่ยนไปตามสูงนี้เนื่องจากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระยะห่างระหว่างประจุบวกและประจุลบเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

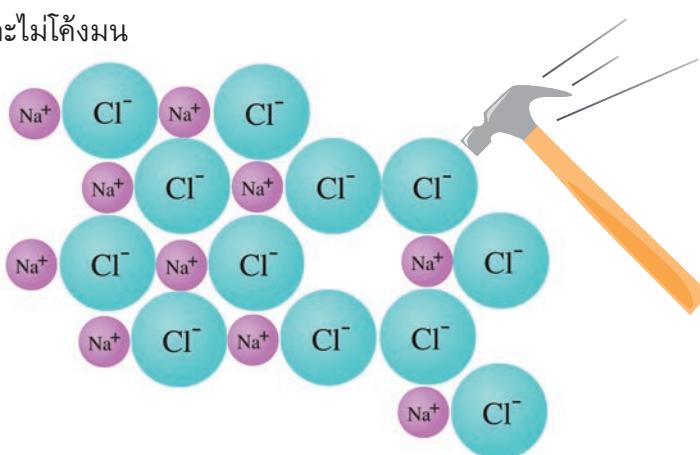
2.5 สมบัติของสารประกอบไฮอ่อนิก

1. สารประกอบไฮออนิกมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง เนื่องจากพันธะไฮออนิกเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวของประจุไฟฟ้าซึ่งมีความแข็งแรงสูง จึงทำให้แยกออกจากกันได้ยาก นอกจากนี้ลักษณะการยึดเหนี่ยวของสารประกอบไฮออนิกยังต่อเนื่องกันเป็นผลึก การทำให้สารประกอบไฮออนิกเปลี่ยนสถานะจึงต้องอาศัยพลังงานจำนวนมากในการทำลายแรงยึดเหนี่ยว ดังนั้นสารประกอบไฮออนิกจึงมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูงกว่าสารประกอบโคลเวเลนต์

ตารางที่ 3.22 : จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของสารประกอบไฮออนิกบางชนิด

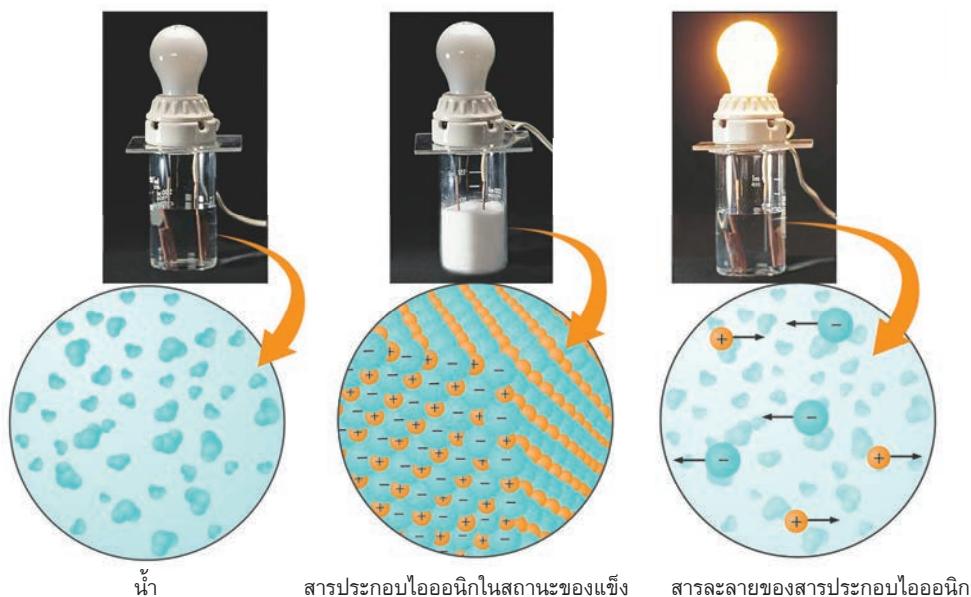
สารประกอบไฮออนิก	จุดเดือด (°C)	จุดหลอมเหลว (°C)
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	318	1,390
โพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3)	334	400
แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)	772	มากกว่า 1,600
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	801	1,465
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	2,054	2,980
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	2,800	3,600

2. สารประกอบไฮออนิกมีความแข็ง แต่เบาะ เมื่อทุบหรือเคาะจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไฮออนที่อยู่ในผลึก ซึ่งการเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้ไฮออนชนิดเดียวกันมาอยู่ใกล้กันซึ่งจะเกิดแรงผลักกัน และเกิดการแตกของผลึกไฮออนิก และพบว่า การแตกของผลึกไฮออนิกจะเป็นเหลี่ยม ซึ่งจะไม่โค้งมน



▲ ภาพที่ 3.117 การจัดเรียงไฮออนในผลึกของสารประกอบไฮออนิกเมื่อถูกแรงกระทำ

3. สารประกอบไฮอ่อนิกจะไม่นำไฟฟ้าในสถานะของแข็ง แต่จะนำไฟฟ้าในรูปของเหลว หรือสารละลาย เนื่องจากในสถานะของแข็งไฮอ่อนที่อยู่ในผลึกไฮอ่อนิกไม่สามารถเคลื่อนที่ได้แต่ในรูปของของเหลวหรือสารละลายนั้น ไฮอ่อนสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าสารละลายของสารประกอบไฮอ่อนิกสามารถนำไฟฟ้าได้ดีกว่าไฮอ่อนิกในสถานะที่เป็นของเหลว เพราะในสภาพที่เป็นสารละลายไฮอ่อนของสารประกอบไฮอ่อนิกจะเคลื่อนที่ได้สะดวกกว่า



▲ ภาพที่ 3.118 สภาพนำไฟฟ้าของสารประกอบไฮอ่อนิก

4. สภาพละลายได้ของสารประกอบไฮอ่อนิก โดยสภาพละลายได้ของสารนั้นเป็นความสามารถของสารที่ละลายได้ในตัวทำละลายจนกระทั่งเกิดการอิมตัว สภาพละลายได้ส่วนใหญ่หมายถึง การละลายของสารในน้ำ ซึ่งการบอกสภาพการละลายได้โดยทั่วไปมี 3 ระดับ ดังนี้

- ละลายได้ดี หมายถึง ละลายได้มากกว่า 1 กรัม ในน้ำ 100 กรัม
- ละลายได้เล็กน้อยหรือละลายได้บางส่วน หมายถึง ละลายได้มากกว่า 0.1 กรัม แต่ไม่เกิน 1 กรัม ในน้ำ 100 กรัม
- ไม่ละลาย หมายถึง ละลายได้น้อยกว่า 0.1 กรัม ในน้ำ 100 กรัม

สารประกอบไฮอ่อนิกบางชนิดมีค่าสภาพละลายได้ในน้ำสูง บางชนิดมีค่าสภาพการละลายได้ในน้ำต่ำมาก และบางชนิดไม่ละลายในน้ำ เหตุใดสารประกอบไฮอ่อนิกแต่ละชนิดจึงมีสภาพละลายได้ในน้ำแตกต่างกัน และการละลายของสารประกอบไฮอ่อนิกในน้ำมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานหรือไม่ ให้นักเรียนศึกษาจากการทดลองต่อไปนี้



การทดลอง

การละลายของสารประกอบไฮอนิกในน้ำ



จุดประสงค์

- ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพลังงานเมื่อสารประกอบไฮอนิกละลายในน้ำได้
- อธิบายการเปลี่ยนแปลงพลังงานเมื่อสารประกอบไฮอนิกละลายในน้ำได้



วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

- | | | |
|-------------------|---|---|
| 1. กระบอกตวง | 4. น้ำ | 7. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) |
| 2. แคลอริมิเตอร์ | 5. คอปเปอร์ (II) ชัลเฟต (CuSO_4) | 8. แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) |
| 3. เทอร์มомิเตอร์ | 6. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) | |



วิธีการทดลอง

- ใส่น้ำปริมาตร 25 cm^3 ลงในแคลอริมิเตอร์ จากนั้นใช้เทอร์มومิเตอร์วัดอุณหภูมิของน้ำ แล้วบันทึกผล
- ใส่ CuSO_4 ที่ปราศจากน้ำ 1 g ในแคลอริมิเตอร์ที่เตรียมไว้ในข้อ 1. คนสารให้ละลายแล้วรีบปิดฝาแคลอริมิเตอร์ บันทึกอุณหภูมิของสารที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากที่สุด
- ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1. และ 2. แต่เปลี่ยนมาใช้ NaCl NH_4Cl และ CaCO_3 ตามลำดับ



คำถามท้ายการทดลอง

- สารแต่ละชนิดที่นำมาทำการทดลองละลายน้ำได้แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
- การละลายของสารแต่ละชนิดมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานหรือไม่ อย่างไร
- การละลายของสารเกี่ยวข้องกับพลังงานชนิดใดบ้าง
- อุณหภูมิมีผลต่อการละลายน้ำของสารประกอบไฮอนิกหรือไม่ อย่างไร



อภิปรายผลการทดลอง

คอปเปอร์ (II) ชัลเฟตจะละลายน้ำได้อย่างช้าๆ และอุณหภูมิของสารละลายจะเพิ่มสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิของน้ำ ส่วนแอมโมเนียมคลอไรด์จะละลายน้ำได้อย่างรวดเร็ว แต่อุณหภูมิของสารละลายลดต่ำลงกว่าอุณหภูมิของน้ำ โซเดียมคลอไรด์จะละลายน้ำได้ แต่ไม่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง แคลเซียมคาร์บอเนตจะละลายน้ำได้น้อยมาก จึงสรุปได้ว่าสารประกอบไฮอนิกจะละลายน้ำได้ไม่เท่ากัน บางชนิดจะละลายได้ดี บางชนิดจะละลายได้ช้า บางชนิดจะละลายได้น้อยหรือแทบไม่ละลายเลย นอกจากนี้การละลายของสารประกอบไฮอนิกในน้ำมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานเกิดขึ้นด้วย ซึ่งอาจเป็นการคายพลังงานหรือดูดพลังงานขึ้นอยู่กับชนิดของสาร

ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์

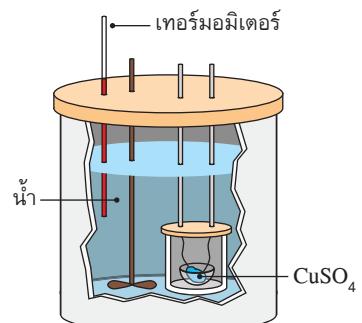
- การสังเกต
- การเปลี่ยนเที่ยบ
- การระบุ

จิตวิทยาศาสตร์

- ความสนใจฝ่าย
- ความรับผิดชอบ
- การทำงานร่วมกับผู้อื่น



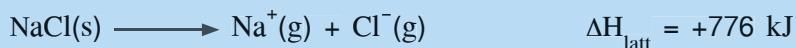
7. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)
8. แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)



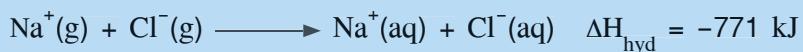
▲ ภาพที่ 3.119

การละลายของสารประกอบไฮอ่อนิกในน้ำจะมีพลังงานเข้ามาเกี่ยวข้อง 2 พลังงาน ดังนี้

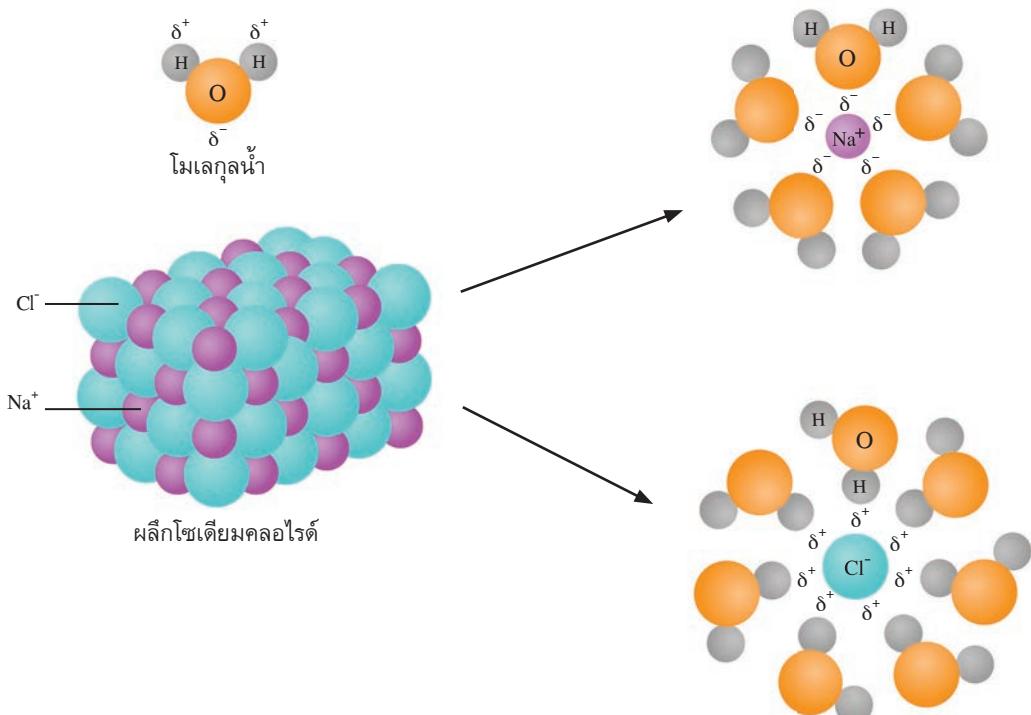
1. พลังงานโครงร่างผลึกหรือพลังงานแลตทิซ (lattice energy : ΔH_{latt}) เป็นพลังงานที่ต้องใช้ในการแยก 1 โมลของสารประกอบไฮอ่อนิกในสถานะของแข็งให้เปลี่ยนไปเป็นไฮอ่อนในสถานะแก๊ส ตัวอย่างเช่น



2. พลังงานไฮเดรชัน (hydration energy : ΔH_{hyd}) เป็นพลังงานที่คายออกมานៅื่อไฮอ่อนบางหรือไฮอ่อนลบในสถานะแก๊สร่วมตัวกับโมเลกุลของน้ำ ตัวอย่างเช่น



สมการรวมสามารถเขียนได้ ดังนี้



▲ ภาพที่ 3.120 การละลายของสารประกอบไฮอ่อนิกในน้ำ

การละลายของสารประกอบไฮอ่อนิกในน้ำอาจมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานแบบดูดพลังงาน หรือคายพลังงานก็ได้ ขึ้นอยู่กับค่าพลังงานแลตทิซและพลังงานไฮเดรชัน ดังนี้

- ถ้าพลังงานแลตทิช (ดูดพลังงาน) > พลังงานไฮเดรชัน (คายพลังงาน) การละลายจะเป็นแบบดูดพลังงาน ซึ่งสังเกตได้จากอุณหภูมิของสารละลายจะต่ำลงหลังจากที่สารนั้นละลายหมด
- ถ้าพลังงานแลตทิช (ดูดพลังงาน) < พลังงานไฮเดรชัน (คายพลังงาน) การละลายจะเป็นแบบคายพลังงาน ซึ่งสังเกตได้จากอุณหภูมิของสารละลายจะสูงขึ้นหลังจากที่สารนั้นละลายหมด
- ถ้าพลังงานแลตทิช (ดูดพลังงาน) = พลังงานไฮเดรชัน (คายพลังงาน) การละลายจะเป็นแบบไม่ดูดและไม่คายพลังงาน ซึ่งอาจสังเกตได้จากอุณหภูมิของสารละลายจะไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากที่สารนั้นละลายหมด
- ถ้าพลังงานแลตทิช (ดูดพลังงาน) >>> พลังงานไฮเดรชัน (คายพลังงาน) สารนั้นจะไม่ละลายนำ

ความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบไฮอนิกแต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 3.23

สารประกอบที่ละลายน้ำได้	สารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ
ไฮอนของโลหะแอลคาไล (+1) และ NH_4^+ รวมกับไฮอนลบุกซินิด	ไฮอนบวกทุกชนิด (ยกเว้นไฮอนของโลหะแอลคาไล (+1) และ NH_4^+) รวมกับคาร์บอนเนตไฮอน (CO_3^{2-})
ไฮอนบวกทุกชนิดรวมกับไนเตรตไฮอน (NO_3^-)	ไฮอนบวกทุกชนิด (ยกเว้นไฮอนของโลหะแอลคาไล (+1) และ NH_4^+) รวมกับซัลไฟต์ไฮอน (SO_3^{2-})
ไฮอนบวกทุกชนิดรวมกับแอซีเตตไฮอน (CH_3COO^-)	ไฮอนบวกทุกชนิด (ยกเว้นไฮอนของโลหะแอลคาไล (+1) และ NH_4^+) รวมกับฟอสเฟตไฮอน (PO_4^{3-})
ไฮอนบวกทุกชนิด (ยกเว้น Ag^+ Pb^{2+} Cu^+ และ Hg_2^{2+}) รวมกับคลอไรด์ไฮอน (Cl^-) โบรไนด์ไฮอน (Br^-) และไฮโวไดด์ไฮอน (I^-)	ไฮอนบวกทุกชนิด (ยกเว้นไฮอนของโลหะแอลคาไล (+1) NH_4^+ Ba^{2+} Sr^{2+} และ Ca^{2+}) รวมกับไฮดรอกไซด์ไฮอน (OH^-) และออกไซด์ไฮอน (O^{2-})
ไฮอนบวกทุกชนิด (ยกเว้น Ag^+ Pb^{2+} Ba^{2+} Sr^{2+} และ Ca^{2+}) รวมกับซัลเฟตไฮอน (SO_4^{2-})	ไฮอนบวกทุกชนิด (ยกเว้นไฮอนของโลหะแอลคาไล (+1) ไฮอนของโลหะแอลไลน์เอิร์ช (+2) และ NH_4^+) รวมกับซัลไฟต์ไฮอน (S^{2-})

สารประกอบไฮอนิกที่ไม่ละลายน้ำที่ควรทราบ ตัวอย่าง เช่น AgCl ให้ตะกอนสีขาว AgI ให้ตะกอนสีขาวนวล PbI_2 ให้ตะกอนสีเหลือง Fe(OH)_3 ให้ตะกอนวุ้นสีแดง และ MnO_2 ให้ตะกอนสีน้ำตาลดำ

H. D. T. S.
คำนำท้าทายการคิดขั้นสูง



อุณหภูมิมีผลต่อการละลายน้ำของสารประกอบไฮอนิกหรือไม่ อย่างไร

ตัวอย่างความสามารถในการละลายของสารประกอบไฮอ่อนิกที่ละลายน้ำได้เล็กน้อย และ ละลายน้ำได้ดี แสดงตั้งตารางที่ 3.24 และ 3.25

ตารางที่ 3.24 : ความสามารถในการละลายของสารประกอบไฮอ่อนิกที่ละลายน้ำได้เล็กน้อย

สารประกอบไฮอ่อนิกที่ละลายน้ำได้เล็กน้อย	สภาพการละลายในน้ำ ($\text{g}/\text{น้ำ } 100 \text{ cm}^3$)
KClO_4	1.5
Ag_2SO_4	1.2
PbCl_2	0.45
PbSO_4	0.042
CaSO_4	0.20
BaSO_4	0.00020
Fe(OH)_2	0.00015
AgCl	0.00005

ตารางที่ 3.25 : ความสามารถในการละลายของสารประกอบไฮอ่อนิกที่ละลายน้ำได้ดี

สารประกอบไฮอ่อนิกที่ละลายน้ำได้ดี	สภาพการละลายในน้ำ ($\text{g}/\text{น้ำ } 100 \text{ cm}^3$)
Na_2SO_4	4.7
MgSO_4	25.5
KCl	34.4
NaCl	35.8
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	36.4
AlCl_3	45.8
MgCl_2	54.3
CaCl_2	74.5

2.6 ปฏิกิริยาของสารประกอบไฮอ่อนิก

เมื่อนำสารละลายของสารประกอบไฮอ่อนิก 2 ชนิด มาผสมกันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ให้นักเรียนศึกษาจากการทดลองต่อไปนี้



การทดลอง

การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไฮอ่อนิก



จุดประสงค์

- ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไฮอ่อนิกได้
- อธิบายผลที่เกิดขึ้นจากการที่สารประกอบไฮอ่อนิกทำปฏิกิริยากัน พร้อมทั้งเขียนสมการไฮอ่อนิกและสมการไฮอ่อนิกสุทธิแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้



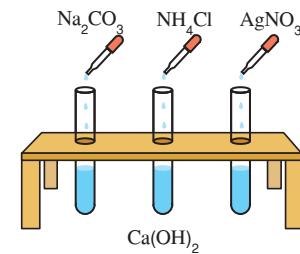
วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

- | | | |
|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. หลอดทดลองขนาดเล็ก | 4. หลอดหยด | 7. สารละลายน Na_2SO_4 |
| 2. gravimeter และกระดาษกรอง | 5. สารละลายน $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | 8. สารละลายน Na_2CO_3 |
| 3. บีกเกอร์ | 6. สารละลายน KI | 9. สารละลายน NH_4Cl |
| | | 10. สารละลายน AgNO_3 |

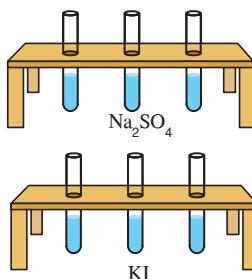


วิธีการทดลอง

1. ใส่สารละลายน $\text{Ca}(\text{OH})_2$ จำนวน 1 cm^3 ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก จำนวน 3 หลอด เติมสารละลายน Na_2CO_3 NH_4Cl และ AgNO_3 อย่างละ 1 cm^3 ลงในหลอดที่ 1 2 และ 3 หลอดละชนิด ตามลำดับ สังเกตการเปลี่ยนแปลง และบันทึกผล



2. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1. แต่เปลี่ยนจากสารละลายน $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ไปเป็นสารละลายน Na_2SO_4 และ KI ตามลำดับ สังเกตการเปลี่ยนแปลง และบันทึกผล



ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์

- การสังเกต
- การเปรียบเทียบ
- การระบุ

จิตวิทยาศาสตร์

- ความรอบคอบ
- ความมีเหตุผล

3. ในหลอดทดลองที่มีตะกอนเกิดขึ้น ให้นำการองตะกอนออก แล้วเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่ได้กับหลอดอื่น และบันทึกผล



▲ ภาพที่ 3.121



คำถามท้ายการทดลอง

- ทราบได้อย่างไรว่าสารละลายนสมคุณได้เกิดปฏิกิริยาเคมี
- สมการแสดงการเกิดปฏิกิริยาของสารในการทดลองเป็นอย่างไร

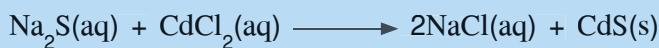


อภิปรายผลการทดลอง

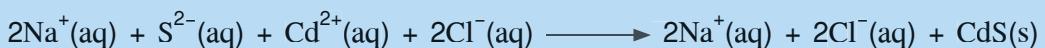
สารประกอบไฮอ่อนิกที่ละลายน้ำได้จะแตกตัวเป็นไฮออนบวกและไฮออนลบ ซึ่งเมื่อผสานสารละลายนของสารประกอบไฮอ่อนิกที่มีไฮออนต่างชนิดเข้าด้วยกัน ไฮออนบวกและไฮออนลบที่ทำปฏิกิริยากันได้จะทำให้เกิดสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ โดยจะมีตะกอนเกิดขึ้น และสามารถนำมาเขียนสมการไฮอ่อนิกได้

การเขียนสมการแสดงการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิกนั้น สามารถเขียนได้ 3 ประเภท ดังนี้

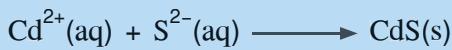
1. สมการโมเลกุล (molecular equation) เป็นสมการที่เขียนแสดงสูตรโมเลกุลของสารตั้งต้น และสารผลิตภัณฑ์ที่เข้าทำปฏิกิริยากัน ตัวอย่างเช่น



2. สมการไอออนิกรวม (total ionic equation) เป็นสมการที่เขียนเฉพาะไอออนที่เข้าทำปฏิกิริยากันเท่านั้น ส่วนสารประกอบใดที่ไม่เกิดการแตกตัวจะไม่เขียนเป็นไอออน ตัวอย่าง เช่น



3. สมการไอออนิกสุทธิ (net ionic equation) เป็นสมการที่เขียนไอออนที่เข้าทำปฏิกิริยากัน ได้เกลือที่ไม่ละลายน้ำหรือแก๊ส โดยจะหักล้างไอออนบวกและไอออนลบที่เหมือนกัน ทางด้านสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ออก ตัวอย่างเช่น



การเขียนสมการแสดงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างพิณปุ่นกับกรดไฮโดรคลอริก แสดงได้ดังนี้

สมการโมเลกุล : $\text{CaCO}_3(\text{s}) + 2\text{HCl}(\text{aq}) \longrightarrow \text{CaCl}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O(l)} + \text{CO}_2(\text{g})$

สมการไอออนิก : $\text{CaCO}_3(\text{s}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{Cl}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O(l)} + \text{CO}_2(\text{g})$

สมการไอออนิกสุทธิ : $\text{CaCO}_3(\text{s}) + 8\text{H}^+(\text{aq}) \longrightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O(l)} + \text{CO}_2(\text{g})$

การเขียนสมการแสดงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างทองแดงกับกรดไนตริก แสดงได้ดังนี้

สมการโมเลกุล : $3\text{Cu(s)} + 8\text{HNO}_3(\text{aq}) \longrightarrow 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2(\text{aq}) + 4\text{H}_2\text{O(l)} + 2\text{NO(g)}$

สมการไอออนิก : $3\text{Cu(s)} + 8\text{H}^+(\text{aq}) + 8\text{NO}_3^-(\text{aq}) \longrightarrow 3\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 6\text{NO}_3(\text{aq}) + 4\text{H}_2\text{O(l)} + 2\text{NO(g)}$

สมการไอออนิกสุทธิ : $3\text{Cu(s)} + 8\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{NO}_3^-(\text{aq}) \longrightarrow 3\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 4\text{H}_2\text{O(l)} + 2\text{NO(g)}$



Prior Knowledge

โลหะจะยึดเหนี่ยว กันด้วย พันธะชนิดเดียวกับ สารประกอบไฮอนิก หรือโคลเวเลนต์หรือไม่ ?

3. พันธะโลหะ

โลหะมีค่าพลังงานไออ่อนในเซชันต่ำ จึงเสียเวลน์ซ์ อิเล็กตรอนได้ง่ายและกล้ายเป็นไออ่อนบวก ซึ่งเวลน์ซ์ อิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้จะเคลื่อนที่อย่างอิสระไปได้ทั่ว ทั้งก้อนโลหะ เสมือนเป็นทะเลอิเล็กตรอน จึงทำให้เกิดเป็นแรง ยึดเหนี่ยวที่แข็งแรงระหว่างไออ่อนบวกกับเวลน์ซ์อิเล็กตรอนที่เป็นอิสระนี้ทั่วทุกตำแหน่งภายใน ก้อนโลหะ เรียกว่า พันธะโลหะ (metallic bond)

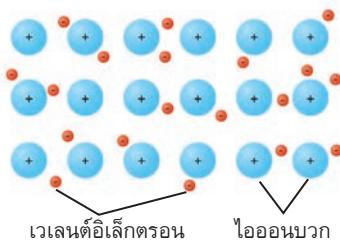
3.1 สมบัติของโลหะ

สมบัติที่สำคัญของโลหะมี ดังนี้

1. มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง เนื่องจากพันธะโลหะเกิดจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างไออ่อนบวกกับ อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่อย่างอิสระซึ่งยึดเหนี่ยว กันแน่นมาก ดังนั้น จึงทำให้พันธะโลหะมีความแข็งแรงมาก ส่งผลให้โลหะมีจุดเดือด และจุดหลอมเหลวที่สูงมาก

จุดเดือดและจุดหลอมเหลวของโลหะจะแปรผันตรง กับความแข็งแรงของพันธะ และแปรผันกับขนาดโมเลกุล หมายความว่า โลหะที่มีอะตอมขนาดเล็กจะมีจุดเดือดสูงกว่า โลหะที่มีอะตอมขนาดใหญ่ เช่น โซเดียมมีจุดเดือดสูงกว่าโพแทสเซียม เพราะโซเดียมมีขนาด อะตอมที่เล็กกว่าโพแทสเซียม จึงทำให้การหลุดและจับของอิเล็กตรอนเกิดได้ง่าย พันธะมีความแข็งแรงสูงจุดเดือดและจุดหลอมเหลวจึงสูงตามไปด้วยในทางกลับกัน แคลเซียมจะมีจุดเดือดต่ำ กว่าแมgnีเซียม เพราะแคลเซียมมีขนาดอะตอมใหญ่กว่าแมgnีเซียม จึงทำให้การหลุดและจับ ของอิเล็กตรอนเกิดได้ยาก พันธะไม่ค่อยมีความแข็งแรง จุดเดือดและจุดหลอมเหลวจึงต่ำ

2. นำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากเวลน์ซ์อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ ซึ่งเมื่อ ให้ความร้อนแก่โลหะ เวลน์ซ์อิเล็กตรอนจะมีพลังงานสูงขึ้นจึงเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น เมื่อเกิดการ ชนกันจะถ่ายโอนพลังงานบางส่วนแก่กันและถูกถ่ายโอนต่อเนื่องไปจนทั่วทั้งก้อนโลหะ โลหะจึง นำความร้อนได้ และการที่โลหะมีเวลน์ซ์อิเล็กตรอนที่สามารถเคลื่อนที่ไปมาทั่วทั้งก้อนโลหะได้ ทุกทิศทุกทาง จึงทำให้โลหะนำไฟฟ้าได้ แต่การนำไฟฟ้าของโลหะจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพราะความต้านทานเพิ่มขึ้น เนื่องจากเวลน์ซ์อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ชันกันมากขึ้น



▲ ภาพที่ 3.122 การเคลื่อนที่ของ เวลน์ซ์อิเล็กตรอนอย่างอิสระและ ไออ่อนบวกทั่วทั้งก้อนโลหะ

3. สามารถสะท้อนแสงได้ หรือมีผิวมันวาว เนื่องจากกลุ่มอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้โดยอิสระไปบรรจบกับแสงที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงรับและกระจายแสงออกมาก ทำให้ผิวของโลหะเกิดการสะท้อนแสงได้ดี จึงเห็นผิวของโลหะเป็นมันวาว

4. สามารถตีเป็นแผ่นหรือดึงเป็นเส้นได้ เนื่องจากอะตอมโลหะจัดเรียงตัวเป็นชั้น ๆ อย่างมีระเบียบ เมื่อหุบแผ่นโลหะจะเป็นการผลักให้ชั้นของอะตอมโลหะเลื่อนไถลไปจากตำแหน่งเดิม แผ่นโลหะจึงยาวอวบและบางลง แต่ตำแหน่งใหม่ในอะตอมของโลหะไม่หลุดออกจากกัน เพราะอนุภาคถูกยึดไว้ด้วยกลุ่มเวลน์ซึ่อเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้น จึงตีหรือหุบโลหะให้แผ่นออกเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ ดัดให้โค้งงอ หรือดึงให้เป็นเส้นได้

5. เคาะแล้วมีเสียงกังวาน เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออนนำวากและเวลน์ซึ่อเล็กตรอนของโลหะมีความแข็งแรงมาก รวมทั้งไอออนนำวากอยู่ใกล้ชิดกันมาก จึงส่งแรงสั่นสะเทือนไปถึงกันอย่างรวดเร็ว เมื่อฝีการเคาะโลหะจึงทำให้เกิดเป็นเสียงดังกังวานอกรถ

6. ไม่มีสูตรโมเลกุล เนื่องจากเวลน์ซึ่อเล็กตรอนของอะตอมโลหะยึดอะตอมไว้อย่างหนียวแน่น โลหะจึงไม่อยู่ในรูปอะตอมเดียว โลหะจึงมีแต่สูตรอย่างง่าย



▲ ภาพที่ 3.123 กระบวนการหยอดอาหารนิยมทำมาจากโลหะหรือโลหะผสม เช่น อะลูมิเนียมเหล็ก สเตนเลส ทองเหลือง เป็นต้น เพราะสามารถนำความร้อนได้ดี



▲ ภาพที่ 3.124 ภาชนะที่ทำมาจากโลหะอะลูมิเนียมจะมีผิวมันวาวเนื่องจากสามารถสะท้อนแสงได้ดี



▲ ภาพที่ 3.125 โลหะทองแดงสามารถนำมาดึงให้เป็นเส้น และดัดให้โค้งงอเป็นรูปทรงต่าง ๆ ได้



Chemistry in real life

ปัจจุบันมีการนำโลหะหลายชนิดมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม โดยนำมาทำเป็นเครื่องใช้ต่าง ๆ ขึ้นส่วนของเครื่องจักรกล เครื่องอำนวยความสะดวกต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีการค้นคว้าหาโลหะหรือโลหะผสมที่มีคุณสมบัติเด่นเฉพาะมากขึ้น เช่น โลหะที่มีน้ำหนักเบา และมีความแข็งแรงสูงเพื่อใช้กับอากาศยานหรือโลหะที่ทนความร้อนสูง ทนต่อการสึกกร่อน เป็นต้น



▲ ภาพที่ 3.126

Summary

พันธะเคมี

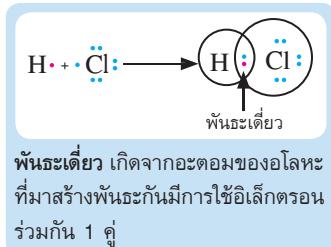


พันธะโคลเวเลนต์

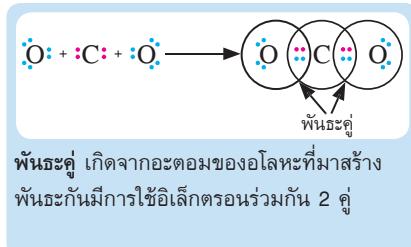
การเกิดพันธะโคลเวเลนต์

- เกิดจากอะตอมของไฮโดรเจนนำด้วยอิเล็กตรอนมาใช้ร่วมกัน

ชนิดของพันธะโคลเวเลนต์



พันธะเดี่ยว เกิดจากอะตอมของไฮโดรเจนที่นำส่วนตัวมาสร้างพันธะกันมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่



พันธะคู่ เกิดจากอะตอมของไฮโดรเจนที่นำส่วนตัวมาสร้างพันธะกันมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 2 คู่



พันธะสาม เกิดจากอะตอมของไฮโดรเจนที่นำส่วนตัวมาสร้างพันธะกันมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 3 คู่

▲ ภาพที่ 3.127

การเขียนสูตรเคมีแสดงพันธะโคลเวเลนต์

- สูตรโมเลกุล เป็นสูตรที่สามารถบอกจำนวนและรัศมีที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุล แต่ไม่สามารถที่จะบอกรายละเอียดเกี่ยวกับการสร้างพันธะกันระหว่างอะตอมในโมเลกุล
- สูตรอย่างง่าย เป็นสูตรที่แสดงให้ทราบว่าสารประกอบนั้นประกอบด้วยรัศมีใดบ้าง และมีอัตราส่วนของอะตอมเป็นเท่าใด
- สูตรโครงสร้าง เป็นสูตรที่สามารถบอกจำนวนและรัศมีที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลได้ และสามารถที่จะบอกรายละเอียดเกี่ยวกับการสร้างพันธะกันระหว่างอะตอมในโมเลกุลด้วย

รัศมีกับการเกิดพันธะโคลเวเลนต์

- รัศมีที่นำส่วนตัวมาสร้างพันธะกันแล้วเกิดเป็นพันธะโคลเวเลนต์ ได้แก่ รัศมีโลหะรวมตัวกับรัศมีโลหะ และรัศมีโลหะบางชนิดรวมตัวกับรัศมีโลหะ

การเขียนสูตรของสารประกอบโคลเวเลนต์

- เลือกอะตอมกลาง โดยอะตอมกลางต้องเป็นรัศมีที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติฟน้อยที่สุด
- เลือกรูปแบบของอะตอมกลางที่เหมาะสม และเลือกรูปแบบของอะตอมที่อยู่ร่องข้าง
- รวมอะตอมกลางกับอะตอมร่องข้างเข้าไว้ด้วยกัน แล้วเปลี่ยนจากเส้นเป็นจุด

การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารประกอบโคลเวเลนต์

- การเขียนสูตร ให้เขียนสัญลักษณ์ของรัศมีที่เป็นอะตอมกลาง และตามด้วยรัศมีที่ล้อมรอบโดยใช้เส้นเชื่อมต่อจากรัศมีที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติฟน้อยแล้วตามด้วยรัศมีที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติฟมาก
- การเรียกชื่อ ให้เรียกชื่อจากรัศมีที่อยู่ด้านหน้าก่อน และตามด้วยรัศมีที่อยู่ด้านหลัง และเปลี่ยนเสียงพยางค์ท้ายเป็น ไ-ด์ (-ide) โดยระบุจำนวนอะตอมที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลด้วยภาษากรีก

พลังงานพันธะและความຍາວພັນຫະ

- พลังงานพันธะ เป็นพลังงานปริมาณน้อยที่สุดที่ใช้ในการสลายพันธะโคลเวเลนต์ หรือเป็นพลังงานปริมาณน้อยที่สุดที่คายออกมานอกไป
- ความຍາວພັນຫະ คือ ระยะทางระหว่างนิวเคลียสของอะตอมคู่หนึ่งที่สร้างพันธะโคลเวเลนต์ต่อ กัน
- ประภากลางเคมี หรือ ประภากลางเคมี เป็นประภากลางที่สารประกอบหรือไอออนของสารประกอบโคลเวเลนต์สามารถเขียนสูตรโครงสร้างได้มากกว่า 1 แบบ

รูปร่างของโมเลกุลโคเวเลนต์

- กลุ่มที่ไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอมกลาง อาจมีรูปร่างเป็นสันตรง สามเหลี่ยมแบบราบ ทรงสี่หน้า หรือมิต្សานา สามเหลี่ยม หรือทรงแปดหน้า
- กลุ่มที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อะตอมกลาง อาจมีรูปร่างเป็นมุมงอ ฟิรมิดฐานสามเหลี่ยม ทรงสี่หน้าบิดเบี้ยวหรือมักรัดก ฟิรมิดฐานสี่เหลี่ยม ตัวที่ สี่เหลี่ยมแบบราบ หรือสันตรง

มุมะระห่วงพันธะในโมเลกุลโคเวเลนต์

- มุมะพันธะ คือ มุมที่เกิดขึ้นเมื่ออะตอม 2 อะตอม มาสร้างพันธะกับอะตอมกลาง
- มุมพันธะจะมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อยู่รอบอะตอมกลาง รูปร่างของโมเลกุล จำนวนพันธะที่อยู่รอบอะตอมกลาง และค่าอิเล็กโตรเนกติกวิตตี

สภาพข้าวของโมเลกุล

- พันธะไม่มีข้าว เป็นพันธะที่เกิดจากธาตุชนิดเดียวกันมาสร้างพันธะร่วมกัน
- พันธะมีข้าว เป็นพันธะที่เกิดจากธาตุต่างชนิดมาสร้างพันธะร่วมกัน

แรงยึดเหนี่ยวยระหว่างโมเลกุล

- แรงแวนเดอร์วัลส์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ แรงลอนดอนเป็นแรงที่พบในสารประกอบโคเวเลนต์ทุกๆ โมเลกุลแต่จะเห็นได้ชัดเจนในโมเลกุลที่ไม่มีข้าว และแรงดึงดูดระหว่างข้าว เป็นแรงที่พบในโมเลกุลที่มีข้าว
- พันธะไฮดรเจน จะเกิดในโมเลกุลที่มีพันธะ H-N H-O หรือ H-F อยู่ในโมเลกุล

สารโคเวเลนต์โครงผลึกร่างตาข่าย

- เป็นสารประกอบโคเวเลนต์ที่มีการสร้างพันธะเชื่อมต่อกันเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ จึงส่งผลให้มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูงมาก เช่น เพชร แกรไฟต์ เป็นต้น

พันธะไอออนิก

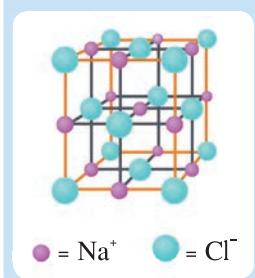
การเกิดพันธะไอออนิก

- พันธะไอออนิก เกิดจากธาตุที่เป็นโลหะเสียอิเล็กตรอน (เกิดเป็นไอออนบวก) ให้กับอลูฟิซึ่งจะรับอิเล็กตรอน (เกิดเป็นไอออนลบ) จากนั้นไอออนบวกและไอออนลบที่เกิดขึ้นจะดึงดูดกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้า

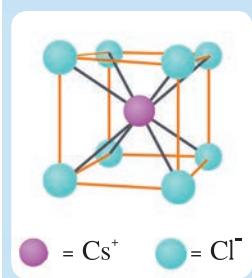
โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก

- โครงสร้างผลึกของของแข็งไอออนิกแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ ได้แก่

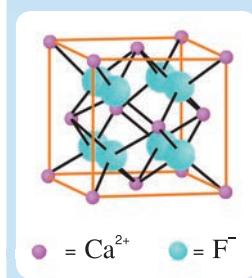
โครงสร้างผลึกแบบโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีรูปร่างเป็นทรงเหลี่ยมแปดหน้า



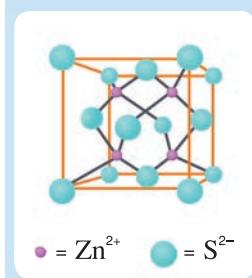
โครงสร้างผลึกแบบซีซีซีมคลอไรด์ (CsCl) มีรูปร่างเป็นรูปลูกบาศก์



โครงสร้างผลึกแบบแคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF_2) มีรูปร่างเป็นทรงเหลี่ยมสี่หน้า



โครงสร้างผลึกแบบซิงค์ไซลไฟฟ์ หรือซิงค์เบลน (ZnS) มีรูปร่างเป็นทรงเหลี่ยมสี่หน้า



▲ ภาพที่ 3.128

การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารประกอบไออกอนิก

- การเขียนสูตร ให้แสดงประจุบวกของโลหะหรือกลุ่มของประจุบวกที่มีอยู่ในสูตรก่อน จำนวนตามด้วยประจุลบของโลหะหรือกลุ่มของประจุลบ เมื่อร่วมประจุบวกกับประจุลบเข้าด้วยกันต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ และถ้ามีประจุบวกหรือประจุลบมากกว่า 1 กลุ่ม ให้ใส่ส่วนเลขและระบุจำนวนกลุ่มไว้ทางมุมล่างด้านขวามือ
- การเรียกชื่อ เรียกไออกอนิกซึ่งเป็นโลหะก่อนแล้วตามด้วยไออกอนลบซึ่งเป็นอโลหะ แล้วเปลี่ยนท้ายเสียงเป็น “ไอด์ (ide)”

พัลังงานกับการเกิดสารประกอบไออกอนิก

- กระบวนการเกิดสารประกอบไออกอนิกจะมีพัลังงาน 5 พัลังงาน เข้ามาเกี่ยวข้อง คือ พัลังงานการระเหิด พัลังงานการสลาย พันธะ พัลังงานไออกอนในเชิง พัลังงานสัมพรคภาพอิเล็กตรอน และพัลังงานโครงผลึกหรือพัลังงานแอลดีไซซ์

สมบัติของสารประกอบไออกอนิก

- สารประกอบไออกอนิกมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง มีความแข็ง แต่เบาะ ไม่นำไฟฟ้าในสถานะของแข็ง แต่จะนำไฟฟ้าในรูปของเหลวหรือสารละลาย และมีค่าส่วน率ละลายได้ในน้ำแตกต่างกัน

ปฏิกิริยาของสารประกอบไออกอนิก

- สมการแสดงการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไออกอนิก มี 3 ประเภท ดังนี้
 - สมการโมเลกุล เป็นสมการที่เขียนแสดงสูตรโมเลกุลของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ที่เข้าทำปฏิกิริยากัน
 - สมการไออกอนิกรุ่ม เป็นสมการที่เขียนไออกอนที่เข้าทำปฏิกิริยากัน ส่วนสารประกอบที่ไม่เกิดการแตกตัวจะไม่เขียนเป็นไออกอน
 - สมการไออกอนิกสุทธิ เป็นสมการที่เขียนไออกอนที่เข้าทำปฏิกิริยากัน ได้เกลือที่ไม่ละลายน้ำหรือแก๊ส โดยจะหักล้างไออกอน บวกและไออกอนลบที่เหมือนกันทางด้านสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ออก

พันธะโลหะ

การเกิดพันธะโลหะ

- เกิดจากโลหะเสียอิเล็กตรอนกล้ายเป็นไออกอนบวกแล้วอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาระเคลื่อนที่ไปทั่วทั้งก้อนโลหะ ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไออกอนบวกกับอิเล็กตรอนทั่วทุกตำแหน่งในก้อนโลหะ

สมบัติของโลหะ

- โลหะมีสมบัติที่สำคัญ ดังนี้ มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง นำความร้อนและไฟฟ้าได้ดี สามารถสะท้อนแสงได้หรือมีผิวมันวาว สามารถตีเป็นแผ่นหรือดึงเป็นเส้นได้ เมื่อเคาะจะมีเสียงกังวาน

Self Check

ให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจ โดยพิจารณาข้อความว่าถูกหรือผิด และบันทึกลงในสมุด หากพิจารณาข้อความไม่ถูกต้อง ให้กลับไปทบทวนเนื้อหาตามหัวข้อที่กำหนดให้

ถูก/ผิด กบกวนกี่หัวข้อ

- พันธะที่เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมของโลหะกับโลหะ คือ พันธะโคลเวเลนต์ 1.
- พัลังงานพันธะบ่งบอกถึงความแข็งแรงของพันธะ 1.
- สารประกอบไออกอนิกมีแต่สูตรอย่างง่าย ไม่มีสูตรโมเลกุล 2.
- พัลังงานไออกอัน เป็นพัลังงานที่ใช้แยกโมเลกุลของสารประกอบไออกอนิกในสถานะของแข็งให้เปลี่ยนเป็นไออกอนในสถานะแก๊ส 2.
- โลหะนำไฟฟ้าได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ 3.

บันทึกลงในสมุด

Unit Question 3



คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

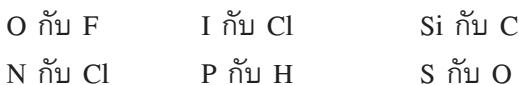
1. จงระบุชนิดของพันธะโคเวเลนต์ที่มีอยู่ในสารประกอบโคเวเลนต์หรือไอโอนต่อไปนี้



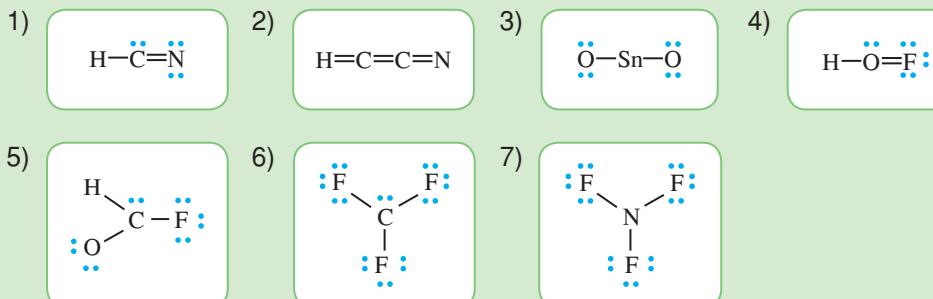
2. จงเขียนสูตรโครงสร้างแบบเส้นหรือแบบจุดของสารประกอบโคเวเลนต์หรือไอโอนต่อไปนี้



3. จงเขียนสูตรและเรียกชื่อสารประกอบโคเวเลนต์ที่เกิดจากการรวมตัวของธาตุคู่ต่อไปนี้

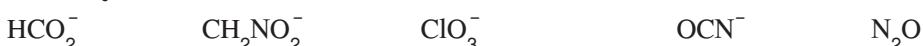


4. จงแก้ไขสูตรโครงสร้างลิวอิสต่อไปนี้ให้ถูกต้อง

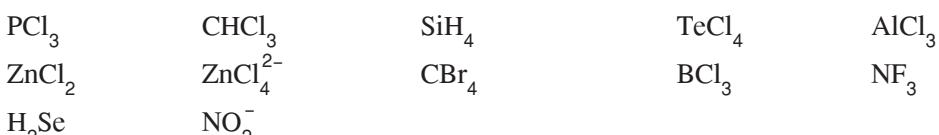


▲ ภาพที่ 3.129

5. จงเขียนสูตรโครงสร้างลิวอิสและแสดงเร็ซแนนซ์ของไอโอนต่อไปนี้



6. จงทำนายรูปร่างโมเลกุลของสารประกอบต่อไปนี้



7. จงเรียงลำดับสภาพขั้วโมเลกุลของสารประกอบต่อไปนี้ จากน้อยไปมาก



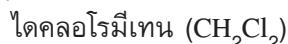
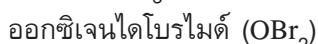
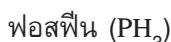
8. จงทำนายมุมพันธะของโมเลกุลต่อไปนี้



9. จงระบุชนิดของแร่ระหว่างโมเลกุลของสารประกอบต่อไปนี้



10. จงทำนายสภาพขั้วและทิศทางของขั้วในโมเลกุลโคเวเลนต์ต่อไปนี้



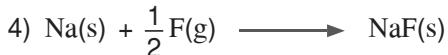
11. กำหนดจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของสารให้ ดังนี้

สาร	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)
กรดแอกซิคิก (CH_3COOH)	16.5	118.1
ไಡเอทิลօไฮดร์ ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$)	-116.3	34.6

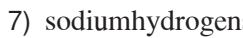
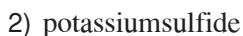
สารเหตุได้มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเป็นพันธะไฮโดรเจนด้วย เพราะเหตุใด

12. เพราะเหตุใดแก๊สคลอรีนจึงมีจุดเดือดสูงกว่าแก๊สออกซิเจน

13. จงบอกชื่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานของปฏิกิริยาต่อไปนี้



14. จงเขียนสูตรของสารประกอบต่อไปนี้



15. จงเขียนสมการไออ่อนิกสุทธิของปฏิกิริยาต่อไปนี้



16. จงระบุว่าสารประกอบไออ่อนิกแต่ละคู่ต่อไปนี้ HCl กับ MgO LiF กับ LiBr และ Mg_3N_2 กับ NaCl สารชนิดใดให้ค่าพลังงานแลตทิชสูงกว่า พร้อมให้เหตุผลประกอบ

- 17.** สารประกอบไฮออนิกเมื่อหลอมเหลวจะสามารถนำไฟฟ้าได้แตกต่างจากตอนเป็นของแข็งหรือไม่ อย่างไร
- 18.** จงใช้วงจรบอร์น - ชาร์เบอร์ คำนวนหาพลังงานแลตทิชของ NaCl
 กำหนด ความร้อนของการระเหิดของ Na เท่ากับ 108 kJ/mol
 ความร้อนของการก่อเกิด (ΔH_f°) ของ NaCl เท่ากับ -411 kJ/mol
 พลังงานที่ใช้แยก $\frac{1}{2} \text{ mol}$ ของ Cl_2 เป็นอะตอม Cl เท่ากับ 121.4 kJ
 พลังงานไอออกไซเดชันลำดับที่ 1 ของ Na เท่ากับ 495.9 kJ/mol
 พลังงานไอออกไซเดชันลำดับที่ 1 ของ Cl เท่ากับ $1,251 \text{ kJ/mol}$
 พลังงานสัมพรร杵ภาพอิเล็กตรอนของ Na เท่ากับ 53 kJ/mol
 พลังงานสัมพรร杵ภาพอิเล็กตรอนของ Cl เท่ากับ 349 kJ/mol
- 19.** จงเขียนแผนภาพแสดงการเปลี่ยนพลังงานในการเกิดสารประกอบไฮออนิกจากธาตุที่กำหนดให้ต่อไปนี้
 ลิเทียมกับคลอรีน แมกนีเซียมกับฟลูออรีน
- 20.** สารประกอบไฮออนิกและโลหะเมื่อเป็นของแข็งและเมื่อหลอมเหลวจะสามารถนำไฟฟ้าได้แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร



สารบัญ

พงศ์ธร นันท์ธเนศ และสุนทร ภู่วีปริชาเลิศ. 2555. สารและสมบัติของสาร. กรุงเทพมหานคร:
อักษรเจวิญทัศน์.

ศึกษาธิการ, กระทรวง. (ม.ป.ป.). ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้
วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน
พุทธศักราช 2551. ม.ป.ท. : ม.ป.พ.

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. 2555. หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 1
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4–6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ สกสค.
ลาดพร้าว.

Brand, I., and Grime, R. 2002. **Chemistry 11–14**. Pearson Education Ltd.

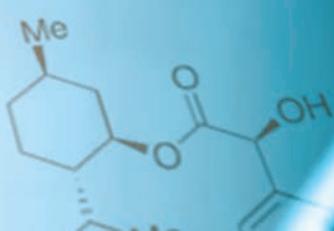
Heyworth, R.M., and Briggs, J.G.R. 2007. **Chemistry Insights ‘O’ level**. 2nd edition.
Singapore : Pearson Education Ltd.

Jess, T. et al. 2007. **Complete Text & Guide Chemistry SPM**. Malaysia : KHL Printing Co.
Sdn. Bhd.

Steven, S.Z. et al. 2006. **World of Chemistry**. Boston : Houghton Mifflin Company.

Tan, Y.T. et al. 2016. **Chemistry Matters GEC ‘O’ level**. 2nd edition. Singapore : Marshall
Cavendish Education Pte Ltd.

Tan, Y.T. et al. 2010. **Discovery Chemistry Noemal (A) 3N/4N**. Singapore : Marshall
Cavendish Education Pte Ltd.



ใบประกันคุณภาพสื่อการเรียนรู้รายวิชาเพิ่มเติม

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เควี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1 ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 เล่มนี้ บริษัท อักษรเจริญทัศน์ จ.ก.ด เป็นผู้จัดพิมพ์เผยแพร่ และจำหน่าย โดยได้จัดทำคำขอใบอนุญาตวิชาเพิ่มเติมที่มีทั้งผลการเรียนรู้ สาระการเรียนรู้เพิ่มเติมและองค์ประกอบสำคัญอื่นที่สำนักพิมพ์จัดทำขึ้น เพื่อให้สถานศึกษาได้ใช้ยกับหลักสูตรของสถานศึกษา และพิจารณาเลือกใช้หนังสือนี้ประกอบการจัดการเรียนรู้ ให้สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของตนได้ตามความเหมาะสม

- | | |
|---------------|----------------------------------|
| ผู้เรียบเรียง | 1. นายพงศธร นันทรเนศ |
| | 2. นางพรพรหม ชัยฉัตรพรสุข |
| | 3. นายสุนทร ภู่วีระชาเติศ |
| | 4. ดร.ศิริศักดิ์ โลคลพามาน |
| ผู้ตรวจ | 1. รศ. ดร.นวลจิตต์ เชาวกิรติพงศ์ |
| | 2. ผศ.สันติ ศรีประเสริฐ |
| | 3. ดร.บุญทวี เลิศปัญญาพรชัย |
| บรรณาธิการ | นางสาวจันจิรา รัตนนันทเดช |

บริษัท อักษรเจริญทัศน์ จ.ก.ด จำกัด ขอรับรองว่า ผู้เรียบเรียง ผู้ตรวจ และบรรณาธิการ ดังกล่าว เป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถในการจัดทำหนังสือนี้ให้มีความถูกต้อง และมีคุณภาพในการจัดการเรียนรู้ ตามวัตถุประสงค์ของรายวิชาเพิ่มเติมที่กำหนด

หากผู้ใช้หนังสือหรือสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานพบว่า หนังสือเล่มนี้มีข้อบกพร่อง เนื้อหาไม่ถูกต้อง เกิดผลเสียหายต่อการเรียนรู้ สร่งผลกระทบตั้งด้านคุณธรรม จริยธรรม และความมั่นคง ของชาติ เมื่อบริษัทฯ ได้ทราบแล้ว บริษัทฯ ยินดีทำการจำหน่ายทันที และเรียกเก็บหนังสือที่จำหน่ายทั้งหมด เพื่อแก้ไขให้ถูกต้อง ตลอดจนชดใช้ค่าเสียหายที่เกิดขึ้นจริงให้กับผู้ที่ได้รับความเสียหายนั้น ทั้งนี้ ให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติคุ้มครองผู้บริโภค พ.ศ. 2522 พระราชบัญญัติคุ้มครองผู้บริโภค (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2541 และพระราชบัญญัติคุ้มครองผู้บริโภค (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2556 รวมทั้งยินยอมให้สำนักงานคณะกรรมการการศึกษา ขั้นพื้นฐานถอดถอนรายชื่อหนังสือนี้ออกจากบัญชีกำหนดสื่อการเรียนรู้สำหรับเลือกใช้ในสถานศึกษาไปก่อน จนกว่าจะได้รับแจ้งว่ามีการแก้ไขแล้ว พร้อมทั้งการแจ้งประชาสัมพันธ์ให้สถานศึกษาทราบ



(นายชัยณรงค์ ลิมป์กิตติสิน)

กรรมการผู้จัดการ บริษัท อักษรเจริญทัศน์ จ.ก.ด จำกัด