Dream & PASSION

LECTURE CHEMISTRY

สรุปเคมี มัธยมปลาย

ฉบับสมบูรณ์

- Lecture เนื้อหาเคมี ม.4, ม.5, ม.6 อย่างครบถ้วน! พร้อมแนวข้อสอบที่ออกสอบบ่อย
- อ่านง่าย เข้าใจเร็ว ด้วย Mind Map, ตารางสรุป และรูปภาพประกอบ
- มั่นใจ! พร้อมพิชิต O-NET, A-Level, โควตา, ชิงทุน, เพิ่มเกรดในชั้นเรียน และเตรียมสอบในระบบ TCAS ใหม่

โดย สุกฤษฎิ์ วิทยารัมภะ
วิศวกรรมศาสตร์ (เคมีวิศวกรรม) จุฬาฯ

Dream & PASSION

LECTURE CHEMISTRY

สรุปเคมี มัธยมปลาย

ฉบับสมบูรณ์

LECTURE CHEMISTRY สรุปเคมี มัธยมปลาย ฉบับสมบูรณ์

ผู้เขียน สุกฤษฎิ์ วิทยารัมภะ
บรรณาธิการ เมทิณี สีมุเทศ
ผู้ตรวจทานและพิสูจน์อักษร รีย์ดา แจ่มศรี, สมจิตต์ สมปอง
ออกแบบปก กานติ์ชนิต ตวงสิทธิตานนท์
ISBN 978-616-381-269-8
ราคา 279 บาท
จัดทำโดย บริษัท อินส์พัล จำกัด
Dream & PASSION
สำนักพิมพ์ Dream&Passion
379/13 เอกมัยคอมเพล็กซ์ ถนนสุขุมวิท 63
แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
โทร. 08-4875-5868, 08-9200-1303
E-mail : dp_publish@hotmail.com
www.inspal.co.th
จัดจำหน่ายโดย บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
เลขที่ 1858/87-90 ถนนเทพรัตน
แขวงบางนาใต้ เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260
โทร. 0-2826-8000 โทรสาร 0-2826-8999
www.se-ed.com

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ
National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

สุกฤษฎิ์ วิทยารัมภะ.
Lecture chemistry สรุปเคมี มัธยมปลาย ฉบับสมบูรณ์.-- กรุงเทพฯ : อินส์พัล, 2565.
456 หน้า.
1. เคมี -- การศึกษาและการสอน (มัธยมศึกษา). I. ชื่อเรื่อง.
540.76
ISBN 978-616-381-269-8

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ห้ามคัดลอก ลอกเลียน ทำซ้ำ ทำสำเนา ไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดหรือทั้งหมดของหนังสือนี้ หรือนำไปเผยแพร่ในช่องทางต่างๆ โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัทเป็นลายลักษณ์อักษร
โลโก้ เครื่องหมายการค้า ชื่อของสินค้าและบริการที่อ้างถึง เป็นของบริษัทนั้นๆ

คำนำ

หนังสือ **“LECTURE CHEMISTRY สรุปเคมี มัธยมปลาย ฉบับสมบูรณ์”** เล่มนี้ เขียนขึ้นมาเพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อนักเรียนที่เรียนวิชาเคมีในสายวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ ตลอดจนผู้ที่สนใจในการเพิ่มพูนความรู้เกี่ยวกับวิชาเคมี เนื้อหาและแบบฝึกหัดภายในเล่มอธิบายอย่างละเอียดและมีวิธีการแก้โจทย์ปัญหาที่พบได้บ่อยตามบทเรียนในโรงเรียน ตรงตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) ของกระทรวงศึกษาธิการ ครอบคลุมเนื้อหาสาระการเรียนรู้เคมีพื้นฐานและเคมีเพิ่มเติม ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 - 6 เหมาะกับการเตรียมความพร้อมในการสอบเก็บคะแนน สอบกลางภาค และสอบปลายภาค รวมถึงสอบแข่งขันในสนามสอบต่างๆ

สำหรับนักเรียนที่ต้องการเรียนให้ได้ผลดี เกิดความเข้าใจในเรื่องต่างๆ ของวิชาเคมี จะต้องศึกษารายละเอียดของเนื้อหานั้นๆ อย่างละเอียด โดยศึกษาทฤษฎีและเนื้อหาให้เข้าใจ แล้วฝึกทำแบบฝึกหัดด้วยตนเอง เมื่อทำได้แล้วจะต้องตรวจสอบกับเฉลยว่าตรงกันหรือไม่ การหมั่นทบทวนเนื้อหาและทำแบบฝึกหัดซ้ำๆ จะทำให้เกิดความคุ้นชินมากที่สุด แล้วนักเรียนจะสามารถนำความรู้ความเข้าใจนี้ไปใช้ในการเรียนและการสอบได้

ผู้เขียนหวังว่านักเรียนจะได้รับความรู้ความเข้าใจจากการอ่านหนังสือเล่มนี้ อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเรียนและเป็นพื้นฐานการเรียนรู้ในระดับที่สูงขึ้นต่อไป

สุกฤษฎิ์ วิทยารัมภะ

สารบัญ

บทที่ 1 แบบจำลองอะตอมและตารางธาตุ **10**

- แบบจำลองอะตอม 12
- สัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ 18
- การจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงาน 19
- ตารางธาตุ 24
- แนวโน้มสมบัติของธาตุตามหมู่และตามคาบ 26
- แบบฝึกหัด บทที่ 1 29

บทที่ 2 พันธะเคมี **32**

- ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพันธะเคมี 33
- พันธะไอออนิก 35
- พันธะโคเวเลนต์ 42
- พันธะโลหะ 52
- ตารางเปรียบเทียบสมบัติของสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ โครงผลึกร่างตาข่าย และโลหะ 53
- แบบฝึกหัด บทที่ 2 54

บทที่ 3 สมบัติของธาตุและสารประกอบ **57**

- สมบัติของธาตุและสารประกอบเรพรีเซนเททีฟ 58
- ธาตุแทรนซิชัน 64
- ธาตุกัมมันตรังสี 67
- แบบฝึกหัด บทที่ 3 76

บทที่ 4 ปริมาณสารสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี **79**

- ระบบและสิ่งแวดล้อม 80
- มวลอะตอมและมวลโมเลกุล 80
- โมล 83
- สารละลาย 85
- การคำนวณปริมาณสารในสูตรเคมี 95

- การคำนวณปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมี 98
- สมการเคมีที่ควรรู้ 103
- แบบฝึกหัด บทที่ 4 104

บทที่ 5 ของแข็ง ของเหลว แก๊ส **106**

- ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสถานะของสสาร 107
- ของแข็ง 109
- ของเหลว 112
- แก๊ส 115
- เทคโนโลยีที่เกี่ยวกับสมบัติของของแข็ง ของเหลว และแก๊ส 122
- แบบฝึกหัด บทที่ 5 123

บทที่ 6 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี **126**

- อัตราการเปลี่ยนแปลงสารและอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 127
- ประเภทของอัตราการเกิดปฏิกิริยา 129
- แนวคิดและทฤษฎีในการเกิดปฏิกิริยาเคมี 131
- พลังงานกับการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี 132
- ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 134
- กฎอัตราและการคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 137
- แบบฝึกหัด บทที่ 6 139

บทที่ 7 สมดุลเคมี **142**

- ลักษณะของปฏิกิริยาเคมี 143
- ภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมี 144
- ค่าคงที่สมดุล 146
- การรบกวนสมดุลตามหลักของเลอชาเตอลิเอ 150
- แบบฝึกหัด บทที่ 7 156

บทที่ 8 กรด-เบส **159**

- สมบัติทั่วไปของสารละลายกรด-เบส 160
- การแตกตัวของกรด-เบส 162
- ทฤษฎีกรด-เบส 168
- pH ของสารละลายกรด-เบส 172
- ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบส 174
- อินดิเคเตอร์ 176
- การไทเทรตของกรด-เบส 177
- สารละลายบัฟเฟอร์ 179
- แบบฝึกหัด บทที่ 8 184

บทที่ 9 ไฟฟ้าเคมี **186**

- ประเภทของปฏิกิริยาเคมี 188
- ปฏิกิริยารีดอกซ์ 189
- เลขออกซิเดชัน 189
- การเขียนและดุลสมการรีดอกซ์ 191
- เซลล์ไฟฟ้าเคมี 194
- แบบฝึกหัด บทที่ 9 209

บทที่ 10 ธาตุและสารประกอบในอุตสาหกรรม **212**

- อุตสาหกรรมแร่โลหะ 213
- อุตสาหกรรมแร่รัตนชาติ 221
- อุตสาหกรรมเซรามิก 223
- อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับโซเดียมคลอไรด์ 228
- อุตสาหกรรมการผลิตโซดาไฟ (NaOH) 229
- อุตสาหกรรมปุ๋ย 233
- แบบฝึกหัด บทที่ 10 236

บทที่ 11 เคมีอินทรีย์ **239**

- สารประกอบไฮโดรคาร์บอน 240
- สารประกอบอินทรีย์ 249
- สารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน 251
- แบบฝึกหัด บทที่ 11 268

บทที่ 12 เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์และผลิตภัณฑ์ **271**

- ถ่านหิน 272
- หินน้ำมัน 275
- ปิโตรเลียม 277
- แก๊สธรรมชาติ 283
- พอลิเมอร์ 286
- ภาวะมลพิษที่เกิดจากการผลิตและการใช้ผลิตภัณฑ์จากเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ 296
- แบบฝึกหัด บทที่ 12 299

บทที่ 13 สารชีวโมเลกุล **302**

- โปรตีน 303
- กรดนิวคลีอิก 310
- คาร์โบไฮเดรต 311
- ลิพิด 315
- แบบฝึกหัด บทที่ 13 324

ตะลุยข้อสอบเคมี พิชิตทุกสนามสอบ **327**

- ตะลุยข้อสอบ ชุดที่ 1 328
- ตะลุยข้อสอบ ชุดที่ 2 343
- ตะลุยข้อสอบ ชุดที่ 3 359

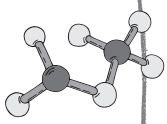
เฉลยแบบฝึกหัดและเฉลยข้อสอบ **374**

เคมี

1 แบบจำลองอะตอมและตารางธาตุ

- แบบจำลองอะตอม
- สัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ
- การจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงาน
- ตารางธาตุ
- แนวโน้มสมบัติของธาตุตามหมู่และตามคาบ

2 พันธะเคมี



- ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพันธะเคมี
- พันธะไอออนิก
- พันธะโคเวเลนต์
- พันธะโลหะ
- ตารางเปรียบเทียบสมบัติของสารประกอบไอออนิก สารโคเวเลนต์ โครงผลึกร่างตาข่าย และโลหะ

13 สารชีวโมเลกุล

- โปรตีน
- กรดนิวคลีอิก
- คาร์โบไฮเดรต
- ลิพิด

12 เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์และผลิตภัณฑ์

- ถ่านหิน
- หินน้ำมัน
- ปิโตรเลียม
- แก๊สธรรมชาติ
- พอลิเมอร์
- ภาวะมลพิษที่เกิดจากการผลิตและการใช้ผลิตภัณฑ์จากเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์

9 ไฟฟ้าเคมี

- ประเภทของปฏิกิริยาเคมี
- ปฏิกิริยารีดอกซ์
- เลขออกซิเดชัน
- การเขียนและดุลสมการรีดอกซ์
- เซลล์ไฟฟ้าเคมี

11 เคมีอินทรีย์

- สารประกอบไฮโดรคาร์บอน
- สารประกอบอินทรีย์
- สารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน

10 ธาตุและสารประกอบในอุตสาหกรรม

- อุตสาหกรรมแร่โลหะ
- อุตสาหกรรมแร่รัตนชาติ
- อุตสาหกรรมเซรามิก
- อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับโซเดียมคลอไรด์
- อุตสาหกรรมการผลิตโซดาไฟ (NaOH)
- อุตสาหกรรมปุ๋ย

มัธยมปลาย

3 สมบัติของธาตุและสารประกอบ

- สมบัติของธาตุและสารประกอบเรพรีเซนเททีฟ
- ธาตุแทรนซิชัน
- ธาตุกัมมันตรังสี

4 ปริมาณสารสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี

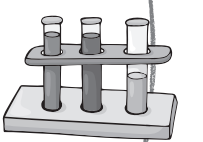
- ระบบและสิ่งแวดล้อม
- มวลอะตอมและมวลโมเลกุล
- โมล
- สารละลาย
- การคำนวณปริมาณสารในสูตรเคมี
- การคำนวณปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมี
- สมการเคมีที่ควรรู้

5 ของแข็ง ของเหลว แก๊ส

- ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสถานะของสสาร
- ของแข็ง
- ของเหลว
- แก๊ส
- เทคโนโลยีที่เกี่ยวกับสมบัติของของแข็ง ของเหลว และแก๊ส

6 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

- อัตราการเปลี่ยนแปลงสารและอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
- ประเภทของอัตราการเกิดปฏิกิริยา
- แนวคิดและทฤษฎีในการเกิดปฏิกิริยาเคมี
- พลังงานกับการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี
- ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
- กฎอัตราและการคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี



7 สมดุลเคมี

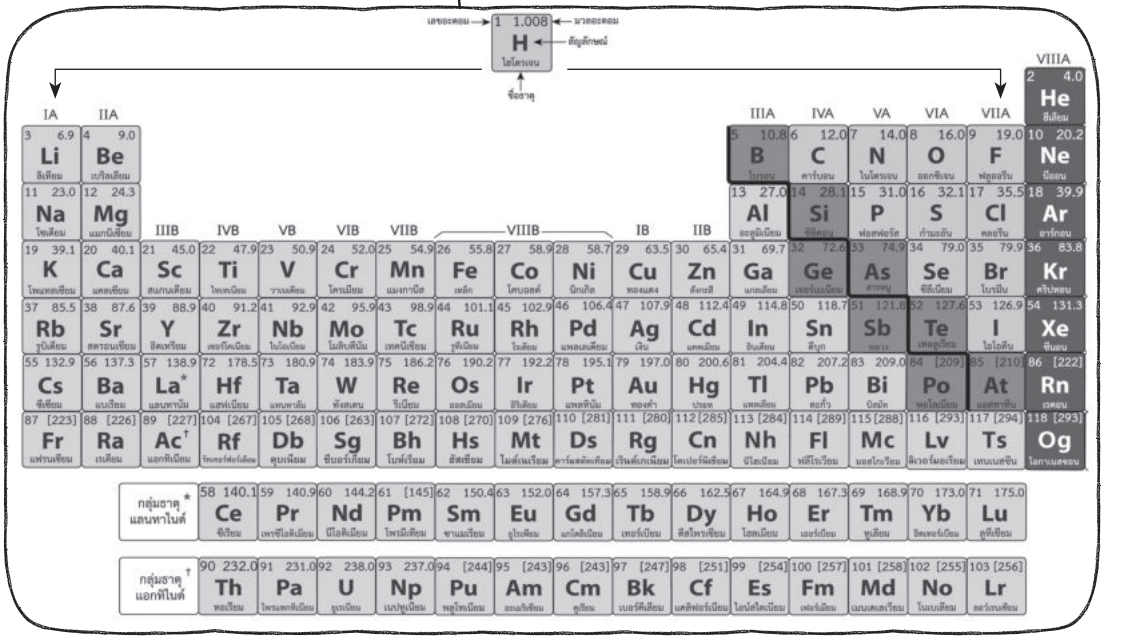
- ลักษณะของปฏิกิริยาเคมี
- ภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมี
- ค่าคงที่สมดุล
- การรบกวนสมดุลตามหลักของเลอชาเตอลิเอ

8 กรด-เบส

- สมบัติทั่วไปของสารละลายกรด-เบส
- การแตกตัวของกรด-เบส
- ทฤษฎีกรด-เบส
- pH ของสารละลายกรด-เบส
- ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบส
- อินดิเคเตอร์
- การไทเทรตของกรด-เบส
- สารละลายบัฟเฟอร์

บทที่ 1
แบบจำลองอะตอม และตารางธาตุ

บทที่ 1 แบบจำลองอะตอมและตารางธาตุ



แบบจำลองอะตอม

แนวคิดเกี่ยวกับอะตอม

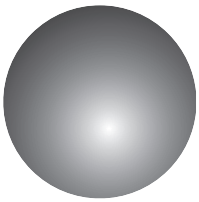
สมัยโบราณ

แรกเริ่มเชื่อว่าสสารต่างๆ ประกอบด้วยอนุภาคที่มีสมบัติจำเพาะและมีขนาดเล็กมากจำนวนหลายๆ อนุภาคมารวมกันเป็นวัตถุชนิดต่างๆ นักปราชญ์ 2 ท่าน คือ **ลิวซิปปุส** (อาจารย์) และ **ดิโมคริตุส** (ศิษย์) เสนอว่า “เมื่อแบ่งสารให้มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ ในที่สุดจะได้หน่วยย่อยที่เล็กที่สุดซึ่งไม่สามารถแบ่งได้อีก เรียกว่า **อะตอม (Atom)**”

สมัยต่อมา

เนื่องจากอนุภาคนั้นไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า จึงได้มีการพัฒนาภาพแสดงโครงสร้างของอนุภาค ที่เรียกว่า **แบบจำลองอะตอม** ขึ้น

แบบจำลองอะตอมของดอลตัน



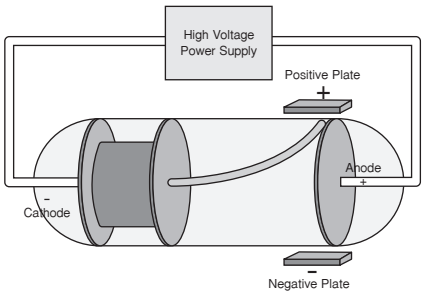
แบบจำลองอะตอมของดอลตัน

จอห์น ดอลตัน (John Dalton) ได้เสนอทฤษฎีอะตอมมีใจความว่า

1. สสารทุกชนิดประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กที่สุด เรียกว่า **อะตอม**
2. อะตอมไม่สามารถสร้างขึ้น แบ่งแยก หรือทำลายได้
3. อะตอมของธาตุเดียวกันย่อมมีสมบัติเหมือนกัน และมีความแตกต่างจากอะตอมของธาตุอื่น
4. สารประกอบเกิดจากการรวมกันทางเคมีระหว่างอะตอมของธาตุต่างชนิดกัน ในอัตราส่วนที่เป็นเลขลงตัวน้อยๆ

แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

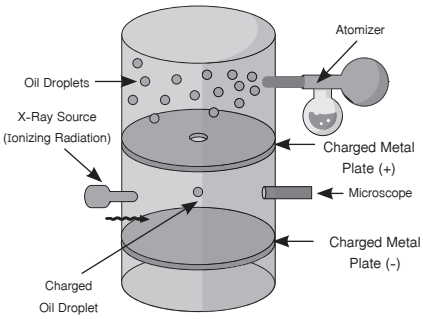
เซอร์โจเซฟ จอห์น ทอมสัน (Sir Joseph John Thomson) ได้ทดลองการนำไฟฟ้าของแก๊สในหลอดแก้วสุญญากาศ โดยใช้แผ่นโลหะ 2 แผ่น คือ แคโทด (ขั้วลบ) และแอโนด (ขั้วบวก) ต่อกับวงจรไฟฟ้าความต่างศักย์สูง (10,000 โวลต์) และต่อกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ทอมสันพบเห็นรังสีพุ่งจากแคโทดไปแอโนด เรียกว่า **รังสีแคโทด** อีกทั้งยังเปลี่ยนชนิดของแก๊สในหลอดแก้วและศึกษาสมบัติของรังสีที่เกิดขึ้น



การทดลองของทอมสัน

จึงสรุปได้ว่า รังสีแคโทดประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุลบ เรียกว่า **อิเล็กตรอน** ซึ่งเป็นส่วนย่อยของทุกธาตุ คำนวณได้จาก **อัตราส่วนของประจุต่อมวล (q_e/m_e) ≈ -1.76 × 10^8 C/g** คงที่ไม่ขึ้นกับชนิดของธาตุ

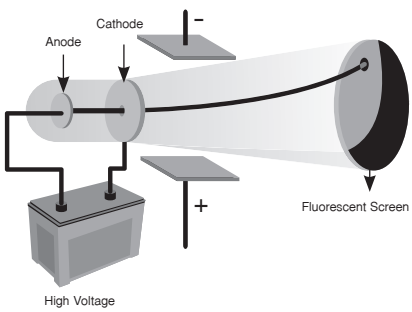
รอเบิร์ต แอนดรูส์ มิลลิแกน (Robert Andrews Millikan) ทดลองฉีดละอองน้ำมันและยิงรังสีเอกซ์ในอากาศเพื่อให้อิเล็กตรอนไปเกาะติดกับละอองน้ำมัน หลังจากที่ละอองน้ำมันตกตามแรงโน้มถ่วงของโลกลงมาผ่านสนามไฟฟ้า จึงทำการปรับความต่างศักย์จนกระทั่งละอองน้ำมันลอยนิ่ง และทำการคำนวณค่าประจุอิเล็กตรอน จากสมการสมดุลของแรง : qE = mg



การทดลองของมิลลิแกน

จึงสรุปได้ว่า ค่าประจุของอิเล็กตรอน $q_e = 1.602 \times 10^{-19}$ C (ประจุไฟฟ้า -1)
มวลของอิเล็กตรอน $m_e = 9.11 \times 10^{-28}$ g

ออยเกน โกลด์ชไตน์ (Eugen Goldstein) ทดลองโดยใช้หลอดแก้วสุญญากาศเช่นเดียวกับทอมสัน แต่สลับขั้วแคโทดกับแอโนด แล้วต่อกับวงจรไฟฟ้าความต่างศักย์สูง (10,000 โวลต์) และสนามไฟฟ้า พบเห็นรังสีพุ่งจากขั้วแอโนดเช่นกัน แต่รังสีแอโนดประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุเป็นบวก และ**ค่าอัตราส่วนของประจุต่อมวล (q/m) แตกต่างกัน**ตามชนิดของธาตุ ทำให้ทราบว่า รังสีนั้นไม่ได้พุ่งออกมาจากแอโนดโดยตรง แต่รังสีเกิดจากอะตอมของแก๊สในหลอดแก้วที่เสียอิเล็กตรอนกลายเป็นไอออนบวกวิ่งทะลุขั้วแคโทดออกมา

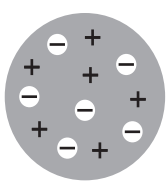


การทดลองของโกลด์ชไตน์

วิลเฮล์ม เวน (Wilhelm Wien) ศึกษารังสีบวก เช่นเดียวกับวิธีหาค่า (q_e/m_e) ของรังสีแคโทดของทอมสัน โดยใช้แก๊สไฮโดรเจน ปรากฏว่าค่าอัตราส่วนของประจุต่อมวล (q/m) มีค่าต่ำมาก จึงสมมติว่าเป็นอนุภาคมูลฐานเรียกว่า **โปรตอน**

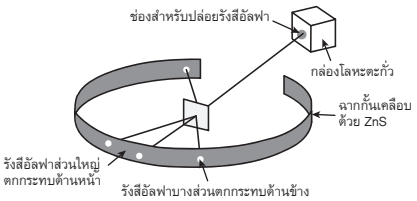
คำนวณ ค่าประจุของโปรตอน $q_p = 1.602 \times 10^{-19}$ C (ประจุไฟฟ้า +1)
มวลของโปรตอน $m_p = 1.673 \times 10^{-24}$ g

จากผลการทดลองของโกลด์ชไตน์ทำให้ทอมสันสามารถสรุปได้ว่า “อะตอมมีลักษณะเป็นทรงกลม โดยมีโปรตอนและอิเล็กตรอนกระจายอยู่ อะตอมมีประจุเป็นกลางเพราะจำนวนประจุบวกเท่ากับประจุลบ เรียกว่า Plum Pudding Model”


แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

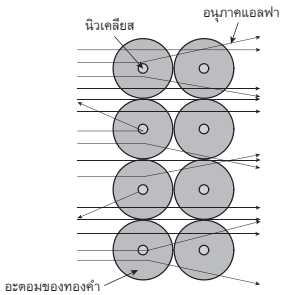
แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

ลอร์ด เออร์เนสต์ รัทเทอร์ฟอร์ด (Lord Ernest Rutherford) ได้ทดลองยิงอนุภาคแอลฟาที่ได้จากการสลายตัวของฮีเลียมไปยังแผ่นทองคำเปลวบางๆ แล้วสังเกตทิศทางการเบี่ยงเบนของรังสี



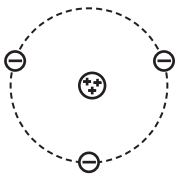
การทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด

ผลการทดลองพบว่า อนุภาคแอลฟาส่วนใหญ่เดินทางเป็นเส้นตรง แสดงว่าอะตอมมีที่ว่างอยู่มาก บางส่วนเบี่ยงเบนเล็กน้อย และมีสะท้อนกลับมาบ้างแต่น้อยมาก จึงขัดแย้งกับทอมสัน เพราะหากอะตอมมีโปรตอนกระจายอยู่ อนุภาคแอลฟาที่หนักกว่าโปรตอนมากไม่น่าจะสะท้อนกลับมาได้



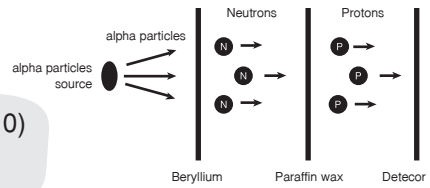
ผลการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด

รัทเทอร์ฟอร์ดจึงสรุปได้ว่า “อะตอมประกอบด้วยใจกลางที่มีขนาดเล็ก มีความหนาแน่นมาก และมีประจุไฟฟ้าบวก เรียกว่า **นิวเคลียส** และมีอิเล็กตรอนวิ่งอยู่รอบๆ”



แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

เซอร์ เจมส์ แชดวิก (Sir James Chadwick) ทดลองยิงอนุภาคแอลฟาจากธาตุพอโลเนียมไปยังโลหะเบริลเลียม ทำให้อนุภาคชนิดหนึ่งที่ไม่มีประจุไฟฟ้าหลุดออกมาจากนิวเคลียสของเบริลเลียม ซึ่งมีมวลใกล้เคียงกับโปรตอน จึงเรียกว่า **นิวตรอน**



การทดลองของแชดวิก

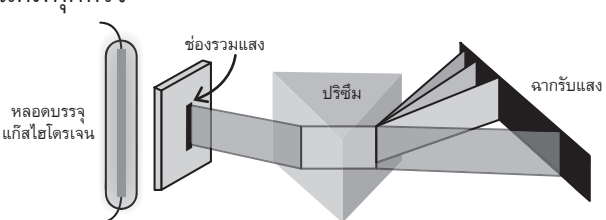
จึงสรุปว่า ค่าประจุของนิวตรอน q_n = 0 C (ประจุไฟฟ้า 0)
มวลของนิวตรอน m_n = 1.675×10^{-24} g

จากการทดลองทั้งหลายของนักวิทยาศาสตร์ข้างต้น จึงทราบได้ว่า อนุภาคมูลฐานภายในอะตอมมี 3 ชนิด ได้แก่ อิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน

แบบจำลองอะตอมของโบร์

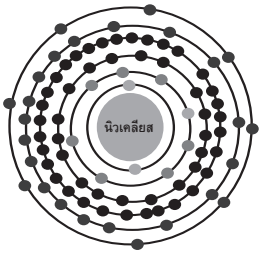
นีลส์ เฮนริค เดวิด โบร์ (Niels Henrik David Bohr) ศึกษาสเปกตรัมของไฮโดรเจน

ผลการทดลองพบว่า สเปกตรัมเกิดจากการคายอิเล็กตรอนจากสภาวะกระตุ้นกลับลงสู่สภาวะพื้น แต่เกิดคำถามว่า ไฮโดรเจนที่มีอิเล็กตรอน 1 ตัว ทำไมถึงปล่อยสเปกตรัมออกมาได้ถึง 4 ช่วงในรูปของแสง และคงที่เหมือนเดิมทุกครั้ง



การทดลองของ นีลส์ โบร์

นีลส์ โบร์ จึงได้ศึกษาและสรุปได้ว่า “อิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสเป็นวง แต่ละวงมีระดับพลังงานเฉพาะตัวและมีหลายชั้น”



แบบจำลองอะตอมของ นีลส์ โบร์

การศึกษาสเปกตรัมในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นพลังงานที่ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตั้งฉากกันและตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่นด้วย จะแสดงในรูปของพลังงาน ความถี่และความยาวคลื่น

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

โดย E = พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีหน่วยเป็น จูล (J)

h = 6.626×10^{-34} จูล·วินาที (J·s) เรียกว่า “ค่าคงที่ของพลังค์”

ν = ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)

c = ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ มีค่าประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที (m/s)

λ = ความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีหน่วยเป็น เมตร (m)

ตัวอย่าง

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งมีความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร จะมีพลังงานและความถี่เท่าใด

<u>วิธีทำ</u>

จากสูตร $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

แทนค่าหาพลังงานจากสมการ

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

$$= \frac{(6.626 \times 10^{-34})(3 \times 10^{8})}{560 \times 10^{-9}}$$

$$= \frac{19.878 \times 10^{-26}}{560 \times 10^{-9}}$$

$$= 3.55 \times 10^{-19} \text{ J}$$

สิ่งที่ทราบ

$c = 3 \times 10^8$ m/s

$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J·s

$\lambda = 560$ nm

เปลี่ยนหน่วยเป็น m

$\lambda = 560 \times 10^{-9}$ m

ตัวอย่าง

แทนค่าหาความถี่จากสมการ

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

$$= \frac{3 \times 10^{8}}{560 \times 10^{-9}}$$

$$= 5.36 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

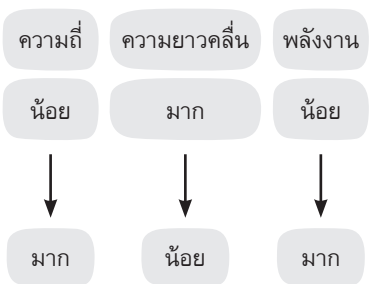
ดังนั้น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีพลังงาน 3.55×10^{-19} จูล และมีความถี่ 5.36×10^{14} เฮิรตซ์

ข้อสังเกต

hc เป็นผลคูณของค่าคงที่ มีค่าประมาณ 2×10^{-25} หากจำได้จะทำให้ลดเวลาในการคำนวณได้

สเปกตรัมของแสงขาวเป็นแสงที่ตาของคนเรามองเห็น (ช่วงความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร)

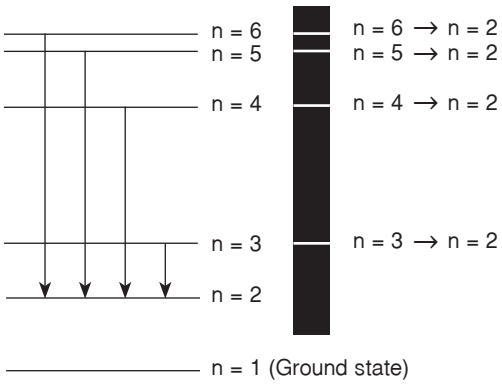
สเปกตรัมของแสงขาว	ความยาวคลื่น (nm)
แสงสีม่วง	400 - 420
แสงสีคราม - น้ำเงิน	420 - 490
แสงสีเขียว	490 - 580
แสงสีเหลือง	580 - 590
แสงสีแสด	590 - 650
แสงสีแดง	650 - 700



เส้นสเปกตรัมของธาตุสังเกตได้จากสีเปลวไฟ กล่าวคือสารประกอบโลหะชนิดเดียวกันจะมีสีเดียวกัน ซึ่งเกิดจากการรับพลังงานของอิเล็กตรอนที่มีค่าเฉพาะค่าหนึ่ง จากนั้นจะคายพลังงานออกมาเพื่อกลับมาอยู่ที่เดิมทำให้ตัวเองมีพลังงานต่ำลง ซึ่งพลังงานที่คายออกมาจะอยู่ในรูปของแสงเรียกว่า **เส้นสเปกตรัมของธาตุ** แบ่งออกเป็น 3 ประเภท

1. สเปกตรัมต่อเนื่อง
2. สเปกตรัมไม่ต่อเนื่อง แบบ Emission Line
3. สเปกตรัมไม่ต่อเนื่อง แบบ Absorption Line

การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน พิจารณา ΔE_{xy} : พลังงานที่อิเล็กตรอนเปลี่ยนจากระดับพลังงาน x มายังระดับพลังงาน y มีค่าเท่ากับ ΔE_{xy}



การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน

พลังงานของอิเล็กตรอน ยังสามารถใช้หน่วยอิเล็กตรอนโวลต์แทนหน่วยจูล โดยที่ 1 eV = 1.6×10^{-19} J

ตัวอย่าง

พิจารณาตารางค่าพลังงานของสเปกตรัมของไฮโดรเจน

เส้นสเปกตรัม	ความยาวคลื่น (nm)	การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน
สีม่วง	410	$E_5 \rightarrow E_1$
สีน้ำเงิน	434	$E_4 \rightarrow E_1$
สีฟ้า	486	$E_3 \rightarrow E_1$
สีแดง	656	$E_2 \rightarrow E_1$

อิเล็กตรอนที่ระดับพลังงาน E_5 จะต้องคายพลังงานออกมาเท่าใด เพื่อลงมายังระดับพลังงาน E_4

วิธีทำ พลังงานที่คายออกมาจากระดับพลังงาน E_5 มายังระดับพลังงาน E_4

= พลังงานเส้นสีม่วง - พลังงานเส้นสีน้ำเงิน

จะได้ว่า $\Delta E_{54} = E_5 - E_4$

$$\Delta E_{54} = \frac{hc}{\lambda_5} - \frac{hc}{\lambda_4}$$

$$\Delta E_{54} = \frac{(6.626 \times 10^{-34})(3 \times 10^{8})}{410 \times 10^{-9}} - \frac{(6.626 \times 10^{-34})(3 \times 10^{8})}{434 \times 10^{-9}}$$

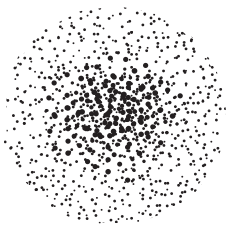
$$= 4.85 \times 10^{-19} - 4.58 \times 10^{-19} = 0.27 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Delta E_{54} = \frac{0.27 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \approx 0.169 \text{ eV}$$

ดังนั้น อิเล็กตรอนที่ระดับพลังงาน E_5 ต้องคายพลังงานออกมาประมาณ 0.169 eV

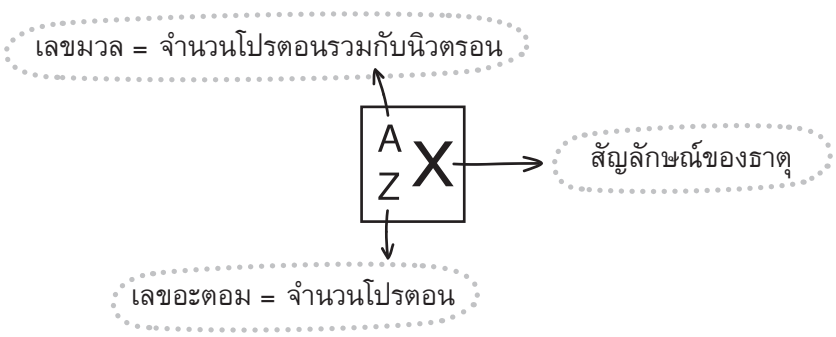
แบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอก

การใช้ความรู้ด้านกลศาสตร์ควอนตัมในการคำนวณโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนในระดับพลังงานต่างๆ เนื่องจากอิเล็กตรอนมีขนาดเล็กและเคลื่อนที่เร็วตลอดเวลา จึงไม่สามารถบอกตำแหน่งที่แน่นอนของอิเล็กตรอนได้ บอกได้เพียงแค่โอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนในบริเวณหนึ่งๆ บริเวณที่มีกลุ่มหมอกทึบมีโอกาสพบอิเล็กตรอนได้มากกว่าบริเวณที่มีกลุ่มหมอกจาง



แบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอก

สัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ



นิยามศัพท์เกี่ยวกับสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ

ไอโซโทป = ธาตุชนิดเดียวกัน จำนวนโปรตอนเท่ากัน เลขอะตอมเท่ากัน เลขมวลต่างกัน
ไอโซโทน = ธาตุต่างชนิดกัน จำนวนนิวตรอนเท่ากัน เลขอะตอมต่างกัน
ไอโซบาร์ = ธาตุต่างชนิดกัน ที่มีเลขมวลเท่ากัน (เลขบนเท่ากัน) เลขอะตอมต่างกัน
ไอโซอิเล็กทรอนิกส์ = ธาตุหรือไอออนของธาตุต่างชนิดกัน มีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากัน

ตัวอย่าง

ธาตุชนิดหนึ่งมีประจุในนิวเคลียสเป็น 2 เท่าของประจุในนิวเคลียสของ $^{12}_{6}C$ และมีเลขมวลเป็น 1.5 เท่าของ $^{12}_{6}C$ ธาตุชนิดนี้มีอนุภาคมูลฐานอย่างละกี่อนุภาค

วิธีทำ โจทย์กำหนดธาตุ $^{12}_{6}C$ ซึ่งมีอนุภาคมูลฐาน คือ

อิเล็กตรอน = โปรตอน = 6 อนุภาค และ นิวตรอน = 12 - 6 = 6 อนุภาค

ธาตุชนิดนี้มีประจุในนิวเคลียส (โปรตอน) เป็น 2 เท่าของประจุในนิวเคลียสของ $^{12}_{6}C$

แสดงว่า มีโปรตอน = 2 × 6 = 12 อนุภาค

มีอิเล็กตรอน = 12 อนุภาค

และ ธาตุชนิดนี้มีเลขมวลเป็น 1.5 เท่าของ $^{12}_{6}C$

แสดงว่า มีเลขมวล = 1.5 × 12 = 18 = นิวตรอน + โปรตอน

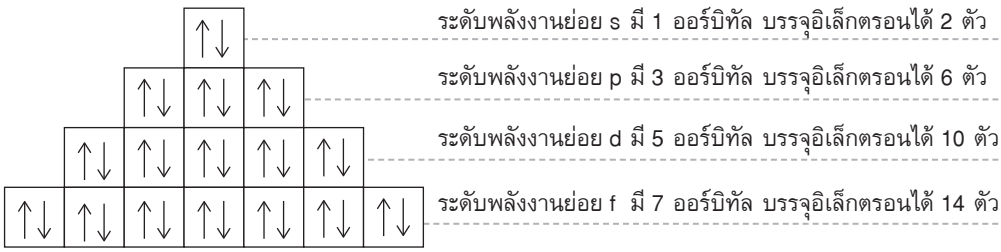
ดังนั้น นิวตรอน = เลขมวล - โปรตอน = 18 - 12 = 6 อนุภาค

การจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงาน

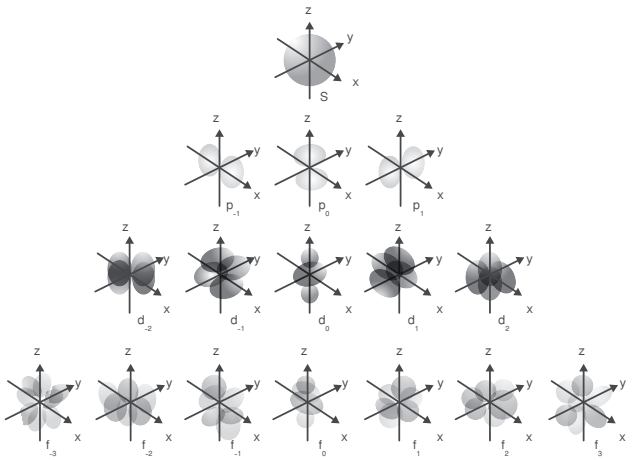
- อิเล็กตรอนจะทำตัวเองให้มีพลังงานต่ำที่สุด (เสถียรสุด) อยู่ในระดับพลังงานที่ต่ำก่อน
- กรณีถูกกระตุ้นด้วยพลังงาน อิเล็กตรอนที่อยู่ระดับพลังงานมากสุดจะได้รับพลังงานก่อน
- อิเล็กตรอนจะอยู่เป็นคู่ๆ ใน **"ออร์บิทัล"** ที่มีพลังงานเฉพาะ จะมีชื่อและรูปร่างต่างกัน

ระดับพลังงานย่อย

เกิดจากออร์บิทัลที่มีพลังงานใกล้เคียงกันมารวมกัน ได้แก่ s p d f



การบรรจุอิเล็กตรอนในระดับพลังงานย่อย



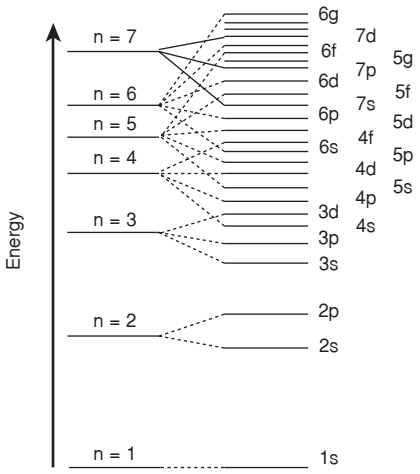
รูปร่างออร์บิทัล s p d f

ระดับพลังงานหลัก

เกิดจากระดับพลังงานย่อยที่มีพลังงานใกล้เคียงกันมารวมกันเป็นแถบพลังงาน ได้แก่ K L M N O P และ Q ในแต่ละระดับพลังงานจะบรรจุอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน $2n^2$ ตัว แต่ไม่เกิน 32 ตัว และอิเล็กตรอนวงนอกสุด (Valence Electron) ต้องไม่เกิน 8 ตัว

- ระดับพลังงาน K n = 1 $2(1)^2$ = 2 บรรจุอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 2 ตัว
- ระดับพลังงาน L n = 2 $2(2)^2$ = 8 บรรจุอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 ตัว
- ระดับพลังงาน M n = 3 $2(3)^2$ = 18 บรรจุอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 18 ตัว
- ระดับพลังงาน N n = 4 $2(4)^2$ = 32 บรรจุอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 32 ตัว
- ระดับพลังงาน O n = 5 $2(5)^2$ = 50 บรรจุอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 32 ตัว
- ระดับพลังงาน P n = 6 $2(6)^2$ = 72 บรรจุอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 32 ตัว
- ระดับพลังงาน Q n = 7 $2(7)^2$ = 98 บรรจุอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 32 ตัว

แถบพลังงานของอะตอม



ภาพแสดงแถบระดับพลังงาน

จะเห็นว่า ณ ระดับพลังงานที่สูงขึ้นเกิดการซ้อนเกยกันของระดับพลังงานย่อย

นั่นคือ ระดับพลังงานย่อยของระดับพลังงานหลักชั้นต่ำกว่าอาจมีพลังงานสูงกว่าระดับพลังงานย่อยของระดับพลังงานหลักชั้นสูงกว่าในบางส่วน

หลักเกณฑ์การจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานหลัก

- จัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานที่ต่ำก่อน K L M N O P และ Q ตามลำดับ
- อิเล็กตรอนวงนอกสุด (Valence Electron) ต้องไม่เกิน 8
- จำนวนอิเล็กตรอนซ้ำกันได้ 1 ครั้ง และถอยหลังได้แต่ห้ามถอยข้ามชั้น แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถใช้ได้กับธาตุแทรนซิชัน

ตัวอย่าง

จงเขียนการจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานหลักของธาตุ $_{10}Ne$ $_{20}Ca$ $_{35}Br$ $_{54}Xe$ และ $_{25}Mn$

วิธีทำ

$_{10}Ne$: 2, **8** หมู่ 8 คาบ 2

$_{20}Ca$: 2, 8, 8, **2** หมู่ 2 คาบ 4

$_{35}Br$: 2, 8, 18, **7** หมู่ 7 คาบ 4

$_{54}Xe$: 2, 8, 18, 18, **8** หมู่ 8 คาบ 5

$_{25}Mn$: 2, 8, 8, **7** หมู่ 7 คาบ 4 → **ผิด** เพราะ Mn เป็นธาตุแทรนซิชัน ไม่สามารถใช้การจัดเรียงอิเล็กตรอนระดับพลังงานหลักได้

หลักเกณฑ์การจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานย่อย

หลักการกีดกันของเพาลี : ไม่มีอิเล็กตรอนคู่ใดในออร์บิทัลที่มีการจัดตำแหน่งหรือการหมุนรอบตัวเองเหมือนกันในเวลาเดียวกัน กล่าวคือ เขียนหัวลูกศรต้องกลับด้านกัน ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กดึงดูดกันของอิเล็กตรอน 2 ตัว ในออร์บิทัล

หลักของเอาฟบาว : การบรรจุอิเล็กตรอนต้องเริ่มจากระดับพลังงานล่างก่อนจึงจะบรรจุลงในระดับพลังงานที่สูงขึ้นต่อไป

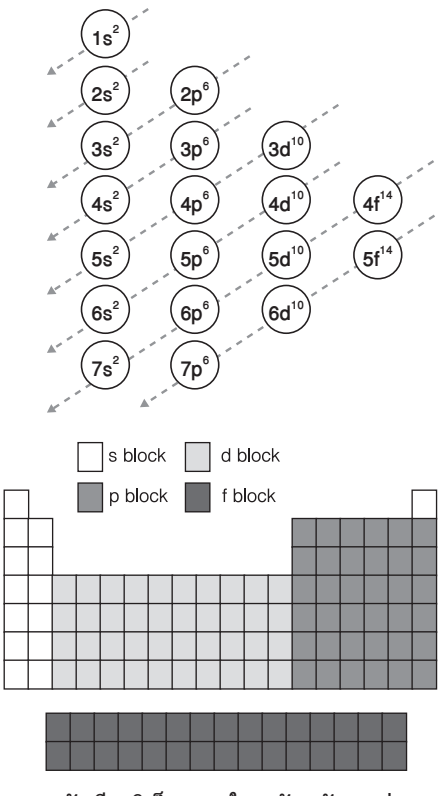
ลำดับพลังงานของระดับพลังงานย่อยจากน้อยไปมาก คือ

$s < p < d < f$

จากภาพ เขียนการจัดเรียงอิเล็กตรอนได้ดังนี้

$1s^2$ $2s^2$ ... $7p^6$

กฎของฮุนด์ : แต่ละระดับพลังงานย่อยต้องบรรจุอิเล็กตรอนเดี่ยวลงไปให้ครบก่อน



การจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานย่อย

ตัวอย่าง

ข้อใดบรรจุอิเล็กตรอนของ $_{7}N$ ลงในออร์บิทัลได้ถูกต้อง

	1s	2s	2p	
1.	↑↓	↑↓	↑↓ ↑	ข้อนี้ ผิด เพราะขัดกับกฎของฮุนด์
2.	↑↓	↑↓	↑ ↑ ↑	ข้อนี้ **ถูกต้อง**
3.	↑		↑↓ ↑↓ ↑↓	ข้อนี้ ผิด เพราะขัดกับหลักของเอาฟบาว
4.	↑	↑	↑↓ ↑↑ ↑	ข้อนี้ ผิด เพราะขัดกับหลักการกีดกันของเพาลี

การจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบย่อ

อาศัยธาตุหมู่ 8 มาเป็นฐาน เพื่อลดความยาวในการจัดเรียง ได้แก่

He (2 อิเล็กตรอน)	Ne (10 อิเล็กตรอน)	Ar (18 อิเล็กตรอน)
Kr (36 อิเล็กตรอน)	Xe (54 อิเล็กตรอน)	Rn (86 อิเล็กตรอน)

ตัวอย่าง

จากการอาศัยธาตุหมู่ 8 มาเป็นฐานข้างต้น จงเขียนการจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานย่อยแบบย่อของธาตุ $_{10}Ne$ $_{20}Ca$ $_{35}Br$ $_{54}Xe$ และ $_{25}Mn$

<u>วิธีทำ</u> $_{10}Ne$: $[He]\ 2s^2\ 2p^6$ จบที่ออร์บิทัล p แสดงว่าเป็นธาตุหนึ่งในหมู่ 3 - 8
ระดับพลังงานสูงสุดที่ 2 แสดงว่าเป็นธาตุคาบ 2
อิเล็กตรอนวงนอกสุดเท่ากับ 8
ดังนั้น ธาตุ Ne อยู่หมู่ 8 คาบ 2

$_{20}Ca$: $[Ar]\ 4s^2$ จบที่ออร์บิทัล s แสดงว่าเป็นธาตุหนึ่งในหมู่ 1 - 2
ระดับพลังงานสูงสุดที่ 4 แสดงว่าเป็นธาตุคาบ 4
อิเล็กตรอนวงนอกสุดเท่ากับ 2
ดังนั้น ธาตุ Ca อยู่หมู่ 2 คาบ 4

ตัวอย่าง

$_{35}Br$: $[Ar]\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^5$ จบที่ออร์บิทัล p แสดงว่าเป็นธาตุหนึ่งในหมู่ 3 - 8
ระดับพลังงานสูงสุดที่ 4 แสดงว่าเป็นธาตุคาบ 4
อิเล็กตรอนวงนอกสุดเท่ากับ 7
ดังนั้น ธาตุ Br อยู่หมู่ 7 คาบ 4

$_{54}Xe$: $[Kr]\ 5s^2\ 4d^{10}\ 5p^6$ จบที่ออร์บิทัล p แสดงว่าเป็นธาตุหนึ่งในหมู่ 3 - 8
ระดับพลังงานสูงสุดที่ 5 แสดงว่าเป็นธาตุคาบ 5
อิเล็กตรอนวงนอกสุดเท่ากับ 8
ดังนั้น ธาตุ Xe อยู่หมู่ 8 คาบ 5

$_{25}Mn$: $[Ar]\ 4s^2\ 3d^5$ จบที่ออร์บิทัล d แสดงว่าเป็นธาตุแทรนซิชัน ไม่สามารถบอกหมู่และคาบได้ เนื่องจากการจัดเรียงของธาตุแทรนซิชันจะปรับเปลี่ยนการจัดเรียงอิเล็กตรอนโดยธรรมชาติเพื่อทำให้ตัวเองเสถียร
เรียงลำดับความเสถียร : เต็มออร์บิทัล > ครึ่งออร์บิทัล > ไม่เต็มออร์บิทัล

การจัดเรียงอิเล็กตรอนในกรณีที่เป็นไอออน

อิเล็กตรอนตัวที่หลุดก่อนคือตัวที่อยู่ในระดับพลังงานชั้นนอกสุด

ตัวอย่าง

จงเขียนการจัดเรียงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานย่อยของธาตุ $_{20}Ca$ $_{20}Ca^{2+}$ $_{29}Cu$ และ $_{29}Cu^{4+}$

วิธีทำ $_{20}Ca$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$

$_{20}Ca^{2+}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$ → เสียอิเล็กตรอน 2 ตัว ในระดับชั้นพลังงานนอกสุด คือ 4s

$_{29}Cu$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^9$ → แบบนี้ **ผิด** จัดเรียงแบบปกติไม่ได้ เพราะ Cu เป็นธาตุแทรนซิชัน

$_{29}Cu$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1\ 3d^{10}$ → แบบนี้ **ถูก** Cu จะทำตัวเองให้เสถียรโดยจัดเต็มออร์บิทัล

ตัวอย่าง

$_{29}Cu^{4+}$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^7$ → เสียอิเล็กตรอน 4 ตัว ตัวที่ 1 จะหลุดจาก 4s ก่อน ตัวที่ 2 - 4 จึงค่อยๆ ดึงออกทีละตัว จาก 3d ลดลงมา

สิ่งที่ได้จากการจัดเรียงอิเล็กตรอน

- รู้ว่าธาตุอยู่ใน หมู่อะไรของตารางธาตุ จากจำนวนอิเล็กตรอนชั้นนอกสุด (Valence Electron)
- รู้ว่าธาตุอยู่ใน คาบอะไรของตารางธาตุ จากระดับพลังงานสูงสุดที่มีอิเล็กตรอน
- รู้ว่าธาตุอยู่ใน ประเภทอะไรของตารางธาตุ จากจบที่ชนิดของระดับพลังงานย่อย (s p d f)

ตารางธาตุเป็นแผนผังตารางแสดงการจัดเรียงธาตุที่มีสมบัติคล้ายคลึงกัน เพื่อให้ง่ายต่อการจดจำ

วิวัฒนาการของตารางธาตุ

โยฮันน์ โวล์ฟกัง เดอเบอไรเนอร์ (Johann Wolfgang DÖbereiner) ตั้ง **"กฎชุดสาม"** โดยจัดเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 3 ธาตุที่มีมวลใกล้เคียงกัน ซึ่งธาตุตรงกลางเกิดจากค่าเฉลี่ยมวลของอีก 2 ธาตุ

จอห์น นิวแลนด์ส (John Alexander Reina Newlands) ตั้ง **"กฎแห่งแปด"** โดยเรียงธาตุตามมวลอะตอมจากน้อยไปมาก พบว่าธาตุหนึ่งจะมีสมบัติคล้ายกับธาตุลำดับที่ 8 เมื่อนับจากธาตุนั้น โดยไม่รวมแก๊สเฉื่อยและไฮโดรเจน

ยูลิอุส โลทาร์ ไมเออร์ (Julius Lothar Meyer) และ ดิมิทรี อิวาโนวิช เมนเดเลเอฟ (Dmitri Ivanovich Mendeleev) ทั้งสองเสนอตารางธาตุคล้ายๆ กัน แต่เมนเดเลเอฟได้ตั้ง **"กฎพีริออดิก (Periodic Law)"** ว่า ถ้าเรียงธาตุตามมวลอะตอมจากน้อยไปมาก สมบัติธาตุจะคล้ายกันเป็นช่วงๆ และเรียงจากซ้ายไปขวาเรียก **"คาบ"** จัดหมวดหมู่จากบนลงล่างเรียก **"หมู่"**

เฮนรี โมสลีย์ (Henry Moseley) พบว่าเลขอะตอมสัมพันธ์กับสมบัติของธาตุมากกว่ามวลอะตอม จึงได้กฎของตารางธาตุ คือ **สมบัติของธาตุขึ้นอยู่กับเลขอะตอม**