เอกสารประกอบการบรรยาย
วิชา คม105 เคมีพื้นฐาน

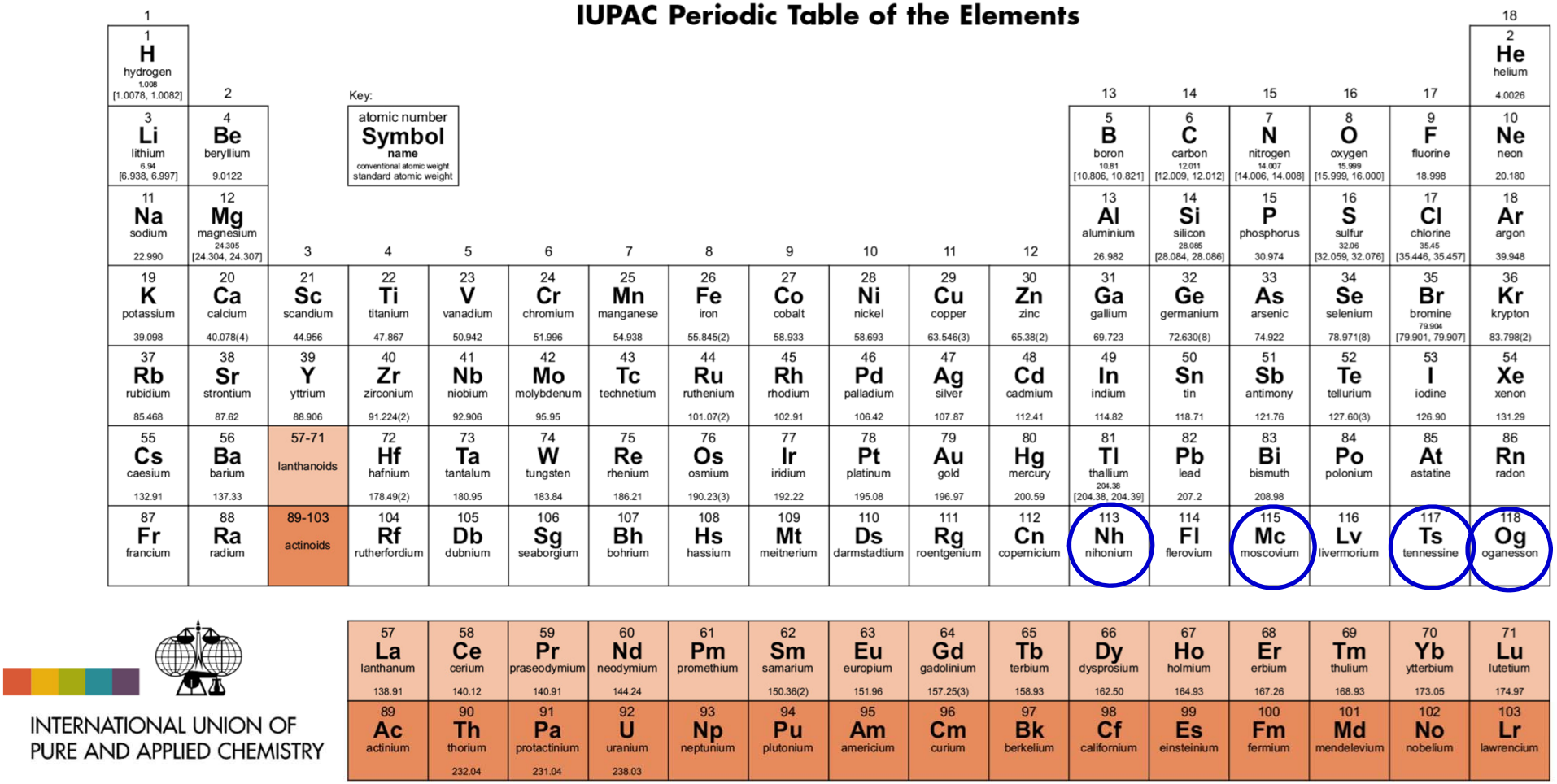
สมบัติของธาตุเรพรีเซนเททีฟและทรานสิชัน

- ตารางธาตุ แนวโน้ม และสมบัติธาตุ
- ธาตุเรพรีเซนเททีฟ
- โลหะทรานซิชัน
- สารประกอบโคออร์ดิเนชัน

อาจารย์ ดร. วีรินท์รดา ทะปะละ

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ตารางธาตุ “จัดเรียงธาตุตามลำดับของเลขอะตอม”



- แถวในแนวนอน เรียกว่า “คาบ (period)” ซึ่งมีทั้งหมด 7 คาบ
- แถวในแนวตั้ง เรียกว่า “หมู่ (group)” ซึ่งมีทั้งหมด 18 หมู่

113 = Nihonium (Nh)

115 = Moscovium (Mc)

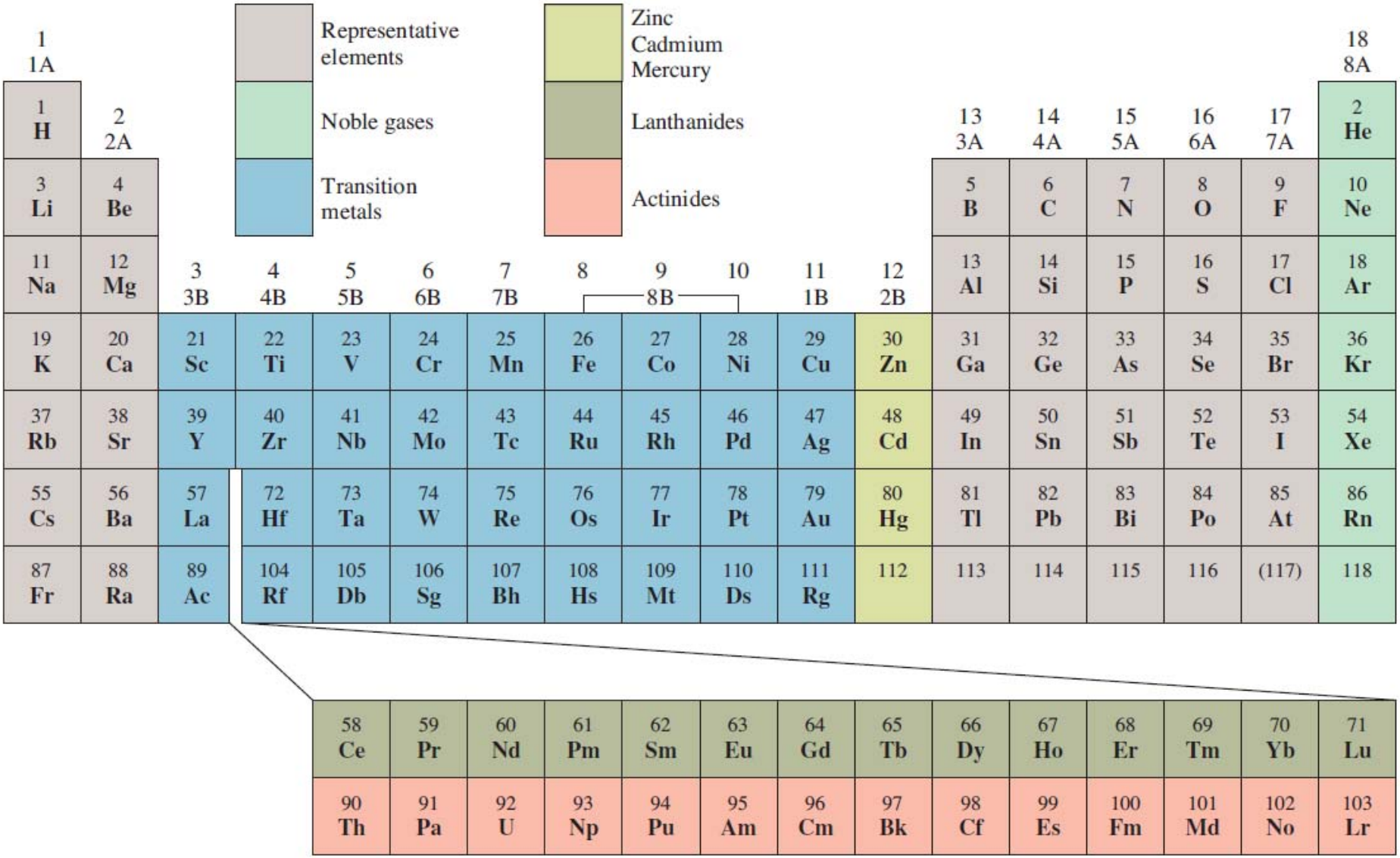
117 = Tennessine (Ts)

118 = Organesson (Og

ลักษณะสำคัญของธาตุในตารางธาตุ

- ธาตุที่อยู่ในหมู่เดียวกันมีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากัน จึงทำให้มีสมบัติเคมีคล้ายคลึงกัน
- ธาตุในหมู่ย่อย A (IA - VIIIA) มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับเลขที่ของหมู่ เช่น ธาตุในหมู่ IA และ IIA จะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 1 และ 2 ตามลำดับ
- ธาตุในคาบเดียวกันมีจำนวนระดับพลังงานเท่ากัน และเท่ากับเลขที่ของคาบ
- ชื่อเรียกชื่อเฉพาะหมู่
  - หมู่ 1A $\Rightarrow$ โลหะอัลคาไลน์ (Alkali metal) : Li Na K Rb Cs Fr
  - หมู่ 2A $\Rightarrow$ โลหะอัลคาไลน์เอิร์ท (Alkali earth metal): Be Mg Ca Sr Ba Ra
  - หมู่ 7A $\Rightarrow$ ฮาโลเจน (Halogen) : F Cl Br I At
  - หมู่ 8A $\Rightarrow$ แก๊สเฉื่อย (Inert/Noble gas) : He Ne Ar Kr Xe Rn

❑ การจำแนกกลุ่มธาตุ



- **ธาตุเรพรีเซนเตติฟ หรือ ธาตุหมู่หลัก (Main group or Representative)**

  ธาตุหมู่ 1A–7A ซึ่งชั้นย่อย *s* และ *p* ของเลขควอนตัมหลักสูงสุดมีอิเล็กตรอนบรรจุไม่เต็ม

- **แก๊สเฉื่อย (Inert gas or Noble gas)**

  ธาตุหมู่ 8A ซึ่งชั้นย่อย *p* มีอิเล็กตรอนบรรจุเต็ม ยกเว้น He ที่มีการจัดเรียงเป็น $1s^2$

- **ธาตุทรานซิชัน (Transition)**

  ธาตุหมู่ 1B และ 3B–8B ซึ่งชั้นย่อย *d* มีอิเล็กตรอนบรรจุไม่เต็ม

- **ธาตุที่ไม่ใช่ทั้งเรพรีเซนเตติฟและธาตุทรานซิชัน**

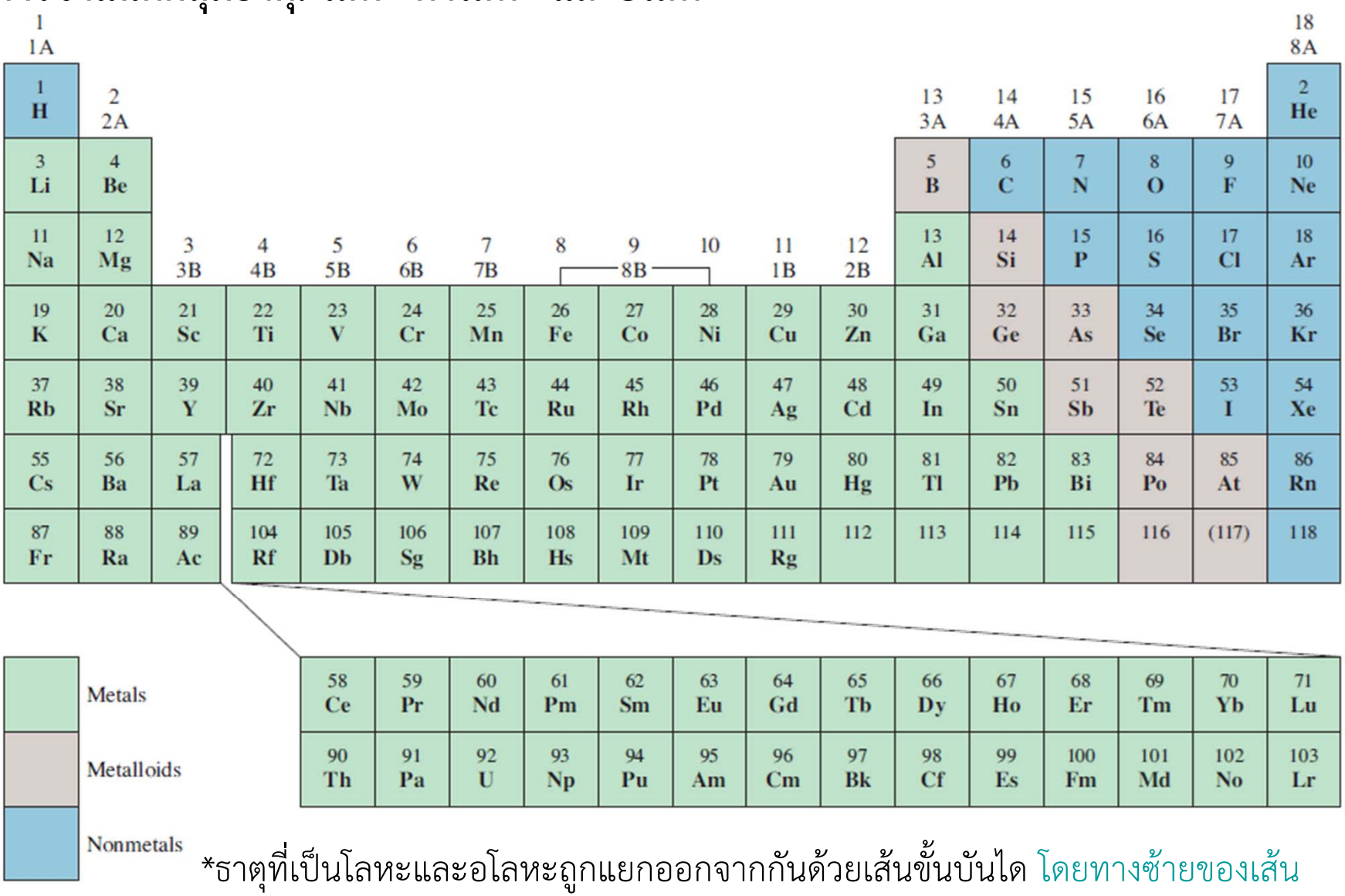
  ธาตุหมู่ 2B คือ Zn, Cd และ Hg

- **ธาตุทรานซิชันชั้นใน (Inner transition)**

  ชั้นย่อย *f* มีอิเล็กตรอนบรรจุไม่เต็ม

  - แลนทาไนด์ (Lanthanide) หรือ ธาตุแร่หายาก (rare earth)
    ธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 58 ถึง 71
  - แอกทิไนด์ (Actinide) หรือ ธาตุแร่หายากหนัก (heavy rare earth)
    ธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 90 ถึง 103

❑ การจำแนกกลุ่มธาตุ: โลหะ กึ่งโลหะ และอโลหะ



*ธาตุที่เป็นโลหะและอโลหะถูกแยกออกจากกันด้วยเส้นขั้นบันได โดยทางซ้ายของเส้นบันไดเป็นโลหะ ทางขวาของเส้นขั้นบันไดเป็นอโลหะ ส่วนธาตุที่อยู่ชิดเส้นบันไดจะมีสมบัติก้ำกึ่งระหว่างโลหะกับอโลหะ เรียกธาตุพวกนี้ว่า ธาตุกึ่งโลหะ (Metalloid)

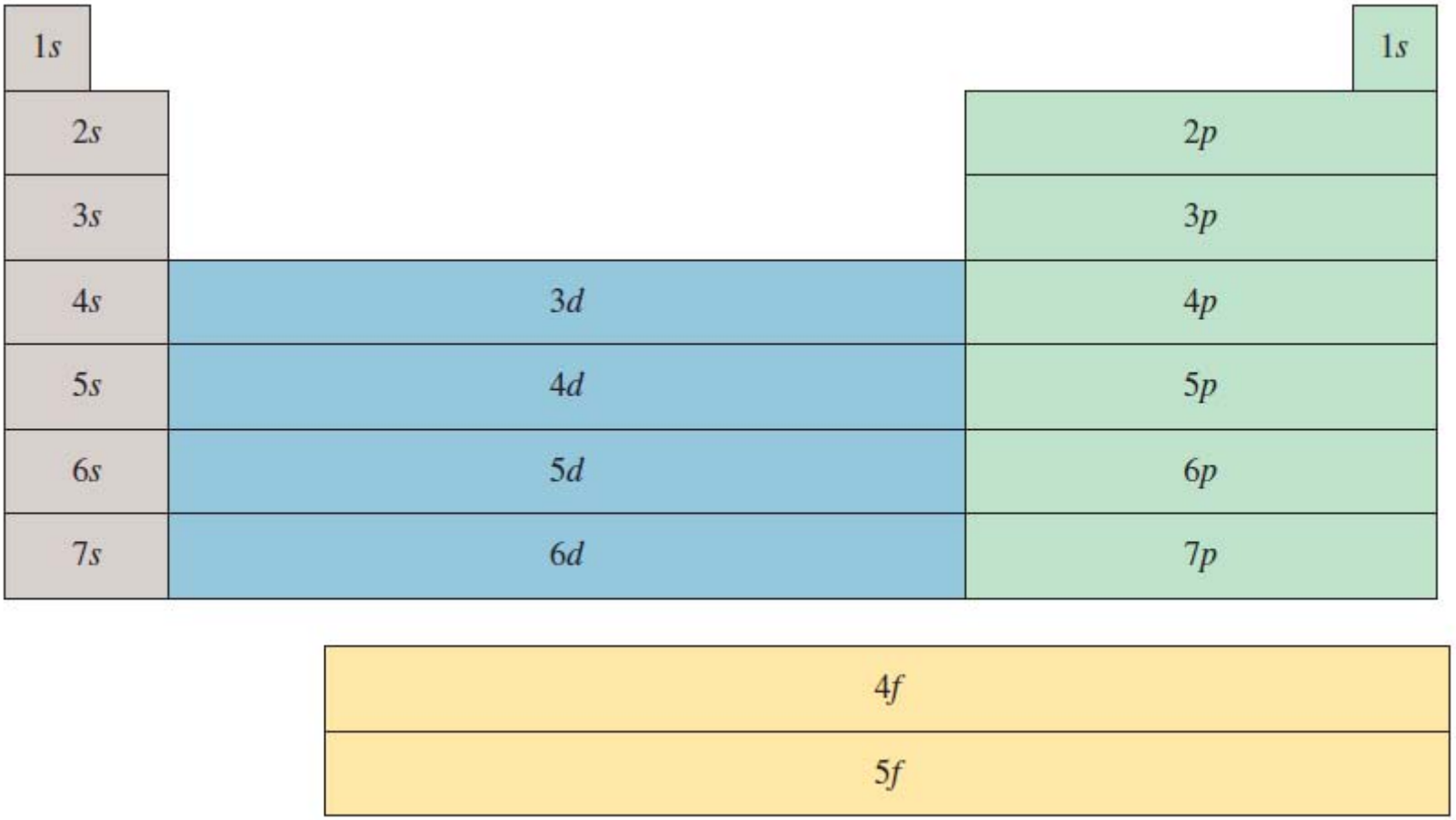
สมบัติของโลหะ	สมบัติของอโลหะ
1. เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ยกเว้น ปรอท เป็นของเหลว	1. มีได้ทั้ง 3 สถานะ คือ ของแข็ง เช่น กำมะถัน; ของเหลว เช่น โบรมีน; แก๊ส เช่น ออกซิเจน คลอรีน ไนโตรเจน
2. มันวาว	2. ไม่เป็นมันวาว
3. นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดีที่อุณหภูมิปกติ แต่ที่อุณหภูมิสูงจะนำไฟฟ้าได้น้อยลง	3. ไม่นำไฟฟ้าและไม่นำความร้อน เว้น แกรไฟต์
4. เคาะจะมีเสียงดังกังวาน	4. เคาะจะไม่มีเสียงกังวาน
5. แข็งและเหนียว สามารถทำให้เป็นแผ่นและเป็นเส้นได้	5. ส่วนมากเปราะ ไม่สามารถตีเป็นแผ่นหรือเส้นได้
6. มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง	6. ส่วนมากมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดต่ำ ยกเว้น คาร์บอน ซิลิกอน และกำมะถัน
7. มีความหนาแน่นสูง	7. มีความหนาแน่นต่ำ

❑ การจำแนกกลุ่มธาตุตามชนิดชั้นย่อยที่ใช้บรรจุอิเล็กตรอนวงนอก

$_{11}Na$ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1 \Rightarrow [Ne]3s^1$

$_{17}Cl$ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5 \Rightarrow [Ne]3s^2 3p^5$

$_{24}Cr$ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1\ 3d^5 \Rightarrow [Ar]4s^1 3d^5$



แนวโน้มและสมบัติของธาตุ

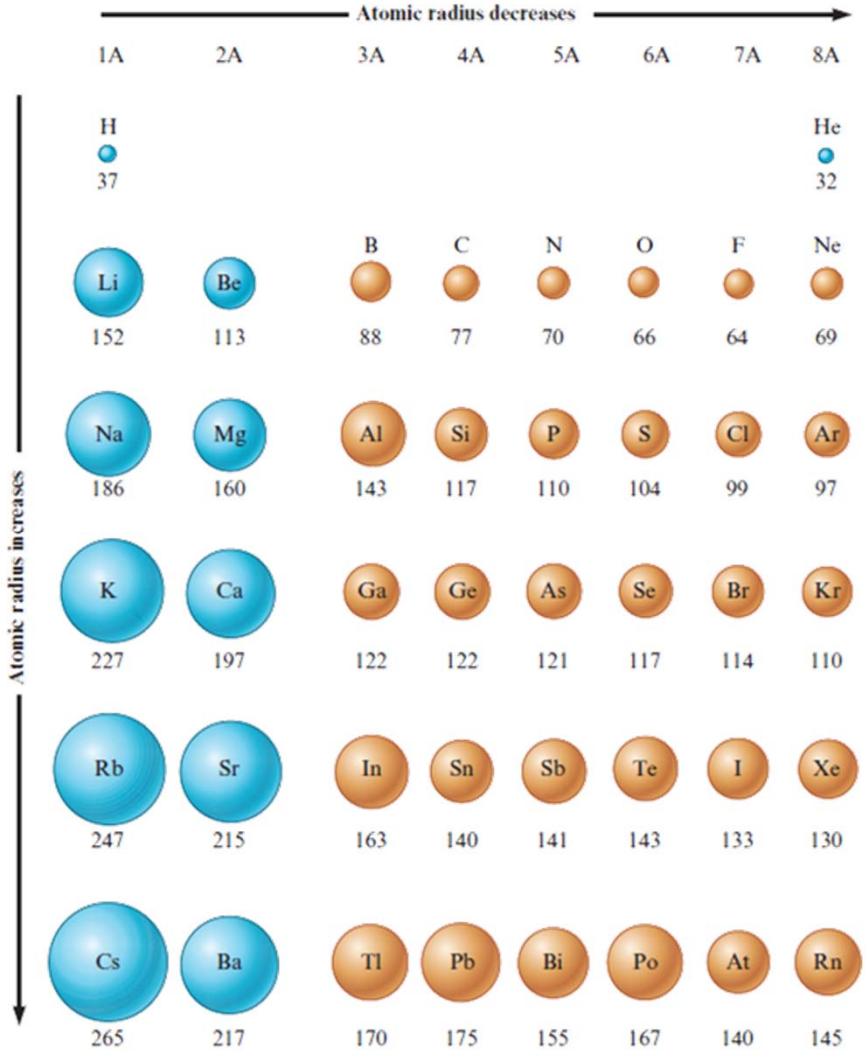
- ขนาดของอะตอมและไอออน
- พลังงานไอออไนเซชัน (Ionization energy: IE)
- สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน (Electron Affinity: EA)
- อิเล็กโทรเนกาติวิตี (Electronegativity, EN)
- แนวโน้มของสมบัติทางกายภาพ
- แนวโน้มของสมบัติทางเคมี
- ความเป็นกรด-เบสของสารประกอบ

ขนาดของอะตอม

ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดอะตอม

- จำนวนชั้นของอิเล็กตรอน
  [เลขควอนตัมหลัก (n) ของเวเลนซ์อิเล็กตรอน]
- แรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอน

- หมู่เดียวกัน: ขนาดอะตอมใหญ่ขึ้นจากบนลงล่าง
  เช่น Li < Na < K < Rb < Cs
  (ธาตุที่อยู่ด้านล่างมี n มาก)
- คาบเดียวกัน: ขนาดของอะตอมจะเล็กลงจากซ้ายไปขวา
  เช่น Li > Be > B > C > N > O > F

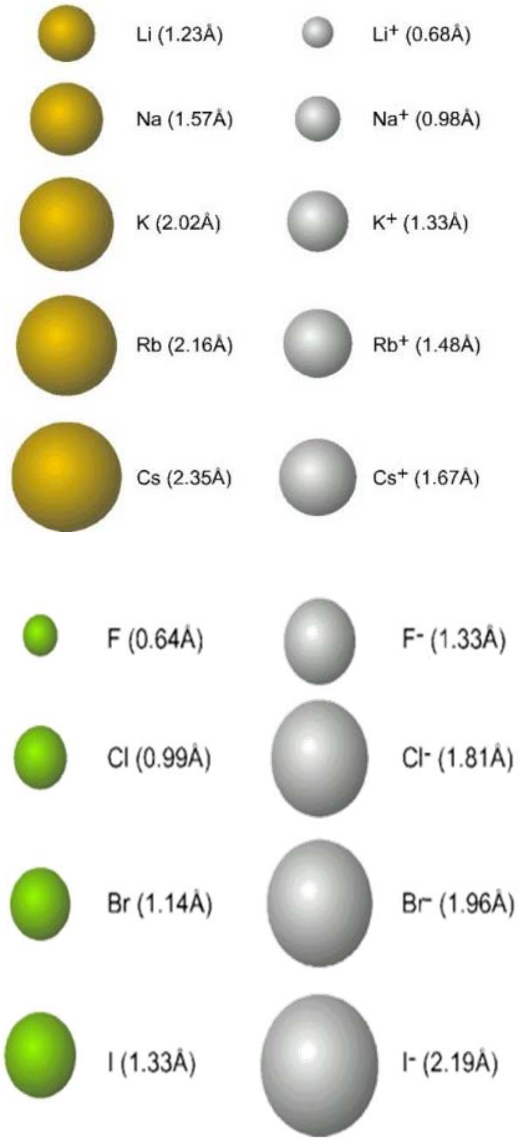


ขนาดของไอออน

"ขึ้นกับประจุบวกของนิวเคลียส จำนวนอิเล็กตรอน และออร์บิทัลของเวเลนซ์อิเล็กตรอน"

- **ไอออนบวก (Cation)** เกิดจากการเสียอิเล็กตรอนออกจากอะตอม ดังนั้นจะมีจำนวนอิเล็กตรอนน้อยลง ในขณะที่โปรตอนเท่าเดิม จึงทำให้มีขนาดเล็กลงกว่าอะตอมที่เป็นกลาง
- **ไอออนลบ (Anion)** เกิดจากการรับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามา แต่จำนวนโปรตอนยังเท่าเดิม ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าอะตอมที่เป็นกลาง
- ไอออนที่มีประจุเท่ากัน รัศมีไอออนของหมู่เดียวกันจะเพิ่มขึ้นจากบนลงล่าง
- ไอออนที่มีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากัน (isoelectronic series) ถ้าประจุของนิวเคลียสเพิ่มขึ้น ขนาดอะตอมจะเล็กลง

  เช่น $_{8}O^{2-} > {}_{9}F^{-} > {}_{11}Na^{+} > {}_{12}Mg^{2+} > {}_{13}Al^{3+}$



พลังงานไอออไนเซชัน (Ionization energy: IE)

"พลังงานที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้เพื่อดึงอิเล็กตรอนออกจากอะตอมในสถานะแก๊ส"

$$X(g) \rightarrow X^{+}(g) + e^{-}$$

IE เป็นค่าที่ใช้วัดความยากง่ายในการทำให้อะตอมเกิดเป็นไอออนบวก

เช่น

$$Al(g) \rightarrow Al^{+}(g) + e^{-} \qquad IE_1 = 580 \text{ kJ/mol}$$

$$Al^{+}(g) \rightarrow Al^{2+}(g) + e^{-} \qquad IE_2 = 1{,}815 \text{ kJ/mol}$$

$$Al^{2+}(g) \rightarrow Al^{3+}(g) + e^{-} \qquad IE_3 = 2{,}740 \text{ kJ/mol}$$

$$Al^{3+}(g) \rightarrow Al^{4+}(g) + e^{-} \qquad IE_4 = 11{,}600 \text{ kJ/mol}$$

พลังงานไอออไนเซชัน จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อลำดับในการดึงอิเล็กตรอนออกจากอะตอมในสถานะแก๊สเพิ่มมากขึ้น โดย $IE_1 < IE_2 < IE_3 < \ldots$

Successive Ionization Energies (kJ/mol) for the Elements in Period 3

General decrease

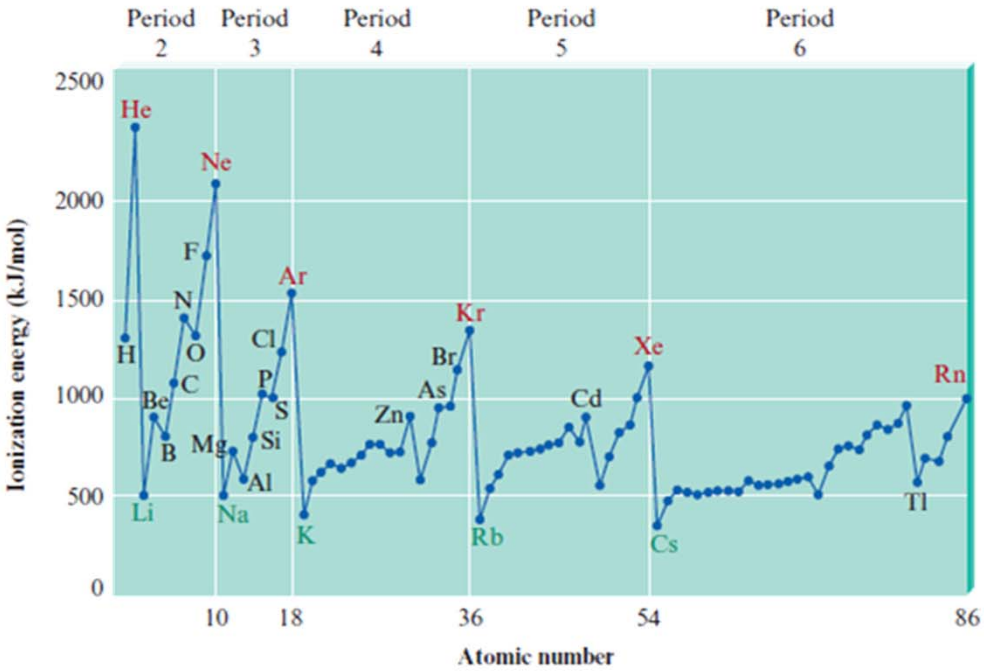
Element	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
Na	495	4560					
Mg	735	1445	7730	Core electrons*			
Al	580	1815	2740	11,600			
Si	780	1575	3220	4350	16,100		
P	1060	1890	2905	4950	6270	21,200	
S	1005	2260	3375	4565	6950	8490	27,000
Cl	1255	2295	3850	5160	6560	9360	11,000
Ar	1527	2665	3945	5770	7230	8780	12,000

*Note the large jump in ionization energy in going from removal of valence electrons to removal of core electrons.

General increase

หมู่เดียวกัน: ค่า IE จะลดลงจากบนลงล่าง เนื่องจากขนาดอะตอมใหญ่ขึ้น พลังงานที่ใช้สำหรับการดึงอิเล็กตรอนในวงนอกสุดจึงมีค่ามีค่าน้อย (สามารถดึง e^- ออกได้ง่าย)

คาบเดียวกัน: ค่า IE_1 จะเพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวา เนื่องจากขนาดอะตอมเล็กลง พลังงานที่ใช้สำหรับดึงอิเล็กตรอนในวงนอกสุดมีค่ามาก (การดึงออก e^- ยากขึ้น)



1A	2A
H 1311	
Li 520	Be 899
Na 495	Mg 735
K 419	Ca 590
Rb 409	Sr 549
Cs 382	Ba 503

3A	4A	5A	6A	7A	8A
					He 2377
B 800	C 1086	N 1402	O 1314	F 1681	Ne 2088
Al 580	Si 780	P 1060	S 1005	Cl 1255	Ar 1527
Ga 579	Ge 761	As 947	Se 941	Br 1143	Kr 1356
In 558	Sn 708	Sb 834	Te 869	I 1009	Xe 1176
Tl 589	Pb 715	Bi 703	Po 813	At (926)	Rn 1042

$_{4}Be$: $1s^2\ 2s^2$ ↑↓ (1s) ↑↓ (2s) “บรรจุแบบเต็ม (Full-filled)”

$_{5}B$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^1$ ↑↓ (1s) ↑↓ (2s) ↑ — — (2p)

$_{7}N$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$ ↑↓ (1s) ↑↓ (2s) ↑ ↑ ↑ (2p) “บรรจุแบบครึ่ง (half-filled)”

$_{8}O$: $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$ ↑↓ (1s) ↑↓ (2s) ↑↓ ↑ ↑ (2p)

สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน (Electron Affinity: EA)

"พลังงานที่ถูกคายออกมา เมื่ออะตอมในสถานะแก๊สรับอิเล็กตรอนเข้าไปในอะตอม แล้วเกิดเป็นไอออนลบ"

$$X(g) + e^- \rightarrow X^-(g)$$

หมู่เดียวกัน: ค่า EA จะต่ำลง เมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น เนื่องจากอะตอมมีขนาดใหญ่ขึ้น แรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสและอิเล็กตรอนวงนอกสุดมีค่าลดลง

คาบเดียวกัน: ค่า EA จะสูงขึ้น เมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น เนื่องจากอะตอมมีขนาดเล็กลง แรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสและอิเล็กตรอนวงนอกสุดมีค่ามากกว่าอะตอมที่มีขนาดใหญ่

- EA เป็นค่าที่ใช้วัดความยากง่ายของอะตอมในการที่จะรับอิเล็กตรอนเข้าไปในอะตอม แล้วเกิดเป็นไอออนลบ
- ยิ่งค่า EA ติดลบมากขึ้นเท่าใด แสดงว่าพลังงานที่ถูกคายออกมาเมื่ออะตอมรับอิเล็กตรอนเข้าไปยิ่งมีค่ามาก นั่นคืออะตอมนั้นรับอิเล็กตรอนและเกิดเป็นไอออนลบได้ง่าย

$$F(g) + e^- \rightarrow F^-(g) \quad \Delta H = -328 \text{ kJ/mol}$$

Electron Affinities (kJ/mol) of Some Representative Elements and the Noble Gases*

TABLE 8.3 Electron Affinities (kJ/mol) of Some Representative Elements and the Noble Gases*

1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A
H							He
73							< 0
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
60	≤ 0	27	122	0	141	328	< 0
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
53	≤ 0	44	134	72	200	349	< 0
K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
48	2.4	29	118	77	195	325	< 0
Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
47	4.7	29	121	101	190	295	< 0
Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
45	14	30	110	110	?	?	< 0

อิเล็กโทรเนกาติวิตี (Electronegativity, EN)

"ความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนเข้ามาหาอะตอม"

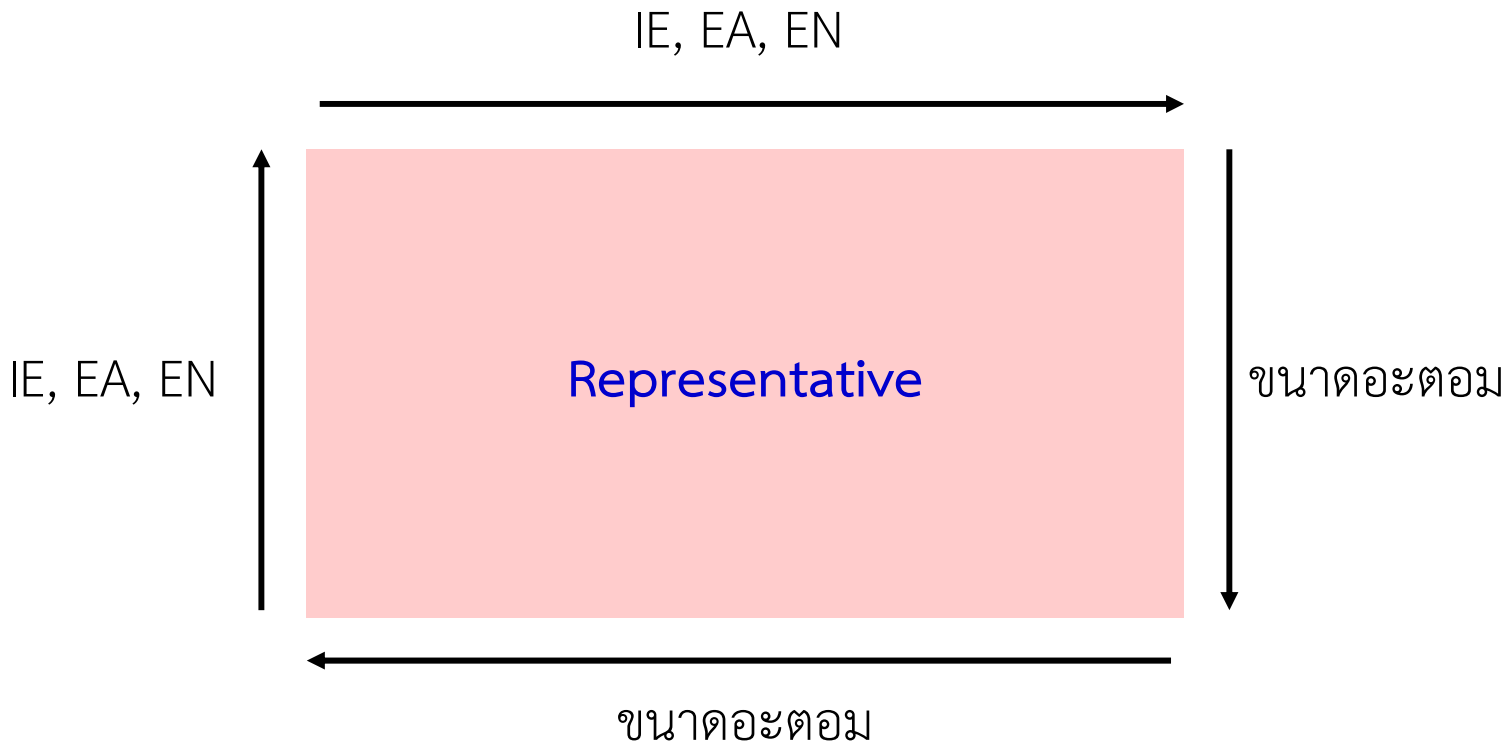
ค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีของธาตุต่าง ๆ

Li	Be						H					B	C	N	O	F
1.0	1.5						2.1					2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl
0.9	1.2											1.5	1.8	2.1	2.5	3.0
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br
0.8	1.0	1.3	1.5	1.6	1.6	1.5	1.8	1.8	1.8	1.9	1.6	1.6	1.8	2.0	2.4	2.8
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I
0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	1.9	2.2	2.2	2.2	1.9	1.7	1.7	1.8	1.9	2.1	2.5
Cs	Ba	La–Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At
0.7	0.9	1.1–1.2	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.2	2.2	2.4	1.9	1.8	1.8	1.9	2.0	2.2
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np–No										
0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.3										

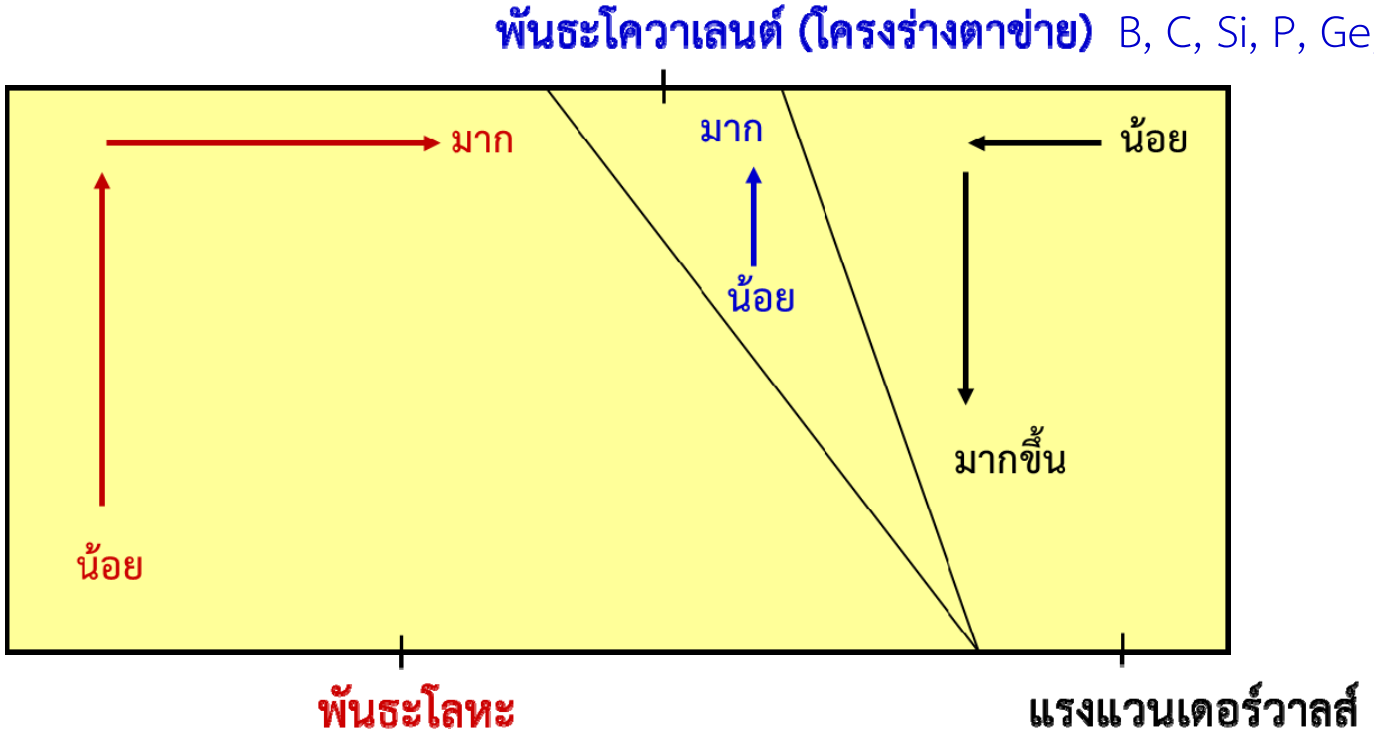
หมู่เดียวกัน: ลดลงจากบนลงล่าง

คาบเดียวกัน: เพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวา

สรุปแนวโน้มขนาดอะตอม, IE, EA และ EN



แนวโน้มของสมบัติทางกายภาพ



- ธาตุกลุ่ม s กลุ่ม d กลุ่ม f และกลุ่ม p บางส่วนยึดกันด้วยพันธะโลหะ ซึ่งจะแข็งแรงขึ้นเมื่ออะตอมมีขนาดเล็ก
- ธาตุบริเวณทางขวา เช่น N, O, Cl ก่อพันธะโคเวเลนต์ได้เป็นโมเลกุลเดี่ยว พันธะโคเวเลนต์แข็งแรงมากโดยเฉพาะในกรณีที่อะตอมมีขนาดเล็ก
- โมเลกุลเดี่ยวรวมกันเป็นกลุ่มด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ซึ่งค่อนข้างอ่อน แต่ถ้าโมเลกุลมีขนาดใหญ่ แรงแวนเดอร์วาลส์จะมากขึ้น

ความหนาแน่น

"ขึ้นกับ ขนาด มวลของอะตอม โครงสร้างผลึก และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกัน"

❖ **กลุ่มโลหะ**

- ธาตุทางขวามีขนาดเล็ก แต่มีมวลมากกว่า และพันธะโลหะแข็งแรงกว่า จะมีความหนาแน่นสูงกว่าธาตุทางซ้าย

  เช่น Be > Li และ Ti > Ca (หมู่ 1A มีความหนาแน่นต่ำที่สุด)

- ในหมู่เดียวกัน ธาตุหนักจะมีความหนาแน่นสูงกว่าธาตุเบา เนื่องจากมีอัตราการเพิ่มมวลเร็วกว่าการเพิ่มปริมาตร

  เช่น K เลขมวล = 39 } เพิ่มขึ้น 120% รัศมีอะตอม = 203 pm } เพิ่มขึ้น 20%

  Rb เลขมวล = 85 รัศมีอะตอม = 216 pm

  ดังนั้น Rb จึงควรมีความหนาแน่นมากกว่า

- โลหะแทรนซิชัน มีขนาดเล็กและมวลมาก พันธะโลหะแข็งแรง มีความหนาแน่นสูงสุด

❖ **โมเลกุลอะตอมเดี่ยว** ความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมีน้อย

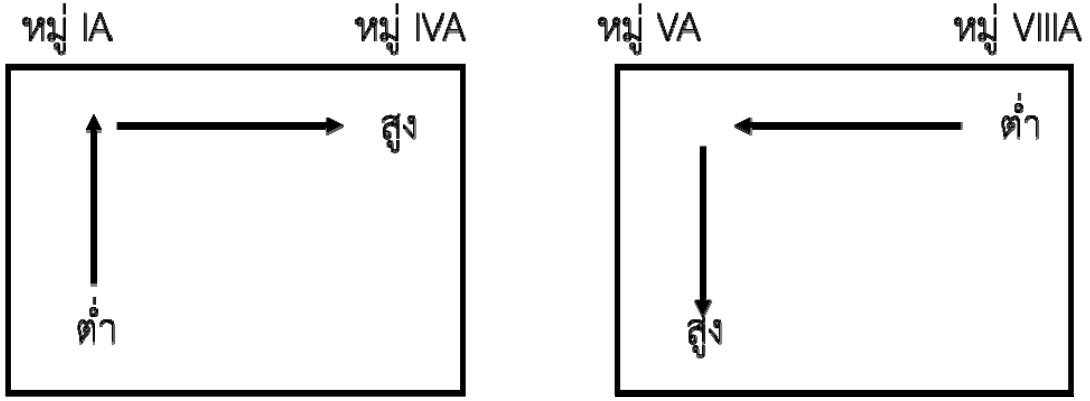
❖ **กลุ่มที่มีโครงร่างตาข่าย** ความหนาแน่นปานกลาง (สูงที่สุดในกลุ่ม representative)

การหลอมเหลวและกลายเป็นไอ

"เป็นการใช้พลังงานความร้อนแยกโมเลกุลที่จัดตัวเป็นระเบียบในผลึกให้ห่างกัน"

- กรณีที่มีโครงสร้างโมเลกุลเดี่ยว พลังงานความร้อนจะไปทำลายแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเป็นแรงขนาดอ่อน ธาตุกลุ่มนี้จึงมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดค่อนข้างต่ำ แต่จะสูงขึ้นเมื่อโมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น

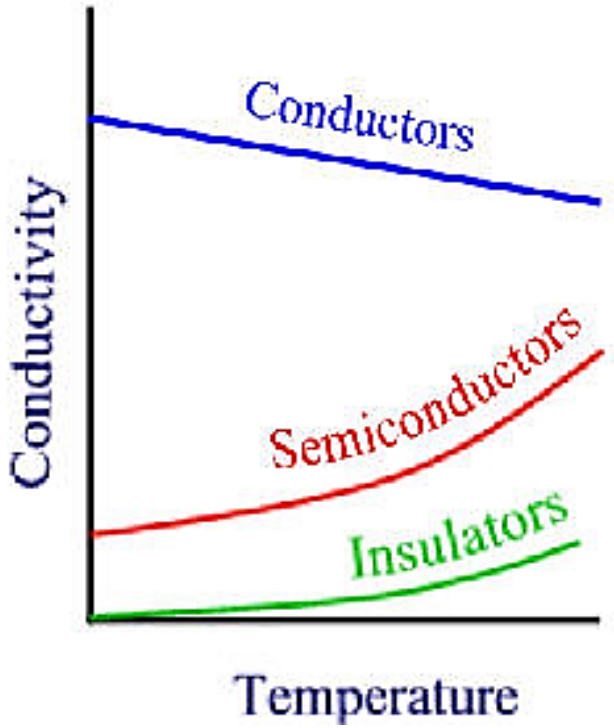
- กรณีโลหะหรือพวกโครงร่างตาข่าย ต้องใช้ความร้อนทำลายพันธะโลหะหรือพันธะโคเวเลนซ์ จึงต้องใช้พลังงานมากกว่า



โลหะทรานสิชัน มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูงที่สุด มีความหนาแน่นสูง รองลงมา คือ กลุ่มโครงร่างตาข่าย

การนำไฟฟ้าและความร้อน

- โลหะ เป็นตัวนำที่ดี แต่การนำไฟฟ้าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
- อโลหะ เป็นฉนวน มีความต้านทานสูงมาก
- กึ่งโลหะ นำไฟฟ้าได้ แต่จะนำได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

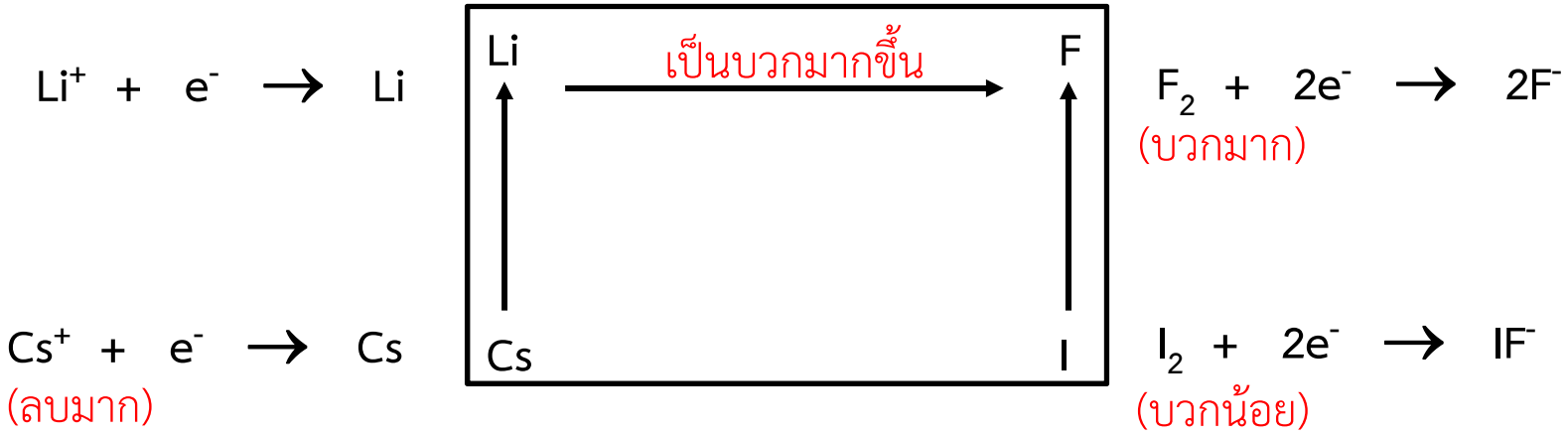


แนวโน้มของสมบัติทางเคมี

❖ เลขออกซิเดชัน

- ธาตุหมู่ IA มีเลขออกซิเดชันเป็น +1
- ธาตุหมู่ IIA มีเลขออกซิเดชันเป็น +2
- ธาตุกลุ่มอื่นๆ ส่วนใหญ่จะมีเลขออกซิเดชันได้มากกว่าหนึ่งค่า
- อโลหะ ถ้าปรากฏเป็นไอออนลบมักแสดงเลขออกซิเดชันค่าเดียว เช่น Cl^-, S^{2-}, O^{2-} แต่ถ้าเกิดสารประกอบโคเวเลนต์อาจมีเลขออกซิเดชันค่าบวกหรือลบก็ได้

❖ ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน (E^0)



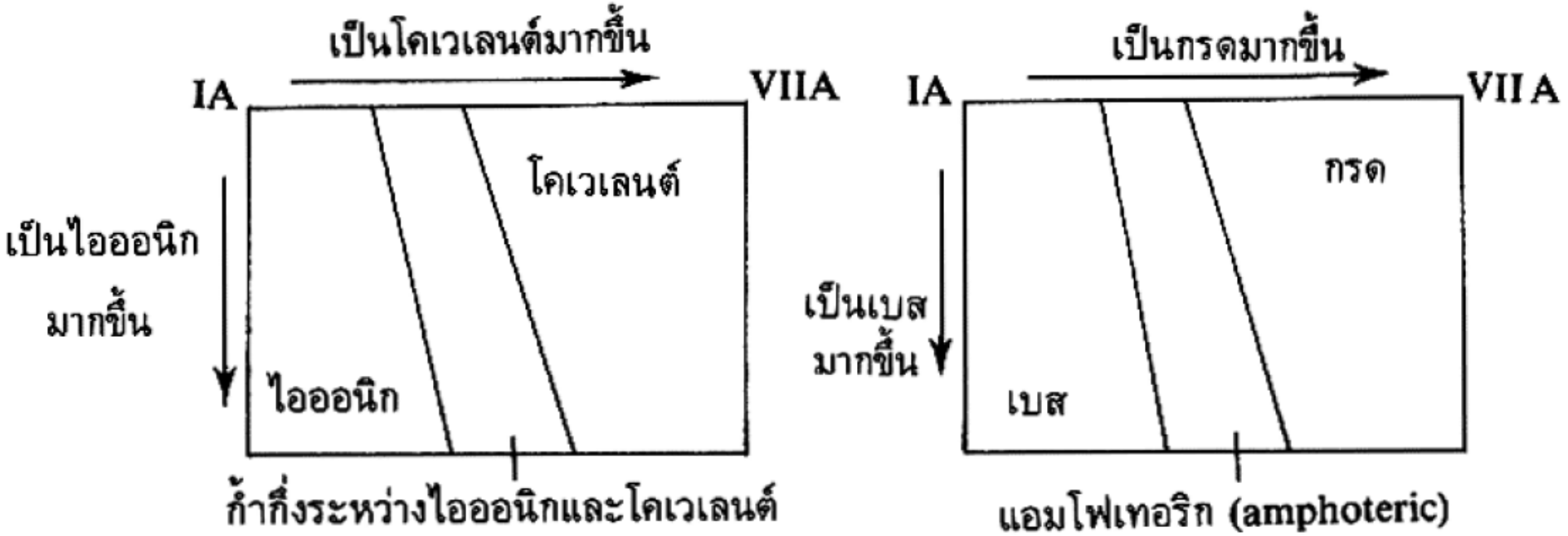
โลหะทางด้านซ้ายของตารางธาตุเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดีมาก เสียอิเล็กตรอนได้ง่าย และโลหะหนักเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดีขึ้น
อโลหะเป็นตัวออกซิไดซ์ที่ดีมากรับอิเล็กตรอนได้ดี

แนวโน้มความเป็นกรด-เบสของสารประกอบ

❖ **สารประกอบออกไซด์และไฮดรอกไซด์**

<u>ออกไซด์:</u> สารประกอบระหว่างธาตุหนึ่งๆ กับออกซิเจน

<u>ไฮดรอกไซด์:</u> สารประกอบของ OH^- สูตรทั่วไปเป็น $M(OH)_2$



$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

ตัวอย่าง การเปรียบเทียบความเป็นกรดเบสของธาตุในคาบที่ 3

Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl_2O_7
$NaOH$	$Mg(OH)_2$	$Al(OH)_3$	$SiO_2 \cdot xH_2O$	H_3PO_4	H_2SO_4	$HClO_4$
เบสแก่	เบสอ่อน	กรดอ่อน/ เบสอ่อน	กรดอ่อน	กรดแก่ขึ้น	กรดแก่	

ตัวอย่าง การเปรียบเทียบความเป็นกรดเบสของธาตุในหมู่ที่ 5

N_2O_5 (HNO_3)	กรดแก่
P_4O_{10} (H_3PO_4)	กรดอ่อน
As_4O_{10} (H_3AsO_4)	กรดอ่อน
Sb_4O_6	แอมโฟเทอริก (amphoteric)
Bi_2O_3	เบสอ่อน

ตัวอย่าง การเปรียบเทียบความเป็นกรดเบสของธาตุที่มีเลขออกซิเดชันหลายค่า

ความเป็นกรด $HClO < HClO_2 < HClO_3 < HClO_4$

+1 +3 +5 +7

ธาตุเรพรีเซนเททีฟ

ธาตุเรพรีเซนเททีฟ (Representative element) หรือ ธาตุหมู่หลัก (Main group element) คือ ธาตุที่มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนบรรจุใน *s*- และ *p*-orbital โดยที่ใน *d*- และ *f*-orbital อาจจะไม่มีอิเล็กตรอนอยู่เลย หรือมีบรรจุอยู่เต็มหมดแล้ว

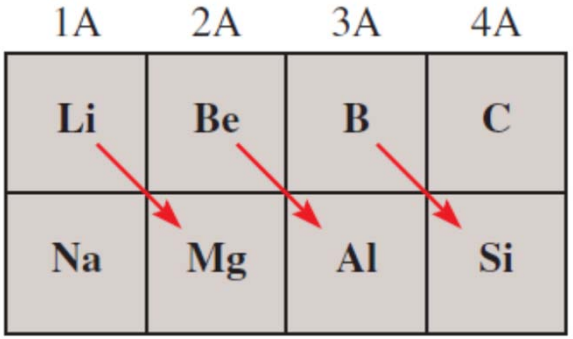
IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
H							He
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po*	At*	Rn
Fr*	Ra*						

“ความเป็นโลหะของธาตุลดลงจากซ้ายไปขวา (คาบเดียวกัน) และ เพิ่มขึ้นจากบนลงล่าง (หมู่เดียวกัน)”

- ธาตุที่อยู่ในหมู่เดียวกัน คือมีโครงสร้างอิเล็กตรอนวงนอกสุดเหมือนกัน จะมีสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกัน

- ธาตุสมาชิกตัวบนสุดของแต่ละหมู่ (ธาตุในคาบที่ 2: Li, Be, B, C, N, O และ F) มักมีสมบัติที่แตกต่างไปจากธาตุอื่นๆ ในหมู่เดียวกัน เนื่องจากมีขนาดที่เล็กกว่ามาก เมื่อเทียบกับธาตุอื่นๆ ในหมู่เดียวกัน

- Li, Be และ B จะแสดง “สมบัติแนวทแยง (Diagonal relationship)”



Li จะแสดงสมบัติทางเคมีหลายประการที่คล้ายคลึงกับ Mg

- **สารประกอบไม่มีสี**

Sodium chloride: NaCl

Barium sulfate: $BaSO_4$

Potassium chlorate: $KClO_3$

- **การทดสอบเปลวไฟ (Flame test)**

Li	Crimson red
Na	Yellow
K	Pale violet
Rb	Violet
Cs	Blulish

Na^+

Ba^{2+}

K^+

ธาตุไฮโดรเจน (Hydrogen, $1s^1$) “ไม่มีตำแหน่งในตารางธาตุที่เหมาะสมที่สุด”

IA
H
Li
Na
K
Rb
Cs
Fr*

- ธาตุไฮโดรเจนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในระบบสุริยะจักรวาล รองลงมาคือฮีเลียม (He)
- มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ -252.7 °C และ จุดเดือดเท่ากับ -259.1 °C
- ที่อุณหภูมิและความดันปกติ ธาตุไฮโดรเจนจะอยู่ในรูปของแก๊สไฮโดรเจน (H_2) คล้ายกับธาตุฮาโลเจน (X_2) ซึ่งจัดเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว จึงไม่ละลายน้ำที่จัดเป็นโมเลกุลมีขั้ว
- แก๊สไฮโดรเจน (H_2) เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และเป็นแก๊สที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด

สมบัติของไฮโดรเจนจะมีทั้งส่วนที่คล้ายคลึงกับโลหะหมู่ 1A และ ธาตุฮาโลเจนหมู่ 7A

สมบัติที่คล้ายกับโลหะหมู่ 1A

- มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็นแบบ $1s^1$ เหมือนกับโลหะหมู่ 1A $\Rightarrow$ เกิดเป็น H^+ ได้
- สามารถเกิดปฏิกิริยากับธาตุฮาโลเจนได้เป็นสารประกอบที่มีสูตรทั่วไปเป็น HX โดยชนิดของพันธะใน HX เป็นพันธะโควาเลนต์ ในขณะที่ธาตุหมู่ 1A เกิดปฏิกิริยากับธาตุฮาโลเจนได้สารประกอบที่มีสูตรทั่วไปเป็น MX ซึ่งชนิดของพันธะใน MX เป็นพันธะไอออนิก

สมบัติที่คล้ายกับโลหะหมู่ 7A

- ที่อุณหภูมิและความดันปกติ ธาตุไฮโดรเจนจะอยู่ในรูปโมเลกุลของแก๊ส โดยที่หนึ่งโมเลกุลประกอบด้วยสองอะตอม (diatomic molecule) ซึ่งเหมือนกับ X_2 ของฮาโลเจน
- มีสมบัติเป็นอโลหะ คือ มีค่า IE และ EN สูง
- เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหะจะสามารถรับอิเล็กตรอนเกิดเป็น “ไฮไดร์ด (hydride, H^-” เกิดเป็นสารประกอบกับโลหะหมู่ 1A เช่น LiH และ NaH

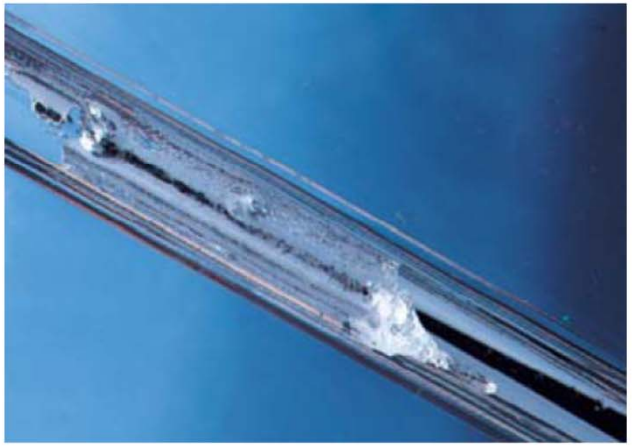
ธาตุหมู่ 1A (ns^1, $n \geq 2$): โลหะอัลคาไลน์ (Alkali metals)

Lithium (Li)

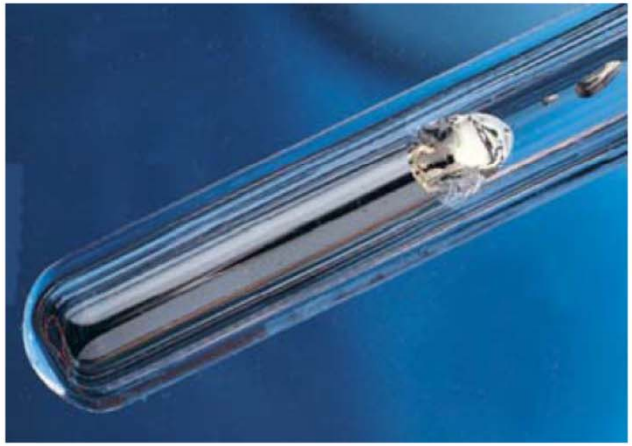
Sodium (Na)

F
el
Fi
ra

Potassium (K)



Rubidium (Rb)



Cesium (Cs)

- โลหะอัลคาไลน์ทุกธาตุจะมีค่า IE ต่ำ ดังนั้นจึงมีแนวโน้มที่จะเสียอิเล็กตรอน แล้วเกิดเป็นไอออนที่มีประจุ +1 (M^+)
- โลหะอัลคาไลน์ทุกชนิดเป็นโลหะที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา (reactive) มาก จึงไม่ปรากฏในรูปธาตุบริสุทธิ์ แต่มักจะอยู่ในรูปสารประกอบ เช่น Li_2O, NaCl, $NaNO_3$ และ KCl
- สารประกอบของโลหะหมู่ 1A ละลายน้ำได้ดี ยกเว้น LiOH, Li_2O_3, Li_3PO_4, Li_2CO_3, LiF
- โลหะอัลคาไลน์จะทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับน้ำเกิดเป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์ (MOH) และแก๊สไฮโดรเจน

$$2M_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow MOH_{(aq)} + H_{2\,(g)}$$

- เมื่อโดนอากาศ โลหะอัลคาไลน์จะค่อยๆ ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน (O_2) เกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ และความเงาจะลดลง

$$4Li_{(s)} + O_{2\,(g)} \rightarrow 2Li_2O_{(s)}$$

- โลหะอัลคาไลน์สามารถทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน (O_2) เกิดเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ (peroxide, O_2^{2-}) และซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide, O_2^-)

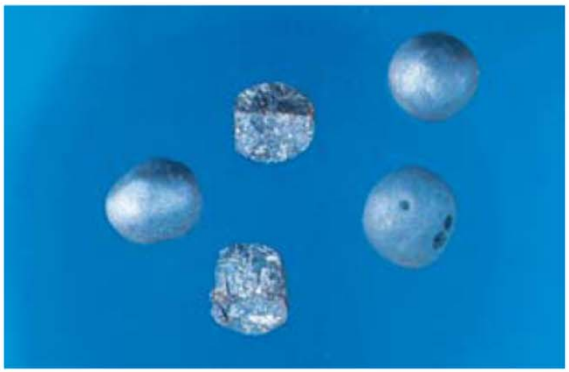
$2Na_{(s)} + O_{2\,(g)} \rightarrow Na_2O_{2\,(s)}$ และ $K_{(s)} + O_{2\,(g)} \rightarrow KO_{2\,(s)}$

การนำโลหะอัลคาไลน์ไปใช้ประโยชน์

- ลิเทียม (Li) ใช้เป็นขั้วแบตเตอรี่ (Lithium battery) เนื่องจากมีศักยภาพในการให้อิเล็กตรอนที่ดี
- โซเดียม (Na) เป็นธาตุทำปฏิกิริยาได้ว่องไวมาก จึงจำเป็นต้องเก็บในน้ำมัน ในชีวิตประจำวันมีการใช้ประโยชน์จากสารประกอบโซเดียมมากมาย เช่น เกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งใช้ในการประกอบอาหาร ผงฟูหรือโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ซึ่งใช้ในการทำขนมปังให้ฟู เป็นต้น
- ใช้ในการบำบัดโรค เช่น Li ใช้ในการรักษาความผิดปกติทางอารมณ์และช่วยควบคุมอารมณ์ให้อยู่ในระดับปกติ
- โพแทสเซียม (K) ใช้ทำปุ๋ย เช่น KCl, K_2SO_4 และ KNO_3

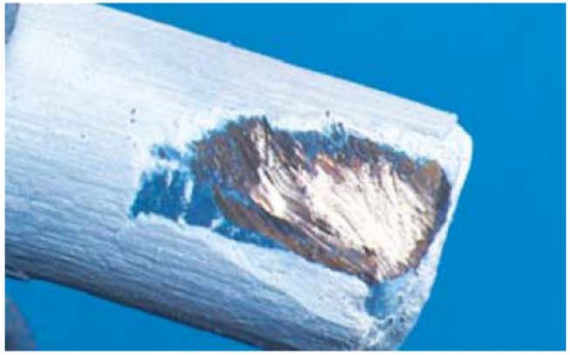
ธาตุหมู่ 2A (ns^2, $n \geq 2$): โลหะอัลคาไลน์เอิร์ท (Alkali earth metals)

Be Beryllium
Mg Magnesium
Ca Calcium
Sr Strontium
Ba Barium
Ra* Radium



Beryllium (Be)

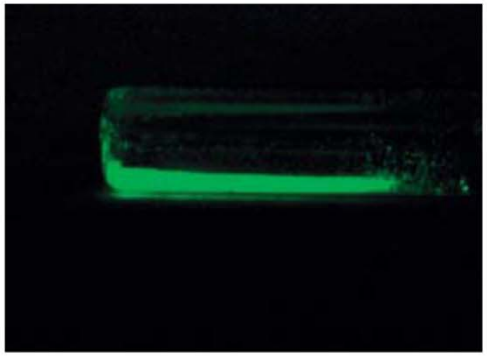
Magnesium (Mg)



Strontium (Sr)

Barium (Ba)

Calcium (Ca)



Radium (Ra)

- เป็นโลหะที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา แต่น้อยกว่าโลหะแอลคาไลน์ (หมู่ 1A) ทำให้ไม่ค่อยพบธาตุหมู่ 2A ในรูปธาตุบริสุทธิ์ แต่มักอยู่ในรูปเกลือคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และคลอไรด์ (Cl^-)
- โลหะอัลคาไลน์เอิร์ทเป็นโลหะเนื้อแข็ง มีความหนาแน่นสูง จุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง นำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ดี
- มีแนวโน้มที่จะสูญเสียอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออน +2 (M^{2+}) เนื่องจากมีค่า IE1 และ IE2 ต่ำ โดยแนวโน้มของค่า IE จะลดลงจากบนลงล่าง ทำให้โลหะอัลคาไลน์เอิร์ทมีแนวโน้มที่จะเสียอิเล็กตรอนง่ายขึ้นจากบนลงล่าง (ความเป็นโลหะมากขึ้นจากบนลงล่าง)
- การเตรียมโลหะอัลคาไลน์เอิร์ท ใช้วิธีเดียวกับการเตรียมโลหะอัลคาไลน์ อิเล็กโทรไลซิส (electrolysis) เกลือคลอไรด์หลอมเหลว $MCl_{2\ (s)}$
- ความว่องไวของโลหะอัลคาไลน์ในการทำปฏิกิริยากับน้ำแตกต่างกันอย่างมาก
  Be ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ ในขณะที่ Mg จะทำปฏิกิริยาช้าๆ กับไอน้ำ ส่วน Ca, Sr และ Ba สามารถทำปฏิกิริยาได้แม้กับน้ำเย็น

$$Ba_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow Ba(OH)_{2\ (aq)} + H_{2\ (g)}$$

- ความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเพิ่มขึ้นจาก Be ถึง Ba
  Be และ Mg จะเกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ BeO และ MgO ที่อุณหภูมิสูง
  สารประกอบ CaO, SrO และ BaO สามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิสห้อง

- โลหะ Mg จะทำปฏิกิริยากับกรดได้แก๊สไฮโดรเจน

$$Mg_{(s)} + 2H^{+}_{(aq)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + H_{2\,(g)}$$

- Ca, Sr, Ba สามารถทำปฏิกิริยากับกรดได้เช่นกัน แต่โลหะเหล่านี้ปฏิกิริยาได้ดีกับน้ำ ซึ่งกรดโดยทั่วไปจะมีน้ำเจือปนอยู่ จึงทำให้ปฏิกิริยาทั้งสองเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน

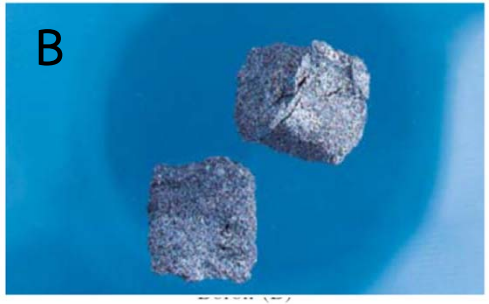
- สารประกอบคลอไรด์ โบรไมด์ ไอโอไดด์ ไนเตรต คลอเรต เปอร์คลอเรต ของโลหะหมู่ 2A ละลายน้ำได้ดี แต่สารประกอบฟลูออไรด์ (F^-) ไฮดรอกไซด์ (OH^-) ซัลไฟด์ (S^{2-}) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{2-}) และออกซาเลต ($C_2O_4^{2-}$) ของโลหะหมู่ 2A ไม่ละลายน้ำ ยกเว้น $MgSO_4$ ละลายน้ำได้ดี

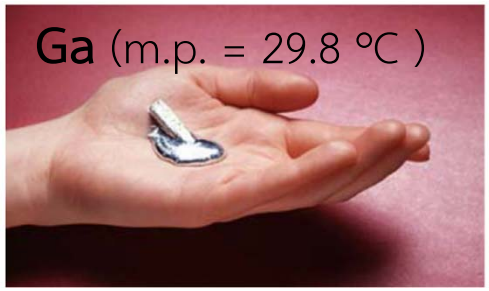
การนำโลหะอัลคาไลน์เอิร์ทไปใช้ประโยชน์

- Be มีสีเทาเหมือนเหล็ก แข็งแรง น้ำหนักเบา แต่เปราะ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เป็นตัวที่ทำให้โลหะผสมแข็งขึ้น (โดยเฉพาะทองแดงเบริลเลียม ใช้ทำส่วนประกอบของเรือเดินทะเล)
- Mg ใช้เป็นตัวผสมโลหะเพื่อทำโลหะผสมอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม
  MgO ใช้ในอุตสาหกรรมเหล็ก แก้ว ซีเมนต์ การเกษตร อุตสาหกรรมก่อสร้าง
  กระป๋องเครื่องดื่ม (aluminium-magnesium alloys)
  $Mg(OH)_2$ ใช้เป็นส่วนผสมในยาสีฟัน และใช้เป็นยาลดกรดในกระเพาะอาหาร
- Ca มันมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะในระบบสรีระวิทยาของเซลล์และการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ
  $CaSO_4$ ใช้ในอุตสาหกรรมปูนปลาสเตอร์
- $Sr(NO_3)_2$ ใช้ทำพลุ ดอกไม้เพลิงสีแดง
- $Ba(NO_3)_2$ ใช้ทำพลุ ดอกไม้เพลิงสีเขียว

ธาตุหมู่ 3A (ns^2np^1, $n \geq 2$)

B Boron
Al Aluminium
Ga Gallium
In Indium
Tl Thallium
Nh Nihonium





B มีสมบัติเป็นกึ่งโลหะ ส่วนธาตุอื่นๆ เป็นโลหะ

- B ไม่เกิดสารประกอบไอออนิกแบบไบนารี (binary ionic compound) และไม่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนกับน้ำ
- Al ทำปฏิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งอะลูมิเนียมออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะปกคลุมผิวของ Al ทำให้ Al มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาลดลง และทนต่อการผุกร่อนมากขึ้น

$$2Al_{(s)} + 3O_{2\,(g)} \rightarrow 2Al_2O_{3\,(s)}$$

- Al สามารถเกิดปฏิกิริยาเป็นไอออนประจุ +3 (Al^{3+}) และทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกให้แก๊สไฮโดรเจน

$$2Al_{(s)} + 6H^{+}_{(aq)} \rightarrow 2Al^{3+}_{(aq)} + 3H_{2\,(g)}$$

- Al ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน ให้ AlH_3 มีสมบัติคล้ายกับ BeH_2 (Diagonal relationship)
- เกลือซัลเฟต ไนเตรต และเฮไลด์ของโลหะหมู่ 3A นี้ละลายน้ำได้ดี แต่สารประกอบไฮดรอกไซด์ของโลหะหมู่นี้ไม่ละลายน้ำ
- ออกไซด์และไฮดรอกไซด์ของ Al และ Ga มีสมบัติเป็นแอมโฟเทอริก (amphoteric)

Reaction with acids; $Al_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2O$

Reaction with base; $Al_2O_3 + 2NaOH + 3H_2O \rightarrow 2NaAl(OH)_4$

การนำธาตุหมู่ 3A ไปใช้ประโยชน์

- โบรอน (B)

Borosilicate glassware
เช่น beakers และ test tube

Boron carbide ใช้เป็นแผ่น
กันกระสุนในเสื้อกันกระสุน

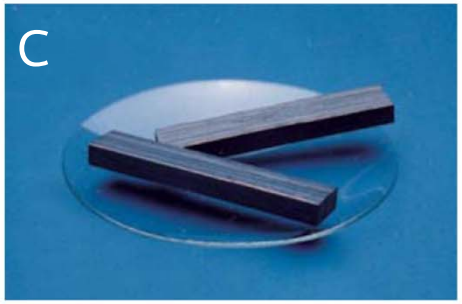
- อะลูมิเนียม (Al)

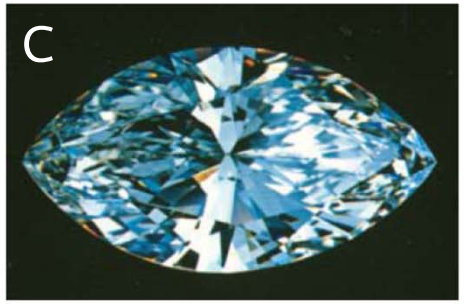
เป็นวัสดุทำ automobiles, aircraft, trucks, railway cars, marine vessels, bicycles, Packaging (cans, foil)

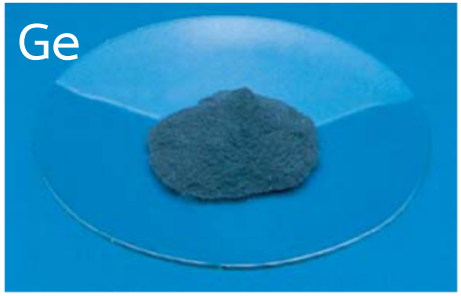
ธาตุหมู่ 4A (ns^2np^2, $n \geq 2$)

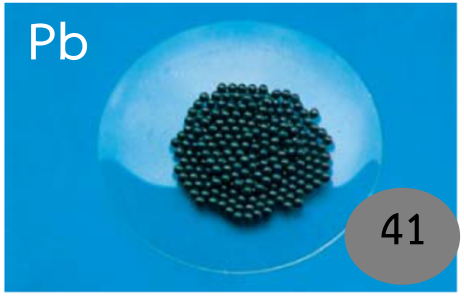
C Carbon
Si Silicon
Ge Germanium
Sn Tin
Pb Lead
Fl Flerovium

- มีทั้งอโลหะ (C) กึ่งโลหะ (Si และ Ge) และโลหะ (Sn และ Pb) ความเป็นโลหะเพิ่มขึ้นเมื่อเลขอะตอมสูงขึ้น
- เกิดสารประกอบที่มีเลขออกซิเดชัน +2 และ +4 สำหรับ C และ Si เลขออกซิเดชันที่เสถียรกว่าคือ +4 เช่น CO_2 เสถียรกว่า CO และ SiO_2 เป็นสารประกอบที่เสถียร
- C พบมากในธรรมชาติในรูปของสารประกอบคาร์บอเนต เช่น $CaCO_3$ ส่วนธาตุอิสระจะอยู่ในรูปของแกรไฟต์และเพชร

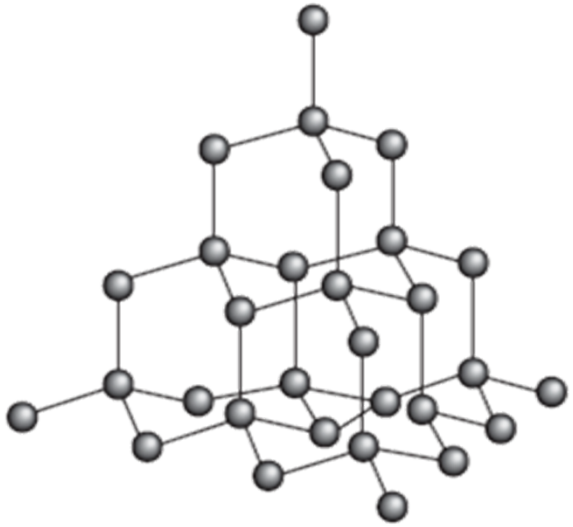




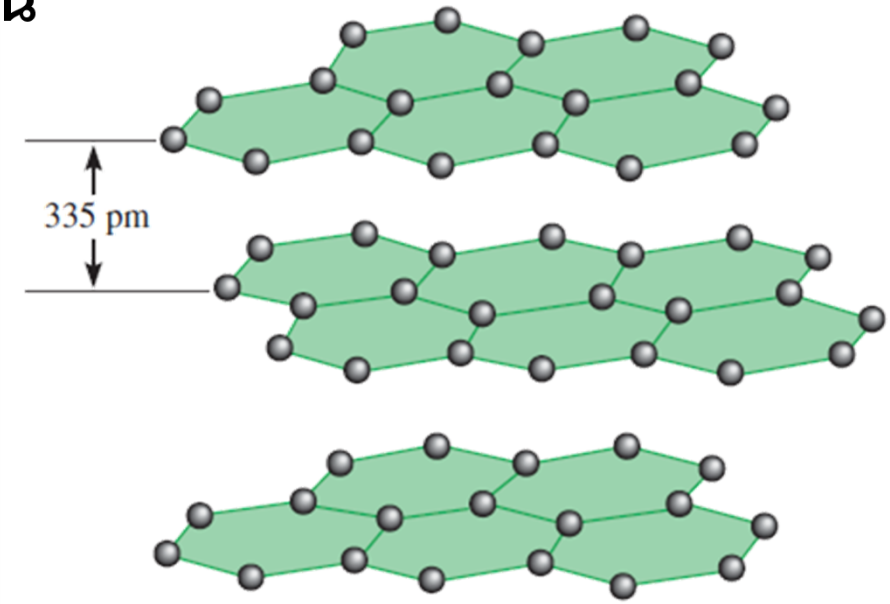




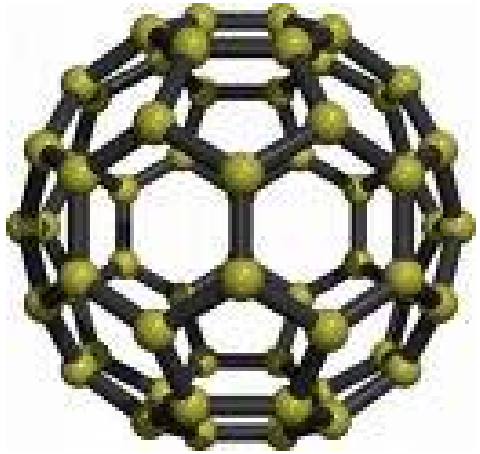
โครงสร้างโมเลกุลของคาร์บอน



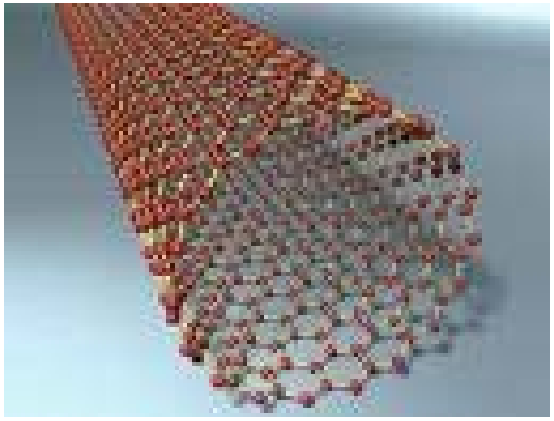
เพชร



แกรไฟต์



ฟูลเลอรีน (Fullerenes)



Carbon nanotube

ธาตุหมู่ 5A (ns^2np^3, $n \geq 2$)

N Nitrogen
P Phosphorous
As Arsenic
Sb Antimony
Bi Bismuth
Mo Moscovium

Liquid nitrogen (N_2)

White and red phosphorus (P)

Arsenic (As)

Antimony (Sb)

Bismuth (Bi)

มีทั้งอโลหะ (N และ P) กึ่งโลหะ (As และ Sb) และโลหะ (Bi)

- ธาตุไนโตรเจนที่อุณภูมิและความดันปกติจะอยู่ในรูป $N_{2\ (g)}$ และสามารถเกิดสารประกอบออกไซด์ได้หลายรูป เช่น $NO_{(g)}$, $N_2O_{(g)}$, $NO_{2\ (g)}$, $N_2O_{4\ (g)}$ และ $N_2O_{5\ (s)}$
- N มีแนวโน้มที่จะรับอิเล็กตรอน เกิดเป็น N^{3-} และเกิดสารประกอบไอออนิกกับโลหะ เช่น Li_3N และ Mg_3N_2
- P จะอยู่ในรูปโมเลกุล P_4 และสามารถเกิดสารประกอบออกไซด์ได้ 2 รูป คือ P_4O_6 และ P_4O_{10}
- กรดไนตริก (HNO_3) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เกิดจากการทำปฏิกิริยาของออกไซด์กับน้ำ

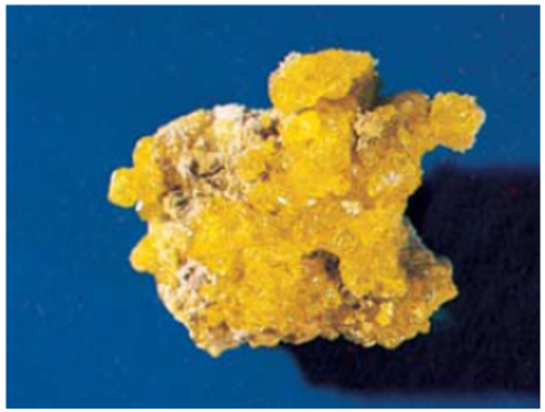
$$N_2O_{5\ (s)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow HNO_{3\ (aq)}$$

$$P_4O_{10\ (s)} + 6H_2O_{(aq)} \longrightarrow 4H_3PO_{4\ (aq)}$$

- As, Sb และ Bi มีโครงสร้างเป็นแบบโครงข่าย
- Bi เป็นโลหะ แต่จะไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับโลหะหมู่ 1A-4A

ธาตุหมู่ 6A (ns^2np^4, $n \geq 2$)

O Oxygen
S Sulfur
Se Selenium
Te Tellurium
Po* Polonium
Lv Livermorium



Sulfur (S_8)

Selenium (Se_8)

Tellurium (Te)

O, S และ Se เป็นธาตุอโลหะ ขณะที่ Te และ Po เป็นสารกึ่งโลหะ

- ที่อุณภูมิและความดันปกติจะอยู่ในรูป O, S และ Se จะอยู่ในรูป O_2 , S_8 และ Se_8 ตามลำดับ
- Te และ Po มีโครงสร้างเป็นแบบโครงข่าย
- Po เป็นสารกัมมันตรังสี
- O มีแนวโน้มที่จะรับอิเล็กตรอน 2 ตัว เกิดเป็น ออกไซด์ (oxide, O^{2-}) โดยมักพบในสารประกอบไอออนิกหลายชนิด
- S, Se และ Tl รับอิเล็กตรอน 2 ตัว เกิดเป็น ซัลไฟด์ (sulfide, S^{2-}), เซเลไนด์ (selenide, Se^{2-}) และ เทลลูไรด์ (telluride, Te^{2-}) ตามลำดับ
- กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เกิดจากการทำปฏิกิริยาของซัลเฟอร์ไตรออกไซด์กับน้ำ

$$SO_{3\ (g)} + H_2O_{\ (l)} \rightarrow H_2SO_{4\ (aq)}$$

ธาตุหมู่ 7A (ns^2np^5, $n \geq 2$): ธาตุฮาโลเจน (Halogen)

F Fluorine
Cl Chlorine
Br Bromine
I Iodine
At* Astatine
Ts Tennessine

- มีสมบัติเป็นอโลหะ และปรากฏในรูปโมเลกุล X_2 เสมอ
- มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามาก และจะไม่พบในรูปของธาตุอิสระเลย จะปรากฏในรูปสารประกอบมากกว่า
- At เป็นสารกัมมันตรังสี
- มีแนวโน้มที่จะรับอิเล็กตรอน 1 ตัว เกิดเป็น เฮไลด์ (halide, X^-) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโลหะหมู่ 1A และ 2A เกิดเป็นสารประกอบไอออนิก เช่น NaCl, KBr และ $MgCl_2$ เป็นต้น

ธาตุหมู่ 7A (ns^2np^5, $n \geq 2$): ธาตุฮาโลเจน (Halogen)

F Fluorine
Cl Chlorine
Br Bromine
I Iodine
At* Astatine
Ts Tennessine

ธาตุ	F	Cl	Br	I
สี (X_2)	เหลืองอ่อน	เขียวอ่อน	น้ำตาล	ม่วงเข้ม
จุดหลอมเหลว (°C)	- 223	- 102	- 7	+114
จุดเดือด (°C)	- 188	- 34	+ 59	+ 185

- ฟลูออรีนว่องไวต่อปฏิกิริยามาก จึงไม่พบในรูปธาตุอิสระ และสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำให้แก๊สออกซิเจน $2F_{2\,(g)} + 2H_2O_{\,(l)} \rightarrow 4HF_{\,(aq)} + O_{2\,(g)}$
- ธาตุฮาโลเจนสามารถเกิดเป็นสารประกอบกับอโลหะอื่นๆ ได้ เช่น NF_3, PCl_5 และ SF_6
- ธาตุฮาโลเจนมีสามารถเกิดเป็นสารประกอบระหว่างธาตุธาตุฮาโลเจนด้วยกันเอง (Interhalogen) ได้ เกิดเป็นโมเลกุลโควาเลนต์ เช่น ICl และ BrF_3

  โมเลกุลของธาตุที่มีขนาดเล็กกว่า จะสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเฮไลด์ที่มีขนาดใหญ่กว่าได้ เนื่องจากมีค่า EN น้อยกว่า

  $Cl_2 + 2Br^- \rightarrow 2Cl^- + Br_2$ (สีส้มหรือสีน้ำตาลใน CCl_4)

  $Cl_2 + 2I^- \rightarrow 2Cl^- + I_2$ (สีชมพูหรือสีม่วง CCl_4)

  $Br_2 + 2I^- \rightarrow 2Br^- + I_2$
- สามารถทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจนเกิดเป็นสารประกอบ “ไฮโดรเจนเฮไลด์ (hydrogen halide)” ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ โดย HF เป็นกรดอ่อน ส่วน HCl, HBr และ HI เป็นกรดแก่

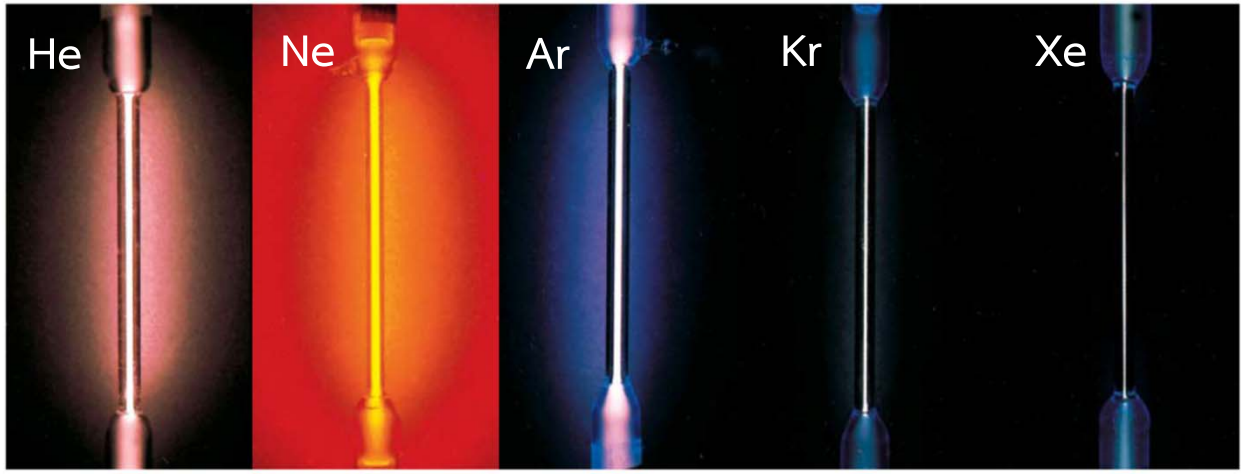
$$H_{2\,(g)} + X_{2\,(g)} \rightarrow 2HX_{\,(g)}$$

- เนื่องจาก F มีขนาดที่เล็กมาก ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับ F จะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงและระเบิดได้

ธาตุหมู่ 8A (ns^2np^6, $n \geq 2$): แก๊สมีตระกูล (Noble gas)

He Helium
Ne Neon
Ar Argon
Kr Krypton
Xe Xenon
Rn Radon
Og Oganesson

- มีสถานะเป็นแก๊สที่อุณหภูมิและความดันปกติ โดย 1 โมเลกุลจะมีเพียง 1 อะตอม (monoatomic gas) ซึ่งทุกชนิดไม่มีสี ไม่มีกลิ่น
- ไม่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา ซึ่งเป็นที่มาของชื่อ “แก๊สเฉื่อย (inert gas)”
- Xe, Kr และ Rn สามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบได้ เช่น XeF_4, XeO_3, XeO_4, $XeOF_4$, KrF_2 และ HArF



โลหะทรานซิชัน

ธาตุทรานซิชัน (transition element) คือ ธาตุหรือไอออนที่มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนวงนอกสุดใน *d*-orbital โดยที่อิเล็กตรอนจำนวนนั้นต้องไม่เต็มใน ใน *d*-orbital

	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8	9 8B	10	11 1B	12 2B
1st row transition elements (3d)	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn
2nd row transition elements (4d)	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd
3rd row transition elements (5d)	57-71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg
4th row transition elements (6d)	89-103	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn

Inner transition

Lanthanide	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Actinide	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

การจัดเรียงอิเล็กตรอน (Electron configuration)

Scandium	$_{21}Sc$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^1$	$\Rightarrow$ [Ar] $4s^2 3d^1$	
Titanium	$_{22}Ti$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^2$	$\Rightarrow$ [Ar] $4s^2 3d^2$	
Vanadium	$_{23}V$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^3$	$\Rightarrow$ [Ar] $4s^2 3d^3$	
Chromium	$_{24}Cr$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1\ 3d^5$	$\Rightarrow$ [Ar] $4s^1 3d^5$	การบรรจุแบบครึ่ง (half-filled)
Manganese	$_{25}Mn$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^5$	$\Rightarrow$ [Ar] $4s^2 3d^5$	
Iron	$_{26}Fe$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^6$	$\Rightarrow$ [Ar] $4s^2 3d^6$	
Cobalt	$_{27}Co$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^7$	$\Rightarrow$ [Ar] $4s^2 3d^7$	
Nickel	$_{28}Ni$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^8$	$\Rightarrow$ [Ar] $4s^2 3d^8$	
Copper	$_{29}Cu$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1\ 3d^{10}$	$\Rightarrow$ [Ar] $4s^1 3d^{10}$	การบรรจุแบบเต็ม (full-filled)
Zinc	$_{30}Zn$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}$	$\Rightarrow$ [Ar] $4s^2 3d^{10}$	

การเกิดเป็นไอออนบวก (อะตอมสูญเสีย e^-)

$_{23}V$: [Ar] $4s^2 3d^3$

$_{23}V^{2+}$: [Ar] $3d^3$

$_{23}V^{3+}$: [Ar] $3d^2$

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

$_{23}V^{5+}$: [Ar]

$_{26}Fe$: [Ar] $4s^2 3d^6$

$_{26}Fe^{2+}$: [Ar] $3d^6$

$_{26}Fe^{3+}$: [Ar] $3d^5$

3d e^- หลุดออกที่หลัง 4s e^- เพราะ 3d orbtial มีอำนาจการทะลุทะลวง (penetrate) ดีกว่า 4s orbital ทำให้ 3d e^- เข้าใกล้นิวเคลียสได้มากกว่า 4s e^-

สมบัติทั่วไปของธาตุทรานซิชัน

- ธาตุทรานซิชันที่อยู่ในหมู่เดียวกันจะมีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพคล้ายกัน
- มีแนวโน้มเกิดเป็นสารเชิงซ้อน หรือ สารประกอบโคออร์ดิเนชัน (coordination compound)
- มีสมบัติการเป็นแม่เหล็ก
- ธาตุทรานซิชันมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ซึ่งจะเคลือบเป็นผิวด้านนอกของโลหะเอาไว้ ทำให้ทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยากับกรดได้ดีขึ้น เช่น Fe_2O_3 และ Cr_2O_3 เป็นต้น โดย Cr นิยมใช้เป็นวัสดุเคลือบผิวโลหะชนิดอื่นเพื่อป้องกันการผุกร่อนรวมทั้งการเคลือบโครเมียม (chromium plating)

กรณี Au, Ag, Pt และ Pd จะไม่เกิดออกไซด์

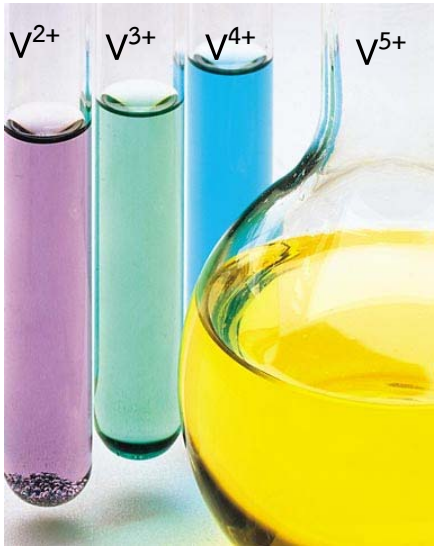
- ธาตุทรานซิชันมีความหนาแน่นสูง จุดเดือดจุดหลอมเหลวสูง และมีค่าความร้อนของการหลอมและการกลายเป็นไอ มากกว่าโลหะอัลคาไลน์และโลหะอัลคาไลน์เอิร์ธ เนื่องจากมีขนาดของอะตอมและไอออนเล็ก และโครงสร้างแบบจัดเรียงตัวชิดที่สุดเป็นส่วนใหญ่ ทำให้มีลักษณะพันธะเป็นพันธะโลหะที่แข็งแรง
- ธาตุทรานซิชันมีนำไฟฟ้าและความร้อนสูง โดย Ag เป็นตัวนำที่ดีที่สุด และ Cu รองลงมา

สมบัติทางกายภาพของธาตุ K ถึง Zn

	1A	2A	Transition Metals									2B
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Atomic radius (pm)	227	197	162	147	134	130	135	126	125	124	128	138
Melting point (°C)	63.7	838	1539	1668	1900	1875	1245	1536	1495	1453	1083	419.5
Boiling point (°C)	760	1440	2730	3260	3450	2665	2150	3000	2900	2730	2595	906
Density (g/cm^3)	0.86	1.54	3.0	4.51	6.1	7.19	7.43	7.86	8.9	8.9	8.96	7.14

- มีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า ยกเว้นหมู่ 3B

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
				+7				
			+6	+6	+6			
		+5	+5	+5	+5			
	+4	+4	+4	+4	+4	+4		
+3	+3	+3	+3	+3	+3	+3	+3	+3
	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2
								+1



- สารประกอบส่วนใหญ่มีสี (ยกเว้นหมู่ 3B) ขณะที่สารประกอบของธาตุกลุ่ม s และ p ไม่มีสี

ตัวอย่างสีของสารละลายของโลหะไนเตรตบางตัว: $M(NO_3)_x$

ไอออนของโลหะ	สีของสารละลายในน้ำ
Cr^{3+}	น้ำเงินเข้ม
Mn^{2+}	ชมพูอ่อน
Fe^{2+}	เขียวอ่อน
Fe^{3+}	น้ำตาลเหลือง
Co^{2+}	ชมพู
Ni^{2+}	เขียว
Cu^{2+}	น้ำเงิน

สารประกอบโคออร์ดิเนชัน

- ประกอบด้วย **อะตอมกลาง (central atom)** และ **ลิแกนด์ (Ligand)**

  มาจากภาษาละติน “ligare = to bind

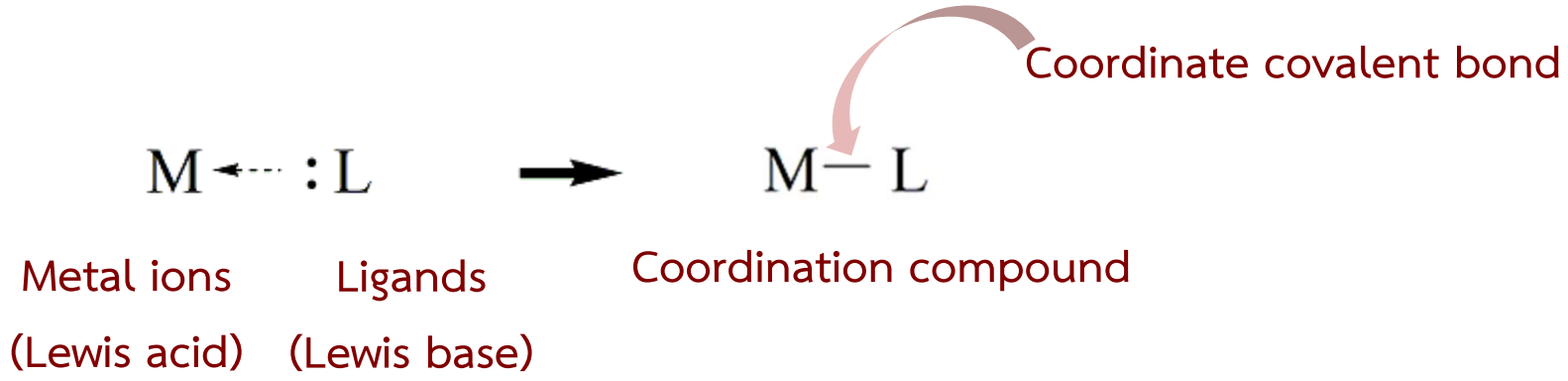
- *ลิแกนด์* อาจเป็นโมเลกุล ไอออน หรือกลุ่มไอออน

- มีชนิดของพันธะเคมีเป็น **“พันธะโคออร์ดิเนตโควาเลนต์ (coordinate covalent bond”**

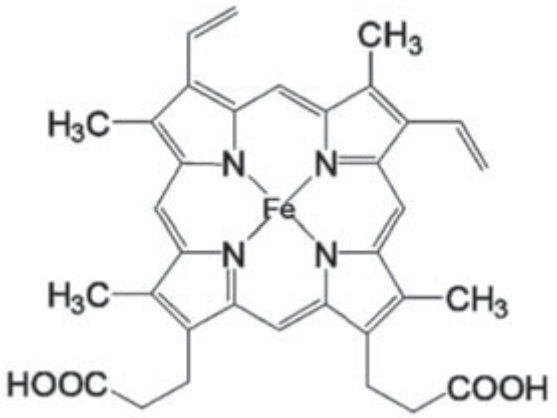
  โดยลิแกนด์ให้คู่อิเล็กตรอนแก่โลหะ

  ลิแกนด์ ทำหน้าที่เป็น “electron donor atom” หรือ “Lewis base”

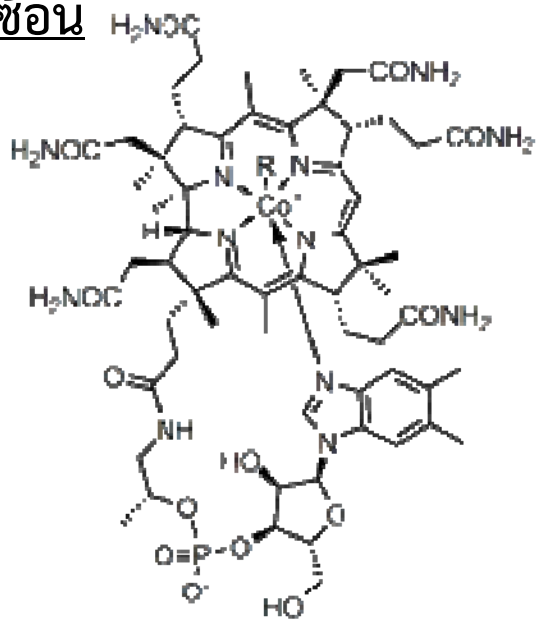
  โลหะอะตอมกลาง ทำหน้าที่เป็น “electron acceptor atom หรือ “Lewis acid”



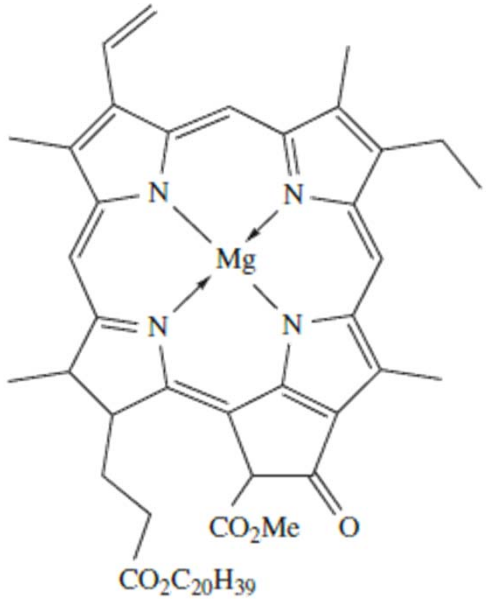
ตัวอย่างสารชีวโมเลกุลที่เป็นสารเชิงซ้อน



hemoglobin

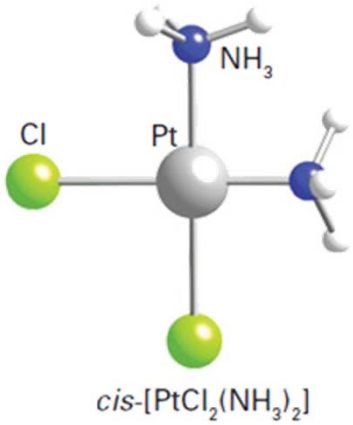


Vitamin B-12

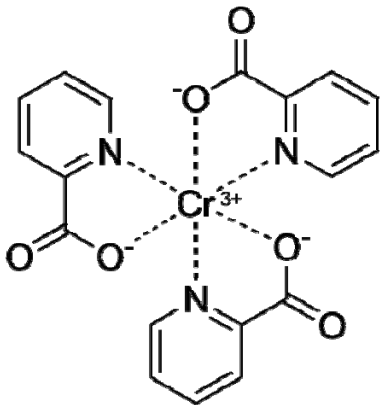


chlorophyll

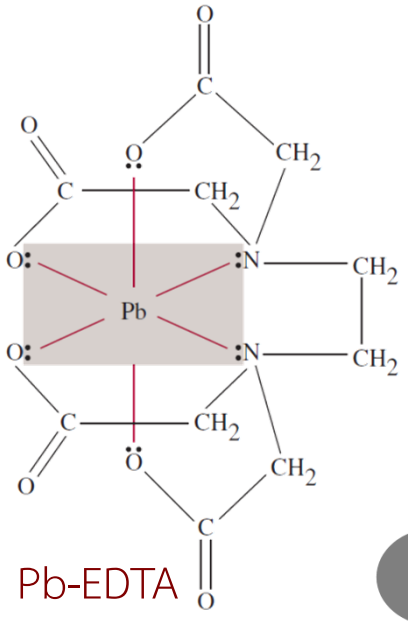
ตัวอย่างสารเชิงซ้อนที่สังเคราะห์ขึ้น



Cisplatin “chemotherapy”



Chromium(III) picolinate



Pb-EDTA

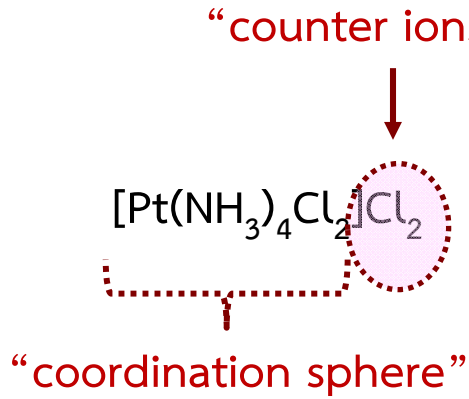
เทอมสำคัญในการศึกษาสารประกอบโคออร์ดิเนชัน

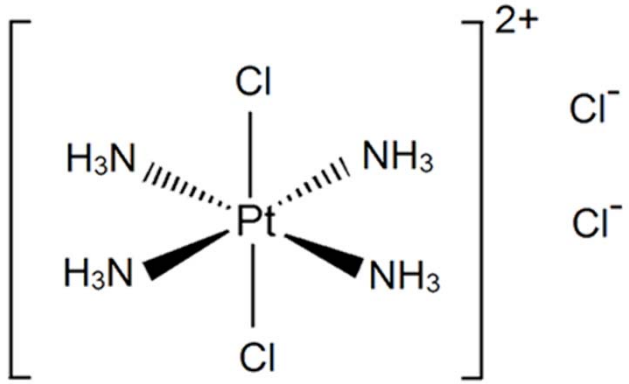
M^{b+} + nL → $[ML_n]^{b+}$

โลหะอะตอมกลาง ลิแกนด์ สารประกอบโคออร์ดิเนชัน

Lewis acid (electron acceptor) Lewis base: (electron donor)

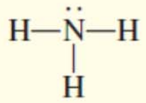
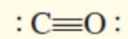
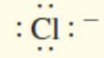
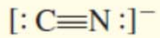
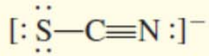
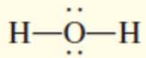
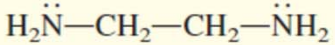
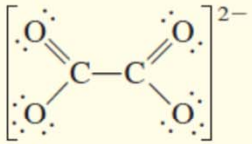
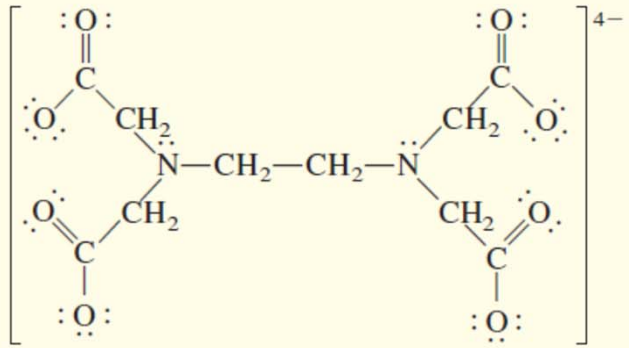
- **Coordination sphere (เขตโคออร์ดิเนชัน):** ประกอบด้วยลิแกนด์ยึดอยู่กับไอออนของโลหะด้วยพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนซ์ ⟹ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ [ ]
- **Counter ion:** ไอออนที่อยู่นอก coordination sphere ทำหน้าที่ดุลประจุให้แก่สารประกอบ
- **Coordination number:** จำนวนอะตอมผู้ให้ (donor atom) ที่ล้อมรอบโลหะอะตอมกลาง

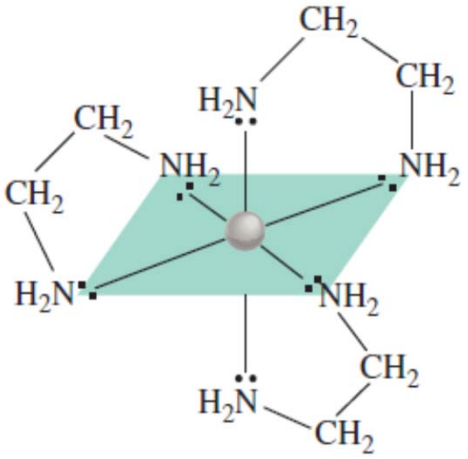


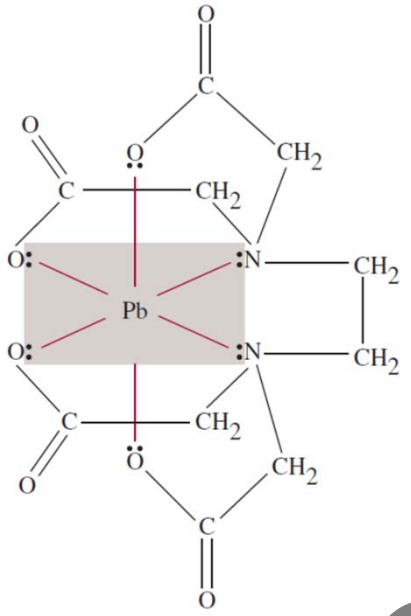


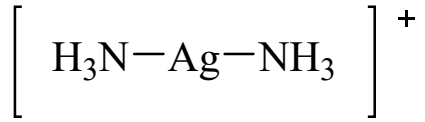
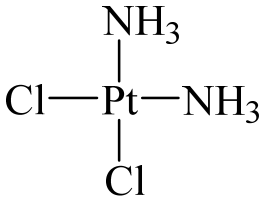
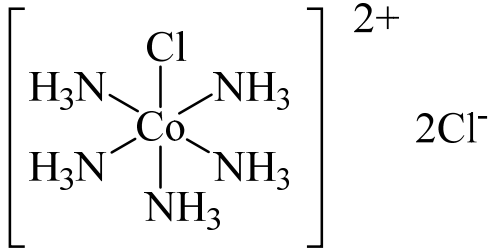
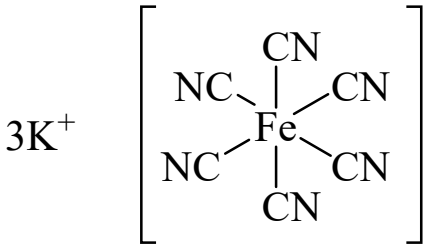
coordination number (C.N.) = 6

TABLE 22.3 Some Common Ligands

Name	Structure
	Monodentate ligands
Ammonia	
Carbon monoxide	
Chloride ion	
Cyanide ion	
Thiocyanate ion	
Water	
	Bidentate ligands
Ethylenediamine	
Oxalate ion	
	Polydentate ligand
Ethylenediaminetetraacetate ion (EDTA)	





โครงสร้างของสารเชิงซ้อน	สูตรเคมี	อะตอมกลาง	ลิแกนด์	เลขโคออร์ดิเนชัน
	$[Ag(NH_3)_2]^+$	Ag^+	$NH_3 \times 2$	2
	$[PtCl_2(NH_3)_2]$	Pt^{2+}	$NH_3 \times 2$ $Cl^- \times 2$	4
	$[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$	Co^{3+}	$NH_3 \times 5$ $Cl^- \times 1$	6
	$K_3[Fe(CN)_6]$	Fe^{3+}	$CN^- \times 6$	6

การอ่านชื่อสารประกอบโคออร์ดิเนชัน

1. อ่านชื่อไอออนบวกก่อน แล้วตามด้วยไอออนลบ และแยกกันโดยการเว้นวรรค เช่นเดียวกับการเรียกชื่อสารไอออนิกทั่วไป

$[Ag(NH_3)_2]Cl$ อ่านไอออนบวก $[Ag(NH_3)_2]^+$ ก่อนไอออนลบ Cl^-

$K_3[Fe(CN)_6]$ อ่านไอออนบวก K^+ ก่อนไอออนลบ $[Fe(CN)_6]^-$

2. ในส่วนของ coordination sphere [ ] ให้อ่านชื่อลิแกนด์ก่อน (เรียงตามลำดับอักษรภาษาอังกฤษ ไม่เกี่ยวกับคำที่ใช้บอกจำนวนลิแกนด์) แล้วตามด้วยชื่อของโลหะอะตอมกลาง และใช้เลขโรมัน (I, II, III, IV, V, VI,...) แสดงเลขออกซิเดชันของโลหะ

3. เมื่อลิแกนด์ชนิดหนึ่งมีมากกว่า 1 ตัว ให้บอกจำนวนลิแกนด์แต่ละชนิด โดยใช้คำนำหน้า 2=di, 3=tri, 4=tetra, 5=penta, 6=hexa, ... ในกรณีที่ชื่อลิแกนด์มีคำว่า di, tri, tetra, ... หรือเป็นลิแกนด์ที่ซับซ้อน การบอกจำนวนให้ใช้ bis, tris, tetrakis, pentakis, hexakis, ...

$[Co(NH_3)_4Cl_2]^+$ อ่าน tetraamminedicholrocobalt(III)

เตตระแอมมีนไดคลอโรโคบอลต์ (III)

$[Cr(en)_2Cl_2]^{2+}$ อ่าน dicholrobis(ethylenediamine)chromium(IV)

ไดคลอโรบิส(เอทิลีนไดเอมีน)โครเมียม (IV)

4. ชื่อลิแกนด์ที่พบบ่อย

ลิแกนด์	ชื่อลิแกนด์ในสารประกอบโคออร์ดิเนชัน
คลอไรด์ (chloride), Cl^-	คลอโร (chloro)
โบรไมด์ (bromide), Bl^-	โบรโม (bromo)
ไซยาไนด์ (cyanide), CN^-	ไซยาโน (cyano)
ไฮดรอกไซด์ (hydroxide) OH^-	ไฮดรอกโซ (hydroxo)
ออกไซด์ (oxide), O^{2-}	ออกโซ (oxo)
ไนไตรต์ (nitrite), NO_2^-	ไนโตร (nitro)
ออกซาเลต (oxalate), $C_2O_4^{2-}$	ออกซาเลโต (oxalato)
คาร์บอเนต (carbonate), CO_3^{2-}	คาร์บอเนโต (carbonato)
ไธโอไซยาเนต (thiocyanate), SCN^-	ไธโอไซยาเนโต (thiocyanato)
แอมโมเนีย (ammonia), NH_3	แอมมีน (ammine)
คาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide), CO	คาร์บอนิล (carbonyl)
น้ำ (water), H_2O	อะควอ (aqua)
เอทิลีนไดเอมีน (ethylenediamine)	เอทิลีนไดเอมีน (ethylenediamine)

5. การอ่านชื่อโลหะ

ในสารเชิงซ้อนที่เป็นกลาง และมีประจุบวก อ่านชื่อโลหะตามปกติ แต่หากสารเชิงซ้อนเป็นไอออนลบ อ่านชื่อโลหะลงท้ายด้วย –เอต (–ate)

โลหะ	**ชื่อโลหะในไอออนลบเชิงซ้อน**
อะลูมิเนียม (aluminium)	อะลูมิเนต (aluminium)
โครเมียม (chromium)	โครเมต (chromium)
โคบอลต์ (cobalt)	โคบอลต์เตต (cobalt)
นิกเกิล (nickel)	นิกเกิลเลต (nickel)
แมงกานีส (manganese)	แมงกาเนต (manganese)
ซิงค์ (zinc) สังกะสี	ซิงค์เคต (zincate)
ไอเอิร์น (iron) เหล็ก	เฟอร์เรต (ferrate)
ซิลเวอร์ (silver) เงิน	อาร์เจนเตต (argentate)
คอปเปอร์ (copper) ทองแดง	คิวเปรต (cuprate)
โกลด์ (gold) ทอง	ออเรต (aurate)
เลด (lead) ตะกั่ว	พลัมเบต (plumbate)

ตัวอย่างการอ่านชื่อสารประกอบโคออร์ดิเนชัน

$[Ag(NH_3)_2]^+$	diamminesilver(I) ion	ไดแอมมีนซิลเวอร์ (I) ไอออน
$[Co(NH_3)_6]Cl_3$	hexaamminecobalt(III) chloride	
$[Co(NH_3)_4Cl_2]Cl$	tetraamminedichlorocobalt(III) chloride	
$[Cr(NH_3)_4(H_2O)_2]Cl_2$	diaquatetraamminechromium(II) chloride	
$[Co(en)_2Cl_2]^+$	dichlorobis(ethylenediamine)cobalt(III)	
$[Co(NO_2)_4(H_2O)_2]^-$	diaquatetranitrocobaltate(III)	
$K_3[Fe(CN)_6]$	potassium hexacyanoferrate(III)	

ตัวอย่าง จงอ่านชื่อของสารประกอบโคออร์ดิเนชันต่อไปนี้

1. $[Fe(\underline{S}CN)]^{2+}$

2. $[Ag(NH_3)_2]Cl$

3. $[Ni(CO)_4]$

4. $K_4[Fe(CN)_6]$

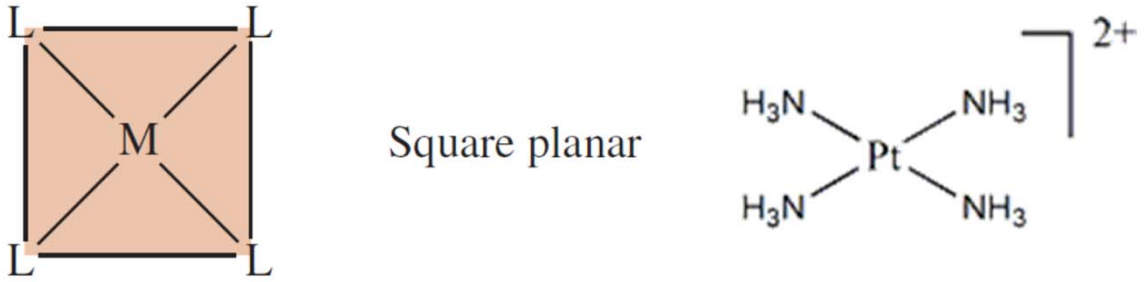
5. $[Fe(H_2O)_5(\underline{N}CS)]^{2+}$

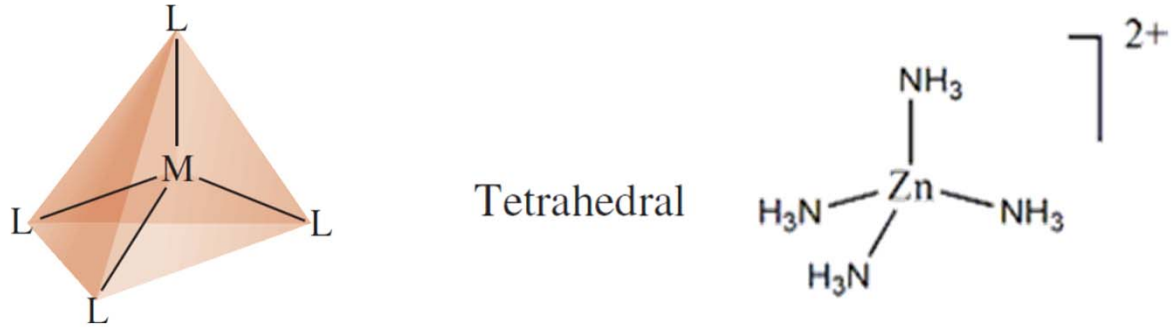
6. $[Co(en)_2Br_2]Cl$

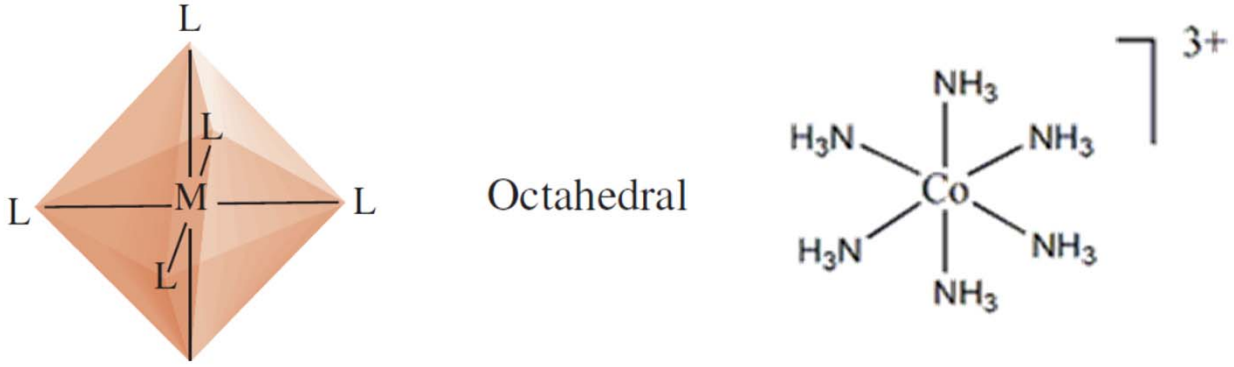
7. $[Al(C_2O_4)_2(H_2O)_2]^{+}$

8. $[Co(NH_3)_4(H_2O)Cl]Cl_2$

โครงสร้างของสารประกอบโคออร์ดิเนชัน

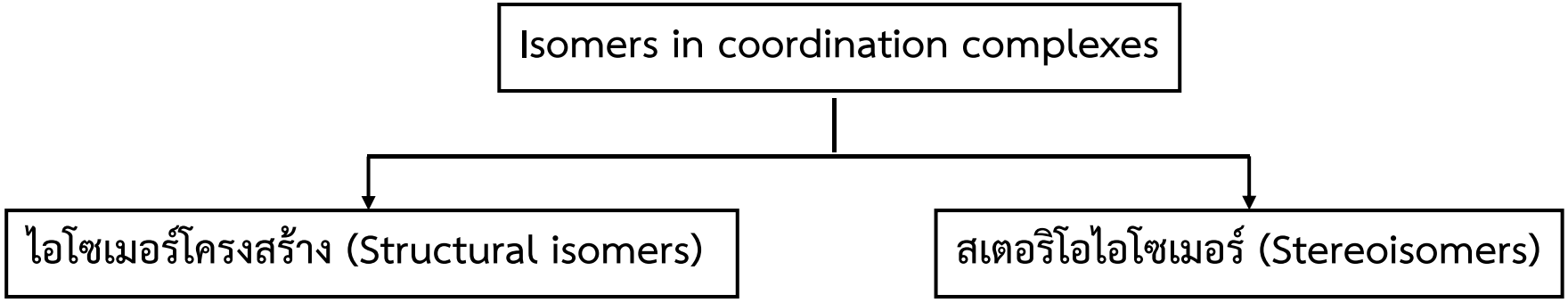






ไอโซเมอร์ของสารประกอบโคออร์ดิเนชัน

“สารประกอบที่มีองค์ประกอบของสูตรเคมีเหมือนกัน
แต่มีการจัดเรียงตัว หรือมีตำแหน่งของอะตอมต่างกัน”

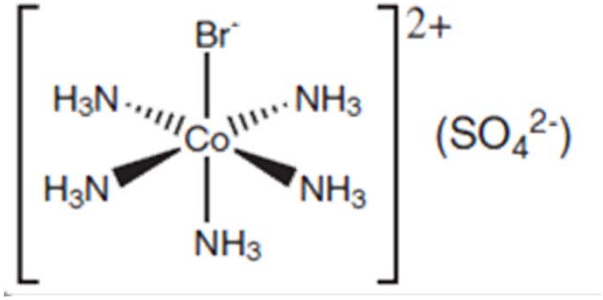


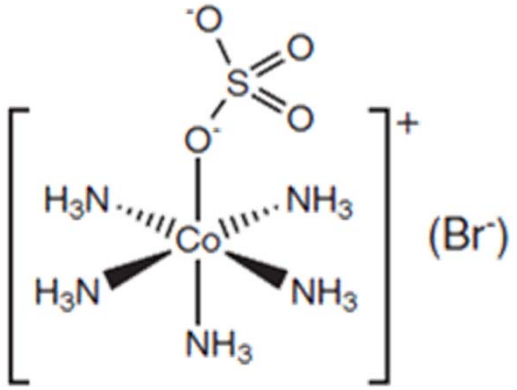
- **Ionization isomers**
- **Hydrate isomers**
- **Coordination isomers**
- **Linkage isomers**

- **Geometrical isomers** (Diastereomers)
  (cis/trans-isomer)
- **Optical isomers** (Enantiomers)

- **Ionization isomers**

  มีการแลกเปลี่ยนไอออนภายในและภายนอก coordination sphere





$[CoBr(NH_3)_5](SO_4)$ (สีแดง) $[Co(NH_3)_5(SO_4)]Br$ (สีม่วง)

$[Co(NH_3)_5(SO_4)](NO_3)$ และ $[Co(NH_3)_5(NO_3)](SO_4)$

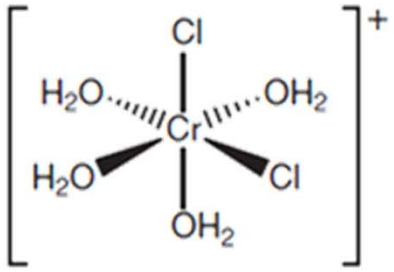
$[CoCl(en)_2(NO_2)SCN$ และ $[CoCl(en)_2(SCN)](NO_2)$

$[Co(NH_3)_4(NO_2)Cl]Cl$ และ $[Co(NH_3)_4Cl_2](NO_2)$

- **Hydrate isomers**

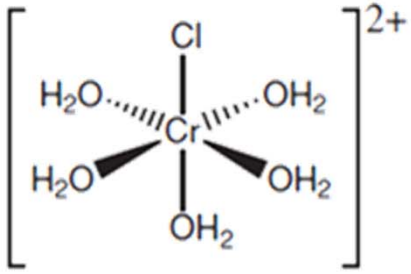
มีการแลกเปลี่ยนโมเลกุลน้ำ (ตัวทำละลายอื่นๆ) ภายในและภายนอก coordination sphere

“ $CrCl_3 \cdot 6H_2O$ ”



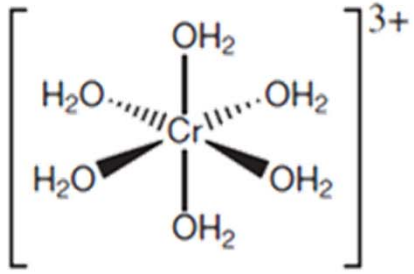
$[CrCl_2(OH_2)_4]Cl \cdot 2H_2O$

สีเขียวเข้ม



$[CrCl(OH_2)_5]Cl_2 \cdot H_2O$

สีเขียวอ่อน



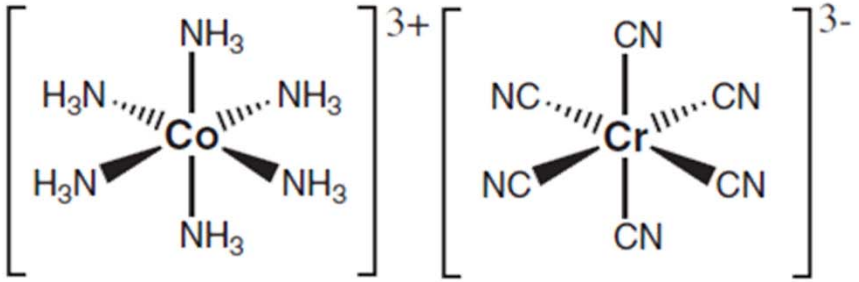
$[Cr(OH_2)_6]Cl_3$

สีม่วง

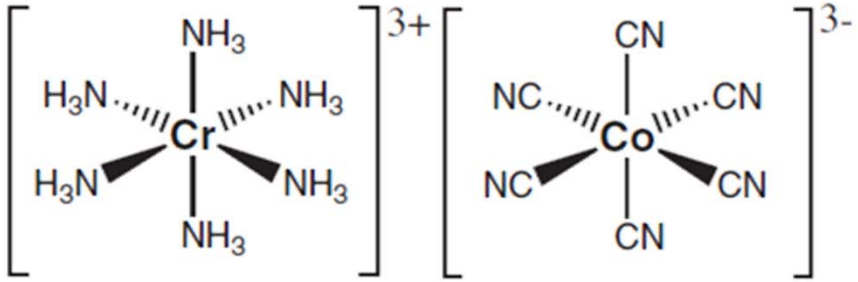
- **Coordination isomers**

เกิดเมื่อทั้งไอออนบวกและไอออนลบเป็นสารเชิงซ้อน และมีการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ระหว่าง coordination sphere

" $CoCr(CN)_6 \cdot 6NH_3$ "



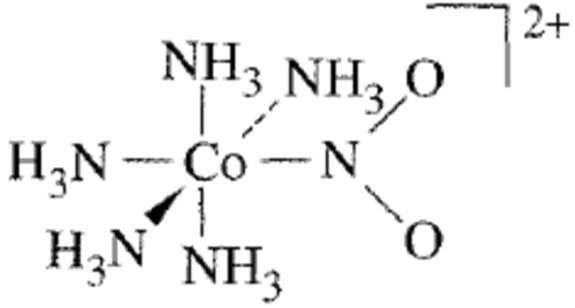
$[Co(NH_3)_6][Cr(CN)_6]$



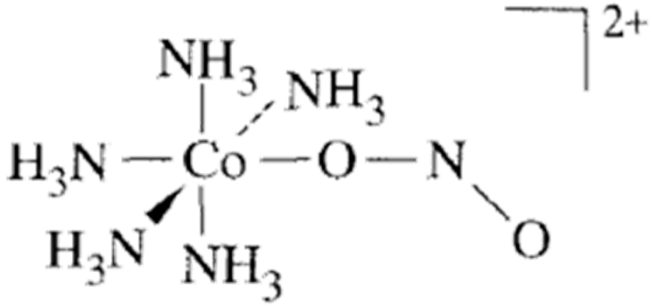
$[Cr(NH_3)_6][Co(CN)_6]$

- **Linkage isomers**

มีลิแกนด์เหมือนกัน แต่เกิดพันธะกับโลหะด้วย donor atom ที่ต่างกัน



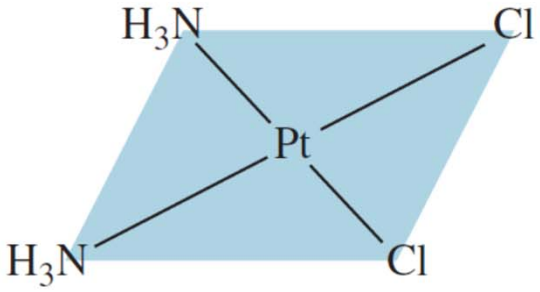
$[Co(NH_3)_5(NO_2)]^{2+}$ (สีเหลือง)



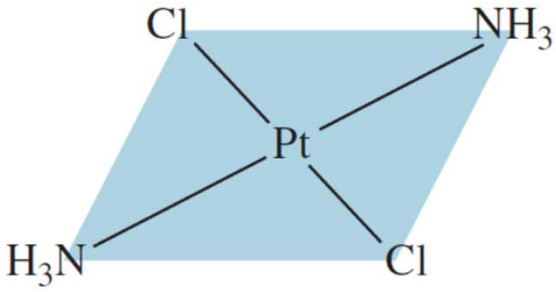
$[Co(NH_3)_5(ONO)]^{2+}$ (สีแดง)

Stereoisomers

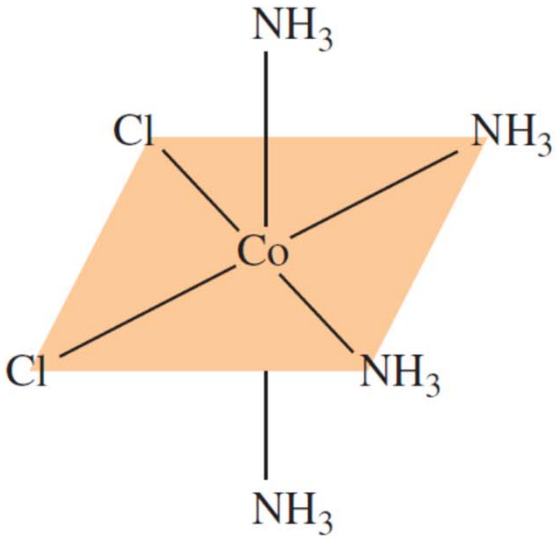
- Geometrical isomers $\Rightarrow$ *cis*- และ *trans*-isomers



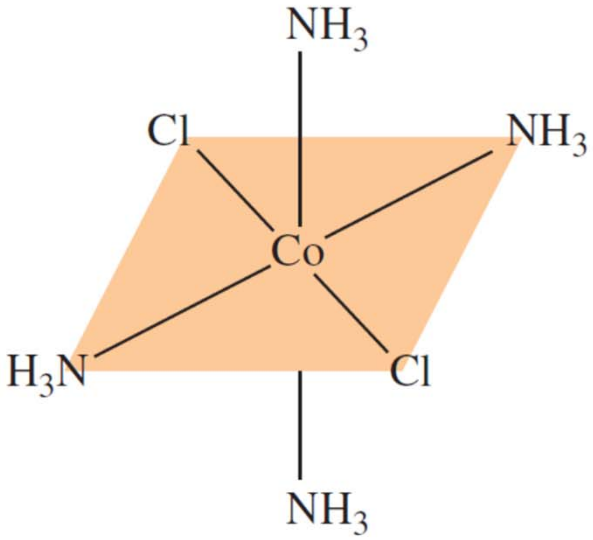
cis-$[Pt(NH_3)_2Cl_2]$



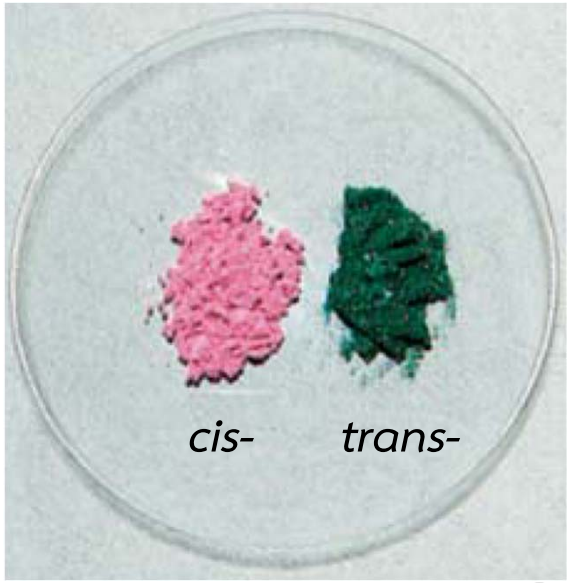
trans-$[Pt(NH_3)_2Cl_2]$



cis-$[Co(NH_3)_4Cl_2]$

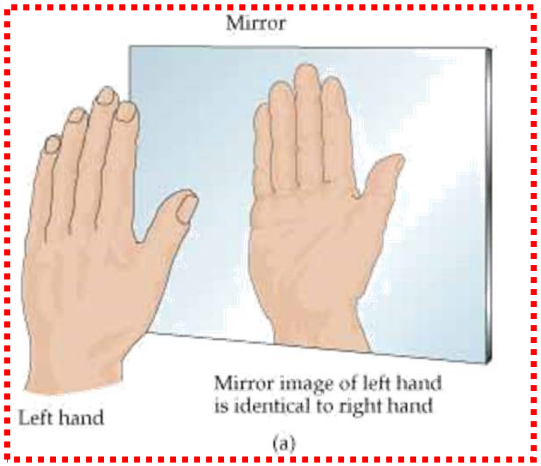


trans-$[Co(NH_3)_4Cl_2]$

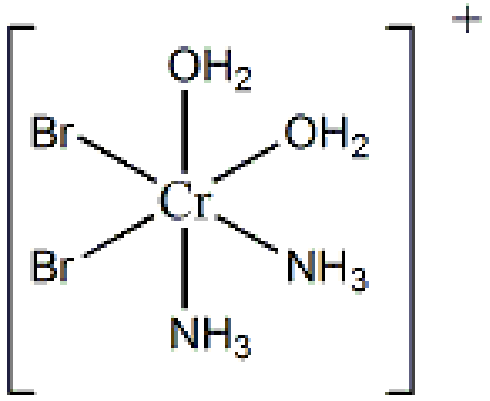


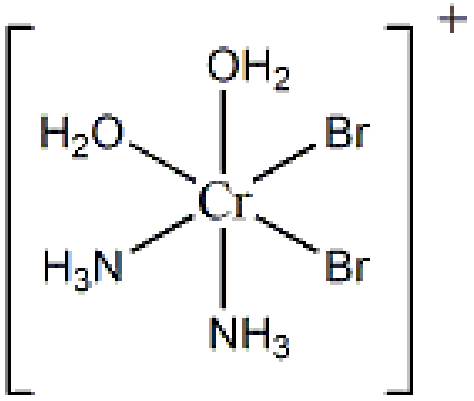
■ Optical isomers

สารประกอบที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นภาพในกระจกสะท้อนซึ่งกันและกัน ไม่สามารถซ้อนทับกันได้สนิท (non-superimposable)



"chiral molecule"



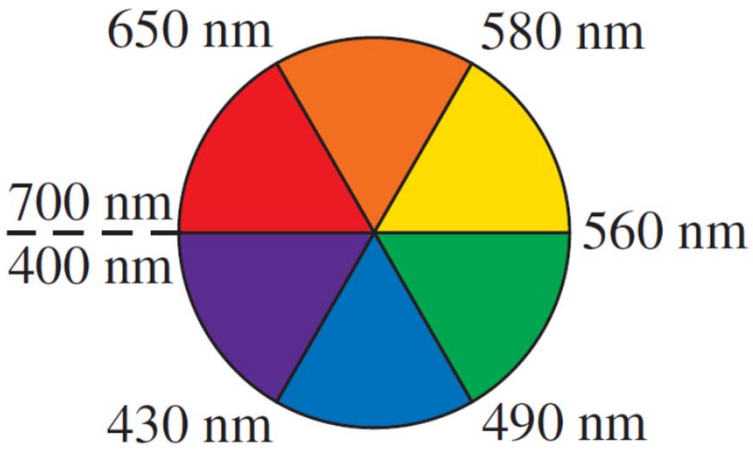


การเกิดสีของสารประกอบโคออร์ดิเนชัน

สีของสารเชิงซ้อนของโลหะทรานซิชัน เกิดจากการดูดกลืนแสงในช่วงที่มองเห็นได้ (visible light)

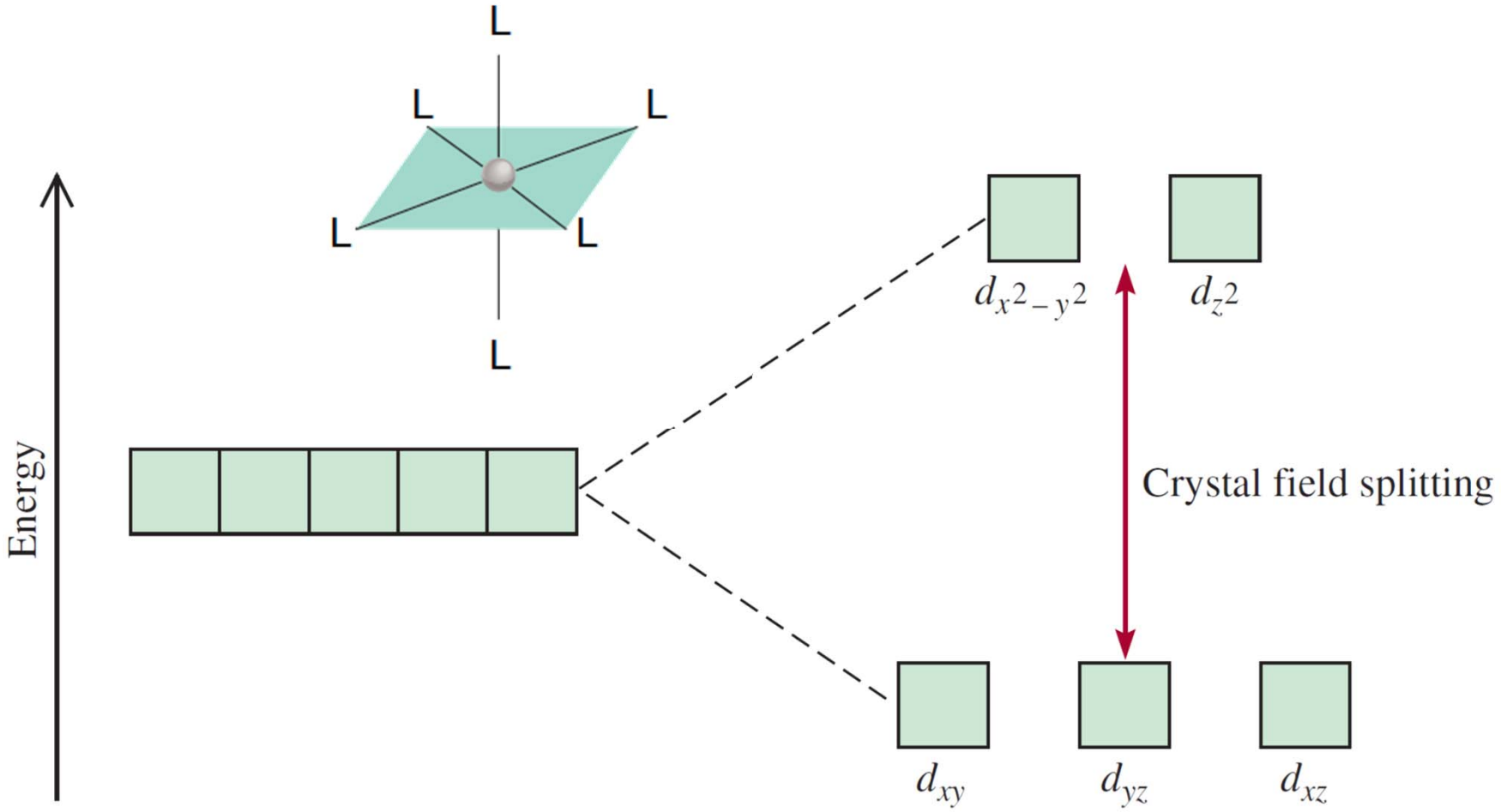
แสงในช่วงที่มองเห็นมีความยาวคลื่นในช่วงประมาณ 400 nm (สีม่วง) ถึง 700 nm (สีแดง) และมีค่าพลังงานอยู่ระหว่าง 299 kJ/mol กับ 172 kJ/mol

ความสัมพันธ์ระหว่างสีที่ถูกดูดกลืน และสีที่มองเห็น



ความยาวคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืน (nm)	สีที่ถูกดูดกลืน	สีที่มองเห็น
400 - 450	ม่วง	เหลืองแกมเขียว
450 – 480	น้ำเงิน	เหลือง
480 – 490	น้ำเงินแกมเขียว	ส้ม
490 – 500	เขียวแกมน้ำเงิน	แดง
500 – 560	เขียว	คราม
560 – 580	เหลืองแกมเขียว	ม่วง
580 – 600	เหลือง	น้ำเงิน
600 -650	ส้ม	เขียวแกมน้ำเงิน
650 -700	แดง	น้ำเงินแกมเขียว

การแยกระดับพลังงานในสนามผลึกของสารเชิงซ้อนแบบออกตะฮีดรอล



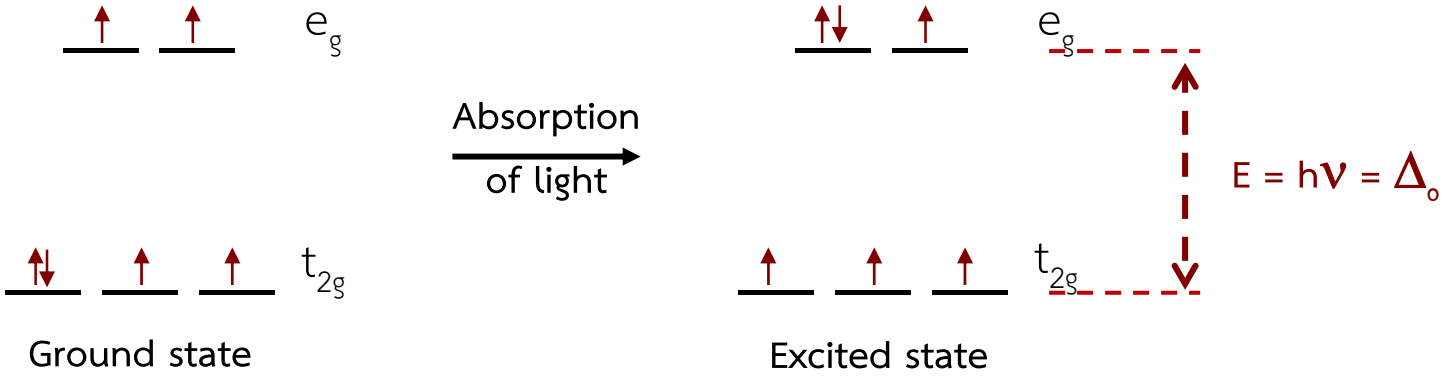
Spectrochemical series

$I^- < Br^- < Cl^- < OH^- < F^- < H_2O < NH_3 < en < CN^- < CO$

สารประกอบเชิงซ้อนของ Co^{3+}

ความแรงของลิแกนด์: $CN^- > NO_2^- > phen > en > NH_3 > gly > H_2O > ox^{2-} > CO_3^{2-}$

การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนใน high spin complex ของ Co^{3+} ที่มีรูปร่างแบบ octahedral



สมบัติแม่เหล็กของสารประกอบโคออร์ดิเนชัน

Spectrochemical series

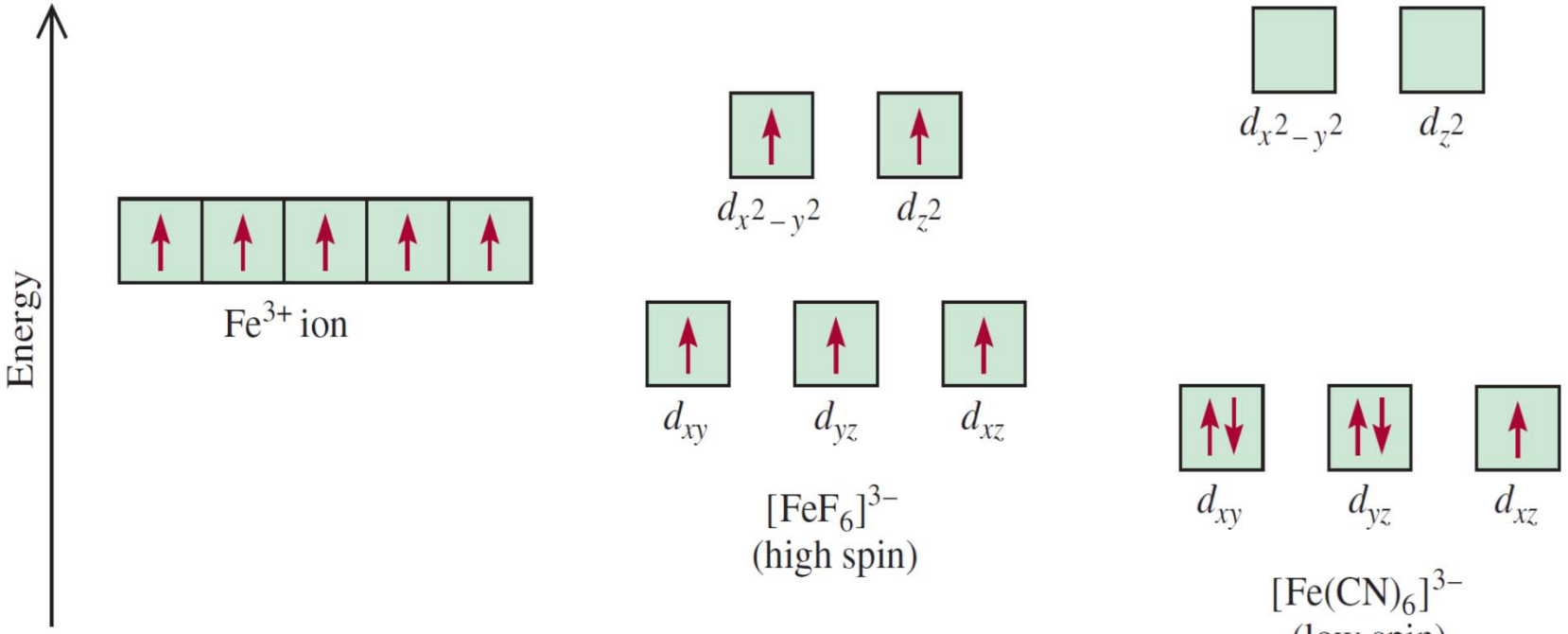
$$I^- < Br^- < Cl^- < OH^- < F^- < H_2O < NH_3 < en < CN^- < CO$$

weak field

(high spin)

strong field

(low spin)

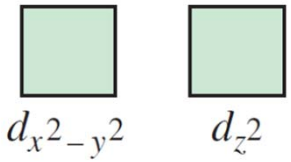


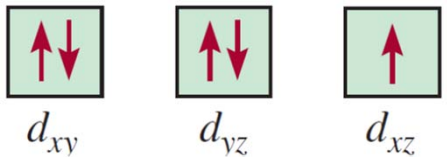
พาราแมกเนติก

มีอิเล็กตรอนเดี่ยว 5 ตัว

พาราแมกเนติก

มีอิเล็กตรอนเดี่ยว 1 ตัว

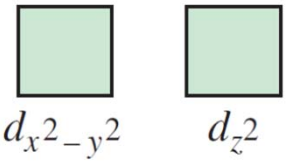


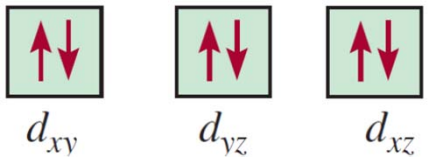


$[Fe(CN)_6]^{3-}$ low spin

พาราแมกเนติก (paramagnetic)

มีอิเล็กตรอนเดี่ยว 1 ตัว





$[Fe(CN)_6]^{4-}$ low spin

ไดอะแมกเนติก (diamagnetic)

ไม่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว