

บทที่ 4

โครงสร้างอะตอม

http://www.science.mju.ac.th/chemistry/staffs/p_kunthadee.htm

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคมีทั่วไป
อ.ดร. เพชรลดา กัณหาดี

1

โครงสร้างอะตอม (Atomic Structure)

1) ประวัติความเป็นมาของอะตอม

- ก่อนคริสตกาล, Leukippos และ Demokritos → เสนอว่า “ส่วนประกอบที่เล็กที่สุดของสสาร ทำลายและแบ่งแยกไม่ได้ เรียกว่า อะตอม” (Atom, มาจากภาษากรีก คือ Atomos = a + tomos = ไม่ + แบ่งแยกได้)
Aristotle → เสนอว่า “สสารสามารถแบ่งแยกให้เล็กลงไปได้เรื่อย ๆ ไม่มีที่สิ้นสุด”
- ค.ศ. 1803, John Dalton → เสนอทฤษฎีอะตอมของดัลตัน “อะตอมเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของสสาร แบ่งแยกต่อไปอีกไม่ได้ สสารหรือธาตุต่างชนิดกัน ประกอบด้วยอะตอมต่างชนิดกัน และมีสมบัติต่างกัน”

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคมีทั่วไป
อ.ดร. เพชรลดา กัณหาดี

2

1) ประวัติความเป็นมาของอะตอม

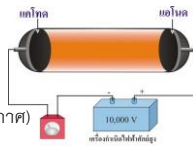
- ค.ศ. 1897, J.J. Thomson → ค้นพบอิเล็กตรอน
- ค.ศ. 1911, E.R. Rutherford → เสนอแบบจำลองอะตอมที่มีนิวเคลียส
- ค.ศ. 1913, Niels Bohr → อธิบายโครงสร้างอะตอมไฮโดรเจนโดยใช้ทฤษฎีควอนตัม
- ค.ศ. 1924, วิชาพัฒนาการของทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัมสำหรับอะตอมต่าง ๆ
- ค.ศ. 1932, James Chadwick → ค้นพบนิวตรอน

2) การค้นพบอิเล็กตรอน

- ศึกษา หลอดรังสีแคโทด (Cathode ray tube) → หลอดแก้วต่อกับขั้วไฟฟ้าโลหะ ภายในมีแก๊สเล็กน้อย (เกือบเป็นสุญญากาศ)
- เมื่อผ่านความต่างศักย์ 10^4 โวลต์ จะเกิดลำแสงพุ่งจากขั้วแคโทด (ขั้ว -) ไปยังขั้วแอโนด (ขั้ว +) เรียกว่า **รังสีแคโทด**

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคมีทั่วไป
อ.ดร. เพชรลดา กัณหาดี

3

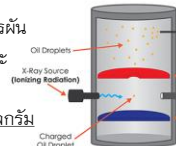


2) การค้นพบอิเล็กตรอน

- **J.J. Thomson** (ค.ศ. 1897) ทดลองและค้นพบว่า
 - รังสีแคโทดประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุลบ เรียกว่า **อิเล็กตรอน**
 - เมื่อเพิ่มสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กให้แก่หลอดรังสีแคโทด สามารถคำนวณอัตราส่วนของประจุต่อมวล (e/m) ของอิเล็กตรอนได้เท่ากับ 1.75×10^{11} คูลอมป์ต่อกิโลกรัม
 - ค่านี้จะคงที่เสมอ ไม่ว่าจะใช้ขั้วไฟฟ้าเป็นโลหะชนิดใด และบรรจุแก๊สชนิดใด
- **R.A. Milligan** (ค.ศ. 1909) ศึกษา การทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกน (Milligan's oil drop experiment) ดังนี้
 - ให้อิเล็กตรอนเกาะติดกับหยดน้ำมัน แล้วแปรผันค่าความต่างศักย์จนหยดน้ำมันที่มีประจุลบนั้นหยุดนิ่งและไม่ตกลงภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก
 - คำนวณ มวลอิเล็กตรอนได้ 9.11×10^{-31} กิโลกรัม
 - และ ประจุของอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.60×10^{-19} คูลอมป์

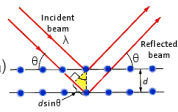
เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคมีทั่วไป
อ.ดร. เพชรลดา กัณหาดี

4



3) การค้นพบกัมมันตภาพรังสี

- **W. Röntgen** (ค.ศ. 1895) ศึกษาหลอดรังสีแคโทดที่เป็นสุญญากาศ (ไม่มีแก๊สภายใน) พบว่า
 - รังสีแคโทดจะเคลื่อนที่จากขั้วแคโทดโดยไม่ชนกับโมเลกุลแก๊ส และเมื่อพุ่งชนขั้วแอโนดจะเกิดรังสีที่มีพลังงานสูงออกมาจากแอโนด เรียกว่า **รังสีเอ็กซ์** (X-ray) (รังสีนี้ไม่มีประจุ สามารถทะลุผ่านกระดาษและไม้ได้ แต่ไม่ผ่านแผ่นโลหะ)
- **Max von laue** สนับสนุนการทดลองนี้
 - ค.ศ. 1913 พบว่ารังสีเอ็กซ์เกิด **การเลี้ยวเบน** (Diffraction) ได้เมื่อตกกระทบผลึกของแข็ง แสดงว่า รังสีเอ็กซ์มีสมบัติเป็นคลื่น
- **A.H. Becquerel** (ค.ศ. 1896) ค้นพบรังสีที่เปล่งออกมาจากรังยูเรเนียม (การเกิดกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity))

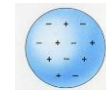


เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคหทัยโป
อ.ดร. เพชรลดา กัณหาดี

5

3) การค้นพบกัมมันตภาพรังสี

- **Pierre และ Marie Curie** (ค.ศ. 1898) ค้นพบการแตกตัวของธาตุกัมมันตรังสีสองชนิดออกมาจากรังยูเรเนียม ได้แก่ Polonium และ Radium
 - การค้นพบเหล่านี้ เป็นการลบล้างแนวคิดเดิมของดอลตัน ดังนั้น **"อะตอมไม่ใช่อนุภาคที่แบ่งแยกไม่ได้"**
 - **Rutherford** (ค.ศ. 1911) ค้นพบรังสีแอลฟา (ไอออนบวกของฮีเลียม (He)), รังสีเบตา (ลำอิเล็กตรอน) และ รังสีแกมมา ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความถี่สูงกว่ารังสีเอ็กซ์
- 4) โครงสร้างของอะตอม**
- **J.J. Thomson** เสนอแบบจำลองอะตอม ดังนี้
 - อะตอมมีรัศมีประมาณ 10^{-10} เมตร
 - ภายในอะตอมมีอนุภาคประจุบวกและอิเล็กตรอนฝังอยู่ในตำแหน่งต่างๆ ทั่วอะตอม ทำให้อะตอมไม่มีประจุ



เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคหทัยโป
อ.ดร. เพชรลดา กัณหาดี

6

4) โครงสร้างของอะตอม

- น้ำหนักอะตอมส่วนใหญ่เป็นของอนุภาคประจุบวก เนื่องจากอิเล็กตรอนมีน้ำหนักน้อยกว่ามาก
- **William Wein** (ค.ศ. 1889) ค้นพบว่าอนุภาคประจุบวก คือ **โปรตอน** และมีมวลเท่ากับ 1.0073 amu
- ต่อมา **E.R. Rutherford** (ค.ศ. 1911) ศึกษาการผ่านรังสีแอลฟาไปยังแผ่นโลหะบาง เช่น ทองคำ และเสนอแบบจำลองอะตอมใหม่ดังนี้
 - อะตอมประกอบด้วยอนุภาคประจุบวกรวมกันเป็นกลุ่มเล็กๆ อยู่กลางอะตอม เรียกว่า **นิวเคลียส** และมีรัศมี $\sim 10^{-14}$ เมตร ซึ่งเล็กกว่าขนาดอะตอมมาก รังสีแอลฟาส่วนใหญ่จึงทะลุผ่านอะตอมไป ส่วนรังสีแอลฟาส่วนน้อยที่ชนนิวเคลียสจะเกิดแรงผลักระหว่างประจุบวกทำให้เบี่ยงเบนทิศทางไป
 - อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่เป็นวงกลมล้อมรอบนิวเคลียสและมีจำนวนเท่ากับประจุบวก อะตอมจึงไม่มีประจุ

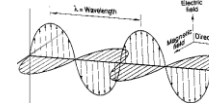


เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคหทัยโป
อ.ดร. เพชรลดา กัณหาดี

7

4) โครงสร้างของอะตอม

- **Niels Bohr** (ค.ศ. 1913) อธิบายโครงสร้างอะตอมโดยใช้ **ทฤษฎีควอนตัม**
 - **James Chadwick** (ค.ศ. 1932) พบว่าการยิงรังสีแอลฟาชนแผ่นโลหะเบริลเลียม (Be) จะได้อนุภาคชนิดหนึ่ง และเรียกว่า **นิวตรอน** และมีมวลใกล้เคียงกับโปรตอน
- 5) ทฤษฎีควอนตัม**
- (1) **J.C. Maxwell** (ก่อน ค.ศ. 1900) เสนอทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า "แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อแสงเคลื่อนที่จะมีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกัน และตั้งฉากกับทิศทางที่แสงเคลื่อนที่เสมอ"



เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคหทัยโป
อ.ดร. เพชรลดา กัณหาดี

8

5) ทฤษฎีควอนตัม

- ถ้าให้ความร้อนแก่วัตถุมาก \rightarrow วัตถุนั้นจะเปล่งรังสีออกมาทั้งในรูปของความร้อนและแสงที่มีความเข้มสูง
- สีของรังสีที่วัตถุเปล่งออกมาจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เช่นเผาแท่งเหล็กให้ร้อนขึ้น สีของแท่งเหล็กจะเปลี่ยนแปลงจาก สีคล้ำ \rightarrow สีแดง \rightarrow สีส้ม \rightarrow สีเหลือง \rightarrow สีขาว

(2) จุดเริ่มต้นของทฤษฎีควอนตัม

- ค.ศ.1900 **Planck** เสนอว่า
- “พลังงานของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปล่งออกมาจากวัตถุร้อนจะมีลักษณะเป็นกลุ่มๆ เรียกว่า **ควอนตัมของพลังงาน** โดยมีค่าเป็นช่วงๆ และไม่ได้ปล่อยออกมาอย่างต่อเนื่อง”

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคมีทั่วไป
อ.ดร.เพชรสุดา กัณหาดี

9

5) ทฤษฎีควอนตัม

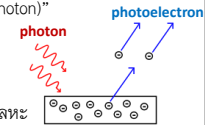
- พลังงานของแสงชนิดต่างๆ จะขึ้นอยู่กับความถี่ของแสงนั้น ดังสมการ

$$E = h\nu \quad \dots\dots\dots(1)$$

(h = ค่าคงที่ของ Planck = 6.6262×10^{-34} J.s)

(3) Photoelectric Effect

- ค.ศ. 1905 **Albert Einstein** อธิบายปรากฏการณ์นี้ โดยเสนอว่า “แสงควรมีสสมบัติเป็น **อนุภาค** และเรียกว่า **โฟตอน (Photon)**” และอาศัยทฤษฎีของ Planck สรุปว่า โฟตอนที่มีความถี่ ν จะมีพลังงาน $E = h\nu$



- เมื่อแสงที่มีความถี่เหมาะสม \rightarrow ตกกระทบผิวหน้าของโลหะ \rightarrow มีอิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะ เรียกว่า **โฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron)**

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคมีทั่วไป
อ.ดร.เพชรสุดา กัณหาดี

10

5) ทฤษฎีควอนตัม

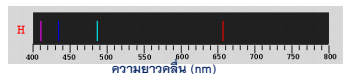
- ถ้าให้แสงตกกระทบบมีพลังงานมากกว่าพลังงานต่ำสุดที่ทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน \rightarrow พลังงานส่วนเกินนั้นจะทำให้โฟโตอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ต่อไปด้วยพลังงานจลน์

จำนวนโฟโตอิเล็กตรอน \propto จำนวนโฟตอนที่ตกกระทบบ
 \propto ความเข้มของแสง

6) ทฤษฎีอะตอมของบอร์

(1) สเปกตรัมของไฮโดรเจน

- เมื่อให้ความร้อนแก่อะตอมไฮโดรเจนมากพอ \rightarrow จะเห็นการเปล่งแสงซึ่งเมื่อผ่านปริซึมพบว่าประกอบด้วยแสงสีแดง เขียว น้ำเงิน และม่วง แยกออกจากกันเป็นเส้นๆ เรียงตามความถี่หรือความยาวคลื่น เรียกว่า **เส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนอะตอม** อยู่ในช่วงที่ตามองเห็น (Visible region)



เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคมีทั่วไป
อ.ดร.เพชรสุดา กัณหาดี

11

6) ทฤษฎีอะตอมของบอร์

- ต่อมาในปี ค.ศ. 1885 **J.J. Balmer** เสนอสูตรสำหรับคำนวณความยาวคลื่น (λ) ของชุดเส้นสเปกตรัมไฮโดรเจน (อนุกรม Balmer) ดังนี้

$$\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right] \quad \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ R = ค่าคงที่ของ Rydberg = $1.09678 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$
 $n = 3, 4, 5, 6, \dots\dots\dots$

- และในที่สุด **J.R. Rydberg** ได้เสนอสมการสำหรับคำนวณความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัมทุกชุด ดังนี้

$$\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right] \quad \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ $n_1 < n_2$

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคมีทั่วไป
อ.ดร.เพชรสุดา กัณหาดี

12

6) ทฤษฎีอะตอมของบอร์

โครงสร้างอะตอม

$$\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right] \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ $n_1 < n_2$

- จากสมการ 3 จะได้อธิบายได้ว่า

เมื่อ $n_1 = 1$ และ $n_2 = 2, 3, 4, \dots$ เส้นสเปกตรัมต่างๆ จะตรงกับอนุกรมของ Lyman

→ λ อยู่ในช่วง **รังสี UV**

เมื่อ $n_1 = 2$ และ $n_2 = 3, 4, 5, \dots$ เส้นสเปกตรัมต่างๆ จะตรงกับอนุกรมของ Balmer

→ λ อยู่ในช่วง **แสง Visible**

เมื่อ $n_1 = 3$ และ $n_2 = 4, 5, 6, \dots$ เส้นสเปกตรัมต่างๆ จะตรงกับอนุกรมของ Paschen

→ λ อยู่ในช่วง **รังสี IR**

นอกจากนี้ ยังมี 2 ชุดสเปกตรัมที่พลังงานต่ำลงไปอีก คือ $n_1 = 4$ และ $n_1 = 5$ เส้นสเปกตรัมต่างๆ จะตรงกับอนุกรมของ Brackett และ Pfund ตามลำดับ

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคหทัยโบ
อ.ดร.เพชรลดา กัณหาดี 13

6) ทฤษฎีอะตอมของบอร์

โครงสร้างอะตอม

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคหทัยโบ
อ.ดร.เพชรลดา กัณหาดี 14

6) ทฤษฎีอะตอมของบอร์

โครงสร้างอะตอม

(2) **ทฤษฎีของ Bohr สำหรับไฮโดรเจนอะตอม**

ค.ศ. 1913 **Niels Bohr** เสนอแบบจำลองอะตอม ดังนี้

- การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสมีลักษณะเป็นวงกลม และเป็นไปตามความสัมพันธ์

$$m_e v r = n h \dots\dots\dots(4)$$

เมื่อ m_e = มวลของอิเล็กตรอน

v = ความเร็วในการเคลื่อนที่

r = รัศมีของการเคลื่อนที่

h = ค่าคงที่ของ Planck

และ n = ชั้นพลังงานหรือวงโคจรของอิเล็กตรอน = 1, 2, 3,.....

จากทฤษฎีควอนตัม ค่า n หมายถึง **เลขควอนตัม (quantum number)** และการเคลื่อนที่ที่เป็นไปตามสมการ (4) อิเล็กตรอนจะไม่มีพลังงานสูญเสียและมีความเสถียร

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคหทัยโบ
อ.ดร.เพชรลดา กัณหาดี 15

6) ทฤษฎีอะตอมของบอร์

โครงสร้างอะตอม

- ระดับพลังงานของวงโคจรที่ n เรียกว่า E_n
- ถ้า $n = 1$ คือ พลังงานระดับขั้นต่ำสุด (E_1) เรียกว่า **สถานะพื้น (ground state)** → อิเล็กตรอนมีความเสถียรที่สุด
- $n > 1$ คือ พลังงานระดับสูงขึ้นไป เรียกว่า **สถานะกระตุ้น หรือสถานะเร้า (excited state)** → $n \uparrow, E_n \uparrow$, ไม่เสถียร
- เมื่อ e^- เปลี่ยนระดับพลังงาน (เปลี่ยนวงโคจร) ไปยังระดับที่สูงขึ้น (n มากขึ้น, พลังงานมากขึ้น) → **e^- ดูดกลืนพลังงาน**
- เมื่อ e^- เปลี่ยนระดับพลังงาน (เปลี่ยนวงโคจร) ไปยังระดับที่ต่ำกว่า (n น้อยลง, พลังงานลดลง) → **e^- คายพลังงาน**
- พิจารณาการเปลี่ยนระดับพลังงานระหว่างวงโคจรที่ 1 ($n = 1$) และ 2 ($n = 2$)

ผลต่างระหว่างระดับพลังงานทั้งสอง, $\Delta E = E_{\text{ปลายทาง}} - E_{\text{ต้นทาง}} = h\nu$

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคหทัยโบ
อ.ดร.เพชรลดา กัณหาดี 16

6) ทฤษฎีอะตอมของบอร์

$$\Delta E = E_{\text{ปลายทาง}} - E_{\text{ต้นทาง}} = h\nu = hc/\lambda$$

- ถ้า e^- เปลี่ยนระดับจาก $n = 1 \rightarrow n = 2$ จะได้ $\Delta E = +$ (e^- ดูดพลังงาน)
- e^- เปลี่ยนระดับจาก $n = 2 \rightarrow n = 1$ จะได้ $\Delta E = -$ (e^- คายพลังงาน)

ตัวอย่าง 1 จงคำนวณความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนที่เปลี่ยนระดับพลังงานจากชั้นที่ 2 ไปยังชั้นที่ 4 การเปลี่ยนแปลงนี้อิเล็กตรอนต้องดูดพลังงานหรือคายพลังงาน

กำหนดให้ $E_2 = -5.46 \times 10^{-19} \text{ J}$ และ $E_4 = -1.36 \times 10^{-19} \text{ J}$

วิธีทำ $\Delta E = E_{\text{ปลายทาง}} - E_{\text{ต้นทาง}} = E_4 - E_2 = (-1.36 \times 10^{-19}) - (-5.46 \times 10^{-19})$
 $= 4.1 \times 10^{-19} \text{ J}$ ($\Delta E = +$, อิเล็กตรอนดูดพลังงาน)

$$\Delta E = 4.1 \times 10^{-19} \text{ J} = hc/\lambda$$

$$\text{ดังนั้น } \lambda = \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})(3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})}{4.1 \times 10^{-19} \text{ J}} = 485 \text{ nm}$$

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคหทัยโบ
อ.ดร.เพชรสาคู กัณหาดี

17

6) ทฤษฎีอะตอมของบอร์

- Bohr เสนอสูตรการคำนวณระดับพลังงาน (E_n) โดยใช้กฎทางกลศาสตร์และไฟฟ้าร่วมกับสมมติฐานแบบจำลองอะตอม ดังนี้

$$E_n = - \left(\frac{2\pi^2 m_e Z^2 e^4}{h^2} \right) \frac{1}{n^2} \quad \text{.....(5)}$$

เมื่อแทนค่า m_e = มวลของอิเล็กตรอน = 9.11×10^{-28} กรัม

e = ประจุของอิเล็กตรอน = 1.60×10^{-19} คูลอมป์

Z = เลขอะตอมของไฮโดรเจน = 1

h = ค่าคงที่ของ Planck = 6.6262×10^{-34} จูล.วินาที

จะได้ค่าคงที่รวมสำหรับอะตอมไฮโดรเจนเท่ากับ 2.18×10^{-18} จูล

ดังนั้น จากสมการ (5) จะได้สมการใหม่เป็น

$$E_n = \frac{-2.18 \times 10^{-18}}{n^2} \quad \text{.....(6)}$$

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคหทัยโบ
อ.ดร.เพชรสาคู กัณหาดี

18

6) ทฤษฎีอะตอมของบอร์

นอกจากนี้ Bohr ได้เสนอสูตรการหารรัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนที่มีเลขควอนตัม n คือ

$$r = a_0 n^2 \quad \text{.....(7)}$$

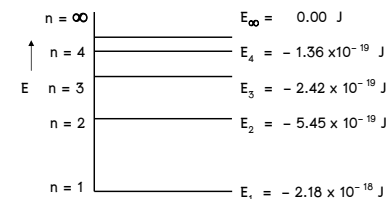
$$\text{เมื่อ } a_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 m_e e^2} = 0.529 \times 10^{-10} \text{ เมตร} = 0.529 \text{ \AA}$$

- จากสูตร (6) อาจคำนวณค่าพลังงานสำหรับ $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$ และเขียนแผนภาพระดับพลังงานไฮโดรเจนอะตอมได้ดังนี้

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคหทัยโบ
อ.ดร.เพชรสาคู กัณหาดี

19

6) ทฤษฎีอะตอมของบอร์



7) สมมติฐานของเดอบรอกลี

- จากงานของไอน์สไตน์ที่กล่าวว่า "แสงมีสมบัติเป็นทั้งคลื่นและอนุภาค"

de Broglie (ค.ศ. 1924) \rightarrow ตั้งสมมติฐานว่า "สสารทุกชนิดก็มีสมบัติความเป็นคลื่นอยู่ในตัวด้วย"

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคหทัยโบ
อ.ดร.เพชรสาคู กัณหาดี

20

7) สมมติฐานของเดอบรอยล์

จากความสัมพันธ์
โดยที่ $E = h\nu$
 $\nu = c / \lambda$ (8)

และจากทฤษฎีสัมพัทธภาพของไอน์สไตน์ $E = mc^2 = pc$ (9)
(เมื่อ $p =$ โมเมนตัมของอนุภาค $= mc$ และ $c =$ อัตราเร็วของแสง)

ดังนั้น $pc = \frac{hc}{\lambda}$

หรือ $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ (10)

(เมื่อ $p =$ โมเมนตัมของสสาร และ $v =$ อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของสสาร)

สมการ (10) จะแสดงความสัมพันธ์ของสมบัติที่เป็นคลื่นและอนุภาคของสสาร

→ เรียก λ นี้ว่า “ความยาวคลื่นของเดอบรอยล์”

เนื้อหาประกอบการสอน ราชวิชา คม 100 เคล็ดหัวใจ
อ.ดร.เพชรลดา กัณหาดี

21

7) สมมติฐานของเดอบรอยล์

- ตัวอย่างอนุภาคที่มีสมบัติความเป็นคลื่นในตัว ได้แก่ รังสีเอกซ์ นิวตรอน และอิเล็กตรอน (ถ้าอิเล็กตรอนเกิดการเลี้ยวเบนได้)”
- แนวคิดของ de Broglie นี้นำไปใช้อธิบายสมบัติของอิเล็กตรอนในทฤษฎีของ Bohr ได้เป็นอย่างดี

8) หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก

- Heisenberg (ค.ศ. 1927) เสนอว่า “ไม่สามารถรู้ตำแหน่งที่อยู่และโมเมนตัมของอิเล็กตรอนได้อย่างแน่นอนพร้อมๆ กันได้”

- สำหรับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสใน 3 มิติ (แกน x, y, z)

พิจารณาเฉพาะในแนวแกน x, ถ้ากำหนดให้

$\Delta x =$ ความไม่แน่นอนในการวัดตำแหน่งของอิเล็กตรอนตามแนวแกน x

$\Delta p_x =$ ความไม่แน่นอนในการวัดโมเมนตัมของอิเล็กตรอนตามแนวแกน x

เนื้อหาประกอบการสอน ราชวิชา คม 100 เคล็ดหัวใจ
อ.ดร.เพชรลดา กัณหาดี

22

8) หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก

จะพบว่า $\Delta x \cdot \Delta p_x > h / 4 \pi$ (11)

- การวัดตำแหน่งที่แน่นอนของอิเล็กตรอนซึ่งมีขนาดเล็กมาก ต้องใช้ลำแสงเป็นตัวค้นหาอิเล็กตรอน และแสงนั้นต้องมี λ น้อย

- แต่แสงที่มี λ น้อย จะมีพลังงานสูง (E แปรผกผันกับ λ) → แสงอาจชนกับอิเล็กตรอนจนทำให้โมเมนตัมของ e^- เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

สรุปว่า Δx น้อย → Δp_x มาก (ในทำนองเดียวกัน Δx มาก → Δp_x น้อย)

ดังนั้น e^- จะอยู่ตำแหน่งใดบ้างในอะตอม เราสามารถบอกได้เพียง **โอกาสหรือความ**
เป็นไปได้ในการพบอิเล็กตรอน โดยอาศัยหลักของ **กลศาสตร์คลื่น**

เนื้อหาประกอบการสอน ราชวิชา คม 100 เคล็ดหัวใจ
อ.ดร.เพชรลดา กัณหาดี

23

9) กลศาสตร์คลื่น

9) กลศาสตร์คลื่น

(1) สมการชโรดิงเงอร์

จากงานของ de Broglie และ Heisenberg สามารถนำมาอธิบายปรากฏการณ์ของอิเล็กตรอนในอะตอมได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุดดังนี้ คือ

- อิเล็กตรอนมีสมบัติเป็นคลื่น → อธิบายสมบัติของอิเล็กตรอนโดยการสร้าง **สมการคลื่น** (Wave equation) และแก้สมการโดยใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูง

- การพิจารณาอิเล็กตรอน มักกล่าวถึงในรูปของ “โอกาสที่จะพบอิเล็กตรอน” หรือ “ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน”

ค.ศ. 1927 **Schrödinger** เสนอสมการเกี่ยวกับ สมบัติความเป็นคลื่นของอิเล็กตรอน (Ψ), ลักษณะแวลลุ่มรอบอิเล็กตรอน (\mathcal{H}), และ พลังงานศักย์ (เนื่องจาก e^- ดึงดูดกับโปรตอน) และพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน (เนื่องจาก e^- เคลื่อนที่รอบนิวเคลียส) (E)

เนื้อหาประกอบการสอน ราชวิชา คม 100 เคล็ดหัวใจ
อ.ดร.เพชรลดา กัณหาดี

24

โครงสร้างอะตอม

9) กลศาสตร์คลื่น

สมการคลื่นของ Schrödinger เป็นดังนี้,

$$\mathcal{H}\psi = E\psi \quad \text{.....(12)}$$

(2) **เลขควอนตัม**

จากการใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูงในการแก้สมการของ Schrödinger จะได้ **เลขควอนตัม** (Quantum number) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้อธิบายสมบัติของอิเล็กตรอนในอะตอม ดังนี้

(2.1) **เลขควอนตัมหลัก** (Principle quantum number, n)

n เป็นเลขจำนวนเต็ม มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3,.....,∞ (ค่า n มากขึ้น, พลังงานสูงขึ้น)
n บอกถึง ระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอน หรือ วง (shell) ของอิเล็กตรอน

เช่น	ชั้น n =	1	2	3	4
หมายถึง	วง (shell)	K	L	M	N

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคหทัยโบ
อ.ดร.เพชรลดา กัณหาดี

25

โครงสร้างอะตอม

9) กลศาสตร์คลื่น

(2.2) **เลขควอนตัมโมเมนตัมเชิงมุม** (Angular momentum quantum number, ℓ)

ℓ มีค่าตั้งแต่ 0, 1, 2,, n-1

ℓ บอกถึง โมเมนตัมเชิงมุมของอิเล็กตรอน ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะการเคลื่อนที่ของ **อิเล็กตรอน** หรือ **รูปร่างของออร์บิทัล**

(ออร์บิทัล (orbital) หมายถึง บริเวณที่มีโอกาสพบกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนหรือการกระจายตัวของอิเล็กตรอนมากที่สุด)

เช่น ค่า $\ell =$	0	1	2	3	4	5
หมายถึง	ออร์บิทัล s	p	d	f	g	h

โดยที่ s orbital หมายถึง e^- ที่มีการกระจายตัวหนาแน่นเป็นลักษณะ**ทรงกลม**
p orbital “-----” 2 พู (lobe) หรือคล้าย**ดัมเบล**
d orbital “-----” 4 พู (lobe) หรือคล้าย**กลีบดอกไม้**

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคหทัยโบ
อ.ดร.เพชรลดา กัณหาดี

26

โครงสร้างอะตอม

9) กลศาสตร์คลื่น

- จำนวน ℓ มีค่าเท่ากับค่าของ n เช่น $n = 1, \ell = 0$ (ℓ มี 1 ค่า)
 $n = 2, \ell = 0, 1$ (ℓ มี 2 ค่า)
 $n = 3, \ell = 0, 1, 2$ (ℓ มี 3 ค่า)

- การอธิบายรูปร่างออร์บิทัลของอิเล็กตรอน จะต้องระบุให้ทราบว่าเป็นอิเล็กตรอนเหล่านั้นอยู่ในระดับพลังงานชั้นใดด้วย เช่น
อิเล็กตรอนที่มีค่า $n = 2$ และ $\ell = 0$ หมายถึง อิเล็กตรอนในชั้นที่ 2 หรือ L shell และอยู่ใน s orbital (มีการกระจายตัวเป็นทรงกลม) → จะเขียนแทนด้วย $2s$ อิเล็กตรอน

(2.3) **เลขควอนตัมแม่เหล็ก** (Magnetic quantum number, m_ℓ)

m_ℓ มีค่าตั้งแต่ $-\ell, \dots, 0, \dots, \ell-1, \ell$

m_ℓ บอกถึง สมบัติแม่เหล็กของอิเล็กตรอน ซึ่งสัมพันธ์กับทิศทางของออร์บิทัลหรือทิศทางการกระจายอิเล็กตรอน

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคหทัยโบ
อ.ดร.เพชรลดา กัณหาดี

27

โครงสร้างอะตอม

9) กลศาสตร์คลื่น

เช่น $\ell = 1$ จะมีค่า $m_\ell = -1, 0, 1$ (หมายถึง p orbital มีทิศทางการกระจายตัวได้ 3 แบบ หรือ มี 3 orbitals)
 $\ell = 2$ จะมีค่า $m_\ell = -2, -1, 0, 1, 2$ (หมายถึง d orbital มีทิศทางการกระจายตัวได้ 5 แบบ หรือ มี 5 orbitals)

อะตอมในสภาวะปกติหรือไม่ถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กภายนอก → อิเล็กตรอนในชั้นเดียวกันและอยู่ในออร์บิทัลชนิดเดียวกัน จำนวนออร์บิทัลทุกทิศทางจะมี **ระดับพลังงานเท่ากัน (degeneracy)**

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคหทัยโบ
อ.ดร.เพชรลดา กัณหาดี

28

9) กลศาสตร์คลื่น

โครงสร้างอะตอม

ตาราง 1 ตัวอย่างค่าที่ใช้ในกลศาสตร์คลื่น

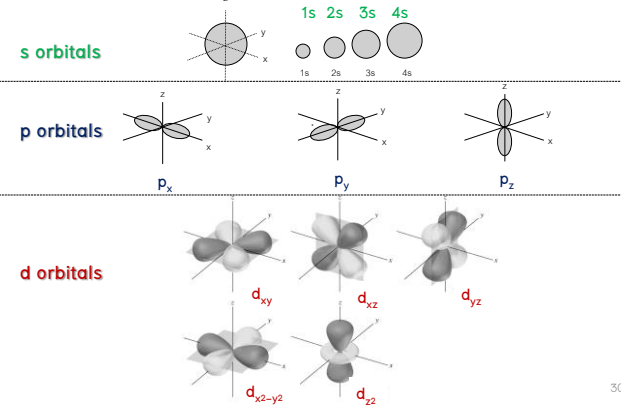
n	l (จำนวน l = ค่า n)	สัญลักษณ์	m_l (ค่า m_l อยู่ระหว่าง -l กับ +l)	จำนวนออร์บิทัล
1	0	1s	0	1
2	0	2s	0	1
	1	2p	-1, 0, +1	3
3	0	3s	0	1
	1	3p	-1, 0, +1	3
	2	3d	-2, -1, 0, +1, +2	5
4	0	4s	0	1
	1	4p	-1, 0, +1	3
	2	4d	-2, -1, 0, +1, +2	5
	3	4f	-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3	7

เนื้อหาประกอบการสอน ราชวิชา คม 100 เล่มที่ 10
อ.ดร.เพชรลดา กัณหาดี

9) กลศาสตร์คลื่น

โครงสร้างอะตอม

รูปร่างของออร์บิทัลต่างๆตามแกนเรขาคณิต

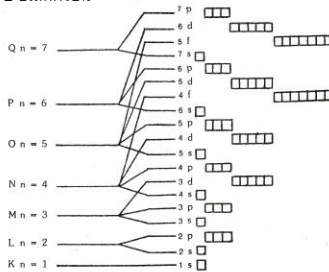


10) โครงสร้างอะตอมของธาตุ

โครงสร้างอะตอม

10) โครงสร้างอะตอมของธาตุ

- อะตอมที่มีจำนวนอิเล็กตรอนหลายตัว การกระจายของอิเล็กตรอนรอบๆ นิวเคลียส จะจัดตัวตามระดับพลังงานจากน้อยไปหามาก เรียกว่า **โครงสร้างอิเล็กตรอน** (Electron Configuration) ระดับพลังงานของออร์บิทัลต่างๆ แสดงดังรูป โดยแต่ละช่อง □ แทน 1 ออร์บิทัล ซึ่งบรรจุอิเล็กตรอนได้มากที่สุด 2 อิเล็กตรอน



31

10) โครงสร้างอะตอมของธาตุ

โครงสร้างอะตอม

โครงสร้างอิเล็กตรอนซึ่งแสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนในออร์บิทัลต่างๆ ของอะตอม มีหลักเกณฑ์ ดังนี้

1. **หลักของเอาฟาว (Aufbau Principle)** → “อิเล็กตรอนจะเข้าไปอยู่ในออร์บิทัลที่มีพลังงานต่ำสุดและว่างก่อนเสมอ”

2. **หลักของเพาลี (Pauli Exclusion Principle)** → “ในแต่ละออร์บิทัลจะมีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 2 ตัว และต้องมีสปิน (spin) ในทิศทางตรงข้ามกัน” $\uparrow\downarrow$

3. **กฎของฮุนด์ (Hund's Rule)** → “ออร์บิทัลที่มีระดับพลังงานเท่ากัน จะจัดเรียงให้มีอิเล็กตรอนเดี่ยวมากที่สุด” $\uparrow\uparrow\uparrow$

ตัวอย่างโครงสร้างอิเล็กตรอนของธาตุ H ถึง Na เป็นดังตาราง 2

เนื้อหาประกอบการสอน ราชวิชา คม 100 เล่มที่ 10
อ.ดร.เพชรลดา กัณหาดี

32

เลขอะตอม	ธาตุ	โครงสร้างอิเล็กตรอน	แผนภาพออร์บิทัล	โครงสร้างอะตอม
1	H	1s ¹	↑ 1s	ตาราง 2 โครงสร้างอิเล็กตรอนของ H ถึง Na
2	He	1s ²	↑↓ 1s	
3	Li	1s ² 2s ¹ หรือ [He] 2s ¹	↑↓ ↑ 1s 2s	
4	Be	1s ² 2s ² หรือ [He] 2s ²	↑↓ ↑↓ 1s 2s	
5	B	1s ² 2s ² 2p ¹ หรือ [He] 2s ² 2p ¹	↑↓ ↑↓ ↑ 1s 2s 2p _x 2p _y 2p _z	
6	C	1s ² 2s ² 2p ² หรือ [He] 2s ² 2p ²	↑↓ ↑↓ ↑ ↑ 1s 2s 2p _x 2p _y 2p _z	
7	N	1s ² 2s ² 2p ³ หรือ [He] 2s ² 2p ³	↑↓ ↑↓ ↑ ↑ ↑ 1s 2s 2p _x 2p _y 2p _z	ทั่วไป 33

10) โครงสร้างอะตอมของธาตุ

โครงสร้างอิเล็กตรอนของธาตุในคาบที่ 3 ตั้งแต่ Na → Ar ก็เขียนในทำนองเดียวกัน

จะเห็นว่า Na จะมีโครงสร้างอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ และมักเขียนย่อเป็น [Ne] 3s¹

โครงสร้างอิเล็กตรอนของ Ne (แก๊สเฉื่อย)

นั่นคือ ในส่วนที่เหมือนกับโครงสร้างอิเล็กตรอนของแก๊สเฉื่อย จะเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ของแก๊สเฉื่อยในวงเล็บ [] ส่วนที่เหลือก็เขียนเพิ่มต่อไป

- ตัวอย่างเช่น

${}_{16}\text{S} = [\text{Ne}] 3s^2 3p^4$
 ${}_{20}\text{Ca} = [\text{Ar}] 4s^2$
 ${}_{46}\text{Pd} = [\text{Kr}] 5d^8 4s^2$

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคมีทั่วไป
อ.ดร.เพชรลดา กัณหาดี 34

10) โครงสร้างอะตอมของธาตุ

s-orbital บรรจุ e⁻ ได้มากที่สุด 2 ตัว
 p-orbital บรรจุ e⁻ ได้มากที่สุด 6 ตัว
 d-orbital บรรจุ e⁻ ได้มากที่สุด 10 ตัว
 f-orbital บรรจุ e⁻ ได้มากที่สุด 14 ตัว

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคมีทั่วไป
อ.ดร.เพชรลดา กัณหาดี 35