الباب
الثاني

obeikandl.com

الباب الثاني

الذرات والجزيئات والأيونات

Atoms, Molecules and Ions

تعد الذرة وحدة البناء للمادة، ومن الذرات تتكون الجزيئات والأيونات وسنتطرق في هذا الباب إلى دراسة تفصيلية للمكونات الأساسية للمادة. سنتطرق إلى القوانين الرئيسية التي تُعرِّفُنا بالذرة ذلك الجسيم الدقيق فنتوصل بذلك إلى حقيقتها، بل أجزائها ومكوناتها وتركيباتها المختلفة، وسنعرف أن الجمع بين الذرات ينتج عنه جسيمات أكبر حجمًا، تسمى بالجزيئات أو الأيونات، وهي الأساس في علم الكيمياء، حتى يتسنى لنا الفهم العميق للتفاعلات الكيميائية فيما بعد.

2-1 القوانين الأساسية والنظرية الذرية:

(Fundamental laws and Atomic Theory)

استطاع علماء الإغريق قبل الميلاد بعدة سنوات أن يتوصلوا إلى أن المادة تتكون من جسيمات صغيرة مترابطة ببعضها. فظهر العالم ديمقرايتس (Democritus) وأطلق على هذه الجسيمات الصغيرة اسم ذرات (atoms). بدأت أول اكتشافات الكيمياء في أواخر القرن الثامن عشر بدراسة عمليات الاحتراق فاكتشفت بعض الغازات كالأكسجين وثاني أكسيد الكربون. بدأ علم الكيمياء في التطور باكتشافات العالم الفرنسي لافوزير (Antonie Lavoisier) بتجاربه الكيميائية الكمية (quantitative) فتوصل إلى قانون حفظ الكتلة (Law of conservation of mass) الذي ينص على أن كتلة المواد الناتجة عند التفاعل تساوي كتلة المواد المتفاعلة.

obeikandl.com

تبع ذلك اكتشاف العالم الفرنسي أيضًا جوزيف براوست (Joseph Proust) قانون النسب الثابتة (Law of definite proportions) الذي ينص أن المركب دائمًا يحتوي على عناصره وبنسبٍ وزنية ثابتة.

تتبع العالم البريطاني جون دالتون (John Dalton) هذه الاكتشافات، فخرج باكتشاف قانون النسب المتضاعفة (Law of multiple proportions) الذي ينص على أنه في حالة تكوين سلسلة من المركبات نتيجة اتحاد عنصرين مختلفين، فإن لنسب الوزنية للعنصر الثاني المتحد مع 1 جرام من العنصر الأول تتناقص لتصبح أعدادًا بسيطة وصحيحة. وعلى سبيل المثال يتحد 1.5 جرام كربون مع 1.33 و 2.66 جرام أكسجين وبتطبيق القانون تكون النسبة كما يلي:

1.33 : 1 أي 1:1 ويصبح المركب هو (CO) أول أكسيد الكربون - أما في الحالة الثانية فالنسبة هي 2.66 :1 ويصبح المركب هو (CO_2) أي ثاني أكسيد الكربون. توصل دالتون إلى أن هذا القانون يمكنه التوصل إلى عدد ذرات العنصر المتحدة مع العنصر الآخر بل برهن بذلك على أن المركب عبارة عن اتحاد ذرات عناصر وبنسب مختلفة.

نظرية دالتون

وضع دالتون نظريته بعد افتراضات نلخصها فيما يلي:

١- يتكون العنصر من جسيمات صغيرة جداً تسمى بالذرات.

٢- تتشابه ذرات العنصر الواحد في تركيبها وخواصّها عن ذرات العناصر الأخرى في التركيب والخواص بطريقة أو بأخرى.

٣- تتكون المركبات الكيميائية عند اتحاد الذرات ببعضها البعض - هذا فالمركب

الواحد يتكون دائمًا بنفس العدد من الذرّات الداخلة في تركيبه فمثلاً: تتحد ذرتين من الهيدروجين مع ذرة من الأكسجين لتكوين الماء.

٤- يحدث عند التفاعلات الكيميائية إعادة ترتيب للذرات وطريقة اتحادها ببعضها البعض دون تغيير في نوعية الذرات.

2-2 مكونات الذرة:

بتجارب علمية مثبتة فقد بيَّن العلماء أن الذرة تتكون من ثلاثة جسيمات صغيرة وهي البروتون (proton)، النيوترون (neotron) والإلكترون (electron).

أ- البروتون:

هو جسيم صغير شحنته النسبية موجبة (+١) وقيمتها الحقيقية تساوي (1.602×10^{-19}) كولوم (Coulombs) وكتلته النسبية (1.0) والحقيقية (1.672×10^{-24}) جرام. يتواجد البروتون داخل نواة الذرة.

ب- النيوترون:

هو جسيم صغير شحنتيه النسبية (صفر) أي متعادلة وقيمتها الحقيقية تساوي صفراً أيضاً. أما كتلته النسبية فهي (1.0) والحقيقية (1.6750×10^{-24}) جرام. يتواجد النيوترون داخل النواة أيضاً.

جـ- الإلكترون:

هو جسيم صغير سالب الشحنة (-1) وشحنته الحقيقية تساوي (1.6022×10^{-19}) كولوم وكتلته النسبية (0.00055) بينما الكتلة الحقيقية أصغر من كتلة كل من البروتون والنيوترون وهي (9.1095×10^{-28}) جرام. يتواجد الإلكترون في مدارات محددة خارج نواة الذرة.

obeikandl.com

العدد الذري: (Atomic number)

العدد الذري هو عدد البروتونات الموجودة داخل ذرة العنصر ويُعد صفة عددية مميزة لكل عنصر ويساوي نفس عدد البروتونات الموجودة في الذرة الواحدة. وإذا تساوى عدد بروتونات الذرة مع عدد الإلكترونات فيها أطلق عليها الذرة متعادلة الشحنة. إن العدد الذري هو أساس ترتيب العناصر في الجدول الدوري حيث يبدأ بعنصر الهيدروجين وعدده الذري واحد حيث إن ذرة الهيدروجين بها بروتون واحد يدور حوله إلكترون واحد.

العدد الكتلي : (Mass number)

العدد الكتلي هو صفة عددية للعنصر، ويساوي مجموع عدد البروتونات والنيوترونات في الذرة الواحدة، حيث إن العدد الكتلي لكل من البروتون والنيوترون هو واحد.

وعلى سبيل المثال فإن ذرة عنصر الكالسيوم (Ca) يحتوي على (20) بروتونًا و(20) نيوترونًا وعليه فإن العدد الكتلي للكالسيوم هو (40).

لقد ثبت أن ذرات العنصر الواحد تحتوي على نفس العدد من البروتونات وبالتالي لها نفس العدد الذري. وليس بالضرورة أن تحمل كل ذرات العنصر نفس العدد من النيوترونات، أي أن النيوترونات قد تختلف عددًا لنفس العنصر، وفي هذه الحالة يكون للعنصر الواحد عدد ذري واحد لكل الذرات، بينما يتباين العدد الكتلي للذرات. إن الذرات التي تحمل نفس عدد البروتونات ولكن يختلف عدد النيوترونات فيها تسمى بالنظائر (isotopes) فعلى سبيل المثال للهيدروجين ثلاثة نظائر كل منها يحتوي على بروتون واحد وأحد هذه النظائر لا يحمل أي نيوترون؛ ولذا فإن العدد

obeikandl.com

الكتلي لـ = 1 بروتون + صفر نيوترون = 1

هذا فإن النظير الآخر للهيدروجين له 1 نيوترون لذا:

فإن العدد الكتلي له = 1 بروتون + 1 نيوترون = 2 ويطلق عليه الديوتيريوم (deuterium)

والنظير الثالث من الهيدروجين يحمل عدد 2 نيوترون لذا

فإن العدد الكتلي له = 1 بروتون + 2 نيترون = 3 ويطلق عليه اسم التريتيوم (tritium).

وعند كتابة رموز العناصر خاصة في الجدول الدوري نجد أن العدد الذري يوضع أعلى الرمز بينما يوضع العدد الكتلي أسفل الرمز كما هو الحال في نظائر الهيدروجين الثلاث التالية:

$$\overset{1}{\underset{1}{H}} \qquad \overset{2}{\underset{1}{H}} \qquad \overset{3}{\underset{1}{H}}$$

وفيما عدا الجدول الدوري يكتب العنصر بعدده الذري عن يسار وأسفل العنصر والعدد الكتلي عن يسار وأعلى العنصر وعلى سبيل المثال يكتب الديوتيريوم كما يلي: $^{3}_{1}H$

مثال 1-2 ❖ ❖ ❖

احسب عدد البروتونات ثم عدد النيوترونات في عنصر اليورانيوم المخصب نظير $^{283}(\overset{92}{\underset{238}{U}})$ ؟

الحل:

كما هو واضح من كتابة رمز العنصر فإن العدد الذري لليورانيوم هو 92 وعليه فإن عدد البروتونات = 92

obeikandi.com

كما هو واضح من رمز العنصر فإن العدد الكتلي لليورانيوم هو 238 وعليه فإن عدد النيورترونات 146 = 92 – 238

2-3 الجزيئات والأيونات: (Molecules and Ions)

عرفنا فيما سبق تفصيلاً عن الذرة ومكوناتها وعرفنا أنها المكون الأساسي للمادة والعناصر. والذرة لا تتواجد كجسيم وحيد في الطبيعة، بل تتحد بذرة أخرى أو بعدد آخر من الذرات المختلفة أحيانا مكونة ما يسمى بالجزيئات والأيونات وفيما يلي تفصيل عنها.

الجزيئات (Molecules)

الجزيئات عبارة عن مركبات تنتج عن اتحاد ذرتين أو أكثر ترتبط ببعضها البعض بما يسمى بالروابط الكيميائية. وعلى سبيل المثال: فإن غاز الهيدروجين عبارة عن ذرتي هيدروجين ترتبطان ببعضهما بما يسمى برابطة أحادية يمكن تمثيلها بخط واحد بين الذرتين وتسمى بالرابطة الأحادية كما يلي:

H – H

ترتبط بعض الذرات بما يسمى برابطة ثنائية مثل غاز الأكسجين ويسمى الجزيء بثنائي الذرات (diatomic)

O = O

وأخرى برابطة ثلاثية مثل غاز النيتروجين:

–N ≡ N –

ويمكننا كتابة الجزيء بوضع العدد من الأسفل يمين الذرة ليبين عدد ذرات الجزيء

obeikandl.com

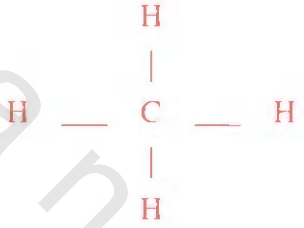
التي يتكون منها فتكتب الجزيئات سابقة الذكر كما يلي :

H_2 ، O_2 ، N_2

تتكون بعض الجزيئات نتيجة ارتباط نوعين مختلفين من الذرات مثل جزيء حمض الهيدروكلوريك المتكون من ذرة واحدة هيدروجين مع ذرة واحدة كلور : (HCl)

$$H - Cl$$

أمّا غاز الميثان (methane) فيتكون من أربع ذرات هيدروجين مرتبطة حول ذرة كربون واحده :(CH_4)



ويسمى الجزيء بعديد الذرات (Polyatomic)

وهكذا فإن الجزيئات لها أشكال مختلفة باختلاف عدد ذراتها وأنواع تلك الذرات وسيأتي تفصيل ذلك في الباب السابع .

الأيونات (Ions)

تتكون الأيونات إمّا بنزع أو إضافة إلكترون أو أكثر لذرات العنصر وعليه فإن الأيونات نوعان :

١- الكاتيونات (Cations)

تتكون بنزع إلكترون أو أكثر من ذرة العنصر ويتطلب ذلك طاقة إضافية للذرة .

obeikandl.com

فالكاتيون موجب الشحنة وأصغر حجمًا من الذرة الأصلية فإذا تم نزع إلكترون واحد فقط نتج عن ذلك كاتيون أحادي التكافؤ (monovalent cation) مثل كاتيون البوتاسيوم:

$$K - e \rightarrow K^{1+}$$

وإذا تم نزع إلكترونين نتج عن ذلك كاتيون ثنائي التكافؤ (divalent cation) مثل كاتيون الماغنيزيوم

$$Mg - 2e \rightarrow Mg^{2+}$$

٢- الأنيونات (Anions)

تتكون الأنيونات باكتساب ذرات العنصر إلكترونًا واحدًا أو أكثر فيصبح الأنيون سالب الشحنة وأكبر حجمًا من نظيره الأصلي. وعند اكتساب الذرة لإلكترون واحد فقط ينتج عن ذلك تكوين أنيون أحادي التكافؤ مثل أنيون الكلور ويسمى بالكلوريد (chloride)

$$Cl + \bar{e} \rightarrow Cl^{1-}$$

وإذا اكتسبت الذرة أكثر من إلكترون نتج عن ذلك تكوين أنيون ثنائي التكافؤ مثل أنيون الأكسجين ويسمى بالأكسيد (oxide)

$$O + 2\bar{e} \rightarrow O^{2-}$$

فيما سبق عرفنا أن الأيونات يصطحبها الزيادة أو النقصان في عدد الإلكترونات لذرة العنصر الأساسية وينتج عن ذلك أيونات موجبة أو سالبة الشحنة حيث نقوم بكتابة تكافؤ الأيون كعدد تتبعه الشحنة أعلى إلى اليمين من الذرة.

obeikandl.com

مثال 2-2

❖ ❖ ❖

استخدم الجدول الدوري وتعرف على العنصر الذي يحمل العدد الذري (12) ثم احسب عدد البروتونات لذلك العنصر؟

الحل:

بالنظر إلى الجدول الدوري يكون العنصر هو الماغنيزيوم (magnesium).

عدد البروتونات = نفس العدد الذري = 12

مثال 2-3

❖ ❖ ❖

احسب عدد الإلكترونات في أيون الماغنيزيوم ثنائي التكافؤ (Mg^{2+})؟

الحل:

بما أن الأيون موجب الشحنة فمعنى ذلك أن ذرة عنصر الماغنيزيوم قد فقدت إلكترونات بعدد الشحنة الظاهرة أعلى عن يمين العنصر وعليه:

عدد الإلكترونات = عدد البروتونات - 2

= 12 - 2 = 10 إلكترونات

مثال 2-4

❖ ❖ ❖

احسب عدد الإلكترونات في أيون الفلور أحادي التكافؤ (F^{1-})؟

الحل:

الأيون سالب الشحنة ويعني ذلك أن ذرة عنصر الفلور قد اكتسبت إلكترونات بعدد الشحنة الظاهرة أعلى وعن يمين العنصر وعليه فإن:

عدد الإلكترونات = عدد البروتونات + ١

= 9 + 1 = 10 إلكترونات

obeikandi.com

الجدير بالذكر هنا أن الكثير من الجزيئات تتكون نتيجة اتحاد الكاتيون مع الأنيون بحيث تتعادل الشحنات الموجبة مع السالبة محدثة بذلك جزيئًا متعادلاً لا تظهر عليه أي شحنة فمثلاً يتحد كاتيون الماغنيزيوم ثنائي التكافؤ (Mg^{2+}) مع اثنين من أنيون الفلور أحادي التكافؤ (F^-) مكونا فلوريد الماغنيزيوم (magnesium fluoride) كجزيء متعادل (MgF_2) .

2-4 كتلة الذرات ورقم أفوقادرو

(Masses of atoms and Avogadro's number)

بالرغم من صغر الذرات المتناهي فقد تمكن العلماء من تحديد كتل الذرات مقارنة ومنسوبة ببعضها وذلك بوحدتي الكتلة الذرية ورقم أفوجادرو .

مقياس الكربون - 12 : (Carbon - 12 Scale)

تقاس كتلة العنصر مقارنة بعنصر آخر وتسمى بالكتلة الذرية النسبية (relative atomic mass) وفي أغلب الأحيان تنسب كتلة العنصر لعنصر الكربون 12(carbon-12) ذي الكتلة الذرية الدقيقة ومقدارها (12) وحدة كتلة ذرية (atomic mass unit - amu) وعليه فإن الكتلة النسبية لذرة الهيدروجين تقدر كما يلي :

$$\frac{\text{كتلة الهيدروجين}}{\text{كتلة الكربون}} = \frac{\text{amu } 1.00794}{\text{ama } 12.0} = 0.0839950$$

وبالطريقة نفسها يمكننا تقدير الكتلة النسبية لأي عنصر منسوبة إلى عنصر آخر غير الكربون .

رقم أفوجادرو : (Avogadro's number)

يُنسب رقم أفوجادرو للعالم (Avogadro) ويمثل عدد الذرات للعنصر الموجودة في الكتلة الذرية للعنصر مقدرة بالجرام وهذا الرقم هو رقم ثابت بعينه لأي عنصر من العناصر كتلته بالجرام هو نفس الكتلة الذرية وهذا الرقم هو (6.022×10^{23}) وعلى سبيل المثال فإن :

(1.008) جرام هيدروجين يحتوى على (6.022×10^{23}) ذرة و(28.0855) جرام سلكون (S.) يحتوي على نفس العدد و (58.9332) جرام كوبالت (Co) يحتوي على نفس العدد أيضًا وهكذا . . .

مثال 5-2 ❖ ❖ ❖

احسب عدد الذرات الموجودة في (1.5000) جرام من عنصر الصوديوم (Na) .

الحل

الكتلة الذرية للصوديوم = 22.98977

وعليه يوجد (6.022×10^{23}) ذرة صوديوم في كل (22.98977) جرامًا إذًا عدد الذرات في (1.50) جرام صوديوم =

$$1.5000 \text{ g Na} \times \frac{6.022 \times 10^{23} \text{atoms}}{22.98977 \text{g Na}}$$

$$= 3.9291 \times 10^{\cdots} \text{atoms}$$

ذكرنا فيما سبق أن هناك بعض العناصر تتواجد بعدة نظائر، مثل الراديوم (Radium) الذي يتواجد على هيئة راديوم – 88 وراديوم – 89 وفي هذه الحالة تقدر كتلة العنصر بجمع كتلة النظائر آخذين في الاعتبار نسبة الوفرة (abundance ratio)

obeikandl.com

للعنصر. وعلى سبيل المثال إذا كانت وفرة الراديوم 88 هي 99.0 بالمائة ونسبة الوفرة للراديوم –89 هي 1.5 بالمائة فإن كتلة العنصر تساوي:

الكتلة للراديوم $= 226.1021 \times \frac{1.0}{100} + 226.0254 \times \frac{99.0}{100}$

$= 226.0260 \text{ amu}$

2-5 المول: (The Mole)

يُعد المول (mole) ويختصر بالإنجليزية بحذف حرف (e) فيصبح (Mol) هو وحدة القياس للكيميائي وهو عبارة عن رقم أفوجادرو من الأشياء. وعليه فإن:

واحد مول ذرة كلور $= 6.022 \times 10^{23}$ ذرة كلور

في واحد مول جزيء ماء $= 6.022 \times 10^{23}$ جزيء ماء

في واحد مول إلكترون $= 6.022 \times 10^{23}$ إلكترون وهكذا

مثال 2-6 ❖ ❖ ❖

أوجد عدد البروتونات في (1.20) مول من عنصر X؟

الحل:

(1.00) مول بروتونات من عنصر X $= 6.022 \times 10^{23}$ بروتون

عدد بروتونات في 1.2 مول $= 1.20 \text{ mol protons} \times \frac{6.022 \times 10^{23}}{1.0 \text{ mol proton}}$

$= 7.2024 \times 10^{23}$ بروتون

كتلة المول: (Molar mass)

كتلة المول للمادة هي نفس الكتلة الصيغية (formula mass) ويمكن تقديرها بحاصل جمع الكتل الذرية لكل الذرات المكونة لهذه المادة وذلك بوحدة الجرام.

obeikandl.com

إذا كانت المادة عبارة عن ذرة واحدة من العنصر فإن كتلة المول هي الكتلة الذرية نفسها. إذا تعددت الذرات يطلق عليها الكتلة الجزيئية (molecular mass) فالكتلة الجزيئية للأمونيا (NH_3) هي: $(14.01+(3\times1.00)) = 17.01$ amu

ولذ فإن معرفة الصيغة الكيميائية للجزيء من الضرورات القصوى لمعرفة كتلة المول.

مثال 2-7

❖ ❖ ❖

احسب كتلة المول بالجم/مول لبيرمنجنات البوتاسيوم (Potassium Permanganate).

الحل:

الصيغة الكيميائية لبيرمنجنات البوتاسيوم هي $KMnO_4$

كتلة المول

$(4\times16.00)+(1\times54.93881)+(1\times39.10\text{ amu}) =$

$(64.00)+(54.9388)+(78.20) =$

$158.03881 =$ جرام/مول

مثال 2-8

❖ ❖ ❖

احسب عدد المولات في (4.22) جرام كلوريد الصوديوم (NaCl)؟

الحل:

كتلة المول $= (1\times23.00)+(1\times35.45)$

$= 58.45$ جرام/مول

obeikandl.com

عدد المولات في 4.22 جرام =

$$4.22\ \text{g NaCl} \times \frac{1\ \text{mol NaCl}}{58.45\ \text{g NaCl}}$$

$$= 0.0722\ \text{mol}$$

مثال 9-2

❖ ❖ ❖

كم جرامًا في (0.5500) مول من كلوريد الصوديوم.

الحل:

من مثال رقم(7-2) فإن

$$1\ \text{mol NaCl} = 58.45\ \text{g NaCl}$$

عدد الجرامات في (0.5500) مول كلوريد صوديوم =

$$0.5500\ \text{mol} \times \frac{58.45\ \text{g NaCl}}{1\ \text{mol NaCl}}$$

$$= 32.1475\ \text{g NaCl}$$

obeikandl.com

أسئلة وتمارين

١- احسب عدد البروتونات، النيوترونات والإلكترونات لعنصر القصدير ثنائي التكافؤ

$$^{118}_{50}Sn^{2+}$$

(الإجابة = 48 ، 68 ، 50)

٢- إذا كان وزن (2.325×10^{21}) ذرة من عنصر ما هو (0.416) جرام فما هي الكتلة الذرية لهذا العنصر؟

(الإجابة = 108)

٣- يتواجد البروم على هيئة نظيرين وزن كل منهما (78.92) و (80.92) amu - قدِّر وفرة كل منهما.

(الإجابة = Br - 79 = 51.0 %

Br - 81 = 49.0 %)

٤- احسب عدد ذرات الهيدروجين الموجودة في 2.8931 جرام من المركب ($C_2H_4O_2$)

(الإجابة = 1.160×10^{23})

٥- عنصر مجهول له نظيران في الطبيعة، الكتلة الذرية للأول (10.00) ويتوفر في الطبيعة بقدر ضعف توفر الثاني ذي الكتلة الذرية (12.00) احسب الكتلة الذرية للعنصر المجهول.

(الإجابة = 10.67)

obeikandl.com

٦- حدد نظير العنصر الذي تحتوي ذرته على 35 بروتون ر45 نيوترون

(الإجابة : روديوم Rhocium)

٧- احسب عدد الإلكترونات الموجودة في 2 00 جرام أيون الصوديوم (Na^+)

(الإجابة : 6.02×10^{23})

obeikandl.com