เอกสารประกอบการบรรยาย
วิชา คม105 เคมีพื้นฐาน

โครงสร้างของอะตอม (Atomic structure)

- การค้นพบอนุภาคมูลฐาน
- ทฤษฎีควอนตัม
- เลขควอนตัมและออร์บิทัลอะตอม
- การจัดเรียงอิเล็กตรอน

อาจารย์ ดร. วีรินท์รดา ทะปะละ

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

1. การค้นพบอนุภาคมูลฐาน

อะตอม อนุภาคที่เล็กที่สุดของธาตุที่สามารถทำปฏิกิริยาเคมีได้

อะตอม ประกอบด้วย โปรตอน (proton) นิวตรอน (neutron) และ อิเล็กตรอน (electron)

นิวคลีออน (nucleon)

- จำนวนโปรตอนภายในนิวเคลียส เรียกว่า เลขอะตอม (atomic number) : Z
- ผลบวกของจำนวนโปรตอนกับนิวตรอน เรียกว่า เลขมวล (mass number): A = Z + N
- อะตอมที่เป็นกลาง จำนวนโปรตอนจะเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอน

สัญลักษณ์ของอะตอม $^{A}_{Z}X$

$^{27}_{13}Al \Rightarrow$ โปรตอน = 13, นิวตรอน = 27-13 = 14, อิเล็กตรอน = 13

- อะตอมของธาตุชนิดเดียวกัน แต่มีมวลอะตอมต่างกัน เรียกว่า ไอโซโทป (isotope)
  เช่น ไฮโดรเจน มี 3 ไอโซโทป คือ $^{1}_{1}H$, $^{2}_{1}H$, $^{3}_{1}H$

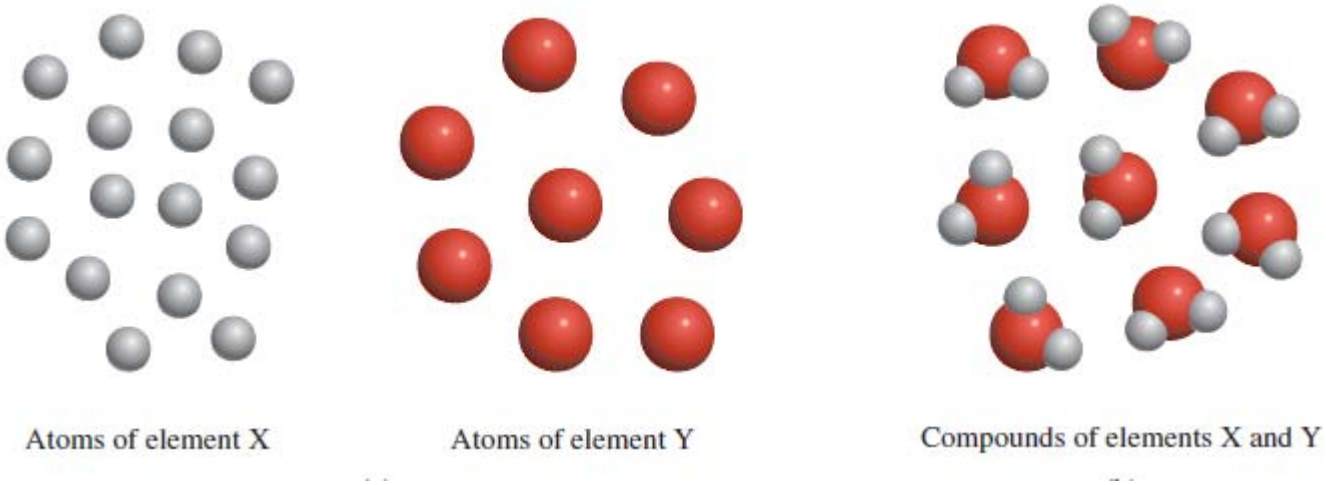
❑ เดโมเครติส (Democritus, 460 BC)

- สสารประกอบขึ้นด้วยอนุภาคขนาดเล็กที่สุดที่แบ่งต่อไปอีกไม่ได้ เรียกว่า อะตอม (Atomos = uncuttable or indivisible)

❑ จอห์น ดาลตัน (John Dalton, 1808)

- ธาตุ ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเล็กที่สุด เรียกว่า อะตอม
- อะตอมของธาตุหนึ่งๆ จะมีลักษณะเฉพาะตัว มีขนาด มวล และคุณสมบัติทางเคมีที่เหมือนกัน
- สารประกอบ เกิดจากอะตอมของธาตุตั้งแต่ 2 ชนิดรวมกัน โดยมีจำนวนอะตอมของธาตุแต่ละชนิดเป็นจำนวนแน่นอน
- ปฏิกิริยาเคมีเกี่ยวข้องกับการแยก การรวม และการจัดเรียงตัวใหม่ของอะตอม ไม่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างหรือทำลายอะตอม

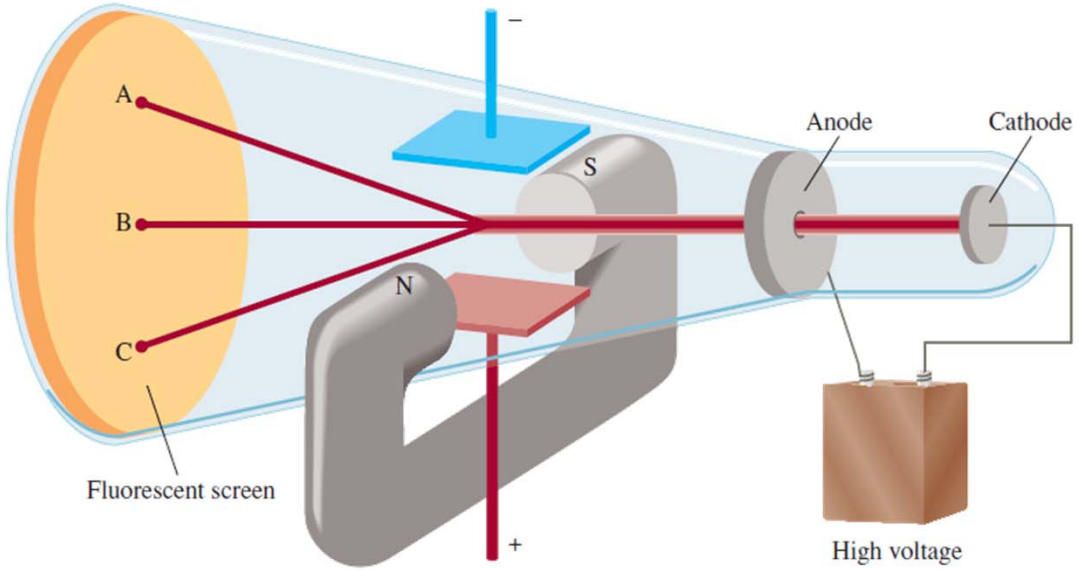
แผนภาพที่แสดงถึงการอธิบายสมมติฐานของดาลตัน



- อะตอมชนิดเดียวกันจะมีลักษณะที่เหมือนกัน แต่อะตอมของธาตุหนึ่งจะแตกต่างจากอะตอมของธาตุอีกชนิดหนึ่ง
- สารประกอบเกิดจากการรวมกันของอะตอมของธาตุ X และอะตอมของธาตุ Y โดยสัดส่วนของอะตอม X : Y = 2 : 1
- ปฏิกิริยาเคมีส่งผลเพียงการจัดเรียงตัวของอะตอมใหม่ แต่ไม่ได้ทำลายหรือสร้างอะตอมขึ้นมาใหม่

การค้นพบอิเล็กตรอน (electron)

หลอดรังสีแคโทด



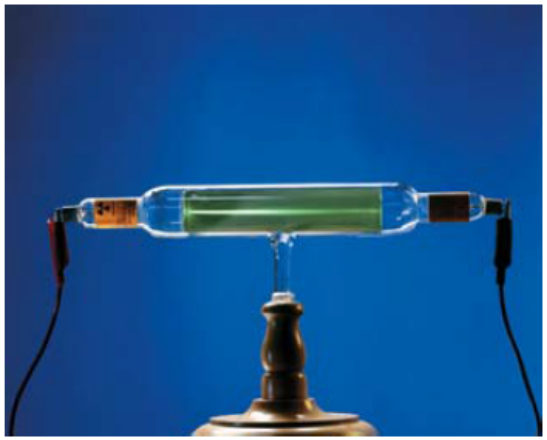
- เมื่อให้สนามแม่เหล็ก โดยปิดสนามไฟฟ้า → รังสีแคโทดตกกระทบจุด A
- เมื่อให้เฉพาะสนามไฟฟ้า → รังสีแคโทดตกกระทบจุด C
- เมื่อเปิดหรือปิดสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าพร้อมกัน → รังสีแคโทดตกกระทบจุด B

↓

รังสีแคโทดถูกดึงดูดเข้าหาขั้วที่เป็นประจุบวก และผลักกับแผ่นขั้วที่เป็นประจุลบ

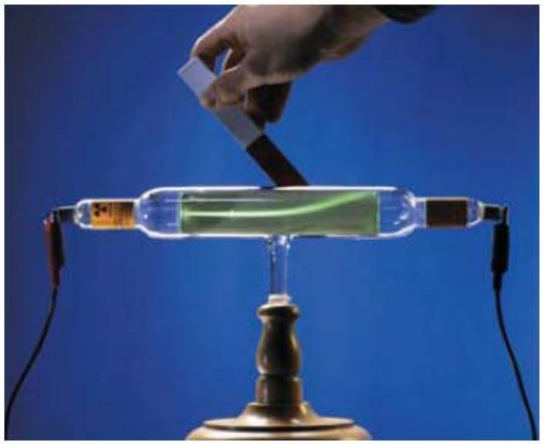
↓

ดังนั้นรังสีแคโทดต้องเป็นประจุลบ “อิเล็กตรอน”



หลอดรังสีแคโทดเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไป รังสีที่เกิดขึ้นไม่สามารถมองเห็นได้โดยปกติ แต่ ZnS ที่เคลือบไว้ที่ผิวหลอดจะเกิดการเรืองแสง ทำให้มองเห็นเป็นสีเขียวได้

รังสีแคโทดถูกเหนี่ยวนำให้หักเหลงข้างล่าง เมื่อเอาขั้วแม่เหล็กทางทิศเหนือวางใกล้กับตำแหน่งที่สว่าง



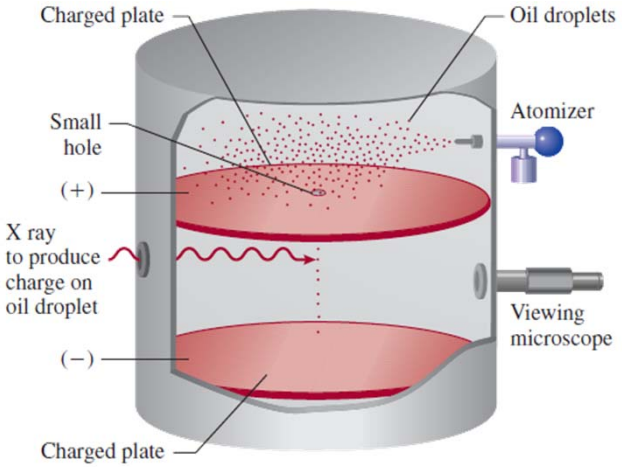
เมื่อกลับขั้วแม่เหล็ก รังสีแคโทดจะมีทิศทางที่ตรงกันข้าม

❑ เจ เจ ทอมสัน (J.J. Thomson, 1897)

- ตั้งสมมติฐานว่ารังสีแคโทดประกอบด้วยอนุภาคที่มีชื่อว่า อิเล็กตรอน
- ทำการทดลองหาอัตราส่วนระหว่างประจุต่อมวล (e/m) ของอิเล็กตรอนในหลอดรังสีแคโทดในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งได้ค่า e/m = - 1.76 × 10^8 C/g และค่านี้จะคงที่เสมอ ไม่ว่าจะใช้ขั้วไฟฟ้าเป็นโลหะชนิดใด และบรรจุแก๊สชนิดใด

❑ อาร์ เอ มิลลิแกน (R.A. Milligan, 1909)

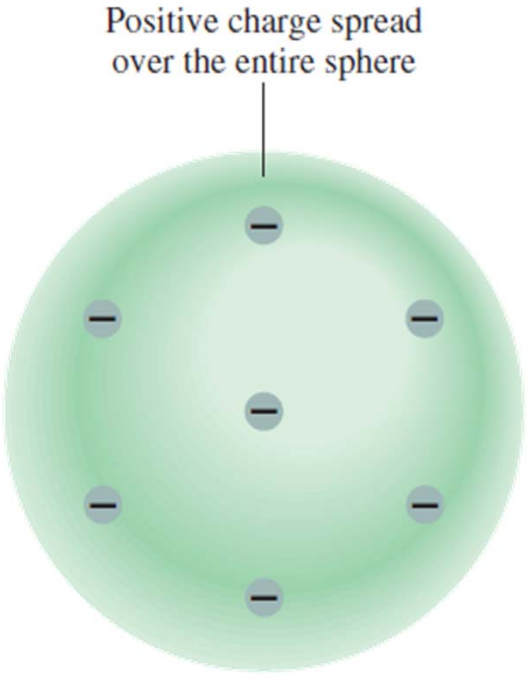
- ประจุของอิเล็กตรอน มีค่าเท่ากับ - 1.6 x 10^{-19} C
- คำนวณมวลของอิเล็กตรอน = 9.1 x 10^{-28} g ซึ่งเบากว่าอะตอมที่เบาที่สุดคือไฮโดรเจนประมาณ 1/1836 เท่า (มวลไฮโดรเจน = 1.67 × 10^{-24} g)



อะตอมไม่ใช่สิ่งที่เล็กที่สุด แต่ประกอบด้วยอิเล็กตรอน (และอนุภาคอื่น)

การค้นพบโปรตอน

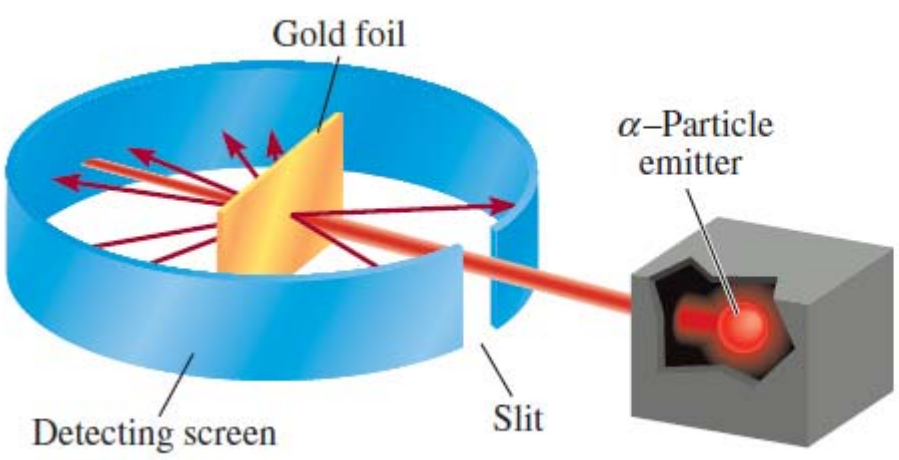
อะตอมประกอบด้วยอิเล็กตรอน และอะตอมมีค่าประจุเป็นกลางทางไฟฟ้า
ดังนั้น จะต้องมีจำนวนประจุบวก = จำนวนประจุลบ

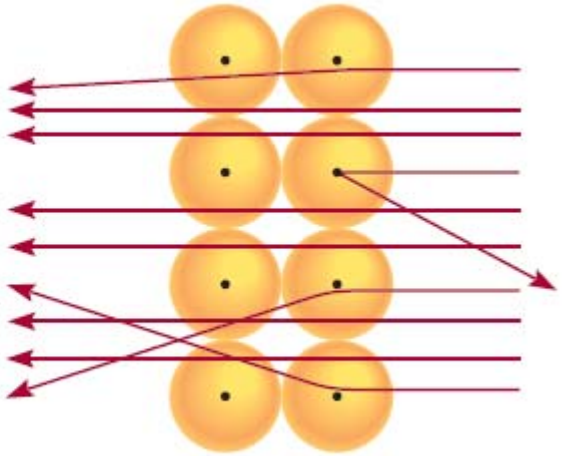


แบบจำลองอะตอมของทอมสัน
หรือ พลัม-พุดดิ้ง (plum-pudding)

- อะตอมเป็นทรงกลมที่มีประจุบวก
- มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ภายใน

❑ เอินสท์ รัทเทอร์ฟอร์ด (Ernest Rutherford, 1910)



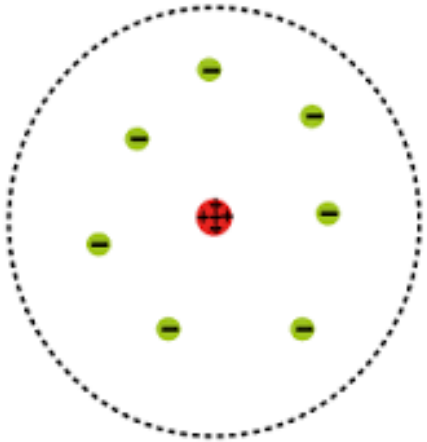


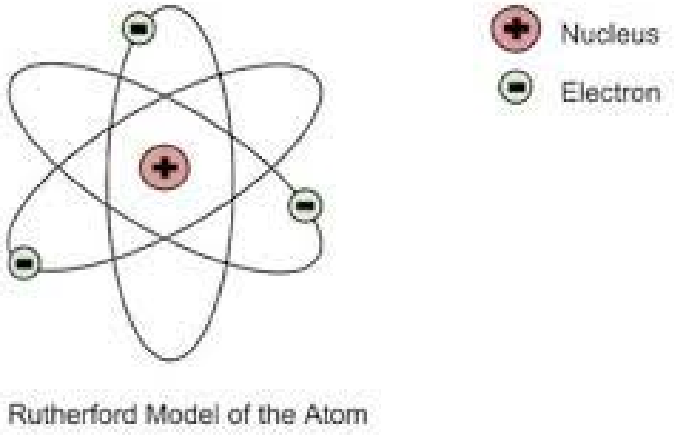
- ใช้แผ่นทองคำบางๆ และโลหะอื่นๆ มาเป็นเป้าให้กับอนุภาคอัลฟ่า (มีประจุบวก) ที่มาจากแหล่งกำเนิดรังสี
- อนุภาคส่วนใหญ่ทะลุผ่านแผ่นโลหะได้โดยไม่มีการเบี่ยงเบน หรือมีการเบี่ยงเบนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น มีส่วนน้อยที่จะกระเจิงหรือเบี่ยงเบนด้วยมุมที่กว้าง และพบน้อยมากที่จะสะท้อนกลับ

ตามแบบจำลองของทอมสัน $\Longrightarrow$ รังสีทั้งหมดควรจะเบี่ยงเบนเล็กน้อยเท่านั้น

แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

อะตอมส่วนใหญ่จะมีพื้นที่ว่างอยู่ โดยอนุภาคประจุบวกของอะตอมรวมตัวกันอยู่เป็นกลุ่มเล็กๆ ตรงกลาง เรียกว่า นิวเคลียส





Rutherford Model of the Atom

- อะตอมประกอบด้วยนิวเคลียส ซึ่งเป็นอนุภาคประจุบวกอยู่ตรงกลาง และมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นวงล้อมรอบ
- จำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับจำนวนประจุบวกในนิวเคลียส
- อนุภาคประจุบวก เรียกว่า โปรตอน มีมวล 1.67×10^{-24} g ($\sim$1840 เท่าของมวลอิเล็กตรอน)

มวลของนิวเคลียสเกือบเท่ากับมวลของอะตอม

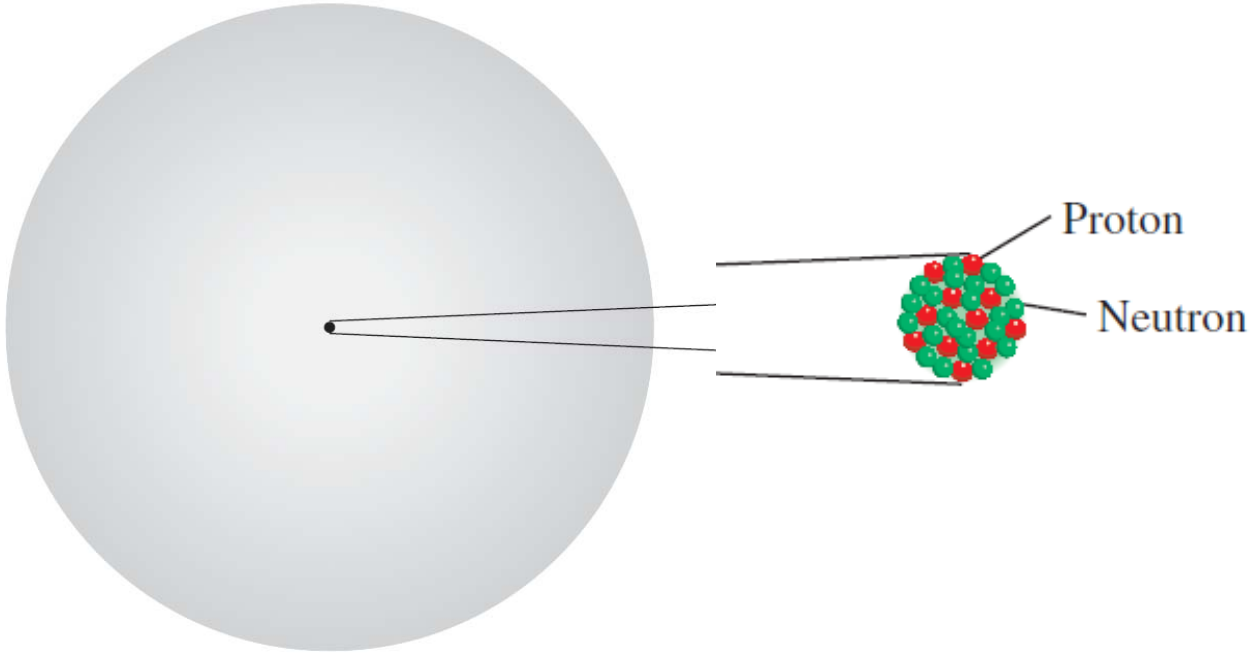
การค้นพบนิวตรอน

H มี 1 โปรตอน และ He มี 2 โปรตอน ดังนั้น มวล He : H ควรมีค่าเท่ากับ 2 : 1

แต่ในความเป็นจริง มวล He : H เท่ากับ 4 : 1

น่าจะมีอนุภาคชนิดอื่นอยู่ภายในนิวเคลียสอีก นอกเหนือจาก โปรตอน

- **เจมส์ แชดวิค (James Chadwick, 1932)**
  - ยิงแผ่นแบริลเลียมบางๆ ด้วยอนุภาคอัลฟ่า แล้วได้อนุภาคพลังงานสูง และไม่มีประจุไฟฟ้าออกมาจากโลหะ
  - อนุภาคชนิดใหม่นี้มีมวลประมาณ 1 amu ซึ่งใกล้เคียงกับมวลของโปรตอน เรียกว่า นิวตรอน



มวลและประจุของอิเล็กตรอน โปรตรอน และนิวตรอน

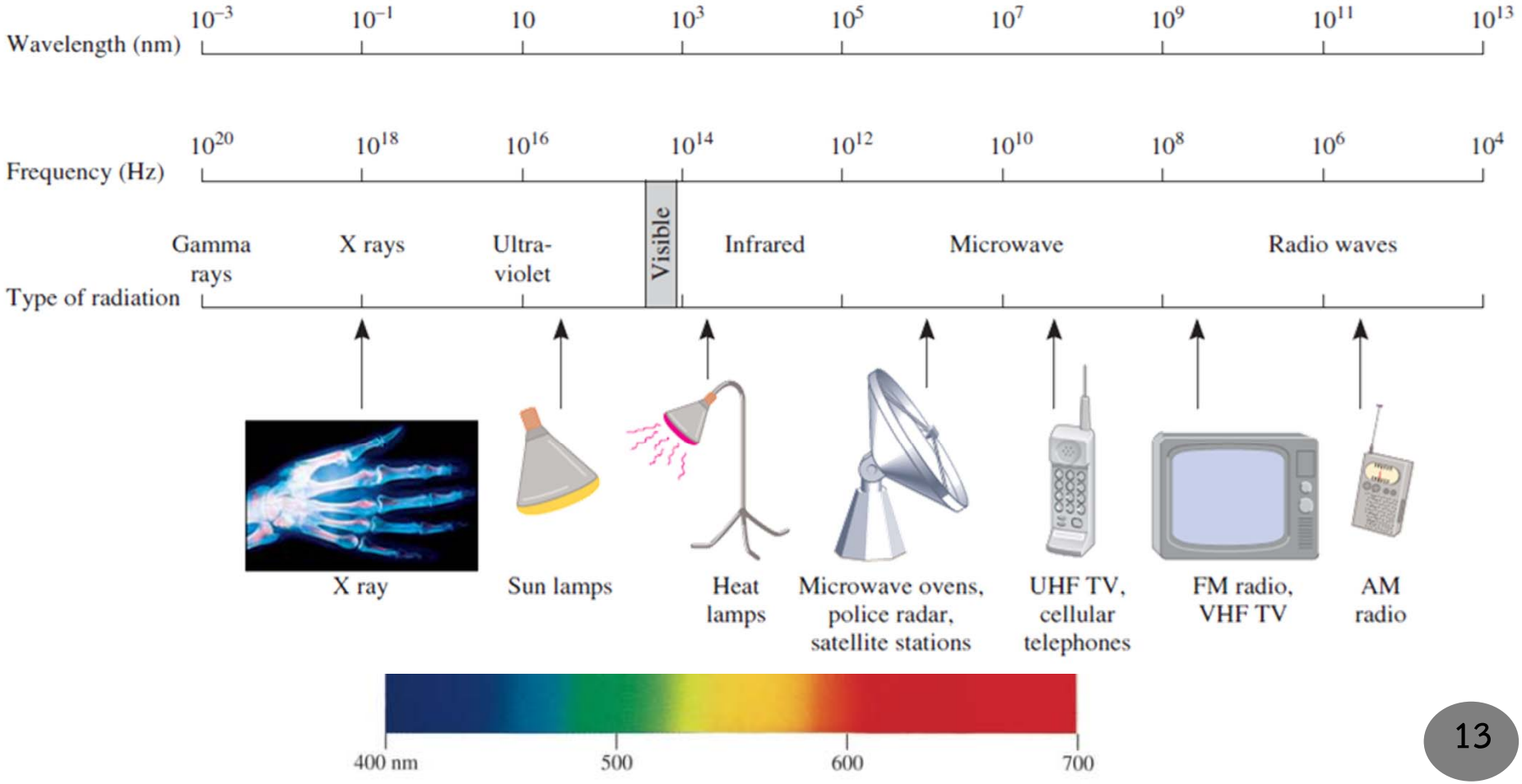
อนุภาค	สัญลักษณ์	ประจุ		มวล	
		ค่าประจุ	คูลอมบ์	g	amu
อิเล็กตรอน	e^-	–1	1.6×10^{-19}	9.1094×10^{-28}	0.000549
โปรตอน	p	+1	1.6×10^{-19}	1.67262×10^{-24}	1.007277
นิวตรอน	n	0	0	1.67493×10^{-24}	1.008665

1 amu = 1.6605 X 10^{-24} g

2. ทฤษฎีควอนตัม

แม็ก แพลงค์ (Max Planck, 1900)

ศึกษาข้อมูลการแผ่รังสีของของแข็งเมื่อได้รับความร้อน พบว่าอะตอมหรือโมเลกุลจะปล่อยพลังงานออกมาทีละจำนวน ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่ต่อเนื่อง เรียกว่า ควอนตัม (quantum)



ขนาดของควอนตัมจะขึ้นกับความถี่ของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

พลังงาน (E) ของ 1 ควอนตัม; $E = h\nu$

โดย E = quantum energy of photon (หน่วย J)

h = Plank's constant = 6.63×10^{-34} J s

ν= frequency of radiation บางครั้งเขียนในรูปของ f (หน่วย s^{-1} หรือ Hz)

เนื่องจาก $\nu = \frac{c}{\lambda}$ เมื่อ c = ความเร็วของแสง = 3×10^{8} m/s

λ = ความยาวคลื่น

ดังนั้น $E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$

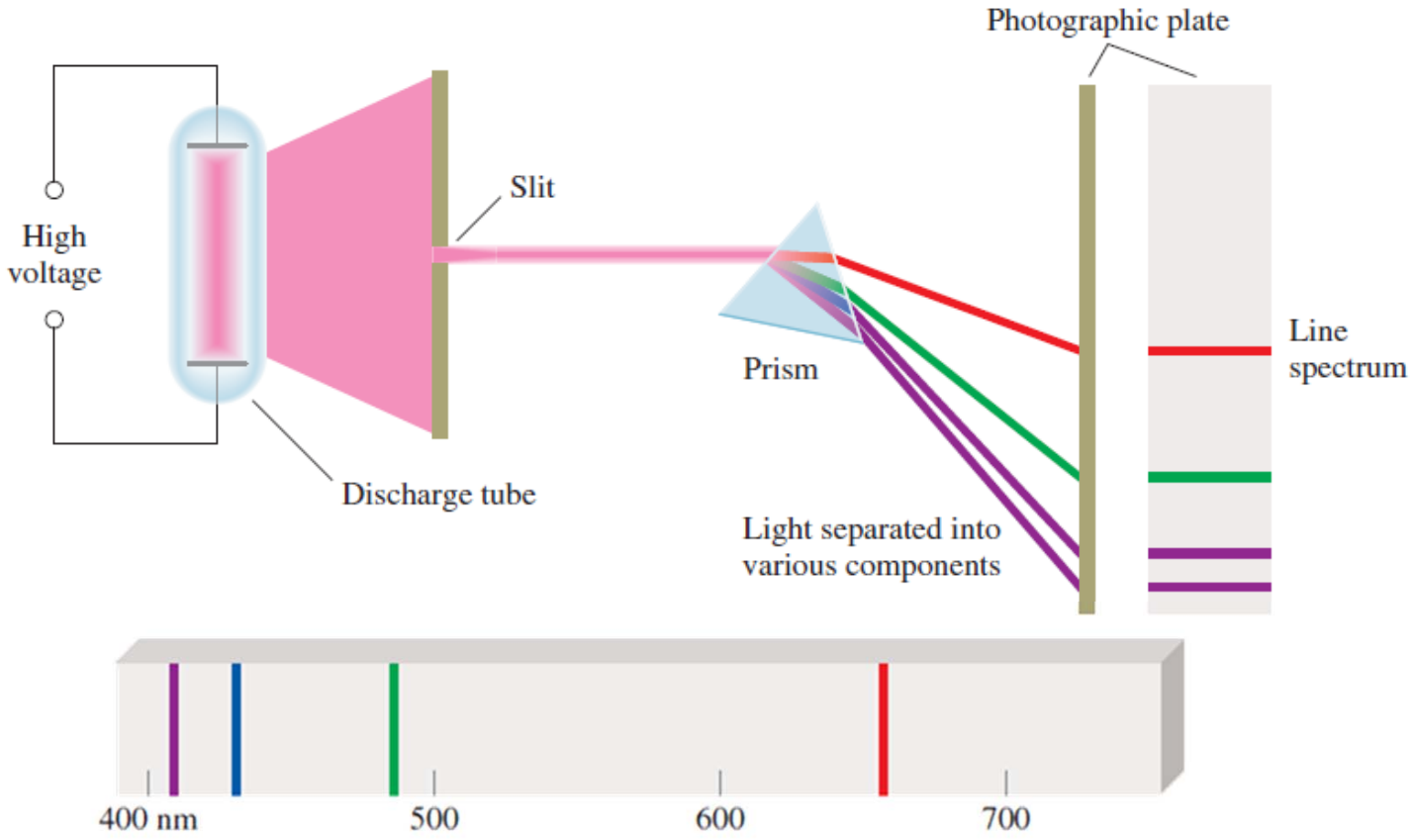
<u>ตัวอย่าง 1</u> จงคำนวณพลังงาน (J) ของ

1. โฟตอนความยาวคลื่น 5.00×10^{4} nm (ย่านอินฟราเรด)
2. โฟตอนความยาวคลื่น 5.00×10^{-2} nm (ย่านรังสีเอกซ์)

<u>ตัวอย่าง 2</u> จงหาพลังงาน (J) และความยาวคลื่น (nm) ของคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ 2.4×10^{12} Hz

นิลส์ บอห์ร (Niels Bohr, 1913)

ศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสง (emission spectrum) ของอะตอมไฮโดรเจน

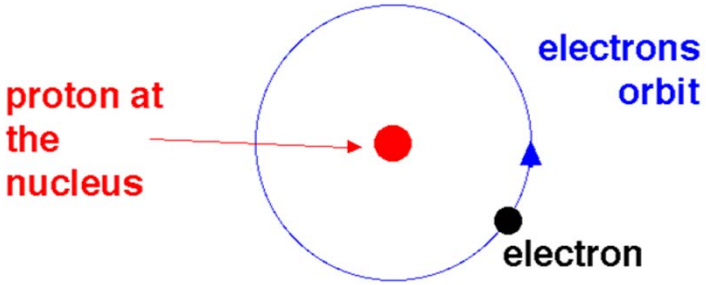


สเปกตรัมการเปล่งแสงของอะตอมในสถานะแก๊ส ไม่มีลักษณะสเปกตรัมที่ต่อเนื่อง แต่อะตอมจะให้เส้นสเปกตรัมสว่างในบางตำแหน่งของสเปกตรัมย่านตามองเห็น

สเปกตรัมแบบเส้น (line spectra) คือ แสงที่ปล่อยออกมาที่ความยาวคลื่นเฉพาะค่าหนึ่ง

สมมติฐานของบอห์ร

“ อิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนอยู่ได้ในวงโคจรเฉพาะที่มีพลังงานจำเพาะ ”



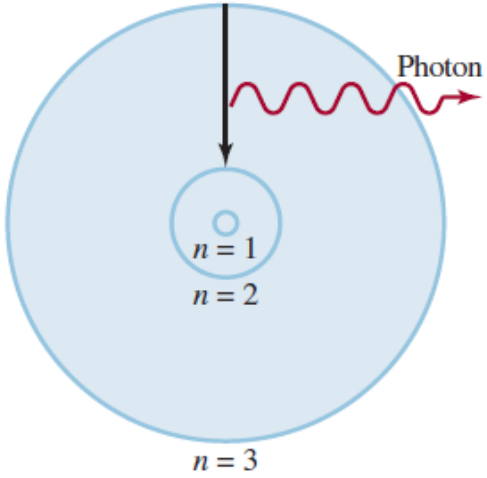
พลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจน

$$E_n = -R_H\left(\frac{1}{n^2}\right)$$

โดย R_H = Rydberg constant = 2.18×10^{-18} J

n = principle quantum number = 1, 2, 3,...

1 J = 6.242 $\times 10^{-34}$ eV



การปล่อยรังสีในอะตอมไฮโดรเจน เกิดจากอิเล็กตรอนตกลงจากวงโคจรระดับพลังงานสูงสู่วงโคจรระดับพลังงานต่ำ และปล่อยควอนตัมของพลังงาน (โฟตอน) ในรูปแสง

เครื่องหมายลบ $\Longrightarrow$ พลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมมีค่าต่ำกว่าพลังงานของอิเล็กตรอนอิสระ

กระบวนการเปล่งแสงในอะตอมไฮโดรเจน

พิจารณาผลต่างระหว่างพลังงานของสถานะเริ่มต้นและสถานะสุดท้าย $\Delta E = E_f - E_i$

โดย $E_f = -R_H\left(\frac{1}{n_f^2}\right)$ n_f คือ เลขควอนตัมหลักของชั้นพลังงานสุดท้าย (finished)

และ $E_i = -R_H\left(\frac{1}{n_i^2}\right)$ n_i คือ เลขควอนตัมหลักของชั้นพลังงานเริ่มต้น (initial)

ดังนั้น $\Delta E = \left(\frac{-R_H}{n_f^2}\right) - \left(\frac{-R_H}{n_i^2}\right)$

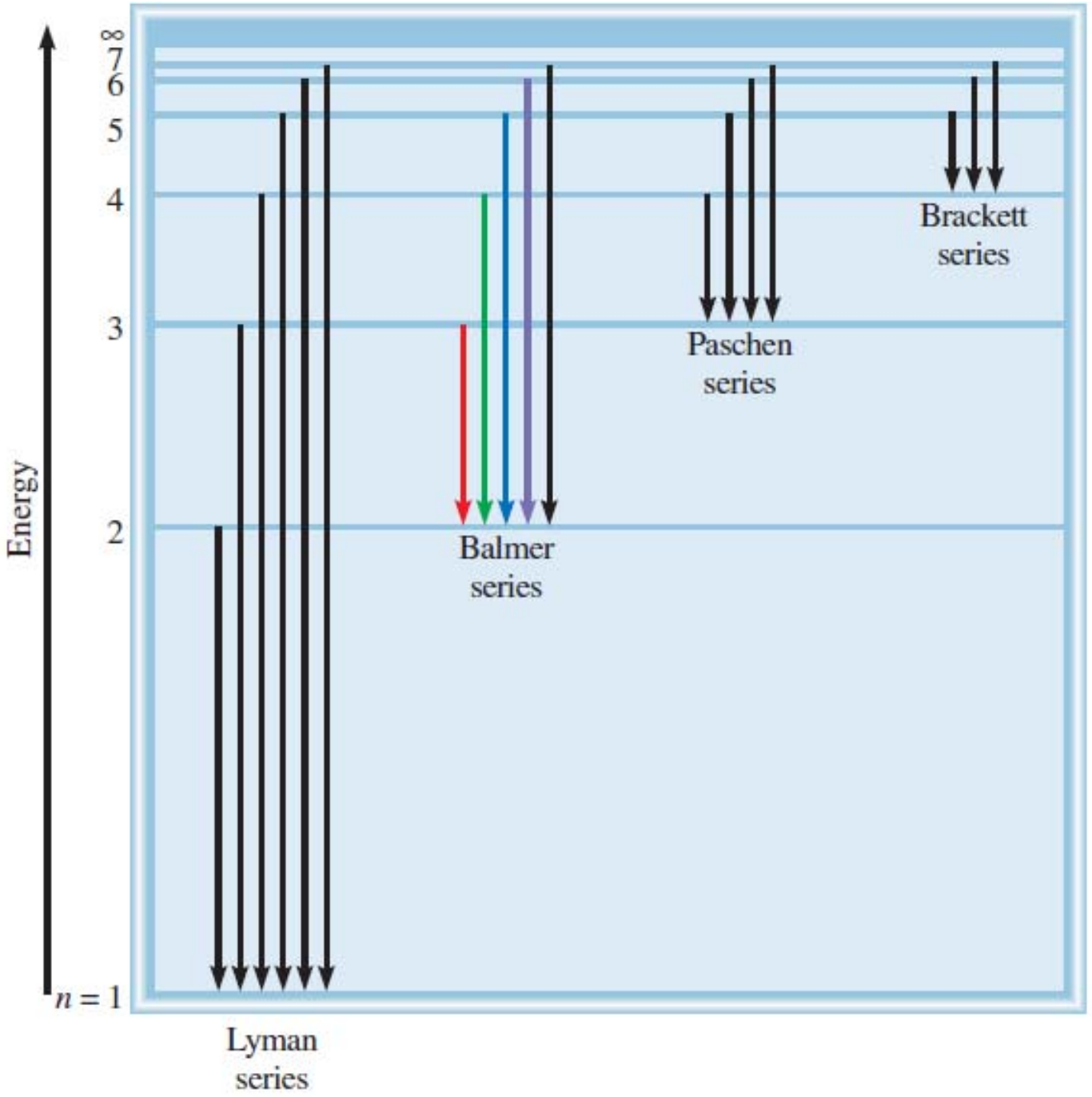
$= R_H\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right)$

เพราะการทรานซิชันทำให้เกิดการปล่อยโฟตอนความถี่ ν และ พลังงาน $h\nu$

$$\Delta E = h\nu = R_H\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right)$$

$n_i > n_f$ โฟตอนถูกปล่อย $\Rightarrow$ ΔE (-) เสียพลังงานสู่สิ่งแวดล้อม

$n_i < n_f \Rightarrow$ ΔE (+) ระบบดูดกลืนพลังงาน

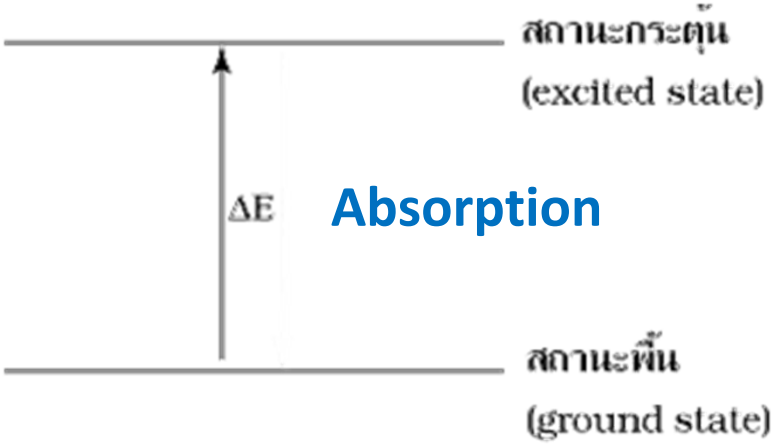

Energy
∞
7
6
5
4
3
2
n = 1
Lyman series
Balmer series
Paschen series
Brackett series

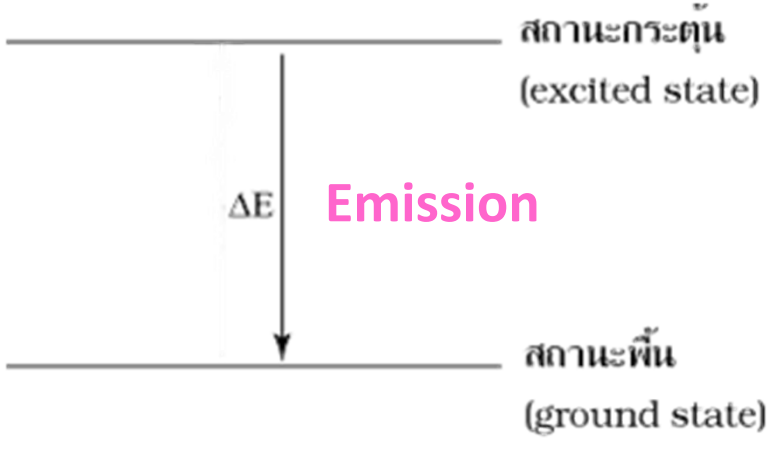
อนุกรมในสเปกตรัมการเปล่งแสงของอะตอมไฮโดรเจน

อนุกรม	n_f	n_i	**ย่านสเปกตรัม**
ไลมาน (Lyman)	1	2, 3, 4, ...	อัลตราไวโอเลต
บาลเมอร์ (Balmer)	2	3, 4, 5, ...	ตามองเห็น และอัลตราไวโอเลต
พาสเชน (Paschen)	3	4, 5, 6, ...	อินฟราเรด
แบรคเกต (Brackett)	4	5, 6, 7, ...	อินฟราเรด

ข้อสรุปของบอห์ร

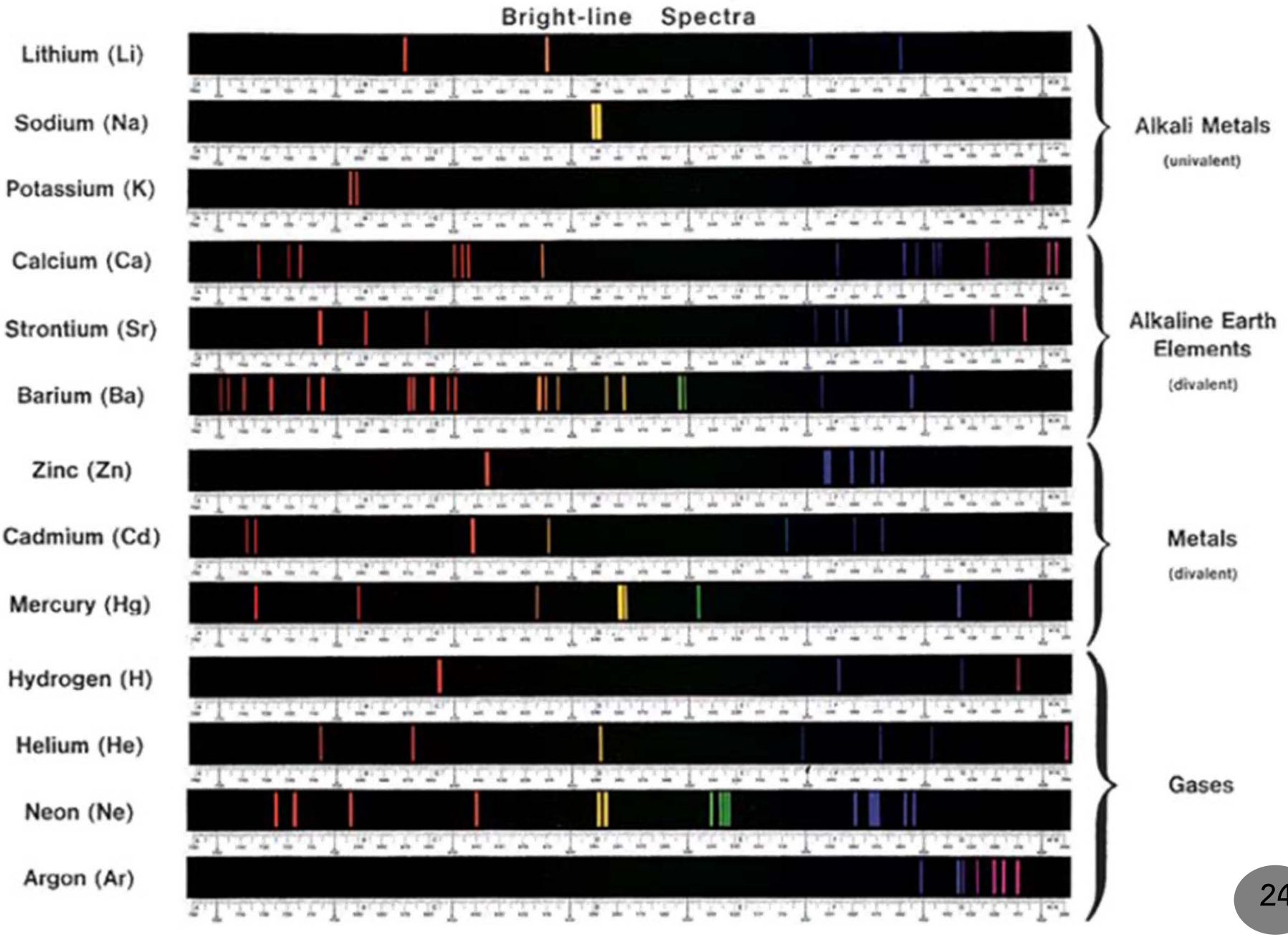
- อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นวงโคจร (orbit) อยู่รอบนิวเคลียส ด้วยรัศมีคงที่มีพลังงานแน่นอนในแต่ละวงโคจร และอิเล็กตรอนมีโมเมนตัมเชิงมุมที่มีค่าเฉพาะตัว
- เมื่อได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปอยู่ในวงโคจรที่ไกลขึ้น ดังนั้น ถ้าอิเล็กตรอนจะกลับเข้าสู่วงโคจรเดิม ต้องแผ่รังสีออกมาเรียกว่า photon แสดงเป็นเส้น spectrum ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละธาตุ
- สถานะพื้น (ground state) คือ สภาวะของอะตอมที่อิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานต่ำสุด (มีเสถียรภาพมากที่สุด) และสถานะกระตุ้น (excited state) คือ สภาวะของอะตอมที่อิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าสถานะพื้นเมื่อได้รับพลังงาน ไม่เสถียรจึงต้องคายพลังงานออกมา เพื่อจะกลับมาสู่สภาวะพื้น





ตัวอย่าง 3 จงคำนวณความยาวคลื่น (nm) ของโฟตอน เมื่ออิเล็กตรอนทรานซิชันจากชั้นระดับพลังงานที่ 5 ($n_i = 5$) สู่ชั้นระดับพลังงานที่ 2 ($n_f = 2$) ในอะตอมไฮโดรเจน

“ธาตุทุกชนิดมีสเปกตรัมการเปล่งแสงลักษณะเฉพาะตัว”



Flame test

Li

แดงเข้ม

Na

เหลือง

K

ม่วงอ่อน

Rb

ม่วง

Cs

ฟ้า

Ca

ส้ม

Sr

แดงเข้ม

Ba

เขียว

3. เลขควอนตัมและออร์บิทัลอะตอม

เลขควอนตัม (Quantum number) $\Rightarrow$ (n, l, m_l, m_s)

“ชุดตัวเลขที่ใช้ในการระบุระดับพลังงานและโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนในออร์บิทัลของอะตอม”

1. เลขควอนตัมหลัก (Principle quantum number, n)

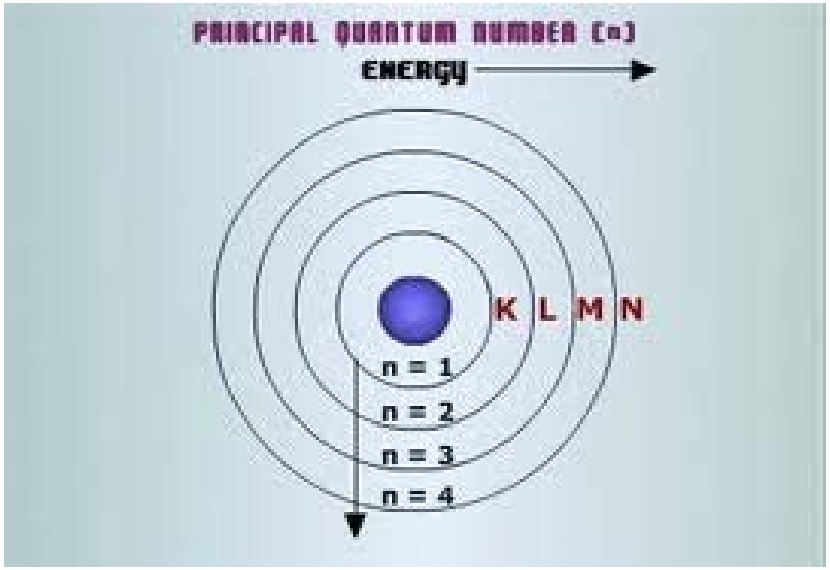
2. เลขควอนตัมโมเมนตัมเชิงมุม (Angular momentum quantum number, l)

3. เลขควอนตัมแม่เหล็ก (Magnetic quantum number, m_l)

4. เลขควอนตัมสปิน (Spin quantum number, m_s)

1. เลขควอนตัมหลัก (Principle quantum number, *n*)

แสดง “ระดับพลังงานของออร์บิทัล” และยังสัมพันธ์กับระยะทางเฉลี่ยของอิเล็กตรอนจากนิวเคลียสในออร์บิทัลหนึ่งๆ (ยิ่ง n มากขึ้น ระยะทางเฉลี่ยระหว่างอิเล็กตรอนในออร์บิทัลถึงนิวเคลียสจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ออร์บิทัลมีขนาดใหญ่ขึ้น)



n	Shell
1	*K*
2	*L*
3	*M*
4	*N*
5	*O*

_n_ น้อย ----> มีพลังงานต่ำ ----> อยู่ใกล้นิวเคลียส

2. เลขควอนตัมโมเมนตัมเชิงมุม (Angular momentum quantum number, *l*)

แสดง “ วงโคจรย่อย ” (subshell หรือ sublevel) ซึ่งบอก “ รูปร่าง ” ของออร์บิทัล

- ใช้บอกรูปร่างของ orbital และบอกถึงโมเมนตัมเชิงมุมของอิเล็คตรอน ถ้า *l* สูงแสดงว่าอิเล็คตรอนเคลื่อนที่ด้วยโมเมนตัมเชิงมุมสูงและมีพลังงานสูงด้วย

- *l* เป็นจำนวนเต็ม มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง n – 1

  เช่น n = 1 $\Longrightarrow$ l = 0

  n = 2 $\Longrightarrow$ l = 0, 1

  n = 3 $\Longrightarrow$ l = 0, 1, 2

- การเขียนสัญลักษณ์ของ subshell จะเขียนค่า *n* ไว้ด้านหน้า เช่น 3*p* (คือ n=3, l=1)

- ที่ระดับพลังงานเดียวกัน ----> พลังงานของอิเล็กตรอนใน *s* < *p* < *d* < *f*

l	ชื่อออร์บิทัล	
0	*s*	sharp
1	*p*	principal line
2	*d*	diffuse
3	*f*	fundamental
4	*g*	-

3. เลขควอนตัมแม่เหล็ก (Magnetic quantum number, m_l)

" แสดงทิศทางของออร์บิทัล " ในชั้นย่อย

- สำหรับ l ค่าหนึ่ง จะมี m_l อยู่ $2l + 1$ ค่า โดยเป็นจำนวนเต็มตั้งแต่ -l, ..., 0, ..., +l

เช่น $l = 0, m_l = 0$ (*s*-orbital มี 1 orbital)

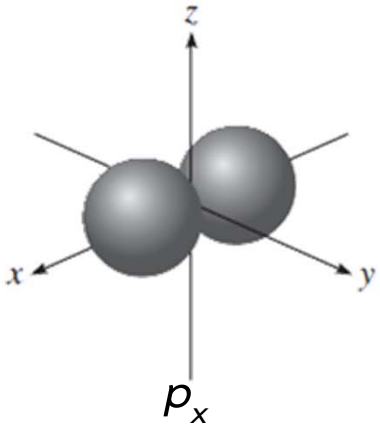
$l = 1, m_l = -1 , 0, +1$ (*p*-orbital มี 3 orbital)

$l = 2, m_l = -2, -1, 0, +1, +2$ (*d*-orbital มี 5 orbital)

$l = 3, m_l = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$ (*f*-orbital มี 7 orbital)

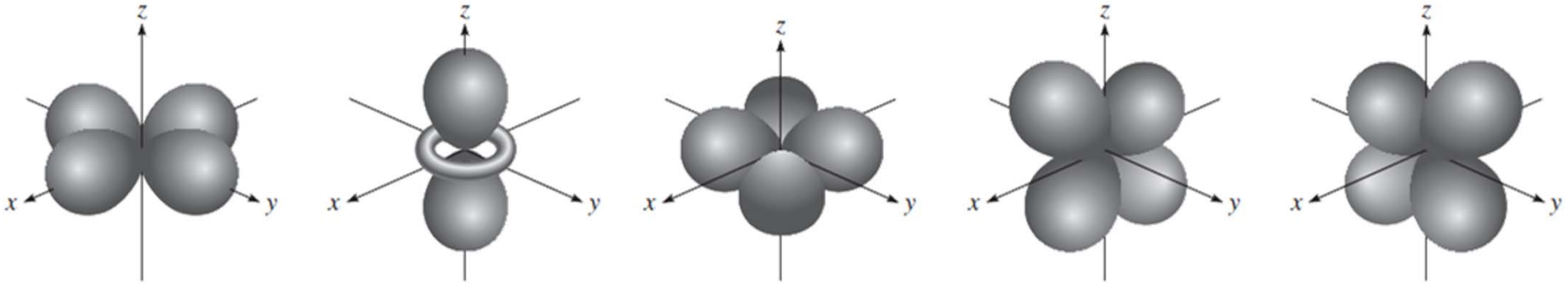
l = 0, *s*-orbital

l = 1, *p*-orbital



p_x p_y p_z

l = 2, *d*-orbital



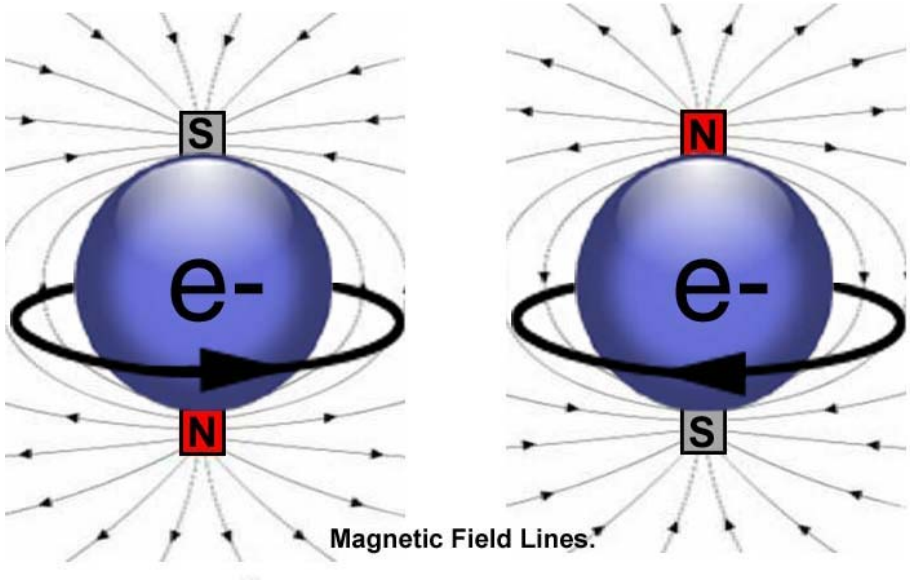
$d_{x^2-y^2}$ d_{z^2} d_{xy} d_{xz} d_{yz}

n	l	m_l	จำนวนออร์บิทัล
1	0	0	*s*-subshell ประกอบด้วย 1 orbital
2	0	0	*s*-subshell ประกอบด้วย 1 orbital
	1	-1, 0, 1	*p*-subshell ประกอบด้วย 3 orbital
3	0	0	*s*-subshell ประกอบด้วย 1 orbital
	1	-1, 0, 1	*p*-subshell ประกอบด้วย 3 orbital
	2	-2, -1, 0, 1, 2	*d*-subshell ประกอบด้วย 5 orbital
4	0	0	*s*-subshell ประกอบด้วย 1 orbital
	1	-1, 0, 1	*p*-subshell ประกอบด้วย 3 orbital
	2	-2, -1, 0, 1, 2	*d*-subshell ประกอบด้วย 5 orbital
	3	-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3	*f*-subshell ประกอบด้วย 7 orbital

4. เลขควอนตัมสปิน (Spin quantum number, m_s)

- อิเล็กตรอนมีการหมุนรอบแกนตัวเอง เมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กภายนอกจะมีการจัดตัวเป็นสองแบบที่ต่างกัน คือ หมุนทวนเข็มนาฬิกาและหมุนตามเข็มนาฬิกา

- แสดงด้วยตัวเลข 2 ค่า คือ + 1/2 เมื่อ e^- หมุนทวนเข็มนาฬิกา (แทนด้วย ↑ สปินขึ้น)
  และ - 1/2 เมื่อ e^- หมุนตามเข็มนาฬิกา (แทนด้วย ↓ สปินลง)



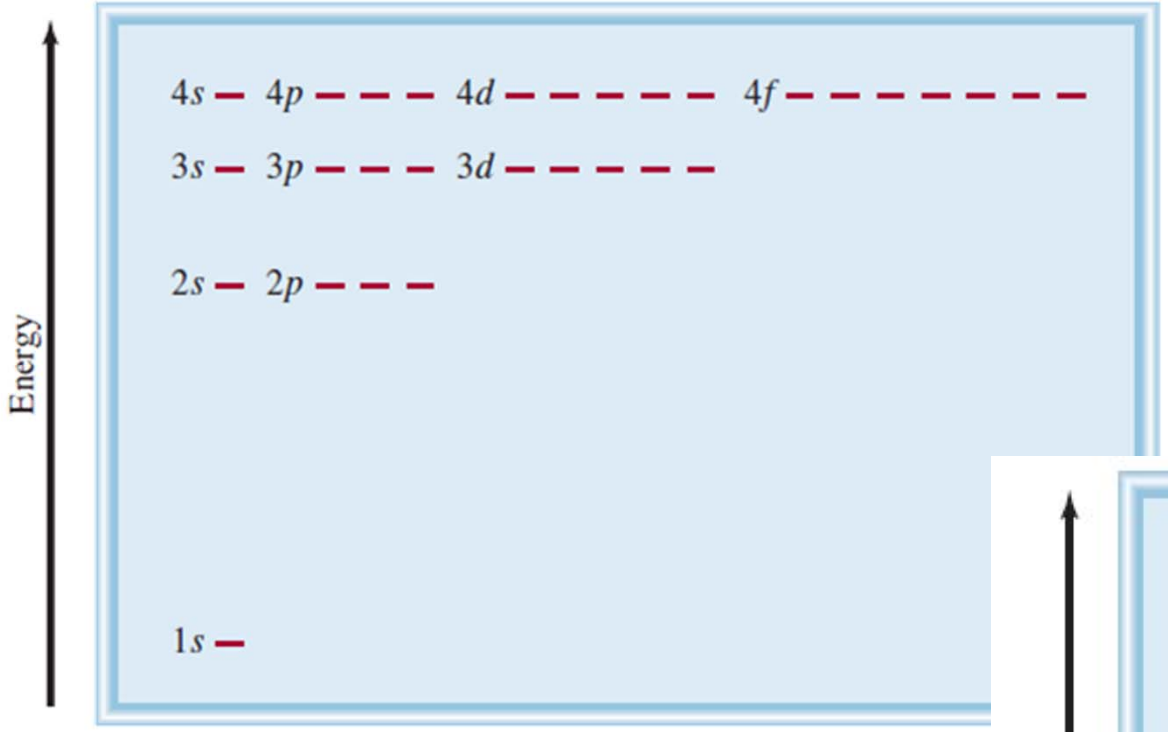
m_s = +1/2 (spin up) m_s = −1/2 (spin down)

ตัวอย่าง 4 จงบอกค่า n, l และ m_l ของออร์บิทัลในชั้นย่อย $4d$

ตัวอย่าง 5 จงคำนวณจำนวนออร์บิทัลทั้งหมดที่สัมพันธ์กับเลขควอนตัมหลัก $n = 3$

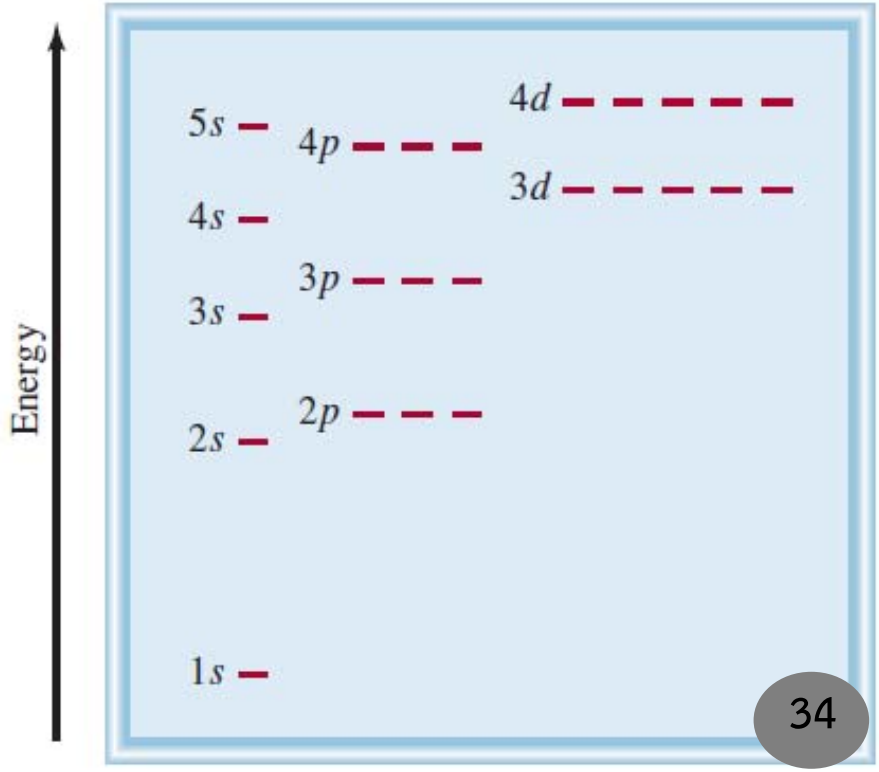
ตัวอย่าง 6 จงเขียนชุดเลขควอนตัมที่เป็นไปได้ทั้งหมดของอิเล็กตรอนใน $3d$ ออร์บิทัล

พลังงานของออร์บิทัล



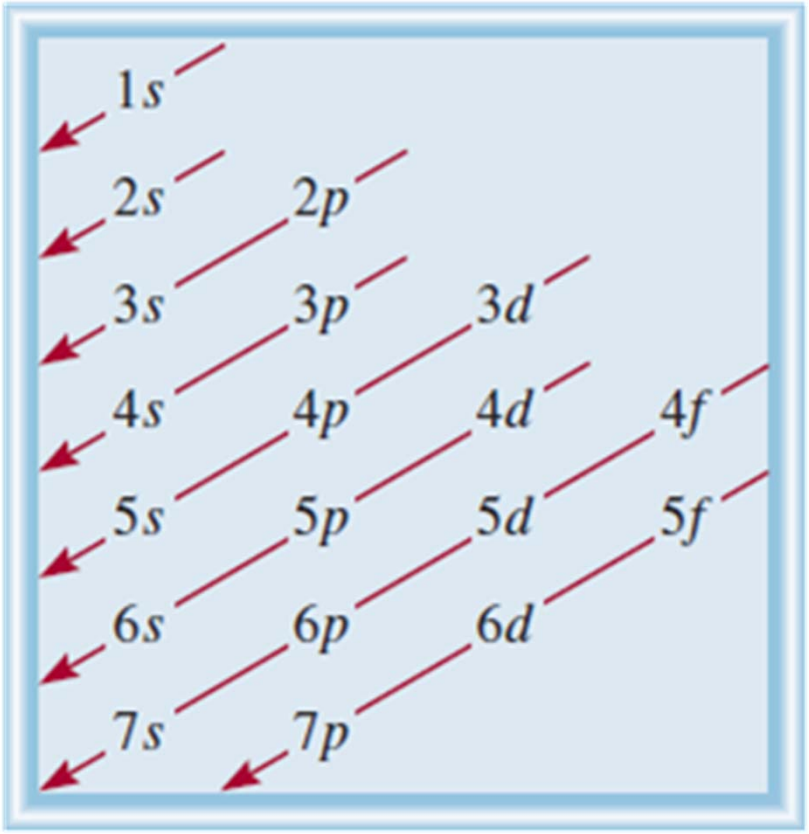
“ระดับพลังงานของไฮโดรเจน”

$1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d = 4f$ ...



“ระดับพลังงานของอะตอมที่มีหลายอิเล็กตรอน”

$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < \ldots$



ลำดับการบรรจุอิเล็กตรอนในชั้นย่อยของของอะตอมที่มีหลายอิเล็กตรอน

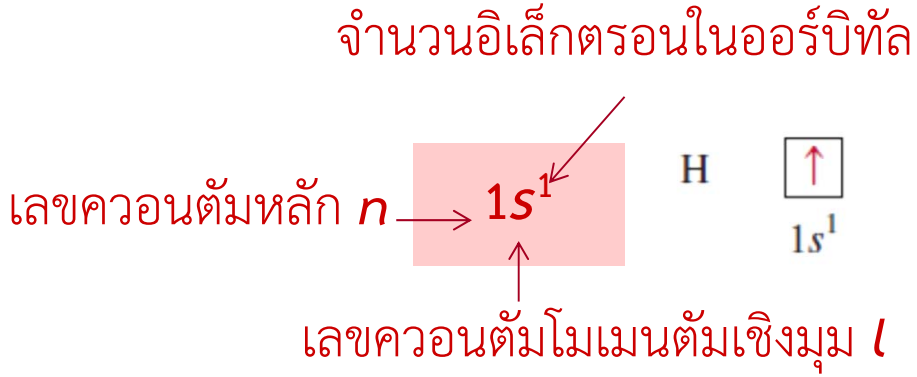
*เริ่มต้นที่ 1s และเคลื่อนลงล่างตามทิศลูกศร ดังนี้ 1s < 2s < 2p <3s < 3p < 4s < 3d < ...

- สำหรับอะตอมที่มีหลายอิเล็กตรอน ระดับพลังงาน 3*d* มีค่าใกล้กับของ 4*s* มาก
- พลังงานของอะตอมไม่ได้เป็นผลรวมพลังงานออร์บิทัลเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับพลังงานจากแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนในออร์บิทัลด้วย
- พลังงานของอะตอมมีค่าต่ำกว่าหากบรรจุอิเล็กตรอนในชั้นย่อย 4*s* ก่อนบรรจุในชั้นย่อย 3*d*

4. การจัดอิเล็กตรอน (Electron configuration)

การจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนในแต่ละ atomic orbital ของอะตอมใดๆ เรียกว่า “electron configuration” ซึ่งเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ที่ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1. ตัวเลขแทนค่า *n* (1, 2, 3, ...)
2. ตัวอักษรแทน *l* (s, p, d, f, ...)
3. จำนวนอิเล็กตรอนใน subshell นั้น

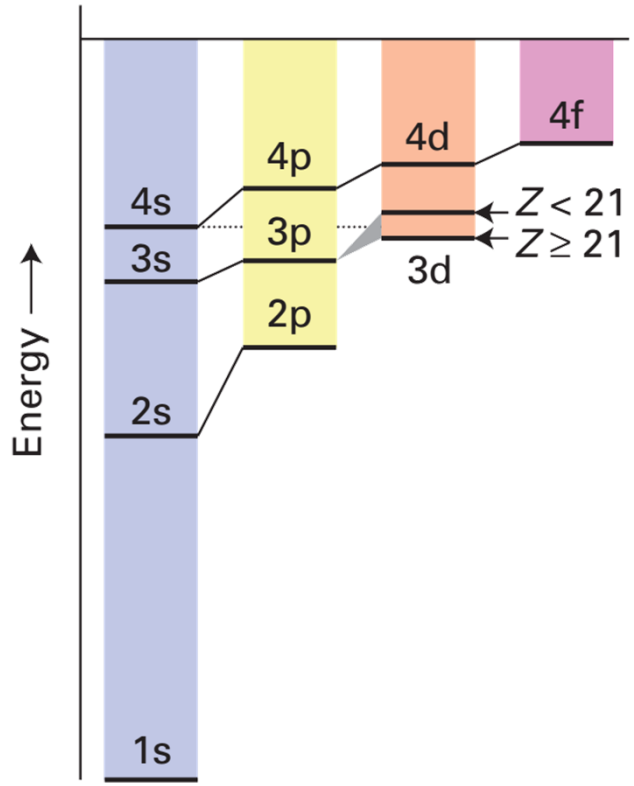


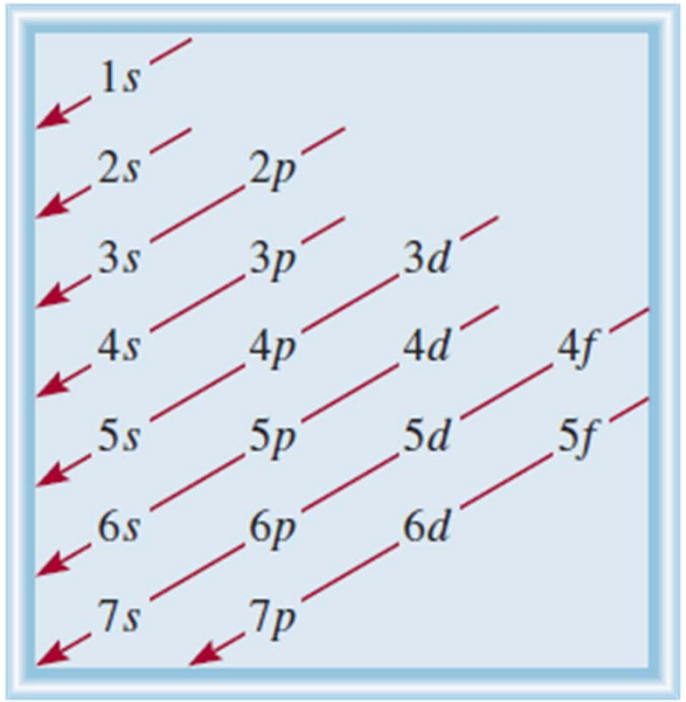
หลักในการจัดอิเล็กตรอน

- Aufbau principle (building-up principle)
- Pauli exclusion principle
- Hund’s rules

❖ หลักเอาฟบาว (Aufbau principle)

บรรจุอิเล็กตรอนลงใน orbital ที่ว่างที่มีระดับพลังงานต่ำที่สุดจนเต็มก่อน เรียงลำดับออร์บิทอลตามลูกศร ดังรูป ซึ่งการจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบนี้จะทำให้อะตอมเสถียรที่สุดเพราะพลังงานรวมทั้งหมดของอะตอมมีค่าต่ำสุด





s-orbital บรรจุอิเล็กตรอนได้มากที่สุด 2 ตัว

p-orbital บรรจุอิเล็กตรอนได้มากที่สุด 6 ตัว

d-orbital บรรจุอิเล็กตรอนได้มากที่สุด 10 ตัว

f-orbital บรรจุอิเล็กตรอนได้มากที่สุด 14 ตัว

❖ หลักการกีดกันของเพาลี (Pauli exclusion principle)

“No more than two electrons may occupy a single orbital and, if two do occupy a single orbital, then their spins must be paired.”

- ในอะตอมเดียวกัน ไม่มี 2 อิเล็กตรอนใดๆ มีเลขควอนตัมทั้ง 4 (n, l, m_l, m_s) เหมือนกัน
- หากมีอิเล็กตรอนในอะตอมที่มีค่า n, l, และ m_l เท่ากันแล้ว มันต้องมีค่า m_s ต่างกัน
- ในการบรรจุอิเล็กตรอนลงในแต่ละ orbital จะบรรจุอิเล็กตรอนได้อย่างมากที่สุด 2 ตัว ที่มีสปินต่างกัน $\Longrightarrow$ *1 ออร์บิทัล สามารถบรรจุอิเล็กตรอนได้ 2 ตัว*

He $\boxed{\uparrow\uparrow}$ $1s^2$

1. (1, 0, 0, +1/2)
2. (1, 0, 0, +1/2)

☒

$\boxed{\downarrow\downarrow}$ $1s^2$

1. (1, 0, 0, -1/2)
2. (1, 0, 0, -1/2)

☒

$\boxed{\uparrow\downarrow}$ $1s^2$

1. (1, 0, 0, +1/2)
2. (1, 0, 0, -1/2)

☑

He $\boxed{\uparrow\downarrow}$

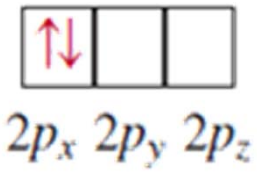
$1s^2$ “ หนึ่ง เอส สอง ”

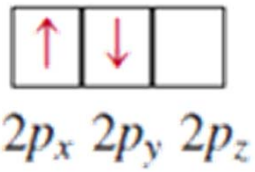
❖ กฎของฮุนด์ (Hund's rule)

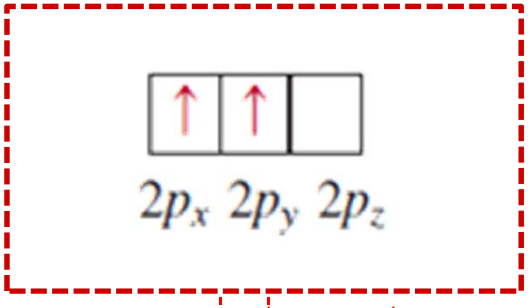
""When more than one orbital has the same energy, electrons occupy separate orbitals and do so with parallel spins (↑↑)."

- ใน subshell ที่มี orbital มากกว่า 1 orbital หรือที่เรียกว่า degenerate orbital (*p*, *d*, *f*,...) อิเล็กตรอนจะจัดตัวแบบอิเล็กตรอนเดียว (unpaired electron) ที่มีสปินเหมือนกันมากที่สุด

พิจารณาการจัดอิเล็กตรอนของคาร์บอน: $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$

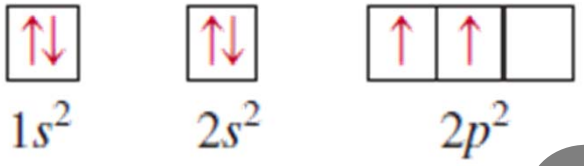




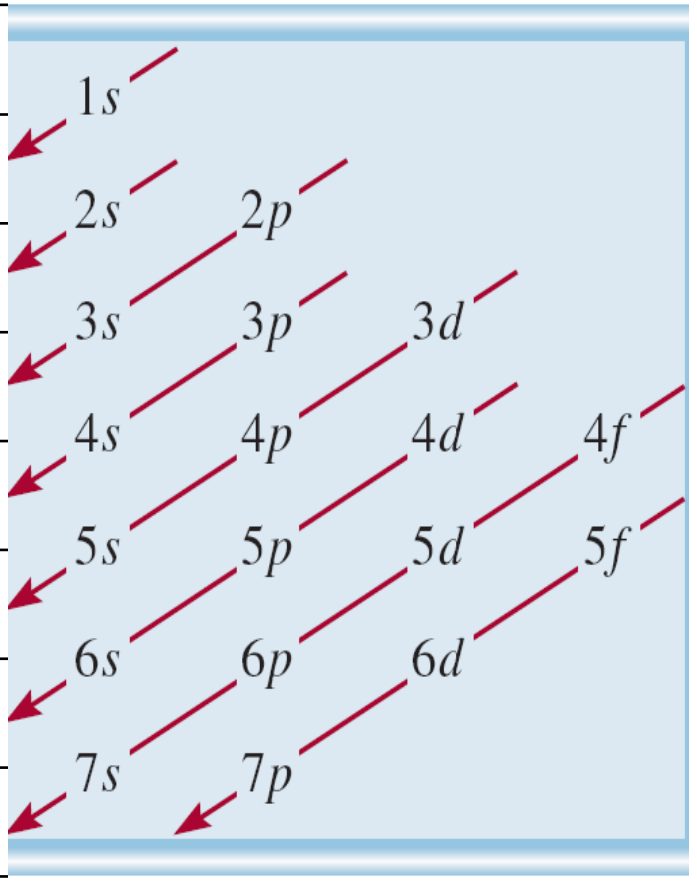


พลังงานต่ำที่สุด เสถียรสุด

C



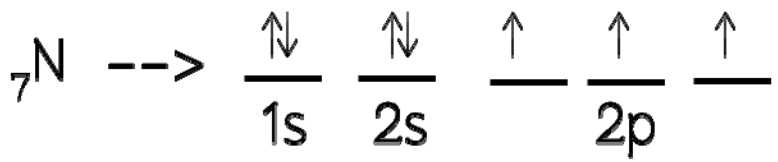
Elements	No. of e^-	e^- configuration
H	1	$1s^1$
He	2	$1s^2$
Li	3	$1s^2\ 2s^1$
C	6	$1s^2\ 2s^2\ 2p^2$
O	**8**	$1s^2\ 2s^2\ 2p^4$
Ne	10	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6$
Mg	12	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$
Sc	21	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^1$
Fe	26	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^6$



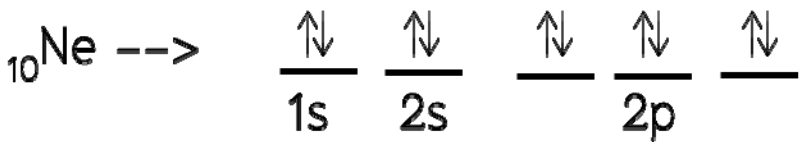
เนื่องจากการเขียน **electron configuration** ให้ข้อมูลเพียงการจัดเรียงอิเล็กตรอนในแต่ละ orbital แต่ไม่ได้บอก spin ของอิเล็กตรอน (m_s) และไม่บอก orientation ของ orbital (m_l)

จึงต้องใช้ **orbital diagram** แสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนในแต่ละ orbital เพื่อช่วยทำนายสภาพความเป็นแม่เหล็ก และความเสถียรของอิเล็กตรอน

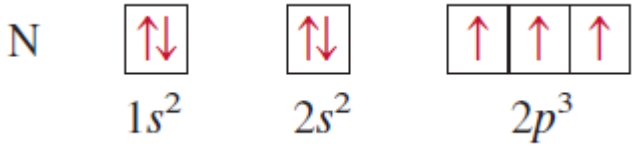
- **Paramagnetic:** การจัดเรียง e^- มี unpaired electron (โดดเดี่ยว) ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำในสนามแม่เหล็ก



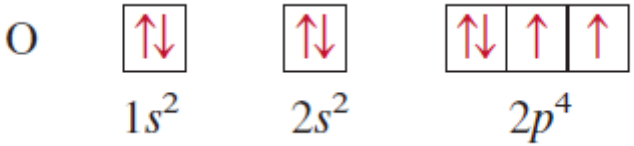
- **Diamagnetic:** การจัดเรียง e^- เป็น paired electron (จับคู่หมด) ทำให้สนามแม่เหล็กหักล้างกันหมด ไม่เกิดการเหนี่ยวนำในสนามแม่เหล็ก



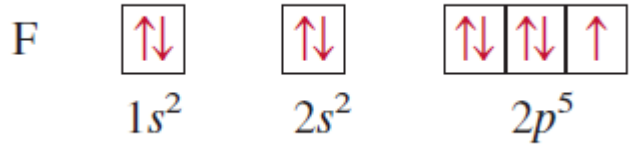
$_{7}N \Rightarrow 1s^2\ 2s^2\ 2p^3$



$_{8}O \Rightarrow 1s^2\ 2s^2\ 2p^4$



$_{9}F \Rightarrow 1s^2\ 2s^2\ 2p^5$

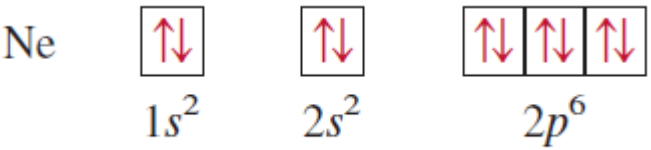


พาราแมกเนติก

(paramagnetic)

“มีอิเล็กตรอนเดี่ยว”

$_{10}Ne \Rightarrow 1s^2\ 2s^2\ 2p^6$



ไดอะแมกเนติก

(Diamagnetic)

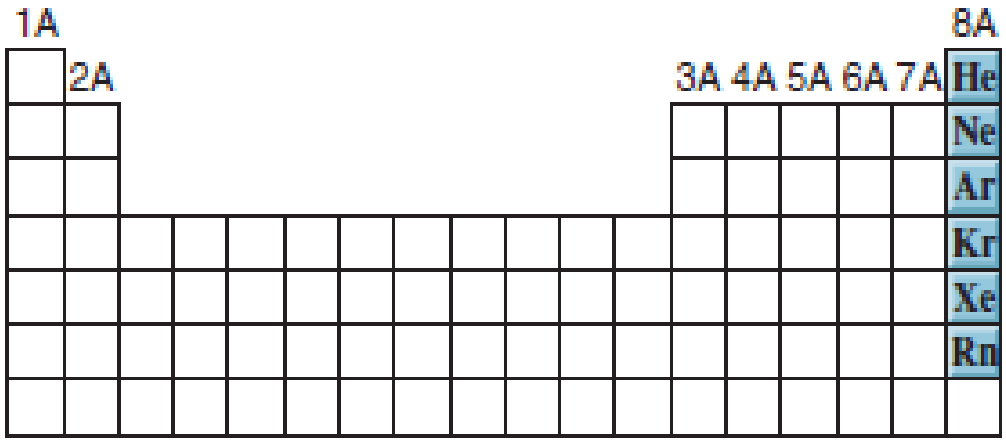
“ไม่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว”

1. $_{11}Na$ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$

   $[Ne]\ 3s^1$ หมู่ 1A, คาบ 3

2. $_{17}Cl$ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$

   $[Ne]\ 3s^2 3p^5$ หมู่ 7A, คาบ 3



3. $_{35}Br$ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^5 \Longrightarrow [Ar]\ 4s^2 3d^{10} 4p^5$ หมู่ 7A, คาบ 4

4. $_{23}V$ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^3 \Longrightarrow [Ar]\ 4s^2 3d^3$ ธาตุทรานซิชัน

5. $_{24}Cr$ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1\ 3d^5 \Longrightarrow [Ar]\ 4s^1 3d^5$ การบรรจุแบบครึ่ง (half-filled)

6. $_{29}Cu$ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1\ 3d^{10} \Longrightarrow [Ar]\ 4s^1 3d^{10}$ การบรรจุแบบเต็ม (full-filled)

ไอออนบวก (อะตอมเสีย e^-) $_{23}V$: $[Ar]\ 4s^2 3d^3$

$_{23}V^+$: $[Ar]\ 4S^1 3d^3$ $_{23}V^{2+}$: $[Ar]\ 3d^3$ $_{23}V^{3+}$: $[Ar]\ 3d^2$

$_{23}V^{4+}$: $[Ar]\ 3d^1$ $_{23}V^{5+}$: $[Ar]$

การจัดอิเล็กตรอนในสถานะพื้น (ground state) ของอะตอม

Atomic Number	Symbol	Electron Configuration
1	H	$1s^1$
2	He	$1s^2$
3	Li	$[He]2s^1$
4	Be	$[He]2s^2$
5	B	$[He]2s^22p^1$
6	C	$[He]2s^22p^2$
7	N	$[He]2s^22p^3$
8	O	$[He]2s^22p^4$
9	F	$[He]2s^22p^5$
10	Ne	$[He]2s^22p^6$
11	Na	$[Ne]3s^1$
12	Mg	$[Ne]3s^2$
13	Al	$[Ne]3s^23p^1$
14	Si	$[Ne]3s^23p^2$
15	P	$[Ne]3s^23p^3$
16	S	$[Ne]3s^23p^4$
17	Cl	$[Ne]3s^23p^5$
18	Ar	$[Ne]3s^23p^6$
19	K	$[Ar]4s^1$
20	Ca	$[Ar]4s^2$

Atomic Number	Symbol	Electron Configuration
21	Sc	$[Ar]4s^23d^1$
22	Ti	$[Ar]4s^23d^2$
23	V	$[Ar]4s^23d^3$
24	Cr	$[Ar]4s^13d^5$
25	Mn	$[Ar]4s^23d^5$
26	Fe	$[Ar]4s^23d^6$
27	Co	$[Ar]4s^23d^7$
28	Ni	$[Ar]4s^23d^8$
29	Cu	$[Ar]4s^13d^{10}$
30	Zn	$[Ar]4s^23d^{10}$
31	Ga	$[Ar]4s^23d^{10}4p^1$
32	Ge	$[Ar]4s^23d^{10}4p^2$
33	As	$[Ar]4s^23d^{10}4p^3$
34	Se	$[Ar]4s^23d^{10}4p^4$
35	Br	$[Ar]4s^23d^{10}4p^5$
36	Kr	$[Ar]4s^23d^{10}4p^6$
37	Rb	$[Kr]5s^1$

แกนแก๊สเฉื่อย

(noble gas core)

IUPAC Periodic Table of the Elements

1																	18
1 **H** hydrogen 1.008 [1.0078, 1.0082]	2		Key: atomic number / **Symbol** / **name** / conventional atomic weight / standard atomic weight									13	14	15	16	17	2 **He** helium 4.0026
3 **Li** lithium 6.94 [6.938, 6.997]	4 **Be** beryllium 9.0122											5 **B** boron 10.81 [10.806, 10.821]	6 **C** carbon 12.011 [12.009, 12.012]	7 **N** nitrogen 14.007 [14.006, 14.008]	8 **O** oxygen 15.999 [15.999, 16.000]	9 **F** fluorine 18.998	10 **Ne** neon 20.180
11 **Na** sodium 22.990	12 **Mg** magnesium 24.305 [24.304, 24.307]	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 **Al** aluminium 26.982	14 **Si** silicon 28.085 [28.084, 28.086]	15 **P** phosphorus 30.974	16 **S** sulfur 32.06 [32.059, 32.076]	17 **Cl** chlorine 35.45 [35.446, 35.457]	18 **Ar** argon 39.948
19 **K** potassium 39.098	20 **Ca** calcium 40.078(4)	21 **Sc** scandium 44.956	22 **Ti** titanium 47.867	23 **V** vanadium 50.942	24 **Cr** chromium 51.996	25 **Mn** manganese 54.938	26 **Fe** iron 55.845(2)	27 **Co** cobalt 58.933	28 **Ni** nickel 58.693	29 **Cu** copper 63.546(3)	30 **Zn** zinc 65.38(2)	31 **Ga** gallium 69.723	32 **Ge** germanium 72.630(8)	33 **As** arsenic 74.922	34 **Se** selenium 78.971(8)	35 **Br** bromine 79.904 [79.901, 79.907]	36 **Kr** krypton 83.798(2)
37 **Rb** rubidium 85.468	38 **Sr** strontium 87.62	39 **Y** yttrium 88.906	40 **Zr** zirconium 91.224(2)	41 **Nb** niobium 92.906	42 **Mo** molybdenum 95.95	43 **Tc** technetium	44 **Ru** ruthenium 101.07(2)	45 **Rh** rhodium 102.91	46 **Pd** palladium 106.42	47 **Ag** silver 107.87	48 **Cd** cadmium 112.41	49 **In** indium 114.82	50 **Sn** tin 118.71	51 **Sb** antimony 121.76	52 **Te** tellurium 127.60(3)	53 **I** iodine 126.90	54 **Xe** xenon 131.29
55 **Cs** caesium 132.91	56 **Ba** barium 137.33	57-71 lanthanoids	72 **Hf** hafnium 178.49(2)	73 **Ta** tantalum 180.95	74 **W** tungsten 183.84	75 **Re** rhenium 186.21	76 **Os** osmium 190.23(3)	77 **Ir** iridium 192.22	78 **Pt** platinum 195.08	79 **Au** gold 196.97	80 **Hg** mercury 200.59	81 **Tl** thallium 204.38 [204.38, 204.39]	82 **Pb** lead 207.2	83 **Bi** bismuth 208.98	84 **Po** polonium	85 **At** astatine	86 **Rn** radon
87 **Fr** francium	88 **Ra** radium	89-103 actinoids	104 **Rf** rutherfordium	105 **Db** dubnium	106 **Sg** seaborgium	107 **Bh** bohrium	108 **Hs** hassium	109 **Mt** meitnerium	110 **Ds** darmstadtium	111 **Rg** roentgenium	112 **Cn** copernicium	113 **Nh** nihonium	114 **Fl** flerovium	115 **Mc** moscovium	116 **Lv** livermorium	117 **Ts** tennessine	118 **Og** oganesson

57 **La** lanthanum 138.91	58 **Ce** cerium 140.12	59 **Pr** praseodymium 140.91	60 **Nd** neodymium 144.24	61 **Pm** promethium	62 **Sm** samarium 150.36(2)	63 **Eu** europium 151.96	64 **Gd** gadolinium 157.25(3)	65 **Tb** terbium 158.93	66 **Dy** dysprosium 162.50	67 **Ho** holmium 164.93	68 **Er** erbium 167.26	69 **Tm** thulium 168.93	70 **Yb** ytterbium 173.05	71 **Lu** lutetium 174.97
89 **Ac** actinium	90 **Th** thorium 232.04	91 **Pa** protactinium 231.04	92 **U** uranium 238.03	93 **Np** neptunium	94 **Pu** plutonium	95 **Am** americium	96 **Cm** curium	97 **Bk** berkelium	98 **Cf** californium	99 **Es** einsteinium	100 **Fm** fermium	101 **Md** mendelevium	102 **No** nobelium	103 **Lr** lawrencium

INTERNATIONAL UNION OF
PURE AND APPLIED CHEMISTRY

For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 28 November 2016.

Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.