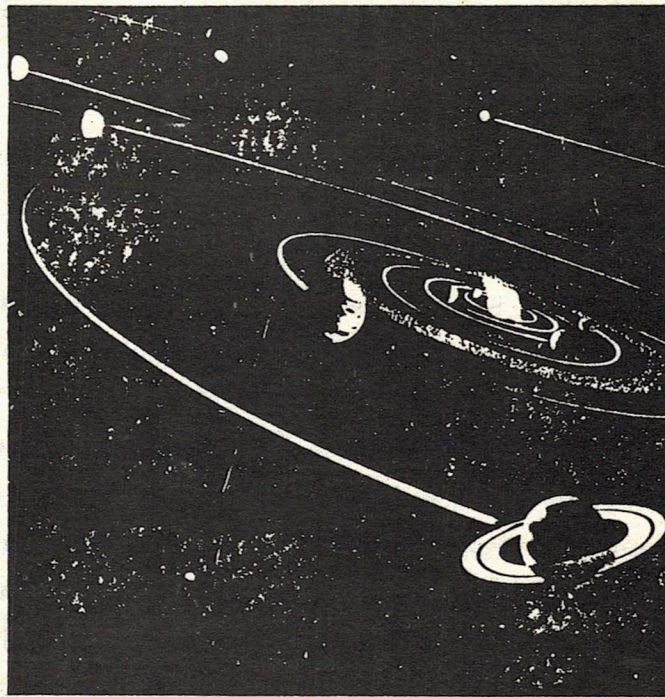


เคมี

โครงสร้างอะตอม

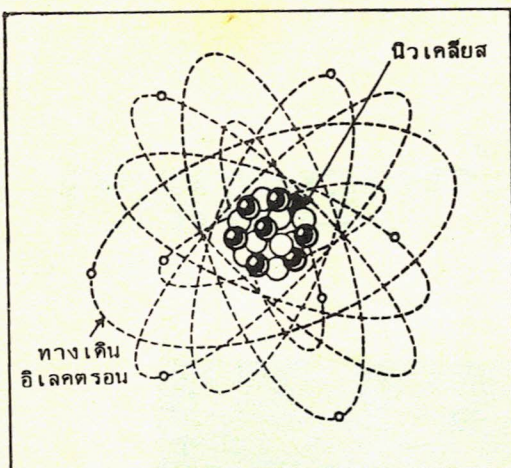
โดย. ประดิษฐ์ มีสุข



รูปแสดงระบบสุริยะจักรวาล

๑ - ๑ องค์ประกอบของอะตอม

อะตอมประกอบด้วยอนุภาคพื้นฐาน ๓ ชนิด คือ อิเล็กตรอน (electron) โปรตอน (proton) และนิวตรอน (neutron) อิเล็กตรอนมีประจุไฟฟ้าลบ โปรตอนมีประจุไฟฟ้าบวก และนิวตรอนไม่มีประจุไฟฟ้า การที่อะตอมใด ๆ จะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวกหรือลบนั้น ขึ้นอยู่กับจำนวนอิเล็กตรอนและโปรตอน กล่าวคือ ถ้าอะตอมใดมีจำนวนอิเล็กตรอน เท่ากับจำนวนโปรตอน อะตอมนั้นจะไม่มีประจุไฟฟ้า แต่ถ้าอะตอมใดมีอิเล็กตรอนมากกว่า โปรตอน ๑ อนุภาค และ



รูปที่ 1-1 โต๊ะแกรมแสดงหุ่นจำลองอะตอมของบอห์ร ซึ่งประกอบด้วยแนวความคิดพื้นฐานการกำหนดนิวเคลียสของรูเธอร์ฟอร์ด นิวเคลียสที่แสดงนี้ใช้สเกลไม่ถูกต้อง ความจริงแล้วนิวเคลียสเล็กมาก มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางอะตอมประมาณ $10,000$ เท่า¹

๒ อนุภาค อะตอมนั้นจะมีประจุไฟฟ้า -๑ และ -๒ ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันถ้าอะตอมใดมีจำนวนอิเล็กตรอนน้อยกว่าโปรตอน อะตอมนั้นจะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก อะตอมหรือหมู่อะตอมที่รวมกันเป็นอนุมูลที่มีประจุไฟฟ้านี้ เรียกว่า อีออน (ion)

โปรตอนมีมวล 1.6726×10^{-24} กรัม และนิวตรอนมีมวล 1.6749×10^{-24} กรัม มวลของโปรตอนและนิวตรอนมีปริมาณน้อยซึ่งได้ยาก นักวิทยาศาสตร์จึงกำหนดหน่วยมวลของอะตอมขึ้น เรียกว่า หน่วยมวลอะตอม หรือ เอ.เอ็ม.ยู (atomic mass unit) มวลหนึ่งหน่วยมวลอะตอม เท่ากับ 1.6603×10^{-24} กรัม ซึ่งเท่ากับ $1/12$ เท่าของน้ำหนักของอะตอมคาร์บอนไอโซโทป ๑๒ ดังนั้นโปรตอน และนิวตรอนจึงมีมวล ๑.๐๐๗๓ และ ๑.๐๐๘๗ เอ.เอ็ม.ยู ตามลำดับ เพื่อความสะดวกจึงกำหนดให้มวลของโปรตอนและนิวตรอนเท่ากับ ๑ เอ.เอ็ม.ยู ส่วนอิเล็กตรอนมีมวลน้อยมากประมาณ $1/1836$ เท่าของมวลโปรตอน จึงไม่นิยมนำหนักเมื่อเทียบกับมวลโปรตอน ดังนั้นหนักอะตอมของธาตุทั้งหลายจึงขึ้นอยู่กับจำนวนโปรตอนและจำนวนนิวตรอนรวมกัน เช่น อะตอมไฮโดรเจนมีโปรตอนเพียง ๑ อนุภาค จึงกำหนดให้มีน้ำหนักอะตอมเป็น ๑ อะตอมคาร์บอนมีโปรตอน ๖ อนุภาค และมีนิวตรอน ๖ อนุภาค จึงกำหนดให้มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ ๑๒ จำนวนโปรตอนและนิวตรอนรวมกันนี้ เรียกว่า เลขมวล (mass number) ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย A เขียนไว้ด้านบนสัญลักษณ์ธาตุเยื้องไปข้างหลัง และจำนวนโปรตอนเพียงอย่างเดียว เรียกว่า เลขอะตอม (atomic number) ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย Z มักเขียนไว้ด้านล่างหรือด้านบนสัญลักษณ์ธาตุเยื้องไปข้างหน้า เช่น ${}^1_1\text{H}$, ${}^4_2\text{He}$ และ ${}^{12}_6\text{C}$ เป็นต้น

¹Holum J.R. Fundamentals of General Organic and Biological Chemistry. p. 40.



ตาราง ๑ - ๑ แสดงประจุและมวลของอนุภาคอิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน

อนุภาค	สัญลักษณ์	ประจุไฟฟ้า	มวลเปรียบเทียบ	
			อิเล็กตรอน	เอ.เอ็ม.ยู
อิเล็กตรอน	e	-๑	๑	๐.๐๐๐๕
โปรตอน	p	+๑	๑๘๓๖	๑.๐๐๗๓
นิวตรอน	n	๐	๑๘๓๖	๑.๐๐๘๗

๑ - ๒ นิวเคลียสของอะตอม

โปรตอนและนิวตรอนในแต่ละอะตอมจะรวมกันด้วยแรงนิวเคลียร์ (nuclear force) อยู่กึ่งกลางของอะตอม เรียกว่า นิวเคลียส ส่วนอิเล็กตรอนจะวิ่งอยู่รอบ ๆ นิวเคลียสของอะตอม ขนาดของนิวเคลียสเมื่อเทียบกับขนาดของอะตอมแล้วเล็กมาก เช่น อะตอมทองคำมีรัศมีประมาณ 10^{-8} เซนติเมตร นิวเคลียสของทองคำมีรัศมีประมาณ 10^{-12} เซนติเมตร คือนิวเคลียสของทองคำมีรัศมีเพียง $1/10,000$ เท่าของรัศมีอะตอมนั่นเอง สรุปแล้วอะตอมมีปริมาตรมากกว่านิวเคลียสประมาณ 10^{12} เท่า

ลักษณะของนิวเคลียสส่วนใหญ่มักจะเป็นทรงกลม แต่อะตอมบางชนิดนิวเคลียสอาจรี ซึ่งมีแกนยาวยาวกว่าแกนสั้นไม่เกิน ๒๐ เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากนิวเคลียสมีขนาดเล็กมาก และมวลทั้งหมดของอะตอมรวมกันอยู่ที่นิวเคลียส นิวเคลียสจึงมีความหนาแน่นมาก คือประมาณ 10^{14} กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร^๑

โครงสร้างของอะตอมมีส่วนคล้ายคลึงกับระบบสุริยจักรวาลอยู่บ้าง คือ มีนิวเคลียสอยู่ตรงกลางเปรียบเหมือนดวงอาทิตย์ มีอิเล็กตรอนวิ่งอยู่รอบ ๆ นิวเคลียสและมีแรงดึงดูดกับนิวเคลียสเหมือนดาวพระเคราะห์ที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ แต่อย่างไรก็ตาม โครงสร้างอิเล็กตรอนของอะตอมมีความซับซ้อนและแตกต่างไปจากโครงสร้างของ ระบบสุริยจักรวาลมาก ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดต่อไป และนักเคมีสนใจเฉพาะพฤติกรรมของอิเล็กตรอน เพราะอิเล็กตรอนมีบทบาทสำคัญในการสร้างพันธะทางเคมีระหว่างอะตอม

^๑ กฤษณา ชุติมา หลักเคมีทั่วไป หน้า ๒๑



๑ - ๓ ออบิตัลอะตอมและเลขควอนตัม

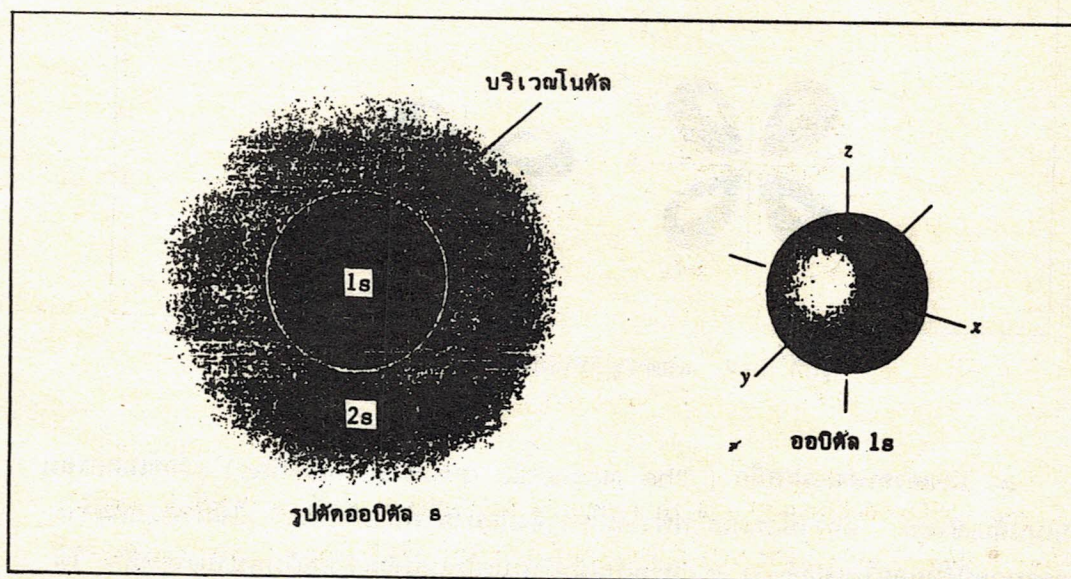
อิเล็กตรอนที่วิ่งอยู่รอบ ๆ นิวเคลียสนั้น เราไม่สามารถกำหนดตำแหน่ง ความเร็ว ทิศทาง หรือวิถีโคจรได้ แต่เราสามารถคำนวณหาโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนอนุภาคใดอนุภาคหนึ่ง ณ หนึ่งตำแหน่งหนึ่งที่ตำแหน่งต่าง ๆ และศึกษาคุณสมบัติของอิเล็กตรอนได้โดยอาศัยกฎของไฮเซนเบิร์ก (Heisenberg) และ สมการคลื่นของชโรดิงเงอร์ (Schroedinger) ขอบเขตที่เราสามารถพบอิเล็กตรอน อนุภาคใดอนุภาคหนึ่ง ในเวลาใดเวลาหนึ่ง เรียกว่า ออบิตัล (orbital) หรือ หมอกอิเล็กตรอน (electron cloud) กลุ่มของออบิตัลที่มีระดับพลังงานเท่ากัน เรียกว่า เซลล์ย่อย (subshell) และกลุ่มของเซลล์ย่อย เรียกว่า เซลล์ (shell) ขนาดและรูปร่างของออบิตัลจะขึ้นอยู่กับสภาพพลังงานของอิเล็กตรอนอนุภาคนั้นๆ อิเล็กตรอนที่มีระดับพลังงานต่ำ จะมีออบิตัลอยู่ใกล้นิวเคลียส อิเล็กตรอนที่มีระดับพลังงานสูงขึ้น จะอยู่ห่างจากนิวเคลียสเป็นระยะทางเพิ่มขึ้น และพบว่าพลังงานของอิเล็กตรอนมีค่าห่างกันเป็นช่วงคงที่ (quantized) เช่น ให้ E_1 และ E_2 เป็นระดับพลังงานสองระดับที่อยู่ติดกัน พบว่าอิเล็กตรอนจะอยู่ในระดับพลังงาน E_1 หรือ E_2 แต่จะไม่อยู่ระหว่าง E_1 และ E_2 เลย ไม่ว่าขณะใด อันนี้เป็นทฤษฎีควอนตัม (quantum theory) ซึ่งใช้เลขควอนตัม (quantum number) สี่ชนิดเพื่อกำหนดพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอม ดังนี้

๑. เลขควอนตัมหลัก (The principle quantum number) ใช้กำหนดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในเซลล์ต่าง ๆ ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย n ซึ่งมีค่าเป็น ๑, ๒, ๓, เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์อิเล็กตรอนในทฤษฎีบอร์ (Bohr) จะเห็นได้ว่า $n = 1$ คือเซลล์ K $n = 2$ คือเซลล์ L และ $n = 3$ คือเซลล์ M เป็นต้น อิเล็กตรอนในแต่ละเซลล์จะมีจำนวนไม่เกิน $2n^2$ อนุภาค เช่น $n = 1, 2, 3, \dots$ จะมีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน ๒, ๘ และ ๑๘ อนุภาค ตามลำดับ

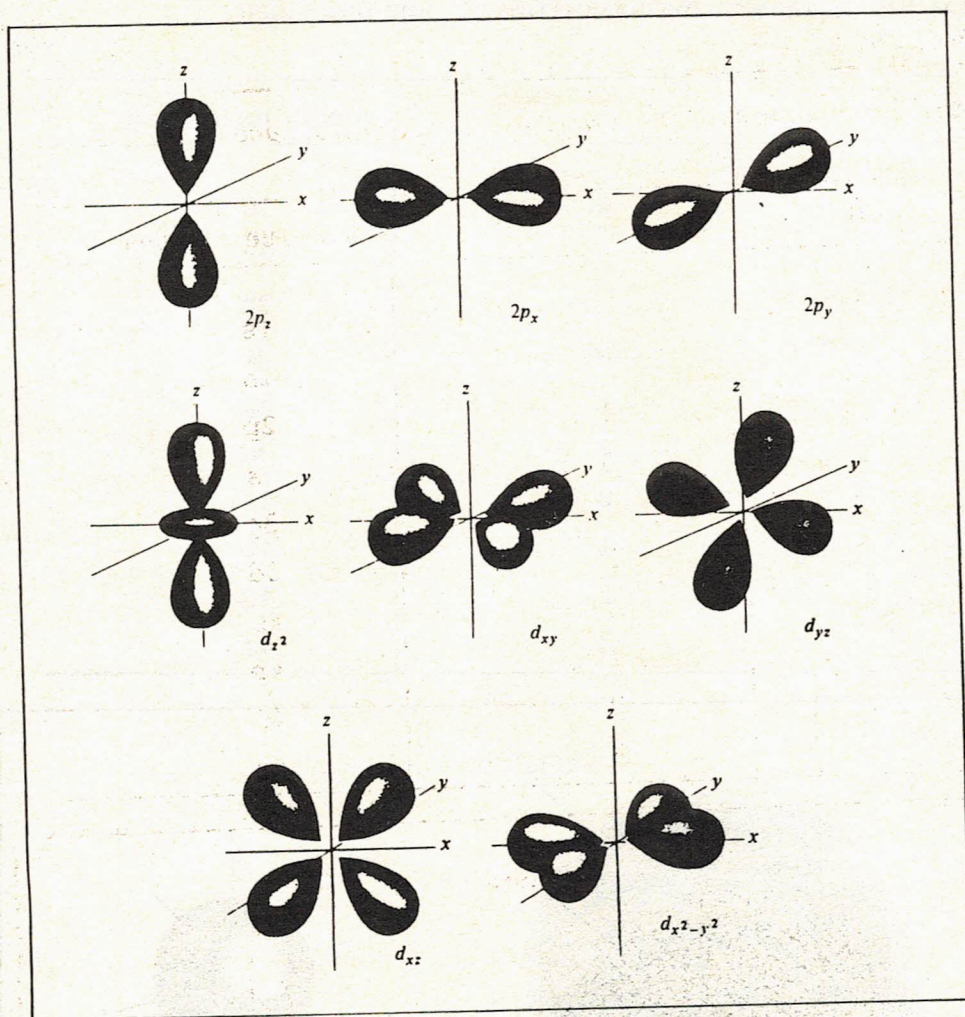
๒. เลขควอนตัมโมเมนตัมเชิงมุม (The angular - momentum quantum number) ใช้กำหนดโมเมนตัมเชิงมุมของอิเล็กตรอนซึ่งจะบอกรูปร่างของออบิตัลหรือหมอกอิเล็กตรอนนั้น ๆ ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย l มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มขึ้นกับค่า n คือมีค่าตั้งแต่ ๐, ๑, ๒, ๓, ถึง $(n-1)$ เช่นเมื่อ $n = 1$ l จะมีค่าเท่ากับ 0 ออบิตัลย่อยนี้เรียกว่า ออบิตัล 1s มีรูปร่างเป็นทรงกลมสมมาตรรอบนิวเคลียส ถ้า $n = 2$ l จะมีค่าเป็น ๐ และ ๑ $l = 0$ เรียกว่าออบิตัล 2s มีรูปร่างเป็นทรงกลม แต่มีรัศมีใหญ่กว่าออบิตัล 1s และมีบริเวณที่เกือบจะไม่มีโอกาสพบอิเล็กตรอน 2s อยู่ระหว่างออบิตัล 1s และ 2s เรียกบริเวณนี้ว่า บริเวณโนดัล (nodal surface) และเมื่อ $n = 2$ $l = 1$ เรียกว่าออบิตัล p ซึ่งมีรูปร่างคล้ายกับลูกตุ้มยกน้ำหนัก (dumb-bell) ดังรูปที่ ๑ - ๒ และ ๑ - ๓

ตาราง ๑ - ๒ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า L และชื่อเชลล์ย่อย

n	l	ลักษณะของเชลล์ย่อย
1	0	1s
2	0	2s
	1	2p
3	0	3s
	1	3p
	2	3d
4	0	4s
	1	4p
	2	4d
	3	4f

รูปที่ 1-2 แสดงรูปร่างออร์บิทัล¹

¹Mortimer C.E. Chemistry A conceptual Approach. p. 47.

รูปที่ 1-3 แสดงรูปร่างออร์บิทัล p และ d¹

๓. เลขควอนตัมแม่เหล็ก (The magnetic quantum number) เมื่ออิเล็กตรอนมีค่าโมเมนตัมเชิงมุม คือว่ามีกระแสไฟฟ้าวิ่งเป็นวงจึงมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้น ใช้กำหนดทิศทางอิเล็กตรอนออร์บิทัลย่อยในเซลล์ต่าง ๆ หรือเป็นตัวกำหนดโมเมนตัมเชิงมุมในสนามแม่เหล็ก ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย m ค่า m ขึ้นอยู่กับค่า l คือมีค่าตั้งแต่ $0, +1, +2, \dots$ ถึง $\pm l$ ดังนั้น

¹Dillard C.R. and Doldberg D.E. Chemistry reaction structure and properties. p. 255.

เซลล์ย่อย s จะมี m ได้เพียงค่าเดียว คือ 0

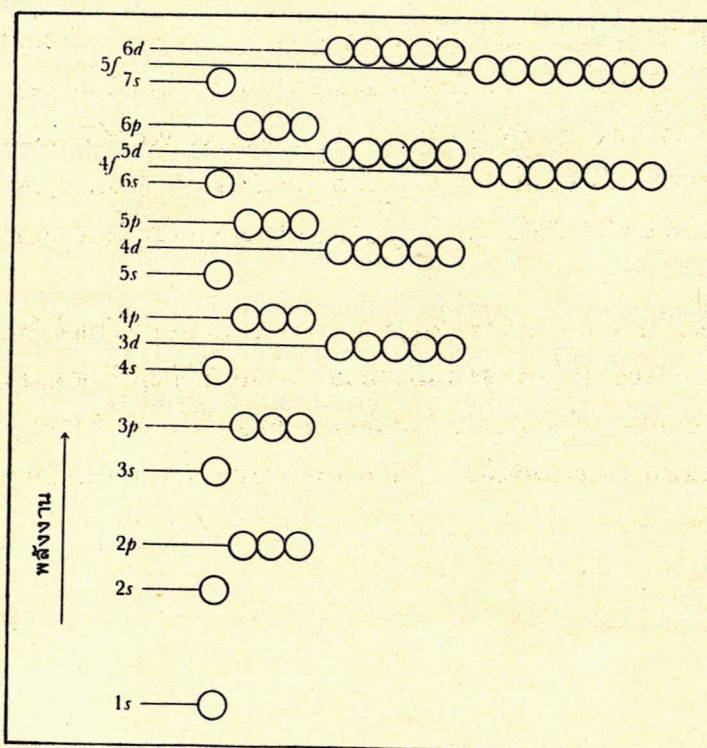
เซลล์ย่อย p จะมี m ได้ 3 ค่า คือ 0, ± 1

เซลล์ย่อย d จะมี m ได้ 5 ค่า คือ 0, ± 1 , ± 2

เซลล์ย่อย f จะมี m ได้ 7 ค่า คือ 0, ± 1 , ± 2 , ± 3

ตัวอย่างเช่น เมื่อ $n = 2$ และ $l = 1$ m อาจมีค่า -1, 0 และ 1 นั่นคือ ออบิทัล 2p ซึ่งมีได้สามทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกันในแนวแกน x, y และ z ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย p_x , p_y และ p_z รูปที่ 1-3 เมื่อ $n = 3$ และ $l = 2$ m อาจมีค่า -2, -1, 0, 1 และ 2 ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย d_{xy} , d_{yz} , d_{zx} , d_{z^2} และ $d_{x^2-y^2}$ เป็นต้น

๔. เลขควอนตัมสปิน (The spin quantum number) ใช้กำหนดทิศทางการหมุนเวียนของอิเล็กตรอนว่าอยู่ในทิศทางที่เสริมหรือสวนกับสนามแม่เหล็ก ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย s ค่าของ s มีสองค่า คือ $+\frac{1}{2}$ และ $-\frac{1}{2}$ อิเล็กตรอนที่มีระดับพลังงานที่มีเลขควอนตัม n , l และ m เหมือนกัน คืออยู่ในออบิทัลย่อยอันเดียวกัน จะมีอิเล็กตรอนได้เพียง 2 อนุภาค ซึ่งหมุนตรงข้ามกัน



รูปที่ 1-4 แสดงระดับพลังงานสัมพัทธ์ของออบิทัลอะตอม



ตาราง ๑ - ๓ แสดงการกระจายของอิเล็กตรอนในออบิตัลต่าง ๆ ของอะตอม

สัญลักษณ์	เลขอะตอม	การกระจายของอิเล็กตรอน	การจัดอิเล็กตรอน				
			1s	2s	2p _x	2p _y	2p _z
H	1	1s ¹	↑				
He	2	1s ²	↑↓				
Li	3	1s ² 2s ¹	↑↓	↑			
Be	4	1s ² 2s ²	↑↓	↑↓			
B	5	1s ² 2s ² 2p _x ¹	↑↓	↑↓	↑		
C	6	1s ² 2s ² 2p _x ¹ 2p _y ¹	↑↓	↑↓	↑	↑	
N	7	1s ² 2s ² 2p _x ¹ 2p _y ¹ 2p _z ¹	↑↓	↑↓	↑	↑	↑
O	8	1s ² 2s ² 2p _x ² 2p _y ¹ 2p _z ¹	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑
F	9	1s ² 2s ² 2p _x ² 2p _y ² 2p _z ¹	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑
Ne	10	1s ² 2s ² 2p _x ² 2p _y ² 2p _z ²	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓

การบรรจุอิเล็กตรอนในออบิตัลเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\bigcirc$ หรือ $\square$ ส่วนอิเล็กตรอนจะใช้แทนด้วยลูกศรเช่น $\uparrow$ สำหรับสปินขึ้น และ $\downarrow$ สำหรับสปินลง ดังนั้นออบิตัลที่มีอิเล็กตรอนอยู่เต็ม จะเขียนแทนด้วย $\uparrow\downarrow$ ถ้าอิเล็กตรอนเรียงเดี่ยวนิยมเขียนสปินขึ้นดังแสดงในตาราง ๑ - ๓ นอกจากนี้ยังใช้ตัวเลขแสดงจำนวนอิเล็กตรอนในออบิตัลโดยเขียนไว้ด้านบนสัญลักษณ์ออบิตัล เยื้องมาทางด้านหลัง ดังแสดงในตาราง ๑ - ๓