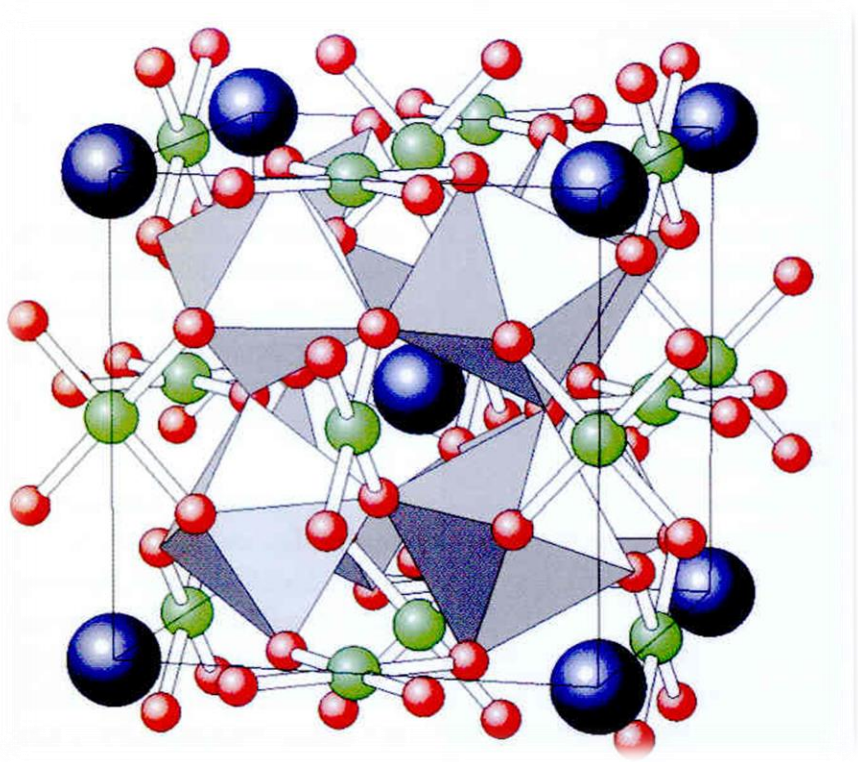
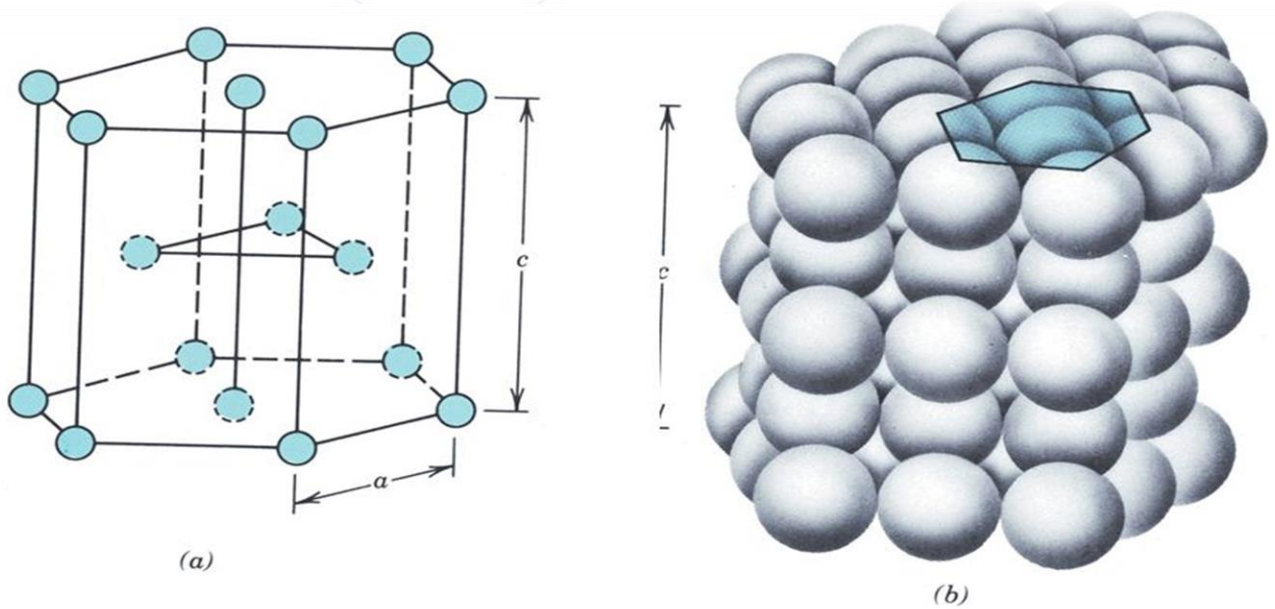
Solid State Physics





The HCP lattice is not a Bravais lattice, because orientation of the environment of a point varies from layer to layer along the c-axis.

อาจารย์ธีระวิทย์ พลโคกก่อง กลุ่มวิชา ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มรภ. บุรีรัมย์

งานที่รับผิดชอบ

งาน	คะแนน
สอบเก็บคะแนน	15
การบ้าน	10
งานเดี่ยว/กลุ่ม	5
สอบกลางภาค	35
สอบปลายภาค	35
รวม	**100**

สอบเก็บคะแนนหากขาดสอบในครั้งนั้นปรับเป็น 0 คะแนน ทันที ไม่สามารถขอสอบภายหลังได้

เกณฑ์คะแนน

เกรด	ระดับคะแนน
A	80-100
B+	75-79
B	70-74
C+	65-69
C	60-65
D+	55-59
D	51-54
F	0-49

การตัดเกรด ตัดแบบ อิงเกณฑ์

เนื้อหาที่จะเรียน

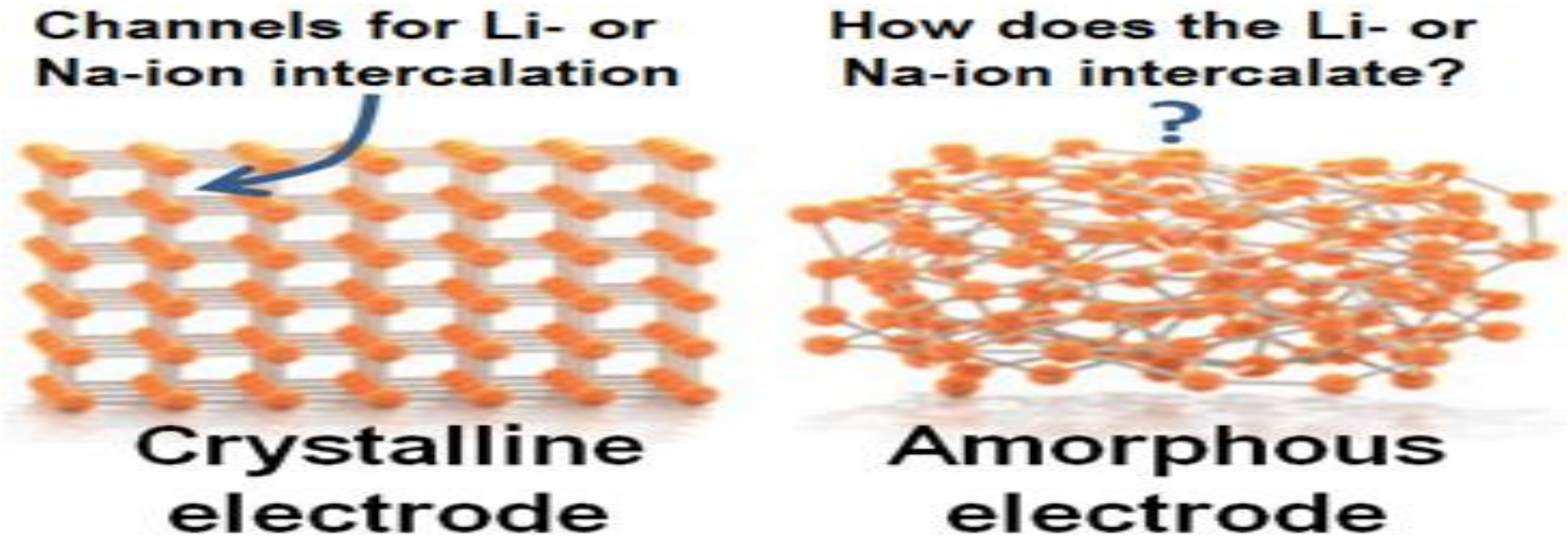
บทที่	เรื่อง	ขอบเขต
1	โครงสร้างอะตอมและโครงสร้างผลึก	สอบกลางภาค
2	ระนาบและแลตทิซ	
3	การเลี้ยวเบนในผลึก	
4	การยึดตัวของผลึก	
5	แถบพลังงาน	สอบปลายภาค
6	สารกึ่งตัวนำ	
7	วิทยาศาสตร์นาโนและเทคโนโลยีนาโนเบื้องต้น	

บทที่ 1 โครงสร้างอะตอม และ โครงสร้างผลึก

- บทนำ
- โครงสร้างอะตอม
- ตารางธาตุ
- พันธะระหว่างอะตอมในของแข็ง
- โครงสร้างผลึก

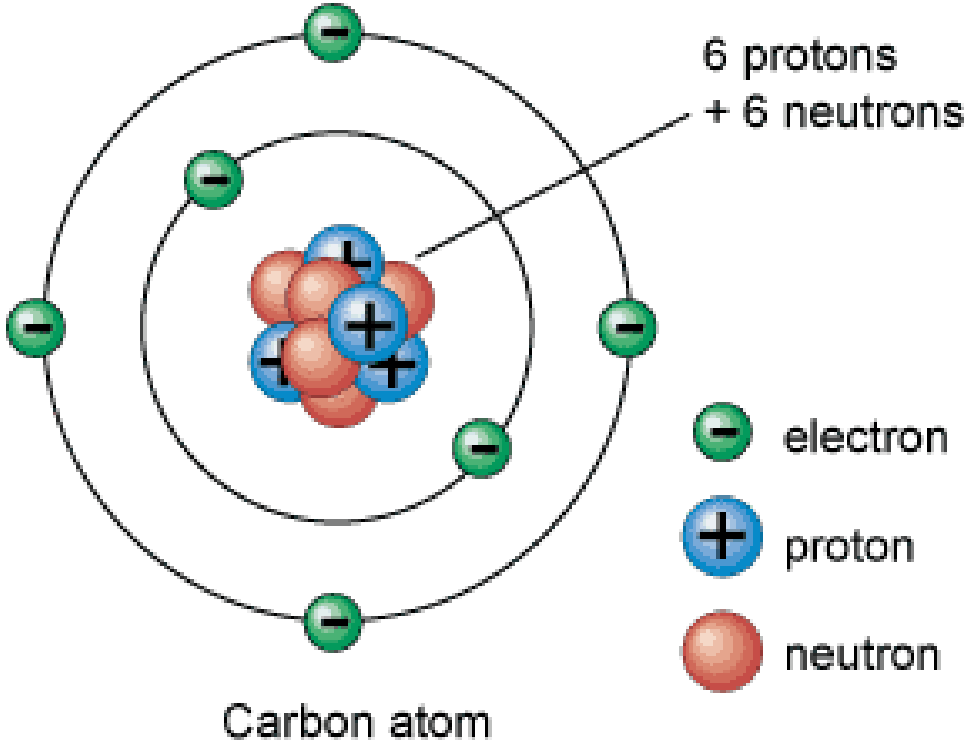
บทนำ

สมบัติบางประการของวัสดุของแข็งนั้น มีความสัมพันธ์กับการจัดเรียงตัวของอะตอมและแรงกระทำระหว่างกันของอะตอมหรือโมเลกุล บทนี้จะอธิบายความรู้พื้นฐานที่สำคัญของโครงสร้างอะตอม การจัดเรียงของอิเล็กตรอนในอะตอม โครงสร้างอะตอมมีอิทธิพลต่อการเกิดพันธะระหว่างอะตอม การจัดเรียงตัวของกลุ่มอะตอมมีผลต่อการเกิดโครงสร้าง เกิดการเรียงตัวขึ้นจำแนกได้ 2 แบบ คือ การเรียงตัวกันแบบโครงสร้างผลึก (Crystal structure) และ โครงสร้าง อสัณฐาน (amorphous structure)



โครงสร้างอะตอม (Atomic Structure)

อะตอมประกอบไปด้วยอนุภาคมูลฐาน 3 ชนิด คือ อิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน โดยมีสมบัติแสดงดังตาราง

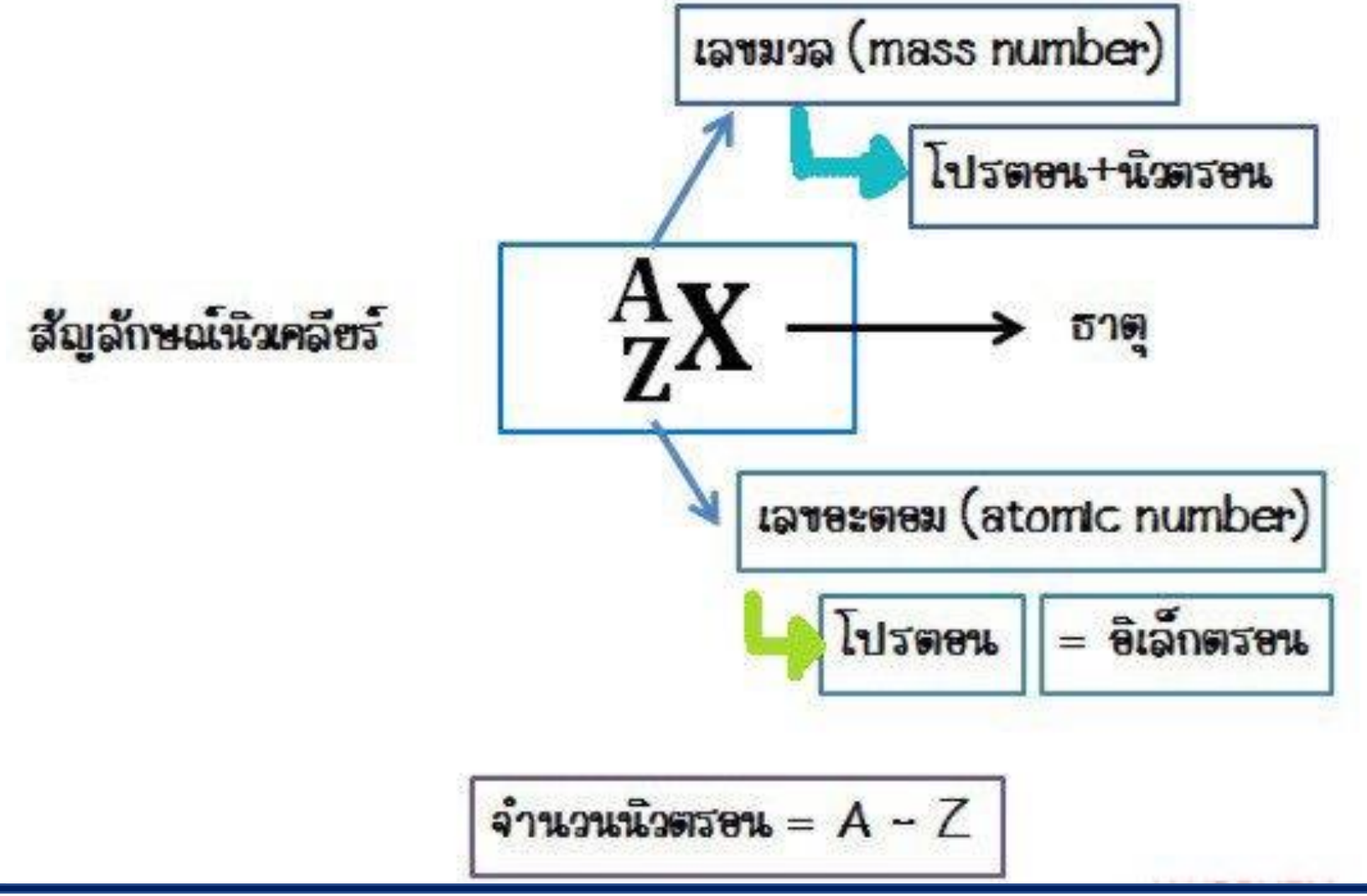


อนุภาคมูลฐานของอะตอม

อนุภาค	สัญลักษณ์	ประจุ (หน่วย)	มวล (g)
อิเล็กตรอน	e^-	-1	0.000549
โปรตอน	p^+	+1	1.007277
นิวตรอน	n	0	1.008665

เลขอะตอม เลขมวล และไอโซโทป

(Atomic Number, Atomic Mass and Isotope)



จำนวนโปรตอนในนิวเคลียสของอะตอม เรียกว่าเลขอะตอม (atomic number, Z)

เลขอะตอมจะเป็นค่าเฉพาะของธาตุ ธาตุชนิดเดียวกันจะมีเลขอะตอมเท่ากันเสมอ

สภาวะปกติจะมีจำนวนโปรตอนและอิเล็กตรอนเท่ากัน ส่วนเลขที่แสดงจำนวนผลบวกของโปรตอนและจำนวนนิวตรอน เราเรียกว่า เลขมวล (mass number, A)

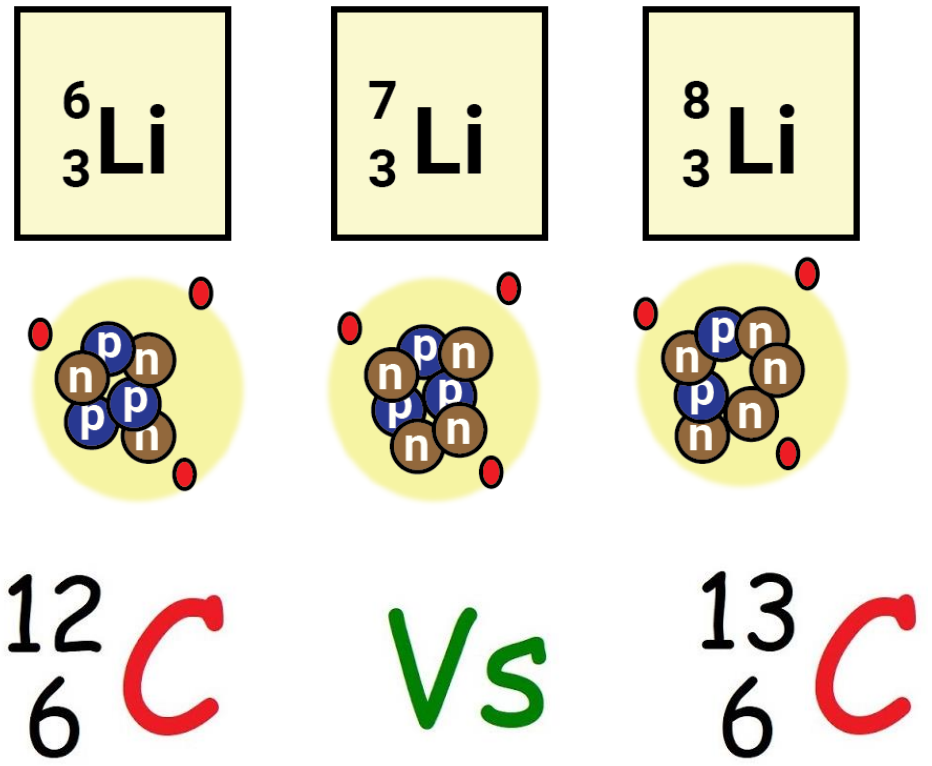
เลขมวล คือ ผลรวมของนิวตรอนและโปรตอนที่มีในนิวเคลียสของอะตอมของธาตุ นิวเคลียสในอะตอมอื่นๆทั้งหมดจะมีทั้งโปรตอนและนิวตรอนอยู่ โดยทั่วไปแล้วเลขมวลหาได้ดังนี้

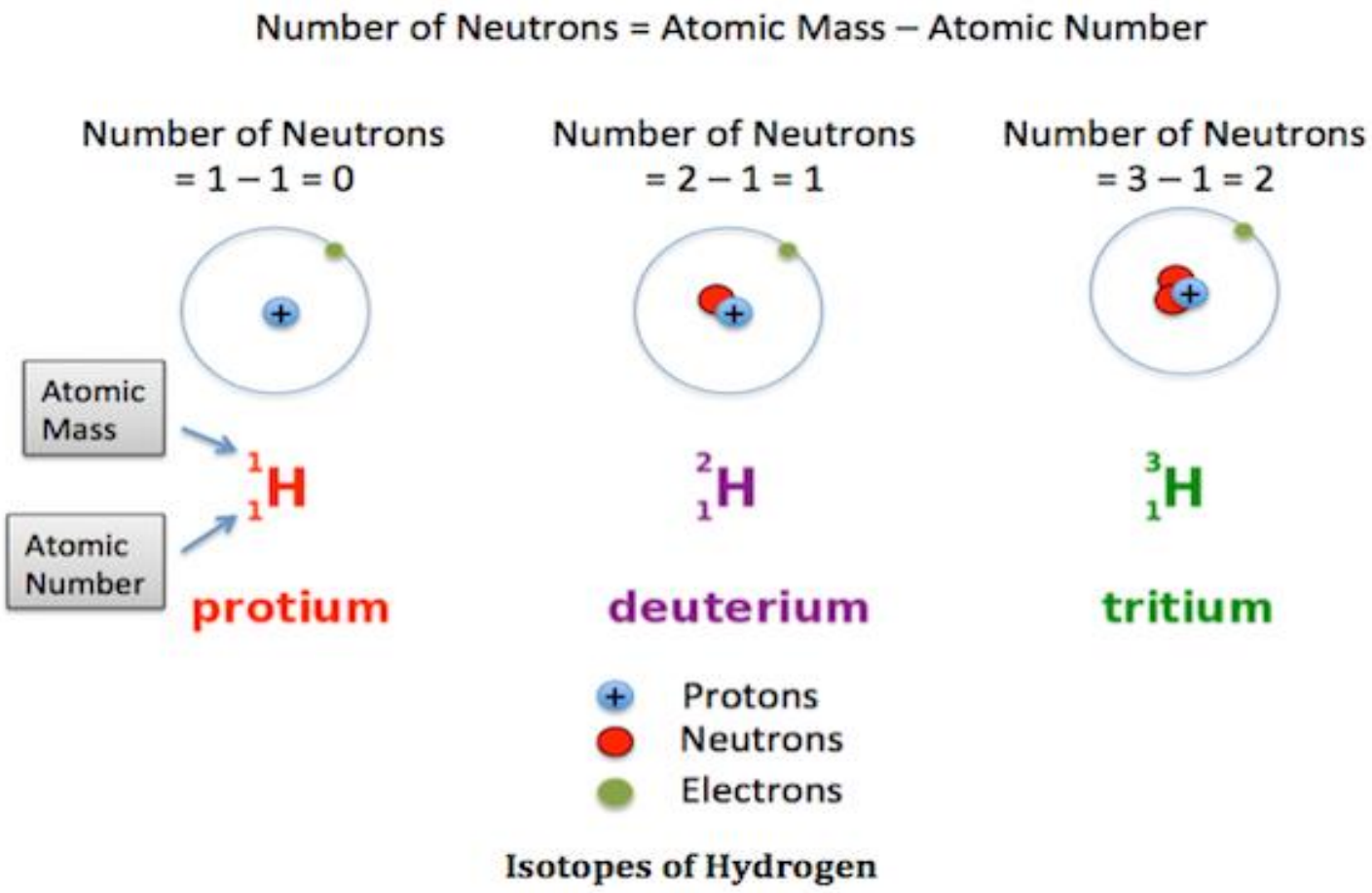
เลขมวล = จำนวนโปรตอน + จำนวนนิวตรอน

= เลขอะตอม + จำนวนนิวตรอน

จำนวนนิวตรอนในอะตอม = เลขมวล – เลขอะตอม

ไอโซโทป (isotope) หมายถึง อะตอมของธาตุชนิดเดียวกันที่มีเลขอะตอม (Z) เท่ากัน แต่เลขมวล (A) ไม่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น อะตอมของไฮโดรเจนมีเลขมวลสามชนิดโดยแตกต่างกันที่จำนวนนิวตรอน





ตารางธาตุ (Periodic Table)

ตารางธาตุเป็นการจัดเรียงลำดับค่าเลขอะตอมจากน้อยไปมาก โดยเรียกแถวในแนวนอนว่า คาบ (period) ซึ่งมีทั้งหมด 7 คาบ และในแนวตั้งเรียกว่า หมู่ (group) มีอยู่ด้วยกัน 2 หมู่ คือ หมู่ A และ หมู่ B โดยหมู่ A จะมี 8 หมู่ย่อย และ หมู่ B มี 8 หมู่ย่อย ในหมู่ VIIIB จะมี 3 หมู่ย่อย ซึ่งรวมทั้งหมด เป็น 10 หมู่ย่อย ซึ่งเรียกว่า ธาตุทรานซิชัน (transition)

หมู่ธาตุ (Group) คือ ธาตุที่เรียงอยู่ในช่องแนวดิ่งมี 8 หมู่ ตั้งแต่หมู่ IA ถึง VIIIA ระหว่างหมู่ IIA กับ IIIA จะมีธาตุอีกกลุ่มหนึ่งเรียกว่า ทรานซิซัน ซึ่งมีตั้งแต่ IB ถึง VIIIB

คาบของธาตุ (Group) คือ ธาตุที่อยู่ในช่องแนวเดียวกัน มีตั้งแต่คาบที่ 1 ถึงคาบที่ 7

ลักษณะของธาตุในหมู่เดียวกันจะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากันกับเลขที่ของหมู่ และธาตุในหมู่เดียวกันจะมีจำนวนระดับพลังงานไม่เท่ากัน โดยมีจำนวนระดับพลังงานเพิ่มขึ้นจากบนลงล่าง

การแบ่งธาตุต่าง ๆ ในตารางธาตุ จะแบ่งออกเป็น โลหะ (metal) ธาตุอโลหะ (non-metal) และธาตุกึ่งโลหะ (semi-metal หรือ metalloid หรือ intermediate)

ธาตุโลหะจะมีอยู่ทั้งหมด 3 ใน 4 ของธาตุทั้งหมดในตารางธาตุ โดยแยกเป็นโลหะเบา ได้แก่ ธาตุหมู่ IA IIA ส่วนธาตุกลุ่ม IB ถึง VIIIB จะเป็นโลหะหนัก ธาตุอโลหะมีอยู่ประมาณ 1 ใน 4 ของธาตุทั้งหมด กลุ่มนี้จะไม่นำไฟฟ้า หรือนำไฟฟ้าได้น้อยมาก มีลักษณะเป็นฉนวน

Periodic Table of the Elements

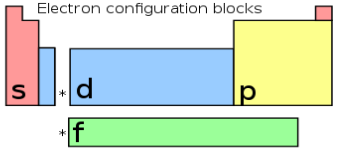
Group 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1.008 1312.0 2.20 **1** **H** Hydrogen $1s^1$																	4.0026 2372.3 **2** **He** Helium $1s^2$
6.94 520.2 0.98 **3** **Li** Lithium $1s^2\ 2s^1$	9.0122 899.5 1.57 **4** **Be** Beryllium $1s^2\ 2s^2$											10.81 800.6 2.04 **5** **B** Boron $1s^2\ 2s^2\ 2p^1$	12.011 1086.5 2.55 **6** **C** Carbon $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$	14.007 1402.3 3.04 **7** **N** Nitrogen $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$	15.999 1313.9 3.44 **8** **O** Oxygen $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$	18.998 1681.0 3.98 **9** **F** Fluorine $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$	20.180 2080.7 **10** **Ne** Neon $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$
22.990 495.8 0.93 **11** **Na** Sodium [Ne] $3s^1$	24.305 737.7 1.31 **12** **Mg** Magnesium [Ne] $3s^2$											26.982 577.5 1.61 **13** **Al** Aluminium [Ne] $3s^2\ 3p^1$	28.085 786.5 1.90 **14** **Si** Silicon [Ne] $3s^2\ 3p^2$	30.974 1011.8 **15** **P** Phosphorus [Ne] $3s^2\ 3p^3$	32.06 999.6 2.58 **16** **S** Sulfur [Ne] $3s^2\ 3p^4$	35.45 1251.2 3.16 **17** **Cl** Chlorine [Ne] $3s^2\ 3p^5$	39.948 1520.6 **18** **Ar** Argon [Ne] $3s^2\ 3p^6$
39.098 418.8 0.82 **19** **K** Potassium [Ar] $4s^1$	40.078 589.8 1.00 **20** **Ca** Calcium [Ar] $4s^2$	44.956 633.1 1.36 **21** **Sc** Scandium [Ar] $3d^1\ 4s^2$	47.867 658.8 1.54 **22** **Ti** Titanium [Ar] $3d^2\ 4s^2$	50.942 650.9 1.63 **23** **V** Vanadium [Ar] $3d^3\ 4s^2$	51.996 652.9 1.66 **24** **Cr** Chromium [Ar] $3d^5\ 4s^1$	54.938 717.3 1.55 **25** **Mn** Manganese [Ar] $3d^5\ 4s^2$	55.845 762.5 1.83 **26** **Fe** Iron [Ar] $3d^6\ 4s^2$	58.933 760.4 1.91 **27** **Co** Cobalt [Ar] $3d^7\ 4s^2$	58.693 737.1 1.88 **28** **Ni** Nickel [Ar] $3d^8\ 4s^2$	63.546 745.5 1.90 **29** **Cu** Copper [Ar] $3d^1\ 4s^1$	65.38 906.4 1.65 **30** **Zn** Zinc [Ar] $3d^1\ 4s^2$	69.723 578.8 1.81 **31** **Ga** Gallium [Ar] $3d^1\ 4s^2\ 4p^1$	72.630 762.0 2.01 **32** **Ge** Germanium [Ar] $3d^1\ 4s^2\ 4p^2$	74.922 947.0 2.18 **33** **As** Arsenic [Ar] $3d^1\ 4s^2\ 4p^3$	78.971 941.0 2.55 **34** **Se** Selenium [Ar] $3d^1\ 4s^2\ 4p^4$	79.904 1139.9 2.96 **35** **Br** Bromine [Ar] $3d^1\ 4s^2\ 4p^5$	83.798 1350.8 3.00 **36** **Kr** Krypton [Ar] $3d^1\ 4s^2\ 4p^6$
85.468 403.0 0.82 **37** **Rb** Rubidium [Kr] $5s^1$	87.62 549.5 0.95 **38** **Sr** Strontium [Kr] $5s^2$	88.906 600.0 1.22 **39** **Y** Yttrium [Kr] $4d^1\ 5s^2$	91.224 640.1 1.33 **40** **Zr** Zirconium [Kr] $4d^2\ 5s^2$	92.906 652.1 1.60 **41** **Nb** Niobium [Kr] $4d^4\ 5s^1$	95.95 684.3 2.16 **42** **Mo** Molybdenum [Kr] $4d^5\ 5s^1$	(98) 702.0 1.90 **43** **Tc** Technetium [Kr] $4d^5\ 5s^2$	101.07 710.2 2.20 **44** **Ru** Ruthenium [Kr] $4d^7\ 5s^1$	102.91 719.7 2.28 **45** **Rh** Rhodium [Kr] $4d^8\ 5s^1$	106.42 804.4 2.20 **46** **Pd** Palladium [Kr] $4d^1$	107.87 731.0 1.93 **47** **Ag** Silver [Kr] $4d^1\ 5s^1$	112.41 867.8 1.69 **48** **Cd** Cadmium [Kr] $4d^1\ 5s^2$	114.82 558.3 1.78 **49** **In** Indium [Kr] $4d^1\ 5s^2\ 5p^1$	118.71 708.6 1.96 **50** **Sn** Tin [Kr] $4d^1\ 5s^2\ 5p^2$	121.76 834.0 2.05 **51** **Sb** Antimony [Kr] $4d^1\ 5s^2\ 5p^3$	127.60 869.3 2.10 **52** **Te** Tellurium [Kr] $4d^1\ 5s^2\ 5p^4$	126.90 1008.4 2.66 **53** **I** Iodine [Kr] $4d^1\ 5s^2\ 5p^5$	131.29 1170.4 2.60 **54** **Xe** Xenon [Kr] $4d^1\ 5s^2\ 5p^6$
132.91 375.7 0.79 **55** **Cs** Cæsium [Xe] $6s^1$	137.33 502.9 0.89 **56** **Ba** Barium [Xe] $6s^2$	138.91 538.1 1.10 **57** **La** Lanthanum [Xe] $5d^1\ 6s^2$	178.49 658.5 1.30 **72** **Hf** Hafnium [Xe] $4f^1\ 5d^2\ 6s^2$	180.95 761.0 1.50 **73** **Ta** Tantalum [Xe] $4f^4\ 5d^3\ 6s^2$	183.84 770.0 2.36 **74** **W** Tungsten [Xe] $4f^{14}\ 5d^4\ 6s^2$	186.21 760.0 1.90 **75** **Re** Rhenium [Xe] $4f^{14}\ 5d^5\ 6s^2$	190.23 840.0 2.20 **76** **Os** Osmium [Xe] $4f^{14}\ 5d^6\ 6s^2$	192.22 880.0 2.20 **77** **Ir** Iridium [Xe] $4f^{14}\ 5d^7\ 6s^2$	195.08 870.0 2.28 **78** **Pt** Platinum [Xe] $4f^{14}\ 5d^9\ 6s^1$	196.97 890.1 2.54 **79** **Au** Gold [Xe] $4f^{14}\ 5d^1\ 6s^1$	200.59 1007.1 2.00 **80** **Hg** Mercury [Xe] $4f^{14}\ 5d^1\ 6s^2$	204.38 589.4 1.62 **81** **Tl** Thallium [Xe] $4f^{14}\ 5d^1\ 6s^2\ 6p^1$	207.2 715.6 2.33 **82** **Pb** Lead [Xe] $4f^{14}\ 5d^1\ 6s^2\ 6p^2$	208.98 703.0 2.02 **83** **Bi** Bismuth [Xe] $4f^{14}\ 5d^1\ 6s^2\ 6p^3$	(210) 812.1 2.00 **84** **Po** Polonium [Xe] $4f^{14}\ 5d^1\ 6s^2\ 6p^4$	(210) 890.0 2.20 **85** **At** Astatine [Xe] $4f^{14}\ 5d^1\ 6s^2\ 6p^5$	(220) 1037.0 **86** **Rn** Radon [Xe] $4f^{14}\ 5d^1\ 6s^2\ 6p^6$
(223) 380.0 0.70 **87** **Fr** Francium [Rn] $7s^1$	(226) 509.3 0.90 **88** **Ra** Radium [Rn] $7s^2$	(227) 499.0 1.10 **89** **Ac** Actinium [Rn] $6d^1\ 7s^2$	(261) 580.0 **104** **Rf** Rutherfordium [Rn] $5f^{14}\ 6d^2\ 7s^2$	(262) **105** **Db** Dubnium	(266) **106** **Sg** Seaborgium	(264) **107** **Bh** Bohrium	(277) **108** **Hs** Hassium	(268) **109** **Mt** Meitnerium	(271) **110** **Ds** Darmstadium	(272) **111** **Rg** Roentgenium	(285) **112** **Cn** Copernicium	(284) **113** **Nh** Nihonium	(289) **114** **Fl** Flerovium	(288) **115** **Mc** Moscovium	(292) **116** **Lv** Livermorium	(294) **117** **Ts** Tennessine	(294) **118** **Og** Oganesson
*																	
*																	
*			140.12 534.4 1.12 **58** **Ce** Cerium [Xe] $4f^1\ 5d^1\ 6s^2$	140.91 527.0 1.13 **59** **Pr** Praseodymium [Xe] $4f^3\ 6s^2$	144.24 533.1 1.14 **60** **Nd** Neodymium [Xe] $4f^4\ 6s^2$	(145) 540.0 **61** **Pm** Promethium [Xe] $4f^5\ 6s^2$	150.36 544.5 1.17 **62** **Sm** Samarium [Xe] $4f^6\ 6s^2$	151.96 547.1 **63** **Eu** Europium [Xe] $4f^7\ 6s^2$	157.25 593.4 1.20 **64** **Gd** Gadolinium [Xe] $4f^7\ 5d^1\ 6s^2$	158.93 565.8 **65** **Tb** Terbium [Xe] $4f^9\ 6s^2$	162.50 573.0 1.22 **66** **Dy** Dysprosium [Xe] $4f^1\ 6s^2$	164.93 581.0 1.23 **67** **Ho** Holmium [Xe] $4f^{11}\ 6s^2$	167.25 589.3 1.24 **68** **Er** Erbium [Xe] $4f^{12}\ 6s^2$	168.93 596.7 1.25 **69** **Tm** Thulium [Xe] $4f^{13}\ 6s^2$	173.05 603.4 **70** **Yb** Ytterbium [Xe] $4f^{14}\ 6s^2$	174.97 523.5 1.27 **71** **Lu** Lutetium [Xe] $4f^{14}\ 5d^1\ 6s^2$
*			232.04 587.0 1.30 **90** **Th** Thorium [Rn] $6d^2\ 7s^2$	231.04 568.0 1.50 **91** **Pa** Protactinium [Rn] $5f^2\ 6d^1\ 7s^2$	238.03 597.6 1.38 **92** **U** Uranium [Rn] $5f^3\ 6d^1\ 7s^2$	(237) 604.5 1.36 **93** **Np** Neptunium [Rn] $5f^4\ 6d^1\ 7s^2$	(244) 584.7 1.28 **94** **Pu** Plutonium [Rn] $5f^6\ 7s^2$	(243) 578.0 1.30 **95** **Am** Americium [Rn] $5f^7\ 7s^2$	(247) 581.0 1.30 **96** **Cm** Curium [Rn] $5f^7\ 6d^1\ 7s^2$	(247) 601.0 1.30 **97** **Bk** Berkelium [Rn] $5f^9\ 7s^2$	(251) 608.0 1.30 **98** **Cf** Californium [Rn] $5f^1\ 7s^2$	(252) 619.0 1.30 **99** **Es** Einsteinium [Rn] $5f^{11}\ 6s^2$	(257) 627.0 1.30 **100** **Fm** Fermium [Rn] $5f^{12}\ 7s^2$	(258) 635.0 1.30 **101** **Md** Mendelevium [Rn] $5f^{13}\ 7s^2$	(259) 642.0 1.30 **102** **No** Nobelium [Rn] $5f^{14}\ 7s^2$	(262) 470.0 **103** **Lr** Lawrencium [Rn] $5f^{14}\ 7s^2\ 7p^1$

standard atomic weight (or most stable mass number) — 1st ionization energy (in kJ/mol) — chemical symbol — name — electron configuration — atomic number — electronegativity — oxidation states (most common are bold)

55.845 | 762.5 | 1.83 | 26 | Fe | Iron | [Ar] $3d^6\ 4s^2$ | +6 +5 +4 +3 +2 +1 −1 −2

radioactive elements have masses in parenthesis

Electron configuration blocks



Notes

- 1 kJ/mol ≈ 96.485 eV
- all elements are implied to have an oxidation state of zero.

by Robert Campion / updated 2016, 2018

alkali metals | alkaline earth metals | lanthanides | transition metals | unknown properties | post-transition metals | metalloids | reactive nonmetals | noble gases | actinides

พันธะอะตอม (Atomic Bonding)

การที่อะตอมของธาตุชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันมาอยู่ด้วยกัน และมีแรงยึดเหนี่ยวกัน จะเกิดเป็นพันธะเคมีซึ่งเกิดจากการที่อะตอมพยามยามทำให้อิเล็กตรอนของตัวเองมีเสถียรภาพ การเกิดพันธะอะตอมเกิดได้ 3 ลักษณะให้อิเล็กตรอนแก่อะตอมอื่น รับอิเล็กตรอนจากอะตอมอื่น

พันธะภายในโมเลกุล (intramolecular bond)	พันธะระหว่างโมเลกุล (intermolecular bond)
พันธะโคเวเลนต์ (covalent bonds)	พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonds)
พันธะไอออนิก (ionic bonds)	แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces)
พันธะโลหะ (metallic bonds)	แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล - ไอออน (molecule-ion attractions)

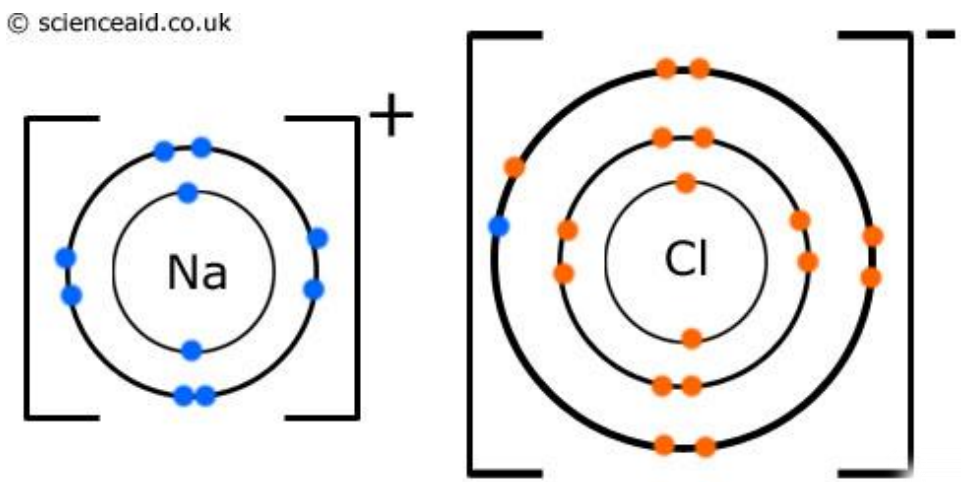
พันธะไอออนิก (Ionic Bonding)

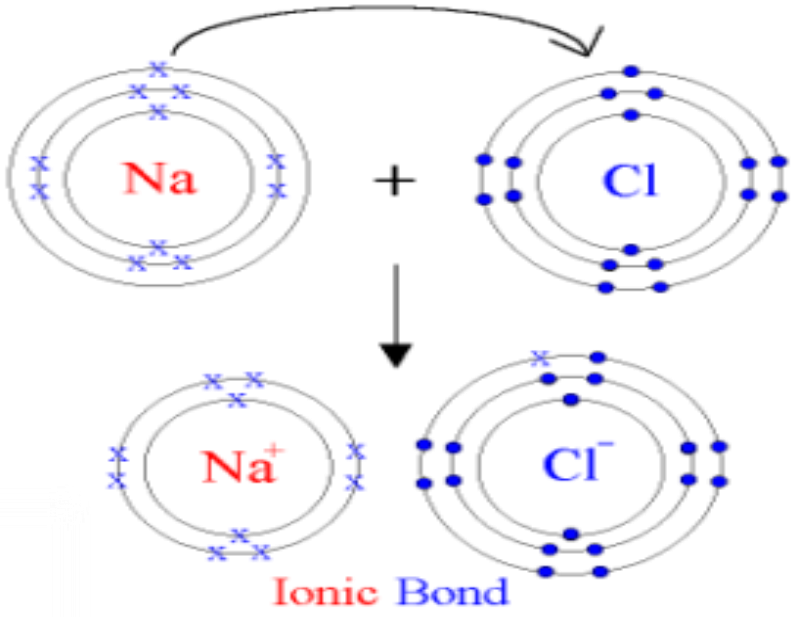
พันธะไอออนิก คือ พันธะที่เกิดขึ้นระหว่างอะตอมซึ่งมีประจุขั้วตรงข้าม จากแรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างประจุบวก (Cation) และประจุลบ (Anion) ซึ่งยึดเหนี่ยวอะตอมเข้าหากัน เป็นพันธะที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนวงนอกสุดระหว่างอะตอม เพื่อทำให้เวเลนต์อิเล็กตรอนของทั้งคู่มีจำนวนเต็มตามกฎออกเตต โดยส่วนใหญ่ พันธะไอออนิก มักเกิดขึ้นระหว่างอะตอมของโลหะ (Metals) กับอโลหะ (Nonmetals)

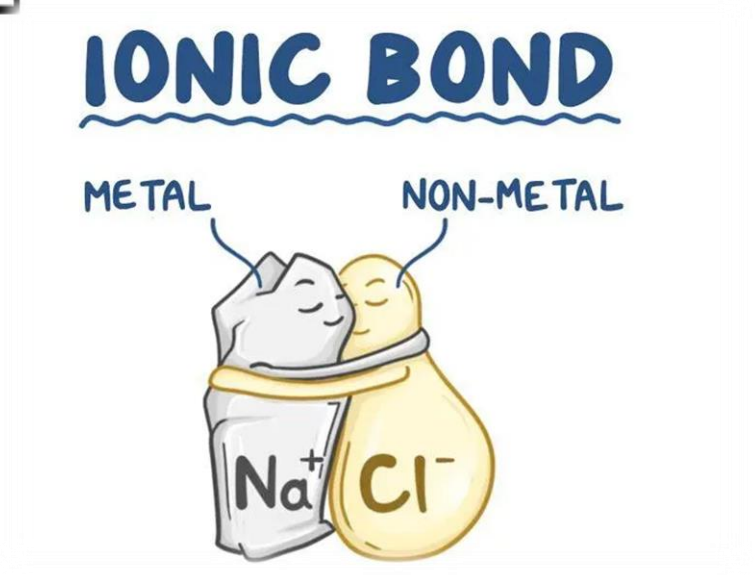
คุณสมบัติของสารประกอบไอออนิก

อะตอมที่รวมตัวกันด้วยพันธะไอออนิก มีชื่อเรียกว่า *“สารประกอบไอออนิก”* เป็นสารประกอบมีขั้ว โดยมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ต่ำ เมื่ออยู่ในสถานะของแข็ง แต่จะนำไฟฟ้าได้ดี เมื่ออยู่ในรูปของสารละลาย เป็นสารประกอบที่มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง

พันธะไอออนิก (Ionic Bonding)

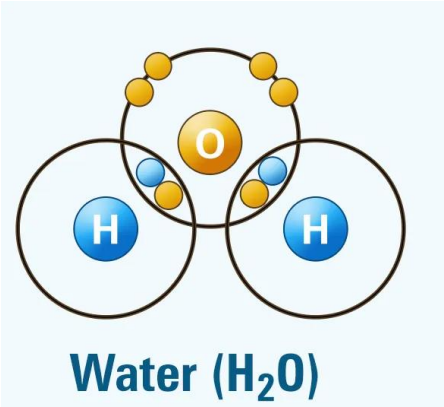


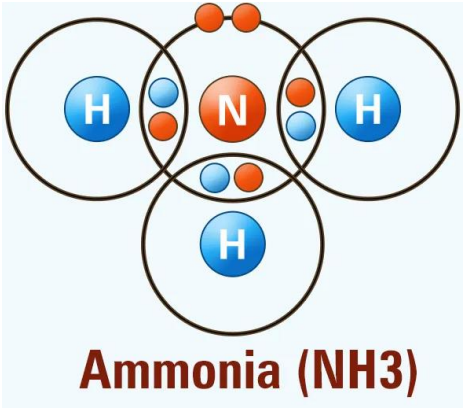




พันธะโคเวเลนต์ (Covalent Bond)

พันธะโคเวเลนต์ (Covalent Bond) คือ พันธะที่เกิดขึ้นจากการใช้เวเลนต์อิเล็กตรอน 1 คู่หรือมากกว่าร่วมกันระหว่างอะตอม ซึ่งโดยส่วนใหญ่ มักเกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของอะตอมหรือธาตุในกลุ่มอโลหะ ซึ่งมีพลังงานไอออไนเซชันหรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอิเล็กตรอนสูง ทำให้การจับคู่กันกลายเป็นการแบ่งปันอิเล็กตรอนร่วมกัน โดยไม่มีอะตอมตัวใดสูญเสียอิเล็กตรอนไปอย่างถาวร





พันธะโคเวเลนต์ (Covalent Bond)

พันธะโคเวเลนต์ สามารถจำแนกออกได้อีก 3 ลักษณะ ตามจำนวนคู่ของอิเล็กตรอนที่ใช้ร่วมกัน คือ

- พันธะเดี่ยว (Single Bond) เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ เช่น น้ำ (H_2O) แอมโมเนีย (NH_3) และมีเทน (CH_4) เป็นต้น
- พันธะคู่ (Double Bond) เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 2 คู่ เช่น ก๊าซออกซิเจน (O_2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และอีเทน (C_2H_4) เป็นต้น
- พันธะสาม (Triple Bond) เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 3 คู่ เช่น ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ก๊าซอะเซทิลีน (C_2H_2) และคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO) เป็นต้น

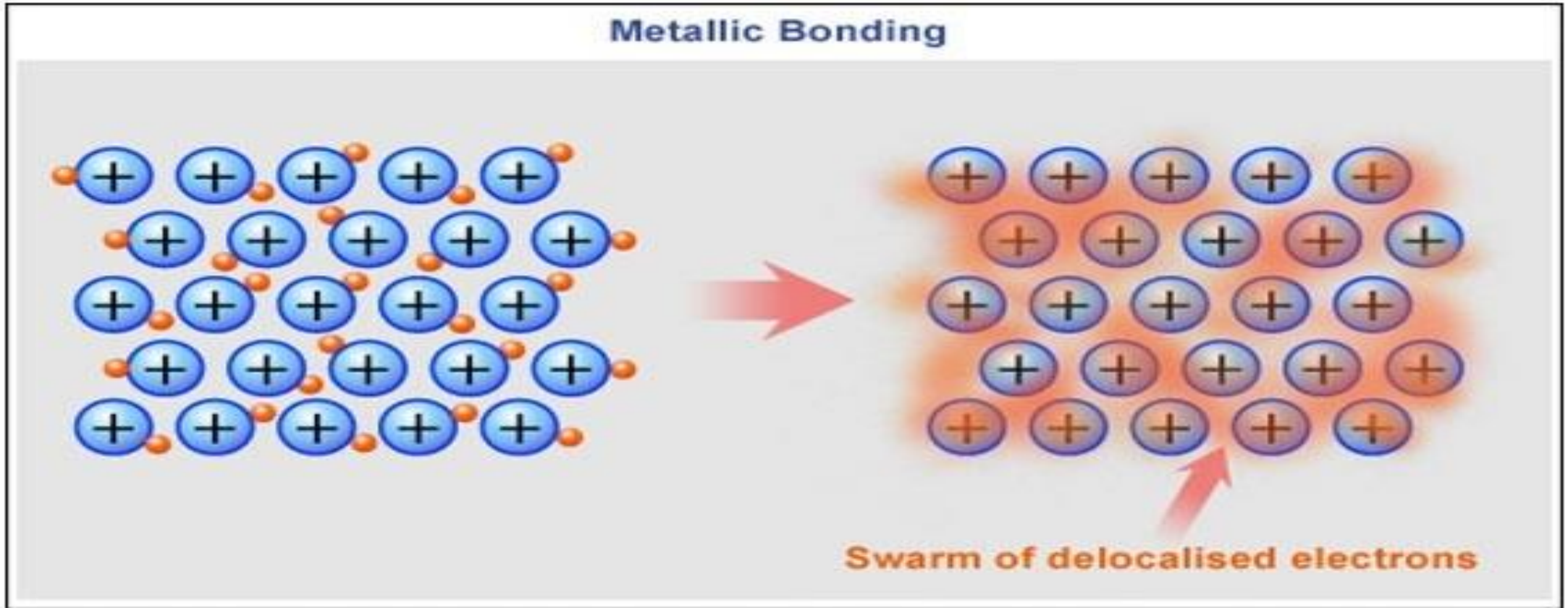
ดังนั้น ในธรรมชาติ ธาตุในกลุ่มอโลหะส่วนใหญ่ จึงไม่สามารถอยู่เป็นอะตอมอิสระได้ จำเป็นต้องจับกลุ่มรวมตัวกันเพื่อสร้างโมเลกุลที่มีความเสถียรในตนเอง

พันธะโลหะ (Metallic Bond)

พันธะโลหะ (Metallic Bond) คือ พันธะที่เกิดขึ้นภายในอะตอมของธาตุในกลุ่มโลหะ เกิดเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่ทำให้อะตอมของกลุ่มโลหะอยู่ร่วมกันเป็นกลุ่มก้อนจากการแบ่งปันอิเล็กตรอนวงนอกสุดร่วมกัน โดยที่อิเล็กตรอนดังกล่าว ไม่ได้ถูกรวมเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของอะตอมใดอะตอมหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งทำให้ภายในสสารหรือก้อนโลหะดังกล่าวเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอยู่ตลอดเวลา

พันธะโลหะ (Metallic Bond)

ยกตัวอย่างเช่น ก้อนเหล็ก (Fe) ซึ่งประกอบขึ้นจากอะตอมของโลหะจำนวนมาก โดยที่ทุกอะตอมของโลหะจะอยู่เรียงชิดติดกันอย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีการกำหนดตัวเลขหรือจำนวนอะตอมในหนึ่งโมเลกุล ซึ่งส่งผลให้โลหะไม่มีสูตรโมเลกุลที่แน่นอน มีเพียงสัญลักษณ์ของธาตุหรือสูตรอย่างง่ายที่ใช้แทนโมเลกุลของสารดังกล่าว



The outer electrons are so weakly bound to metal atoms that they are free to roam across the entire metal. Having 'lost' their outer electrons, individual metal atoms are more like positive ions in a swarm of communal electrons.

พันธะโลหะ (Metallic Bond)

สมบัติของโลหะ

โลหะนำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ดี มีจุดหลอมเหลวสูงและสามารถตีแผ่เป็นแผ่นหรือถูกยืดขยายได้ง่ายโดยไม่แตกหัก เนื่องจากมีกลุ่มเวเลนต์อิเล็กตรอน ทำหน้าที่ยึดอนุภาคให้เรียงร้อยต่อกันอย่างเหนียวแน่น นอกจากนี้ โลหะยังมีผิวเป็นมันวาว จากการเคลื่อนที่โดยอิสระของกลุ่มอิเล็กตรอนที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่อแสงไฟที่สะท้อนกลับมา

ประเภท / สมบัติ	ผลึกโลหะ	ผลึกไอออนิก	ผลึกโมเลกุล	ผลึกโคเวเลนต์
การนำไฟฟ้า	นำไฟฟ้าได้ดี	ไม่นำไฟฟ้า (นำไฟฟ้าได้เมื่อหลอมเหลว)	ไม่นำไฟฟ้า	ไม่นำไฟฟ้า
จุดเดือด	สูง	สูง	ต่ำ	สูง
ตัวอย่าง	Fe Cu Ag	NaCl $CaSO_4$	น้ำแข็ง (H_2O) น้ำแข็งแห้ง (CO_2) I_2 P_4 S_8	เพชร (C) SiO_2 SiC

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก รานี สุวรรณพฤกษ์ (2559 : 503)

โครงสร้างผลึก (Crystal Structures)

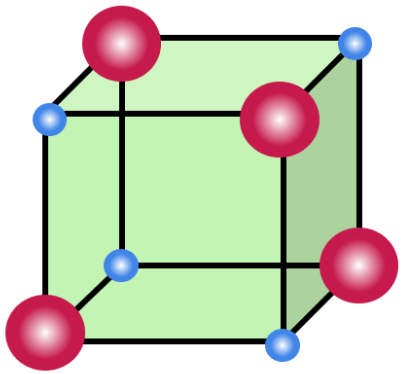
Crystal Lattice and Unit Cell

บทนำ

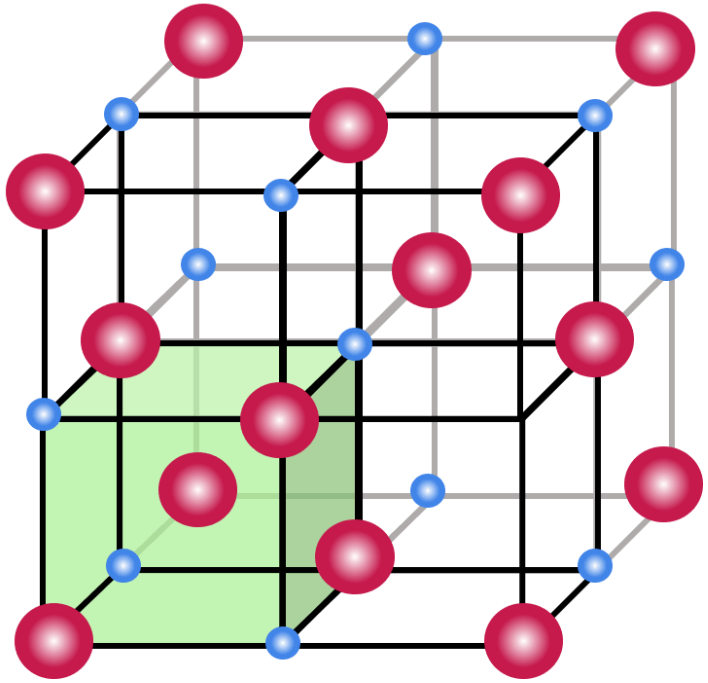
นิยามของผลึก

ชนิดของแลตทิซ

ชนิดของหน่วยเซลล์



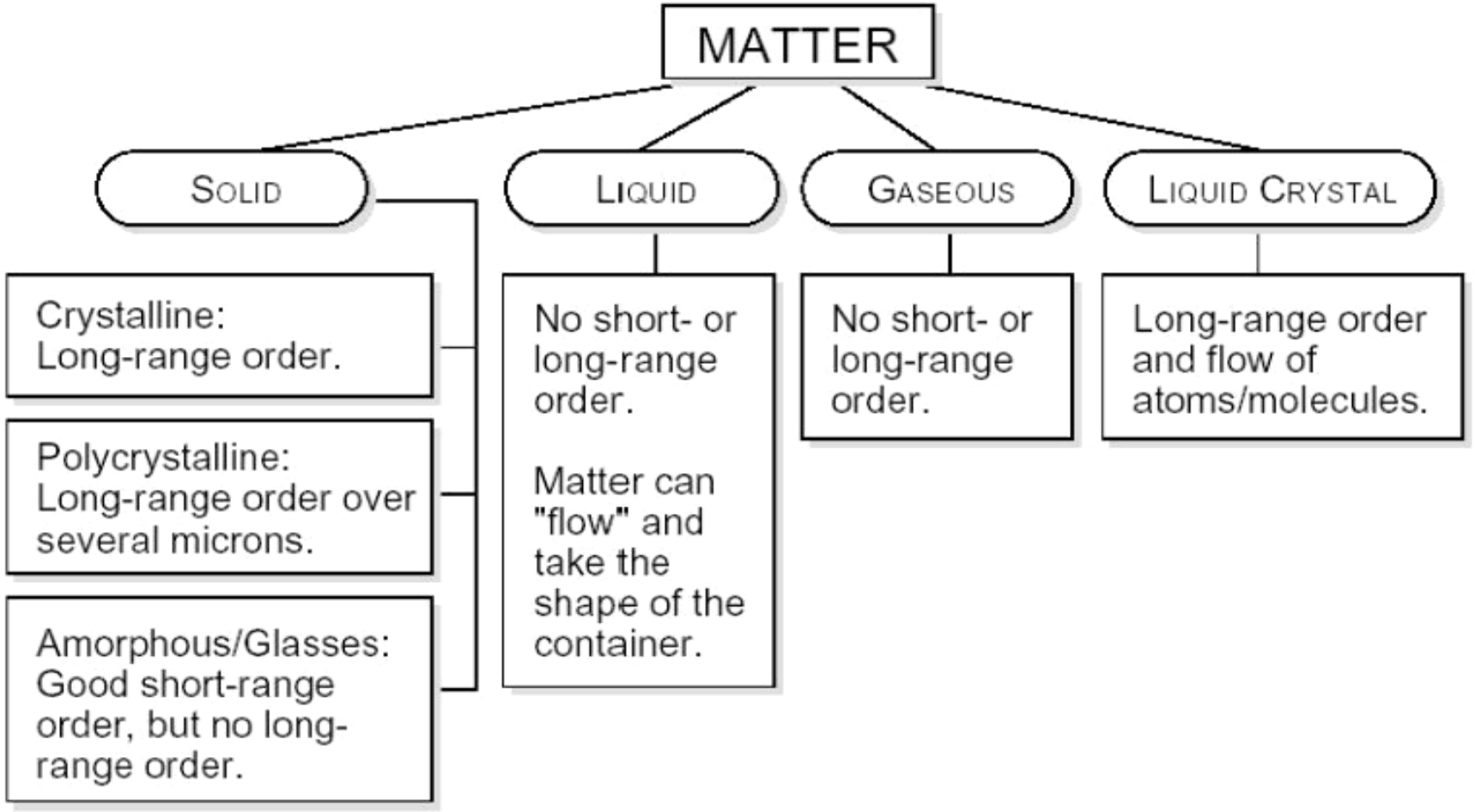
Unit Cell



Crystal Lattice

โครงสร้างผลึก (Crystal Structures)

ฟิสิกส์สถานะของแข็ง (solid state physics) เป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพของสสาร (ผลึก) ที่อยู่ในสถานะของแข็งซึ่งสสารที่อยู่ในสถานะนี้ ไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำหรืออุณหภูมิห้อง จะมีลักษณะสมบัติที่คล้ายกันอยู่อย่างหนึ่ง คือ จะมีการเรียงตัวของอะตอมหรือโมเลกุลสารอย่างเป็นระเบียบ เรียกว่า เป็นผลึก (crystalline) แต่ก็มีสสารที่อยู่ในสถานะของแข็งบางชนิดที่ไม่มีรูปแบบหรือลักษณะโครงสร้างที่แน่นอน เรียกว่า อสัณฐาน (amorphous) หรือเนื้อแก้ว (glassy texture)



รูปที่ 1-1 การแบ่งประเภทของสสารออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ของแข็ง(solid) ของเหลว (liquid) กาซ (gaseous) และผลึกเหลว(liquid crystal)[Singh J., 2003]

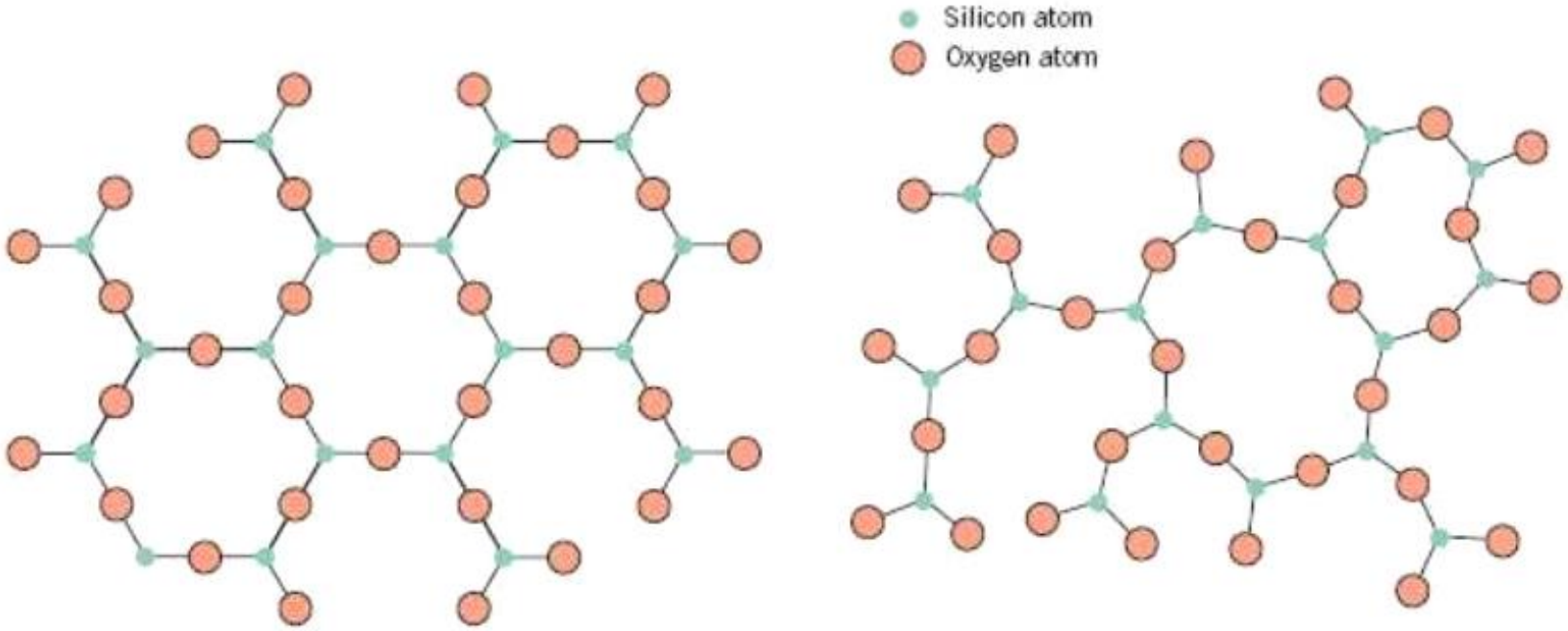
การจำแนกของแข็งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ดังนี้

ก. ของแข็งที่มีรูปผลึก (crystalline solids) เป็นของแข็งที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมหรือโมเลกุลแบบมีระเบียบและซ้ำกันในทุกทิศทาง โดยทั่วไปเราอาจแบ่งผลึกออกเป็น

- ผลึกเดี่ยว (single crystal)
- ผลึกผสมหรือพหุผลึก (polycrystalline crystal)

ข. ของแข็งอสัณฐานหรือของแข็งที่ไม่มีรูปผลึก (amorphous solids) เป็นของแข็งที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมหรือโมเลกุลแบบไม่มีระเบียบและไม่ซ้ำกันทุกทิศทาง ทั้งนี้ความจริงข้อหนึ่งใน

ธรรมชาติก็คือ ถ้าอะตอมมีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบแล้ว พลังงานของอะตอมจะมีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นสภาพความเป็นผลึกจึงเป็นธรรมชาติมากกว่าสภาพการเป็นอสัณฐาน ตัวอย่างของวัสดุอสัณฐาน ได้แก่ แก้ว ถ่านและสารที่อยู่ในรูปของอะมอร์ฟัสซึ่งถูกสร้างขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่ว่า ไม่เปิดโอกาสให้อะตอมเรียงตัวตามที่น่าจะเป็น เช่น ลดอุณหภูมิของของเหลวอย่างรวดเร็วหรือใช้วิธีการแยกสลายที่อุณหภูมิต่ำ เป็นต้น ความแตกต่างระหว่างของแข็ง 2 ประเภทดังกล่าวข้างต้นอาจพิจารณาได้จากรูปที่ 1-2 ซึ่งแสดงโครงสร้างของ SiO_2 ที่มีโครงสร้างแบบผลึกและแบบอะมอร์ฟัส



(ก) (ข)

รูปที่ 1-2 ความแตกต่างโครงสร้างของ SiO_2 ในรูปแบบ (ก) ผลึก และ SiO_2 ที่อยู่ในรูป (ข) อะมอร์ฟัส

[Callister W., 2007]

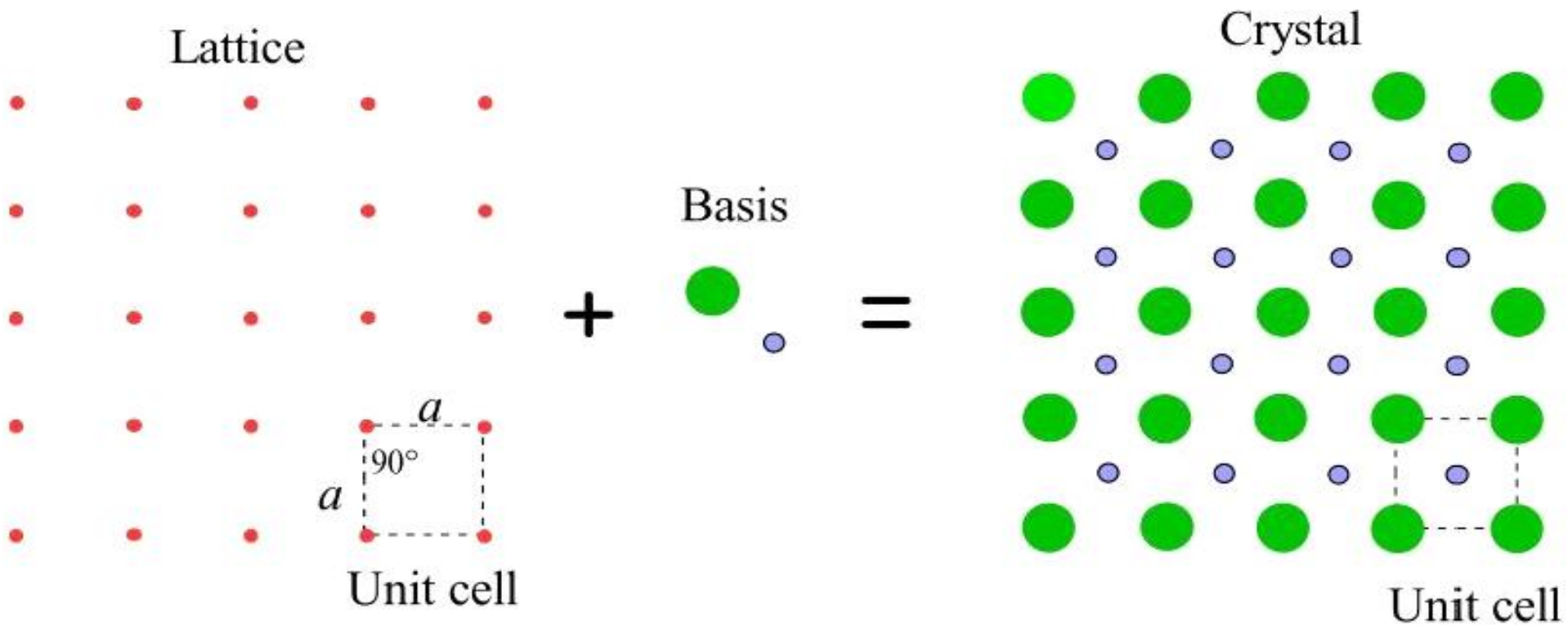
นิยามของผลึก

ผลึกอุดมคติ(ideal crystal) คือ ผลึกที่มีการจัดเรียงตัวของหน่วยโครงสร้างที่เหมือนกันเป็นระเบียบในทุกทิศทางในปริภูมิ (space) ในกรณีอุดมคติถือว่าของแข็งที่เรียกว่า **"ผลึก"** นั้นจะมีลักษณะโครงสร้างภายในเป็นระเบียบ อะตอมหรือกลุ่มของอะตอมที่คล้ายคลึงกันเหล่านี้สามารถเขียนแทนด้วย จุดแลตทิซ (lattice point) ในสามมิติสามารถเขียนแทนด้วยชุดของเวกเตอร์แลตทิช

$$\vec{r} = l_1\vec{a}_1 + l_2\vec{a}_2 + l_3\vec{a}_3 \qquad (1\text{-}1)$$

โดยที่ l_1, l_2, l_3 เป็นเลขจำนวนเต็มและ $\vec{a}_1, \vec{a}_2$ กับ $\vec{a}_3$ เป็นเวกเตอร์ปฐมฐานของผลึก (primitive vector) ความสัมพันธ์เชิงตรรกวิทยาของโครงสร้างผลึกได้เป็น

แลตทิช + เบซิส = โครงสร้างผลึก (1-2)



รูปที่ 1-3 องค์ประกอบของโครงสร้างผลึก[Kasap S. O., 2002]

- วัสดุที่มีสถานะเป็นของแข็งสามารถแบ่งออกได้ตามการจัดเรียงตัวของอะตอม สำหรับวัสดุที่มีอะตอมจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ มีแบบแผนซ้ำ ๆ จะเรียกว่า โครงสร้างผลึก (Crystal Struture)

- สำหรับการอธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างผลึก จะใช้ทรงกลมที่มีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางแน่นอนค่าหนึ่งเป็นตัวแทนไอออน หรือ อะตอม

- บางกรณีมีการใช้คำว่า โครงผลึก (lattice) แทนคำว่าโครงสร้างผลึก แต่การใช้คำว่า โครงผลึกนี้จะหมายถึง การเรียงตัวของอะตอมโดยใช้จุดแสดงตำแหน่งของอะตอมในโครงสร้างผลึก

ชนิดของแลตทิซ

แลตทิซ (lattice) เป็นโครงสร้างแบบ 3 มิติของอะตอมที่เป็นระเบียบซ้ำ ๆ กัน แลตทิซมีทั้งหมด 14 แบบ ในระบบผลึก 7 ระบบ การตั้งเกณฑ์เพื่อจำแนกออกเป็นหมวดหมู่โดยนักผลึกศาสตร์ ชาวฝรั่งเศส ชื่อ บราเว (Auguste Bravais) รูปแบบของโครงผลึกมีมากสุดไม่เกิน 14 แบบ

เซลล์หน่วย (unit cell) คือ ส่วนที่เล็กที่สุดในแลตทิซ เป็นหน่วยย่อยซ้ำ ๆ กันของแลตทิซ ขนาดและรูปร่างของเซลล์หน่วยกำหนดได้โดยใช้เวกเตอร์แลตทิซ 3 แบบ คือ a, b และ c มุมของแต่ละแกนแทนด้วย α, β และ γ

ระบบผลึก (Crystalline Structure)

a คือ ระยะระหว่างอะตอมในแนวแกน x

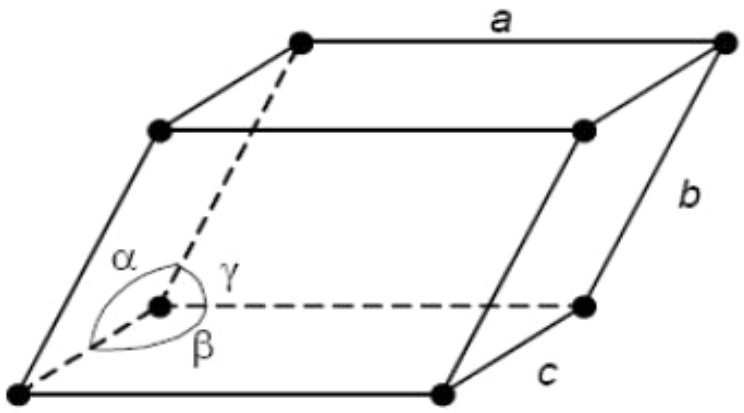
b คือ ระยะระหว่างอะตอมในแนวแกน y

c คือ ระยะระหว่างอะตอมในแนวแกน z

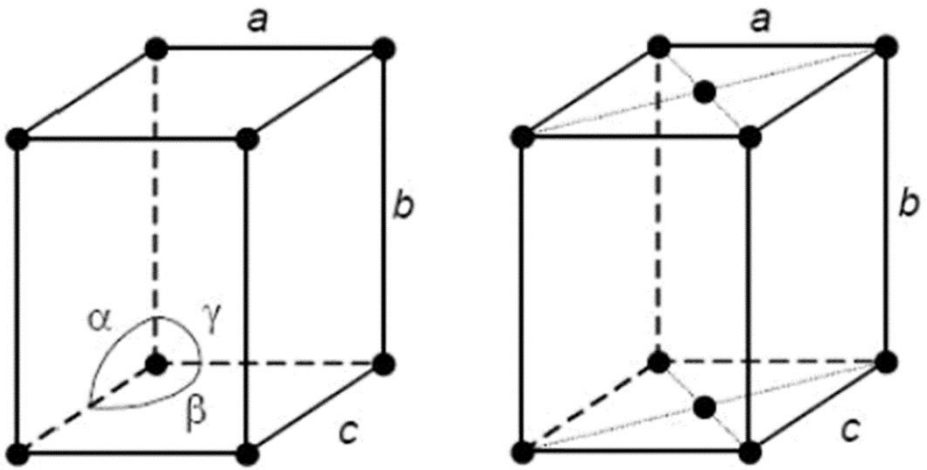
α คือ มุมระหว่างแกน y และ แกน z

β คือ มุมระหว่างแกน x และ แกน z

γ คือ มุมระหว่างแกน x และ แกน y



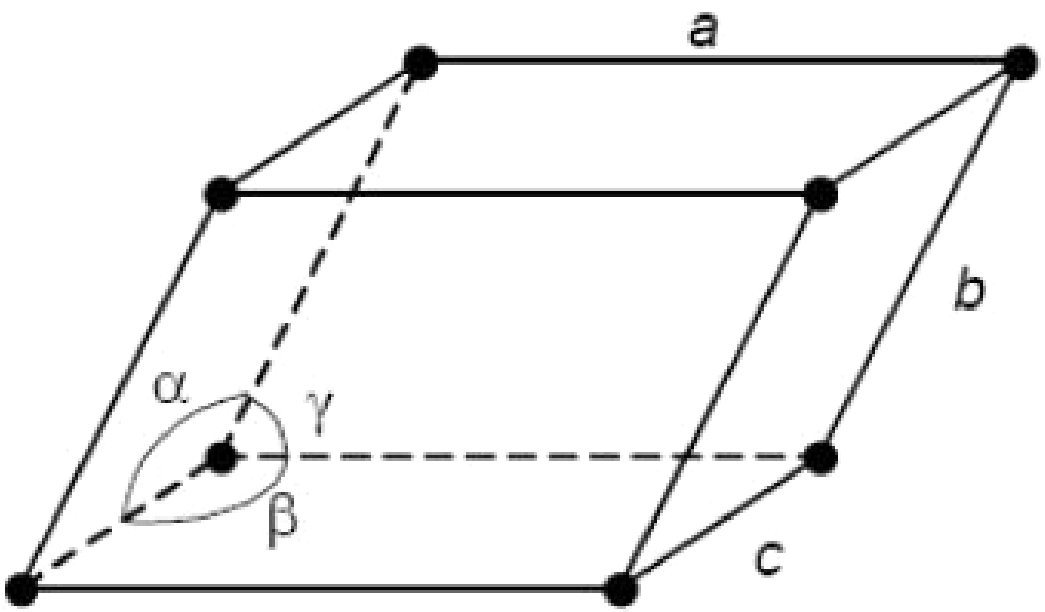
Triclinic



Simple and base-centered monoclinic cell

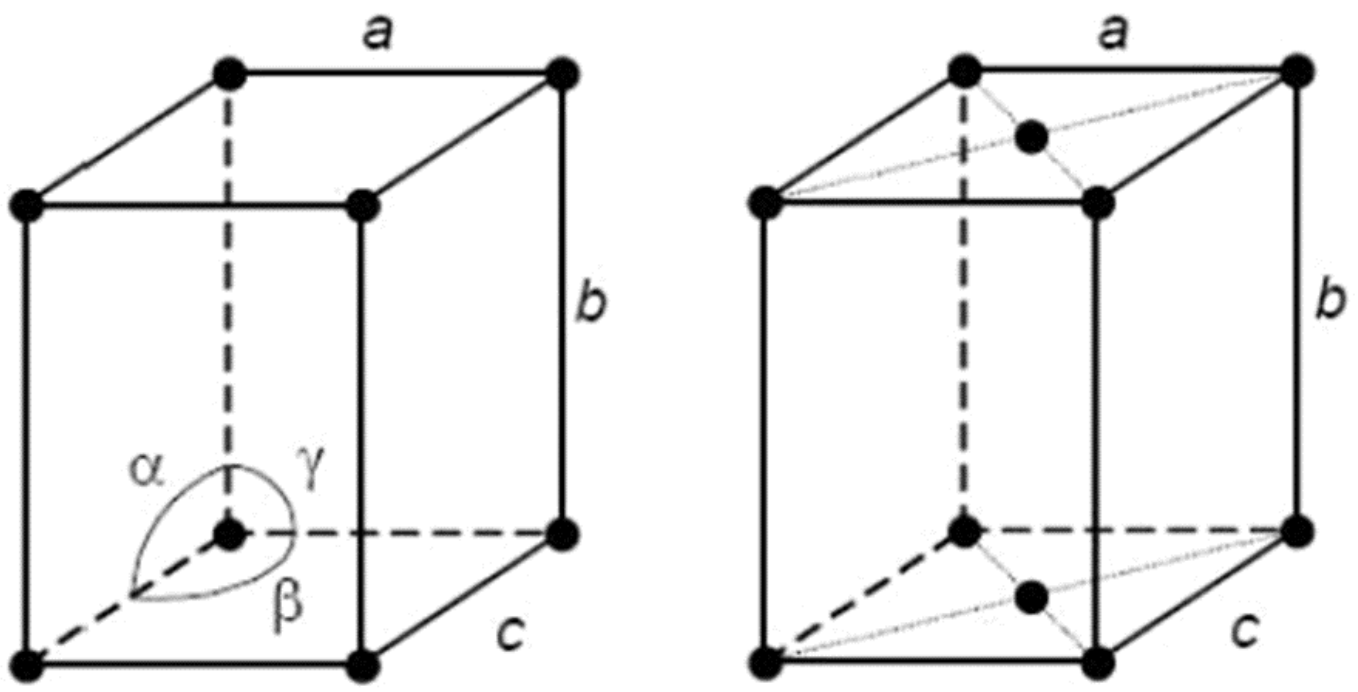
ในที่นี้จะได้กล่าวถึงรายละเอียดพอสังเขปของผลึกแลตทิซบราเวแบบต่าง ๆ ตามสมมาตรดังนี้

1) สมมาตรแบบไตรคลินิก(Triclinic symmetry) ในสมมาตรแบบนี้ในแต่ละหน่วยเซลล์มี 1 อะตอม โดยที่ $a \neq b, b \neq c, a \neq c$ และ $\alpha \neq \beta, \beta \neq \gamma, \alpha \neq \gamma$



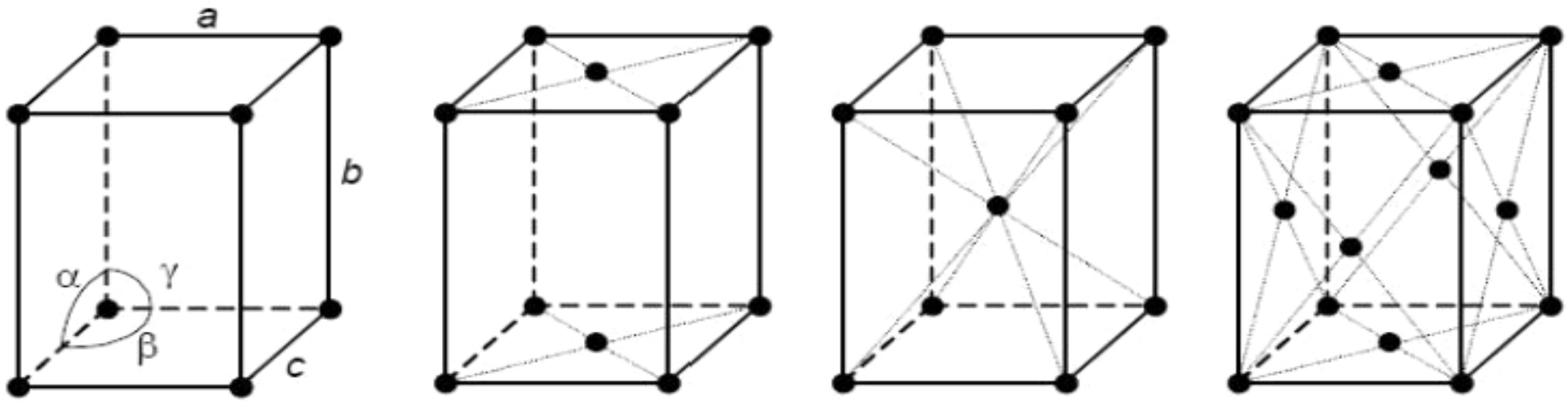
Triclinic

2) สมมาตรแบบโมโนคลินิก (Monoclinic symmetry) ในสมมาตรแบบนี้ในแต่ละหน่วยเซลล์มี 2 อะตอม โดยที่ $a \neq b, b \neq c, b \neq c$ และ $\alpha = \gamma = \pi / 2, \beta \neq \alpha$



Simple and base-centered monoclinic cell

3) สมมาตรแบบออร์โทรอมบิก (Orthorhombic Symmetry) ในสมมาตรแบบนี้ในแต่ละหน่วยเซลล์มี 1 อะตอม โดยที่ $a \neq b, b \neq c, a \neq c$ และ $\alpha = \beta = \gamma = \pi / 2$



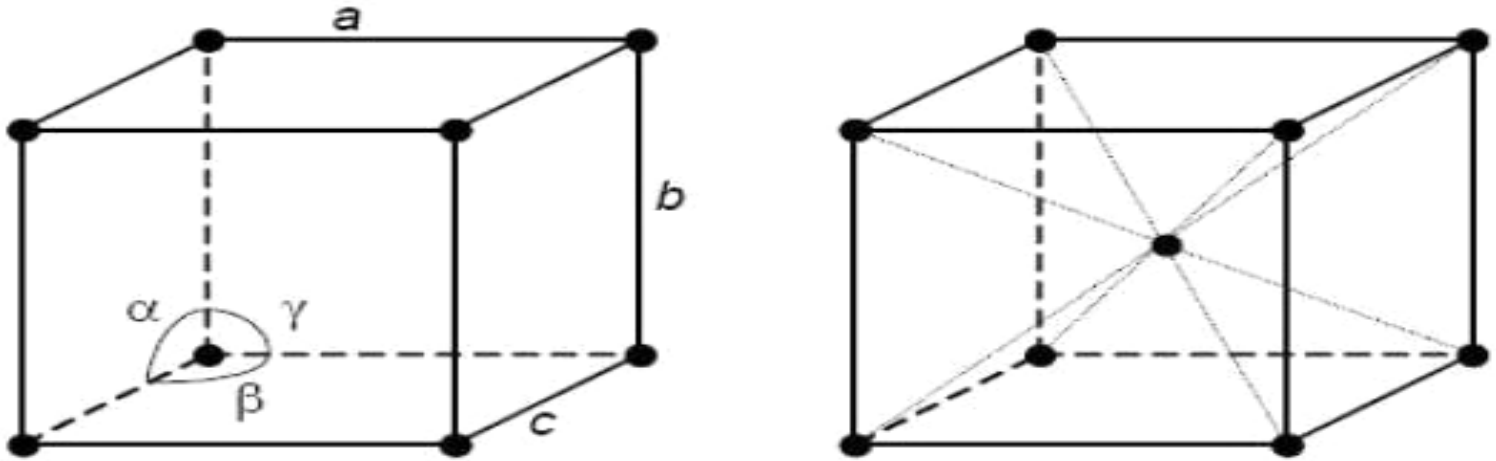
Simple, base-centered, body-centered and face-centered orthorhombic cell

4) สมมาตรแบบเตตระโกนอล (Tetragonal Symmetry) ในสมมาตรแบบนี้ในแต่ละหน่วยเซลล์มี 1 อะตอม โดยที่ $a = b \neq c$ และ $\alpha = \beta = \gamma = \pi / 2$

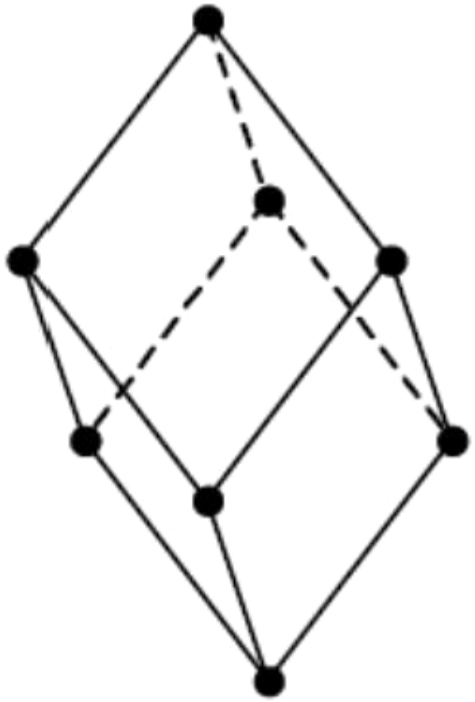
5) สมมาตรแบบไตรโกนอล(Trigonal Symmetry) ในสมมาตรแบบนี้ในแต่ละหน่วยเซลล์มี 1 อะตอม โดยที่ $a = b = c$ และ $\alpha = \beta = \gamma \neq \pi / 2, < 2\pi / 3$

6) สมมาตรแบบเฮซะโกนอล(Hexagonal Symmetry) ในสมมาตรแบบนี้ในแต่ละหน่วยเซลล์มี 1 อะตอม โดยที่ $a = b, a \neq c$ และ $\alpha = \beta = \pi / 2, \gamma = 2\pi / 3$

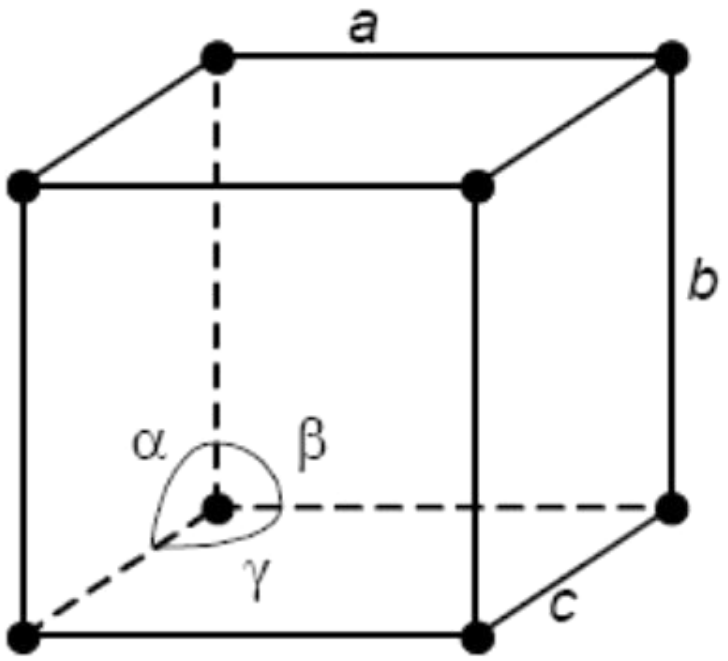
7) สมมาตรแบบลูกบาศก์(Cubic Symmetry) ในสมมาตรแบบนี้ในแต่ละหน่วยเซลล์มี 1 อะตอม โดยที่ $a = b = c$ และ $\alpha = \beta = \gamma = \pi / 2$



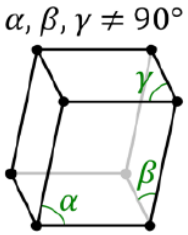
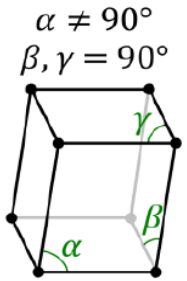
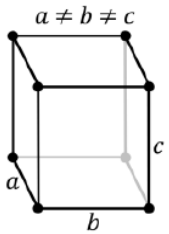
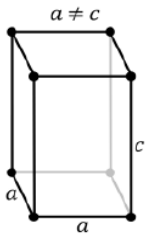
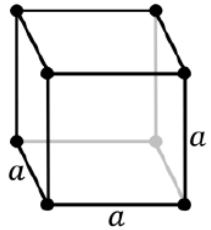
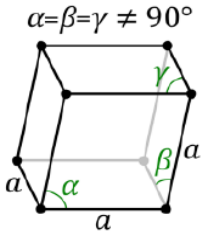
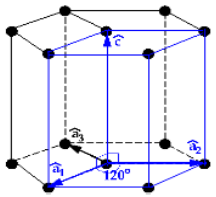
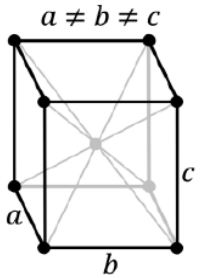
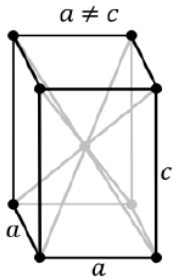
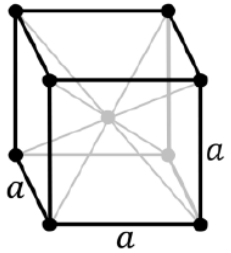
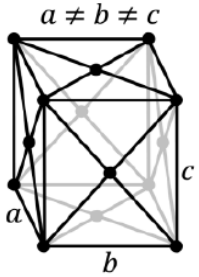
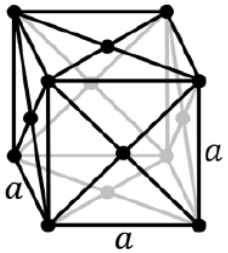
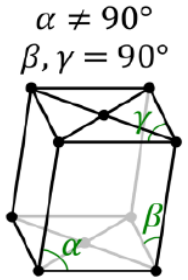
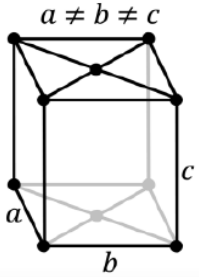
Simple and body-centered tetragonal cell



Trigonal unit cell

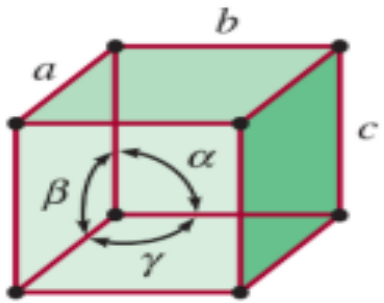


Hexagonal unit cell

	Triclinic	Monoclinic	Ortho-rhombic	Tetra-gonal	Cubic	Trigonal/ rhombodedral	Hexa-gonal
P Simple/Primitive							
I Body Centered							
F Face Centered							
C Base Centered							

Crystal Systems and Bravais Lattices

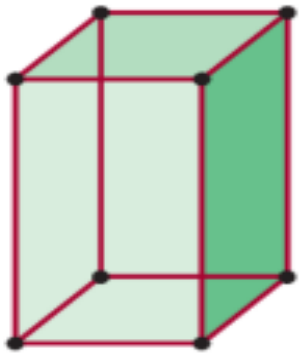
System	Axial lengths and angles	Bravais Lattice	Lattice Symbol
Cubic	Three equal axes at right angles $a = b = c;\ \alpha = \beta = \gamma = 90°$	Simple Body-centered Face-centered	P I F
Tetragonal	Three axes at right angles, two equal $a = b \neq c;\ \alpha = \beta = \gamma = 90°$	Simple Body-centered	P I
Orthorhombic	Three unequal axes at right angles $a \neq b \neq c;\ \alpha = \beta = \gamma = 90°$	Simple Body-centered Base-centered Face-centered	P I C F
Rhombohedral (trigonal)	Three equal axes, equally inclined $a = b = c;\ \alpha = \beta = \gamma \neq 90°$	Simple	R
Hexagonal	Three equal coplanar axes at 120°, third axis at right angles $a = b \neq c;\ \alpha = \beta = 90°;\ \gamma = 120°$	Simple	P
Monoclinic	Three unequal axes, one pair not at right angles $a \neq b \neq c;\ \alpha = \gamma = 90° \neq \beta$	Simple Base-centered	P C
Triclinic	Three unequal axes, unequally inclined and none at right angles $a \neq b \neq c;\ \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$	Simple	P



ลูกบาศก์

$a = b = c$

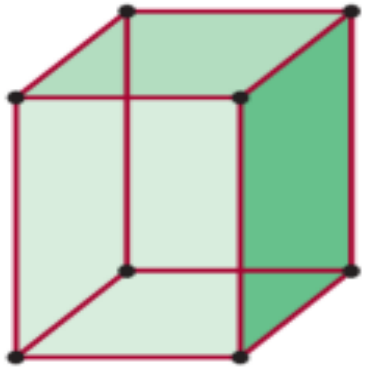
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$



เตตระโกนัล

$a = b \neq c$

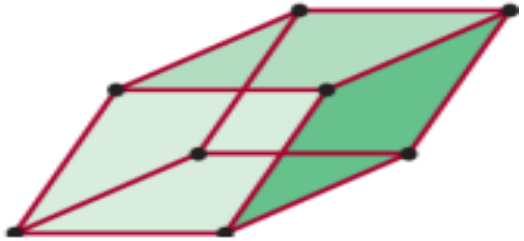
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$



ออร์โทรอมบิก

$a \neq b \neq c$

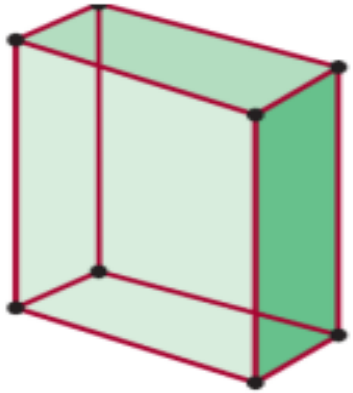
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$



รอมโบฮีดรัล

$a = b = c$

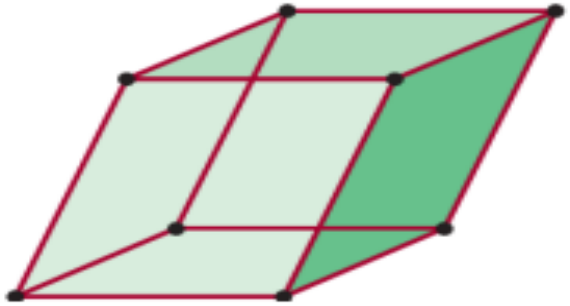
$\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$



มอนอคลินิก

$a \neq b \neq c$

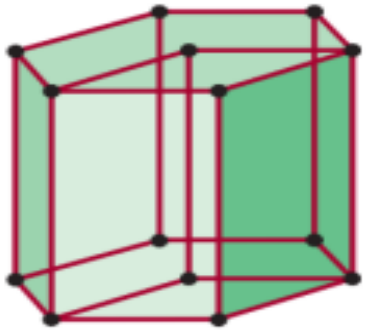
$\gamma \neq \alpha = \beta = 90°$



ไตรคลินิก

$a \neq b \neq c$

$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$



เฮกซะโกนัล

$a = b \neq c$

$\alpha = \beta = 90°, \gamma = 120°$

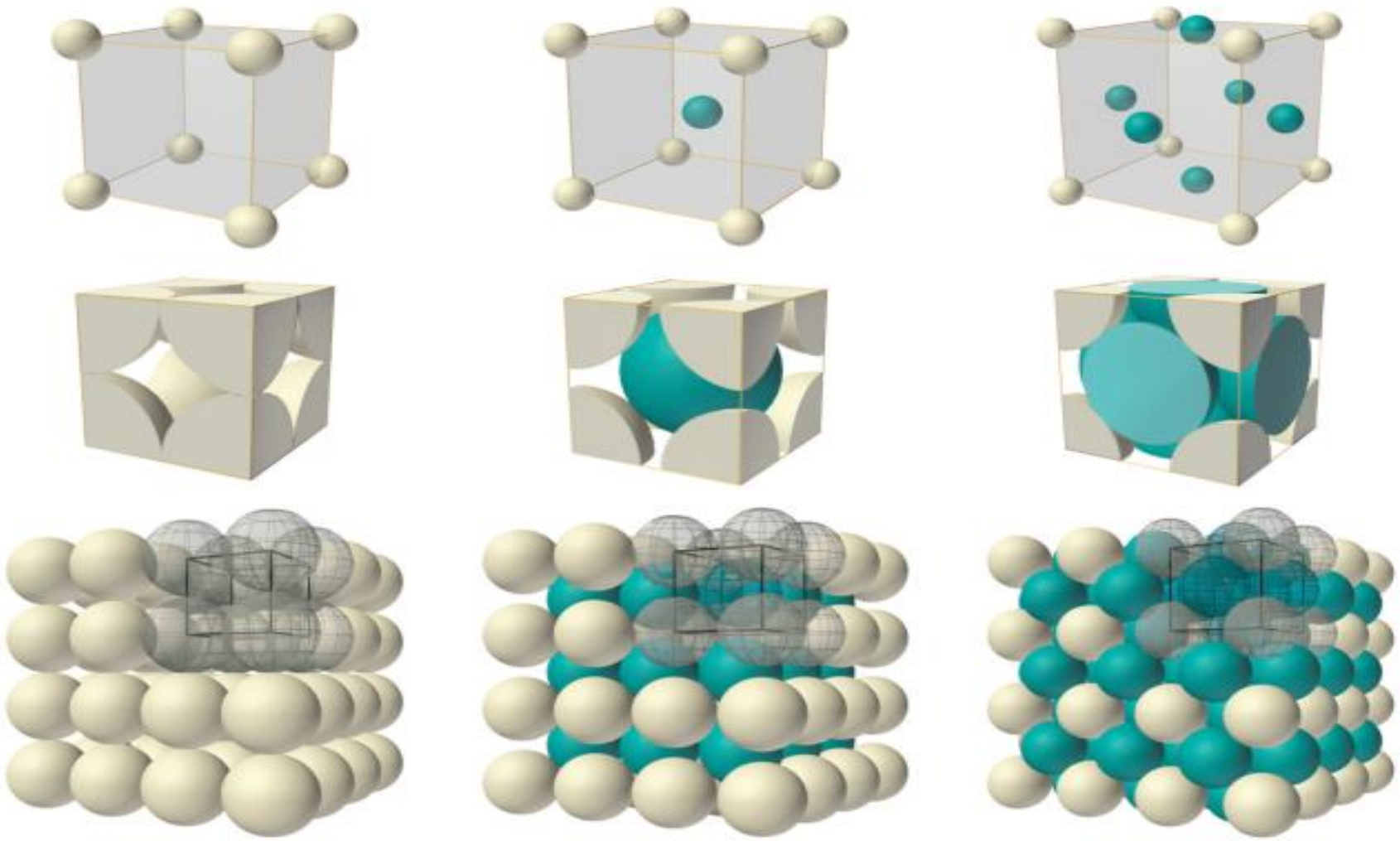
ระบบผลึก	ความยาวแกน	มุมระหว่างแกน	ตัวอย่างผลึก
ลูกบาศก์ (Cubic)	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	NaCl Cu
เตระโกนัล (Tetragonal)	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	TiO_2
ออร์โทรอมบิก (Orthorhombic)	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$BaSO_4$
มอนอคลินิก (Monoclinic)	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ$ และ $\beta \neq 90^\circ$	$PbCrO_4$
รอมโบฮีดรัล (Rhombohedral)	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	HgS
เฮกซะโกนัล (Hexagonal)	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ$ และ $\gamma \neq 120^\circ$	ZnO
ไตรคลินิก (Triclinic)	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	$K_2Cr_2O_7$

โครงผลึกในระบบ ลูกบาศก์

โครงผลึกในระบบ ลูกบาศก์ (Cubic system) แตกต่างกัน 3 แบบ ได้แก่

- ลูกบาศก์อย่างง่าย (Simple cubic) จะมี อนุภาคอยู่ที่มุมทั้งแปดของลูกบาศก์ ลูกบาศก์กลางตัว
- (Body-centered cubic) จะมีอนุภาคอยู่ที่มุม ทั้งแปดมีอีกหนึ่งอนุภาคอยู่ที่จุดศูนย์กลางของลูกบาศก์และลูกบาศก์กลางหน้า
- (Face-centered cubic) จะมีอนุภาคอยู่ที่มุมทั้งแปดและมีอนุภาคอยู่ตรงกลางของแต่ละหน้าลูกบาศก์ทั้งหกด้าน
- นอกจาก 3 ระบบนี้แล้วยังมีระบบผลึกบางระบบมีอนุภาคอยู่มุมทั้งแปดและมีอนุภาคอยู่ตรงกลางของ หน้าลูกบาศก์ในด้านที่ตรงกันข้ามกัน เรียกว่า ลูกบาศก์กลางปลาย (End-centered cubic)

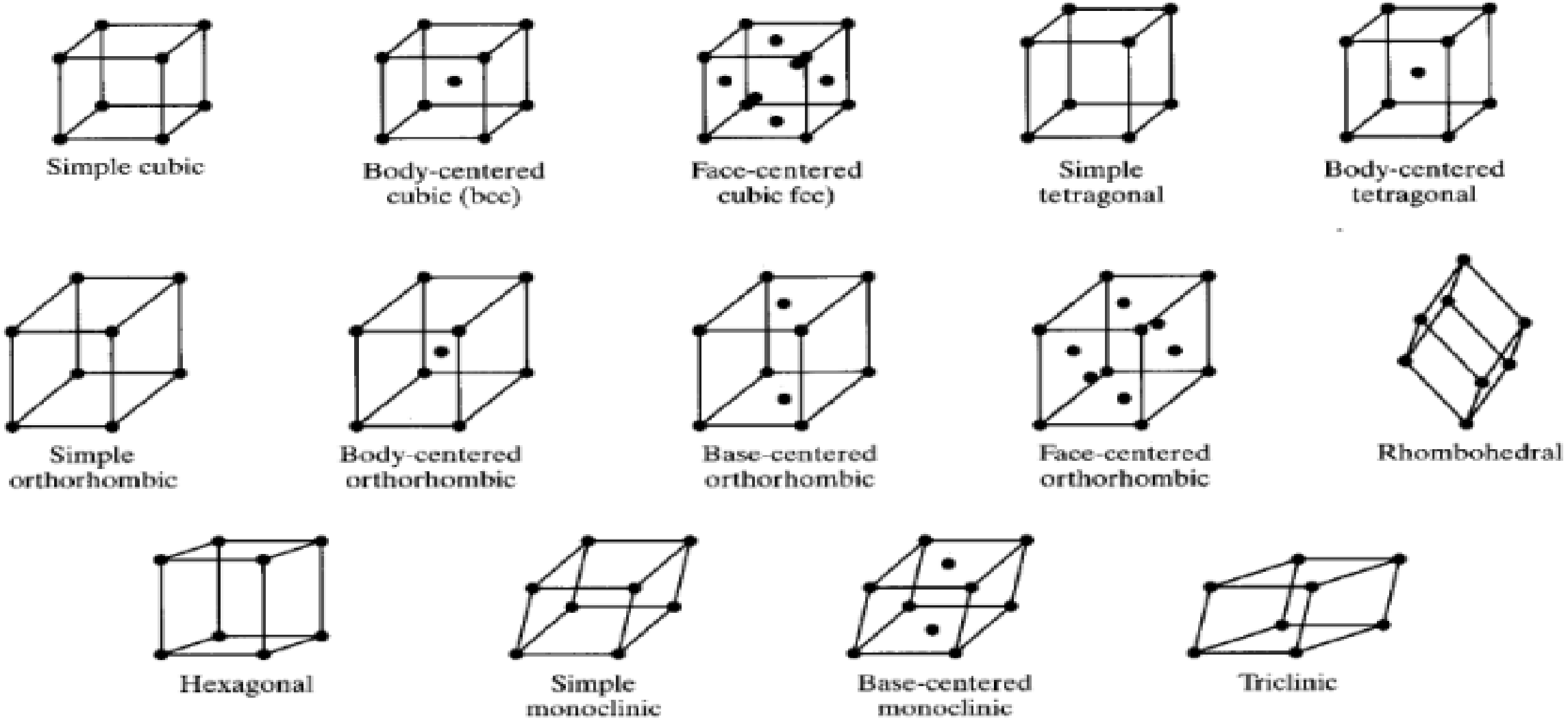
โครงสร้างผลึกในระบบลูกบาศก์



(a) Simple cubic (b) Body-centered cubic (c) Face-centered cubic

14 Bravais Lattices

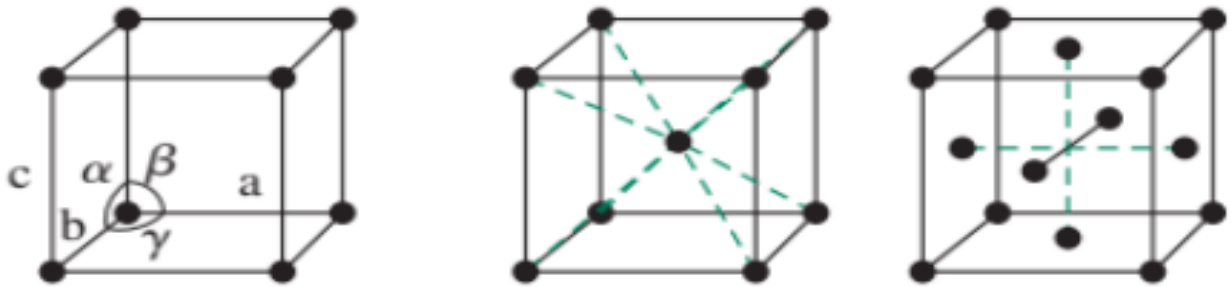
Table 3.2 *The Fourteen Crystal (Bravais) Lattices*



ลูกบาศก์

$a = b = c$

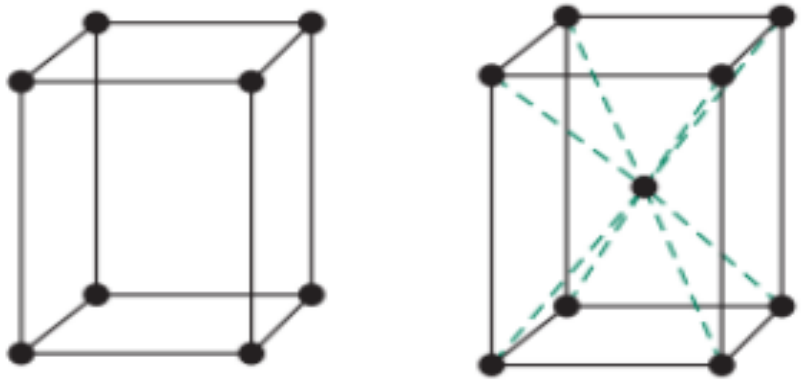
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$



เตตระโกนัล

$a = b \neq c$

$\alpha = \beta = \gamma = 90°$

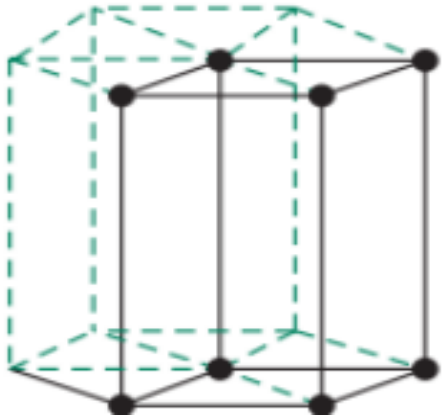


เฮกซะโกนัล

$a = b \neq c$

$\alpha = \beta = 90°$

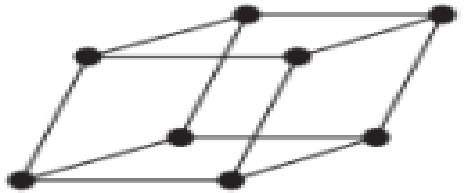
$\gamma = 120°$



รอมโบฮีดรัล (ไตรโกนัล)

$a = b = c$

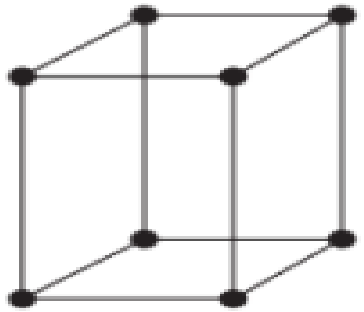
$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$

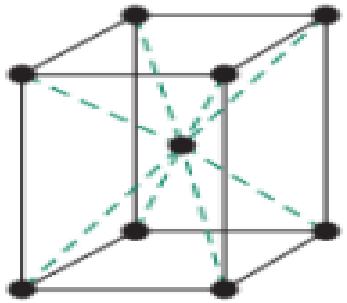


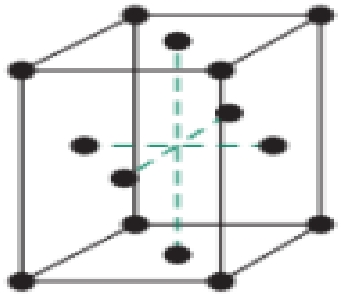
ออร์โทรอมบิก

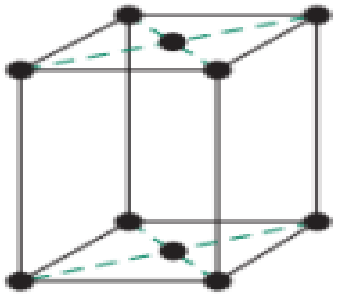
$a \neq b \neq c$

$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$







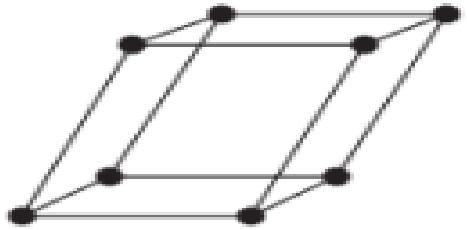


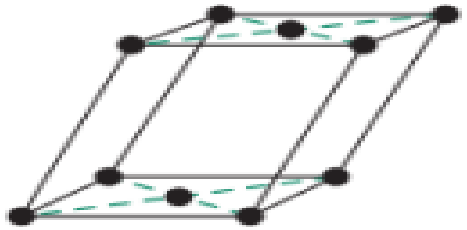
มอนอคลินิก

$a \neq b \neq c$

$\alpha = \gamma = 90^\circ$

$\beta \neq 90^\circ$

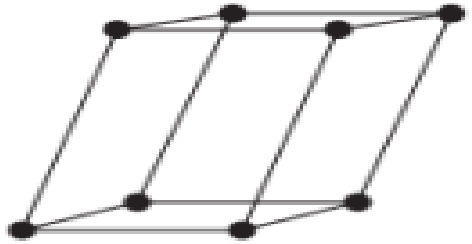




ไตรคลินิก

$a \neq b \neq c$

$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$



ระบบผลึก	จำนวนแบบแลตทิซ	ชื่อแบบแลตทิซ
ลูกบาศก์ (Cubic)	3	อย่างง่าย (Simple) กลางหน้า (Face-centered) กลางตัว (Body-centered)
เตตระโกนัล (Tetragonal)	2	อย่างง่าย (Simple) กลางตัว (Body-centered)
ออร์โทรอมบิก (Orthorhombic)	4	อย่างง่าย (Simple) กลางหน้า (Face-centered) กลางตัว (Body-centered) กลางหน้าปลาย (Base-centered)
มอนอคลินิก (Monoclinic)	2	อย่างง่าย (Simple) กลางหน้าปลาย (Base-centered)
รอมโบฮีดรัล (Rhombohedral)	1	อย่างง่าย (Simple)
เฮกซะโกนัล (Hexagonal)	1	อย่างง่าย (Simple)
ไตรคลินิก (Triclinic)	1	อย่างง่าย (Simple)

การจัดเรียงอนุภาคในผลึกของแข็ง

(Arrangement of particles in solidcrystals)

หน่วยเซลล์เกิดจากการเรียงตัวของอนุภาคของแข็งมาล้อมรอบด้วยจำนวนอนุภาคที่แตกต่างกัน ซึ่งอนุภาคจะมีการจัดเรียงตัวให้ที่ชิดที่สุด แต่ยังมีช่องว่างที่เกิดขึ้น ดังมีรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

1. เลขโคออร์ดิเนชัน (Coordination number)
2. การบรรจุชิดที่สุดของอนุภาคในผลึกของแข็ง (Closest packing of solid crystalparticles)
3. จำนวนอนุภาคในหน่วยเซลล์ (Number of particles in unit cell)
4. ชนิดของช่องว่าง (Types of holes)
5. โครงสร้างผลึกสามัญบางชนิด (Structures of some crystalline solids)

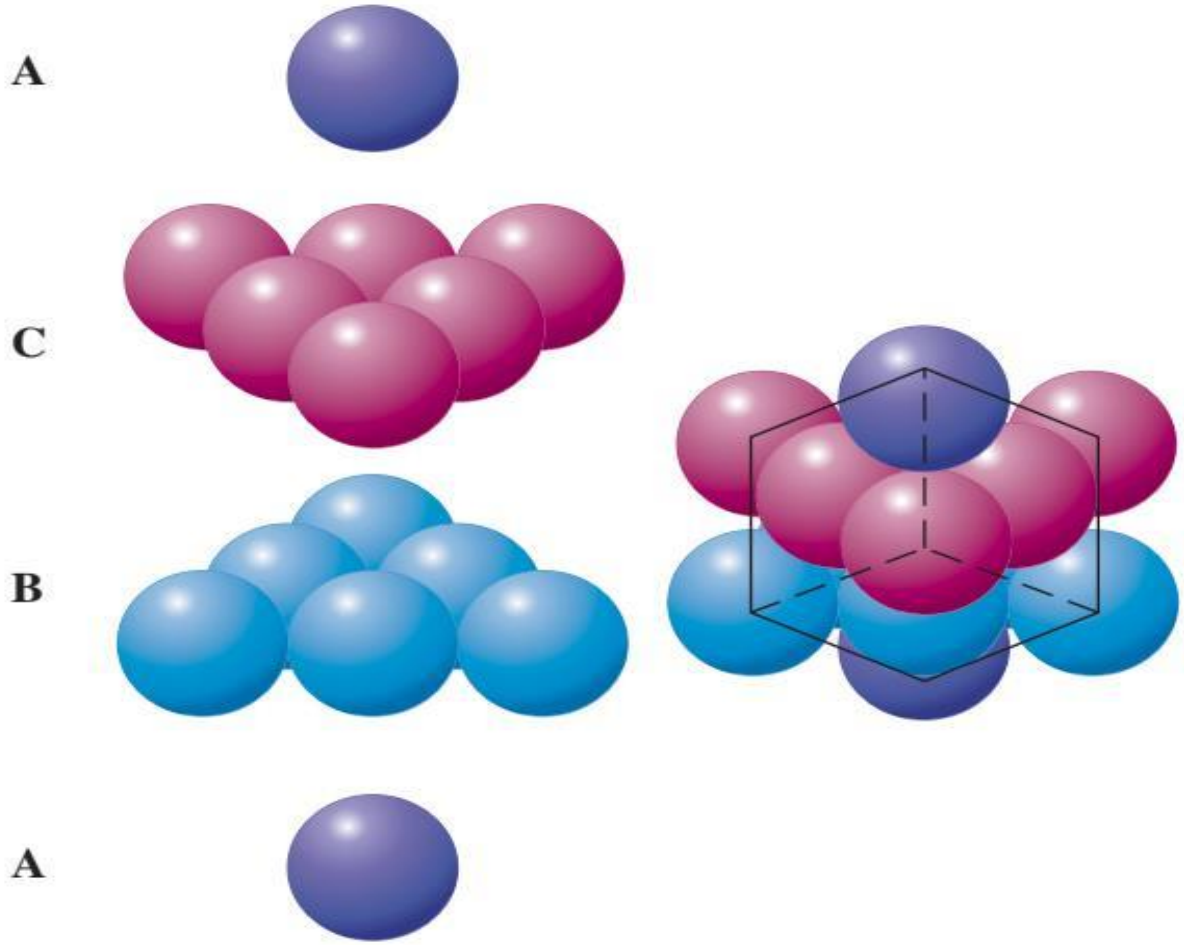
1. เลขโคออร์ดิเนชัน (Coordination number)

การจัดเรียงตัวของอนุภาคของแข็งเป็นหน่วยเซลล์จะมีอนุภาคมาล้อมรอบด้วยจำนวนอนุภาคที่แตกต่างกันไป โดยเรียกจำนวนอนุภาคที่มาล้อมรอบว่า เลขโคออร์ดิเนชัน (Coordination number, CN) โดยอนุภาคในโครงผลึกที่มีเลขโคออร์ดิเนชันสูงจะทำให้เกิดการจัดเรียงตัวได้หนาแน่นมาก ในทางตรงข้ามถ้าโครงผลึกใดมีเลขโคออร์ดิเนชันน้อยจะทำให้เกิดการเรียงตัวที่มีความหนาแน่นน้อยเช่นก

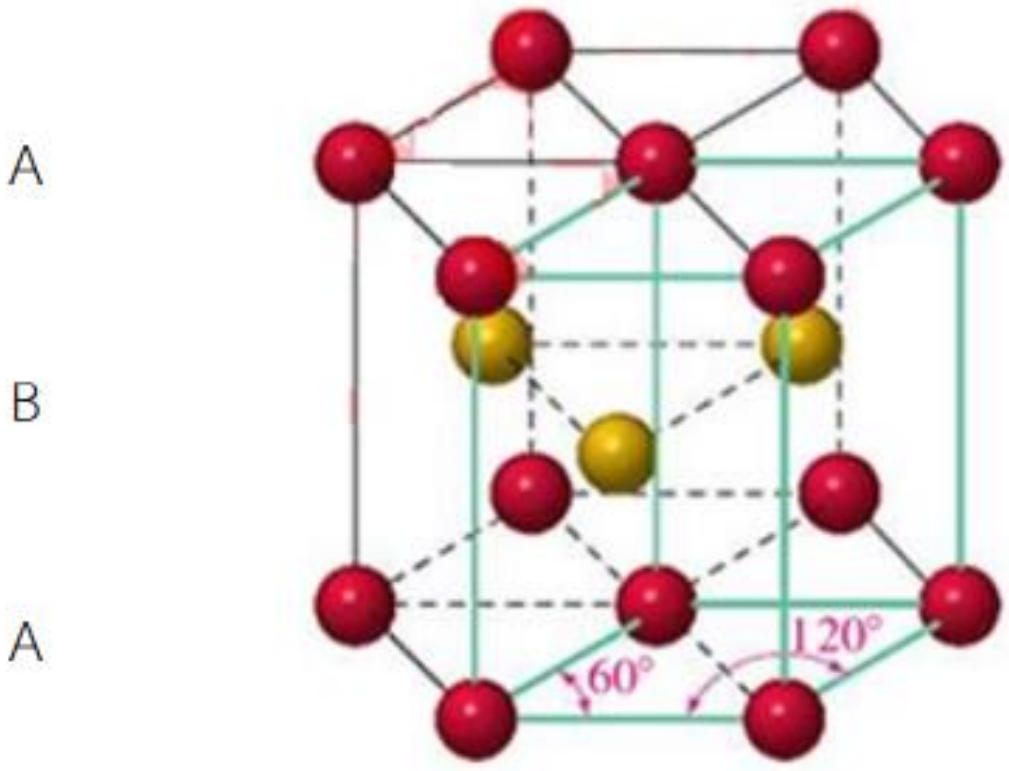
2. การบรรจุชิดที่สุดของอนุภาคในผลึกของแข็ง (Closest packing of solid crystal particles)

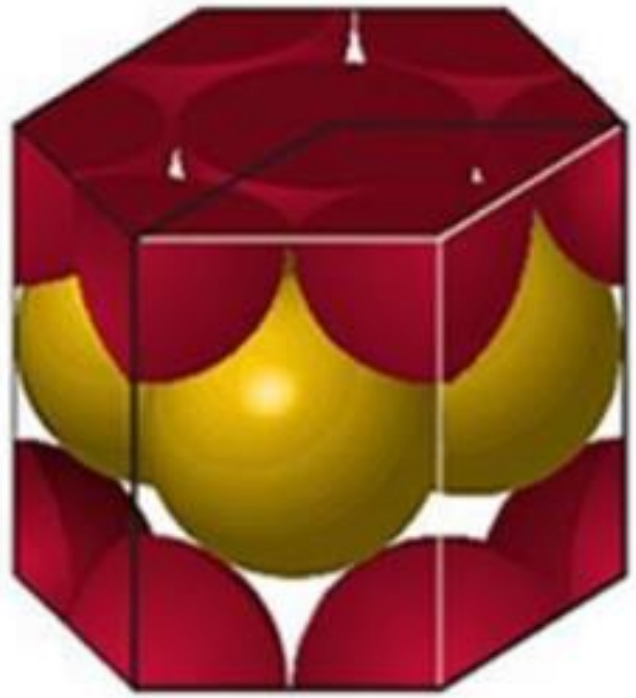
การที่อนุภาคมีการจัดเรียงตัวให้เกิดช่องว่างน้อยที่สุดและจัดเรียงตัวให้ชิดที่สุดเรียกว่า การบรรจุแบบชิด (Closed packing) โดยการบรรจุแบบชิดที่สุดชั้นแรก เรียกว่าชั้น A จะล้อมรอบด้วยลูกปิงปอง 3 ลูก เมื่อวางทรงกลมลงบนชั้นที่ 2 เรียกว่าชั้น B ปิดลงบนช่องว่างชั้นแรก ส่วนการวางทรงกลมจากชั้นที่ 3 ลงบนชั้นที่ 2 นั้น ทำได้ 2 แบบ ซึ่งแบ่งการบรรจุออกเป็นการบรรจุชิดที่สุดแบบลูกบาศก์ (Cubic closed packing, ccp) และแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal closed packing, hcp) โดยแบบลูกบาศก์เป็นการวางอนุภาคแบบ ABCABC….. คือ ทรงกลมในชั้นที่ 3 เรียกว่า ชั้น C วางลงบนตำแหน่งที่ไม่ตรงกับชั้นที่ 1 และ 2 โดยทรงกลมในชั้นที่ 1 จะมีตำแหน่งใน แนวดิ่งตรงกับชั้นที่ 4 พอดี วางซ้ำกันในลักษณะนี้เกิดการเรียงแบบ ABCABC…..

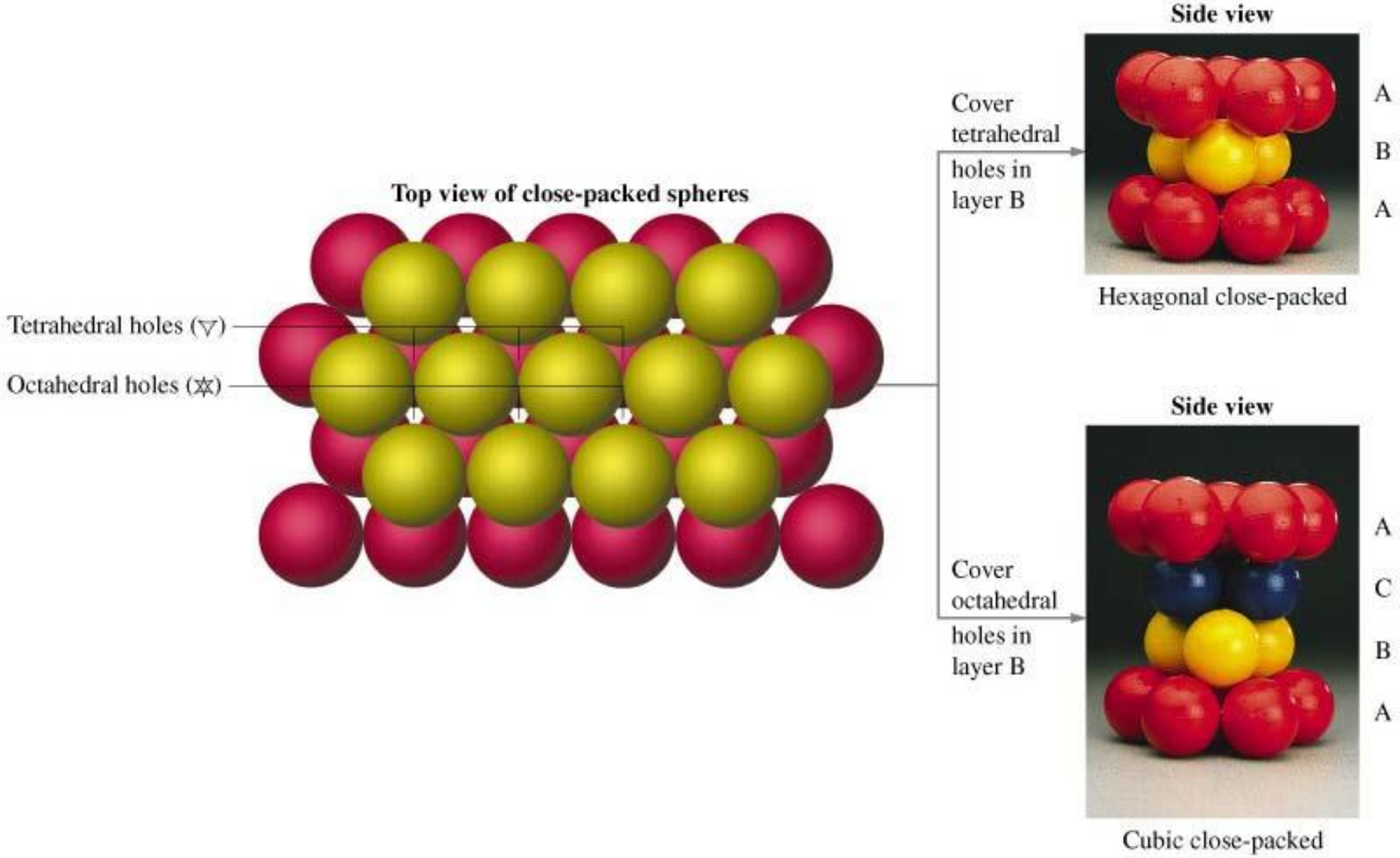
การบรรจุชิดที่สุดแบบลูกบาศก์ (Cubic closed packing, ccp)



การบรรจุชิดที่สุดแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal closed packing, hcp)

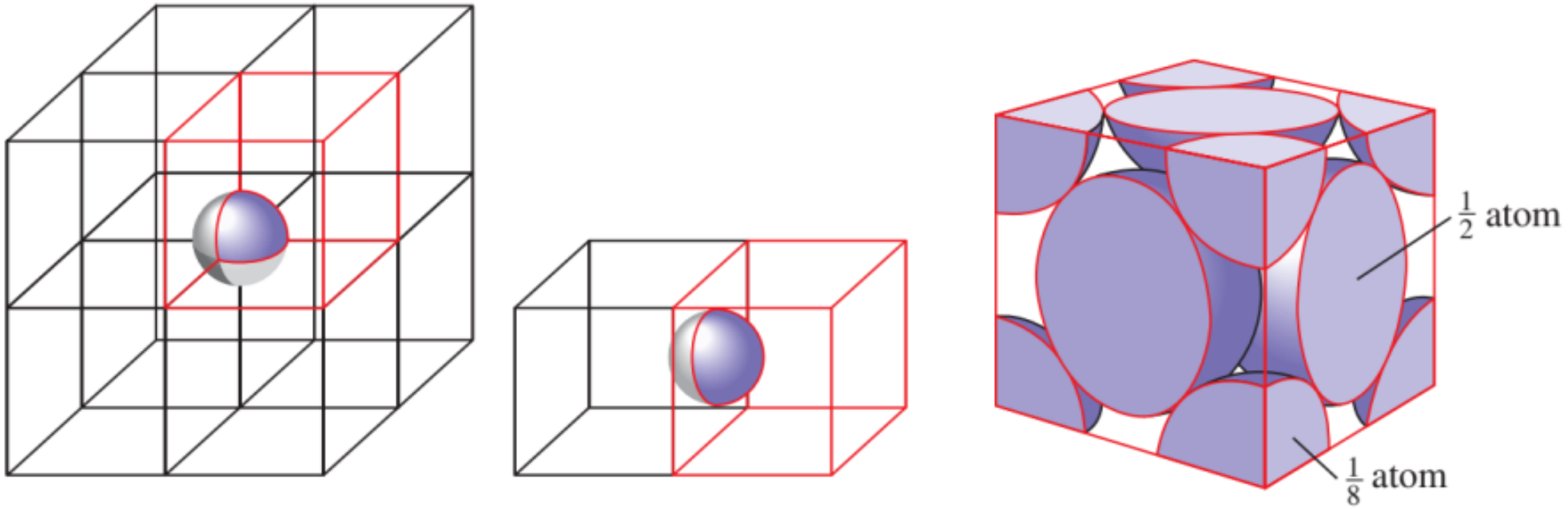





Top view of close-packed spheres
Tetrahedral holes (▽)
Octahedral holes (✡)
Cover tetrahedral holes in layer B
Side view
A
B
A
Hexagonal close-packed
Cover octahedral holes in layer B
Side view
A
C
B
A
Cubic close-packed

3. จำนวนอนุภาคในหน่วยเซลล์ (Number of particles in unit cell)

เมื่อพิจารณารูปลูกบาศก์ในโครงผลึกแล้วจะพบว่าจะมีจุดแลตทิซอยู่ที่มุม กลางหน้าและจุดศูนย์กลางของลูกบาศก์ทำให้อนุภาคเหล่านี้อาจมีการใช้อนุภาคร่วมกันระหว่างหน่วยเซลล์

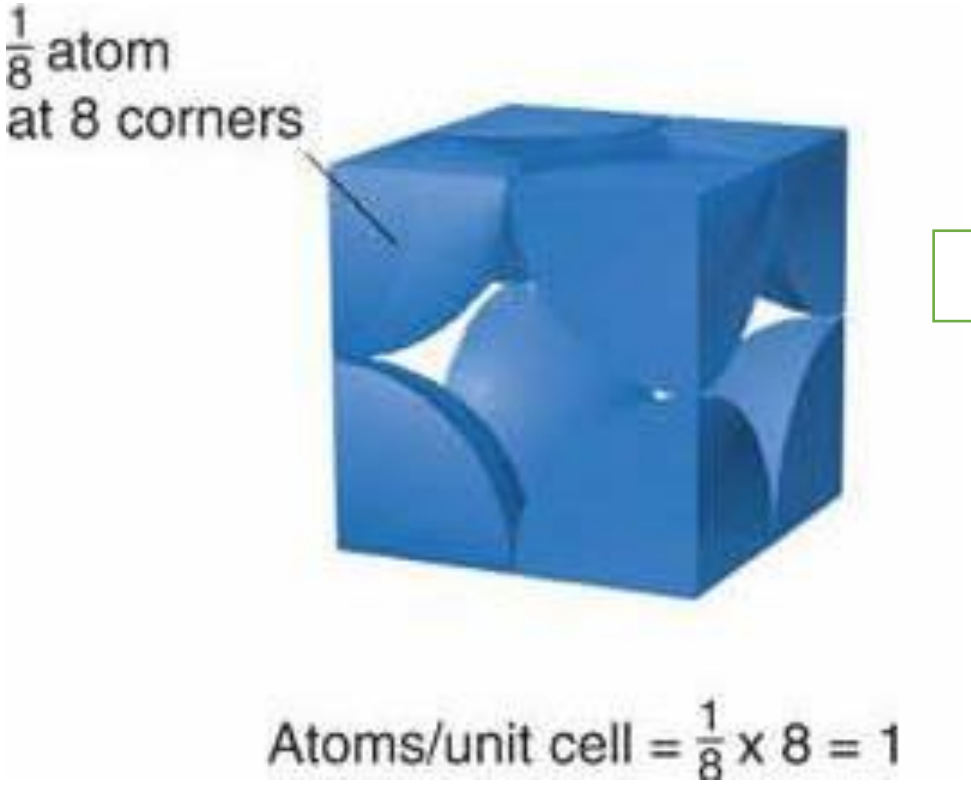


(ก) อนุภาคที่มุม (ข) อนุภาคที่กลางหน้า (ค) หน่วยเซลล์ของลูกบาศก์กลางหน้า

3.1 อนุภาคที่มุม (Corner) อนุภาคทรงกลมของหน่วยเซลล์จะใช้ร่วมกันที่มุมของหน่วยเซลล์เท่ากัน 1/8 ของอนุภาค

จำนวนอนุภาคทั้งหมดในหนึ่งหน่วยเซลล์ = (1/8) x 8

= 1 อนุภาค



Simple cubic (sc)

1 atom/unit cell

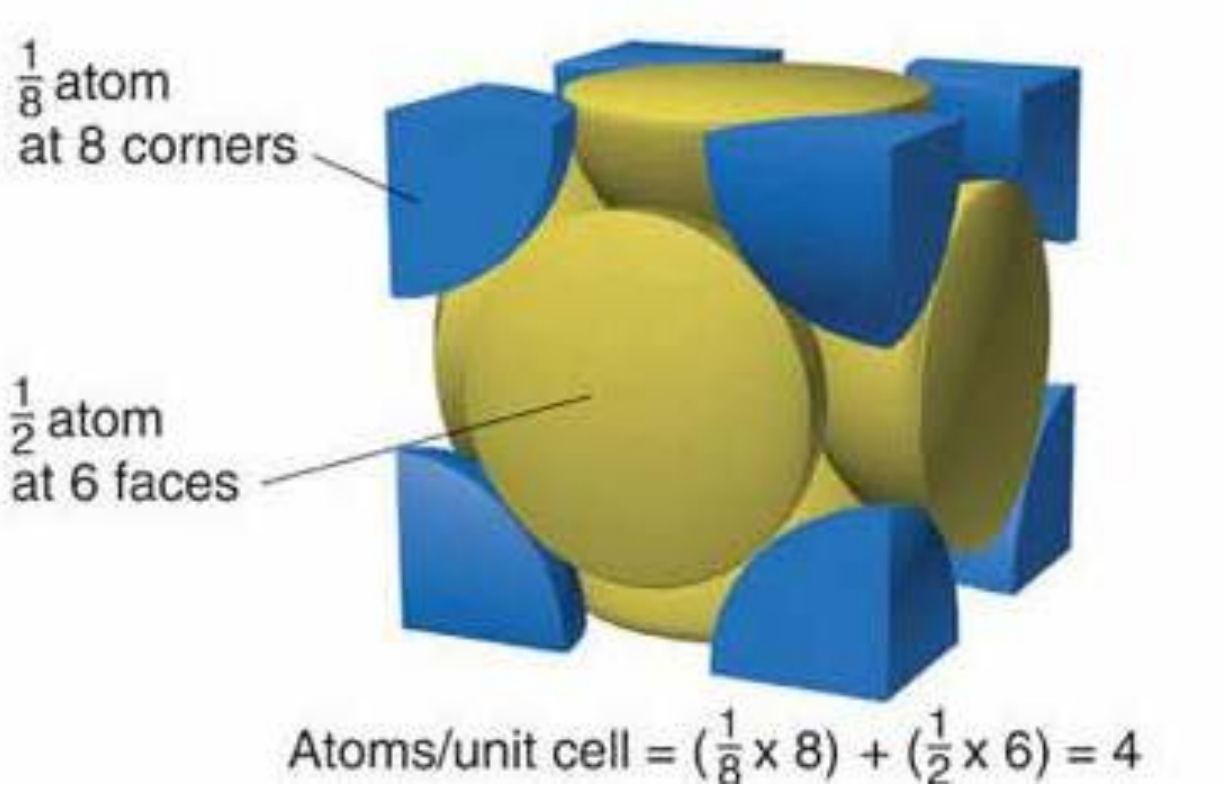
(8 x 1/8 = 1)

3.2 อนุภาคที่กลางหน้า (Face) อนุภาคทรงกลมของหน่วยเซลล์จะใช้ร่วมกันของหน่วยเซลล์เท่ากัน 1/2 ของอนุภาค

จำนวนอนุภาคทั้งหมดในหนึ่งหน่วยเซลล์ = (จำนวนอนุภาคที่มุมทั้ง 8) + (จำนวนอนุภาคกึ่งกลางหน้าทั้ง 6 หน้า)

= [(1/8) x 8] + [(1/2) x 6]

= 4 อนุภาค



Face-centered cubic (fcc)

4 atoms/unit cell

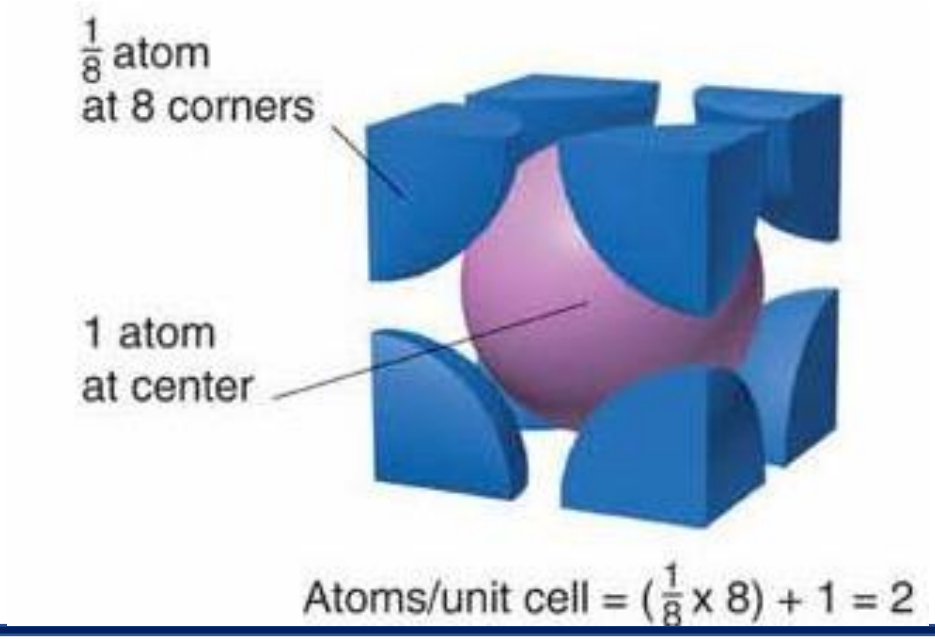
(8 x 1/8 + 6 x 1/2 = 4)

3.3 อนุภาคที่ภายใน (Body) อนุภาคทรงกลมของหน่วยเซลล์ไม่มีการใช้ร่วมกัน

จำนวนอนุภาคทั้งหมดในหนึ่งหน่วยเซลล์ = (จำนวนอนุภาคที่มุมทั้ง 8) + (จำนวนอนุภาคภายในลูกบาศก์)

= [(1/8) x 8] + 1

= 2 อนุภาค

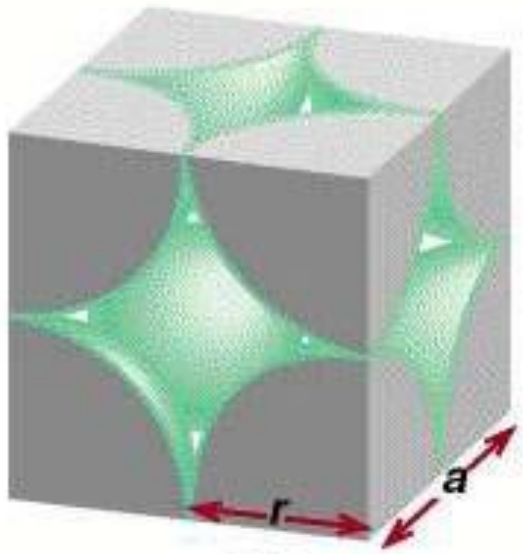


Body-centered cubic (bcc)

2 atoms/unit cell

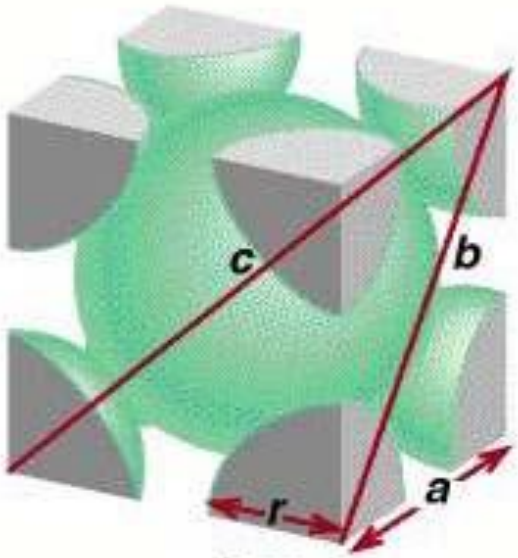
(8 x 1/8 + 1 = 2)

ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีอะตอมและความยาวตามขอบของผลึก



scc

$a = 2r$



bcc

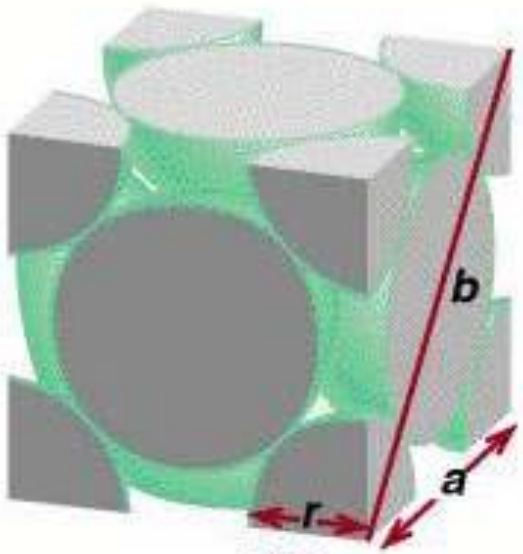
$b^2 = a^2 + a^2$

$c^2 = a^2 + b^2$

$= 3a^2$

$c = \sqrt{3}a = 4r$

$a = \frac{4r}{\sqrt{3}}$



fcc

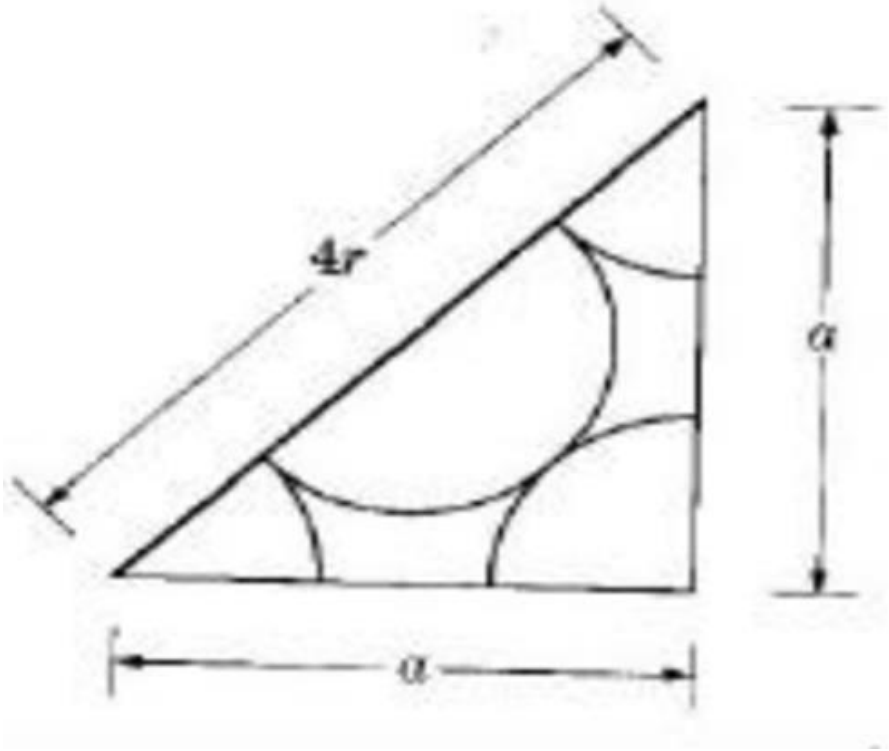
$b = 4r$

$b^2 = a^2 + a^2$

$16r^2 = 2a^2$

$a = \sqrt{8}r$

อะตอมของอะลูมิเนียมมีรัศมีเท่ากับ 125 pmถ้าอะลูมิเนียมตกผลึกในรูป fcc จงหาความยาวตามขอบ (a) ของผลึกนี้



fcc $(4r)^2 = a^2 + a^2$

$$2a^2 = (4r)^2$$

$$a = 8^{1/2} r$$

$$= 8^{1/2} \times 125 \text{ pm}$$

$$= 353.6 \text{ pm}$$

4. ชนิดของช่องว่าง (Types of holes)

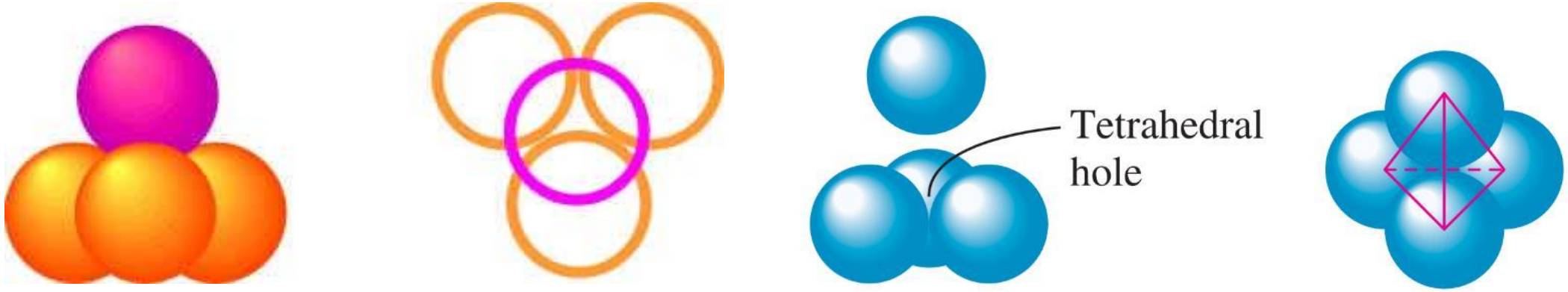
การจัดเรียงตัวของอนุภาคของของแข็งที่มีการบรรจุแบบชิดจะมีช่องว่างเกิดขึ้น โดยอาจจะมีไอออนขนาดเล็กเข้าไปแทรกอยู่ภายในช่องว่างที่เกิดขึ้น โดยช่องว่างแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

4.1 ช่องว่างเตตระฮีดรัล (Tetrahedral hole)

4.2 ช่องว่างออกตะฮีดรัล (Octahedral hole)

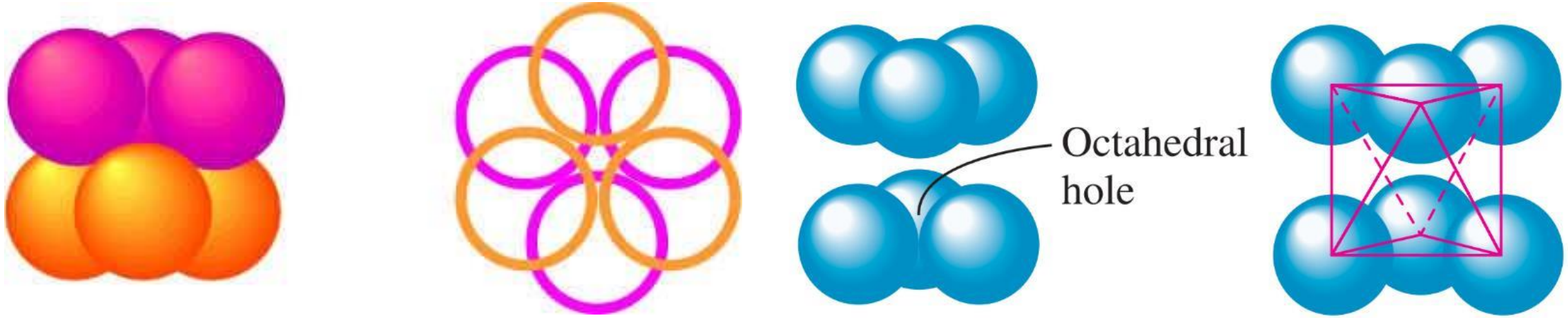
4.1 ช่องว่างเตตระฮีดรัล (Tetrahedral hole)

ช่องว่างเตตระฮีดรัลเป็นช่องว่างที่เกิดขึ้นจากอนุภาคจำนวน 4 อนุภาค โดยเป็นช่องว่างที่เกิดจาก 3 อนุภาคจัดเรียงตัวเป็นรูปสามเหลี่ยมชิดกัน และมีอีก 1 อนุภาควางลงไปซ้อนทับช่องว่างที่เกิดจาก 3 อนุภาค เมื่อเราลากเส้นจากจุดกึ่งกลางของอนุภาคทั้ง 4 อนุภาค มาเชื่อมต่อกันจะได้เป็นรูปทรงสี่หน้า



4.2 ช่องว่างออกตะฮีดรัล (Octahedral hole)

ช่องว่างเตตระฮีดรัลเป็นช่องว่างที่เกิดขึ้นจากอนุภาคจำนวน 6 อนุภาค โดยเป็นช่องว่างที่เกิดจาก 3 อนุภาคจัดเรียงตัวเป็นรูปสามเหลี่ยมชิดกัน แล้วนำอนุภาคอีก 3 อนุภาคที่จัดเป็นรูปสามเหลี่ยมชิดกันอีกรูปวางซ้อนทับในทิศทางตรงกันข้าม เมื่อเราลากเส้นจากจุดกึ่งกลางของอนุภาคทั้ง 6 อนุภาค มาเชื่อมต่อกันจะได้เป็นรูปทรงแปดหน้า (Octahedral)



โครงสร้างผลึกสามัญบางชนิด (Structures of some crystalline solids)

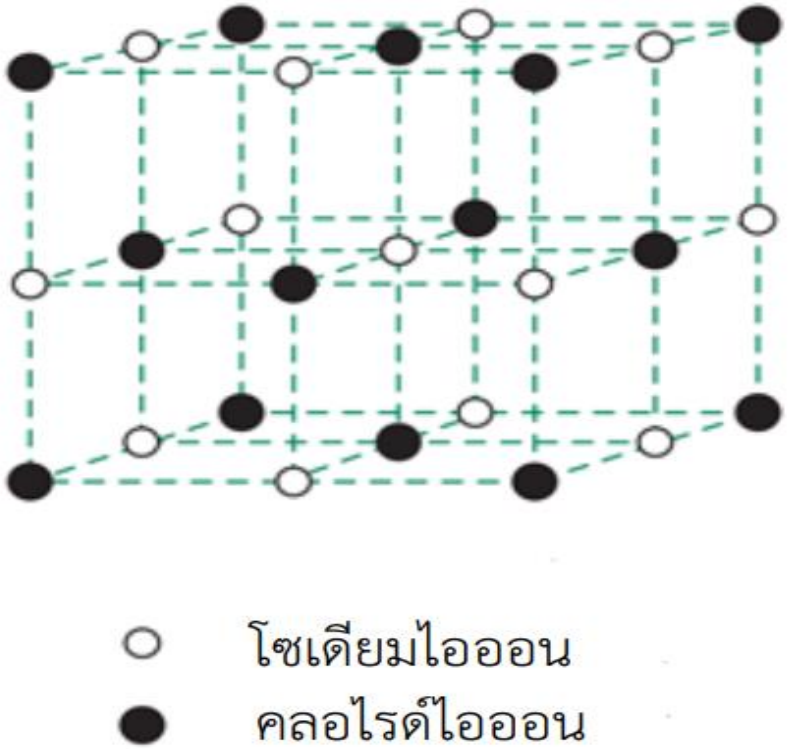
โครงสร้างผลึกของสารประกอบไอออนทั้งหมด 4 แบบ เรียกว่า โครงสร้างผลึกสามัญของแข็งไอออน คือ

1. โครงสร้างโซเดียมคลอไรด์ (Rock salt structure), NaCl
2. โครงสร้างซีเซียมคลอไรด์ (Cesium chloride structure), CsCl
3. โครงสร้างฟลูออไรต์ (Fluorite structure), CaF_2
4. โครงสร้างซิงก์เบลนด์ (Zinc-blends structure) และโครงสร้างเวิร์ตไซต์ (Wurtzite structure), ZnS

1. โครงสร้างโซเดียมคลอไรด์ (Rock salt structure), NaCl

โครงสร้างโซเดียมคลอไรด์ โดยทั่วไปเรียกว่า Rock salt structure ประกอบด้วยโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออน ซึ่งทั้งโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนมีโครงสร้างการบรรจุแบบชิดที่สุดรูปลูกบาศก์ (ccp) โดยโซเดียมไอออนขนาดเล็กจะเข้าไปอยู่ในช่องออกตะฮีดรัลที่เกิดจากคลอไรด์ไอออน ซึ่งโซเดียมไอออนล้อมรอบด้วยคลอไรด์ไอออน 6 ไอออน และคลอไรด์ไอออนล้อมรอบด้วยโซเดียมไอออน 6 ไอออนเช่นเดียวกัน จึงมีอัตราส่วนของเลขโคออร์ดิเนชันเป็น 6 : 6

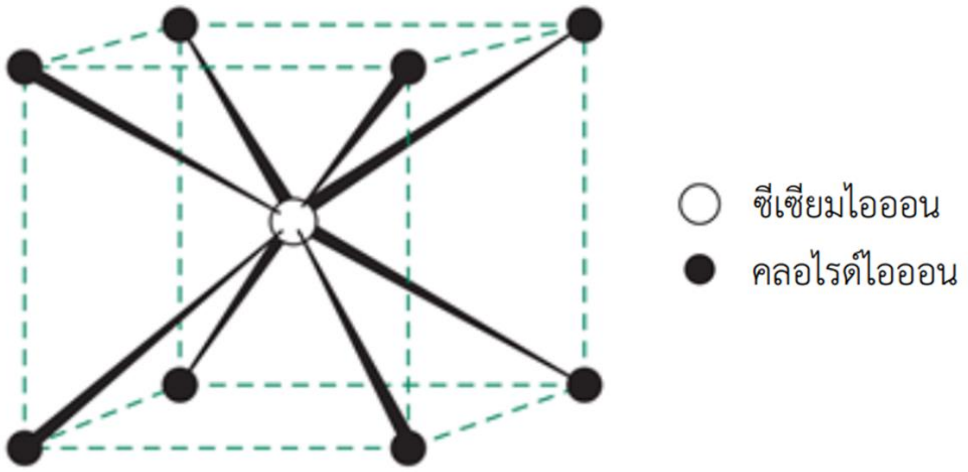
สารประกอบที่มีโครงสร้างแบบนี้ได้แก่ สารประกอบเฮไลด์ของโลหะหมู่ IA เช่น KCl KBr LiI และสารประกอบออกไซด์และซัลไฟด์ของโลหะหมู่ IIA เช่น CaO CaS เป็น



โครงสร้างโซเดียมคลอไรด์

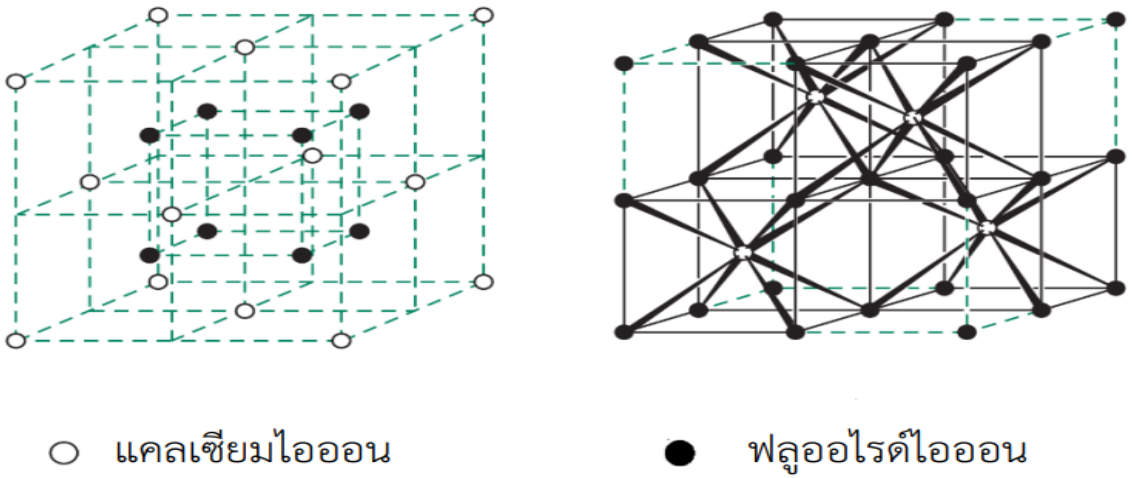
2. โครงสร้างซีเซียมคลอไรด์ (Cesium chloride structure), CsCl

โครงสร้างซีเซียมคลอไรด์ ประกอบด้วยซีเซียมไอออนและคลอไรด์ไอออน แต่ขนาดของไอออนบวกและไอออนลบมีขนาดใกล้เคียงกันจึงเป็นโครงสร้างที่บรรจุชิดที่สุดไม่ได้ซึ่งมีโครงสร้างลูกบาศก์ธรรมดา (scc) ไอออนแต่ละชนิดซ้อนหากัน และหน่วยเซลล์เป็นแบบลูกบาศก์กลางตัว โดยซีเซียมไอออนล้อมรอบด้วยคลอไรด์ไอออน 8 ไอออน และคลอไรด์ไอออนล้อมรอบด้วยซีเซียมไอออน 8 ไอออนเช่นเดียวกัน จึงมีอัตราส่วนของเลขโคออร์ดิเนชันเป็น 8 : 8 สารประกอบที่มีโครงสร้างแบบนี้ ได้แก่ CsBr CsI NH_4Cl NH_4Br เป็นต้น



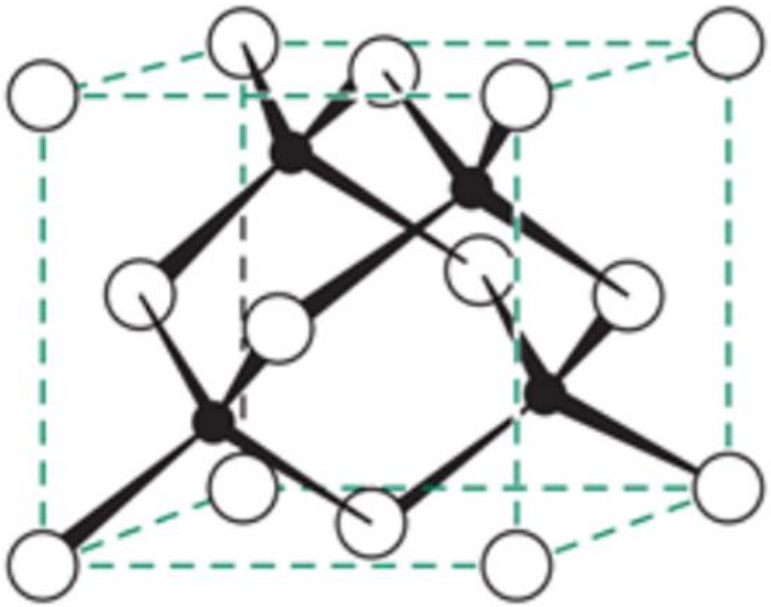
3. โครงสร้างฟลูออไรต์ (Fluorite structure), CaF_2

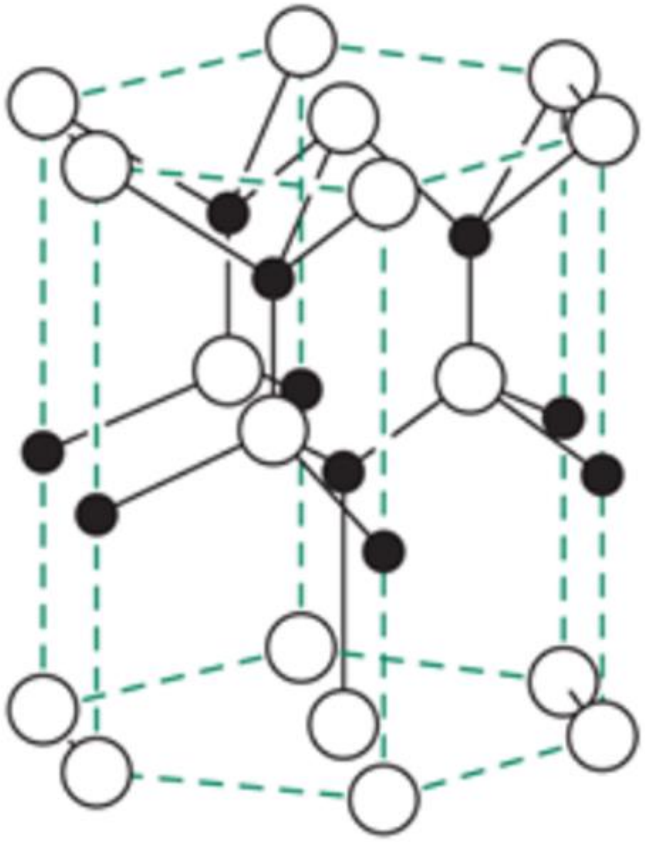
โครงสร้างฟลูออไรต์ ประกอบด้วยแคลเซียมไอออนและฟลูออไรด์ไอออน ซึ่งแคลเซียมไอออนมีโครงสร้างการบรรจุแบบชิดที่สุดรูปลูกบาศก์ (ccp) โดยมีฟลูออไรด์ไอออนเข้าไปอยู่ในช่องเตตระฮีดรัล ซึ่งแคลเซียมไอออนล้อมรอบด้วยฟลูออไรด์ไอออน 8 ไอออน และฟลูออไรด์ไอออนล้อมรอบด้วยแคลเซียมไอออน 4 ไอออน จึงมีอัตราส่วนของเลขโคออร์ดิเนชันเป็น 8 : 4 สารประกอบที่มีโครงสร้างแบบนี้เช่น BaF_2 $BaCl_2$ $SrCl_2$ CdF_2 ZrO_2 เป็นต้น



4. โครงสร้างซิงก์เบลนด์และโครงสร้างเวิร์ตไซต์ (Zinc-blends structure and Wurtzite structure, ZnS)

โครงสร้างซิงก์เบลนด์ ประกอบด้วยสังกะสีไอออนและซัลไฟด์ไอออน ซึ่งซัลไฟด์ไอออนมีโครงสร้างการบรรจุแบบชิดที่สุดรูปลูกบาศก์ (ccp) โดยมีไอออนของสังกะสีเข้าไปอยู่ในช่องเตตระฮีดรัลเพียงครึ่งหนึ่งหรือช่องเว้นช่อง ซึ่งสังกะสีไอออนล้อมรอบด้วยซัลไฟด์ไอออน 4 ไอออน และซัลไฟด์ไอออนล้อมรอบด้วยสังกะสีไอออน 4 ไอออน จึงมีอัตราส่วนของเลขโคออร์ดิเนชันเป็น 4 : 4 ทั้งไอออนของสังกะสีและของซัลไฟด์ล้อมรอบแบบทรงสี่หน้า





○ ซัลไฟด์ไอออน

● สังกะสีไอออน

(ก) ซิงก์เบลนด์

(ข) เวิร์ตไซต์