

เอกสารประกอบการบรรยาย

วิชา คม 100 เคมีทั่วไป

ตารางธาตุ และแนวโน้มของสมบัติธาตุ

- ☐ วิวัฒนาการของตารางธาตุ
- ☐ ตารางธาตุในปัจจุบัน
- ☐ แนวโน้มของสมบัติธาตุตามตารางธาตุ

อาจารย์ ดร. วีรินทร์ดา ทะปะละ

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

(<http://www.science.mju.ac.th/chemistry/>)

(<http://www.appliedchem.mju.ac.th/>)

1. วิวัฒนาการของตารางธาตุ

“แผนภาพที่แสดงคุณสมบัติของธาตุทางเคมีและกายภาพที่เหมือนกัน
จัดอยู่ในกลุ่มของธาตุเดียวกัน”

□ โยฮัน เดอเบไรเนอร์ (Johann Döbereiner, 1817)

จัดธาตุเป็นกลุ่มๆ ละ 3 ธาตุ ตามสมบัติที่คล้าย คลึงกัน เรียกว่า Triads โดยธาตุ
ตัวกลางจะมีมวลอะตอมเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของมวลอะตอมของอีกสองธาตุ

Li	7	Ca	40	Cl	35
Na	23	Sr	88	Br	80
K	39	Ba	137	I	129

แตเมื่อนำหลัก Triads มาใช้กับธาตุกลุ่มอื่น พบว่ามวลอะตอมของธาตุตัวกลางไม่ได้มี
ค่าเป็นค่าเฉลี่ยของมวลอะตอมของธาตุที่เหลือในแต่ละกลุ่ม
เช่น Cu (63.6), Ag (108), Au (197)

❑ จอห์น เอ. อาร์. นิวแลนด์ (John A.R. Newlands, 1864)

“Law of Octaves: ถ้าเรียงธาตุตามน้ำหนักอะตอมจากน้อยไปหามาก จะพบว่าธาตุที่ 8 จะมีสมบัติคล้ายกับธาตุตัวที่ 1 เสมอ” (ไม่รวม H และแก๊สเฉื่อย)

						H
Li	Be	B	C	N	O	F
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
K	Ca	Cr	Ti	Mn	Fe	Co, Ni
Cu	Zn	Y	In	As	Se	Br
Rb	Sr	La, Ce	Zr	Nb, Mo	Ru, Rh	Pd
Ag	Cd	U	Sn	Sb	Te	I
Cs	Ba, V					

แต่กฎของนิวแลนด์ใช้ได้กับ 20 ธาตุแรก ที่มีมวลอะตอมน้อยเท่านั้น (จัดได้ถึงธาตุ Ca เท่านั้น) ส่วนธาตุที่มีมวลอะตอมมากขึ้น จะไม่ค่อยเป็นไปตามกฎ และการจัดเช่นนี้ไม่สามารถอธิบายได้ว่า มวลอะตอมกับสมบัติที่คล้ายกันของธาตุสัมพันธ์กันอย่างไร

❑ จูเลียส โลเธอร์ ไมเออร์ และ ดมิทรี อิวาโนวิช เมนเดเลเยฟ และไมเออร์
(Julius Lothar Meyer and Dmitri Ivanovich Mendeleev, 1869)

“ถ้าเรียงธาตุตามน้ำหนักอะตอม
จากน้อยไปมาก แล้วแบ่งเป็น
แถวให้เหมาะสม ธาตุที่มี
คุณสมบัติทางเคมีและทาง
กายภาพคล้ายกัน จะปรากฏอยู่
ตรงกันเป็นช่วงๆ ตามการ
เปลี่ยนค่าของน้ำหนักอะตอม”
เรียกว่า สมบัติของธาตุต่างๆ
เป็นฟังก์ชันพีริออดิกของน้ำหนัก
อะตอมของธาตุเหล่านั้น

“กฎพีริออดิก (Periodic Law)”

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104.4	Pt = 197.4
			Fe = 56	Ru 104.4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pd = 106.6	Os = 199
			Cu = 63.4	Ag = 108	Hg = 200
			Zn = 65.2	Cd = 112	
			? = 68	Ur = 116	Au = 197?
			? = 70	Sn = 118	
			As = 75	Sb = 122	Bi = 210
			Se = 79.4	Te = 128?	
			Br = 80	J = 127	
			Rb = 85.4	Cs = 133	Tl = 204
			Sr = 87.6	Ba = 137	Pb = 207
			? = 45	Ce = 92	
			?Er = 56	La = 94	
			?Yt = 60	Di = 95	
			?In = 75.6	Th = 118?	
H = 1	Be = 9.4	Mg = 24			
	B = 11	Al = 27.4			
	C = 12	Si = 28			
	N = 14	P = 31			
	O = 16	S = 32			
	F = 19	Cl = 35.5			
Li = 7	Na = 23	K = 39			
		Ca = 40			
		? = 45			
		?Er = 56			
		?Yt = 60			
		?In = 75.6			

❑ เฮนรี จี.เจ. มอสเลย์ (Henry G.J. Moseley, 1913)

อาศัยความรู้ทาง X-rays หาเลขอะตอมของธาตุ พบว่าการจัดเรียงธาตุตามเลขอะตอมหรือจำนวนโปรตอนในนิวเคลียสของอะตอมสอดคล้องกับกฎพีริออดิก ไม่มีปัญหาการสลับที่เหมือนการเรียงมวลอะตอม (เช่น ตารางธาตุของเมนเดเลฟ Co อยู่หน้า Ni ทั้งที่มวลอะตอมของ Co มากกว่า Ni)

มอสลีย์ได้ตั้งกฎพีริออดิกว่า “สมบัติของธาตุต่างๆ เป็นฟังก์ชันพีริออดิกของเลขอะตอม โดยขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนในอะตอมของธาตุเหล่านั้น” กฎพีริออดิกใหม่นี้ช่วยให้สามารถจัดธาตุต่างๆ โดยเรียงตามเลขอะตอม ทำให้ได้ตารางธาตุที่สมบูรณ์ขึ้น ทำให้ง่ายต่อการจดจำ และใช้ทำนายสมบัติของธาตุได้เป็นอย่างดี

2. ตารางธาตุในปัจจุบัน

1 H																	18 He
3 Li	4 Be											13 B	14 C	15 N	16 O	17 F	18 Ne
11 Na	12 Mg	d-block										13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 Lu	58 Hf	59 Ta	60 W	61 Re	62 Os	63 Ir	64 Pt	65 Au	66 Hg	67 Tl	68 Pb	69 Bi	70 Po	71 At	72 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Lr	90 Rf	91 Db	92 Sg	93 Bh	94 Hs	95 Mt	96 Ds	97 Rg	98 Cn	99 Uut	100 Fl	101 Uup	102 Lv	103 Uus	104 Uuo
f-block		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		
		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		

ตารางธาตุในปัจจุบัน “แบ่งตามเลขอะตอม”

- ❖ จัดเรียงธาตุตามแนวนอนโดยเรียงลำดับเลขอะตอมที่เพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวา
- ❖ แถวในแนวนอนเรียกว่า “คาบ (period)” ซึ่งมีทั้งหมด 7 คาบ
- ❖ แถวในแนวตั้ง เรียกว่า “หมู่ (group)” ซึ่งมีทั้งหมด 18 หมู่ (มีตัวเลขกำกับ) โดยสามารถแบ่งออกเป็นหมู่ A และหมู่ B โดยที่
 - หมู่ A เรียกว่า “ธาตุหมู่หลัก หรือ ธาตุเรพรีเซนเตทีฟ”
(Main group or Representative)
ประกอบด้วย 8 หมู่ย่อย คือ 1A – 8A (IA – VIIIA)
 - หมู่ B เรียกว่า “ธาตุทรานซิชัน (Transition)”
ประกอบด้วย 8 หมู่ย่อย คือ 1B – 8B (IB – VIIIB) โดยในหมู่ 8B จะมีอีก 3 หมู่ย่อย
รวมเป็น 10 หมู่ย่อย
 - แลนทาไนด์ (Lanthanide) ธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 58 ถึง 71
 - แอกทิไนด์ (Actinide) ธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 90 ถึง 103
(อยู่ด้านล่างของตารางธาตุ ซึ่งบางครั้งเรียกธาตุ 2 กลุ่มนี้ว่า
“ธาตุแทรนซิชันชั้นใน (Inner transition)”

หมู่

คาบ

1 1A	2 2A																18 8A
1 H	2 He																
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 8B	9 8B	10 8B	11 1B	12 2B	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg		113	114	115	116	(117)	118

Metals Lanthanide	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
Metalloids Actinide	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
Nonmetals														

*ธาตุที่เป็นโลหะและอโลหะถูกแยกออกจากกันด้วยเส้นขั้นบันได โดยทางซ้ายของเส้นขั้นบันไดเป็นโลหะ ทางขวาของเส้นขั้นบันไดเป็นอโลหะ ส่วนธาตุที่อยู่ชิดเส้นขั้นบันไดจะมีสมบัติก้ำกึ่งระหว่างโลหะกับอโลหะ เรียกธาตุพวกนี้ว่า ธาตุกึ่งโลหะ (Metalloid)

ลักษณะสำคัญของธาตุในหมู่เดียวกัน

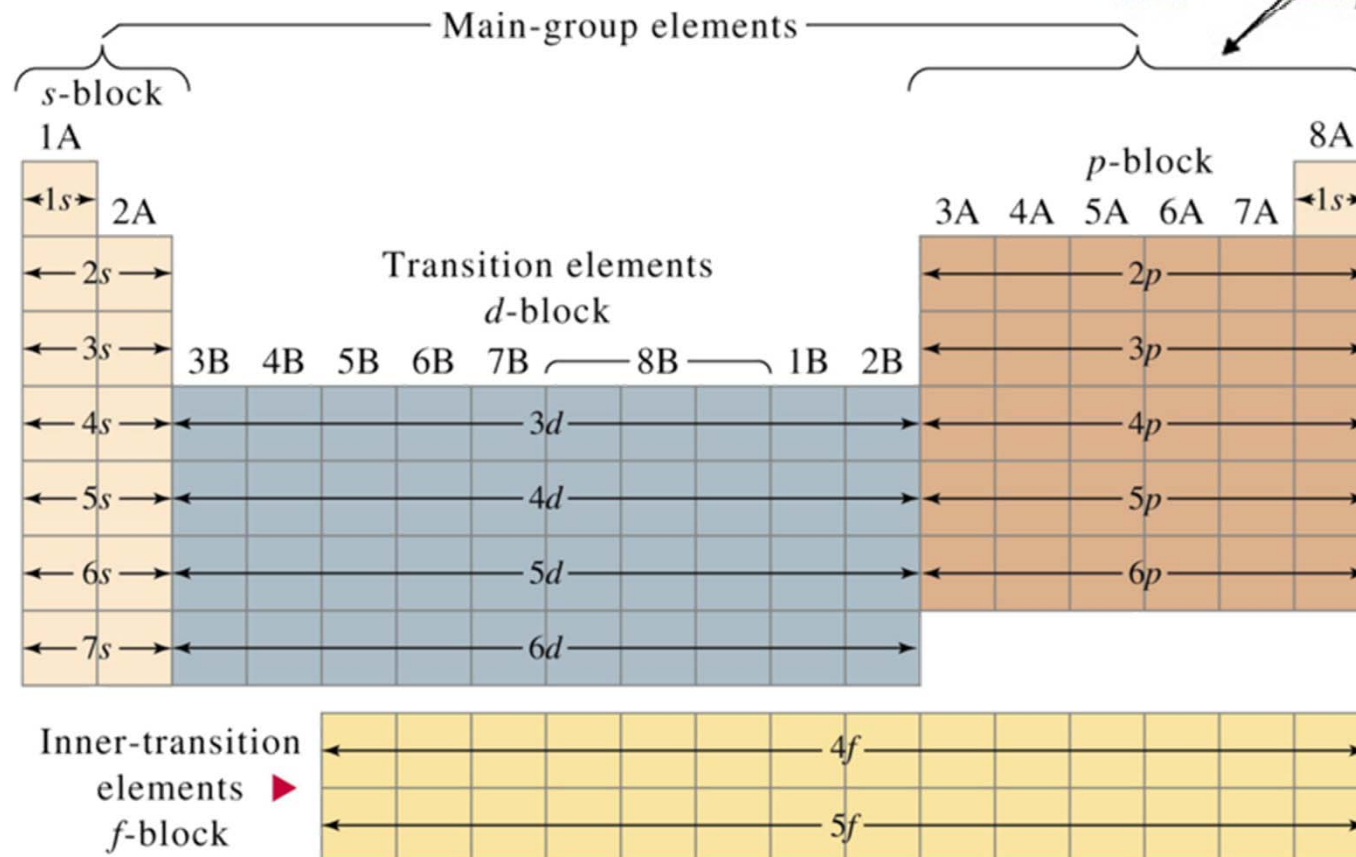
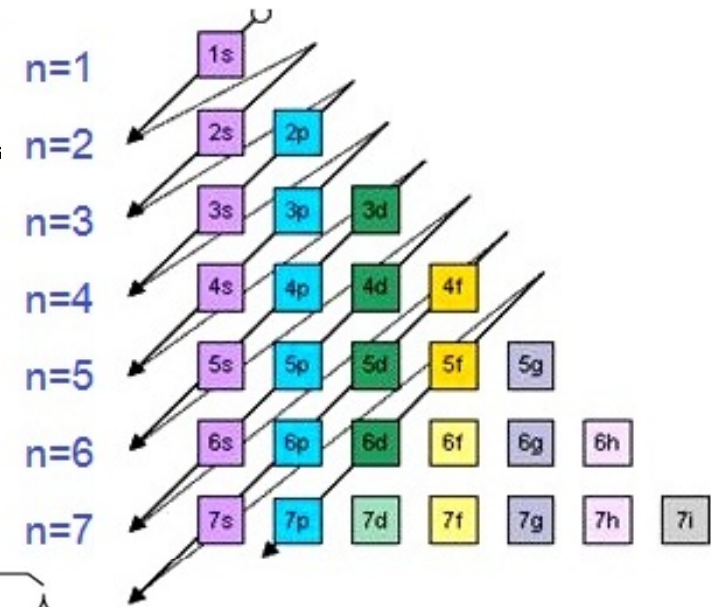
- ❑ ธาตุที่อยู่ในหมู่เดียวกันมีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากัน จึงทำให้มีสมบัติคล้ายกัน
- ❑ ธาตุในหมู่ย่อย A (IA - VIIIA) มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับเลขที่ของหมู่ ยกเว้นธาตุแทรนซิชัน เช่น ธาตุในหมู่ IA และ IIA จะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 1 และ 2 ตามลำดับ
- ❑ ธาตุแทรนซิชันส่วนใหญ่มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 2 ยกเว้นบางธาตุ เช่น Cr Cu เป็นต้น จะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 1
- ❑ ธาตุในหมู่เดียวกันจะมีจำนวนระดับพลังงานไม่เท่ากัน โดยมีจำนวนระดับพลังงานเพิ่มขึ้นจากบนลงล่าง
- ❑ ชื่อเรียกชื่อเฉพาะหมู่
 - หมู่ 1A $\Rightarrow$ โลหะอัลคาไลน์ (Alkali metal) : Li Na K Rb Cs Fr
 - หมู่ 2A $\Rightarrow$ โลหะอัลคาไลน์เอิร์ท (Alkaline earth metal): Be Mg Ca Sr Ba Ra
 - หมู่ 7A $\Rightarrow$ ฮาโลเจน (Halogen) : F Cl Br I At
 - หมู่ 8A $\Rightarrow$ แก๊สเฉื่อย (Inert gas) : He Ne Ar Kr Xe Rn

ลักษณะสำคัญของธาตุในคาบเดียวกัน

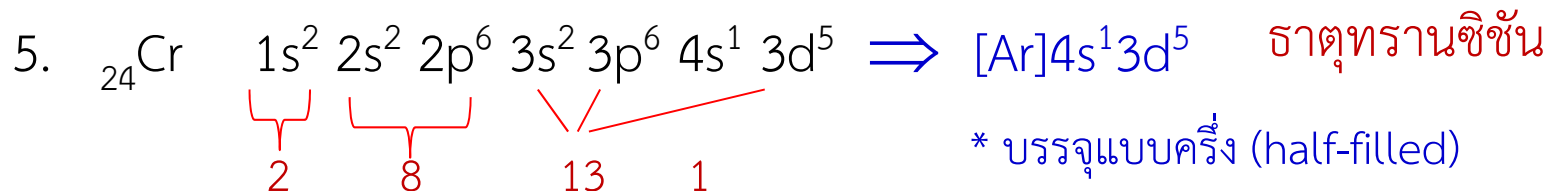
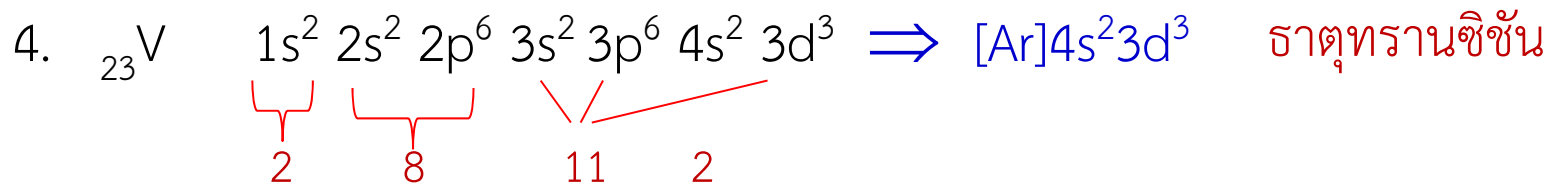
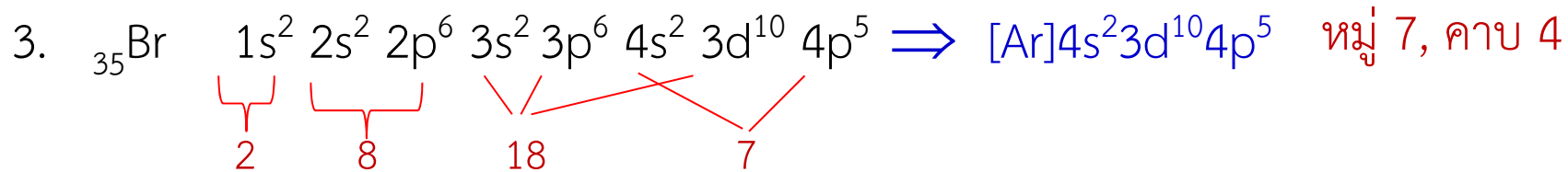
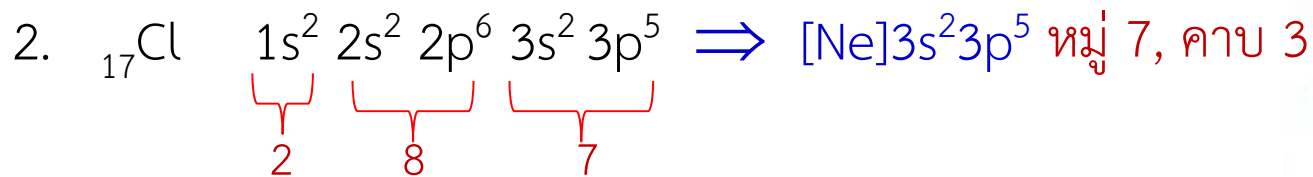
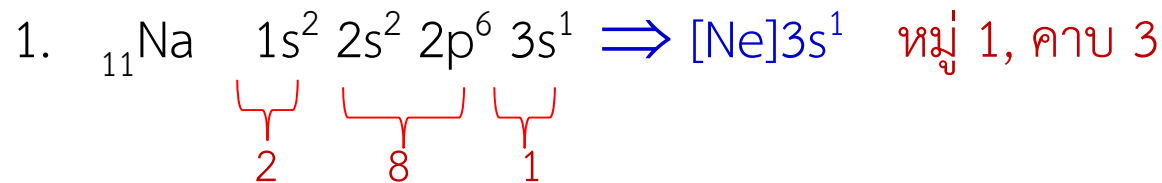
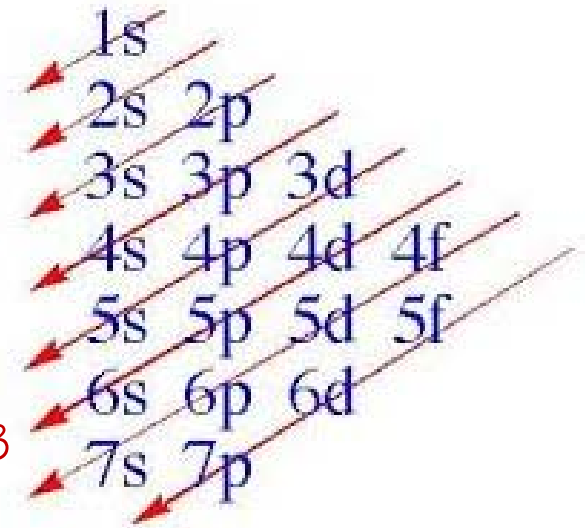
- ❑ ธาตุในคาบเดียวกันมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนไม่เท่ากัน โดยมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวา ดังนั้น ธาตุในคาบเดียวกันจึงมีสมบัติต่างกัน
ยกเว้น ธาตุแทรนซิชันซึ่งส่วนใหญ่มีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 2 เท่ากัน จึงมีคุณสมบัติคล้ายกันทั้งในหมู่และในคาบเดียวกัน
- ❑ ธาตุในคาบเดียวกันมีจำนวนระดับพลังงานเท่ากัน และเท่ากับเลขที่ของคาบ
เช่น ธาตุในคาบที่ 2 ทุกธาตุ (Li ถึง Ne) ต่างก็มีจำนวนระดับพลังงานเท่ากับ 2
คือ ชั้น K ($n=1$) และชั้น L ($n=2$) เป็นต้น

การจัดเรียงอิเล็กตรอน

s-orbital บรรจุอิเล็กตรอนได้มากที่สุด 2 ตัว
p-orbital บรรจุอิเล็กตรอนได้มากที่สุด 6 ตัว
d-orbital บรรจุอิเล็กตรอนได้มากที่สุด 10 ตัว
f-orbital บรรจุอิเล็กตรอนได้มากที่สุด 14 ตัว



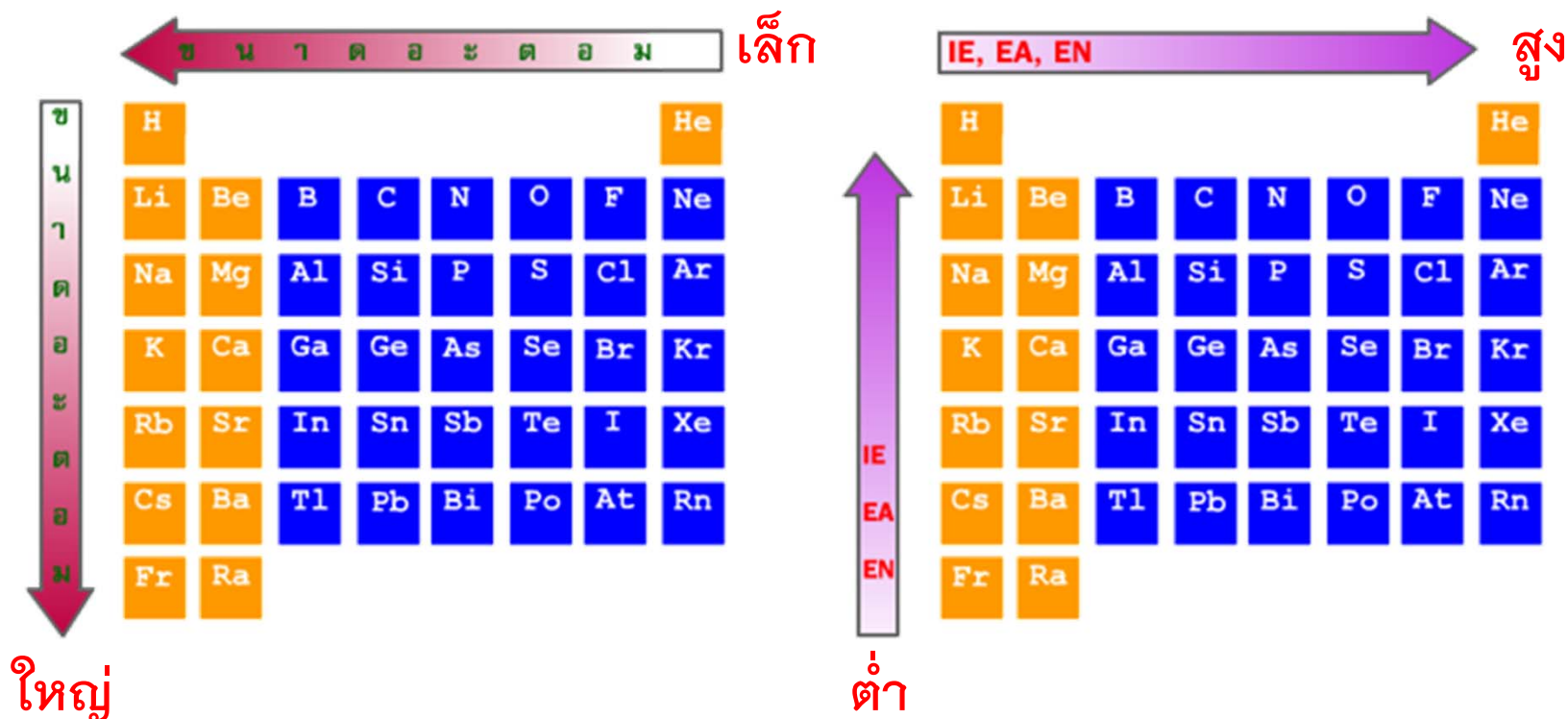
ตัวอย่าง จงแสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุต่อไปนี้



* บรรจุแบบครึ่ง (half-filled)

3. แนวโน้มของสมบัติธาตุตามตารางธาตุ

- ❑ ขนาดของอะตอม
- ❑ พลังงานไอออไนเซชัน (Ionization energy: IE)
- ❑ สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน (Electron Affinity: EA)
- ❑ อิเล็กโตรเนกาติวิตี (Electronegativity, EN)



ขนาดของอะตอม

ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดอะตอม

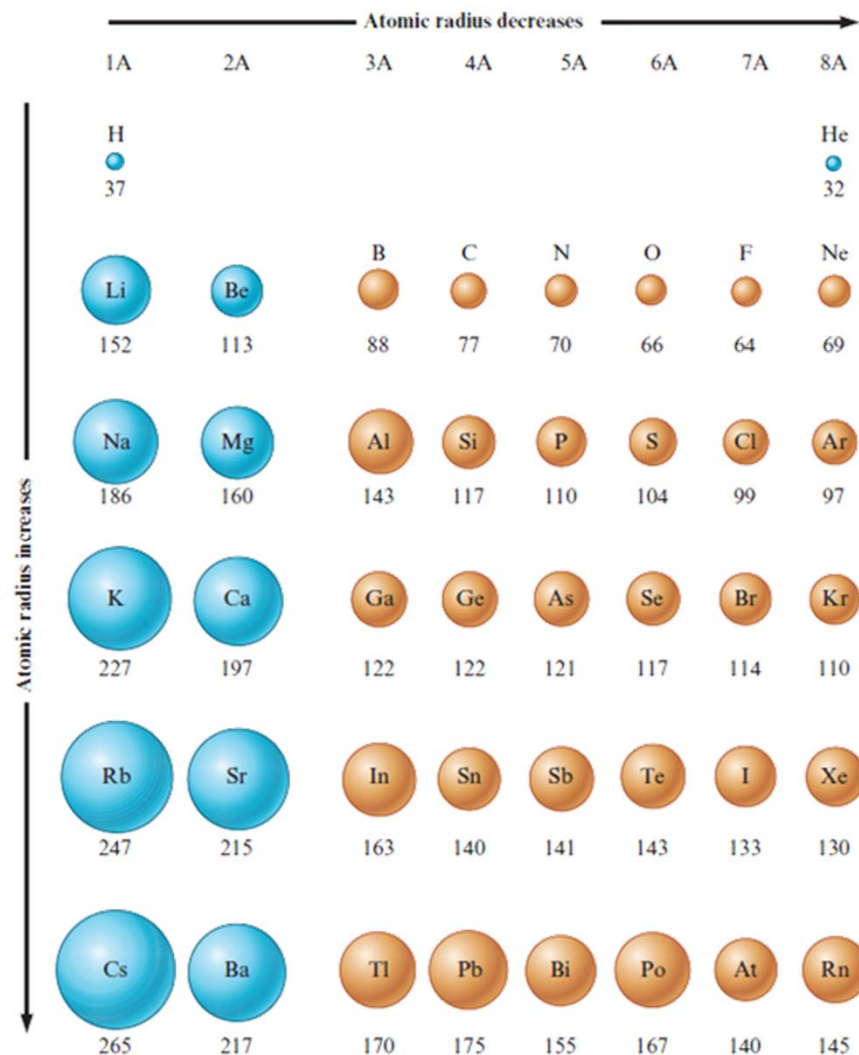
- จำนวนชั้นของอิเล็กตรอน [เลขควอนตัมหลัก (n) ของเวเลนซ์อิเล็กตรอน]
- ประจุนิวเคลียสสุทธิ (effective nuclear charge; Z_{eff}) หรือ การกำบัง (shielding)

➤ หมู่เดียวกัน: ขนาดอะตอมใหญ่ขึ้นจากบนลงล่าง

เช่น $\text{Li} < \text{Na} < \text{K} < \text{Rb} < \text{Cs}$
(ธาตุที่อยู่ด้านล่างมี n มาก)

➤ คาบเดียวกัน: ขนาดของอะตอมจะเล็กลงจากซ้ายไปขวา

เช่น $\text{Li} > \text{Be} > \text{B} > \text{C} > \text{N} > \text{O} > \text{F}$
(Z_{eff} เพิ่มขึ้น หรือ การกำบังลดลง จึงดึงดูดเวเลนซ์อิเล็กตรอนมากขึ้น ขนาดอะตอมจึงเล็กลง)



ขนาดของไอออน

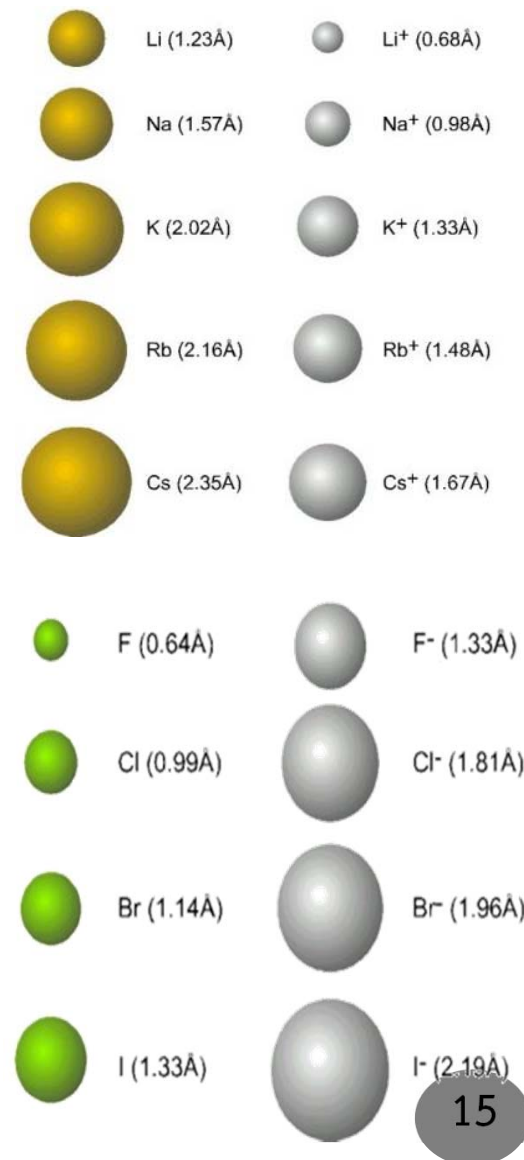
“ขึ้นกับประจุบวกของนิวเคลียส จำนวนอิเล็กตรอน และออร์บิทัลของเวเลนซ์อิเล็กตรอน”

❑ **ไอออนบวก** เกิดจากการเสียอิเล็กตรอนออกจากอะตอม ดังนั้นจะมีจำนวนอิเล็กตรอนน้อยลง ในขณะที่โปรตอนเท่าเดิม จึงทำให้มีขนาดเล็กลงกว่าอะตอมที่เป็นกลาง

❑ **ไอออนลบ** เกิดจากการรับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามา แต่จำนวนโปรตอนยังเท่าเดิม ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าอะตอมที่เป็นกลาง

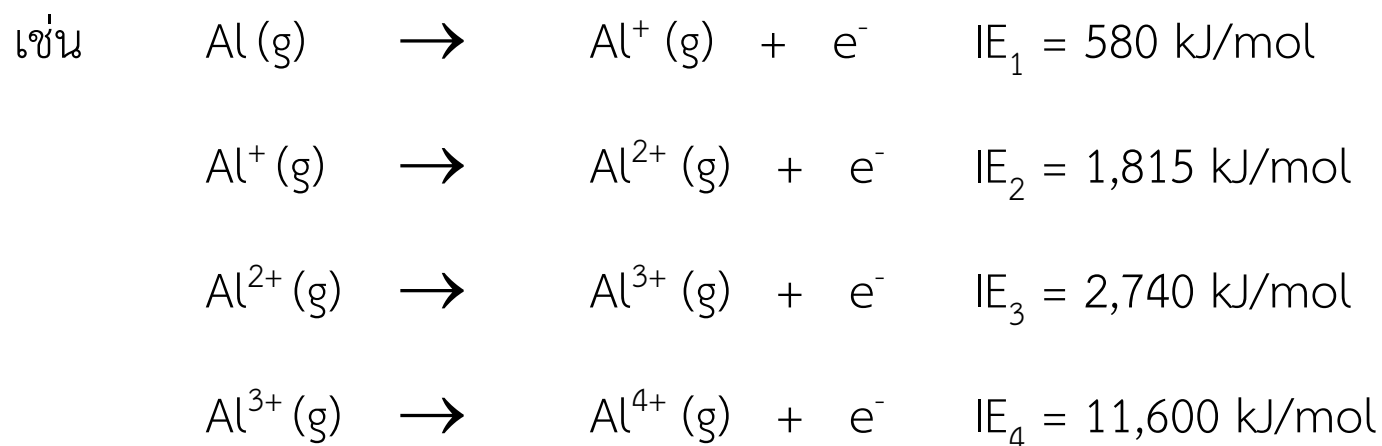
❑ ไอออนที่มีประจุเท่ากัน รัศมีไอออนของหมู่เดียวกันจะเพิ่มขึ้นจากบนลงล่าง

❑ ไอออนที่มีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากัน (isoelectronic series) ถ้าประจุของนิวเคลียสเพิ่มขึ้น ขนาดอะตอมจะเล็กลง



พลังงานไอออไนเซชัน (Ionization energy: IE)

“พลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้เพื่อทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมในสถานะแก๊ส แล้วกลายเป็นไอออนในสถานะแก๊ส”



พลังงานไอออไนเซชัน จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อลำดับในการดึงอิเล็กตรอนออกจากอะตอมในสถานะ
แก๊สเพิ่มมากขึ้น โดย $IE_1 < IE_2 < IE_3 < \dots$

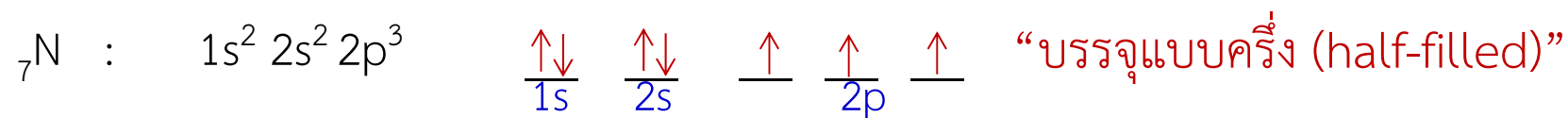
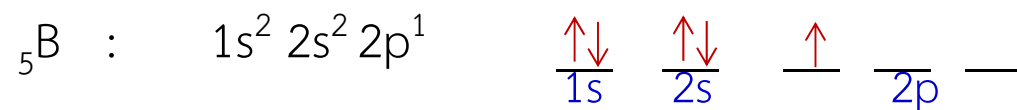
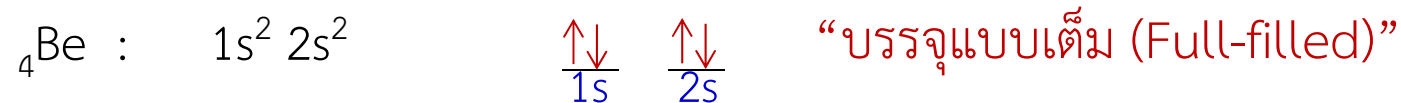
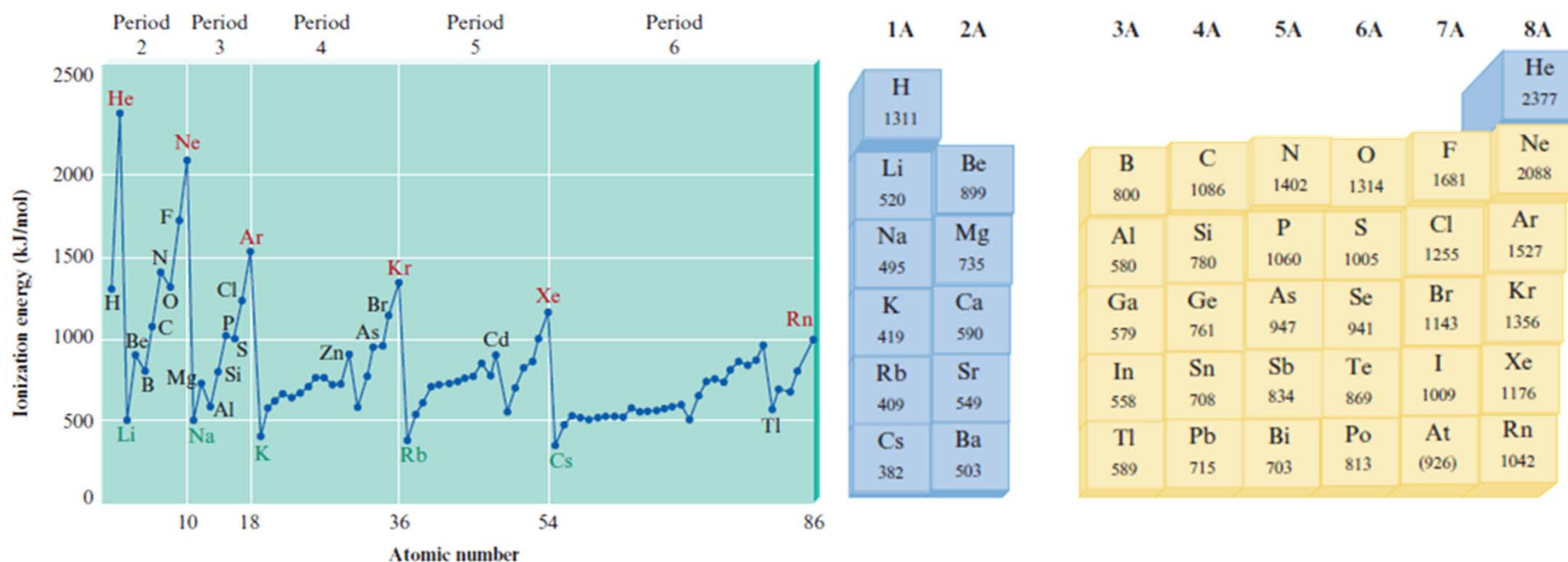
Successive Ionization Energies (kJ/mol) for the Elements in Period 3

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.

หมู่เดียวกัน: ค่า IE จะลดลงจากบนลงล่าง เนื่องจากขนาดอะตอมใหญ่ขึ้น พลังงานที่ใช้ในการดึงอิเล็กตรอนในวงนอกสุดมีค่าน้อย (สามารถดึงออกได้ง่าย)

คาบเดียวกัน: ค่า IE_1 จะเพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวา เนื่องจากขนาดอะตอมเล็กลง พลังงานที่ใช้ในการดึงอิเล็กตรอนในวงนอกสุดมีค่ามาก (สามารถดึงออกได้ยาก)



สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน (Electron Affinity: EA)

“พลังงานที่อะตอมในสถานะแก๊สคายออกเมื่ออะตอมได้รับอิเล็กตรอน 1 อิเล็กตรอน”



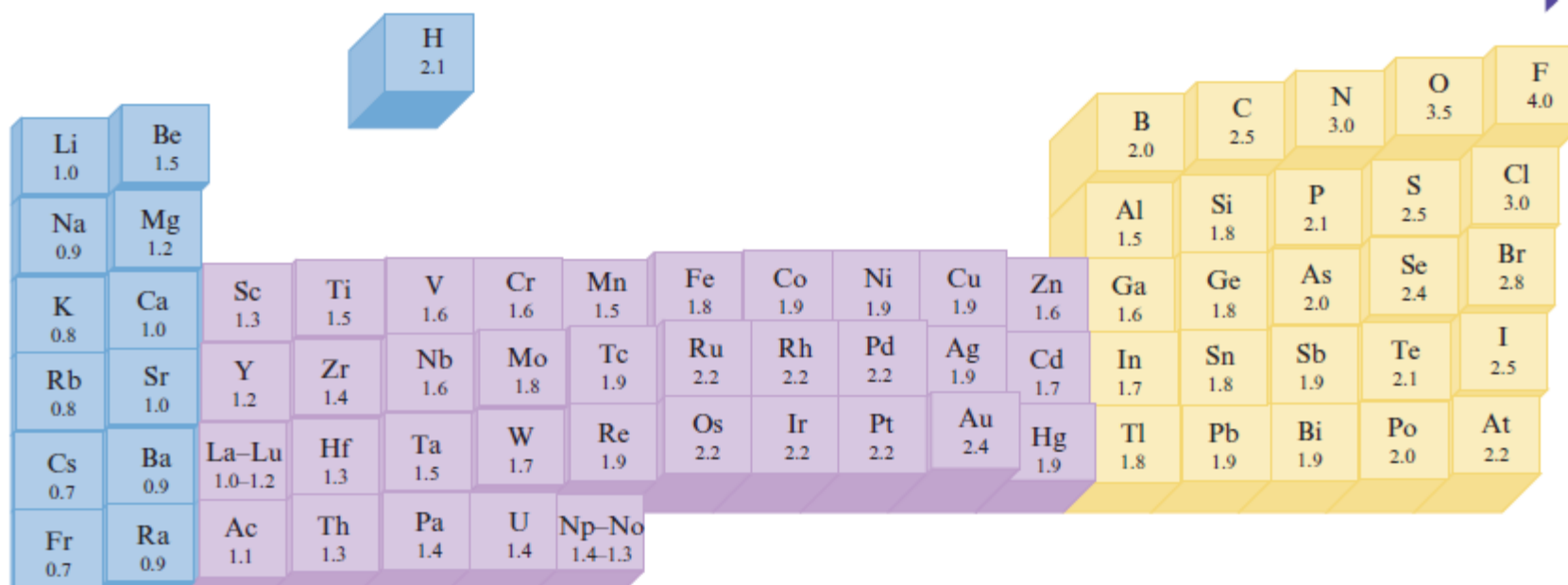
- ❑ EA มีค่าเป็นลบ (-) เนื่องจากมีการคายพลังงานออกมา แสดงว่าอะตอมนั้นมีแนวโน้มที่จะรับอิเล็กตรอนเข้ามาได้ดี
- ❑ ความสามารถในการรับอิเล็กตรอนของแต่ละธาตุมีความแตกต่างกัน ถ้าค่า EA มีค่ามาก แสดงว่ามีแนวโน้มที่จะรับอิเล็กตรอนได้ดี

หมู่เดียวกัน: ค่า EA จะต่ำลง เมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น (จากบนลงล่าง) เนื่องจากอะตอมมีขนาดใหญ่ขึ้น แรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสและอิเล็กตรอนวงนอกสุดมีค่าลดลง พลังงานที่คายออกมาจึงลดลง

คาบเดียวกัน: ค่า EA จะสูงขึ้น เมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น (จากซ้ายไปขวา) เนื่องจากอะตอมมีขนาดเล็กลง แรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสและอิเล็กตรอนวงนอกสุดมีค่ามากกว่าอะตอมที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นพลังงานที่ให้ออกมาจึงมากขึ้น

อิเล็กโตรเนกาติวิตี (Electronegativity, EN)

“ความสามารถในการดึงดูดอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาหาอะตอม”



หมู่เดียวกัน: ลดลงจากบนลงล่าง

คาบเดียวกัน: เพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวา