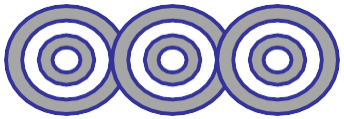


Atoms, Molecules and Ions

الذرات والجزيئات والأيونات

The Structure of the Atom

بنية الذرة

The Atomic Theory

النظرية الذرية

The modern version of atomic theory was laid by **John Dalton** in 1808, who postulated that elements are composed of extremely small particles, called atoms. The hypotheses about the nature of matter on which Dalton's atomic theory is based can be summarized as follows:

وضع جون دالتون النسخة الحديثة من النظرية الذرية عام 1808، حيث افترض أن العناصر تتكون من جسيمات صغيرة للغاية تُسمى الذرات. ويمكن تلخيص الفرضيات المتعلقة بطبيعة المادة التي تستند إليها نظرية دالتون الذرية على النحو التالي:

1. Elements are composed of extremely small particles called atoms.

تتكون العناصر من جسيمات صغيرة للغاية تسمى الذرات

2. All atoms of a given element are identical, having the same size, mass and chemical properties. The atoms of one element are different from the atoms of all other elements.

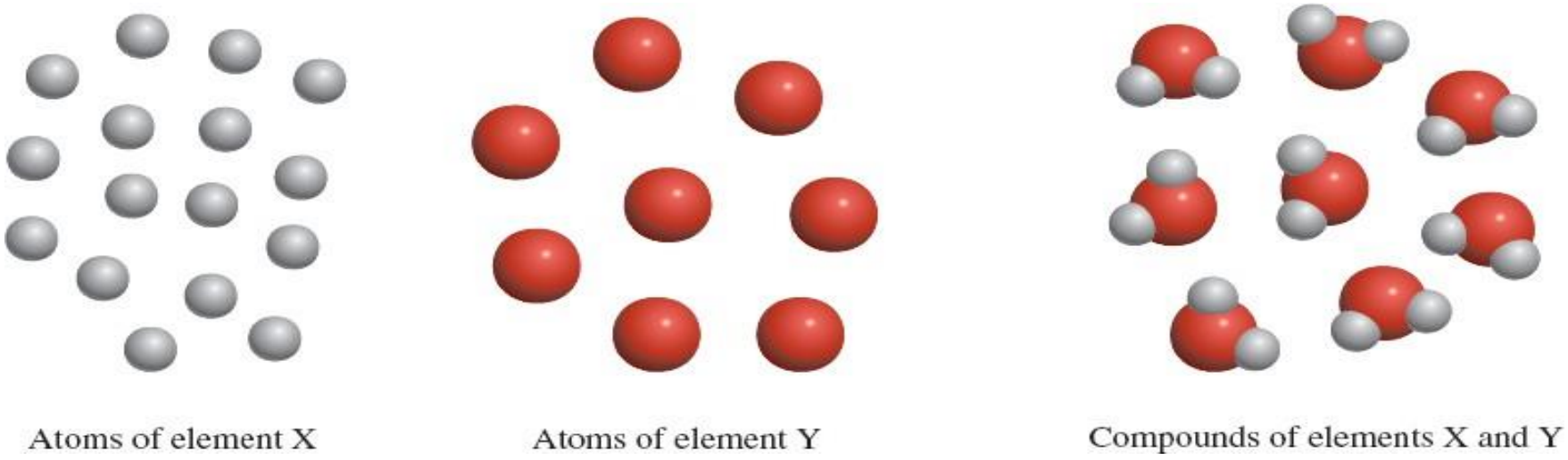
جميع ذرات عنصر معين متطابقة، ولها نفس الحجم والكتلة والخواص الكيميائية. تختلف ذرات عنصر واحد عن ذرات جميع العناصر الأخرى

3. Compounds are composed of atoms of more than one element.

تتكون المركبات من ذرات أكثر من عنصر واحد

4. A chemical reaction involves only the separation, combination or rearrangement of atoms; it does not result in their creation or destruction (law of conservation of mass, matter can be neither created nor destroyed).

لا يتضمن التفاعل الكيميائي سوى فصل الذرات أو دمجها أو إعادة ترتيبها؛ فهو لا يؤدي إلى خلقها أو تدميرها (قانون حفظ الكتلة، لا يمكن خلق المادة ولا تدميرها).



Atoms of element X

Atoms of element Y

Compounds of elements X and Y

Different compounds made up of the same elements differ in the number of atoms of each kind that combine.

مركبات مختلفة تتكون من نفس العناصر

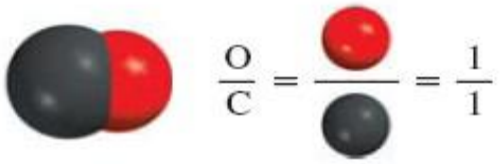
وتختلف في عدد الذرات من كل نوع

e.g., carbon forms two stable compounds with oxygen, namely, carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO_2). Thus, the ratio of oxygen in CO to oxygen in CO_2 is 1:2.

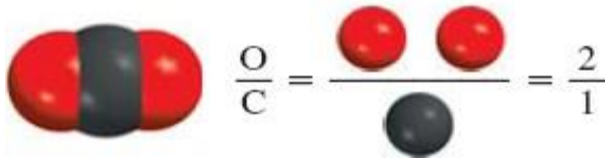
على سبيل المثال، يشكل الكربون مركبين مستقرين مع الأكسجين، وهما أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون

وبالتالي، فإن نسبة الأكسجين في أول أكسيد الكربون إلى الأكسجين في ثاني أكسيد الكربون هي 1:2

Carbon monoxide



Carbon dioxide



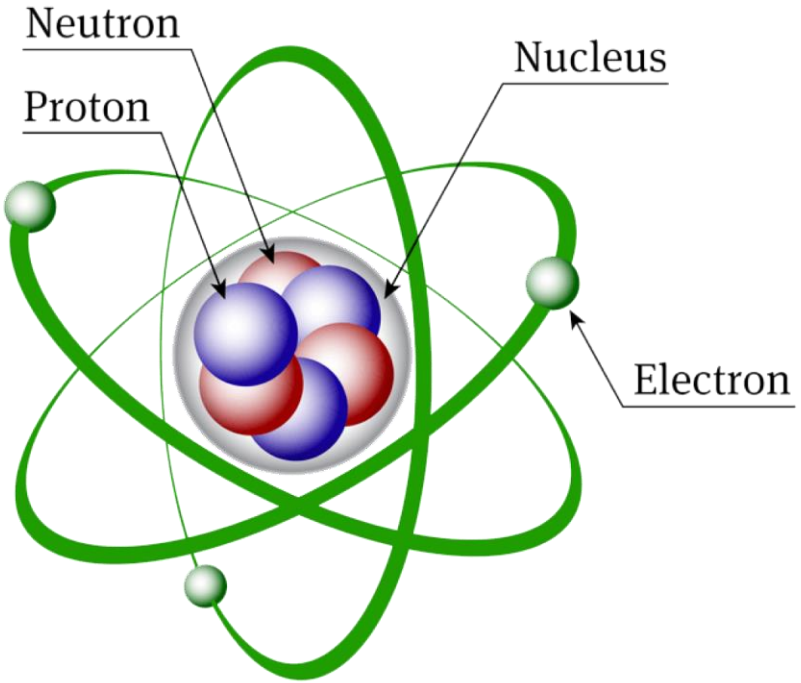
Ratio of oxygen in carbon monoxide to oxygen in carbon dioxide: 1:2

The Structure of the Atom

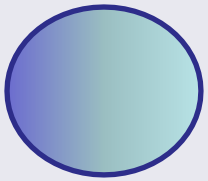
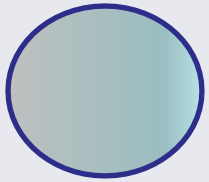
بنية الذرة

Atoms are made up of even smaller particles, which are called **subatomic particles**; **electrons**, **protons** and **neutrons**.

تتكون الذرات من جسيمات أصغر تسمى الجسيمات دون الذرية؛ الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات



Subatomic particles الجسيمات دون الذرية

Particle	Electron	Proton	Neutron
Symbol	e^- or e	p^+ or p	n^0 or n
Relative size	size exaggerated		
Actual mass (g)	9.10938×10^{-28}	1.67262×10^{-24}	1.67493×10^{-24}
Mass relative to a proton	1/1836 (0.000545) almost zero	1	1.00138
Mass relative to an electron	1	1836	1839
Charge (Coulomb)	-1.6022×10^{-19}	$+1.6022 \times 10^{-19}$	0
Charge unit (relative charge)	-1	+1	0
Location	Outside nucleus (orbitals)	Inside nucleus	Inside nucleus

Atomic Number, Mass Number & Isotopes

العدد الذري، العدد الكتلي، والنظائر

Atomic Number

العدد الذري

All atoms can be identified by the number of protons and neutrons they contain.

يمكن تحديد جميع الذرات من خلال عدد البروتونات والنيوترونات التي تحتوي عليها

The atomic number (Z) is the **number of protons** in the nucleus of each atom of an element. In a neutral atom the number of protons is equal to the number of electrons, so the atomic number also indicates the number of electrons present in the atom.

العدد الذري Z هو عدد البروتونات في نواة كل ذرة من ذرات العنصر. في الذرة المتعادلة، يتساوى عدد البروتونات مع عدد الإلكترونات، لذا يشير العدد الذري أيضًا إلى عدد الإلكترونات الموجودة في الذرة

The chemical identity of an atom can be determined from its atomic number.

يمكن تحديد الهوية الكيميائية للذرة من خلال عددها الذري

e.g., the atomic number of fluorine is 9. This means that each fluorine atom has 9 protons and 9 electrons.

على سبيل المثال، العدد الذري للفلور هو
وهذا يعني أن كل ذرة فلور تحتوي على 9 بروتونات و9 إلكترونات

Mass Number

الرقم الكتلي

The mass number (A) is the total number of neutrons and protons present in the nucleus of an atom of an element. **Except** for the most common form of hydrogen, which has one proton and no neutrons, all atomic nuclei contain both protons and neutrons. In general, the mass number is given by

العدد الكتلي A هو العدد الإجمالي للنيوترونات والبروتونات الموجودة في نواة ذرة عنصر ما. باستثناء الهيدروجين، وهو الشكل الأكثر شيوعًا، والذي يحتوي على بروتون واحد ولا يحتوي على نيوترونات، فإن جميع نوى الذرات تحتوي على كل من البروتونات والنيوترونات. وبشكل عام، يُعطى العدد الكتلي بالصيغة التالية

mass number = number of protons + number of neutrons
= atomic number + number of neutrons

Protons and neutrons are collectively called *nucleons*.

تسمى البروتونات والنيوترونات مجتمعةً بالنيوكليونات

The number of neutrons in an atom is equal to the difference between the mass number and the atomic number, or (A - Z).

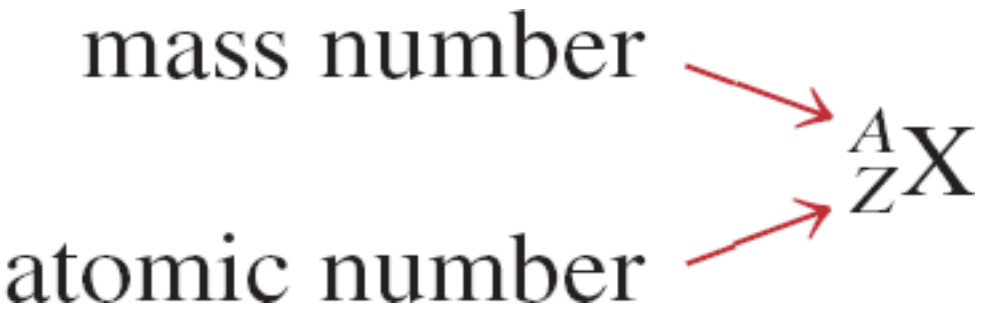
عدد النيوترونات في الذرة يساوي الفرق بين العدد الكتلي والعدد الذري، أو (A – Z)

e.g., if the mass number of a particular boron atom is 12 and the atomic number is 5 (indicating 5 protons in the nucleus), then the number of neutrons is 12 - 5 = 7.

على سبيل المثال، إذا كان العدد الكتلي لذرة بورون معينة هو 12 والعدد الذري هو 5 (مما يشير إلى وجود 5 بروتونات في النواة)، فإن عدد النيوترونات هو 12 - 5 = 7

The accepted way to denote the atomic number and mass number of an atom of an element (X) is as follows:

الطريقة المقبولة لتمثيل العدد الذري والعدد الكتلي لذرة عنصر X هي كما يلي



Note that all three quantities (atomic number, number of neutrons, and mass number) must be positive integers, or whole numbers.

لاحظ أن الكميات الثلاث (العدد الذري، وعدد النيوترونات، والعدد الكتلي) يجب أن تكون أعدادًا صحيحة موجبة، أو أعدادًا كاملة.

Isotopes

النظائر

Isotopes are atoms that have the same atomic number but different mass numbers due to the difference in neutron number.

النظائر هي ذرات لها نفس العدد الذري ولكن أعداد كتلية مختلفة بسبب الاختلاف في عدد النيوترونات.

e.g., there are three isotopes of hydrogen.

- One, simply known as hydrogen, has one proton and no neutrons.
- The deuterium isotope contains one proton and one neutron,
- and tritium has one proton and two neutrons.

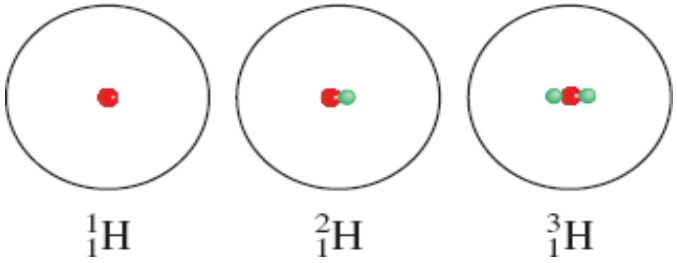
على سبيل المثال، يوجد ثلاثة نظائر للهيدروجين.
أحدها، المعروف ببساطة باسم الهيدروجين، يحتوي على بروتون واحد ولا يحتوي على نيوترونات.
يحتوي نظير الديوتيريوم على بروتون واحد ونيوترون واحد،
أما التريتيوم فيحتوي على بروتون واحد ونيوترونين.

Thus, for the isotopes of hydrogen, we write

وهكذا، بالنسبة لنظائر الهيدروجين، نكتب

$^{1}_{1}\mathrm{H}$ $^{2}_{1}\mathrm{H}$ $^{3}_{1}\mathrm{H}$

hydrogen deuterium tritium



As another example, consider two common isotopes of uranium with mass numbers of 235 and 238, respectively:

كمثال آخر، لنأخذ في الاعتبار نظيرين شائعين لليورانيوم بأعداد كتلية تبلغ 235 و238 على التوالي:

$^{235}_{92}\mathrm{U}$ $^{238}_{92}\mathrm{U}$

The Periodic Table

الجدول الدوري

Periodic Table of the Elements

الجدول الدوري للعناصر

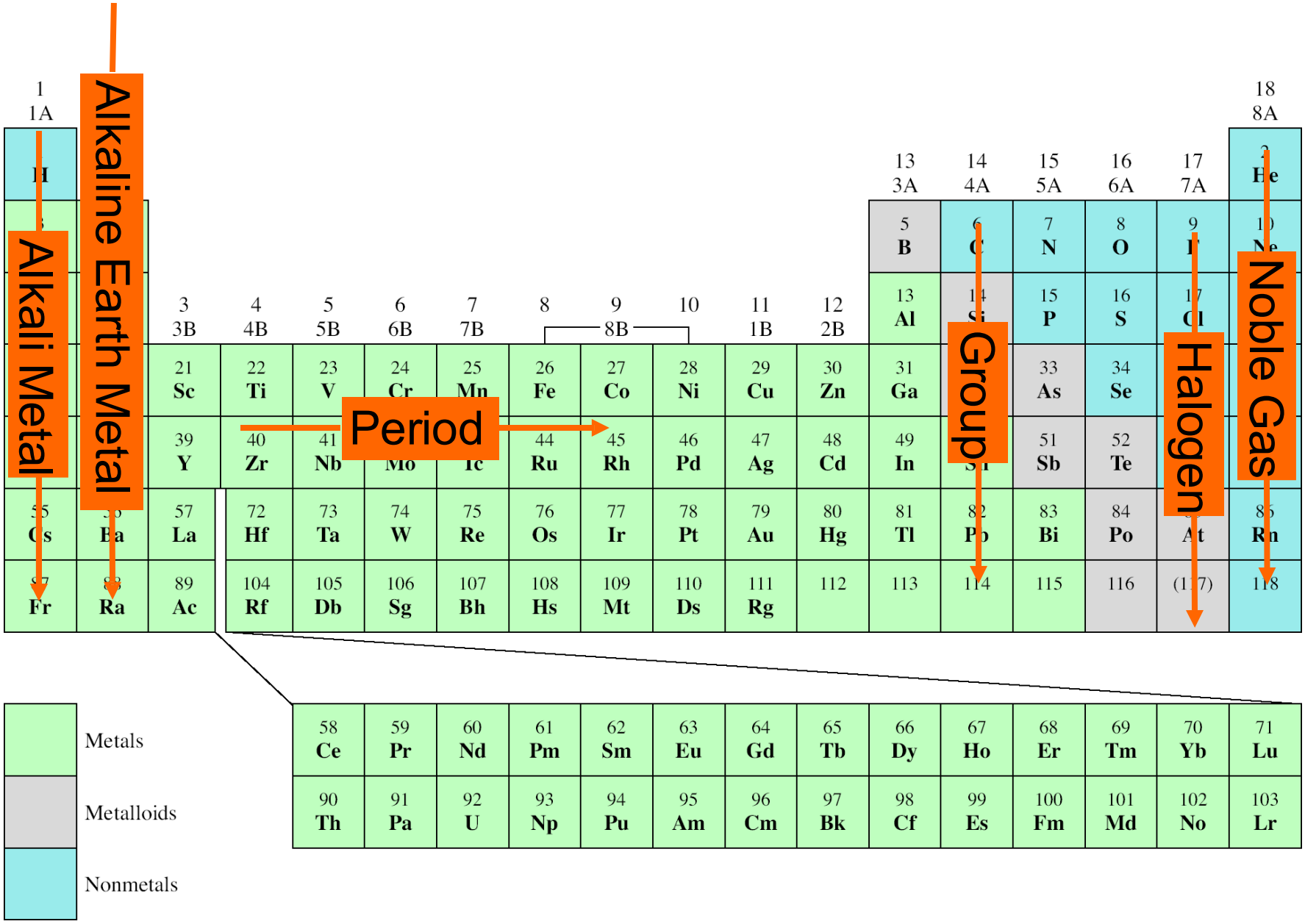
1 1A												13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	18 8A
1 H	2 2A																2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8	9 8B	10	11 1B	12 2B	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	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	112	113	114	115	116	(117)	118

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
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

Metals

Metalloids

Nonmetals


Alkaline Earth Metal
Alkali Metal
Period
Group
Halogen
Noble Gas
Metals
Metalloids
Nonmetals

* **Periodic table** is a chart in which elements having similar chemical and physical properties are grouped together.

الجدول الدوري هو مخطط يتم فيه تجميع العناصر ذات الخصائص الكيميائية والفيزيائية المتشابهة معًا

- Elements are arranged by atomic number in horizontal rows called **periods** and in vertical columns known as **groups** or families, according to similarities in their chemical properties.

يتم ترتيب العناصر حسب العدد الذري في صفوف أفقية تسمى دورات وفي أعمدة رأسية تُعرف باسم مجموعات أو عائلات، وفقًا لأوجه التشابه في خصائصها الكيميائية

- . The elements can be divided into three categories; metals, nonmetals and metalloids

يمكن تقسيم العناصر إلى ثلاث فئات: الفلزات، واللافلزات، وأشباه الفلزات

- A metal is a good conductor of heat and electricity while a nonmetal is usually a poor conductor of heat and electricity. A metalloid has properties that are intermediate between those of metals and nonmetals.

المعدن موصل جيد للحرارة والكهرباء، بينما اللافلزات عادةً ما تكون موصلة رديئة للحرارة والكهرباء. أما أشباه الفلزات فلها خصائص متوسطة بين خصائص المعادن واللافلزات.

- Elements are often referred to collectively by their periodic table group number (Group 1A, Group 2A, and so on). However, some element groups have been given special names.

غالباً ما يُشار إلى العناصر بشكل جماعي برقم مجموعتها في الجدول الدوري (المجموعة A1، المجموعة A2، وهكذا). ومع ذلك، فقد أُعطيت بعض مجموعات العناصر أسماءً خاصة.

Group 1A elements are called **alkali metals**
Group 2A elements are called **alkaline earth metals**
Group 7A elements are known as **halogens**
Group 8A elements are called **noble gases**, or **rare gases**.

تُسمى عناصر المجموعة A 1 بالفلزات القلوية.
تُسمى عناصر المجموعة A 2 بالفلزات القلوية الترابية.
تُعرف عناصر المجموعة A 7 بالهالوجينات.
تُسمى عناصر المجموعة A 8 بالغازات النبيلة أو الغازات النادرة.

* The 1–18 group designation has been recommended by the IUPAC, but the standard U.S. notation for group numbers (1A–8A and 1B–8B) is most widely used.

أوصى الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية IUPAC بتسمية المجموعات من 1 إلى 18، ولكن التدوين الأمريكي القياسي لأرقام المجموعات (من 1 A إلى 8 A ومن 1 B إلى 8 B هو الأكثر استخدامًا على نطاق واسع

Molecules and Ions

الجزيئات والأيونات

Molecules

الجزيئات

A **molecule** is an aggregate of at least two atoms in a definite arrangement held together by chemical forces (also called chemical bonds).

الجزيء هو مجموعة من ذرتين على الأقل في ترتيب محدد مترابطة معًا بواسطة قوى كيميائية (تسمى أيضًا الروابط الكيميائية).

A molecule may contain atoms of the same element or atoms of two or more elements joined in a fixed ratio.

قد يحتوي الجزيء على ذرات من نفس العنصر أو ذرات من عنصرين أو أكثر مرتبطة بنسبة ثابتة

A compound, is made up of two or more elements. Thus, all compounds are molecules but not all molecules are compounds.

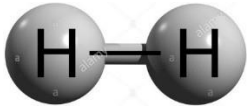
المركب يتكون من عنصرين أو أكثر. لذا، جميع المركبات جزيئات، ولكن ليس كل الجزيئات مركبات.

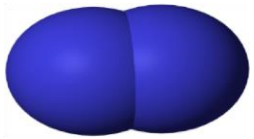
Like atoms, molecules are electrically neutral.

مثل الذرات، الجزيئات متعادلة كهربائياً

e.g., **Hydrogen gas (H_2)**; is a pure element,
but it consists of molecules made up of two H atoms each.

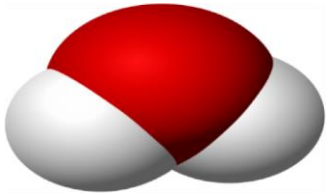
مثال: غاز الهيدروجين H2؛ هو عنصر نقي،
ولكنه يتكون من جزيئات تتألف كل منها من ذرتي هيدروجين.





e.g., **Water (H_2O)**; is a molecular compound that contains hydrogen and oxygen in a ratio of two H atoms and one O atom.

على سبيل المثال، الماء H2O؛ هو مركب جزيئي يحتوي على الهيدروجين والأكسجين بنسبة ذرتين من الهيدروجين وذرة واحدة من الأكسجين.

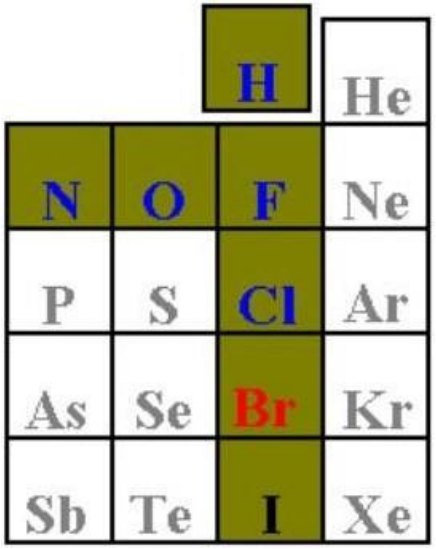


Diatomic molecules

الجزيئات ثنائية الذرة

The hydrogen molecule (H_2), is called a diatomic molecule because it contains only two atoms. Other elements that normally exist as diatomic molecules are nitrogen (N_2) and oxygen (O_2), as well as the Group 7A elements; fluorine (F_2), chlorine (Cl_2), bromine (Br_2), and iodine (I_2).

A diatomic molecule can contain atoms of different elements. e.g., hydrogen chloride (HCl) and carbon monoxide (CO).

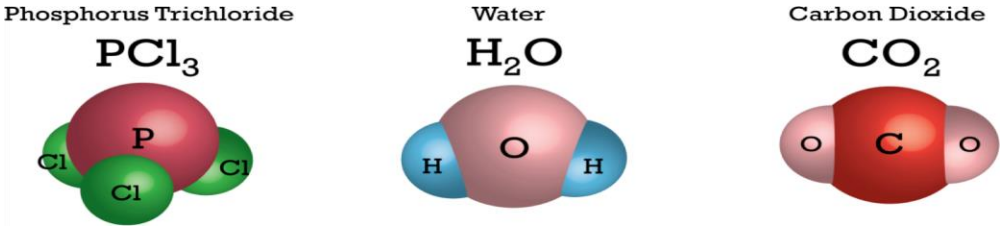


The seven diatomic molecules

Polyatomic molecules

الجزيئات متعددة الذرات

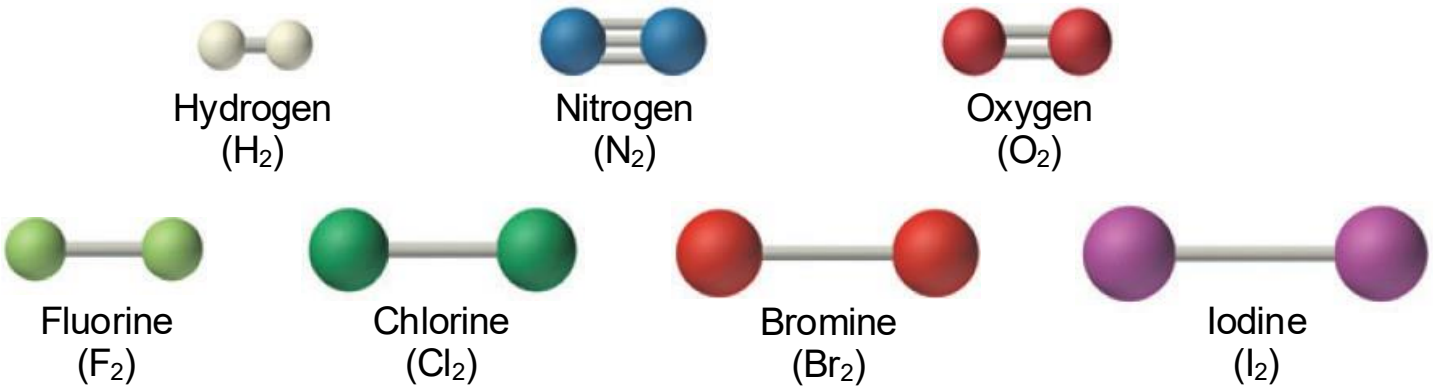
The vast majority of molecules contain more than two atoms. They can be atoms of the same element, as in ozone (O_3), which is made up of three atoms of oxygen, or they can be combinations of two or more different elements. Molecules containing more than two atoms are called **polyatomic molecules.** Like ozone, water (H_2O) and ammonia (NH_3) are polyatomic molecules.



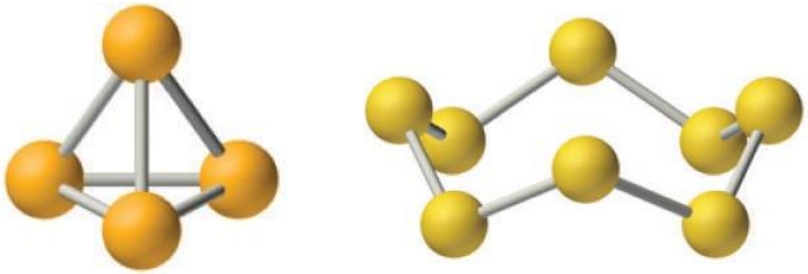
Homonuclear molecules

الجزيئات المتجانسة

Molecules composed of only one type of element. Homonuclear molecules may consist of various numbers of atoms. Homonuclear diatomic molecules include H_2, O_2, N_2 and all of the halogens (F_2, Cl_2, Br_2 and I_2). Ozone (O_3) is a triatomic homonuclear molecule. Homonuclear tetratomic molecules include arsenic (As_4) and phosphorus (P_4).



Diatomic molecules



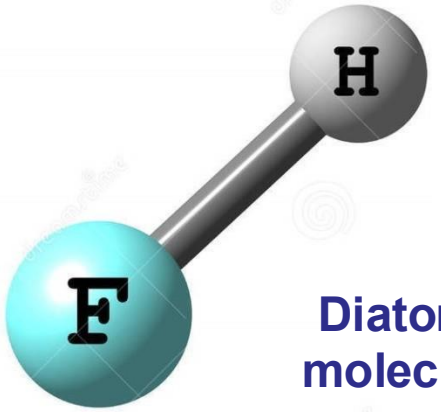
Polyatomic molecules

Heteronuclear molecules

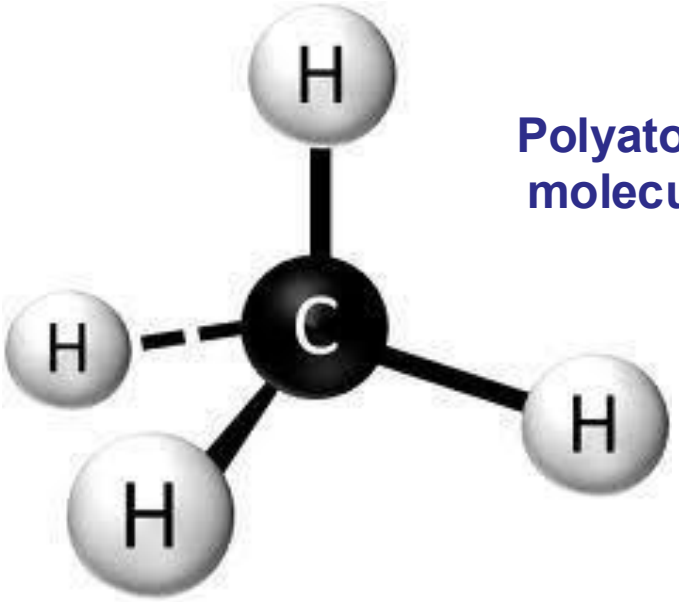
الجزيئات غير المتجانسة

Molecules composed of more than one type of element.

e.g., HCl, HF and CO are diatomic heteronuclear molecules. e.g., CO_2, CH_4 and NH_3 are polyatomic heteronuclear molecules.



Diatomic molecules



Polyatomic molecules

Ions

الايونات

An **ion** is an atom or a group of atoms that has a net positive or negative charge.

The number of positively charged **protons** in the nucleus of an atom remains the same during ordinary chemical changes (chemical reactions), but negatively charged **electrons** may be lost or gained.

The loss of one or more electrons from a neutral atom results in a **cation,** an ion with a net positive charge. e.g., a sodium atom (Na) can readily lose an electron to become a sodium cation, Na^+:

Na Atom	Na^+ Ion
11 protons	11 protons
11 electrons	10 electrons

Cl Atom	Cl^- Ion
17 protons	17 protons
17 electrons	18 electrons

On the other hand, an **anion** is an ion whose net charge is negative due to an increase in the number of electrons. A chlorine atom (Cl), for instance, can gain an electron to become the chloride ion, Cl^-:

Sodium chloride (NaCl), ordinary table salt, is called an **ionic compound** because it is formed from cations and anions.

An atom can lose or gain more than one electron. Examples of ions formed by the loss or gain of more than one electron are Mg^{2+}, Fe^{3+}, S^{2-} and N^{3-}. These ions are called **Monatomic ions** because they contain only one atom.

Metals tend to form **cations** and **nonmetals** form **anions**.

In addition, two or more atoms can combine to form an ion that has a net positive or net negative charge. **Polyatomic ions** such as OH^- (hydroxide ion), CN^- (cyanide ion), and NH_4^+ (ammonium ion) are ions containing more than one atom.

Common Polyatomic Ions		
Ammonium NH_4^+	Nitrate NO_3^-	Thiocyanate SCN^-
Acetate CH_3COO^- or $C_2H_3O_2^-$	Nitrite NO_2^-	Thiosulfate $S_2O_3^{2-}$
Bromate BrO_3^-	Hydroxide OH^-	Hypochlorite ClO^-
Carbonate CO_3^{2-}	Perchlorate ClO_4^-	Sulfate SO_4^{2-}
Chlorate ClO_3^-	Periodate IO_4^-	Sulfite SO_3^{2-}
Chlorite ClO_2^-	Permanganate MnO_4^-	Iodate IO_3^-
Chromate CrO_4^{2-}	Peroxide O_2^{2-}	Silicate SiO_4^{4-}
Cyanide CN^-	Phosphate PO_4^{3-}	Oxalate $C_2O_4^{2-}$
Dichromate $Cr_2O_7^{2-}$	Phosphite PO_3^{3-}	Hydrogen carbonate HCO_3^-

Chemical Formulas

الصيغ الكيميائية

Molecular Formulas

الصيغ الجزيئية

A **molecular formula** shows the exact number of atoms of each element in the smallest unit of a substance. The molecular formula tells us the actual number of atoms in a molecule.

تُظهر الصيغة الجزيئية العدد الدقيق لذرات كل عنصر في أصغر وحدة من المادة. وتخبرنا الصيغة الجزيئية بالعدد الفعلي للذرات في الجزيء.

e.g., $\mathbf{H_2}$ is the molecular formula for hydrogen, $\mathbf{O_2}$ is oxygen, $\mathbf{O_3}$ is ozone, and $\mathbf{H_2O}$ is water. The subscript numeral indicates the number of atoms of an element present. There is no subscript for **O** in $\mathbf{H_2O}$ because there is only one atom of oxygen in a molecule of water, and so the number “one” is omitted from the formula.

على سبيل المثال، H2 هي الصيغة الجزيئية للهيدروجين، و O2 هي الأكسجين، و O3 هي الأوزون، و H2O هي الماء. يشير الرقم السفلي إلى عدد ذرات العنصر الموجود. لا يوجد رقم سفلي للأكسجين في H2O لأن جزيء الماء يحتوي على ذرة أكسجين واحدة فقط، ولذلك يُحذف الرقم "واحد" من الصيغة.

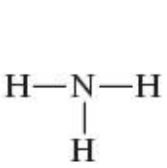
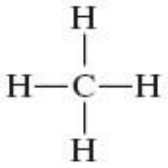
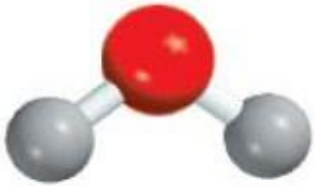
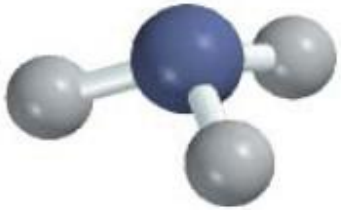
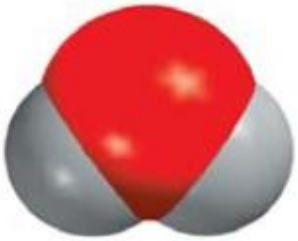
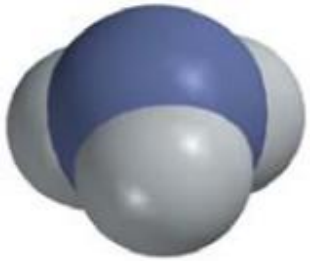
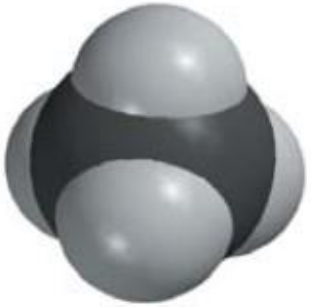
The **structural formula** shows how atoms are bonded to one another in a molecule.

توضح الصيغة البنائية كيفية ارتباط الذرات ببعضها البعض في الجزيء

e.g., it is known that each of the two **H** atoms is bonded to an **O** atom in the water molecule. Therefore, the structural formula of water is **H—O—H**. A line connecting the two atomic symbols represents a chemical bond.

على سبيل المثال، من المعروف أن كل ذرة من ذرتي الهيدروجين في جزيء الماء مرتبطة بذرة أكسجين. لذلك، فإن الصيغة البنائية للماء هي H—O—H. ويمثل الخط الواصل بين رمزي الذرتين رابطة كيميائية.

Molecular Models

	Hydrogen	Water	Ammonia	Methane
Molecular formula	H_2	H_2O	NH_3	CH_4
Structural formula	H—H	H—O—H		
Ball-and-stick model				
Space-filling model				

Molecular and structural formulas and molecular models of four common molecules

Empirical Formulas

الصيغ التجريبية

Empirical formulas are the simplest chemical formulas; they are written by reducing the subscripts in the molecular formulas to the smallest possible whole numbers.

Molecular formulas are the true formulas of molecules. If we know the molecular formula, we also know the empirical formula, but the reverse is not true.

e.g.,

Molecular formula	Empirical formula
H_2O_2	HO
N_2H_4	NH_2
C_6H_{14}	C_3H_7
H_2O	H_2O
CH_4	CH_4

e.g., Glucose ($C_6H_{12}O_6$), ribose ($C_5H_{10}O_5$), acetic acid ($C_2H_4O_2$), and formaldehyde (CH_2O) all have different molecular formulas but the same empirical formula: CH_2O.

EXAMPLE

Write the empirical formulas for the following molecules:

(a) acetylene (C_2H_2), which is used in welding torches
Solution: CH

(b) glucose ($C_6H_{12}O_6$), a substance known as blood sugar
Solution: CH_2O

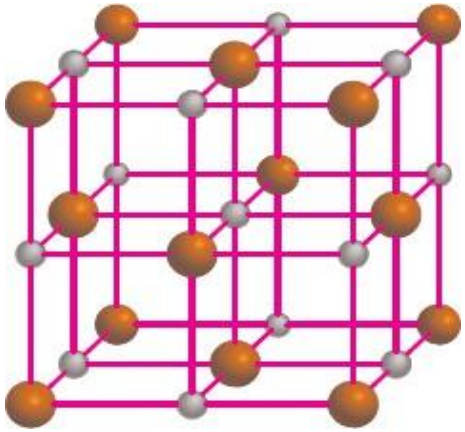
(c) nitrous oxide (N_2O), a gas that is used as an anesthetic gas “laughing gas” and as an aerosol propellant for whipped creams.
Solution: N_2O (the empirical formula for nitrous oxide is the same as its molecular formula).

Formula of Ionic Compounds

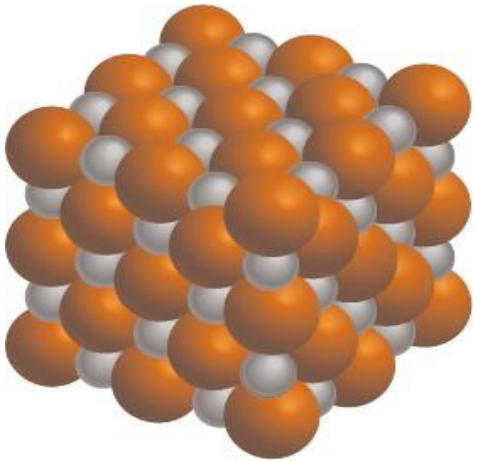
صيغة المركبات الأيونية

Ionic compounds are chemical compounds composed of ions held together by electrostatic forces termed ionic bonding. The compound is neutral overall, but consists of positively charged ions called **cations** and negatively charged ions called **anions**.

e.g., a solid sample of sodium chloride (NaCl) consists of equal numbers of Na^+ and Cl^- ions arranged in a three-dimensional network. In such a compound there is a 1:1 ratio of cations to anions so that the compound is electrically neutral.



Structure of solid NaCl



In reality, the cations are in contact with the anions

Crystals of NaCl

The smaller spheres represent Na^+ ions and the larger spheres, Cl^- ions.

The arrangement of cations and anions is such that the compounds are all electrically neutral. For ionic compounds to be electrically neutral, the sum of the charges on the cation and anion in each formula unit must be zero.

Potassium Bromide

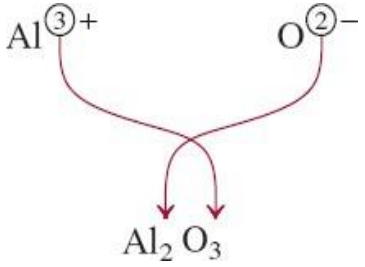
Potassium cation K^+ and bromine anion Br^- combine to form the ionic compound potassium bromide. The sum of the charges is +1 + (-1) = 0, so no subscripts are necessary. The formula is KBr.

Zinc Iodide

Zinc cation Zn^{2+} and iodine anion I^- combine to form zinc iodide. The sum of the charges of one Zn^{2+} ion and one I^- ion is +2 + (-1) = +1. To make the charges add up to zero we multiply the -1 charge of the anion by 2 and add the subscript "2" to the symbol for iodine. Therefore the formula for zinc iodide is ZnI_2.

Aluminum Oxide

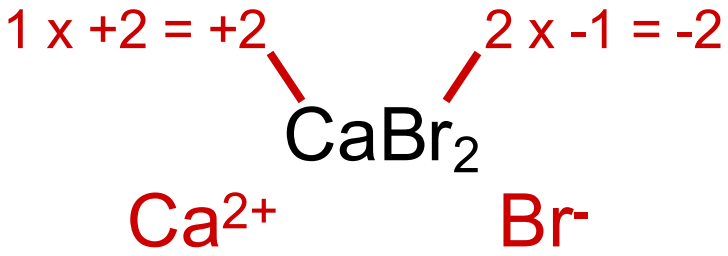
The cation is Al^{3+} and the oxygen anion is O^{2-}. The following diagram helps to determine the subscripts for the compound:



The sum of the charges is 2(+3) + 3(-2) = 0.
Thus, the formula for aluminum oxide is Al_2O_3.

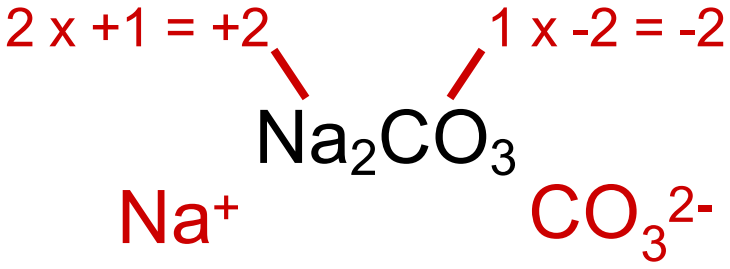
EXAMPLES

Calcium Bromide



+2 + (-2) = 0

Sodium Carbonate



+2 + (-2) = 0

EXAMPLE

Write the formula of magnesium nitride, containing the Mg^{2+} and N^{3-} ions.

$3 \times (+2) + 2 \times (-3) = 0$