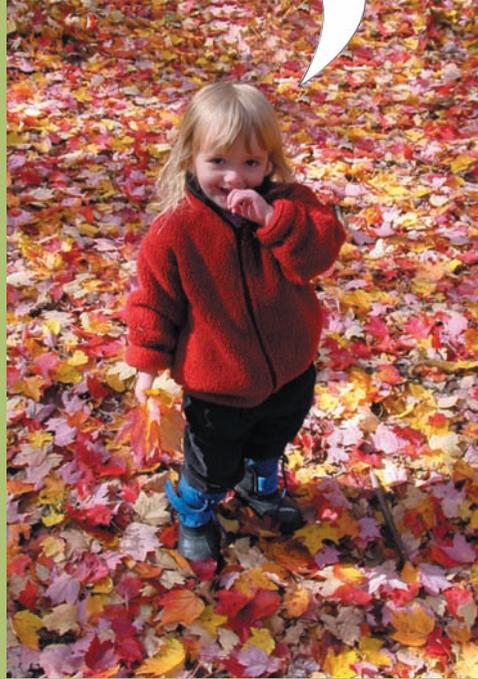


# الجزء الثاني

## الكيمياء

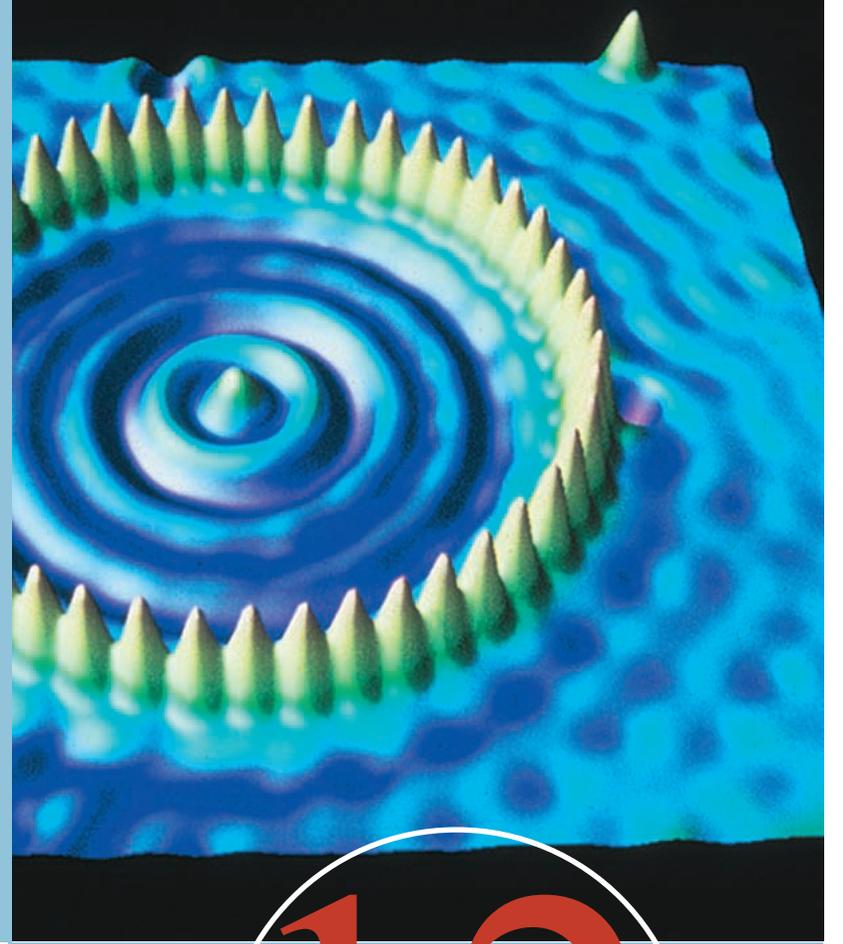
أنا مكوّن من ذرّات كغيري. وهي صغيرة جدًّا وكثيرة حيث إنني أستنشق منها بلايين التريليونات في كلّ نَفَس من الهواء. كما أنني أخرج بعضها في الحال. في حين يبقى بعضها الآخر فترة ويصبح جزءًا مني. وقد أخرجته لاحقًا.

وبعض ذرّاتي هي في كلّ نَفَس تننفسه. والتي تبقى لتصبح جزءًا منك (وبالمثل ذرّاتك تصبح جزءًا منّي). ويزيد عدد الذرّات في النَفَس الواحد من الهواء على عدد البشر منذ الخليقة إلى الآن. وفي كلّ نَفَس تأخذه تعيد تدوير الذرّات التي كانت جزءًا من كلّ شخص كان على قيد الحياة. وعليه. واستنادًا إلى هذا المنطق. فكلنا واحد!





# الذرات وجدول الترتيب الدوري



# 12

■ نحن البشر، نصنع المواد التي حولنا ونستخدمها لصالحنا منذ القدم. ومنذ عرفنا كيفية السيطرة على النار، تمكنا من إيجاد مواد جديدة. فمثلاً، وجدنا أن قوالب الطين الرطبة تتصلب لتصبح خزفاً عند شيهاً بالنار. لقد تطورت مواقد الخزافين قبل الميلاد بنحو 5000 سنة تقريباً إلى أفران ساخنة تكفي لتحويل نحاس المناجم إلى فلز النحاس. وفي عام 1200 قبل الميلاد، حولت الأفران الأكثر سخونة حديد المناجم إلى فلز الحديد، ومكنت هذه التقنية إنتاج الأدوات الفلزية والأسلحة بكميات كبيرة وصنعها، وجعلت الكثير من إنجازات الحضارات القديمة الصينية والمصرية واليونانية ممكنة. وبالدخول السريع إلى القرن الحادي والعشرين تعلمنا منذ فترة أن المواد جميعها من حولنا تتكون من مواد متناهية في الصغر تسمى ذرات،

1.12 الذرات قديمة وفارغة

2.12 العناصر

3.12 البروتونات والنيوترونات

4.12 الجدول الدوري

5.12 النماذج الفيزيائية والمفاهيمية

6.12 تشخيص الذرات باستخدام المطياف

7.12 الفرضية الكمية

8.12 أمواج الإلكترون

9.12 نموذج القشرة

كما عرفنا كيف نعالج هذه الذرات لإنتاج الحديد من المواد المفيدة والجديدة، بما فيها المواد الدوائية والصيدلانية التي أطالت فترة حياتنا بأمر الله تعالى، وعرفنا كذلك كيف نحرك الذرات، الواحدة تلو الأخرى، إلى الأماكن المطلوبة؛ فعلى سبيل المثال، تبين الصورة الافتتاحية لهذا الفصل مجموعة من ذرات التيتانيوم التي دفعها العلماء لتشكيل دائرة. ويعدّ هذا العمل قمة التكنولوجيا المعاصرة التي مكّنتنا من بناء أجهزة نانوية ومواد جديدة ذرةً بذرةً. في هذا الفصل، سنكتشف كلاً من طبيعة الذرات، واللوحه المدهشة التي تروي قصتها؛ إنه جدول الترتيب الدوري.

## ■ 1.12 الذرات قديمة وفارغة

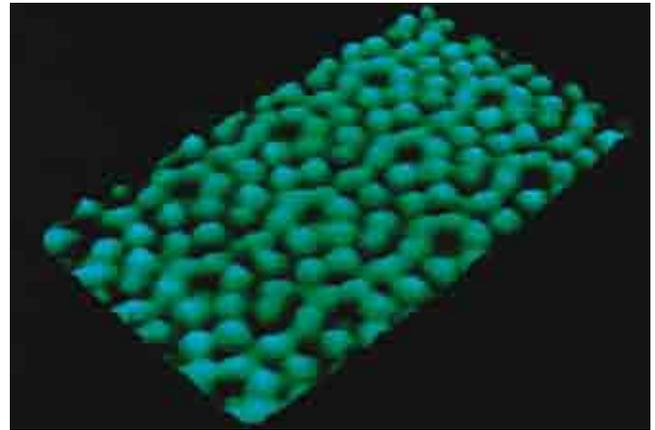
يعود أصل معظم الذرات إلى لحظة خلق الكون. تعدّ ذرة الهيدروجين، H، أخف ذرة. وهي الذرة الأصلية. وتشكل ذرات الهيدروجين أكثر من 90% من الذرات المعروفة في الكون. تنتج الذرات الأثقل في النجوم وهي تجمع كتلي هائل من ذرات الهيدروجين يجذب بقوى الجاذبية. يعمل الضغط الهائل في أعماق النجوم على اتحاد ذرات الهيدروجين لتكوين ذرات أثقل. وما عدا الهيدروجين، فإنّ الذرات الموجودة طبيعيًا على الأرض جميعها — بما فيها تلك التي في جسمك — هي من إنتاج النجوم. إنّ جزءًا ضئيلاً جداً من هذه الذرات تكون في جُمننا الشَّمس. ولكن معظم الباقي أتى من نجوم انتهت منذ مدة بعيدة قبل أن يخلق نظامنا الشَّمسيّ. فأنت مكوّن من غبار نجميّ، كما هي الأشياء جميعها من حولك. معظم الذرات قديمة. وقد وجدت منذ عصور لا يمكن قياسها، ويعاد تدويرها في الكون بأشكال عديدة. في الأحياء وغير الأحياء، بهذا المعنى أنت لا تملك "ذراتك" التي يتكوّن منها جسمك — إنك، ببساطة، وكيلها الحالي. وهناك العديد من الوكلاء سوف يتبعون.

الذرات صغيرة إلى درجة أنّ كلّ زفير يحتوي على أكثر من 10 بلايين تريليونات منها. وهذا الرقم أكبر من عدد النفوس في الغلاف الأرضيّ. وخلال عدة سنوات، سوف تمتزج ذرات الزفرات التي أخرجتها بانتظام خلال الغلاف الجويّ. وهذا يعني أنّ أيّ شخص في أيّ مكان على الأرض يستنشق الهواء بأخذ عددًا كبيرًا من الذرات التي كانت جزءًا منك. وبالطبع، فالعكس صحيح: فأنت تستنشق ذرات كانت يومًا جزءًا من شخص كان حيًّا.

إنّ الذرات صغيرة جدًا بحيث لا يمكن رؤيتها بالضوء المرئيّ. لأنها أصغر حتى من طول موجة هذا الضوء المرئيّ. ويمكن وضع مجهر فوق مجهر ومع ذلك لا يمكننا رؤية ذرة. تؤخذ صور للذرات كالتالي في الشكل 1.12 بالمجهر الماسح الإلكترونيّ. سنناقش هذا في الجزء 5.12، إنه جهاز تصوير غير ضوئيّ، يتخطى الضوء والبصريات معًا.

نحن نعلم اليوم أنّ الذرة مكوّنة من أجزاء أصغر هي: جسيمات دون — مجهرية — الإلكترونيات، والبروتونات، والنيوترونات. كما نعلم أيضًا، أنّ الذرات يختلف بعضها عن بعض في عدد الجسيمات دون الذريّة (Atomic Nucleus) التي تحتويها فقط. وترتبط البروتونات والنيوترونات معًا في مركز الذرة لتشكيل جسمًا أكبر، هو نواة الذرة، والتي هي جسم ثقيل نسبيًا. وتشكّل معظم كتلة الذرة، تحيط بالنواة إلكترونات (Electrons) بالغة في الصغر. كما يظهر في الشكل 2.12.

لو مددنا ذرة عادية ليصبح قطرها 3 كم، أي ما يعادل مساحة مطارًا متوسط الحجم فستصبح النواة بحجم كرة السلة؛ الذرات هي فضاء فارغ في معظمه.



الشكل 1.12

صورة لذرات الكربون أخذت بالمجهر الماسح الإلكترونيّ.



### الشكل 2.12

يحوم الإلكترون حول النواة بسرعة فائقة، وأفضل وصف لحركته هو الغيمة، وهي أكثر كثافة في المناطق التي يقضي الإلكترون فيها أغلب وقته. ولكن الإلكترونات غير مرئية لنا. ومن هنا فإنه يمكن تخيل هذه الغيمة. وأكثر من ذلك، لو رسم هذا التوضيح كما هو، فإن نواة الذرة تكون أصغر من أن ترى. وباختصار، فإن الذرات غير مناسبة للرسوم التوضيحية.



### الشكل 3.12

كما ترى في هذه الصورة مقدار قرب هذا الطفل من أمه، ولكن ذراتهما لا تتلامس. إن قرب بعضنا من بعض هو في مشاعرنا.



تتكوّن معظم المواد من أكثر من نوع ذرات؛ فالماء مثلاً مكوّن من اتحاد ذرات الهيدروجين والأكسجين. تسمى هذه المواد مركبات، وهذا ما سوف نناقشه في الفصل 14.

### ■ نقطة فحص

ادعى صديقك أنّ هناك ذرات في محّة كانت فيما مضى في محّ ألبرت أينشتاين. هل ادعاء صديقك صحيح أم لا؟

### هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ ادعاءه صحيح. أضف إلى ذلك أنّ هناك ذرات لصديقي من جسم أيّ إنسان كان حيّاً. وحتى من الأم تيريزا Teresa. وكلّ واحد آخر أيضاً! ولكن ترتيب هذه الذرات اليوم مختلف تماماً. والأكثر من ذلك أنّ الذرات التي تتكوّن منها. ويتكوّن منها جسم صديقي ستوجد في أجسام الناس على الأرض الذين سوف يأتون لاحقاً.

نحن. والمواد جميعها من حولنا. نُكوّن في معظمنا فضاءً فارغاً. كيف يكون ذلك؟ تتحرك الإلكترونات حول النواة محددة بذلك حجم الفضاء الذي تحتله الذرة. ولأنّ هذه الإلكترونات صغيرة جداً. وبتعد بعضها عن بعض وعن النواة أيضاً. فإنّ الذرات في معظمها فضاء فارغ. إذن. وببساطة. لِمَ لا تعبر الذرات بعضها إلى بعض؟ وكيف تقف فوق الأرضية رغم الطبيعة الفارغة لذراتها؟ على الرّغم من أنّ الجسيمات دون الذريّة هي أصغر من حجم الذرة. إلا أنّ مدى مجالها الكهربائيّ أكبر عدة مرات من حجمها. وفي المناطق الخارجية لأيّ ذرة توجد الإلكترونات. والتي تتنافر مع إلكترونات الذرات المجاورة. وهكذا تقترب ذرتان إحداهما من الأخرى إلى مسافة معينة ثم تبدآن التناظر (إذا لم تحدا في رابطة كيميائية. كما سنناقشه في الفصل 15).

عندما تدفع الذرات في يدك مقابل ذرات الحائط فإنّ التناظر الكهربائيّ بين ذرات يدك وإلكترونات الحائط تمنع يدك من العبور خلال الحائط. يمنعنا التناظر الإلكترونيّ نفسه من السقوط من خلال الأرضية الصلبة. وهي التي تمنحنا أيضاً الإحساس باللمس. ومن المثير أنّك عندما تلمس أحدهم. فإنّ ذراتك وذرات الشخص الآخر لا تلتقي. إنّ الذرات من كليهما تقترب بما فيه الكفاية. بحيث تحس بالتناظر الكهربائيّ. هناك فجوة غير محسوسة بينكما (الشكل 3.12).

### ■ 2.12 العناصر

أنت تعلم أنّ الذرات تشكّل المواد من حولك. من التجمّ إلى الفولاذ إلى حلوى الشوكولاتة. وعليك التفكير في وجود أنواع عديدة من الذرات. ولكن عدد الذرات المختلفة قليل. وينتج النوع الكبير للمواد من الطرق العديدة التي تتحد بها أنواع قليلة من الذرات. كما هو الحال عند مزج الألوان الثلاثة: الأحمر والأخضر والأزرق لتكوين أيّ لون على شاشة التلفاز. أو استخدام أحرف هجائية محدودة لتكوين الكلمات جميعها في القاموس. يتحد القليل من الذرات المختلفة بطرق عديدة لإنتاج المواد كلّها. حتى الآن. نعرف أكثر قليلاً من 100 نوع من الذرات المتميزة. ومن هذا العدد. هناك نحو 90 نوعاً منها موجود في الطبيعة. أمّا بقية الذرات فقد أعدت في المختبر.

تصنّف أيّ مادة تتكوّن من نوع واحد من الذرات على أنّها عنصر. تشاهد عدة أمثلة في الشكل 4.12. الذهب الخالص. مثلاً هو عنصر خالص؛ لأنّه يتكوّن من ذرات ذهب فقط. كما أنّ غاز النيتروجين يعدّ عنصراً؛ لأنه يحتوي على ذرات نيتروجين فقط. وكذلك الجرافيت الموجود في قلمك يتكوّن من عنصر الكربون. لأنّ الجرافيت يتكوّن كلّ من ذرات الكربون.

العناصر جميعها موجودة في جدول يسمى **الجدول الدوري (Periodic Table)**، كما يبين الشكل 5.12.

وكما ترى من الجدول الدوري يعرف كل عنصر برمزهِ الذريّ، والذي يُؤخذ من أحرف اسم العنصر: فمثلاً، الرمز الذريّ من الاسم اللاتيني؛ فالرمز الذريّ للذهب Au، مشتق من الاسم اللاتيني *aurum*. إلى جانب الرصاص الذي رمزه الذريّ Pb نسبة إلى اسمه اللاتيني *Plumbum* (الشكل 6.12). ومن الجدير بالذكر أنّ العناصر التي رموزها الذريّة مشتقة من أسمائها اللاتينية عادة ما تكون قد اكتشفت مبكراً. لاحظ أنّ الحرف الأول من الرمز الذريّ يكتب بصورته الكبيرة؛ فالرمز الذريّ لعنصر الكوبالت مثلاً هو Co، أمّا CO فهو اتحاد عنصرين هما: الكربون C، والأكسجين O.

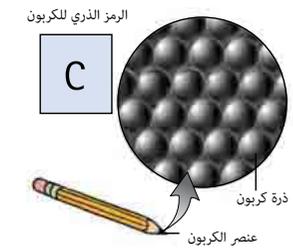
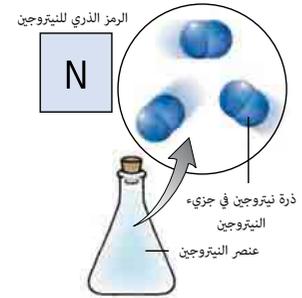
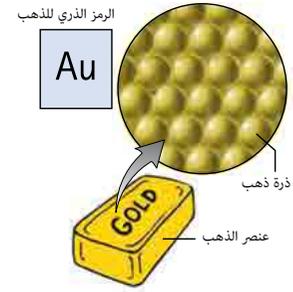
### ■ 3.12 البروتونات والنيوترونات

دعنا نلق نظرةً عن قرب على الذرّة، ونبحث في الجسيمات الموجودة في نواتها. يحمل البروتون شحنة موجبة، وهو ثقيل نسبياً؛ نحو 2000 مرة كتلة الإلكترون. في حين أنّ كمية الشحنة للبروتون والإلكترون فهي نفسها، ولكنهما يختلفان في الإشارة. ويتساوي عدد البروتونات في نواة أيّ ذرّة مع عدد الإلكترونات التي تدور حول النواة. وعليه، فإنّ إشارة الشّحنات المتعاكسة بين البروتونات والإلكترونات تعمل على معادلة كلّ منهما الآخر، منتجةً محصلةً شحنة تساوي صفراً؛ فمثلاً، تحتوي ذرّة الأكسجين على ما مجموعه 8 إلكترونات و8 بروتونات. لذا، فهي متعادلة كهربائياً.

اتفق العلماء على تعريف العناصر بعددها الذريّ (**Atomic Number**)، وهو عدد البروتونات الذي تحتويه ذرّة عنصر معين. يرتب الجدول الدوريّ الحديث العناصر وفق أعدادها الذريّة المتزايدة. يحتوي الهيدروجين على بروتون واحد في كلّ ذرّة، وعدده الذري 1. أمّا الهيليوم فله بروتونان لكل ذرّة، وعدده الذريّ 2، وهكذا.

1																	2
H																	He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112						
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub						

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



### الشكل 4.12

يتكون أيّ عنصر من نوع واحد من الذرات؛ فالذهب يتكون من ذرات الذهب فقط، وغاز النيتروجين في الدورق يتكون من ذرات النيتروجين فقط، كما أنّ كربون قلم الجرافيت يتكون من ذرات كربون فقط.

### الشكل 5.12

يصنّف الجدول الدوريّ العناصر المعروفة جميعها.

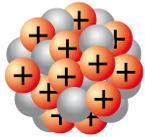
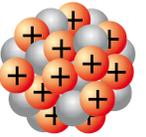


## النظائر والكتلة الذرية

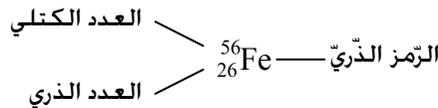
لا يوجد عدد ثابت للنيوترونات في أنوية العناصر؛ فمثلاً، معظم ذرات الهيدروجين (العدد الذري 1) لا تحتوي على نيوترونات، ولكن هناك نسبة مئوية قليلة منها فيها نيوترون واحد، ونسبة مئوية أقل لها نيوترونان. وبالمثل، فإن معظم ذرات الحديد (العدد الذري 26) لها 30 نيوترونًا، ولكن نسبة مئوية أقل فيها 29 نيوترونًا. إن ذرات العنصر الواحد التي تحتوي على أعداد مختلفة من النيوترونات هي نظائر العنصر. نعرف النظائر بعددها الكتلي، وهو مجموع عدد البروتونات والنيوترونات في النواة (مجموع النويات). وكما يبين الشكل 7.12، يسمى نظير الهيدروجين الذي يحتوي على بروتون واحد بهيدروجين-1؛ حيث يشير الواحد إلى العدد الكتلي، ونظير الهيدروجين الذي يحتوي على بروتون واحد ونيوترون واحد يسمى هيدروجين-2. في حين يسمى نظير الهيدروجين الذي يحتوي على بروتون واحد ونيوترونين هيدروجين-3. وبالمثل، يسمى نظير الحديد الذي يحتوي على 26 بروتونًا و30 نيوترونًا بالحديد-56، والذي له 29 نيوترونًا بالحديد-55.

## الشكل 7.12

يكون لنظائر العنصر عدد البروتونات نفسه، ولكن يختلف في عدد النيوترونات مما يؤدي إلى اختلاف في العدد الكتلي. لنظائر الهيدروجين الثلاثة أسماء خاصة: الهيدروجين-1، ديوتيريوم للهيدروجين-2، وتريتيوم للهيدروجين-3. إن أكثر هذه النظائر شيوعًا هو الهيدروجين-1. ولعظم العناصر، مثل الحديد، لا يوجد للنظائر أسماء خاصة. لذا، يشار إليها بالعدد الكتلي فقط.

				
الهيدروجين-1 1 بروتون 0 نيوترون (بروتيوم)	الهيدروجين-2 1 بروتون 1 نيوترون (ديتيريوم)	الهيدروجين-3 1 بروتون 2 نيوترون (تريتيوم)	الحديد-55 26 بروتونًا 30 نيوترونًا	الحديد-56 26 بروتونًا 29 نيوترونًا
نظائر الهيدروجين			نظائر الحديد	

وهناك طريقة أخرى للتدليل على النظائر، وهي كتابة العدد الكتلي كرمز دليلي علوي، وكتابة العدد الذري كرمز دليلي سفلي إلى اليسار من الرمز الذري؛ فمثلاً، يكتب نظير الحديد بالعدد الكتلي 56 والعدد الذري 26:



ويمكن حساب عدد النيوترونات للنظير بطرح عددها الذري من عددها الكتلي:

$$\text{العدد الكتلي} - \text{العدد الذري} = \text{عدد النيوترونات}$$

مثلاً، اليورانيوم - 238 له 238 نوية. العدد الذري لليورانيوم هو 92. أي أن 92 من الـ 238 نوية هي بروتونات، أما الباقى 146 فهو عدد النيوترونات:

$$238 = \text{عدد البروتونات والنيوترونات}$$

$$92 = \text{عدد البروتونات}$$

$$\text{إذن، عدد النيوترونات} = 238 - 92 = 146.$$

تتفاعل الذرات معًا كهربائياً. ولهذا، فإن الطريقة التي تسلكها الذرة في وجود ذرات أخرى تتحدد بشكل كبير بشحنة الجسيمات التي تحتوي عليها. خاصة الإلكترونات. تختلف نظائر العنصر بالكتلة فقط، وليس بالشحنة الكهربائية. ولهذا، تتشارك نظائر العنصر في العديد من الخصائص. وفي الحقيقة - كما هو الحال في الكيماويات (المواد الكيميائية) - لا يمكن التمييز بينها. فمثلاً، يهضم جزيء السكر الذي يحتوي على 7 نيوترونات لكل نواة كربون بالطريقة نفسها التي يهضم بها جزيء السكر الذي يحتوي على نواة الكربون الذي له 6 نيوترونات. إن 1% فقط من الكربون الذي نأكله هو نظير الكربون-13، الذي يحتوي على 7 نيوترونات لكل نواة. أما البقية 99% من الكربون المتوافر في غذائنا فهو نظير الكربون-12، والذي يحتوي على 6 نيوترونات لكل نواة.

تتكون معظم جزيئات الماء،  $\text{H}_2\text{O}$  من ذرات الهيدروجين دون نيوترونات. وبعض الماء يحتوي على ذرات هيدروجين فيها نيوترونات، وتكون أثقل، وبسبب هذا الاختلاف يمكن عزلها. ويسمى مثل هذا الماء "الماء الثقيل".

## حساب العلوم الطبيعية

## حساب الكتلة الذرية

## عينة مسألة 1

99% تقريبًا من ذرات الكربون هي نظير الكربون-12. ومعظم الباقي (1%) هي النظير الأثقل، الكربون-13. هذه الكمية الصغيرة تزيد معدل كتلة الكربون من 12.000 و.ك.ذ (وحدة كتلة ذرية) إلى أكثر من 12 قليلاً، أي إلى قيمة 12.011 و.ك.ذ. وللحصول على الكتلة الذرية الموجودة في الجدول الدوري، نضرب كتلة كل نظير موجود طبيعيًا في نسبة توافره، ثم نجمع الأجزاء جميعها.

كتلة الكربون-12 هي 12.000 و.ك.ذ. ويكون 98.89% من الكربون الموجود طبيعيًا. أما الكربون-13 وكتلته 13.0034 و.ك.ذ فيشكل 1.11% من الكربون الموجود طبيعيًا. استخدم هذه المعلومات لتبين أنّ الكتلة الذرية المبينة في الجدول الدوري (12.011 و.ك.ذ) صحيحة.

## الحل:

بإدراك أنّ 99.98% و 1.11% يعبر عنهما كأرقام معنوية هي: 0.9889 و 0.0111 بالترتيب.

## الخطوة 1:

$$\text{مساهمة الكتلة من الكربون } 12 = 12.000 \times 0.9889 = 11.867$$

$$\text{مساهمة الكتلة من الكربون } 13 = 13.0034 \times 0.0111 = 0.144$$

## الخطوة 2:

$$\text{الكتلة الذرية} = 11.867 + 0.144 = 12.011 \text{ و.ك.ذ}$$

## والآن دورك

الكلور-35 له كتلة 34.97 و.ك.ذ، والكلور-37 له كتلة 36.95 و.ك.ذ. احسب الكتلة الذرية للكلور C العدد الذري 17. إذا علمت أنّ 75.53% من ذرات الكلور جميعها هي نظير الكلور-35، و24.4% هي نظير الكلور-37.

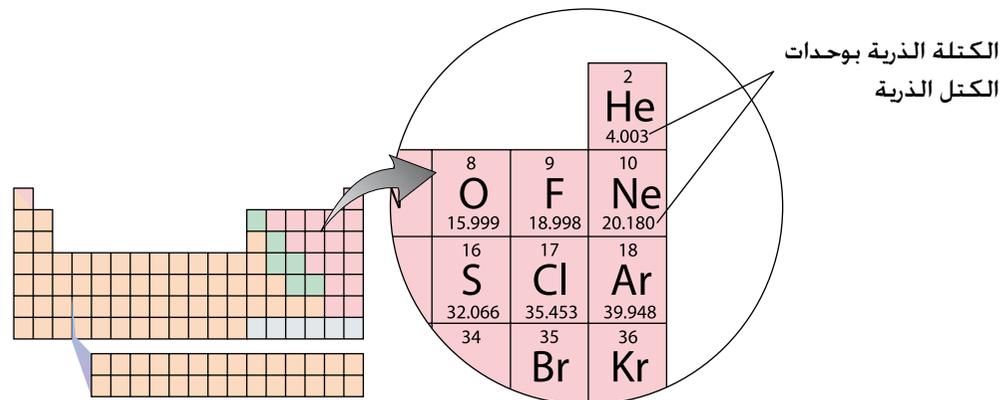
يسمى مجموع كتلة الذرة **الكتلة الذرية**. وهي مجموع كتل مكونات الذرة جميعها (الإلكترونات وبروتونات ونيوترونات). وبسبب صغر كتلة الإلكترونات مقارنة بكتلة كل من البروتونات والنيوترونات، فإنّ مساهمتها في الكتلة الذرية ضئيلة. لقد طوّرت وحدة خاصة للكتل الذرية، وهي وحدة الكتل الذرية (و.ك.ذ) حيث و.ك.ذ تساوي  $1.661 \times 10^{-24}$  جرام، وهي أقل قليلاً من كتلة بروتون واحد. كما يبين الشكل 8.12 الكتل الذرية الموجودة في الجدول الدوري بوحدات الكتل الذرية. وفي الواقع، الكتلة الذرية للعنصر كما هي موجودة في الجدول الدوري هي معدل الكتلة الذرية لمتختلف النظائر.

## نقطة فحص

ميّز بين عدد الكتلة والكتلة الذرية.

هل كانت هذه إجابتك؟

كلا المصطلحين يحتوي على كلمة الكتلة، لذا يسهل الخلط بينهما، ركّز اهتمامك على الكلمة الثانية في كلّ مصطلح لتفهمها بشكل صحيح في كلّ مرة. عدد الكتلة هو حساب عدد النويات للنظير. لا يتطلب عدد الكتلة للذرة وحدات؛ لأنّ حساب الكتلة الذرية هي ببساطة مجموع كتلة الذرة، والتي تعطى بوحدات الكتلة الذرية.



## الشكل 8.12

للhelium، He، كتلة ذرية تساوي 4.003 و.ك.ذ، والنيون، Ne، 20.180 و.ك.ذ.

ينتج نحو 50.000

رطل من النحاس من  
الكربون كل عام

Ag

إذا امتلأ هذا الكوب من  
الفضة بالماء الغالي فإن  
المقبض يصبح سريعاً  
فاراً يصعب الإمساك به.  
لأن الفضة هي واحد من  
أفضل الموصلات.



Ti

سبائك التيتانيوم قوية نسبياً  
ومقاومة للتآكل وهو ما يجعلها  
مناسبة للزراعة في الفخذ.



Si

تقطع الأسطوانات السليكون  
ذا النقاوة 99.9999% إلى  
رقاقات لتصنيع الدوائر التكاملية



Zn

للزنك درجة انصهار منخفضة  
ويستخدم عادة في صناعة  
العملات

1	H	2	He
3	Li	4	Be
11	Na	12	Mg
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	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	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	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	104	Rf
105	Db	106	Sg
107	Bh	108	Hs
109	Mt	110	Uun
111	Uuu	112	Uub



Hg

يتجمد الزئبق على درجة 40° -م  
و هو سائل على درجة حرارة الغرفة



He

يتشكل الهيليوم تحت  
الأرض بوصفه من نواج  
الانحلال الإشعاعي.



Br

البروم سائل برتقالي غامق  
يتبخّر حالياً عند درجة  
حرارة الغرفة.

## الشكل 9.12

الجدول الدوري بألوان تشير إلى كل من:  
الفلزات، واللافلزات، وشبه الفلزات.

لا فلز      شبه فلز      فلز

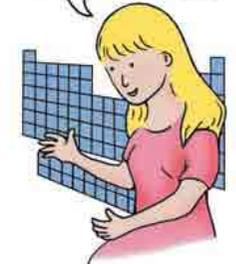
## 4.12 الجدول الدوري

إنّ الجدول الدوريّ هو فهرسة للعناصر المعروفة جميعها مع كتلتها الذريّة: أعدادها الذريّة ورموزها الذريّة. ولكنه يحتوي على معلومات إضافية أخرى. على سبيل المثال. تشير الطريقة التي نظم بها الجدول. إلى الكثير من خصائص العناصر. دعنا ننظر كيف تصنف العناصر في مجموعات: فلزيّة. وغير فلزيّة. وشبه فلزيّة.

كما يوضح الشكل 9.12. معظم العناصر المعروفة الفلزية. والتي تعرف بأنها عناصر لتاعة. معتمدة. وموصلة جيدة للكهرباء والحرارة. تكون الفلزات طبيعية. أي أنه يمكن طردها (malleable) لتكوين أشكال مختلفة. أو ليّتها دون أن تنكسر. كما أنّها قابلة للسحب (Ductile) أيضاً. وهذا يعني إمكانية صنع أسلاك منها. معظم الفلزات ما عدا القليل منها صلبة عند درجة حرارة الغرفة. والاستثناءات هي: الزئبق Hg. والجاليوم. Ga. والسيزيوم Sc. والفرانسيوم Fr. وجميعها سائل عند درجة حرارة الغرفة الدافئة أي نحو 30° س (86° ف). وهناك استثناء مثير آخر هو الهيدروجين. H الذي له خصائص الفلز السائل فقط عند ضغط عالٍ جداً (الشكل 10.12). أمّا عند الظروف العادية فإنّه يسلك سلوك غاز غير فلزيّ.

توجد العناصر غير الفلزية ما عدا الهيدروجين على الجانب الأيمن من الجدول الدوريّ. وهذه العناصر غير الفلزية موصل ضعيف للكهرباء والحرارة. ويمكن أن تكون شفافة. إنّ المواد الصلبة غير الفلزية لا تكون ليّنة. ولا قابلة للسحب. ولكنها قاسية عند طردها. وعند درجة حرارة 30° س (86° ف) تكون بعض اللافلزات صلبة (كربون C). وبعضها سائلة (البروم Br). والأخرى غازية (هيليوم He).

من فضلك ، لا حاجة إلى  
حفظ الجدول الدوري ، أو  
جزء منه ، بل ركّز على  
المفاهيم المهمة وراء هذا  
التنظيم.





الشكل 10.12

يوحي النموذج الجيوكوكبي بأن الهيدروجين يوجد على هيئة فلز سائل تحت أعماق سطح كل من المشتري (المبين هنا) وزحل. وتتكوّن هذه الكواكب في معظمها من الهيدروجين. يزيد الضغط داخل هذه الكواكب على 3 ملايين مرة على الضغط الجويّ الأرضي. تحت هذا الضغط الهائل، يضغط الهيدروجين ليصور في طور الفلز السائل.

الشكل 11.12

الدورات السبع (الصفوف الأفقية) والمجموعات الثماني عشر (الأعمدة العمودية) للجدول الدوري. لاحظ أنّ عدد العناصر يختلف من دورة إلى أخرى. لاحظ أيضاً، ولأسباب ستوضح لاحقاً، أنّ الدورتين السادسة والسابعة تتضمن كلّ منهما مجموعات جزئية من العناصر وضعت في قوائم منفصلة عن الجسم الرئيس للدورتين.

الشكل 12.12

يتناقص حجم الذرات تدريجياً من اليسار إلى اليمين عبر أيّ دورة. الحجم الذريّ صفة دورية (تكرار).

هناك ستة عناصر تُصنّف على أنّها شبه فلزيّة هي: البورون B؛ والسليكون Si. والجرمانيوم Ge. والزرنيخ As. والأنتيمون Sb. والتيلوريوم Te. أمّا أشباه الفلزات فتقع بين الفلزات وغير الفلزات في الجدول الدوري. ولها خصائص كلّ من الفلزات وغير الفلزات؛ فمثلاً، هذه العناصر ضعيفة التوصيل للكهرباء. بما يجعلها مفيدة كأشباه موصلات في الدارات المتكاملة والحواسيب. لاحظ من الجدول الدوري أنّ الجرمانيوم Ge (العدد الذريّ 32) أقرب إلى الفلزات منه إلى اللافلزات. وبسبب هذا الموقع يمكننا الاستنتاج أنّ الجرمانيوم له خصائص فلزية أكثر من السليكون Si (العدد الذريّ 14). وهو موصل أفضل قليلاً للكهرباء. وهكذا، نجد أنّ الدارات المتكاملة المصنوعة من الجرمانيوم أسرع من الدارات المتكاملة المصنوعة من السليكون. ولأنّ السليكون متوافر أكثر من الجرمانيوم، وأقلّ تكلفة منه، فإنّ رقائق الحاسوب ما تزال تصنع من السليكون.

## الدورات (Periods) والمجموعات (Groups)

هناك طريقتان مهمتان لتنظيم بهما العناصر في الجدول الدوري. وهي في سطور أفقية وصفوف عمودية. يسمى كلّ سطر أفقيّ دورةً ويسمى كلّ صف عموديّ مجموعةً (أو عائلةً أحياناً). وكما هو مبين في الشكل 11.12، هناك 7 دورات و18 مجموعة.

إنّ خصائص العناصر تتغير تدريجياً عبر أيّ دورة. ويسمى هذا التغير التدريجي بالميل الدوري. كما هو مبين في الشكل 12.12، أحد هذه الميول الدوريّة هو تناقص الحجم الذريّ عندما تنتقل من اليسار إلى اليمين عبر أيّ دورة. لاحظ أنّ هذا الميل يتكرر من سطر أفقيّ إلى آخر.

المجموعات

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub						

الدورات

المجموعات الجزئية في الدورة السادسة →

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

المجموعات الجزئية في الدورة السابعة →

90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Fm	Md	No	Lr	

المجموعات

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe

الدورات

وتُعرّف ظاهرة تكرار الميول هذه بالدورية. ويستخدم هذا المصطلح للدلالة على الحدوث في دورات. يسمّى كلّ سطر أفقيّ بالدورة لأنها تقابل دورة كاملة من الميل.

### لمعلوماتك

■ **القيراط** وحدة مألوفة تستخدم لوصف كتلة الأحجار الكريمة. فكتلة قيراط واحد من الماس مثلاً 0.2 جم. والقيراط وحدة مألوفة تستخدم لوصف نقاوة الفلزّ الثمين كالذهب. فخاتم الذهب من 24 قيراطاً هو ذهب نقيّ قدر الإمكان (ذهب خالص). وخاتم ذهب 12 قيراطاً هو نقيّ بمقدار 50%.

### نقطة فحص

أيهما أكبر: ذرّات السيزيوم Cs (العدد الذرّي 55). أم ذرّات الرادون Rn (العدد الذرّي 86)؟

هل كانت هذه إجابتك؟

ربما حاولت النظر إلى الشّكل 12.12 للإجابة عن هذا السؤال. ولكنك أحبطت بسرعة لأنّ عناصر الدورة السادسة غير مبيّنة. حسنًا. اهدأ. انظر إلى الميل. فسترى في أيّ دورة. الذرّات إلى اليسار جميعها أكبر من الذرّات التي إلى اليمين. وهكذا. فالسيزيوم يقع إلى أقصى يسار الدورة السادسة. وعليه، يمكنك التنبؤ بأنّ ذرّاته أكبر من ذرّات الرادون التي تقع إلى أقصى اليمين من الدورة السادسة. يعدّ الجدول الدوريّ خارطة طريق لفهم العناصر.

### لمعلوماتك

■ عندما تسخّن فتيلة التنجستن داخل المصباح، تبخر جسيمات صغيرة جدًّا من التنجستن. ومع الزمن، تترسب هذه الجسيمات على السطح الداخليّ للمصباح مسببة اسوداده. وبفقدان فتيلة التنجستن، ينكسر في النهاية و«يحترق» المصباح. يصلح هذا بتبديل الهواء داخل المصباح بغاز الهالوجين، مثل اليود أو البروم. في مصباح الهالوجين هذا، يتحد التنجستن المتبخر مع الهالوجين بدلاً من الترسب على المصباح، والذي يبقى صافيًا. زد على ذلك أنّ التنجستن يصبح غير مستقر وينفصل عن الهالوجين عندما يلمس الفتيل الساخن. ويعود الهالوجين إلى حالته الغازية، في حين يترسب التنجستن على الفتيلة، وبذلك تسترجع الفتيلة. ولهذا السبب تدوم مصابيح الهالوجين طويلاً.

تميل خصائص العناصر أسفل كلّ مجموعة (الصّف العموديّ) إلى التشابه بشكل مدهش. ولهذا، يقال إنّ هذه العناصر "مجموعة" أو "في عائلة". كما بين الشّكل 13.12، يوجد للعديد من المجموعات أسماء تقليدية تصف خصائص هذه العناصر. ومبكراً في التاريخ البشري، اكتشف الناس أنّ مزج الرّماد مع الماء يُنتج محلولاً لزجاً يفيد في إزالة الدهون. ووصف هذا المزيج في العصور الوسطى على أنه قلوّيّ، وهو مصطلح مشتق من اللغة العربية للرّماد، القلي. وللمخاليط القلوية عدة استخدامات. خاصة في خضير الصابون (الشّكل 14.12). والآن، نعلم أنّ الرّماد القلوّيّ يحتوي على مركبات مجموعة العناصر 1. وأكثرها كربونات البوتاسيوم والمعروفة أيضاً بالبوتاس. وبسبب هذا التاريخ، تسمى مجموعة العناصر التي هي فلزات، الفلزّات القلوية (Alkali Metals).

تشكّل عناصر المجموعة الثانية أيضاً محاليل قلوية عند مزجها بالماء. والأكثر من ذلك، فقد لاحظ كيميائيو العصور الوسطى أنّ مادة معينة (نعلم الآن أنها من المجموعة الثانية) لا تذوب ولا تتغير عندما توضع فوق النار. تعرف هذه المواد المقاومة للنار، للكيميائيين "بالأرض". وقد حافظت على دورها من العصر القديم، وتسمى عناصر المجموعة الثانية بالفلزّات الأرضية القلوية (Alkaline - Earth Metals).

إلى أقصى اليمين من الجدول الدوريّ، توجد عناصر المجموعة 16 والمعروفة بالهالوجينات (Chalcogens) ("صناعة النجم" باليونانية) لأنّ العنصرين في الأعلى هما الأكسجين والكبريت الموجودان عادة في المناجم. تعرف عناصر المجموعة 17 بالهالوجينات (Halogens) ("تكوين الملح" في اليونانية) بسبب نزوعها إلى تكوين أملاح مختلفة. إنّ عناصر المجموعة 18 جميعها غازات غير متفاعلة، ولا تميل إلى الاتحاد مع العناصر الأخرى. ولهذا السبب سميت غازات نبيلة (Noble gases).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
المعادن القلوية	المعادن القلوية الأرضية	العناصر الانتقالية										B	C	N	O	الهالوجينات	الغازات نبيلة
												Al	Si	P	لا يوجد أسماء	الهالوجينات	
												Ga	Ge	As	مألوفة	الهالوجينات	
												In	Sb	Te			
												Tl	Pb	Bi	Po		

### الشّكل 13.12

الأسماء المألوفة للمجموعات المختلفة من العناصر.



## الشكل 14.12

يصنع الرماد والماء محلولاً قاعدياً لزجاً عندما يستخدم لتنظيف اليدين.



ذرة اليورانيوم أثقل من ذرة الليثيوم 40 مرة، ولكنها أكبر قليلاً في الحجم؛ لأن نواتها المشحونة بشحنة كبيرة تسحب الإلكترونات بقوة. ونظراً لأن لديها إلكترونات أكثر لتسحب فإن هذا يؤدي إلى توازن يغير قليلاً من حجمها.

## لمعلوماتك

■ منذ عام 1943 وحتى عام 1986، تمكنت هيئة هانفورد النووية في وسط ولاية واشنطن من إنتاج 72 طنّاً من البلوتونيوم، أي ثلثي احتياط الولايات المتحدة تقريباً. وقد وُلد إنتاج هذا المقدار من البلوتونيوم ما مقداره 450 بليون جالون من المواد المشعة والسوائل الخطرة، والتي ضحّت في البيئة المحلية. والآن، هناك نحو 53 مليون جالون من المواد ذات المستوى العالي من الإشعاع والمخلفات الكيميائية مخزنة في 177 مخزناً تحت الأرض. ويتسرب العديد منها إلى المياه الجوفية.

على افتراض أنّ النبلاء في العصور القديمة كانوا أرفع من أن يتعاملوا مع عامة الشعب.

إنّ عناصر المجموعات من 3 إلى 12 جميعها فلزات. ولا تشكّل محاليل قلووية مع الماء. تكون هذه الفلزات أصعب من الفلزات القلوية وأقل ميلًا إلى التفاعل مع الماء. لذا، فهي تستخدم في الأعمال البنائية. وهي معروفة بالفلزات الانتقالية: اسم يدلّ على مركزية موقعها في الجدول الدوريّ. تتضمن الفلزات الانتقالية (*Transition Metals*) ومن أكثر العناصر ألفة وأهمية: الحديد، Fe، والنحاس، Cu، والنيكل، Ni، والكروم، Cr، والفضة، Ag، والذهب، Au. كما تتضمن عناصر أقلّ ألفة، ولكنها مهمة في التكنولوجيا الحديثة. يُثمّن الذين لديهم أطراف مزروعة العناصر الانتقالية كالتيتانيوم، Ti، والموليبديوم، Mo، والمنجنيز، Mn؛ لأنّ هذه العناصر تستخدم في أجهزة الاستزراع بسبب عدم تأكلها.

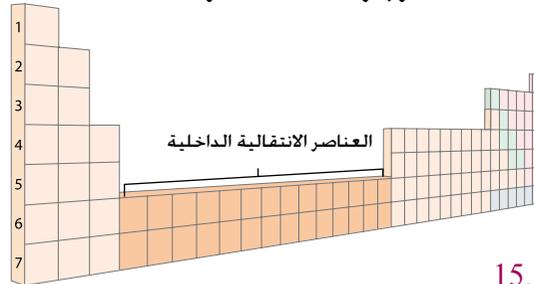
## نقطة فحص

عناصر النحاس Cu، والفضة Ag، والذهب Au هي ثلاثة فلزات من العناصر القليلة المتوافرة في الطبيعة بحالتها العنصرية. لقد وجدت هذه الفلزات الثلاثة استعمالاً عظمى في النقود والمجوهرات لعدة أسباب. منها مقاومتها للتآكل وألوانها الرائعة كذلك. فكيف يفسر الجدول الدوريّ حقيقة الصفات المتشابهة لهذه الفلزات؟

هل كانت هذه إجابتك؟

العدد الذريّ للماس 29، وللفضة 47، وللذهب 79، وكلّها في المجموعة نفسها من الجدول الدوريّ (المجموعة 11).

يوجد ضمن الدورة السادسة المجموعة الجزئية المؤلفة من 14 عنصراً فلزياً (تتراوح أعدادها الذرية من 58 وحتى 71) لا تشبه أيّاً من الفلزات الانتقالية. ومجموعة جزئية مشابهة (أعدادها الذرية 90 - 103) توجد ضمن الدورة السابعة. هاتان المجموعتان الجزئيتان هما الفلزات الانتقالية الداخلية (*Inner Transition Metals*). إنّ دمج الفلزات الانتقالية الداخلية في الجسم الرئيس للجدول الدوريّ كما في الشكل 15.12 يُنتج جدولاً طويلاً ومزعجاً، ولا يمكن كتابة الجدول على صفحة من الحجم العادي وبشكل أنيق. توضع هذه العناصر عادة أسفل الجسم الرئيس للجدول، كما في الشكل 16.12. وتسمى العناصر الانتقالية للدورة السادسة الداخلية اللانثانيدات (*Lanthanides*) لأنها تقع خلف عنصر اللانثانوم، La. وبسبب تشابه خصائصها الفيزيائية والكيميائية توجد بشكل مختلط معاً في الموقع نفسه على الأرض. وأيضاً بسبب هذا التشابه فإنه يصعب تنقيتها. لقد ازدادت الاستخدامات التجارية لللانثانيدات. وحديثاً، يستخدم العديد من عناصر اللانثانيدات في صناعة الصمامات الباعثة للضوء (LEDs) لشاشات الحاسوب وشاشات التلفاز المسطحة.



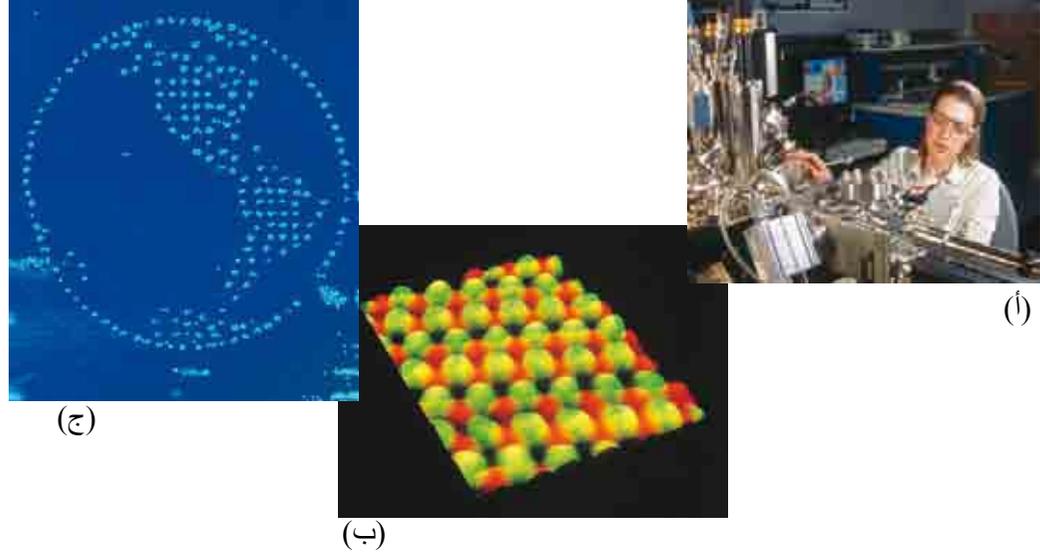
## الشكل 15.12

دمج الفلزات الانتقالية الداخلية بين المجموعتين الذريتين الثالثة والرابعة في الجدول الدوريّ، والتي ليس من السهل مواضعها في صفحة قياسية.



## الشكل 19.12

(أ) مجاهر المجس المسحي أجهزة بسيطة نسبياً تستخدم لالتقاط صور دون مجهرية.  
 (ب) صور لذرات الجاليوم والزرنيخ أخذت بمجهر مجس مسحي. (ج) تتكوّن كل نقطة على أصغر خريطة عالمية من عدة آلاف من ذرات الذهب، وتتحرك كل ذرة إلى الموقع المناسب بمجس المجهر الماسح.



على الرغم من أننا لا نستطيع رؤية الذرات مباشرة، إلا أنه يمكن لنا أخذ صور لها بطريقة غير مباشرة. في منتصف عام 1980م، طوّر الباحثون مجهر المجس الماسح - *Scanning probe micro-SCOPE* والذي ينتج صوراً عن طريق غرز إبر رفيعة ذهاباً وإياباً فوق سطح العينة. يعمل الاصطدام والذي يكون بحجم الذرات على سطح العينة على تحريك الإبرة إلى الأعلى والأسفل. تكشف وترجم هذه الحركة العمودية عبر جهاز الحاسوب إلى صورة طبوغرافية والتي تقابل مواقع الذرات على السطح (الشكل 19.12).

يستخدم المجهر الماسح أيضاً لدفع الذرات المفردة إلى الأماكن المطلوبة. وقد فتحت هذه القدرة إمكانيات هائلة من التقنيات الثابتة؛ حيث تم تصنيع دارات كهربائية ومحركات صغيرة جداً ذرة بذرة.

## نقطة فحص

الذرات غير مرئية. لماذا؟

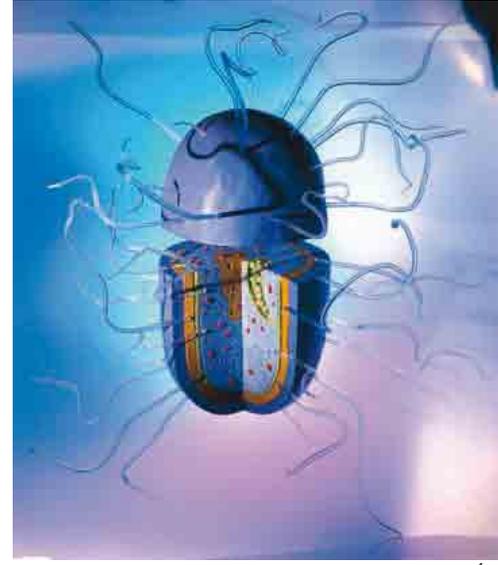
هل كانت هذه إجابتك؟

الذرة المفردة أصغر من أطوال موجات الضوء المرئي، وبهذا فهي غير قادرة على عكس هذا الضوء. إذن، فالذرات غير مرئية لأن الضوء المرئي يمرّ منها، إن الصور المكوّنة من المجهر الماسح ليست صوراً ملتقطة بالكاميرا. بل هي تمثيل حاسوبي متولد من حركة الإبرة الرفيعة جداً.

يمكن تمثيل الجسم الصغير جداً وكذلك الكبير جداً بنموذج فيزيائي. وهو نموذج يمثل الأجسام بمقاييس ملائمة تماماً. يبين الشكل 20.12 مثلاً نموذجاً فيزيائياً (Physical Model) بمقياس كبير لكائن حيّ صغير مجهرى (microorganism) يستعمله طلبة علوم الحياة لدراسة التركيب الداخلي لهذه الكائنات المجهرية. ولأنّ الذرات غير مرئية، فإننا لا نستطيع استخدام النموذج الفيزيائي لتمثيلها. أي لا نستطيع تكبير الذرة إلى حجم أكبر كما نفعّل مع الكائنات المجهرية الدقيقة. يبين المجهر الماسح مواقع الذرات وليس صورتها الحقيقية، ولا يوجد لها سطح صلب متضمن في صورة الماسح الشّكل (19.12)، وبدلاً من وصف الذرة بنموذج فيزيائي. يستخدم الكيميائيون ما يعرف بالنموذج المفاهيمي. والذي يصف نظاماً ما. كلما كان النموذج المفاهيمي (Conceptual Model) دقيقاً كانت قدرته على التنبؤ بسلوك النظام أدق. إن أفضل وصف للطقس هو بنموذج مفاهيمي كالذي يظهر في الشكل 20.12. يبين هذا النموذج مختلف مركبات النظام - الرطوبة، والضغط الجوي، ودرجة الحرارة، والشحنة الكهربائية.



(ب)



(أ)

وحركة الكتل الكبيرة من الهواء - والتي يتفاعل بعضها مع بعض. وهناك أنظمة أخرى يمكن وصفها بنماذج مفاهيمية كالاقتصاد، والتّموُّ السّكانيّ، وانتشار الأمراض، والفرق الرياضية.

### الشّكل 20.12

(أ) نموذج المقياس - الكبير هذا للكائن الحي الميكرووي هو نموذج فيزيائيّ. (ب) يعتمد متنبؤو الطّقس على النماذج المفاهيمية كالتنبؤ بأحوال أنظمة الطّقس.

#### ■ نقطة فحص

يصف مدرب كرة السلة استراتيجية اللعب لفرقه بطريقة الرسم على اللوح. فهل تعدّ هذه الرسوم نموذجًا فيزيائيًا أم نموذجًا مفاهيميًا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

هذه الرسوم هي نموذج مفاهيمي يستخدمه المدرب لوصف نظام ما (اللاعبون في الملعب) على أمل التنبؤ بالنتيجة (الفوز في المباراة).

مثل الطّقس، فإنّ الذرّة نظام معقد من المركبات المتفاعلة، والتي يمكن وصفها على نحو أفضل بالنموذج المفاهيمي. وعليه، يجب أن تكون حذرًا في تفسير أيّ تمثيل صوريّ للذرّة لنموذج مفاهيمي لها على أنه تجسيد للذرّة الحقيقية. فمثلًا، ستدرس نموذج القشرة للذرّة في الجزء 7.12، حيث تظهر الإلكترونات وهي تدور حول نواة الذرّة كدوران الكواكب حول الشّمس. إنّ النموذج الكواكبي محدود، حيث فنشل في تفسير العديد من خصائص الذرّات. لقد تمّ تقديم نماذج مفاهيمية جديدة وأكثر دقة للذرّة (وأكثر تعقيدًا). في هذه النماذج، تبدو الإلكترونات غيومًا تحوم حول نواة الذرّة، ولكن هذه النماذج أيضًا ذات عيوب. وفي النهاية، فإنّ أفضل نماذج للذرّة هي رياضية بحتة. في هذا الكتاب، سيكون تركيزنا على النماذج الذرّية المفاهيمية والتي يمكن تمثيلها بسهولة بصور مرئية، بما في ذلك النموذج الكواكبي، والنموذج الذي تتجمع فيه الإلكترونات في وحدات تسمى القشور. وعلى الرّغم من عيوبها، فإنّ هذه النماذج أدلة ممتازة للتعلّم حول سلوك الذرّات، خاصة للطلبة المبتدئين كما سنناقش في الأجزاء اللاحقة. لقد طور العلماء هذه النماذج للمساعدة على تفسير كيفية بثّ الذرّات الضّوء.

### ■ 6.12 تشخيص الذرّات باستخدام المطياف

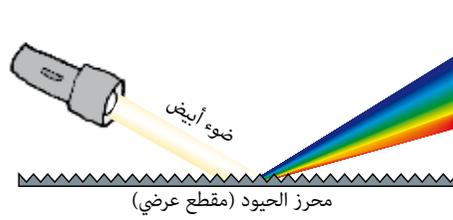
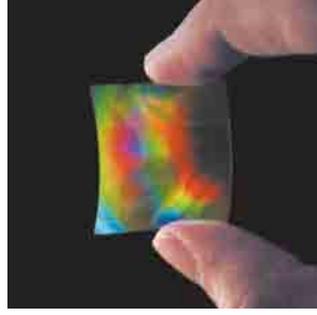
تذكّر من الفصل 11، أننا نرى اللون الأبيض عندما تصل إلى أعيننا ترددات اللون الأبيض جميعها في الوقت نفسه. إذا مرّرتنا الضّوء الأبيض عبر منشور أو محرز الحيود، فإنّ مكونات اللون للضّوء تنفصل



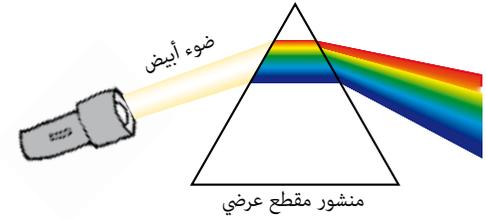
لا نستطيع رؤية الذرّات لأنها صغيرة جدًا، كما أنّنا لا نستطيع رؤية النجم البعيد أيضًا. وهناك أشياء كثيرة لا نستطيع رؤيتها. ولكن هذا لا يمنعنا من التفكير فيها أو حتى تجميع أدلة غير مباشرة.

الشكل 21.12

فصل الضوء الأبيض إلى مكوناته بكل من:  
(أ) المنشور. (ب) محزّز الحيود.



(ب)



(أ)

لمعلوماتك

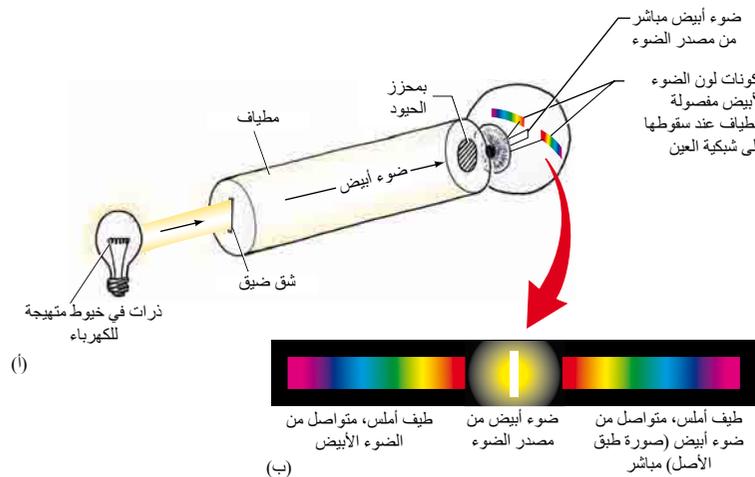
■ يستدل على عمر نجم بالعناصر المكوّنة له. تتكوّن أولى النجوم وأقدمها من الهيدروجين والهيليوم لأنّ هذين العنصرين هما المتوافران في ذلك الوقت. أنتجت العناصر الأثقل بعد أن انفجرت هذه النجوم الأولى في المتجدد الأعظم. ودمجت العناصر الأثقل في تكوين النجوم اللاحقة. عمومًا، كلما كان النجم أحدث، أي أقل عمرا، كبرت كمية العناصر الثقيلة التي يحتويها.

كما هو مبين في الشكل 21.12. (تذكر أنّ كلّ لون في الضوء المرئي يقابل ترددًا معينًا). **المطياف (Spectroscope)** المبين في الشكل 22.12 هو جهاز يستخدم في تحديد مكونات اللون لأي مصدر ضوئي. يُمكننا المطياف من تحليل الضوء المنبعث من العناصر المتوهجة. ينبعث الضوء من الذرات التي تتعرض لمختلف أشكال الطاقة، مثل الحرارة والكهرباء. ولكن ذرات عنصر معين تبث ترددات معينة فقط من الضوء، وبناءً عليه، فإنّ كلّ عنصر يبث توهجًا مميزًا عندما يزداد بالطاقة. تبث ذرات الصوديوم ضوءًا أصفر لامعًا، والذي يجعله مفيدًا في إنارة الشوارع بسبب حساسية أعيننا للضوء الأصفر. ومثال آخر على ذلك، تطلق ذرات النيون ضوءًا أحمر برتقاليًا لامعًا يجعلها مفيدة في مصادر الضوء في لافتات النيون.

عندما ننظر إلى الضوء الناتج عن الذرات المتوهجة من خلال المطياف، نرى أنّ الضوء يتكون من ترددات محددة عديدة (بعضها مفصول عن بعض) بدلًا من طيف مستمر كالذي يُشاهد في الشكل 22.12. إنّ أنماط الترددات المكوّنة من عنصر معين - يرى بعضها في الشكل 23.12 يطلق عليها الطيف الذري (**Atomic Spectrum**) للعنصر. ويعدّ هذا الطيف الذري بصمة للعنصر. ويمكن تحديد العناصر في مصدر ضوئي بتحليل الضوء من خلال مطياف، ومن ثمّ البحث عن أنماط مميزة. إنّ لم يتسنّ لك استعمال مطياف في المختبر، فتفحص الأنشطة الواردة في نهاية هذا الفصل.

الشكل 22.12

شكل تفاعلي (أ) في المطياف، يمرّ الضوء المنبعث من الذرات عبر فتحة ضيقة قبل انفصاله إلى ترددات محددة بالمنشور (كما هو مبين هنا) أو محزّز الحيود. (ب) هذا ما تراه العين عندما تشير الفتحة الضيقة لمحزّز الحيود للمطياف نحو مصدر الضوء الأبيض. تظهر أطيف الألوان إلى اليسار واليمين من الفتحة.



(أ)

(ب)

## ■ نقطة فحص

كيف يمكنك تحديد المكونات العنصرية لنجم ما؟

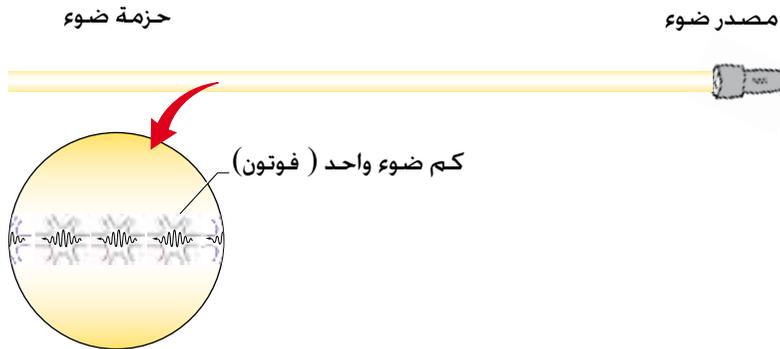
هل كانت هذه إجابتك؟

وَجَّه مطيافاً جيد الصنع نحو النجم. وادرس أخطاه الطيفية. في أواخر عام 1800م حصل هذا مع جُمننا الشَّمس. تم ملاحظة الأخطاط الطبيعية للهيدروجين وبعض العناصر الأخرى المعروفة. بالإضافة إلى نمط لم يُعرف. استنتج العلماء أنّ النمط الذي لم يحدّد يعود إلى عنصر لم يكتشف على الأرض بعد. وسُمّي هذا العنصر الهيليوم نسبة إلى الكلمة اليونانية التي تعني "الشَّمس" هيليوس Helios.

## ■ 7.12 الفرضية الكمية

لقد أسهم عالم الفيزياء الألماني ماكس بلانك (Max Planck 1858-1947) بخطوة مهمة نحو فهمنا الحالي للذرات وأطيافها. في عام 1900م افترض بلانك أنّ طاقة الضّوء مكّمة بالطريقة نفسها للمادة. فعلى سبيل المثال. تساوي كتلة سبيكة من الذهب عدداً صحيحاً من مضاعفات كتلة ذرة واحدة من الذهب. وبالمثل. تساوي الشحنة الكهربائية دائماً مضاعف عدد صحيح من شحنة إلكترون مفرد. لذا. يقال إنّ الكتلة والشحنة مكّمتان. لأنهما مكّمتان من عدد صحيح من وحدات أساسية.

ما فعله بلانك بالفرضية الكمية هو إدراك أنّ طاقة شعاع الضّوء ليست طاقة تنساب باستمرار (غير مكّمة) كما نعتقد. بل يتكون الشعاع من زليون (Zillions) عدد كبير لا متناه من حزم صغيرة من الطاقة (Packets) كل حزمة تسمى مكّمة (Quantum). كما هو ممثّل في الشكل 24.12. وبعد عدة سنوات. أدرك أينشتاين أنّ هذه الكميات تتصرف كجسيمات مادية متناهية في الصغر. ولتأكيد الطبيعة الخاصة بها أطلق مصطلح فوتون على كلّ كمّ ضوء لتمثيله مع المصطلحات: إلكترون. وبروتون. ونيوترون. وباستخدام نظرية الكمّ لبلانك. فسّر العالم الدنماركي نيلز بور (Niels Bohr 1885-1962) الأطياف الذرية كما يلي: 1- يكون للإلكترون البعيد عن النواة طاقة وضع أكبر. وهذا مشابه لطاقة الوضع الكبيرة لجسم عندما يكون على ارتفاع عال عن الأرض. 2- أدرك بور أنه عند امتصاص الذرة الفوتون من الضّوء. فإنها تمتص طاقة. يستحوذ على هذه الطاقة أحد الإلكترونات. ولأنّ هذا الإلكترون قد اكتسب طاقة. فعليه التّحرّك بعيداً عن النواة.



## الشكل 23.12

يتوهج لهب العنصر المسخن بألوانه الخاصة. يسمّى هذا عادة اختبار اللهب، ويستخدم لفحص وجود عنصر ما في العينة. عندما ينظر إليه من خلال المطياف، يتألف لون كلّ عنصر من نمط مميز من الترددات تعرف بالطيف الذري.

## الشكل 24.12

الضّوء مكّمي، وهذا يعني أنه مكون من سيل رزم صغيرة من الطاقة. تسمى كلّ رزمة كمّاً. وتعرف أيضاً بالفوتون.



إسترانثيوم , Sr



بوتاسيوم , K



باريوم , Ba

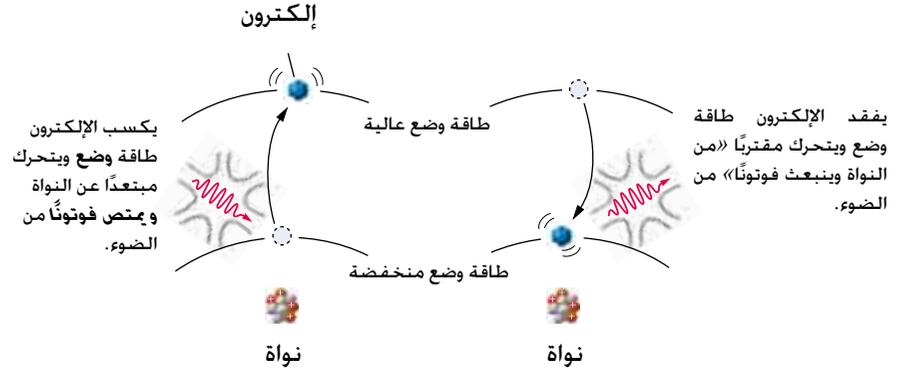


نحاس , Cu



الشكل 25.12

يرتفع الإلكترون مبتعداً عن النواة عندما تمتص الذرة فوتوناً من الضوء وينزل مقترباً من النواة عندما تطلق الذرة فوتوناً من الضوء.



كما أدرك بور أنّ العكس صحيح؛ عندما يفقد إلكترون (في ذرة) ذو طاقة عالية بعض طاقته فإنه ينتقل قريباً من النواة، أما الطاقة التي يفقدتها الإلكترون فتنبعث من الذرة على هيئة فوتون ضوئي. يوضح الشكل 25.12 كلاً من الامتصاص والانبعاث.

نقطة فحص

أيهما ذو طاقة أكبر: فوتون الضوء الأحمر أم فوتون تحت الحمراء؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ تردد الضوء الأحمر أعلى من تردد الضوء تحت الأحمر. وهذا يعني أنّ طاقة فوتون الضوء الأحمر أكثر من طاقة فوتون الضوء تحت الأحمر. تذكر أنّ الفوتون رزمة متصلة واحدة (كمّ) من الطاقة المشعّة.

استنتج بور أنه لأن طاقة الضوء مكّمة، فإنه يجب أن تكون طاقة الإلكترون في الذرة مكّمة أيضاً. أي لا يمكن أنّ تأخذ طاقة وضع الإلكترون مجرد أي كمية. ولكن ضمن الذرة، يجب أن يكون هناك عدد متميز من مستويات الطاقة، مثل العتبات على الدرج. يتحدد موقعك على الدرج بتحديد موقع الدرجة، فلا يمكنك الوقوف على ارتفاع يقع بين منتصف درجتين متجاورتين. وبالمثل، يوجد للذرة عدد محدود من مستويات الطاقة المسموح بها. ولا يمكن أن تمتلك كمية طاقة بين مستويات الطاقة المسموح بها. وقد خصص بور لكل مستوى طاقة رقمًا كمّيًا رئيسيًا (*Principal Quantum Number*)  $n$  حيث  $n$  دائماً رقم صحيح. تكون قيمة الرقم الكمّي الرئيس لأقل مستوى طاقة 1. والإلكترون الذي له  $n = 1$  يكون أقرب قدر الإمكان من النواة، والإلكترون الذي يكون  $n = 3$ ،  $n = 1$  وهكذا تبتعد عن النواة.

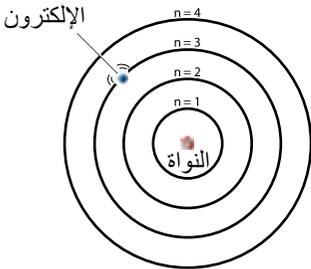
وباستعمال هذه الأفكار، طوّر بور نموذجاً مفاهيمياً، حيث تتفيد حركة الإلكترونات حول النواة بمسافات معينة عنها. وتحدد هذه المسافات بكمية الطاقة التي يمتلكها الإلكترون. ورأى بور أنّ حركة الإلكترونات تشبه حركة الكواكب في مدارات حول الشمس على مسافات معينة منها. ويمكن تمثيل مستويات الطاقة المسموح بها لأي ذرة كمدارات حول النواة، كما هو مبين في الشكل 26.12. عُرف نموذج بور الكمّي للذرة بالنموذج الكوكبي.

استخدم بور نموذج الكواكب لتفسير سبب احتواء الطيف الذريّ على عدد محدود من ترددات الضوء. ووفقاً لهذا النموذج، تنبعث الفوتونات من الذرات حين تنتقل الإلكترونات من المدارات الخارجية التي طاقتها أعلى إلى مدارات داخلية طاقتها أقلّ. تساوي طاقة الفوتون المنبعث الفرق في طاقة المدارين. وبسبب أنّ الإلكترون مقيد إلى مدارات محددة، فإنّ ترددات معينة فقط هي التي تنبعث، كما تبين الأطياف الذريّة.

ومن المثير للاهتمام أنّ الانتقال بين أيّ مدارين يكون آتياً، أي أنّ الإلكترون لا "يقفز" من مدار أعلى إلى مدار أدنى كما يقفز السنجاب من فرع أعلى لشجرة ما إلى فرع أدنى. وبدلاً من ذلك، يتحرك الإلكترون بين مدارين بزمن قدره صفر. لقد كان بور جاداً حين أكّد أنّ الإلكترون لا يمكن أن يوجد بين مدارين مسموحين له من الطاقة.

الشكل 26.12

نموذج بور الكواكب للذرة، والذي يدور فيه الإلكترون حول النواة كما تدور الكواكب حول الشمس، تمثيل بالرسم لمساعدتنا على فهم كيف أنّ الإلكترونات تمتلك كميات مكّمة فقط من الطاقة.





### ■ نقطة فحص

هل يعدّ نموذج بور للذرة فيزيائيًا أم مفاهيميًا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يعدّ نموذج بور نموذجًا مفاهيميًا. إنه ليس نسخة بمقياس أكبر عن الذرة، ولكنه تمثيل يفسر سلوكها.

لقد أثبت نموذج بور الكواكبيّ أنه نجاح باهر. وباستخدام فرضية بلانك الكميّة، فقد حلّ نموذج بور لغز الأطياف الذريّة. وعلى الرّغم من نجاحاته، فقد كان محدودًا. لأنّه لم يفسر سبب أن مستويات الطاقة في الذرة مكمّاة. لقد كان بور مبادرًا للإشارة إلى أنّ نموذجّه تقريبيّ وابتدائيّ. وأنّ دوران الإلكترونات حول النواة مثل الكواكب حول الشّمس يجب ألا يؤخذ بالمعنى الحرفيّ للكلمة (تنويه: لا يأخذه في الحسبان من يتعامل مع العلوم بسطحيّة).

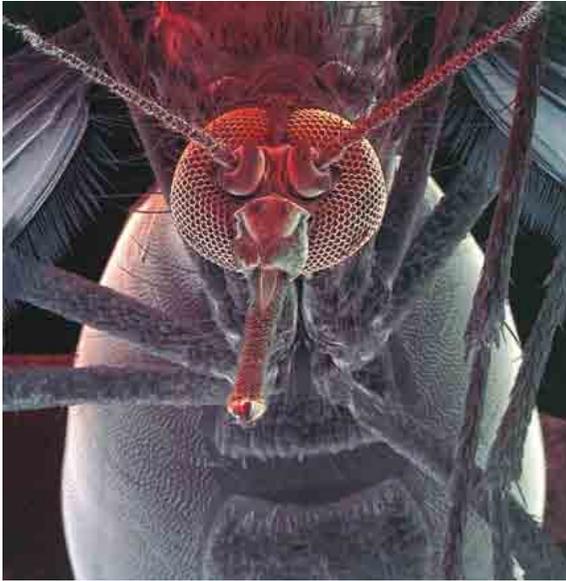
### ■ 8.12 أمواج الإلكترون

إذا كان للضوء خصائص كلّ من الموجة والجسيم، فلم لا يكون للجسيم المادي، كالإلكترون، تلك الخصائص معًا؟ طرح هذا السؤال الفيزيائي الفرنسي لويس دي بروي (1892 – 1987) Louis de Broglie حينما كان طالب دراسات عليا في عام 1924م. لقد كان جوابه الباهر أنّ لكلّ جسيم ماديّ موجة مصاحبة ترشده في أثناء انتقاله. وكلما كانت حركة الإلكترون بطيئة، كانت صفاته أقرب إلى سلوك الجسيم ذي الكتلة. ولكن، كلما كانت حركته سريعة، اقترب سلوكه من سلوك الموجة، التي لها طاقة. إنّ هذه الازدواجية هي امتداد لمعادلة أينشتاين الشهيرة  $E = mc^2$ ، والتي تشير إلى أنّ المادة والطاقة يمكن تحويل أيّ منهما إلى الأخرى. سنتحدث أكثر حول هذه العلاقة في الفصل اللاحق.

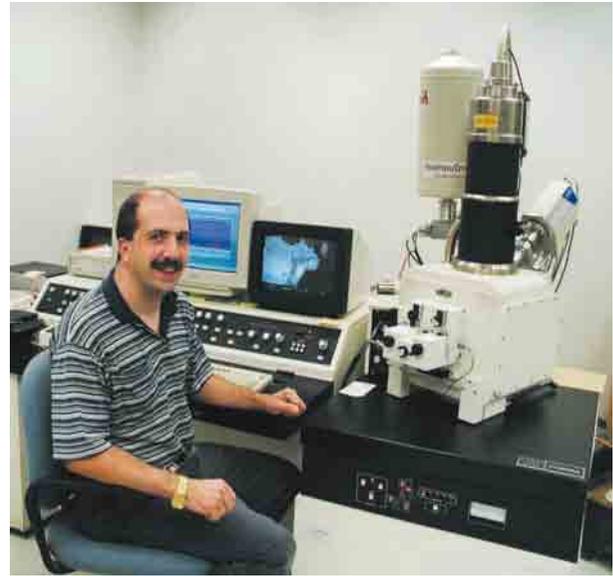
وكتطبيق عمليّ على الخصائص الموجية للإلكترونات المتحركة بسرعة، نأخذ المجهر الإلكترونيّ الذي يركّز على موجات الإلكترون وليس على موجات الضوء المرئية. ولأنّ موجات الإلكترون أصغر كثيرًا من موجات الضوء المرئيّ، فإنّ المجهر الإلكترونيّ يبيّن تفاصيل أدق كثيرًا من المجاهر البصرية، كما يوضح الشّكل 27.12.

### الشّكل 27.12

(أ) يستخدم المجهر الإلكترونيّ الطبيعة الموجية للإلكترونات. وعادة ما تكون الأطوال الموجية لحزم الإلكترون أصغر من الأطوال الموجية للضوء المرئيّ نحو 1000 مرة. لذا، فإنّ المجهر الإلكترونيّ يميز التفاصيل التي لا يمكن التمييز بينها بالمجاهر الضوئية. (ب) تفاصيل رأس بعوضة كما يرى بالمجاهر الإلكترونيّ عند تكبير "منخفض" بمقدار  $\times 200$  مرة. لاحظ القدرة التحليلية الرائعة



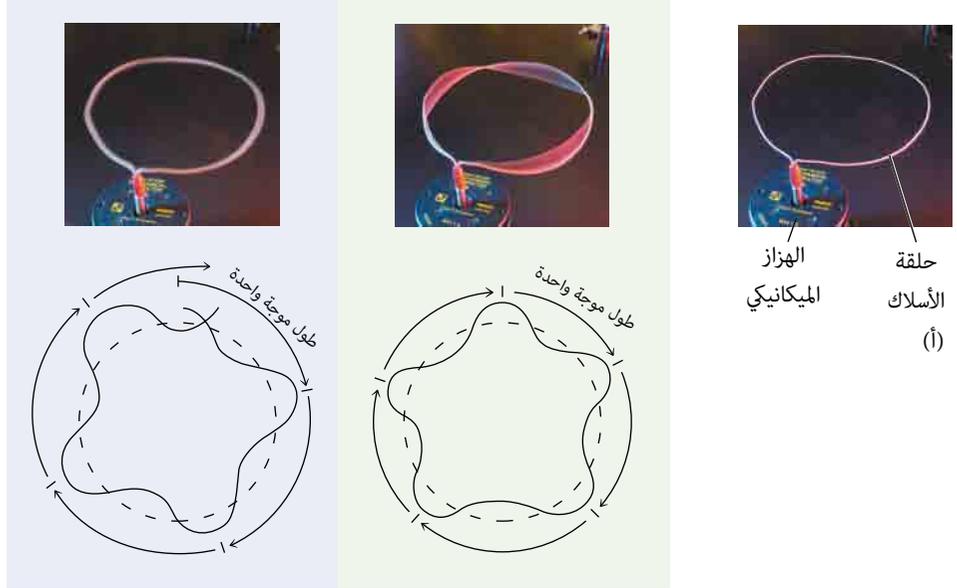
(ب)



(أ)

## الشكل 28.12

لمحيط ثابت كحلقة سلك، هنا فقط بعض الأطوال الموجية تعزز ذاتياً. (أ) الحلقة موصولة بهزاز ميكانيكي في وضع السكون. ترسل الأمواج عبر السلك عندما يهتز العمود. (ب) الموجات الناتجة بمعدلات معينة هي فقط التي تعزز ذاتياً. (ج) الموجات التي تنتج بمعدلات أخرى لا تعزز ذاتياً.



(ب) طول موجة معززة ذاتياً (ج) طول موجة تنتج عن الحركة الفوضوية

يتحرك الإلكترون بسرعة عالية جداً في الذرة: نحو 2 مليون م/ث. ولهذا، فهو يمتلك العديد من صفات الموجة. يمكن استخدام طبيعة موجة الإلكترون لتفسير سبب تقيّد الإلكترونات في الذرة بمستويات طاقة معينة. إنّ مستويات الطاقة المسموح بها هي نتيجة طبيعية لانطباق موجات الإلكترون على بعضها بطريقة متزامنة.

وبالمثل، تأمل حلقة السلك المبين في الشكل 28.12. إذا أضفنا هذه الحلقة إلى هزاز ميكانيكي معايير لإنتاج موجات ذات أطوال موجية مختلفة، فإنّ الموجات العابرة للسلك تلتقي مع نفسها كما في الشكل 28.12. ب. مكوّنة نمط موجة ساكنة تسمى الموجة الواقفة. وقد نتج هذا النمط بسبب التماثل التام للقيم والقيعان لموجتين متتابعيتين. وهذا يجعل الموجات تعزز الواحدة منها الأخرى. وبالنسبة للأطوال الموجية الأخرى كما في الشكل 28.12. ج، فإنّ الموجات المتتابعة لا تكون متزامنة. ويترتب على ذلك ألا يكون لهذه الموجات سعة كبيرة.

إنّ الموجات الوحيدة التي يمتلكها الإلكترون وهو ضمن حدود الذرة هي تلك التي تعيد تعزيز نفسها. وهذه تشبه الموجة الواقفة التي مركزها نواة الذرة. تقابل كلّ موجة واقفة مستويات طاقة مسموح بها. إنّ ترددات الضوء التي تماثل تماماً الفرق بين أيّ مستويي طاقة مسموح بهما يمكن أن تمتص أو تشعّ من الذرة فقط.

تفسر الطبيعة الموجية للإلكترونات سبب عدم تحرّك الإلكترون بشكل حلزونيّ مقترباً أكثر من النواة الموجية التي تجذبه إليها. وبالنظر إلى مدار كلّ إلكترون كموجة تعزز نفسها، نرى أنّ أصغر محيط مدار لا يمكن أن يكون أصغر من طول موجة واحدة.

## نقطة فحص

كيف يجب أن يكون سلوك الإلكترون ليصبح له صفات موجية؟

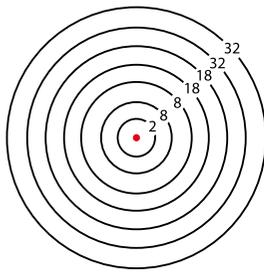
هل كانت هذه إجابتك؟

استناداً إلى دي بروي، تسلك الجسيمات المادية سلوك الموجات من خلال حركتها. لذا، يجب أن يكون الإلكترون متحركاً حتى تصبح له صفات موجية. تتحرك الإلكترونات في الذرة بسرعة تبلغ نحو مليوني متر/ثانية، وهكذا تكون طبيعته الموجية أوضح ما يمكن.

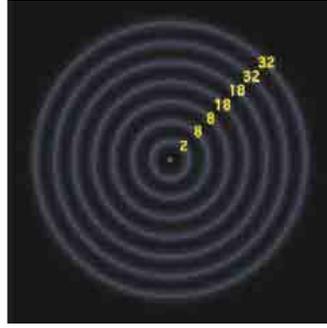
## معلوماتك

■ موجات الإلكترونات ثلاثية الأبعاد، ما يجعلها صعبة التصور. ولكن العلماء تمكّنوا من إيجاد طرق لتصورها. وهذا يتضمّن غيومًا احتمالية ومدارات ذرية. وهذا ما سوف ندرسه في مادة الكيمياء.

تعتمد جودة الأغنية على ترتيب النوتات الموسيقية. وبطريقة مشابهة، تعتمد خصائص العنصر على ترتيب الإلكترونات في الذرات.



(ج)



(ب)



(أ)

## الشكل 29.12

(أ) منظر مقطع للقشور السبع، مع الإشارة إلى عدد الإلكترونات التي تستطيع أن تستوعبها كل قشرة. (ب) منظر لمقطع عرضي في بعدين لمنظر القشور. (ج) منظر مقطع عرضي سهل الرسم يشبه نموذج بور الكواكبي.

## ■ 9.12 نموذج القشرة

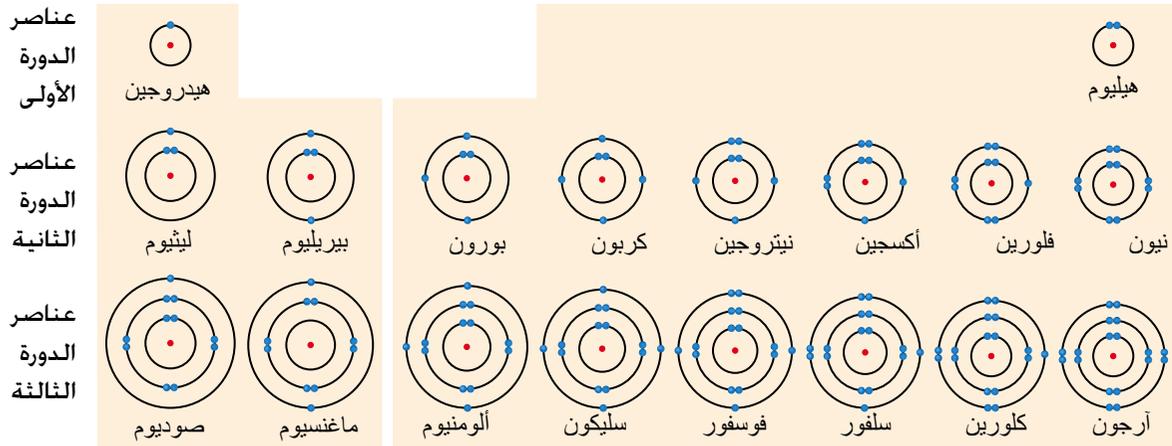
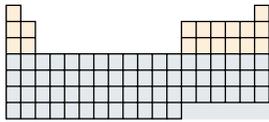
لأسباب السرعة في فهم كيفية سلوك الذرات. نلجأ إلى نموذج القشرة. يشبه هذا النموذج النموذج الكواكبي لبور من حيث البساطة. ولكننا سنستخدمه لمساعدتنا على فهم تنظيم الجدول الدوري.

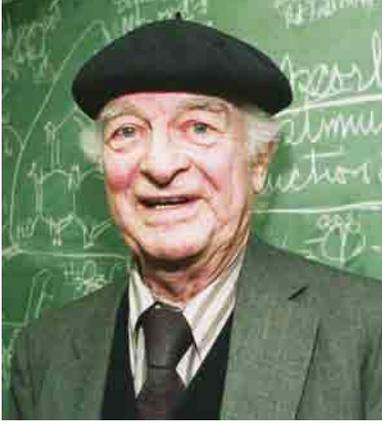
وفقاً لنموذج القشرة، تكون الإلكترونات كأنها مرتبة في سلسلة من القشور متحدة المركز. تُعرف القشرة على أنها منطقة في الفضاء حول نواة الذرة تقيم فيها الإلكترونات. إن المظهر المهم لهذا النموذج هو وجود 7 قشور على الأقل. وكل منها تتسع لعدد محدود من الإلكترونات كما يوضح الشكل 29.12: فالقشرة الأعمق تتسع لإلكترونين. أما القشورتان الثانية والثالثة، فتسع كل منهما لـ 8 إلكترونات. في حين تتسع كل من القشورتين الرابعة والخامسة لـ 18 إلكترونًا، إلى جانب القشورتين السادسة والسابعة التي تتسع كل منهما لـ 32 إلكترونًا.

تفسر سلسلة القشور المتحدة المركز السبع وجود سبع دورات في الجدول الدوري. وزد على ذلك أن عدد العناصر في كل دورة يساوي عدد سعة القشرة من الإلكترونات. فعلى سبيل المثال، تتسع القشرة الأولى لإلكترونين. ولهذا، نجد عنصري الهيدروجين والهيليوم، في الدورة الأولى. الشكل 30.12. إن الهيدروجين هو العنصر الذي تتكوّن ذرته من إلكترون واحد. يقيم هذا الإلكترون في القشرة الأولى. وهي

## الشكل 30.12

الدورات الثلاث الأولى بحسب نموذج القشرة. يكون للعناصر في الدورة نفسها الإلكترونات في القشور المتماثلة. تختلف العناصر في الدورة نفسها بعضها عن بعض في عدد الإلكترونات في القشرة الخارجية.





لينوس بولنج

القشرة الأقرب إلى النواة. ولكل ذرة هيليوم إلكترونان يوجدان في القشرة الأولى أيضًا. وعليه. فهي معبأة بسعتها القصوى. وبالمثل. سعة القشرتين التاليتين 8 إلكترونات. ولهذا. يوجد 8 عناصر في كل من الدورتين الثانية والثالثة.

لقد اقترح لينوس بولنج (1901- 1994). Linus Pauling. الحاصل على جائزة نوبل مرتين. لأول مرة تدريس نموذج القشرة لطلبة الكيمياء المبتدئين. حيث يمكن من خلاله وصف تنظيم الجدول الدوري في هذا النموذج. كما هو موصوف هنا. يمكن جميع المدارات وفقًا لمستوى الطاقة. ولكن نموذج القشرة هذا يختلف عن ذلك الموجود في كتب الفيزياء والكيمياء المتقدمة. والذي يرى أن القشرة هي مجموعة من المدارات. التي لها الرقم الكمي الرئيسي نفسه.

تعرض الإلكترونات الموجودة في المدارات الخارجية الأربعة للاتصال المباشر مع البيئة الخارجية. وهي أول من يتفاعل مع الذرات الأخرى. ومن المعروف جيدًا أنها هي التي تشترك في الروابط الكيميائية. كما سيناقش في الفصل 15. ولهذا. فإن الإلكترونات في القشرة الأبعد مهمة جدًا. تسمى إلكترونات التكافؤ (*Valence Electrons*). المصطلح تكافؤ مشتق من اللاتينية (*Valentia*) وتعني "الشدة" وتدل على القوة المتحددة للذرة.

انظر جيدًا إلى الشكل 30.12. هل ترى أن إلكترونات التكافؤ للذرات من فوق وحت بعضها (ضمن المجموعة نفسها) تكون متشابهة التنظيم. على سبيل المثال. ذرات المجموعة الأولى وهي: الهيدروجين. والليثيوم. والصوديوم. لكل منها إلكترون تكافؤ واحد. في حين أن لذرات كل من المجموعة الثانية: البريليوم. والمغنسيوم إلكتروني تكافؤ. وبالمثل. فإن الغلاف الخارجي الأبعد لذرات المجموعة الأخيرة: الهيليوم. والنيون. والأرجون معبأ بالكامل بالإلكترونات التكافؤ. 2 للهيليوم. و8 لكل من النيون والأرجون. وعلى العموم. فإن إلكترونات التكافؤ للمجموعة نفسها في الجدول الدوري متشابهة التنظيم. وهذا يفسر سبب تشابه صفات عناصر المجموعة نفسها. وقد طُرِح هذا المفهوم أولًا في الجزء 5.12.

### ■ نقطة فحص

هل حقيقة أن الذرات تتكوّن من قشور تشبه تلك المصورة في الشكل 29.12؟

### هل كانت هذه إجابتك؟

نموذج القشرة ليس صورة "لمظهر الذرة". والصحيح أنه نموذج مفاهيمي يسمح لنا بتفسير السلوك الملاحظ. وعليه. فالذرة لا تتكوّن في الحقيقة من قشور متحدة المركز. بل تسلك كما لو كانت كذلك.

تذكر أنه لا يجب تفسير نموذج القشرة على أنه تمثيل حقيقي للتركيب الفيزيائي للذرة. إنه يخدم كأداة لمساعدتنا على فهم سلوك الذرات والتنبؤ به. وسنرى في الفصل 15 نسخة مبسطة لهذا النموذج لمعرفة كيفية اتحاد الذرات معًا لتشكيل الجزيئات. والتي هي مجموعات ذرية مرتبطة معًا بقوة. وسوف نكتشف في الفصل الآتي تفاصيل أكثر عن نواة الذرة. والتي تمثل مصدرًا محتملاً هائلًا للطاقة.

### لمعلوماتك

■ وفق نظرية أينشتاين في نظرية النسبية الخاصة. عند سرعة 60% من سرعة الضوء. تختبر إلكترونات الذهب الداخلية الأقرب للنواة 52 ثانية لكل دقيقة. بحسب توقيتنا. ويمكن أن يكون الزمن لإلكترونات الماس غير متناه. ولكن الإلكترونات الأكثر قربًا من النواة في الذهب تتأخر 8 ثوانٍ لكل دقيقة!

ما الشيء المشترك بين الشعراء والعلماء؟ كلاهما يستخدم المجاز لمساعدتنا على استيعاب المفاهيم المجردة والعلاقات. "القشرة" مثلًا. هي مصطلح مجازي يساعدنا على التصور الحقيقي غير المرئي. وما النماذج العلمية أساسًا إلا لغة مجازية تستخدم في الشعر.

## ملخص المصطلحات

الدورة **Period**: السطر الأفقي في الجدول الدوري.  
 مجموعة **Group**: الصف العمودي في الجدول الدوري، وتعرف بعناصر العائلة أيضًا.  
 نموذج مفاهيمي **Conceptual model**: تمثيل للجسم على مقياس مناسب.  
 المطياف **Spectroscope**: جهاز يستخدم المنشور أو المحرز لفصل الضوء إلى مكوناته.  
 الطيف الذري **Atomic spectrum**: نمط ترددات الإشعاعات الكهرومغناطيسية المنبعثة من ذرة العنصر، وتعد "بصمة" العنصر.  
 فرضية الكم **Quantum hypothesis**: أي أن طاقة الضوء موجودة في رزم منفصلة تسمى كمات.  
 الكم **Quantum**: رزمة صغيرة محددة من طاقة الضوء.  
 العدد الكمي الرئيسي **Principal quantum number**: عدد يحدد مستوى الطاقة المكمي للمدار الذري.  
 القشرة **Shell**: مجموعة من المدارات المتداخلة لها مستوى الطاقة نفسه؛ أي منطقة في الفضاء تكون نسبة وجود الإلكترونات المتماثلة في مستوى الطاقة في الذرة 90%.  
 إلكترون التكافؤ **Valence electron**: الإلكترون الموجود في المدار الأخير من القشرة في الذرة، والذي يشترك في الرابطة الكيميائية.

نواة الذرة **Atomic nucleus**: مركز كثيف موجب الشحنة لكل ذرة.  
 الإلكترون **Electron**: جسيم صغير جدًا، دون مجهري، مشحون بشحنة سالبة، موجود خارج نواة الذرة.  
 العنصر **Element**: أي مادة تتكوّن من نوع واحد فقط من الذرات.  
 الجدول الدوري **Periodic table**: رسم يضم العناصر المعروفة جميعها بترتيب وفق العدد الذري.  
 الرمز الذري **Atomic symbol**: اختصار للعنصر أو الذرة.  
 البروتون **Proton**: جسيم دون مجهري له شحنة موجبة في نواة الذرة.  
 العدد الذري **Atomic number**: مجموع عدد البروتونات في نواة الذرة.  
 نيوترون **Neutron**: جسيم دون مجهري متعادل كهربائيًا في نواة الذرة.  
 النوية **Nucleon**: أي جسيم دون مجهري يوجد في نواة الذرة، وهي اسم آخر لكلّ من البروتون والنيوترون.  
 النظائر **Isotopes**: أي عضو في مجموعة الذرات للعنصر نفسه والتي تحتوي أنويتها على العدد نفسه من البروتونات، ولكن باختلاف عدد النيوترونات.  
 الكتلة الذرية **Atomic mass**: كتلة ذرات العنصر الموجودة في قائمة الجدول الدوري بوصفها قيمة وسطية على أساس التوافر النسبي لنظائر العنصر.

## أسئلة مراجعة

## 1.12 الذرات قديمة و فارغة

1. ما أقدم عنصر؟
2. هل يمكن رؤية الذرة باستخدام الضوء المرئي؟
3. ما مركز كل ذرة؟

## 2.12 العناصر

4. كم نوعًا من الذرات تتوقع رؤيته في عينة نقية لأي عنصر.
5. ما الفرق بين الذرة والعنصر؟
6. ما الرمز الذري لعنصر الكوبالت؟

## 3.12 البروتونات والنيوترونات

7. ما الدور الذي يقوم به العدد الذري في الجدول الدوري؟
8. ما الفرق بين العددين الذري والكتلي؟
9. ما الفرق بين عدد الكتلة والكتلة الذرية؟

## 4.12 الجدول الدوري

10. هل معظم العناصر فلزية أم غير فلزية؟
11. ما عدد الدورات في الجدول الدوري؟ ما عدد المجموعات؟
12. ماذا يحدث لخصائص العناصر عبر أي دورة في الجدول الدوري؟

## 5.12 النماذج الفيزيائية والمفاهيمية

13. إذا كانت كرة القاعدة بحجم الأرض، فماذا يكون حجم الذرة؟
14. عندما نستخدم المجهر الماسح، هل نرى الذرة مباشرة أم غير مباشرة؟
15. ما الفرق بين النموذجين الفيزيائي والمفاهيمي؟

## 6.12 تشخيص الذرات باستخدام المطياف

16. ما أثر المطياف في الضوء الآتي من الذرة؟
17. ما الذي يجعل الذرة تبتّ ضوءًا؟
18. لماذا نقول إنّ الطيف الذري كبصمة العنصر؟

## 7.12 الفرضية الكمية

19. ما فرضية الكم لبلاك؟
20. أيهما له طاقة وضع أكبر: إلكترون قريب من نواة الذرة، أم آخر بعيد عنها؟
21. هل فكّر بور في نموده الكواكبي على أنه تمثيل دقيق لما تكون عليه الذرة؟

## 9.12 نموذج القشرة

25. أيّ النموذجين يفسره الجدول الدوري: القشرة. أم الغلاف؟  
 26. ما الإلكترونات الأكثر مسؤولية عن خصائص الذرة؟  
 27. ما العلاقة بين العدد الأقصى الذي يمكن أن تحتويه القشرة وعدد العناصر في كل دورة من الجدول الدوري؟

## 8.12 أمواج الإلكترون

22. من أول من اقترح أنّ للإلكترون خصائص الموجة؟  
 23. ما سرعة الإلكترون في الدوران حول نواة الذرة؟  
 24. كيف تغير سرعة الإلكترون طبيعته الأساسية؟

## تمارين

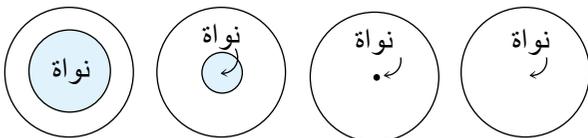
1. • تمشى قطة في خلفية بيتك. بعد ساعة استطاع كلب تتبعها بشممه الأرض. فسّر ما حدث من وجهة نظر جزيئية؟  
 2. • إذا كانت جزيئات الجسم جميعها تبقى جزءًا منه. فهل تظهر للجسم أي رائحة؟  
 3. • ما منشأ الذرات المكوّنة للطفل المولود حديثًا؟  
 4. • ما مصدر ذرات الكربون في شعر المؤلف (التي تظهر في الصورة بعمر 16)؟



5. • بأيّ منطق تتحدث حين تدّعي صادقًا أنك جزء من كلّ شخص حولك؟  
 6. • أخذًا في الحسبان حجم الذرات الصغير. ما احتمالات أن تكون على الأقل أحد الذرات التي تزفرها في أول تنفس لك هي آخر تنفس لك؟  
 7. • هل صحيح أنّ رأس السياسي يكون فضاءً فارغًا بنسبة 99.9999999999%؟  
 8. • إذا أخذ بروتونان ونيوترونان من نواة ذرة الأكسجين -16. فما العنصر الناتج؟  
 9. • تتكوّن ذرة من 43 إلكترونًا. و56 نيوترونًا. و43 بروتونًا. ما الكتلة الذرية التقريبية لهذه الذرة؟ ما اسم هذا العنصر؟  
 10. • تحتوي نواة ذرة الحديد المتعادلة كهربائيًا على 26 بروتونًا. ما عدد الإلكترونات التي تحتويها هذه الذرة؟  
 11. • لم يأت الدليل على وجود النيوترونات إلا بعد عدة سنوات من اكتشاف الإلكترون والبروتون. علل ذلك.  
 12. • أيهما لديه ذرات أكثر؛ 1 جم عينة من الكربون - 12 أم 1 جم عينة من الكربون - 13؟ لماذا؟  
 13. • لماذا تكون الكتل الذرية المثبتة في الجدول الدوري أعدادًا صحيحة غير كاملة؟  
 14. • ما الذي يسهم أكثر في كتلة الذرة: الإلكترونات أم البروتونات؟ أيهما يسهم أكثر في حجمها؟  
 15. • ما الكتلة التقريبية لكتلة ذرة أكسجين بوحدة الكتل الذرية؟

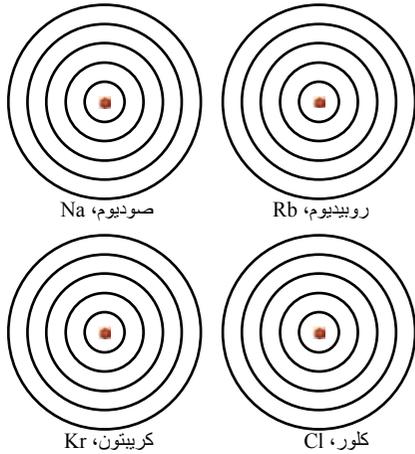
• مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

- ما الكتلة التقريبية لذرتي أكسجين؟ ماذا عن كتلة جزيء الأكسجين؟  
 16. • ما الكتلة التقريبية لذرة الكربون بوحدة الكتل الذرية؟ ماذا عن كتلة جزيء ثاني أكسيد الكربون؟  
 17. • ما الكتلة التقريبية لذرة الهيدروجين بوحدة الكتل الذرية؟ ماذا عن كتلة جزيء الماء؟  
 18. • عندما تنفس. تستنشق الأكسجين وتزفر ثاني أكسيد الكربون. وبخار الماء. أيهما كتلته أكبر: الهواء الذي تستنشقه. أم الهواء الذي تزفره. عند تساوي الحجمين؟ هل يكسب التنفس وزنًا أم يفقده؟  
 19. • حين تقوم الشجرة بعملية البناء الضوئي تأخذ ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء من الهواء وتطلق الأكسجين. هل تفقد الشجرة أم تكتسب وزنا حينما تقوم بهذه العملية؟ فسّر.  
 20. • إنّ الذرات التي يتكون منها جسدك هي في معظمها فضاء فارغ. كما أنّ التراكيب مثل الكرسي الذي تجلس عليه هو أيضًا مكوّن من ذرات هي الأخرى في معظمها فارغ. فلمَ إذن لا تسقط عن الكرسي؟  
 21. • هل من المنطقي القول إنّ هذا الكتاب هو 99.9% فراغ؟  
 22. • أيّ الرسوم التالية يمثّل أفضل حجم نواة الذرة بالنسبة إلى حجمها:



23. • حزمتان. الأولى من البروتونات والأخرى من النيوترونات لهما الطاقة نفسها ضارّتان بالأنسجة الحية. ولكن النيوترون هو الأقل ضررًا. فسّر السبب.  
 24. • كما هو موضح في الشكل 19.12. هل حقًا ذرات الجاليوم حمراء وذرات الزنك خضراء؟  
 25. • بتكنولوجيا مجهر المسح. لا نرى الذرات فعليًا. بل نرى صورًا لها. فسّر.  
 26. • لماذا لا نستطيع رؤية صور لداخل النواة بالمجهر المسح نفسه؟  
 27. • ما المشترك بين مركبات النموذج المفاهيمي؟  
 28. • أيّ النموذجين: الفيزيائي أم المفاهيمي تستعمل لوصف الآتي: عملة ذهبية. ورقة دولار. محرك سيارة. هواء ملوث. فيروس. انتشار مرض جنسي معدي؟

38. ■ ضع العدد المناسب من الإلكترونات في كل غلاف:



39. ■ استخدم نموذج القشرة لتفسير سبب أن ذرة البوتاسيوم K أكبر من ذرة الصوديوم Na.
40. ■ استخدم نموذج القشرة لتفسير سبب أن ذرة الليثيوم L أكبر من ذرة البريليوم Be.

29. ● ما دور النموذج الذري؟

30. ● ما العلاقة بين الضوء المنبعث من ذرة وطاقت الإلكترون في الذرة؟
31. ● كيف يمكنك التمييز بين إنارة شارع بخار - صوديوم وإنارة آخر بخار - زئبق؟
32. ■ كيف يمكن لذرة هيدروجين والتي لها إلكترون واحد أن تصنع العديد من خطوط الطيف؟
33. ■ أي ألوان الضوء يأتي من انتقال طاقة أكبر: الأحمر أم الأزرق؟
34. ◆ كيف يفسر نموذج الموجة للإلكترونات التي تدور حول النواة حقيقة أن للإلكترونات قيم طاقة محددة فقط؟
35. ■ ماذا يمكن أن يكون عليه طيف الذرة لو لم تكن إلكترونات الذرة مقيدة بمستويات طاقة محددة؟
36. ◆ تهتز بعض السيارات القديمة بصوت عال عند سرعات معينة. فمثلاً، عند سرعة 65 ميلاً في الساعة، يكون صوت السيارة ناعماً. ولكن عند سرعة 60 ميلاً في الساعة، فإنّ السيارة تُصدر صوتاً مزعجاً. كيف يقارن ذلك بمستويات الطاقة الكمومية للإلكترون في الذرة؟
37. ◆ هل يجب أن تحتوي القشرة على إلكترونات حتى تكون موجودة؟

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ◆ خبير

## مسائل

2. ■ لعنصر البروم، Br (العدد الذري 35) نظيران رئيسان متشابهان الوجود، كل منهما نحو الـ 50%. الكتلة الذرية المسجلة للبروم في الجدول الدوري هي 79.904 و.ك.ذ. اختر إحدى المجموعات الأكثر احتمالاً لأعداد الكتلة لنظيري البروم: (أ)  $^{80}\text{Br}$ ،  $^{81}\text{Br}$ ، (ب)  $^{79}\text{Br}$ ،  $^{80}\text{Br}$ ، (ج)  $^{81}\text{Br}$ ،  $^{79}\text{Br}$ .

1. ■ كتلة نظير الليثيوم-7 هي 7.0160 و.ك.ذ. ونظير الليثيوم-6 كتلته 6.0151 و.ك.ذ. إذا علمت أن 92.58% من ذرات الليثيوم الموجود في الطبيعة هي لثيوم-7، و 7.42% هي لثيوم-6، فبين أن الكتلة الذرية لليثيوم هي 6.941 و.ك.ذ.

## أنشطة استكشافية

بغض النظر عن المنطقة التي تنقر بها عليها، فإنّ أكبر اهتزاز يكون دائماً في منطقة الوسط. تكون هذه موجة معززة ذاتياً. وحدث من تداخل الأمواج الزاهية والراجعة من الإبهام إلى الآخر. يصعب حت إنارة الضوء العادي أن نرى الأمواج زاهية وراجعة. ولرؤية منظر أفضل: انقر المطاطة أمام شاشة حاسوب أو شاشة تلفاز تستخدم أنبوب المهبط (النوع القديم غير المستوي). فهذا يجعل الضوء من هذه الأجهزة والذي يسلك سلوك ستروبوسكوب للضوء. الأمواج تظهر بطيئة.

3. يمكنك "تكمية" صفيرك بالتصغير عبر أنبوب. كأنبوب من ورق اللف. أولاً، صفر ابتداء من النغمة العالية إلى النغمة المنخفضة دون الأنبوب. صفر بتفّس واحد وبأعلى ما تستطيع. ثم جرّب الشيء نفسه والأنبوب على شفّتك. لاحظ أنّ بعض الترددات لا تخرج مهما حاولت: لأنّ هذه الترددات غير مسموح بها بسبب أنّ أطوالها الموجية ليست من مضاعفات طول الأنبوب.



1. اشترِ نظارات "ملونة" من محل ألعاب. إنّ عدسات هذه النظارات هي محزّزات حيود. وبالنظر من خلال هذه العدسات، ستري الألوان المكوّنة للضوء. بعض مصادر الضوء المعينة مثل القمر وضوء السيارة الأمامي، ينفصل إلى طيف مستمر: أي أنّ ألوان قوس المطر جميعها تظهر بترتيب مستمر من الأحمر إلى البنفسجي. ولكن بعض مصادر الضوء الأخرى تبعث عدداً مميّزاً من الألوان المتقطعة. تتضمن الأمثلة إضاءة الشوارع، وإشارات النيون، والألعاب النارية. إن الأماط الطيفية التي تراها من مصادر هذه الأضواء هي أطيف ذرية لعناصر سخّنت بمصادر الضوء. يمكن رؤية الأماط بشكل أفضل عندما تكون على بعد 50 متراً على الأقل من مصدر الضوء. عند هذه المسافة، يظهر الطيف على شكل سلسلة نقاط تشبه سلسلة الخيوط المبينة في الشكل 23.12.
2. شدّ مطاطة بين إبهاميك. ثم انقرها في مكان ما. لاحظ أنه

لا يمكن للناس الذين يراقبونك تمارس هذا النشاط. أن يصدقوا أن الخطوات المسموعة لصفيك عبر الأنبوب غير مقصودة. فسر لهم التكمية قبل أن يحاولوا جريب هذا النشاط.

جرب استخدام أنابيب لها أطوال مختلفة. لسماع الصفير بوضوح أكثر؛ استخدم أنبوباً من البلاستيك المرن. واثن طرفه الخارجي نحو أذنك. عند حصر صافرتك في الأنبوب، تكون النتيجة تكمية لتردداتها. ولكن عندما تنحصر موجة إلكترون في ذرة فإن النتيجة هي تكمية لطاقته.

### اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيداً، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصل الآتي.

اختر الإجابة المناسبة لكل ما يلي:

- أيهما أطول عمراً؛ الذرات: في جسم كهل، أم تلك التي في جسم طفل؟  
أ. ذرات الطفل أكبر؛ لأن هذا السؤال مخادع بالتأكيد.  
ب. ذرات الكهل؛ لأن الشخص موجود منذ فترة أطول.  
ج. للذرات العمر نفسه في الحالتين، والتي هي أقدم كثيراً من النظام الشمسي.  
د. يعتمد على غذاءيهما.
- يمكنك ابتلاع كبسولة من الجرمانيوم (Ge) (العدد الذري 32). دون آثار مرضية ملموسة، ولكن إذا أضيف بروتون لكل نواة جرمانيوم، فلا تتبلع الكبسولة لأن الجرمانيوم:  
أ. يصبح زرعياً.  
ب. يصبح مشعاً.  
ج. يتمدد، وعلى الأغلب يسكن في الحنجرة.  
د. وتتغير نكهته.
- إذا كان حجم الذرة مساوياً لحجم كرة القاعدة، فإن نواتها تكون بحجم:  
أ. جوزة.  
ب. حبة زبيب.  
ج. برغوث.  
د. ذرة.
- لماذا لا تكون الكتل الذرية المثبتة في الجدول الدوري أرقاماً صحيحة؟  
أ. على العلماء أن يقوموا بقياسات دقيقة.  
ب. إنها مجرد مصادفة.  
ج. الكتل الذرية هي متوسط كتل ذرية.  
د. تستطيع الأدوات اليوم قياس الكتل الذرية إلى عدة أرقام معنوية.
- يوجد عنصر ما في مجرة أخرى بنظيرين إذا كان 80% من ذراته لها كتلة ذرية 80 و.ك.ذ. 20% المتبقية لها كتلة ذرية 82 و.ك.ذ. إذن، فالكتلة الذرية للعنصر بوحدة د.ك.ذ هي:  
أ. 80.4  
ب. 81.0

ج. 81.6

د. 64.0

هـ. 16.4

6. رتب الذرات التالية وفق الحجم الذري: التاليوم (Tl)، الجرمانيوم،

Ge، القصدير Sn، الفوسفور P.

أ.  $Ge < P < Sn < Tl$

ب.  $Tl < Sn < P < Ge$

ج.  $Tl < Sn < Ge < P$

د.  $P < Ge < Sn < Te$

7. أي النموذجين؛ الفيزيائي أم المفاهيمي تستخدم لوصف الآتي:

المخ، العقل، النظام الشمسي، بداية الكون؟

أ. مفاهيمي، فيزيائي، مفاهيمي، فيزيائي.

ب. مفاهيمي، مفاهيمي، مفاهيمي، مفاهيمي.

ج. فيزيائي، مفاهيمي، فيزيائي، مفاهيمي.

د. فيزيائي، فيزيائي، فيزيائي، فيزيائي.

8. كيف يفسر النموذج الموجي للإلكترونات التي تدور حول النواة حقيقة أن للإلكترونات قيمة محددة من الطاقة فقط.

أ. يمكن أن تهتز الإلكترونات بترددات معينة فقط.

ب. عندما تحصر موجة الإلكترون فإنها تعزز فقط عند ترددات معينة.

ج. تظهر قيم طاقة للإلكترونات عندما تكون لموجته سعة عظمية.

د. يفسر نموذج موجة القشرة الذي يوجد فيه الإلكترون وليس مستويات الطاقة له.

9. كيف يمكن لذرة الهيدروجين، والتي لها إلكترون واحدة فقط، أن يكون لها العديد من الخطوط الطيفية؟

أ. يمكن أن يتحرك الإلكترون بسرعات متعددة.

ب. تطلق البروتونات في النواة أيضاً عدة ترددات ضوئية.

ج. يمكن أن يدفع الإلكترون إلى عدة مستويات مختلفة من الطاقة.

د. إن نصف القطر الذري لذرة الهيدروجين كبير نسبياً.

10. عدد الإلكترونات في القشرة الثالثة للصوديوم (Na) (العدد الذري 11) هو:

أ. لا شيء.

ب. 1.

ج. 2.

د. 3.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

1، 2، 3، 4، 5، 6، 7، 8، 9، 10، 11، 12، 13، 14، 15، 16، 17، 18، 19، 20، 21، 22، 23، 24، 25، 26، 27، 28، 29، 30، 31، 32، 33، 34، 35، 36، 37، 38، 39، 40، 41، 42، 43، 44، 45، 46، 47، 48، 49، 50، 51، 52، 53، 54، 55، 56، 57، 58، 59، 60، 61، 62، 63، 64، 65، 66، 67، 68، 69، 70، 71، 72، 73، 74، 75، 76، 77، 78، 79، 80، 81، 82، 83، 84، 85، 86، 87، 88، 89، 90، 91، 92، 93، 94، 95، 96، 97، 98، 99، 100

## استكشف المزيد

<http://www.nano.org.uk>

الصفحة الرئيسية لعهد تقنية النانو. التي تلخص رسالته في تنظيم الأحداث العلمية العالمية. والمؤتمرات. والمساقات التعليمية المصممة لتشجيع الأكاديميين. والشركات. و الاهتمامات الحكومية في تقنية النانو.

<http://www.nano.gov>

الصفحة الرئيسية لحكومة الولايات المتحدة الأمريكية برعاية مبادرة تقنية النانو الوطنية.

<http://www.foresight.org>

الصفحة الرئيسية لمعهد الاستبصار. وهو منظمة غير ربحية مكرسة لمساعدة المجتمع للاستعداد للتقنيات النانوية المتوقعة.

<http://particleadventure.org>

جولة تفاعلية حائزة على العديد من الجوائز حول الكواركات. والنيوترينوز. والمادة المضادة. والأبعاد الإضافية. والمادة المعتمدة. والمسرات. وأكثر من ذلك بكثير.

<http://www.astro.uiuc.edu/~kaler/sow/spectra.html>

صفحة على شبكة الانترنت مفصلة للتعلم حول أنماط أطياف النجوم وكيف تستخدم في دراسة الكون.

<http://www.superstringtheory.com>

إذا كنت تعتقد أن طبيعة موجة الالكترن غريبة وشاذة. استكشف هذا الموقع للمزيد من المعلومات والمراجع حول النظرية الثورية المحتملة التي تقول أن الدقائق المادية. والقوى. والفضاء. والوقت ما هي إلا مظاهر لخيوط متناهية في الصغر توجد في إحدى عشر بعداً.

## الفصل 12 مصادر على الشبكة

### أشرطة فيديو

- دلائل على وجود الذرات
- الذرات قابلة للتدوير
- موجات الإلكترون

اختبار قصير  
بطاقات تعليمية  
روابط

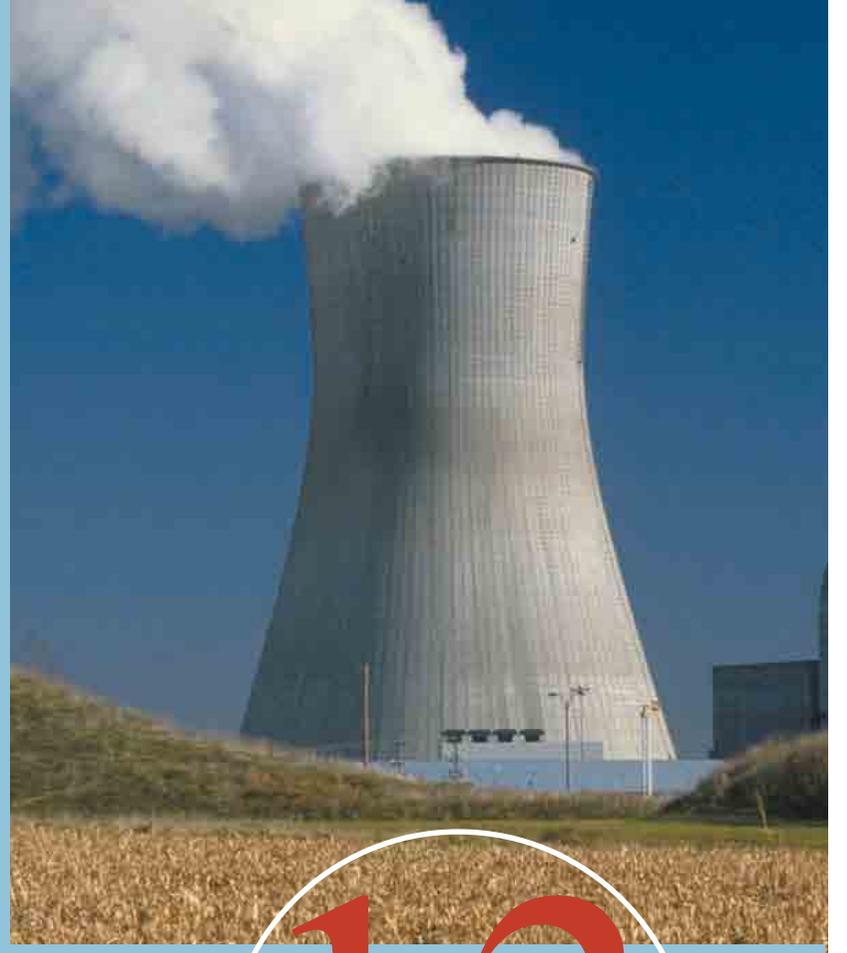
### أشكال تفاعلية

12.22 ■

### دروس تعليمية

- التركيب الذري
- الذرات والنظائر
- نموذج مدارات بور

# النّواة الذّريّة والنّشاط الإشعاعيّ



# 13

■ تعدّ نواة الذّرة وعملياتها من أكثر مواضيع العلوم التي أسّء فهمها. إنّ عدم الثّقة في أيّ شيء نوويّ، أو أيّ شيء نشط إشعاعيّ، يشبه الخوف من الكهرباء قبل قرن، والذي كان يعزى إلى الجهل. في الحقيقة، قد تكون الكهرباء خطيرة، وربما قاتلة إنّ لم تستخدم بحذر. ولكن بأنظمة أمان ملائمة ومستهلكين واعين، فقد قرر المجتمع أنّ منافع الكهرباء تفوق مخاطرها. أمّا اليوم، فقد توصلنا إلى قرار مشابه لمخاطر التكنولوجيا النوويّة وفوائدها. يجب أن نتخذ القرارات وفق فهم مناسب لنواة الذّرة وعملياتها الداخلية.

1.13 النّشاط الإشعاعيّ

2.13 النّواة الذّريّة والقوّة النوويّة القوية

3.13 عمر النصف و التّحوّل

4.13 التّاريخ بالقياس الإشعاعيّ

5.13 الانشطار النوويّ

6.13 تكافؤ الكتلة والطاقة:  $E=mc^2$

7.13 الاندماج النوويّ

## 1.13 النشاط الإشعاعي

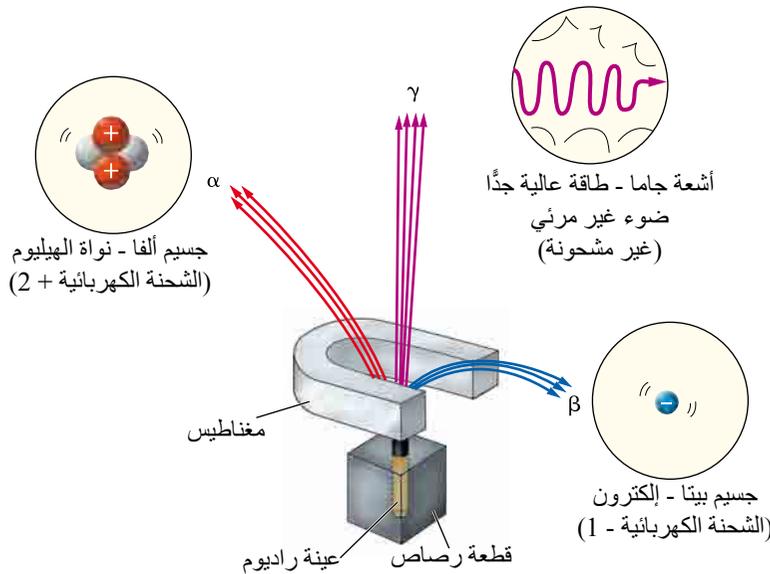
تسمى العناصر ذات الأنوية غير المستقرة *نشطة إشعاعياً*. وتنقسم هذه العناصر في النهاية مطلقة جسيمات عالية الطاقة. كما تبتّ إشعاعات كهرومغناطيسية عالية التردد. وتسمى هذه العملية *النشاط الإشعاعي*: لأنها تتضمن انحلال نواة الذرة. لذا، فعلى الأغلب تسميتها *الانحلال الإشعاعي*. من الأخطاء الشائعة أن النشاط الإشعاعي يحدث على البيئة. ولكنه موجود قبل وجود الجنس البشري بكثير. ومن المدهش أنه كلما ذهب في العمق تحت سطح الأرض. زادت سخونة. فعند عمق 30 كم تبلغ درجة الحرارة أكثر من 500°س. وعند عمق أكبر. تزداد السخونة بحيث تنصهر الصخور إلى صهارة تنسرب إلى سطح الأرض على شكل حمم. يندفع الماء الساخن جداً من تحت الأرض بشدة ليشكّل جماماً. أو أنه ينبعث بلطف مشكلاً الينابيع الطبيعية الحارة. إنّ السبب الرئيس للسخونة في العمق هو احتواء الأرض على وفرة من النظائر المشعة. وتسخن عند امتصاصها إشعاعات من هذه النظائر. وهكذا، فإنّ البراكين والحمام. والينابيع الحارة جميعها تأخذ الطاقة من النشاط الإشعاعي. حتى انزياح القارات (انظر الفصل 22) هي من نتائج النشاط الإشعاعي. إذن فالنشاط الإشعاعي طبيعي مثل شروق الشمس ونزول المطر.

### أشعة ألفا، بيتا، وجاما

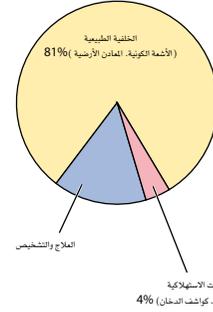
إنّ العناصر التي عددها الذري أكبر من 82 (الرصاص) جميعها نشطة إشعاعياً. تطلق هذه العناصر وغيرها ثلاثة أنواع متميزة من الإشعاعات. تسمى بالأحرف الثلاثة من الأبجدية اليونانية. ألفا ( $\alpha$ )، بيتا ( $\beta$ )، وجاما ( $\gamma$ ). تحمل أشعة ألفا شحنة كهربائية موجبة. في حين تحمل أشعة بيتا شحنة سالبة. أمّا أشعة جاما فلا تحمل شحنة كهربائية. ويمكن فصل الإشعاعات الثلاثة بوضع مجال مغناطيسي متعامد على مسارها. (الشكل 2.13).

تتكوّن أشعة ألفا من اتحاد بروتونين ونيوترونين: أي أنّها نواة ذرة هيليوم. ذات العدد الذري 2. تحبب أشعة ألفا بسهولة نسبياً بسبب كبر حجمها النسبي وشحنتها المزدوجة ( $2+$ ). على سبيل المثال، لا يمكنها اختراق مواد خفيفة مثل قصاصة ورق أو قطعة قماش. ولكن، بسبب طاقتها الحركية الكبيرة. تسبب جسيمات ألفا ضرراً بالغاً لسطوح المواد. وخصوصاً الأنسجة الحية. تنتقل عدة سنتمترات في الهواء. وتلتقط جسيمات ألفا إلكترونات. وتصبح مجرد ذرات هيليوم غير مؤذية. وفي الحقيقة، من هنا يأتي الهيليوم في البالونات الأطفال. وعملياً. فإنّ ذرات الهيليوم الأرضية جميعها كانت في لحظة ما جسيمات ألفا عالية الطاقة.

ينقى هذا الهيليوم. ويباع في الأسواق لأغراض متعددة. كاستخدامها في المناطيد الصغيرة والبالونات. ومن المثير أنّ حقول الغاز في الولايات المتحدة تحتوي على ثلثي احتياطي العالم من الهيليوم.



لقد كان النشاط الإشعاعي حولنا من بداية الأرض.



الشكل 1.13

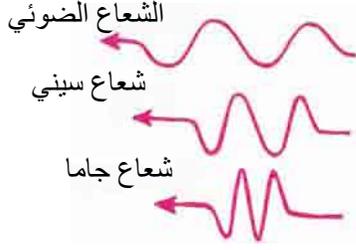
مصادر التعرض للإشعاع للإنسان العادي في الولايات المتحدة.

### لمعلوماتك

في اللحظة التي تتباطأ فيها جسيمات ألفا وبيتا. فإنهما يتحدان لتكوين الهيليوم غير الضار. وهذا يحدث أساساً في أعماق الأرض. عند تشكيل الهيليوم الجديد فإنه يتسرب إلى السطح ويصبح مركزاً في خزانات الغاز الطبيعي. تحتوي بعض خزانات الغاز الطبيعي كالتي في تكساس على 7% هيليوم. ينقى هذا الهيليوم ويبيع في الأسواق لأغراض متعددة. كاستخدامها في المناطيد الصغيرة والبالونات. ومن المثير أنّ حقول الغاز في الولايات المتحدة تحتوي على ثلثي احتياطي العالم من الهيليوم.

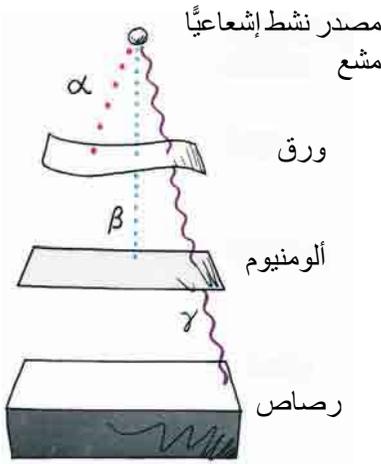
الشكل 2.13

في المجال المغناطيسي، تنحني أشعة ألفا نحو اتجاه، في حين تنحني أشعة بيتا نحو الاتجاه الآخر، أمّا أشعة جاما فلا تنحني أبداً. لاحظ أنّ انحناء أشعة ألفا أقلّ من انحناء أشعة بيتا. وهذا يعزى إلى أنّ القصور الذاتي (الكتلة) لأشعة ألفا أكبر من القصور الذاتي لأشعة بيتا.



الشكل 3.13

شعاع جاما هو ببساطة إشعاع مغناطيسي، أعلى في التردد والطاقة من الإشعاعات السينية.



الشكل 4.13

شكل تفاعلي: جسيمات ألفا هي الأقل قدرة على الاختراق، ويمكن إيقافها بعدة صفحات من الورق. أما جسيمات بيتا فيمكنها اختراق الورق بسهولة، ولكنها لا تخترق صفحة من الألومنيوم. في حين تخترق أشعة جاما عدة سنتيمترات من الرصاص الصلب.

الشكل 5.13

يزداد عمر الفراولة وغيرها من الأشياء التي تفسد بشكل مذهل عند تعرضها لأشعة جاما من مصدر مشع. لقد تم معالجة الفراولة (إلى اليمين) بأشعة جاما، والتي قتلت الكائنات الحية الميكروبية التي غالبًا ما تؤدي إلى التلف. يستقبل الغذاء الإشعاع فقط، ولا يتحول إلى باعث للإشعاع، كما يمكن التأكد من ذلك بالكاشف.

إنّ جسيم بيتا هو إلكترون مقذوف من النواة. وعند قذفه، لا يتميز عن الإلكترون في المهبط. أو الذي في الدارة الكهربائية، ولا عن الذي يدور حول نواة الذرة كذلك. يكمن الفرق في أنّ جسيم بيتا ينشأ عن داخل النواة؛ أي من النيوترون. وكما سنرى قريباً، يصبح النيوترون بروتوناً لحظة فقدانه إلكترونًا. وهو جسيم بيتا. وفي العادة، يكون جسيم بيتا أسرع من جسيم ألفا. ويحمل شحنة سالبة (-1). إنّ إيقاف جسيمات بيتا أصعب من إيقاف جسيمات ألفا. وتستطيع جسيمات بيتا اختراق المواد الخفيفة كالورق والقماش. وهي تخترق عميقًا حتى الجلد. حيث تستطيع إيداء الخلايا الحية وقتلها. ولكنها غير قادرة على الاختراق عميقًا في المواد الكثيفة مثل الألومنيوم. عندما توقف جسيمات بيتا، تصبح جزءًا من المادة التي أوقفها. مثل أي إلكترون.

أشعة جاما هي إشعاعات كهرومغناطيسية عالية التردد تنبعث من العناصر المشعة. وكالضوء المرئي، فإنّ أشعة جاما كلها طاقة. ولكن كمية الطاقة التي تحملها أشعة جاما أكبر من تلك التي يحملها الضوء المرئي، أو الضوء فوق البنفسجي. أو حتى الأشعة السينية. وبسبب انعدام الكتلة، والشحنة الكهربائية. وكذلك بسبب طاقتها العالية. فإنّ أشعة جاما تخترق معظم المواد. ولكنها لا تستطيع اختراق المواد الكثيفة جدًا كالرصاص. والذي يمتصها. تتعرض الجزيئات الهشة داخل الخلايا في أجسامنا إلى ضرر بنيوي حين تعرضها إلى أشعة جاما. وعليه، فإنّ أشعة جاما أكثر ضررًا لنا من جسيمات ألفا أو بيتا (إلا إذا دخلت جسيمات ألفا أو بيتا الجسم).

### ■ نقطة فحص

افترض أنك أعطيت ثلاث صخور مشعة: الأولى تبعث ألفا، والثانية تبعث بيتا، في حين تبعث الثالثة جاما. ويسمح لك برمي إحداها بعيدًا. أما الاثنتان الباقيتان فعليك أن تضع إحدهما في يدك والأخرى في جيبك. ماذا تفعل حتى تقلل من تعرضك للإشعاع؟

### هل كانت هذه إجابتك؟

أمسك باعث ألفا بين يديّ؛ لأن جلدك يحميها. وأضع بيتا في جيبك؛ لأن جسيمات بيتا ستوقف من مجموع سمك الجلد والقماش. في حين أرمي باعث جاما بعيدًا لأن أشعتها تستطيع اختراق جسمي من أيّ من الموضعين. والأفضل من ذلك كلّهُ الابتعاد قدر الإمكان عن هذه الصخور جميعها.

تحتوي الصخور المألوفة والمعادن في بيئتنا على كميات كبيرة من النظائر المشعة. لأنّ معظمها يحتوي على كميات شحيحة من اليورانيوم. إن الأفراد الذين يقطنون في مبان من القرميد، أو الأسمنت، أو الحجر يتعرضون لكميات أكبر من الإشعاع أكثر من الذين يقطنون في بيوت خشبية.



إنّ المصدر الأساس لحدوث الإشعاعات الطبيعيّة هو الرادون (Rn-222)، وهو غاز خامل من مخلفات اليورانيوم. الرادون غاز ثقيل يميل إلى التجمع في القشرة الأرضية بعد تسربه من خلال الشقوق في الأدوار الأرضية. يختلف مستوى الرادون من منطقة إلى أخرى. معتمداً على جيولوجيا المنطقة. ويمكنك قياس مستوى الرادون في بيتك باستخدام أدوات كاشف الرادون. الشكل (6.13). إذا كان المستوى عاليًا بشكل غير طبيعيّ. فيجب اتخاذ إجراءات عدة لتصويب هذا الوضع. مثل إحكام إغلاق الشقوق (تبطين الأرضية) والجدران. كما ينصح بإدانة التهوية المناسبة.



الشكل 6.13

يأتي نحو  $(\frac{1}{5})$  ما نتعرض له من إشعاع سنوي عن طريق مصادر غير طبيعية. وبخاصة الإجراءات الطبية. وأجهزة التلفاز. أو ما يتسرب من التجارب النوويّة. والفحم. وصناعة المحطات النوويّة. وتقوم صناعة المحطات النوويّة في إصدار الإشعاع. يطلق استهلاك الفحم العالمي سنويًا 13000 طن تقريبًا من الثوريوم المشع واليورانيوم في الغلاف الجوي. لقد وجد كلا الفلزين في مخلفات الفحم. ولهذا. فإن انبعاثهما هو نتيجة طبيعية لحرق الفحم. وفي أنحاء العالم كلّها. تولد صناعة المحطات النوويّة نحو 10,000 طن من المخلفات الإشعاعيّة سنويًا. إنّ معظم هذه المخلفات تخزن ولا تطلق في المحيط.

تتوافر مجموعة أدوات قياس الرادون في البيوت بشكل تجاري. تفتح علبة قناع الغاز في المنطقة المراد قياس الرادون فيها. ينز الرادون إلى العلبة ويمتص بالكربون المنشط في داخلها. وبعد عدة أيام، تقفل العلبة مرة أخرى وترسل إلى المختبر لتحديد مستوى الرادون، وذلك بقياس الإشعاع المنبعث من الرادون الممتص.

### الجرعة الإشعاعيّة

تقاس الجرعة الإشعاعيّة عادة بالراد (*radiation absorbed dose*) وهي وحدة الطّاقة الممتصة. يساوي الراد الواحد 0.01 جول من الطّاقة الإشعاعيّة الممتصة لكل كيلوجرام من الجسم.

إن مقدرة الإشعاعات النوويّة على إحداث ضرر لا تعتمد فقط على مستوى طاقتها. بل إنّ بعض الإشعاعات أكثر إيذاءً من غيرها. على سبيل المثال. افترض أنّ لديك سهمين: أحدهما ذو رأس مدبب. والآخر رأسه على شكل كأس. أطلق السهمان على تفاعلة بالسرعة نفسها. وافترض أنّ لهما الطّاقة الحركية نفسها. إنّ السهم ذا الرأس المدبب يحدث دائمةً ضررًا للتفاعلة أكثر من السهم الذي رأسه على شكل كأس. وبالمثل. فإنّ بعض أشكال الإشعاعات تحدث ضررًا أكبر من الأشكال الأخرى. حتى عندما تتساوى في عدد الرادات (جمع راد) لكلا الشّكلين.

إن وحدة قياس الجرعة الإشعاعيّة بناءً على الضرر الذي تحدثه هي الرم (المكافئ البشري للراد) (*roentgen equivalent man*) \* (*Rem*). ولحساب الجرعة بالرم. نضرب عدد الرادات في العامل الذي يقابل مقدار الأثار الصحية المختلفة الذي تحدثه الإشعاعات المختلفة. والتي تحده الدراسات الإكلينيكية السريرية. على سبيل المثال. 1 راد من جسيمات ألفا لها الأثر البيولوجي نفسه لـ 10 رادات من جسيمات بيتا\*\*. نعطي كلا الجرعتين 10 رمات (جمع رم).

جسيم	الجرعة الإشعاعيّة	العامل	الأثر الصحي
ألفا	1 راد	× 10	10 رم
بيتا	10 راد	× 1	10 رم

### لمعلوماتك

هل تفضل أن تتعرض لراد واحد من جسيمات ألفا أم لراد واحد من جسيمات بيتا؟

### هل كانت هذه إجابتك؟

اضرب هذه الكميات من الإشعاع في العامل المناسب للحصول على الجرعة بالرم. ألفا: 1 راد × 10 = 10 رم، بيتا: 1 راد × 1 = 1 رم. تبين لنا العوامل، بلغة علم التشريح، أنّ جسيمات ألفا تضر 10 مرات أكثر من جسيمات بيتا.

\* سميت هذه الوحدة باسم مكتشف الأشعة السينية وليام رونتجن William Roentgen تكريمًا له.  
\*\* هذا صحيح حتى مع أنّ جسيمات بيتا لها قدرة اختراق أعلى. كما نوقش سابقًا.



الشكل 7.13

يسلط الإشعاع النووي على الأنسجة المتضررة، مثل الورم السرطاني، وذلك للقتل الانتقائي، أو اضمحلال الأنسجة من خلال طريقة تعرف بالعلاج الإشعاعي. لقد أنقذ العلاج بالإشعاع النووي حياة الملايين - وهذا مثال تام الوضوح على فوائد التكنولوجيا النووية. توضح الصورة المدرجة الرمز الدولي الذي يشير إلى المنطقة التي يتم فيها إنتاج أو استعمال المواد المشعة.



الشكل 8.13

إن إشارة الفيلم التي يستعملها هذان الشخصان تعطي تحذيرات مسموعة في حالة تدفق الإشعاع وتراكم الإشعاع. تفرغ المعلومات من هذه الشارات الفردية دورياً إلى قواعد بيانات وتحلل وتخزن.

تبدأ الإشعاعات المميتة عند 500 رم. إذا تعرض شخص لجرعة إشعاعية بهذه القيمة في فترة زمنية قصيرة فإن فرصته في الحياة هي 50%. وخلال العلاج الإشعاعي يتعرض المريض لجرعات موضعية يومية بمقدار 200 رم خلال أسبوعين (الشكل 7.13).

إن الإشعاعات جميعها التي نتعرض لها من المصادر الطبيعية أو من الإجراءات الطبية هي أجزاء من الرم فقط. للتسهيل. نستخدم الوحدة الأصغر ملرم (millirem). حيث 1 ملرم يساوي 1/10000 رم. يتعرض الإنسان العادي في الولايات المتحدة لنحو 360 ملرم سنوياً. كما يشير الجدول 1.13. وهناك نحو 80% من الإشعاعات تأتي من مصادر طبيعية. مثل الأشعة الكونية، والأرض نفسها، في نموذج تصوير المصدر بالأشعة السينية. يتعرض الشخص لـ 5 - 30 ملرم (0.005 - 0.03 رم). أقل من 1/10000 من الجرعة المميتة. ومن المدهش أن جسم الإنسان هو مصدر كبير للإشعاعات الطبيعية. وبشكل رئيس من البوتاسيوم الذي نأخذه. يحتوي جسمنا على 200 جم تقريباً من البوتاسيوم. من هذه الكمية. 20 ملجم هو نظير البوتاسيوم-40 المشع. والذي يطلق أشعة جاما. ويحدث ما معدله نحو 5000 انحلال إشعاعي أي لنظير البوتاسيوم-40 بين كل نبضة قلب في جسم الإنسان. وفي الحقيقة. فإن الإشعاع موجود في كل مكان.

عندما يصطدم الإشعاع بجزيئات مائية معقدة وذات بناء محدد. كالحلول الغني بالأيونات الذي يكون خلايانا. تخلق الإشعاعات شواش (chaos) على المستوى الذري. تتحطم بعض المركبات. وهذا التغيير يبذل جزيئات أخرى. والتي قد تكون ضارة لعمليات الحياة.

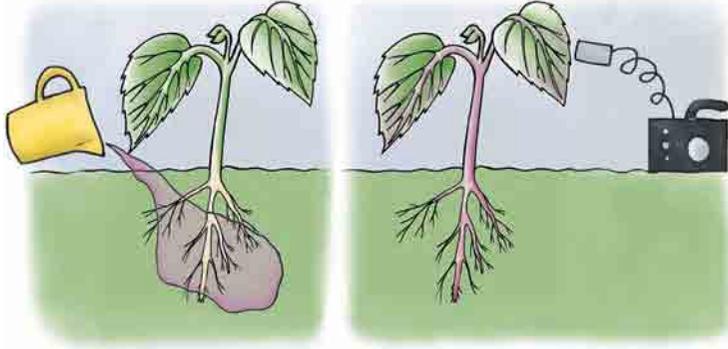
تستطيع الخلايا ترميم معظم أنواع الضرر الذي تتعرض له الجزيئات إذا لم يكن الإشعاع قوياً. وتستطيع الخلية البقاء حية إذا تعرضت لجرعة إشعاعية ممتة. وإذا توزعت هذه الجرعة على فترات زمنية طويلة. فعندئذٍ هناك فرصة للشفاء. وعندما يكون الإشعاع كافياً لقتل الخلايا. تستبدل الخلايا الميتة بخلايا جديدة. وفي بعض الأحيان. تستطيع الخلية المعرضة للإشعاع البقاء حتى بجزيء الـ د.ن.ا. (DNA). تحتفظ الخلايا الجديدة الناشئة عن الخلايا المحطمة بالمعلومات الوراثية المعدلة. منتجة ما يعرف بالتحول (mutation). وفي العادة يكون أثر التحولات غير مهم. ولكن في بعض الأحيان تنتج عن هذه التحولات خلايا لا تعمل كما تعمل الخلايا الأصلية. وأحياناً أخرى تؤدي إلى السرطان. إذا حطمت الـ د.ن.ا. (DNA) للخلايا التناسلية لفرد فإن الشفرة الوراثية لنسل ذلك الفرد يمكن أن تحفظ الطفرة.

### الجدول 1.13 التعرض للإشعاع السنوي

المنشأ الطبيعي	الجرعة النموذجية المتلقاة سنوياً (بالملم)	زمن السقوط ثانية
الأشعة الكونية	26	
الأرض	33	
الهواء (الرادون (Rn-222))	198	
الأنسجة البشرية (K-40, Ra-226)	35	
المنشأ البشري		
إجراءات المعالجات الطبيعية		
التشخيص بالأشعة السينية	40	
الطب النووي	15	
أجهزة التلفاز. بعض المنتجات الاستهلاكية	11	
تسرب نتيجة جارب الأسلحة	1	
محطات قوى الفحم - الأحفورية التجارية	1>	
محطات القوى النووية التجارية	1>>	

## الشكل 9.13

تعقب امتصاص السماد عن طريق النظير المشع.

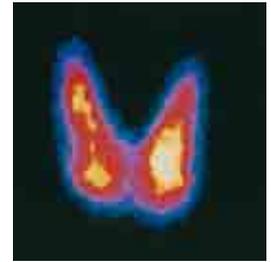


بدون القوة النووية القوية –  
التفاعل القوي – لا توجد ذرات  
أكبر من الهيدروجين.

## المقتفيات المشعة (Radioactive Tracers)

تم تحضير عينات مشعة للعناصر جميعها في المختبرات العلمية. لقد تم إنجاز ذلك بقصفها بالنيوترونات أو جسيمات أخرى. إن المواد المشعة مفيدة جداً في البحث العلمي والصناعة. ولفحص مفعول سماد. على سبيل المثال. يخلط الباحثون كمية قليلة من المواد المشعة مع السماد ثم يعطى الخليط لعدة نباتات. يمكن قياس كمية السماد المشع الذي امتصته النبتة بكواشف الإشعاع. ومن خلال هذه القياسات. يرشد العلماء المزارعين إلى كمية السماد المناسبة لاستخدامها. تسمى النظائر المشعة التي تستخدم لتقضي هذه المسارات/المقتفيات المشعة.

تستخدم المقتفيات في الآلية المعروفة بالتصوير الطبي. لتشخيص العلل الداخلية. تعمل هذه الآلية: لأن الطريق الذي تتبعه هذه المقتفيات تتأثر بالخصائص الفيزيائية والكيميائية، وليس بنشاطها الإشعاعي. وقد يعطى المقتفي وحده أو مع بعض المواد الكيميائية التي تساعد المقتفي على تحديد هدف معين في نسيج الجسم.



## الشكل 10.13

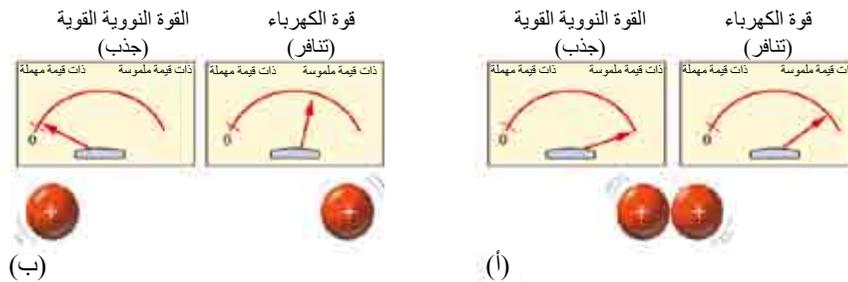
تمتص الغدة الدرقية الموجودة في الرقبة، معظم اليود الموجود في الطعام والشراب الداخلين إلى الجسم. يمكن أخذ صورة للغدة الدرقية كالمبينة هنا، بإعطاء المريض نظير اليود المشع. وهذه الصورة تفيد في تشخيص عدم انتظام الأيض.

## 2.13 النواة الذرية والقوة النووية القوية

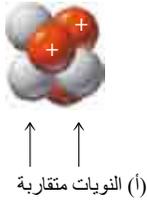
تحتل نواة الذرة عدة أجزاء من الكوادريليون من حجم الذرة. كما وصفت في الفصل 12. مخلقة معظم حجم الذرة فضاء فارغاً. تتكون النواة من نويات. وهي. كما نوقشت في الفصل 12. تشمل البروتونات والنيوترونات.

وكما نعلم فإن الشحنات المتشابهة في الإشارة تتنافر معاً. إذن. كيف تبقى البروتونات الموجبة الشحنة مجتمعة معاً في النواة؟ هذا السؤال أدى إلى تعريف جاذب يسمى القوة النووية القوية. والتي تعمل بين النويات جميعها. هذه القوة شديدة جداً. ولكن لمسافات قصيرة جداً (نحو  $10^{-15}$  م. قطر نواة ذرة عادية). وفي المقابل. فإن تفاعلات التنافر الكهربائية طويلة- المدى. يوضح الشكل 11.13 مقارنة بين شدة هاتين القوتين بدلالة المسافة للبروتونات المتقاربة. كما في النواة الصغيرة. تتغلب القوة النووية الجاذبة بسهولة على قوة التنافر الكهربائية.

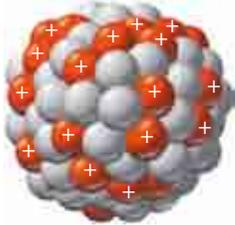
## الشكل 11.13



(أ) عند وجود بروتونين متجاورين فإن كلاً منهما يتعرض لقوة جذب نووية قوية وقوة تنافر كهربائية ضعيفة. وعند هذا البعد المتناهي في الصغر تتغلب القوة النووية القوية على القوة الكهربائية، ويبقيان معاً. (ب) عندما يكون البروتونان على مسافة بعيدة نسبياً أحدهما من الآخر، تكون قوة الكهرباء أكثر قيمة ويتنافر البروتونان معاً. يقلل التنافر بين البروتونين في الأنوية الذرية الكبيرة من الاستقرار النووي.



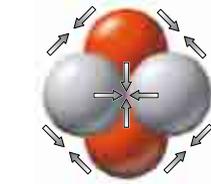
(أ) النويات متقاربة



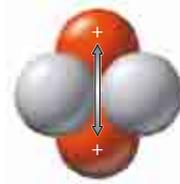
(ب) النويات متباعدة

## الشكل 12.13

(أ) تكون النويات جميعها في النواة الذرية الصغيرة قريباً بعضها من بعض. وهكذا، فإنها تختبر قوى جذب نووية قوية. (ب) على الجانب المعاكس، فإن النويات في الأنوية الكبيرة لا تكون متقاربة كما هو الحال في الأنوية الصغيرة. ولهذا، تكون قوى الجذب النووية التي تمسك بعضها مع بعض أضعف كثيراً. وعليه، فإن النواة الكبيرة أقل استقراراً.



جمع النويات. سواء بروتونات أو نيوترونات يجذب بعضها بعضاً بقوة الجذب النووية القوية



فقط البروتونات تنفر بعضها من بعض بقوة الكهرباء

## الشكل 13.13

يساعد وجود النيوترونات على تماسك النواة وذلك بزيادة أثر القوة النووية القوية، الممثلة بالأسهم ذات الرأس الأحادي.

ولكن للبروتونات البعيدة، مثل التي على الطرفين المتباعدين من نواة كبيرة، يمكن أن تكون قوة الجذب النووية أضعف من قوة التنافر الكهربائية.

لا تكون النواة الكبيرة مستقرة كما هو الحال في النواة الصغيرة. ففي نواة الهيليوم، والتي تحتوي على بروتونين، يلمس كل بروتون أثر التنافر مع البروتون الآخر. أما في نواة اليورانيوم، حيث يلمس كل من 92 بروتوناً تنافر الـ 91 بروتوناً الآخر! فإنّ النواة تكون غير مستقرة. ونرى أنّ هناك حدّاً لحجم نواة الذرة. ولهذا، فإنّ الأنوية جميعها والتي يبلغ عدد بروتوناتها أكثر من 83 هي نشطة إشعاعياً.

## نقطة فحص

يتنافر بروتونان في نواة ذرة معاً، ولكنهما يتجاذبان معاً أيضاً، لماذا؟

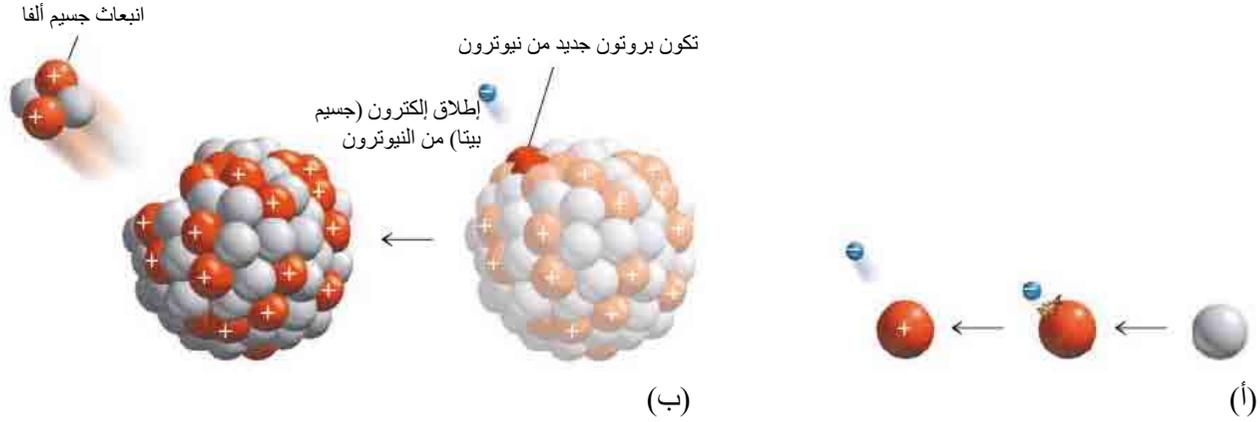
هل كانت هذه إجابتك؟

على الرغم من أنّ البروتونين يتنافران بالقوى الكهربائية، إلا أنّهما يتجاذبان بالقوة النووية. وتعمل كل من هاتين القوتين في الوقت نفسه. وما دامت قوى الجذب النووية الشديدة أكبر من قوة التنافر الكهربائية، فإنّ البروتونين يبقيان معاً. وعندما تتغلب القوة الكهربائية على القوة النووية القوية، تبتعد البروتونات بعضها عن بعض.

تستخدم النيوترونات "كأسمنت نووي" لتماسك نواة الذرة. تجذب البروتونات كلاً من البروتونات والنيوترونات بالقوة النووية القوية. ولكن البروتونات تنافر أيضاً بقوة الكهرباء. وفي المقابل، فالنيوترونات لا تحمل شحنة كهربائية وعليه، فهي تجذب البروتونات والنيوترونات الأخرى بالقوى النووية القوية فقط. إنّ وجود النيوترونات يضيف للجذب بين النويات ويساعد في تماسك النويات معاً (الشكل 13.13)

وكلما زاد عدد البروتونات في النواة، زادت الحاجة إلى عدد أكبر من النيوترونات للمساعدة في موازنة قوى التنافر الكهربائية. وفي حالة العناصر الخفيفة، يكفي أن يساوي عدد البروتونات عدد النيوترونات تقريباً. إنّ أكثر نظير مألوف للكربون، C-12، على سبيل المثال، له العدد نفسه من كلّ منهما؛ 6 بروتونات و6 نيوترونات. وللأنوية الكبيرة، يتطلب أن يكون عدد النيوترونات أكبر من عدد البروتونات. ولأن القوى النووية القوية تتلاشى بسرعة بزيادة المسافة، لذا يجب أن تتلامس النويات عملياً حتى تكون القوى النووية القوية فاعلة. ولا تتجاذب النويات معاً على الأطراف المتعاكسة في نواة ذرة كبيرة. ولكن، لا تتلاشى القوة الكهربائية بالدرجة نفسها على امتداد قطر نواة ذرة كبيرة. لذا تكون أكبر من القوة النووية القوية. وللتعويض عن ضعف القوة النووية القوية عبر قطر النواة، تحتوي الأنوية الكبيرة على عدد من النيوترونات أكبر من عدد البروتونات. فالرصاص على سبيل المثال، يحتوي على عدد النيوترونات أكثر مرة ونصف من عدد بروتونات.

وهكذا، فإننا نرى أنّ النيوترونات عامل استقرار، وتحتاج النوى الكبيرة إلى وفرة منها. إنّ هذه النيوترونات لا تنجح دائماً في الحفاظ على سلامة النواة. ومن المدهش أنّ النيوترونات لا تكون مستقرة عندما تكون معاً. إنّ النيوترون الوحيد يكون مشعاً، ويتحوّل أنجياً إلى بروتون وإلكترون (الشكل 14.13 أ). ويبدو أنّ النيوترون يحتاج إلى بروتونات حوله لمنع حدوث هذا. وبعد بلوغ حجم النواة حدّاً معيناً، يفوق عدد النيوترونات كثيراً عدد البروتونات، ولا يوجد عندئذ عدد كافٍ من البروتونات في الخليط لمنع تحوّل النيوترونات إلى بروتونات.



يقبل استقرار النواة بسبب ازدياد قيمة قوى التنافر الكهربائية. والنتيجة أن أجزاء من النواة تنقسم وتبتعد على شكل إشعاع. كما يشير الشكل 14.13 ب.

### الشكل 14.13

(أ) عندما يكون النيوترون إلى جانب بروتون فإنه يكون مستقرًا. ولكن النيوترون وحده لا يكون مستقرًا، وينحل إلى بروتون بإطلاق إلكترون. (ب) يتزعزع استقرار النواة بزيادة عدد البروتونات، وتبدأ بنثر الشظايا، مثل جسيمات ألفا.

### نقطة فحص

ما دور النيوترونات في نواة الذرة؟ وما مصير النيوترون عندما يكون وحيدًا، أو بعيدًا عن واحد أو أكثر من البروتونات؟

هل كانت هذه إجابتك؟

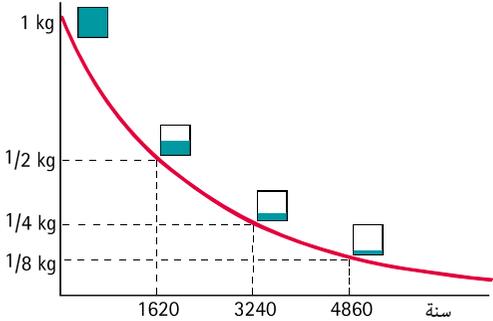
تؤدي النيوترونات دورًا في تماسك الأنوية وتساهم في استقرارها. ولكن عندما تكون وحيدة أو بعيدة عن البروتونات، تصبح النيوترونات مشعة. وتتحول تلقائيًا إلى بروتون وإلكترون.



عمر - النصف للمواد النشطة إشعاعياً هو أيضًا الزمن اللازم لنقصان معدل الانحلال إلى النصف.

### 3.13 عمر - النصف والتحول

يقاس معدل الانحلال لنظير مشع بدلالة -كمية مميزة هي عمر النصف. وهو الزمن اللازم لانحلال نصف الكمية الأصلية لعنصر ما. فعلى سبيل المثال، عمر - النصف لعينة من الراديوم-226 هو 1620 عامًا. وهذا يعني أن نصف عينة الراديوم-226 سوف تتحول إلى عناصر أخرى مع نهاية 1620 عامًا. وفي الـ 1620 عامًا التالية، سوف ينحل النصف الآخر المتبقي من الراديوم، مخلفًا ربع الكمية الأصلية للراديوم. (بعد عشرين فترة عمر النصف، سوف تتلاشى كمية الراديوم-226



وما يتبقى هو  $\frac{1}{10^6}$  من الكمية الأصلية).

وبشكل استثنائي، عمر - نصف ثابت ولا يعتمد على الظروف الخارجية. يتراوح عمر - النصف لبعض النظائر من أجزاء من المليون من الثانية إلى بلايين السنين. العمر النصفى لليورانيوم-238 هو 4.5 بليون سنة. إن نظائر اليورانيوم جميعها تتحلل في النهاية بسلسلة خطوات متحوّلة إلى رصاص. وخلال 4.5 بليون سنة، سيتحوّل نصف اليورانيوم الموجود على الأرض إلى رصاص. ليس بالضرورة الانتظار حتى كامل فترة عمر - النصف لقياسه، بل يمكن قياس عمر - النصف لأي عنصر في أي لحظة من خلال قياس معدل الانحلال لكمية معينة. ويمكن قياس ذلك بسهولة بكاشف الأشعة. (الشكل 16.13). وعمومًا، كلما قصر عمر - النصف لمادة، كان انحلالها أسرع. وزادت كمية النشاط الإشعاعي المكتشفة أيضًا.

### الشكل 15.13

تنقص كمية الراديوم كل 1620 سنة بمقدار النصف

## الشكل 16.13

بعض كواشف الإشعاعات. (أ) يكشف عداد جايجر الإشعاعات الساقطة بأثرها التأيني للغاز المحتوى في أنبوب. (ب) يكشف عداد الومبيض الإشعاعات الساقطة بلمعان الضوء الذي ينتج عند مرور الجسيمات المشحونة أو مرور إشعاعات جاما من خلالها.



(ب)



(أ)

## نقطة فحص

1. إذا كان عمر - النصف لنظير مشع يومًا واحدًا، فكم يتبقى من المادة الأصلية بعد نهاية كل من اليومين الثاني والثالث؟
2. أيهما يعطي معدل قياس أعلى على كاشف الأشعة: مادة مشعة عمر - النصف لها قصير أم مادة مشعة عمر النصف لها أطول؟

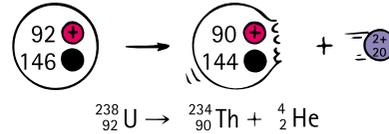
هل كانت هذه إجابتك؟

1. يبقى ربع الكمية الأصلية في نهاية اليوم الثاني. في حين تتحول ثلاثة أرباع المادة إلى مادة أخرى. وبعد نهاية اليوم الثالث يتبقى  $(\frac{1}{8})$  العينة الأصلية.
2. المادة التي لها عمر - النصف أقصر أكثر نشاطًا. وتظهر معدل قياس أعلى على كاشف الأشعة.

عندما تطلق نواة مشعة جسيم ألفا أو بيتا. يحدث تحوّل في العدد الذري. وهذا يعني أنّ عنصرًا جديدًا قد تكوّن. (تذكر من الفصل 12. أنّ العنصر يعرف بعدده الذري. وهو عدد البروتونات في نواته). ويسمى تغيير عنصر كيميائي إلى آخر التحوّل. وهذا التحوّل يحدث طبيعيًا أو صناعيًا في المختبر.

## التحوّل الطبيعي

خذ اليورانيوم-238، والذي يحتوي نواته على 92 بروتونًا و146 نيوترونًا. عند إطلاق جسيم ألفا، تفقد النواة بروتونين ونيوترونين. ولأنّ العنصر يعرف بعدد البروتونات في نواته، فلا يمكن تعريف الـ 90 بروتونًا والـ 144 نيوترونًا المتبقية على أنها يورانيوم. وبدلًا من ذلك تتكون لدينا نواة عنصر جديد: إنّ الثوريوم. يمكن كتابة هذا التحوّل كمعادلة نووية:



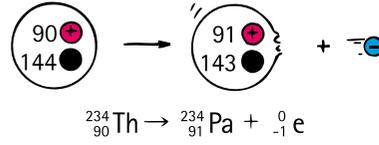
وعليه، نرى أنّ  ${}_{92}^{238}\text{U}$  قد تحوّل إلى العنصرين المكتوبين على يمين القوس. وعندما يحدث هذا التحوّل، تتحرر طاقة. بعضها على شكل طاقة حركية لجسيم ألفا ( ${}_{2}^4\text{He}$ ). وبعضها الآخر على شكل طاقة حركية لذرة الثوريوم. وجزئيًا على شكل إشعاعات جاما. وفي هذه المعادلة وفي المعادلات المشابهة جميعها، يجب موازنة العدد الكتلي الموجود عند أعلى الرمز ( $238 = 234 + 4$ ) وكذلك الأعداد الذرية عند أسفل الرمز ( $92 = 90 + 2$ ).

إنّ الثوريوم-234 وهو أحد نواتج هذا التفاعل مشع أيضًا. ويشع جسيم بيتا عندما ينحلّ. ولكون جسيم بيتا إلكترون، فإنّ العدد الذري يزداد بمقدار واحد للنواة الجديدة. وعليه، فبعد إشعاع الثوريوم جسيم بيتا الذي يحوي 90 بروتونًا، يصبح عدد البروتونات للعنصر الناتج 91. وعندئذ لا يكون من الثوريوم بل من البروتكتينيوم. وعلى الرغم من أنّ العدد الذري ازداد بمقدار واحد في هذه العملية، فإنّ العدد الكتلي (عدد

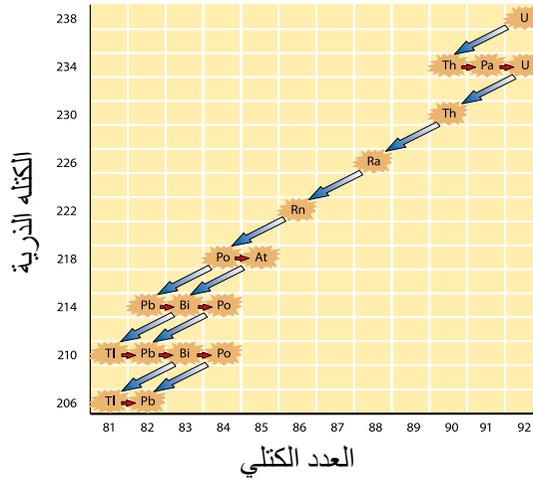
لمعلوماتك

■ يكون انبعاث بيتا مصحوباً بانبعاث نيوتريون. وهو جسيم متعادل دون كتلة وتقريباً وينتقل بسرعة قريبة من سرعة الضوء. يصعب اكتشاف النيوتريون بسبب تفاعله الضعيف مع المادة - نحتاج إلى قطعة رصاص سمكها 8 سنوات ضوئية لإيقاف نصف عدد النيوترونات التي تنبعث في انحلال نووي عادي. تنتشر الآلاف من النيوترونات من حولك في كل ثانية يوميًا؛ لأنّ العالم مليء بها. يتفاعل النيوتريون مرة أو مرتين فقط مع مواد جسمك.

البروتونات + عدد النيوترونات) يبقى كما هو. والمعادلة النووية هي:



كما يكتب الإلكترون  ${}^0_{-1}e$ . حيث يشير الرقم العلوي 0 إلى أنّ كتلة الإلكترون صغيرة نسبة إلى كتلة كلّ من النيوترونات والبروتونات. ويشير الرقم السفلي (-1) إلى شحنة الإلكترون. وهكذا. عندما يطلق عنصر جسيم ألفا من نواته فإن العدد الكتلي للذرة الناتجة ينقص بمقدار 4. في حين ينقص عددها الذري بمقدار 2. وتتحرك الذرة الناتجة خطوتين إلى الوراء في الجدول الدوري للعناصر. عندما يطلق العنصر جسيم بيتا من نواته. فإن كتلة الذرة. عملياً، لا تتأثر. وهذا يعني عملياً عدم تغيير على العدد الكتلي. ولكن العدد الذري يزداد بمقدار 1. ويتقدم العنصر الناتج خطوة واحدة إلى الأمام في الجدول الدوري للعناصر. ولا يحدث تغير في العدد الذري عند إشعاع جاما. لذا، نرى أنّ العناصر المشعة يمكن أن تتحرك إلى الأمام أو إلى الخلف في الجدول الدوري. إن تتابع الانحلال الإشعاعي لـ  ${}^{238}_{92}\text{U}$  حتى  ${}^{206}_{82}\text{Pb}$  موضح في الشكل 17.13. يشير كل سهم رمادي إلى انحلال ألفا. في حين يشير كل سهم أحمر إلى إشعاع بيتا. لاحظ أنّ بعض الأنوية في هذه السلسلة تنحل في الاتجاهين. هذه واحدة من السلاسل الإشعاعية المتشابهة التي تحدث في الطبيعة.

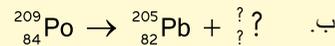
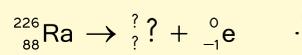


الشكل 17.13

ينحلّ U-238 إلى Pb-206 من خلال سلسلة انحلال ألفا وبيتا.

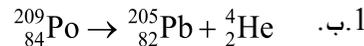
نقطة فحص

1. أكمل التفاعلات النووية الآتية:

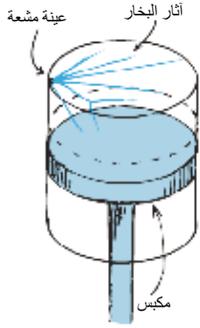


2. ما الذي يتبقى من اليورانيوم الذي يتعرض لا انحلال إشعاعية في النهاية؟

هل كانت هذه إجابتك؟

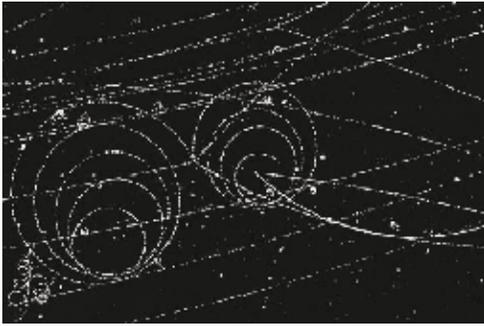


2. يتحوّل اليورانيوم جميعه في النهاية إلى رصاص. وفي أثناء تحوّل رصاص. يوجد اليورانيوم كسلسلة من العناصر. كما في الشكل 17.13.



الشكل 18.13

غرفة الغيمة. تتحرك الجسيمات المشحونة خلال الحجرة المشبعة ببخار الأوراق المتناثرة. وعند تعريض الحجرة لمجال كهربائي أو مغناطيسي قوي، يزودنا انحناء المسارات بمعلومات عن شحنة الجسيمات، وكتلتها، وزخمها.

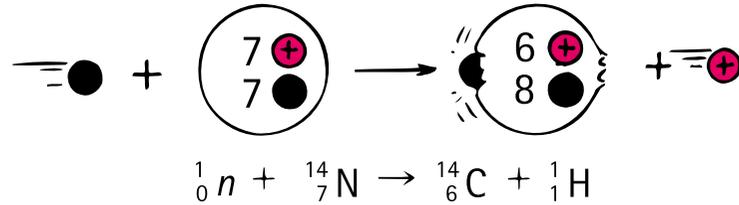


الشكل 19.13

مسارات الجسيمات الأولية في غرفة الفقاعة، جهاز مشابه ولكن أكثر تعقيداً من غرفة الغيمة. يتم إفناء جسيمين عند نقطة الانطلاق الحلزوني، ويتم إنتاج أربعة جسيمات أخرى في الاصطدام.



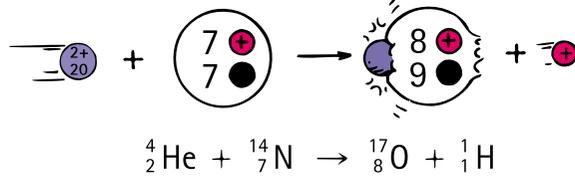
حاول الكيميائيون القدماء إحداث تحوّل من عنصر إلى آخر، ولكن دون جدوى. وعلى الرغم من جهودهم المثيرة فإنهم فشلوا في ذلك، مع أنّ التحوّلات الطبيعية تحدث باستمرار من حولنا.



هذا نظير الكربون-14، والذي يُشكل أقلّ من 1 من المليون من 1% من الكربون في الغلاف الجوي. وهو مشع وله 8 نيوترونات. (أكثر نظير مألوف. هو الكربون-12. له 6 نيوترونات وهو غير مشع)

## التحوّل الصناعي

كان إرنست رذرفورد Ernsset Rutherford في عام 1919م أول من نجح. من بين العديد من الباحثين. في إحداث التحوّل في العناصر الكيميائية؛ حيث قذف غاز النيتروجين بجسيمات ألفا والتي حصل عليها من قطعة من منجم مشع. إن اصطدام جسيم ألفا بالنيتروجين حوله إلى أكسجين كما يلي:



استخدم رذرفورد جهازاً يسمى *غرفة الغيمة* لتوثيق هذا الحدث (الشكل 18.13). في غرفة الغيمة. تظهر الجسيمات المشحونة المتحركة أثر أيونات عبر مسارها بطريقة تشبه البلورات الجليدية التي تظهر في أثر الطائرات النفاثة في السماء. ومن ربع مليون مسار في غرفة الغيمة المصورة على فيلم متحرك. بين رذرفورد سبعة أمثلة على التحوّلات الذرية. لقد أظهر تحليل المسارات الملتوية في مجال مغناطيسي قوي. وعند اصطدام جسيم ألفا مع ذرة نيتروجين. ينطلق بروتون وترتد الذرة الثقيلة مسافة صغيرة. يختفي جسيم ألفا. امتصّ جسيم ألفا خلال العملية. محولة النيتروجين إلى أكسجين.

ومنذ إعلان رذرفورد عام 1919م. أجرى التجريبيون العديد من التفاعلات النووية الأخرى. بادئين القصف بالقذائف من مناجم الإشعاع ثم بقذائف أعلى طاقة - بروتونات وإلكترونات محضرة من مسارعات الجسيمات العملاقة. لقد تمّ تجهيز عناصر صناعية بالتحوّل الصناعي حتى الآن من العدد الذري 93 وحتى 118. إنّ هذه العناصر المحضرة صناعياً جميعها لها فترة عمر - نصف قصيرة. وإذا كانت قد تشكلت في زمن ما في الطبيعة فإنها خللت منذ زمن بعيد.

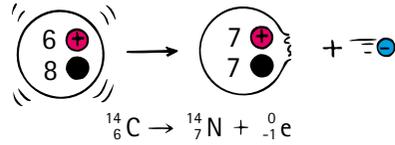
## 4.13 التاريخ بالقياس الإشعاعي

يُقصف الغلاف الأرضي باستمرار بالأشعة الكونية. وبسبب هذا القصف يحدث تحوّل للعديد من الذرات في الغلاف الجوي العالي. إنّ هذا التحوّل يُنتج العديد من البروتونات والنيوترونات "المتناثرة" في البيئة. توقف معظم البروتونات عند اصطدامها بالغلاف الغازي العالي. وتُصبح الإلكترونات المنزوعة من هذه الذرات ذرات هيدروجين. ولكن النيوترونات تستمر في الحركة إلى مسافات أبعد لأنها غير مشحونة. لذا لا تتفاعل كهربائياً مع المادة. وفي النهاية. يصطدم العديد منها مع الأنوية الكثيفة في طبقات الغلاف السفلي. فعلى سبيل المثال. فإنّ ذرة النيتروجين التي تقتنص نيوترونًا. تصبح نظير الكربون بإطلاق بروتون:

ولأن الكربون-12 والكربون-14 تشكيلان للكربون. فإنّ لهما الصفات الكيميائية نفسها. ويتفاعل هذان النظيران كيميائيًا مع الأكسجين لتشكيل ثاني أكسيد الكربون الذي تمتصه النباتات. هذا يعني أنّ النباتات كلها تحتوي على كميات ضئيلة من الكربون-14 المشع. إنّ الحيوانات جميعها تأكل نباتات (على الأقل الحيوانات الآكلة للنباتات).

لذا تحتوي كميات صغيرة من الكربون-14 في داخلها. وباختصار، تحوي الكائنات الحية جميعها التي على الأرض بعض الكربون-14.

الكربون-14 هو باعث لبينتا. وينحل ثمانية مكونات النيتروجين بالتفاعل الآتي:



لأن النباتات تستمر في أخذ ثاني أكسيد الكربون ما بقيت حية. فكل ذرة كربون-14 تفقد بالانحلال تُعوض حاليًا بالكربون-14 طازجة من الغلاف الغازي. وبهذه الطريقة. يحدث اتزان إشعاعي من خلاله يحافظ على نسبة ثابتة. وهي نحو ذرة كربون-14 واحدة لكل مئة بليون ذرة كربون-12. وعند موت النبات. يتوقف تعويض الكربون-14. وتنقص النسبة المئوية لكل كربون-14 بمعدل ثابت يعطى بعمر- النصف. وكلما كان موت النبات أو الكائن الحي أبعد زمنيًا. نقصت كمية الكربون-14 الموجود بالنسبة إلى كمية الكربون-12 الثابتة.

إنّ عمر - النصف للكربون-14 هو 5760 سنة تقريبًا. وهذا يعني أنّ نصف عدد ذرات الكربون-14 (Carbon-14 Dating) الموجودة حاليًا في النبتة أو الحيوان الذي يموت اليوم ستحل خلال 5760

عامًا القادمة. في حين سينحل نصف العدد المتبقي من الذرات في 5760 عامًا التالية. واستنادًا إلى هذا. يستطيع العلماء حساب عمر الآثار التي تحتوي على الكربون. مثل الأدوات الخشبية. أو الهياكل. من خلال قياس مستوى إشعاعها الحالي. تسمى هذه العملية التّاريخ بالكربون-14، التي تمكننا من سبر الماضي

إلى 50,000 عام. ولكن أكثر من هذه الفترة الزمنية. تكون كمية الكربون-14 المتبقية قليلة جدًا بحيث لا يكون تقدير الأعمار دقيقًا.

تعدّ طريقة التّاريخ بالكربون-14 بسيطة جدًا ودقيقة. لو كانت كمية الكربون المشع في الغلاف الجوي ثابتة عبر العصور. ولكنها لم تكن كذلك. بسبب تذبذب المجال المغناطيسي لكلّ من الشمس والأرض والذي أثر في شدة الأشعة - الكونية في غلاف الأرض الجوي. وأنتج بدوره تذبذبًا في إنتاج الكربون-14. كما أنّ التغير في مناخ الأرض أثر في كمية ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. تعدّ المحيطات خزانات كبيرة لثاني أكسيد الكربون. وعندما تسخن هذه المحيطات. فإنها تطلق مزيدًا من ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي أكثر مما لو كانت باردة. سنعود إلى المحيطات وتفاعلها المهم مع ثاني أكسيد الكربون في الفصلين 18 و24.

### لمعلوماتك

■ تحتوي عينة 1 جم من الكربون من مادة كانت حية قريبًا على نحو 50 تريليون بليون ذرة كربون ( $5 \times 10^{22}$ ). من ذرات الكربون هذه. نحو 65 بليون ( $6.5 \times 10^{10}$ ) منها نظير الكربون-14 النشط إشعاعيًا. وهذا يؤدي إلى انحلال بيتا بمعدل 13.5 انحلال لكل دقيقة.



الشكل 20.13

تتضاءل كمية الكربون-14 المشع في الهيكل العظمي إلى النصف كل 5730 سنة، وتكون النتيجة أنه الآن يحتوي على جزء من الكربون-14 الذي كان يحتويه أصلًا. تمثل الأسهم الحمراء الكمية النسبية لمقدار الكربون-14.

### نقطة فحص

افترض أنّ عالم آثار استخلص 1 جم من الكربون من مقبض فأس قديمة. ووجد أنّ التّشّاط الإشعاعيّ يساوي ربع التّشّاط الإشعاعيّ لجذع شجرة مقطوعة حديثًا. ما عمر مقبض الفأس القديمة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

افترض أنّ نسبة C-14 إلى C-12 هي نفسها عند صناعة الفأس. فيكون عمر مقبض الفأس ضعفي عمر النصف لـ C-14. أو نحو قبل 11460 سنة.



يحتوي طن واحد من الجرانيت العادي على نحو 9 جم من اليورانيوم و20 جم من الثوريوم. وتحتوي صخور البازلت على 3.5 جم و7.7 جم من العنصر نفسه على الترتيب.

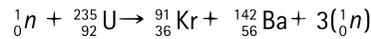
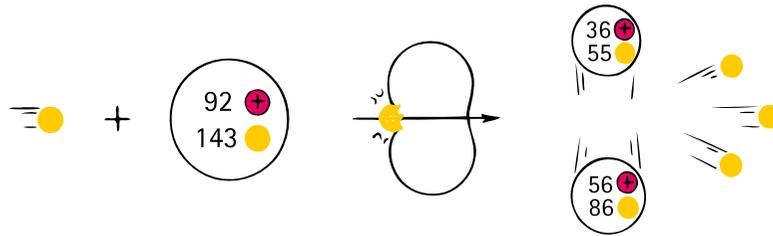
يتم التَّأريخ للأشياء غير الحية، الأقدم، بالمواد المشعة كاليورانيوم. تنحل النظائر الطبيعيَّة الموجودة U-238 و U-235 ببطء وفي النهاية تصبح نظائر رصاص - ولكن ليس نظير الرصاص المألوف Pb-208. فعلى سبيل المثال، ينحلّ U-235 عبر عدة مراحل ليصبح في النهاية Pb 206، في حين يصبح U-235 في النهاية نظير Pb 207. نظائر الرصاص 206 و 207 الموجودة الآن كانت في فترة ماضية يورانيوم. وكلما كانت الصخرة المحتوية على اليورانيوم أقدم، زادت نسبة هذه النظائر المتبقية. ومن معرفة أعمار - النصف لنظائر اليورانيوم، والنسب المئوية لنظائر الرصاص في الصخور المحتوية على اليورانيوم، يمكن تأريخ تشكُّل الصخرة. وسنعود إلى التَّأريخ بالإشعاع عندما نبحث ديناميكية جوف الأرض في الفصل 22.

### ■ 5.13 الانشطار النوويّ

لقد غير الاكتشاف الذي حدث صدفة على يدي العالمين الألمانيين أوتو هان Otto Hahn وفرتز ستراسمان Frits Strassmann عام 1938م العالم. لقد دُهِشَّا عندما وجدا آثارًا كيميائية لإنتاج الباريوم، عنصر كتلته تقريبًا تساوي نصف كتلة اليورانيوم، في أثناء قصف عينة يورانيوم بالنيوترونات على أمل خلق عناصر ثقيلة جديدة. أخبر هان عن هذا العنصر الجديد لزميلته السابقة ليسي مايتنر Lise Meitner التي هربت من ألمانيا النازية إلى السويد بسبب أصولها اليهودية. وقد استنتجت مايتنر من نتائج هان أنّ نواة اليورانيوم نشطت بقصفها بالنيوترونات، وانشطرت إلى نصفين. وبعد ذلك بقليل، نشرت مايتنر بحثًا عن عملها مع ابن أخيها الفيزيائي أوتوفريش Otto Frisch الذي استخدم مصطلح الانشطار النوويّ لأول مرة.

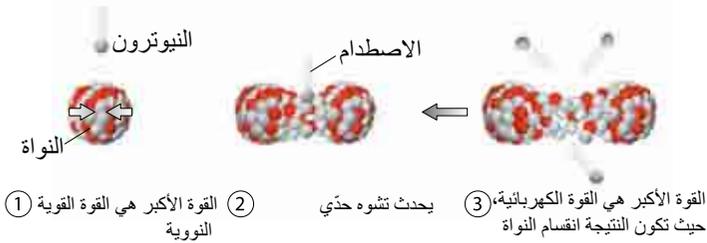
هناك توازن دقيق في نواة أي ذرة بين قوى التجاذب النوويّ وقوى التنافر الكهربائي بين البروتونات. وفي الأنوية المعروفة جميعها، تتفوق القوى النوويّة. ولكن هذا التفوق ضعيف في اليورانيوم. لو استطالت نواة اليورانيوم بشكل مطوّل (الشكل 21.13)، يمكن أن تدفع القوى الكهربائيّة إلى شكل أكثر استطالة. وإذا زادت الاستطالة على نقطة معينة، فإنّ القوى الكهربائيّة تتغلب على القوى النوويّة، وتنقسم النواة. وهذا هو الانشطار النوويّ.

إنّ الطّاقة المتحررة من انشطار نواة واحدة من اليورانيوم-235 هائلة جدًّا نسبيًّا؛ نحو 7 ملايين مرة مثل الطّاقة المتحررة من انفجار جزيء واحد من TNT. تكون الطّاقة على شكل طاقة حركية بشكل رئيس للأجزاء المنشطرة التي يتبعد بعضها عن بعض، مع بعض الطّاقة للنيوترونات، المقذوفة، ويكون الباقي على شكل إشعاعات جاما. وفيما يلي نموذج لتفاعل الانشطار النوويّ



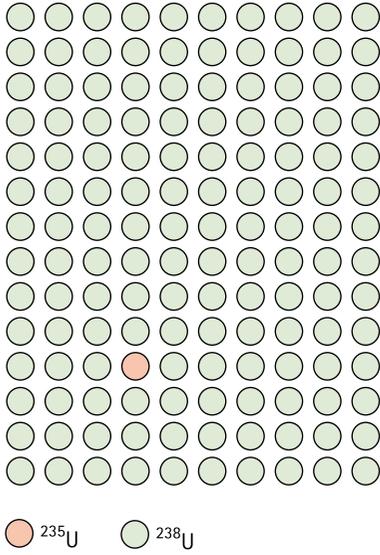
#### لمعلوماتك

■ مُنح أوتو هان، Otto hahn جائزة نوبل ولم يُمنح ليسي مايتنر -Meitner Lise على عمل الانشطار النوويّ. لم يعترف هان السييء السمعة حتى بدورها في ذلك، مما دفعها إلى الخمول. للمزيد من الاطلاع حول هذا، اقرأ الكتاب الجيد،  $E=mc^2$  لديفيد بودانيس David Bodanis.



#### الشكل 21.13

يمكن أن يؤدي التشوه النوويّ إلى قوة تنافر كهربائيّة تتغلب على قوة الجذب النوويّة. وفي هذه الحالة يحدث الانشطار.



الشكل 23.13

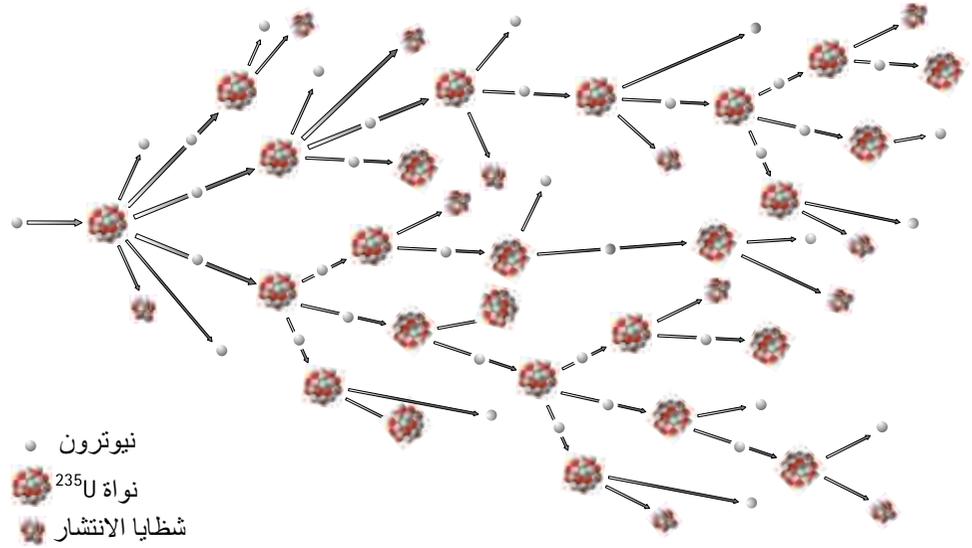
تفاعل متسلسل.

لاحظ في هذا التفاعل أنّ نيوترونًا واحدًا بدأ انشطار نواة اليورانيوم. وأن الانشطار أنتج 3 نيوترونات. (يمكن أن ينتج التفاعل الانشطاري أقل من 3 نيوترونات أو أكثر). ويمكن أن تسبب هذه النيوترونات المنتجة انشطار 3 ذرات يورانيوم أخرى. محررة 9 نيوترونات إضافية. إذا نجح كل واحد من الـ 9 نيوترونات في فصل ذرة يورانيوم. فإنّ الخطوة التالية للتفاعل تنتج 27 نيوترونًا. وهكذا دواليك. يسمى هذا التتابع الموضح في الشكل 22.13 التفاعل المتسلسل (**Chain Reaction**): تفاعل مستدام ذاتيًا. بحيث إنّ نواتج حدوث تفاعل واحد تستحث حدوث تفاعلات أخرى.

لماذا لا يحدث التفاعل المتسلسل طبيعيًا في اليورانيوم المخزن في المناجم؟ يمكن أن يحدث إذا كان انشطار ذرات اليورانيوم جميعها سهلاً. يحدث الانشطار بشكل رئيس لنظير اليورانيوم -235 النادر، والذي يشكل 0.7% فقط من فلز اليورانيوم النقي. وعند امتصاص اليورانيوم -238 الأكثر توافراً. النيوترونات الناجمة عن انشطار -235 U. فإن اليورانيوم -238 لا يتعرض عادة إلى انشطار. لذا ينتهي التفاعل المتسلسل بامتصاص اليورانيوم -238 للنيوترونات. كما هو الحال في الصخر المطمور في المناجم.

ولو حدث التفاعل المتسلسل في قطعة يورانيوم -235 نقي. بحجم كرة البيسبول. فإنّ انفجارًا هائلًا سوف يحدث. ولكن إذا بدأ التفاعل المتسلسل في قطعة أصغر من اليورانيوم -235 النقي. فإنه لا يحدث انفجار. ويعزى هذا إلى الهندسة؛ حيث نسبة السطح للكتلة هو أكبر للأجسام الصغيرة منه للأجسام الكبيرة (كما هو الحال. توجد قشور في ست حبات بطاطس بكتلة كلية مقدارها 1 كغم أكثر مما هي في حبة واحدة من البطاطس لها الكتلة نفسها). وهكذا. فهناك مساحة سطح أكبر في مجموعة قطع صغيرة من اليورانيوم مقارنة بقطعة كبيرة من اليورانيوم. في الأجزاء الصغيرة من اليورانيوم -235 تتسرّب النيوترونات عبر السطح قبل حدوث الانفجار. وفي القطعة الأكبر. يتعاظم التفاعل المتسلسل إلى طاقات كبيرة قبل أن تصل النيوترونات إلى السطح وتغادر (الشكل 24.13). تسمى الكتلة بعد نقطة معينة الكتلة الحرجة (**Critical Mass**). والتي يحدث بعدها انفجار عظيم.

خذ قطعة كبيرة من اليورانيوم -235 واقسمها إلى قطعتين لكل منهما كتلة أقل من كمية معينة. تسمى الوحدة دون الحرجة. تبلغ النيوترونات السطح وتتسرّب في كليهما قبل أن يتعاظم التفاعل المتسلسل إلى حد الطاقة الكبيرة. ولكن إذا وُضعت القطعتان معًا فجأة. فستقل مساحة السطح. وإذا كان التوقيت صحيحًا وكتلتهما الموحدة أكبر من الكتلة الحرجة. يحدث انفجار شديد. وهذا ما يحدث في القنبلة النووية الانشطارية (الشكل 25.13).

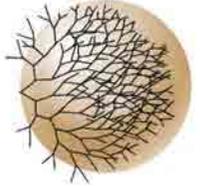


الشكل 22.13

فقط جزء من 140 من اليورانيوم المتوافر في الطبيعة هو -235 U.



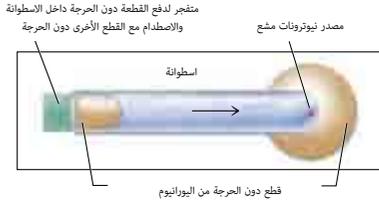
نيوترونات تغادر السطح



تطلق النيوترونات مزيداً من التفاعلات

الشكل 24.13

يبين المنظر المكبر أنّ التفاعل المتسلسل في قطعة صغيرة من اليورانيوم -235 النقي يستمر قبل أن يحدث انفجار كبير؛ لأن النيوترونات تتسرّب من السطح بسرعة. تكون مساحة سطح القطعة الصغيرة كبيراً نسبة إلى الكتلة. في القطعة الكبيرة، يوجد يورانيوم أكثر ومساحة سطح أقل للنيوترونات.



الشكل 25.13 شكل مبسط لقنبلة.

تعدّ صناعة قنبلة انشطارية مهمة صعبة. وتتأتى الصعوبة في فصل اليورانيوم-235 عن اليورانيوم-238 الوفير. يحتاج العلماء إلى أكثر من سنتين لاستخلاص كمية كافية من اليورانيوم-235 من منجم اليورانيوم لصناعة قنبلة كتلك التي أسقطت على هيروشيما عام 1945م. وما زالت عملية فصل نظائر اليورانيوم صعبة إلى يومنا هذا.

### نقطة فحص

كرة كتلتها 1 كجم من اليورانيوم-235 وهي كتلة حرجة تقريبًا، ولكن إذا قسمت الكرة نفسها إلى قطع صغيرة فإنها لا تعود كتلة حرجة. فسّر.

هل كانت هذه إجابتك؟

يبلغ مجموع مساحة السطح للقطع الصغيرة أكبر من مساحة السطح للقطعة الأصلية (فمساحة سطح مجموعة من الحصى أكبر من مساحة صخرة لها الكتلة نفسها). تتسرب النيوترونات عبر السطح قبل بدء تعاضم التفاعل المتسلسل.

### مفاعلات الانشطار النووي

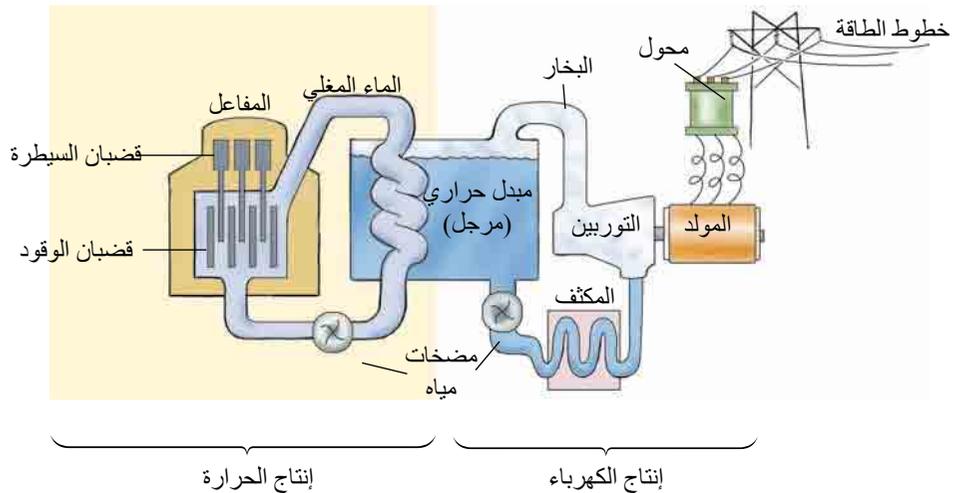
لقد تعرّف العالم ربع الطّاقة من الانشطار النوويّ من خلال القنابل النوويّة. وهذه الصورة العنيفة ظلت تلازم تفكيرنا حول هذه الطّاقة. وجعلت إدراك الفوائد الجمة للاستخدامات العديدة لها صعبة لكثير من الناس. ينتج حاليًا نحو 20% من الطّاقة الكهربائيّة في الولايات المتحدة من مفاعلات الانشطار النوويّ (في بعض البلدان. ينتج معظم الطّاقة الكهربائيّة من محطات نووية: 75% تقريبًا في فرنسا). وببساطة، هذه المفاعلات هي أفران نووية. وهي مثل أفران الوقود الأحفوري. تعمل على غلي الماء لإنتاج البخار للتوربين (الشكل 26.13). ولكن الفارق الرئيس هو كمية الوقود المستخدم: ينتج كيلوجرام واحد من اليورانيوم كوقود، وهو أقل حجمًا من كرة القاعدة، وهذا يعادل إنتاج حمولة 30 شاحنة من الفحم. يتكون مفاعل الانشطار من أربع حجرات هي: 1- الوقود النوويّ. 2- قضبان السيطرة. 3- المهدئ (لإبطاء النيوترونات الضرورية لإحداث الانشطار). 4- السائل (عادة الماء). إنّ الوقود النوويّ الرئيس هو U-238. 238-235 U. 3%. ولأنّ كمية نظائر اليورانيوم-235 قليلة جدًا بالنسبة إلى اليورانيوم-238. فإنّ احتمالية حدوث انفجار كما هو الحال في القنبلة النوويّة غير وارد. يُسيطر على سرعة التفاعل. والذي يعتمد على عدد النيوترونات التي بدأت الانشطار أنوية اليورانيوم-235 الأخرى. بإدخال قضبان السيطرة إلى المفاعل. تصنع قضبان السيطرة من مادة ماصة للنيوترونات. وهي في العادة فلز الكاديميوم أو البورون.

### معلوماتك

مع بروز النازية في ألمانيا في ثلاثينيات القرن العشرين. هاجر العديد من العلماء، وخصوصًا من ذوي الأصول اليهودية من أوروبا إلى الولايات المتحدة الأمريكية. بما في ذلك العشرات من الفيزيائيين النظريين اللامعين الذين قاموا بدور بارز في تطوير الانشطار النوويّ. ومن هؤلاء الفيزيائيين ليو سيزلارد Leo sizard الذي كان (1898 – 1964) أول من تنبأ بالتفاعل النوويّ المتسلسل. وبموافقة أينشتاين. كتب سيزلارد رسالة إلى الرئيس الأمريكي روزفلت Roosevelt في عام 1939 م ووقعها أينشتاين. لقد أوجز في هذه الرسالة احتمالية التفاعل المتسلسل ومضمون القنبلة النوويّة. وقد تمّ جريب أول قنبلة نووية خلال ست سنوات. وفجرت في صحراء نيومكسيكو عام 1945م. ومن ثمّ أرسل سيزلارد عريضة موقعة من 68 من العلماء الذين لهم علاقة بالبرنامج النوويّ يطلبون فيها من الرئيس ترومان عدم قصف أيّ مدينة مأهولة في اليابان بالقنبلة النوويّة مثل نجازاكي. إلا أنّ العسكريين احتفظوا بهذه العريضة. ولم تصل أبدًا إلى الرئيس.

الشكل 26.13

مخطط لمحطة قوى بالانشطار النوويّ. لاحظ أنّ الماء المتصل مع قضبان الوقود موجود في منطقة مغلقة بالكامل، وأن المواد المشعة لا تدخل مباشرة في توليد الكهرباء.





الشكل 27.13

يوجد المفاعل النووي داخل مبنى على شكل قبة مصممة لمنع انبعاث النظائر المشعة في حالة وقوع حوادث.



لا تطلق محطات الطاقة النووية عملياً أي ملوثات نحو الغلاف الجوي. وهذا يتضمن غاز الدفيئة ثاني أكسيد الكربون المسبب للاحتباس الحراري.

#### لمعلوماتك

■ في عام 1972م تم اكتشاف أنّ الأرض احتوت على مفاعلات نووية كانت تعمل تقريباً مثل مفاعلات المحطات النووية المعاصرة. وجدت هذه المفاعلات في مناجم اليورانيوم وهمدت قبل 1.7 بليون سنة، ولكنها أثبتت أنّ الطاقة من نواة الذرة قديمة قدم الأرض نفسها.



يحتوي طن من الفحم على ما معدله 1.3 جزء من المليون (ppm) من اليورانيوم و3.2 PPM من الثوريوم. ولهذا السبب فإن محطات الطاقة التي تحرق الفحم بهذا المعدل تعدّ مصدرًا للمواد النشطة إشعاعياً في الغلاف الغازي أكثر من محطات الطاقة النووية.

يوضع الماء الساخن حول المفاعل تحت ضغط عال للمحافظة على درجة حرارة عالية دون أن يغلي. وهذا ينقل الحرارة إلى نظام مائي آخر تحت ضغط منخفض، والذي يشغل التوربينات والمولد الكهربائي بالطريقة المعتادة. وبهذا التصميم، يُستخدم نظامان مائيان حتى لا يصل النشاط الإشعاعي إلى التوربين أو البيئة الخارجية.

ومن المآخذ المهمة على الطاقة الانشطارية هو توليدها نفايات إشعاعية. تكون ذرات الأنوية الخفيفة أكثر استقراراً إذا كانت تتشكل من العدد نفسه من البروتونات والنيوترونات. كما نوقش سابقاً، أمّا الأنوية الثقيلة فتحتاج إلى نيوترونات أكبر من البروتونات لكي تستقر. على سبيل المثال اليورانيوم-235 له 143 نيوتروناً و92 بروتوناً. وعند انقسام اليورانيوم إلى عنصرين متوسطي الوزن فإن النيوترونات الزائدة في أنويتها تجعلها غير مستقرة، وهي مشعة. معظمها له أعمار - نصف قصيرة، ولكن عمر - النصف لبعضها يمتد إلى آلاف السنين. إنّ التخزين الآمن للنفايات المشعة والمواد التي أصبحت مشعة في أثناء إنتاج الوقود النووي يتطلب براميل تخزين وإجراءات خاصة. وعلى الرغم من مضي نصف قرن على نجاح استخدام الانشطار في إنتاج الكهرباء، فإنّ تخزين النفايات المشعة ما زال يشكل معضلة في الولايات المتحدة.

يدفن الأمريكيون النفايات المشعة في أعماق الأرض، ولا يتفق كثير من العلماء النوويين تجاه عملية الدفن العميق هذه كحل مأمون. لقد ظهرت أفكار جديدة تتمثل في إمكانية إعادة تدوير النفايات النووية المستهلكة وقوداً للمفاعل من نوع مفاعل التفاعل السريع (IFR). والذي يستخدم نفايات المفاعلات الأخرى وقوداً. كما يتم البحث عن طرق تستطيع تحويل النظائر ذات عمر - النصف الطويل إلى نظائر لها عمر - النصف أقصر. في حين يجهز الفرنسيون مخازن خاصة تحت الأرض للنفايات النووية. وتتم مراقبتها بدلاً من دفنها. كما أعيد تشكيل نفايات مناجم الذهب ونفايات المناجم الأخرى والتي أهملت في القرن الماضي وذلك لقيمتها التجارية. و لربما يتكرر الشيء نفسه للنفايات النووية اليوم. ويجب ألا تكون هذه النفايات مصدر خطر على الدوام، أو أن تسبب كوارث للأجيال القادمة كما في التفكير العام. يتضمن فوائد الانشطار وفرة في الكهرباء، وتوفير بلايين الأطنان من الوقود الأحفوري. في كل عام يتحوّل هذا الوقود إلى حرارة على شكل دخان وملايين الأطنان من الغازات السامة مثل أكاسيد الكبريت. ومن الجدير بالذكر أنّ الوقود الأحفوري مصدر ثمين للجزيئات العضوية، وهذا ما سوف نناقشه في الفصل 19. حيث يستخدم لصناعة الأدوية، والملابس، والسيارات، والكثير من الأشياء الأخرى.

#### ■ نقطة فحص

يحتوي الفحم على كميات ضئيلة من المواد المشعة. بحيث تكون الإشعاعات النووية في محيط محطة طاقة تعمل بحرق الفحم أكثر من تلك التي في محيط محطة طاقة انشطارية. إلام يشير ذلك حول حماية محيط هذين النوعين من محطات القوى؟

#### هل كانت هذه إجابتك؟

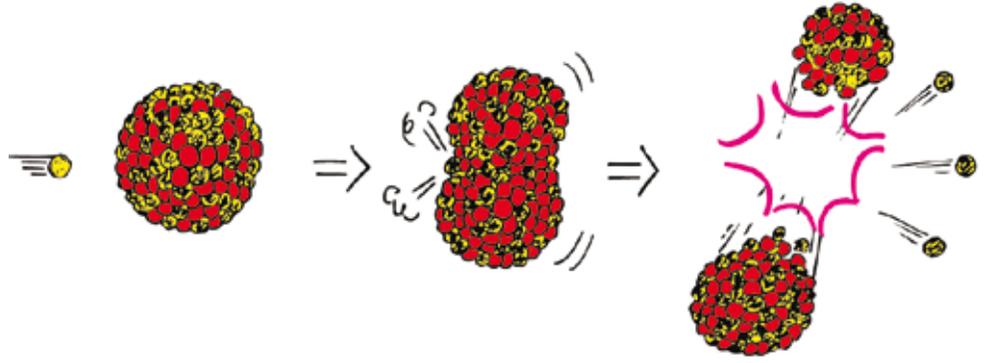
محطات الوقود بحرق الفحم هي كالناس والمأكولات. ليس مطلوباً حمايتها، وهي مكلفة لمنع انبعاث الجسيمات المشعة. ولكن يجب عزل محطات الانشطار النووي للتأكد من انخفاض مستوى الانبعاثات المشعة.

#### المفاعل المولد

من الخصائص المميزة للطاقة الانشطارية هي أنّها تولد وقوداً انشطاريّاً من اليورانيوم-238 غير المنشط. ويحدث هذا التوليد عند مزج كميات صغيرة من النظائر المنشطة مع  $^{238}\text{U}$  في المفاعل. يحرق الانشطار نيوترونات تحوّل بدورها الكميات المتوافرة نسبياً من اليورانيوم-238 غير المنشطة إلى اليورانيوم-239 المنشطة، واللذين ينحلان لإنتاج بيتا و $^{239}\text{Np}$  والذي بدوره ينحلّ منتجاً بيتا والبلوتونيوم المنشط  $^{239}\text{Pu}$  (الشكل 28.13). وهكذا، فبالإضافة إلى الطاقة الكثيرة المنتجة، يتولّد وقود انشطاري من اليورانيوم المتوافر نسبياً  $^{238}\text{U}$  في هذه العملية.

## الشكل 28.13

Pu-239، مثل U-235 ينشط عند اصطاده لنيوترون.



## لمعلوماتك

■ لقد تطوّرت تصاميم محطات القوى النوويّة عبر السنين. توجد حاليًّا تصاميم مفاعلات نووية للجيل الرابع والتي ستكون تصاميم جديدة أساسًا. ستكون صغيرة مثلًا، وتتضمن معايير أمان عالية، وسوف تعمل على إطفاء المفاعل ذاتيًّا في الحالات الطارئة. وقد يكون مصدر الوقود هو اليورانيوم المستنفد من مخلفات المفاعلات السابقة. ستسمح تصاميم المفاعلات الجديدة بتكوين وقود هيدروجين من الماء. يهدف المنتدى الدولي إلى نشر الجيل الرابع من محطات الطاقة للعمل خلال الـ 20 سنة القادمة.

يحدث التوليد إلى حدّ ما في المفاعلات الانشطارية جميعها. ولكن المفاعل المصمم خصيصًا لتوليد وقود انشطاري أكثر من الوقود الذي يغذى به يسمى مفاعلًا مولدًا. يشبه استخدام المفاعل المولد كما لو أنك تملأ خزان وقود سيارتك بالماء، بإضافة بعض البنزين. وعندما تستخدم سيارتك يصبح عندك بنزين أكثر بعد الرحلة ما كان قبلها! إنّ مبدأ المفاعل المولد جذاب. فبعد عدة سنوات من التشغيل، ستنتج محطة توليد الطاقة كميات هائلة من الطاقة وكمية من الوقود ضعف الكمية الأصلية. ولكن ما يؤخذ على هذا النوع من المفاعلات هو التعقيدات الكبيرة في التشغيل الآمن.

لقد أوقفت الولايات المتحدة منذ عقدين التفكير في المفاعلات المولدة. ولكن روسيا، وفرنسا، واليابان والهند ما زالت تستثمر فيها. يشير المسؤولون في هذه البلدان إلى أنّ مخزون U-235 في الطبيعة محدود. وبمعدل الاستهلاك الحالي، فإن المصادر الطبيعيّة لليورانيوم -235 سوف تنضب خلال قرن. إذا قررت هذه البلدان العودة إلى المفاعلات المولدة فسوف تفتش عن الخلفات الإشعاعيّة التي دفنتها.

■ 6.13 تكافؤ الكتلة والطاقة:  $E=mc^2$ 

## الشكل 29.13

يتطلب بذل شغل هائل لسحب نوية من نواة الذرة. يزيد هذا الشغل من الطاقة ومن ثم كتلة النوية خارج النواة.

في بداية 1900م، اكتشف ألبرت أينشتاين Albert Einstein أنّ الكتلة في الحقيقة هي طاقة "مجمّدة". وأنّ الكتلة والطاقة وجهان لعملة واحدة، كما عبر عنها في معادلته المشهورة  $E = mc^2$ . في هذه المعادلة، تمثل  $E$  الطاقة لكتلة ساكنة، في حين تمثل  $m$  الكتلة، أمّا  $C$  فتمثل سرعة الضوء. تمثل ثابت التناسب بين الطاقة والكتلة. إنّ العلاقة بين الطاقة والكتلة هي المفتاح لفهم سبب الطاقة في التفاعلات النوويّة وكيفية حررها.

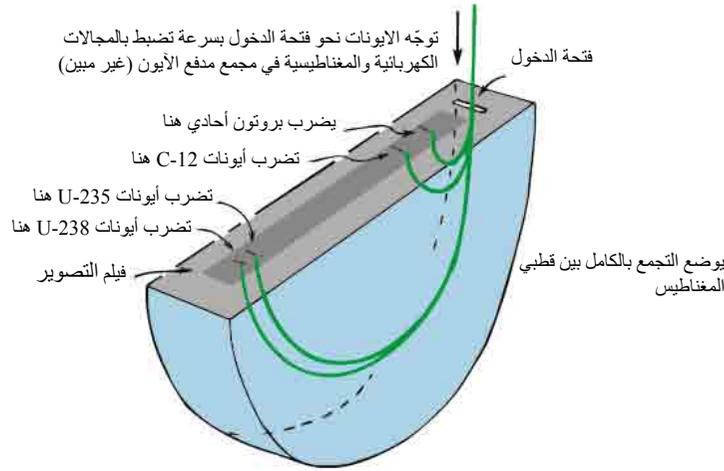
كلما زادت الطاقة المرتبطة بجسيم، كانت كتلته أكبر. هل كتلة النوية داخل النواة هي نفسها خارجها؟ يمكن الإجابة عن هذا السؤال، بحساب الشغل اللازم لفصل النويات عن النواة. ونعرف من الفيزياء أنّ الشغل، وهو طاقة مبذولة، يساوي *القوة × المسافة*. ففكر في مقدار القوة اللازمة لسحب نوية من النواة إلى مسافة كافية للتغلب على قوة الجذب النوويّة القوية، يشار إلى ذلك بشكل ساخر في الشكل 29.13: حيث تلزم كمية هائلة من الشغل. وهذا الشغل يذهب كطاقة للنوية المنزوعة من النواة.

ووفقًا لمعادلة أينشتاين تعبر هذه الطاقة المتحصّل عليها كزيادة في كتلة النويات. تكون كتلة النوية خارج النواة أكبر من كتلة النوية المحبوسة نفسها داخل النواة. وكما نوقش في الفصل 14، فنواة ذرة الكربون -12- تتكون من 6 بروتونات و6 نيوترونات؛ لها 12.00000 وحدة كتلة ذرية (و.ك.ذ) تمامًا. وبالمعدل فكل نوية تساهم بوحدة كتلة ذرية واحدة. ولكن خارج النواة، تبلغ كتلة البروتون 1.00728 و.ك.ذ وكتلة النيوترون 1.00867 و.ك.ذ، وعليه، فإنّ مجموع 6 بروتونات حرة و6 نيوترونات حرة هي

$$12.09570 = [(6 \times 1.00867) + (6 \times 1.00728)]$$

تشير المعادلة  $E=mc^2$  إلى أنّ الكتلة هي طاقة مكثفة. الكتلة والطاقة وجهان لعملة واحدة.

## الشكل 30.13



يمكن قياس كتلة نظائر مختلف العناصر بدقة باستخدام مطياف الكتلة. (الشكل 30.13). يستخدم هذا الجهاز المجال المغناطيسي لحرف أيونات هذه النظائر في أقواس دائرية. وكلما كبرت كتلة الأيون، زادت مقاومته للانحراف. وزاد نصف قطر مسار الانحناء كذلك. تدفع القوة المغناطيسية الأيونات الخفيفة في أقواس صغيرة، والأيونات الثقيلة في أقواس أكبر.

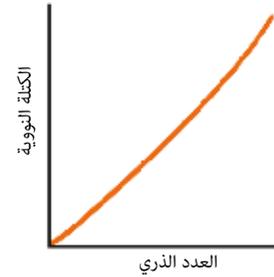
يبين الشكل 31.13 رسمًا للكتل النووية للعناصر من الهيدروجين إلى اليورانيوم. يصعد ميل المنحنى مع زيادة العدد الذري كما هو متوقع؛ تزداد كتلة العناصر كلما زاد العدد الذري. ينحني الميل بسبب الزيادة النسبية في عدد النيوترونات على عدد البروتونات في الذرات الكبيرة.

ينتج الشكل الأكثر أهمية من الرسم البياني للكتلة النووية لكل نوية من الهيدروجين حتى اليورانيوم (الشكل 32.13). ربما يكون هذا أهم شكل في هذا الكتاب؛ لأنه المفتاح لفهم الطاقة المرتبطة بالعمليات النووية. (بالمثل، إذا قسمت مجموع كتلة الأشخاص في الغرفة على مجموع عددهم، فستحصل على معدل الكتلة للشخص الواحد. لحساب متوسط الكتلة لكل نوية تقسم مجموع كتلة النواة على عدد النويات فيها).

مطياف الكتلة (Mass Spectrometer). توجه النظائر المشحونة كهربائيًا إلى «طبلة» شبه دائرية، حيث تجر على سلوك مسار شبه دائري بتأثير مجال مغناطيسي قوي. يكون للنظائر الأخف قصور ذاتي أقل (كتلة)، وبسهولة يتغير اتجاهها وتسحب إلى منحنيات أنصاف أقطارها أصغر. في حين يكون للنظائر الأثقل قصور ذاتي أكبر (كتلته)، ومن ثم تسحب إلى منحنيات أنصاف أقطارها أكبر. وأخيرًا، تتناسب كتلة النظير مباشرة مع بعده عن مكان نزوله.

## لمعلوماتك

■ يزودنا مطياف الكتلة الفائقة الحساسية بنتيجة سريعة. ما يجعله مثاليًا للكشف عن الجزيئات المرتبطة بالمتفجرات في المطارات والمحطات الأمنية. يسمح رجل الأمن الأمتعة في المطياف. تتبخر الجزيئات الموجودة على قطعة القماش ناعمة توضع بعد ذلك في المطياف. تتبخر الجزيئات الموجودة على قطعة القماش في داخل الحجرة التي يتم تأيينها لتحديد نوع الجزيئات وفق خصائصها الكتلية.

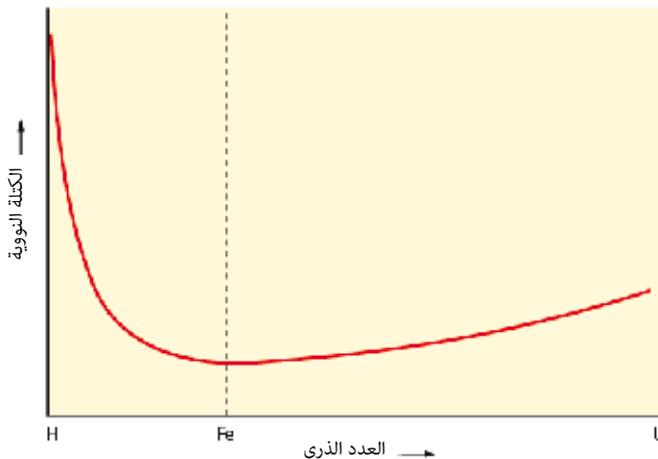


## الشكل 31.13

يبين الرسم كيفية ازدياد الكتلة مع زيادة العدد الذري.

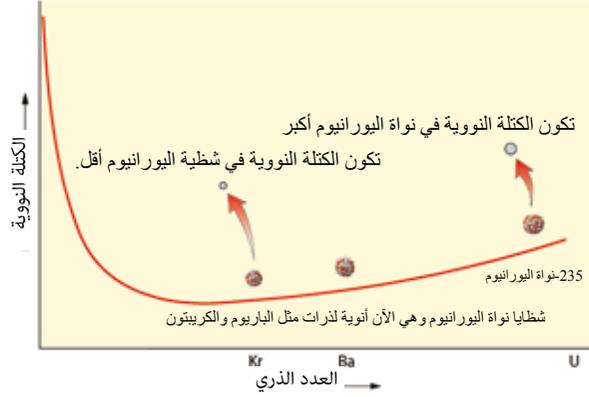
## الشكل 32.13

يبين الرسم اعتماد معدل كتلة النوية على النواة التي تحويه. تكون كتلة النويات أكبر ما يمكن في أخف الأنوية، أقلها كتلة في الحديد والكتلة الوسطية في أثقل الأنوية.



## الشكل 33.13

تكون كتلة كل نوية في نواة اليورانيوم أكبر من كتلة كل نوية في أي شظية ناتجة عن الانشطار النووي. إنَّ الكتلة المفقودة هي تلك الكتلة التي تحوَّلت إلى طاقة. ولهذا يعدُّ الانشطار النووي عملية تحرير طاقة.



لاحظ أنَّ كتلة النويات تختلف باختلاف الأنوية التي حتوبها. حدث أكبر كتلة لكل نوية للبروتون الوحيد، وهو الهيدروجين، بسبب عدم وجود طاقة ربط لإنقاص كتلته. وبالتقدم إلى ما بعد الهيدروجين، تصغر الكتلة لكل نوية، وتكون أقل ما يمكن في ذرة الحديد. وبعد الحديد، تعكس العملية نفسها وتبدأ كتلة النويات في الزيادة في الذرات مع زيادة العدد الذري. وتستمر هكذا حتى اليورانيوم والعناصر الأثقل منه. من الشكل 32.13، يمكن معرفة كيفية تحرير الطاقة عندما تنقسم نواة اليورانيوم إلى نواتين لهما عدد ذري أقل. ولأنَّ اليورانيوم يقع عن يمين الشكل فإن الكتلة لكل نوية كبيرة. وعند انقسام نواة اليورانيوم إلى نصفين، تتشكل نواتان أصغر من النواة الأصلية عددهما الذري أقل. إنَّ هذه الأنوية، كما يبين الشكل 33.13، موجودة أسفل اليورانيوم، وهذا يعني أنَّ الكتلة لكل نوية لهما أقل من اليورانيوم. أي أنَّ النويات تفقد جزءاً من كتلتها عند انفصالها من نويات يورانيوم إلى نويات منشطرة. وعند ضرب هذا النقصان في الكتلة في مربع سرعة الضوء ( $c^2$  في معادلة أينشتاين) فإنَّ الناتج يساوي الطاقة المتحررة لكل نواة يورانيوم تتعرض للانشطار.

إنَّ الرسم في الشكل 32.13 (والشكلين 13.33 و 13.34) يوحي بأنَّ طاقة نواة الذرة هي مصدر أولي من مصادر الطاقة في العالم. ولهذا السبب يمكن اعتبارهما من أهم الرسوم في هذا الكتاب.

## نقطة فحص

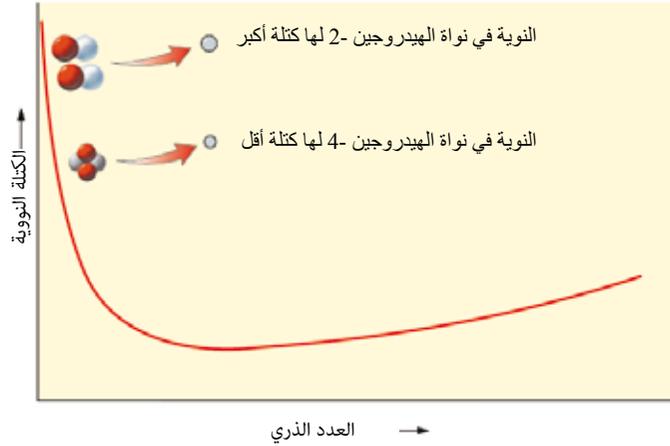
صحح العبارة الآتية: عند انشطار عنصر ثقيل كاليورانيوم، يكون عدد النويات بعد التفاعل أقل منه قبل التفاعل.

هل كانت هذه إجابتك؟

عندما ينشطر عنصر ثقيل مثل اليورانيوم، لا يتغير عدد النويات بعد التفاعل. إلا أنَّ الكتلة لعدد النويات نفسه تنقص.

يمكن التفكير في منحنى الكتلة لكل نوية كمواد للطاقة، والذي يبدأ بالهيدروجين (أعلى نقطة) ثم يبدأ الميل في النقصان بشدة إلى أقل نقطة (الحديد). ثمَّ يبدأ الميل في الارتفاع تدريجياً حتى اليورانيوم. يقع الحديد في أدنى نقطة من المنحنى وهو النواة الأكثر استقراراً. كما أنَّه النواة الأكثر ترابطاً، أي أنه يتطلب طاقة أكبر لكل نوية لفصلها عن نواتها أكثر من الطاقة المطلوبة لفصل غيرها من الأنوية. إنَّ الطاقة النووية الحالية جميعها طاقة انشطارية. وعلى المدى البعيد، يوجد مصدر طاقة واعد إلى الجانب الأيسر من منحنى الطاقة.

## الشكل 34.13

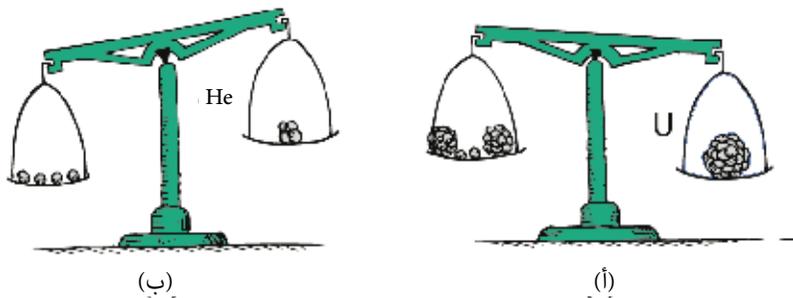


## 7.13 الاندماج النووي

لاحظ أن الرسوم في الشكلين 32.13 و 33.13 تبين أن الجزء الأكثر انحدارًا في منحنى الطاقة يبدأ من الهيدروجين حتى الحديد. تنحصر الطاقة بإخاد الأنوية الخفيفة. إنَّ إحاد الأنوية هو الاندماج النوويّ: عكس الانشطار النوويّ. ويبين الشكل 34.13. أنه في أثناء الحركة عبر قائمة العناصر من الهيدروجين حتى الحديد. يتناقص معدل الكتلة لكل نوية. وعليه، فعند التحام نواتين صغيرتين، مثل نظيري الهيدروجين، تكون كتلة نواة الهيليوم -4 الناتجة أقل من كتلة النواتين الصغيرتين قبل الالتحام (الاندماج). وتنحصر طاقة عند اندماج الأنوية الصغيرة.

وحدوث تفاعل الاندماج، يجب أن تكون سرعة الأنوية المصطدمة عالية جدًا حتى تتغلب على تفاعل التنافر المتبادل بينهما، إنَّ السرعات المطلوبة لحدوث الاندماج تُناظر درجات الحرارة العالية جدًا الموجودة في الشمس والنجوم الأخرى. يسمى الاندماج الذي يتم الحصول عليه بالحرارة العالية الاندماج النوويّ الحراري (*Thermal Nuclear fusion*): في درجات الحرارة العالية للشمس، يتحوّل 657 مليون طن من الهيدروجين إلى 653 مليون طن من الهيليوم في كل ثانية تقريبًا، في حين تتحوّل الأربع ملايين طن الأخرى إلى طاقة إشعاعات.

وبالمعنى الحرفي للكلمة، فإنَّ هذه التفاعلات هي حرق نووي. يشبه الاندماج النوويّ الحراري الاحتراق الكيميائي العادي. ففي الحالتين، هناك احتراق كيميائي ونووي، درجة حرارة عالية تبدأ بالتفاعل. إنَّ الطاقة المتحررة من التفاعل تؤدي إلى الإبقاء على درجة حرارة عالية لتسريع النار. وتكون نتيجة التفاعل الكيميائي الحاة ذرات لتكوين جزيئات أكثر ارتباطًا. وفي تفاعلات الاندماج النوويّ، تنتج نوى أكثر استقرارًا. وفي الحالتين، تنقص الكتلة لإنتاج طاقة.



## الشكل 35.13

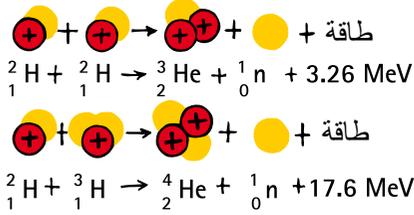
لا تساوي كتلة النواة مجموع كتل مكوناتها (أ) تكون مجموع كتلة الشظايا الناتجة عن انشطار النواة الثقيلة مثل اليورانيوم أقل من كتلة نواة اليورانيوم. (ب) مجموع كتلة بروتونين ونيوترونين وهما في حالة عدم الاتحاد من كتلتيهما عندما يتحدان لتكوين نواة الهيليوم.

## ■ نقطة فحص

1. الانشطار والاندماج عمليتان متعاكستان. ومع ذلك فكلاهما يحرر طاقة. أليس هذا تناقضًا؟
2. لكي نحصل على طاقة نووية من عنصر الحديد، هل علينا دمج الحديد أم شطره؟
3. تنبأ ما إذا كانت درجة حرارة قلب نجم تتزايد أم تتناقص عند التحام أنوية عنصر الحديد. أو اندماج أنوية عناصر أخرى لها أعداد ذرية أكبر من الحديد.

## هل كانت هذه إجابتك؟

1. لا، لا! يكون هذا تناقض فقط عندما يقال إنَّ العنصر نفسه يطلق طاقة في العمليتين معًا؛ الانشطار والاندماج. إنَّ اندماج العناصر الخفيفة وانشطار العناصر الثقيلة فقط هو الذي يحدث نقصانًا في كتلة النوية ومن ثم تتحرر طاقة.
2. لا هذا ولا ذلك؛ لأنَّ الحديد يقع في أدنى «منحنى الطّاقة». إنَّ اندماج نواتين من الحديد ينتج عنصرًا إلى اليمين من الحديد على المنحنى؛ حيث تكون الكتلة لكل نوية أكبر. وإذا سُطرت نواة الحديد، فستكون النواتج عن اليسار من الحديد على المنحنى- أيضًا كتلة أكبر لكل نوية. لذا لا تتحرر طاقة. ولتحرير طاقة يلزم «نقص في الكتلة»، ونقص الكتلة هو الأساس في هذه العملية الكيميائية أو النووية.
3. في اندماج الحديد أو أي أنوية أكبر من أنويته، يحدث امتصاص في الطّاقة ويبرد قلب النجم في المراحل الأخيرة من التطور. وهذا يؤدي إلى انهيار النجوم، والتي تزيد من درجة حرارتها بشكل هائل. ومن المدهش أنّ العناصر الأكبر لا تصنع من الحديد في دورات الاندماج العادية في المصادر النجمية، ولكنها تصنع عند الانفجار العنيف للنجوم؛ أي السوبر نوفيًا.



## الشكل 36.13

تفاعلات اندماج نظائر الهيدروجين. تحمل النيوترونات معظم الطّاقة المتحررة التي تقذف بسرعات عالية.

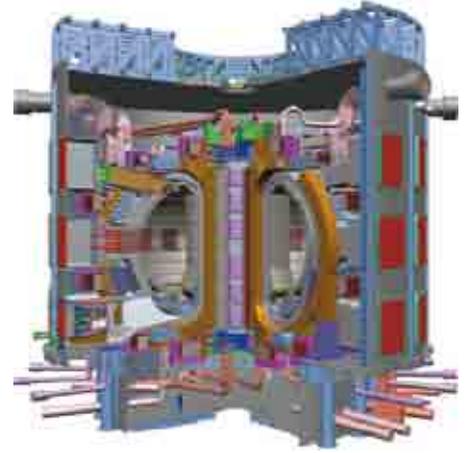
قبل تصنيع القنبلة الذّرية، لم تكن درجات الحرارة الضرورية لحدوث اندماج نووي متوافرة على الأرض. وعندما وجد العلماء أنّ درجة الحرارة الناجمة عن انفجار القنبلة التّووية تكون بين أربعة إلى خمسة أضعاف درجة حرارة مركز الشمس، أصبحت القنبلة التّووية الحرارية على بعد خطوة. تم تفجير أول قنبلة نووية حرارية، القنبلة الهيدروجينية في عام 1952م. وفي حين تحدد الكتلة الحرجة للمادة المنشطرة حجم القنبلة الانشطارية (القنبلة الذّرية)، فإنّه لا يوجد حدود للقنبلة التّووية الحرارية الاندماجية (القنبلة الهيدروجينية). كما هو الحال في عدم وجود قيود على حجم مستودع تخزين النفط. يمكن تخزين أي كمية من الوقود الاندماجي حتى لحظة الاشتعال. ومع أنّ مجرد عود ثقاب يكفي لإشعال مستودع نפט، فليس أقل من طاقة القنبلة الذّرية كافيًا لإشعال القنبلة التّووية الحرارية. وهكذا، ليس هناك ما يسمى القنبلة الهيدروجينية "الصغيرة". فعلى سبيل المثال، فإنّ قنبلة عادية من القنابل التّووية الحرارية الموجودة في المخازن الاحتياطية للولايات المتحدة تبلغ قوتها التدميرية نحو 1000 مرة من تلك التي فجرت فوق هيروشيما في الحرب العالمية الثانية.

يمكن اعتبار القنبلة الهيدروجينية مثالًا آخر على الاختراعات التدميرية بدلًا من الاختراعات المفيدة. وتكمن الفائدة في احتمالية السيطرة على كمية الطّاقة المفيدة الهائلة المتحررة من تفاعلات الاندماج.

## الاندماج المسيطر عليه

يتطلب إجراء تفاعلات الاندماج تحت ظروف يمكن التحكم فيها؛ درجات حرارة بملايين الدرجات. هناك العديد من الآليات للحصول على درجات حرارة عالية. ولكن المشكلة تكمن في أنه كيفما أنتجت درجة الحرارة العالية، فإنّ المواد جميعها تذوب وتتبخّر عند درجات الحرارة المطلوبة للاندماج. وللحيلولة دون ذلك، يحصر التفاعل في وعاء غير مادي. إنّ الوعاء غير المادي هذا هو المجال المغناطيسي، والذي يمكن الحصول عليه عند أي درجة حرارة ويؤثر بقوة كبيرة في الشحنات الكهربائية المتحركة. "الجدران المغناطيسية" ذات القوة الكافية تزودنا بسترة ضيقة للغازات الحارة والتي تسمى بلازما. تسخن زيادة الانضغاط المغناطيسي البلازما حتى درجة حرارة الاندماج. حتى هذه اللحظة، فإنّ الاندماج بالحصر المغناطيسي ناجح جزئيًا؛ لأنّ التفاعل المستدام والمسيطر عليه بعيد المنال.

وعلى الرغم من عدم وجود محطة قوى اندماجية حتى الآن، إلا أنّ هناك مشروعاً دولياً يهدف إلى إثبات إمكانية عمل محطة قوى اندماجية في المستقبل. يسمى المفاعل التجريبي التّووي الحراري الدولي (ITER). بعد إتمام بنائه في (Cadarache) في فرنسا، يتوقع أن يبدأ أول تفاعل اندماجي مستدام بحلول عام 2015 (الشكل 37.13). سيحوي هذا المفاعل غاز الهيدروجين المشحون كهربائياً (بلازما) والمسخن إلى درجة حرارة أعلى من 100 مليون درجة سيليزية، وهذه أسخن من مركز الشمس. وبالإضافة إلى إنتاجه 500 ميغاوات من الطّاقة، يمكن أن يُكوّن مصدرًا للطاقة لإنتاج الهيدروجين H<sub>2</sub>، والذي يمكن استخدامه لشحن خلايا الوقود. مثل تلك المستخدمة في السيارات. إذا كان الناس في يوم من الأيام يريدون الانطلاق حول الكون كما نظير حول الأرض اليوم، فإن تزويدهم بالوقود مضمون. الوقود هو اندماج الهيدروجين، وهو متوافر في كل مكان في العالم، ليس فقط في النجوم، بل في الفضاء بينها كذلك. ويقدر أنّ 91% من ذرات الكون هيدروجين. وعليه، سيضمن الناس مستقبلًا وفرة المواد، لأن العناصر المعروفة جميعها نتجت عن اندماج أكثر وأكثر من أنوية الهيدروجين. يمكن للبشر تصنيع عناصرهم وإنتاج الطّاقة في أثناء هذه العملية، كما تفعل النجوم على الدوام.



الشكل 37.13

منظر لمقطع عرضي (ITER) الذي صمم ليبنى ويعمل في (Cadarache) في فرنسا.

## ملخص المصطلحات

**تحوّل Transmutation:** تحوّل نواة ذرة عنصر ما إلى نواة ذرة عنصر آخر من خلال فقد أو اكتساب عدد من البروتونات.  
**التأريخ بالكربون - Carbon-14 dating 14:** عملية تقدير عمر مادة كانت حية بقياس كمية نظير الكربون المشع المتبقي فيها.  
**الانشطار النووي Nuclear fission:** انقسام نواة ذرة ثقيلة، مثل اليورانيوم - 235، إلى جزأين رئيسيين، مصحوبًا بتحرير طاقة هائلة.  
**التفاعل المتسلسل Chain reaction:** تفاعل مستدام ذاتيًا، وتخفّز فيه نواتج حدوث تفاعل واحد حدوث تفاعلات أخرى.  
**الكتلة الحرجة Critical mass:** الحد الأدنى من كتلة المادة الانشطارية في المفاعل أو القنبلة النووية، والذي يبقى على التفاعل المتسلسل مستمرًا.  
**الاندماج النووي Nuclear fusion:** اتحاد أنوية ذرات عناصر خفيفة لتشكيل أنوية ثقيلة، مصحوبة بتحرير طاقة هائلة.  
**تفاعل نووي حراري Thermonuclear fusion:** اندماج نووي ينتج عن الحرارة العالية.

**النشاط الإشعاعي Radioactivity:** عملية تنشطر فيها نواة ذرة غير مستقرة وتطلق إشعاعًا.  
**جسيم ألفا Alpha particle:** نواة ذرة الهيليوم، والتي تتكون من بروتونين ونيوترونين تطلق من بعض العناصر المشعة.  
**جسيم بيتا Beta particle:** إلكترون (أو بوزترون) يطلق خلال عملية انحلال إشعاعي من بعض النويات.  
**أشعة جاما Gamma ray:** إشعاعات كهرومغناطيسية عالية التردد تطلق من أنوية ذرات مشعة.  
**الراد Rad:** كمية كبيرة من الطّاقة الإشعاعية تساوي 0.01 جول من الطّاقة الممتصة لكل كيلوجرام من النسيج الحي.  
**الرم Rem:** وحدة قياس لقدرة الإشعاع على إلحاق الضرر بالأنسجة الحية.  
**القوة النووية القوية Strong nuclear force:** قوة التفاعل بين النويات جميعها، وهي فاعلة في المسافات القصيرة جدًا فقط.  
**عمر النصف Half-life:** الزمن اللازم لانحلال نصف عدد ذرات عينة نظير مشع.

## أسئلة مراجعة

### 1.13 النشاط الإشعاعي

3. هل النشاط الإشعاعي على الأرض حديث نسبيًا؟ دافع عن جوابك.
4. ما الفرق بين الراد والرم؟
5. كيف تُستخدم النظائر المشعة في التشخيص الطبي؟

1. أيها له قدرة اختراقية أكبر: جسيمات ألفا، أم جسيمات بيتا، أم أشعة جاما؟
2. هل يشع جسم الإنسان طبيعيًا؟

### 5.13 الانشطار النووي

19. لماذا لا يحدث التفاعل المتسلسل في مناجم اليورانيوم؟
20. هل إمكانية حدوث تفاعل متسلسل لقطعتين منفصلتين من اليورانيوم - 235 أفضل من حدوثه للقطعتين مجتمعين؟
21. ما أوجه التشابه والاختلاف بين محطة المفاعل النووي ومحطة فرن الوقود؟
22. كيف يولد المفاعل المولد الوقود النووي؟

### 6.13 تكافؤ الكتلة - الطاقة: $E=mc^2$

23. هل يلزم شغل لسحب نوية من ذرة النواة؟ أين تكون طاقة النوية أكبر: خارج النواة أم داخلها؟ ما شكل هذه الطاقة؟
24. أي الأيونات يكون له أقل انحراف في مطياف الكتلة؟
25. في نواة أي ذرة يكون للنويات أقل كتلة؟
26. كيف تقارن كتلة كل نوية لليورانيوم مع كتلة كل نوية لأحد انشطارات اليورانيوم؟

### 7.13 الاندماج النووي

27. إذا نظرت إلى الرسم البياني في الشكل 34.13 منحنى الطاقة. فماذا يمكن أن تقول عن التحويلات النووية التي تحدث في اتجاه الحديد؟
28. عند اندماج زوج من نظائر الهيدروجين. هل تكون كتلة النواة الناتجة أكبر من مجموع كتلتي نواتي الهيدروجين. أم أقل؟
29. ما نوع الحاويات التي تستخدم لاحتواء البلازما عند درجات حرارة تبلغ ملايين الدرجات؟
30. من أين حصل الشمس على طاقتها؟

### 2.13 النواة الذرية والقوة النووية القوية

6. لماذا لا تعمل قوة التنافر الكهربائية بين البروتونات في نواة الذرة على تباعدها؟
7. أي الأنوية تحتوي على نيوترونات أكثر من البروتونات: الكبيرة أم الصغيرة؟
8. كيف تختلف القوة النووية القوية عن قوة الكهرباء؟
9. ما الدور الذي تقوم به النيوترونات في نواة الذرة؟

### 3.13 عمر - النصف والتحول

10. ماذا نعني بعمر - النصف لعينة مشعة؟
11. ما عمر - النصف للراديو-226؟
12. ما التغير الذي يحدث للعدد الذري عندما تطلق النواة جسيم ألفا؟ وجسيم بيتا؟
13. ما مصير اليورانيوم جميعه المتوافر في العالم اليوم على المدى البعيد؟

### 4.13 التاريخ بالقياس الإشعاعي

14. أيهما المشع: كربون -12، أم كربون -14؟
15. لماذا يوجد كربون -14 في عظام حيّة أكثر من وجوده في العظام القديمة لميت له الكتلة نفسها؟
16. لماذا يكون التاريخ بالكربون -14 عديم الجدوى لقطعة معدنية قديمة ولكن ليس لقطعة قماش قديمة؟
17. لماذا يوجد الرصاص في مخلفات مناجم اليورانيوم جميعها؟
18. لماذا نقدر عمر صخرة من معرفة نسبة الرصاص إلى اليورانيوم فيها؟

### تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ◆ خبير

11. ● أي الإشعاعات: ألفا، أم بيتا، أم جاما تسيطر داخل طائرة تجارية على ارتفاعات مختلفة؟ ولماذا؟
12. ● عندما يطلق نظير البزموت -213 جسيم ألفا، فما العنصر الجديد؟ وما العنصر الجديد لو أطلق جسيم بيتا؟
13. ● عندما ينحل عنصر بإشعاع جسيم ألفا، فما العدد الذري للعنصر الناتج؟ وما العدد الكتلي للعنصر الجديد؟
14. ● ما العدد الذري والكتلة الذرية للعنصر الناتج عندما يطلق جسيم بيتا؟ وما هما إذا أطلق البولونيوم جسيم ألفا؟
15. ● لا توجد عناصر أكبر من اليورانيوم في الجدول الدوري في الطبيعة بكميات مقيسة، وذلك لقصر أعمار النصف لها، ومع ذلك توجد عدة عناصر أسفل اليورانيوم في الجدول الدوري لها أعمار - نصف قصيرة مكافئة ولكنها تتوافر بكميات مقيسة في الطبيعة. بم تعلق ذلك؟
16. ● يقول أحد أصدقائك: إن الهيليوم المستخدم لماء البالونات هو نتاج انحلال إشعاعي. في حين لا يوافق على هذا صديق آخر. أيهما على صواب؟
17. ● صديق آخر قلق لأنه يسكن بالقرب من محطة قوى انشطارية. ويأمل أن يتجنب الإشعاعات بالانتقال إلى الجبال الشاهقة والنوم على صخور الجرانيت في الليل. ما تعقيبك على ذلك؟

1. ■ لماذا تكون عينة مادة مشعة أسخن قليلاً من محيطها دائماً؟
2. ■ هل من المحتمل أن تبت نواة هيدروجين جسيم ألفا؟ وضح إجابتك.
3. ■ هل تتوقع أن تزيد سرعة النواة بعد مغادرة جسيم ألفا مباشرة لها؟ وضح إجابتك.
4. ● كيف تختلف الشحنة الكهربائية بين كل من جسيم ألفا وجسيم بيتا وأشعة جاما؟
5. ■ لماذا تنحرف جسيمات كل من ألفا وبيتا في اتجاهين متعاكسين في المجال المغناطيسي؟ لماذا لا تنحرف أشعة جاما؟
6. ● تبلغ الشحنة الكهربائية لجسيم ألفا ضعف الشحنة الكهربائية لجسيم بيتا. ومع ذلك، فإن انحرافها في المجال المغناطيسي قليل. لماذا؟
7. ● في أي أنواع الإشعاعات: ألفا أم بيتا أم جاما يحدث تغير في العدد الكتلي؟ وأكبر تغير في العدد الذري؟
8. ● في أي أنواع الإشعاعات: ألفا أم بيتا أم جاما يحدث أقل تغير في العدد الكتلي؟ وأقل تغير في العدد الذري؟
9. ● يتنافر زوج من البروتونات معاً داخل النواة، ولكنهما أيضاً يتجاذبان. فسّر.
10. ● إذا علمت أن لذرة ما 104 إلكترونات، و157 نيوترونًا، و104 بروتونات، فما الكتلة الذرية تقريبًا؟ وما اسم هذا العنصر؟

36. ♦ يطلق اليورانيوم-235 في المعدل 2.5 نيوترون لكل انشطار. في حين يطلق البلوتونيوم-239، 2.7 نيوترون لكل انشطار. أي هذين العنصرين تتوقع أن يكون له كتلة حرجة أصغر؟
37. ♦ إذا امتصت نواة  $^{232}_{90}\text{Th}$  نيوترونًا وتعرضت النواة الناتجة لانحلالين متتابعين من جسيمات بيتا، فما النواة الناتجة؟
38. ♦ أي العمليتين يمكنها تحرير طاقة من الذهب. من الكربون. من الحديد: الانشطار أم الاندماج؟
39. ♦ لكي تنشطر نواة اليورانيوم إلى ثلاثة أقسام متساوية تقريبًا بدلًا من قسمين. هل تتحرر طاقة أكثر أم أقل؟ دافع عن إجابتك باستخدام الشّكلين 32.13 و 33.13.
40. ♦ هل كتلة النواة الذرّية أكبر من مجموع النويات المكونة لها أم أقل؟ لماذا لا تتساوى مجموع كتل النويات مع كتلة النواة؟
41. ♦ لقد بني المفاعل الأصلي عام 1942م وهو يكاد يكون حرجًا لأن اليورانيوم الطبيعيّ الذي استعمل كان يحتوي على أقل من 1% من نظير  $^{235}\text{U}$  المنشطر (عمر - النصف له 713 مليون سنة). ماذا لو كان عمر الأرض 9 بلايين سنة بدلًا من 4.5 بلايين سنة؟ هل كان هذا المفاعل ليصل إلى المرحلة الحرجة مع هذا اليورانيوم الطبيعيّ؟
42. ♦ الأنوية الثقيلة مصنوعة لتنصهر على سبيل المثال بلحام نواة ذهب مع نواة أخرى. هل تحرر هذه العملية طاقة أم تستهلكها؟ فسّر.
43. ♦ يمكن تجزئة الأنوية الخفيفة كالديوترون. وهو اتحاد بروتون - نيوترون. إلى بروتون ونيوترون. هل تحرر هذه العملية طاقة أم تستهلكها؟ فسّر.
44. ♦ هل يلزم شغل لسحب نوية من نواة ذرية؟ هل كتلة النوية خارج النواة أكبر منها داخلها أم أقل؟
45. ♦ أيهما يحرر طاقة أكثر: انشطار نواة يورانيوم مفردة أم اندماج نواتين من الديتيريوم؟ انشطار 1 جرم من اليورانيوم أم اندماج 1 جرم من الديتيريوم؟ ما السبب في اختلاف إجابتك؟
46. ♦ علينا الحصول على استدامة الاندماج النوويّ والذي يبقى الأمل في وفرة الطّاقة في المستقبل. ومع ذلك، فإن الطّاقة التي تستدعينا دائمًا هي طاقة الاندماج النوويّ. فسّر.
47. ♦ إذا كان الاندماج النوويّ لا يُنتج نظائر مشعة محسوسة، فليَم تنتج القنبلة الهيدروجينية كثيرًا من الغبار النوويّ؟
48. ♦ اشرح كيف أنّ الانحلال الإشعاعيّ قد سخّن باطن الأرض على الدوام، وكيف أنّ الاندماج النوويّ سخّن الأرض من الخارج على الدوام.
49. ♦ يسمى الهيدروجين العادي أحيانًا الوقود المثالي. بسبب توافره غير المحدود على الأرض. كما أنه عندما يحترق، فنتيجته الماء غير الضار. وعليه، لِمَ لا نبتعد عن الانشطار والاندماج النوويّين. عدا عن الوقود الأحفوري، ونستعمل الهيدروجين فقط؟
50. ♦ ما توقعك حول التغيرات العالمية التي يمكن حدوثها تبعًا للنجاح في اختراع مفاعلات اندماجية؟

18. ♦ ذهب صديق آخر أيضًا في رحلة إلى سفوح التلال ليتجنب آثار التّشاط الإشعاعيّ. وعندما كان يستحم في المياه الدافئة لنبع طبيعيّ حار تعجب من أين تأتي الحرارة للنبع. قَبِّمْ تخبره؟
19. ♦ يحتوي الفحم على كميات قليلة من المواد الإشعاعيّة. ومع ذلك هناك إشعاعات بيئية خيط بمحطة قوى الفحم أكثر من المحطة الانشطارية. إلّا، يَشِيرُ ذلك بالنسبة إلى الحماية في كلتا المحطتين؟
20. ♦ يفحص صديق الإشعاع المحلي بعدد جايجر، والذي يظهر أحيانًا عند العد. صديق آخر يخاف كثيرًا من الأشياء التي لا يفهمها. ويحاول الابتعاد عن منطقة عداد جايجر، وطلب إليك نصيحة. فيم تنصحه؟
21. ♦ عندما يُشعَعُ الغذاء بإشعاعات جاما من مصدر كوبالت - 60، هل يصبح الغذاء مشعًا؟ دافع عن إجابتك.
22. ♦ كيف يُنتج الكربون-14 في الغلاف الجوي؟
23. ♦ الراديوم-226 نظير مألوف على الأرض. وعمر - النصف له نحو 1600 عام. إذا علمت أنّ عمر الأرض 5 بلايين سنة تقريبًا. فلماذا لا يزال الراديوم موجودًا حتى الآن؟
24. ♦ هل يُنصح التّاريخ بالكربون لقياس عمر مواد أعمارها عدة سنوات؟ ماذا لو كانت أعمارها عدة آلاف من السنوات؟ وعدة ملايين من السنين؟
25. ♦ لماذا لا يعدّ التّاريخ بالكربون - 14 دقيقًا لتقدير عمر مواد أكثر من 50,000 عام؟
26. ♦ تمّ تحديد عمر مخطوطات البحر الميت بالتّاريخ بالكربون - 14. هل تكون هذه الطريقة مفيدة لو نحتت هذه المخطوطات على قطع حجرية؟ فسّر.
27. ♦ لو أُجريت إحصاء لـ 1000 شخص ولدوا عام 2000، ووجدت أنّ نصفهم ما زال حيًّا عام 2060م، فهل يعني هذا أنّ ربعهم سوف يكون حيًّا عام 2120م، وأنّ ثمنهم سوف يكون حيًّا عام 2180م؟ ما الفرق بين معدلات الموت للأشخاص و«معدلات الموت» للذرات المشعة؟
28. ♦ لماذا لا يتعرض يورانيوم المناجم لتفاعل متسلسل؟
29. ♦ لماذا ليس من المحتمل أن يستخدم الانشطار النوويّ مباشرة وقودًا للسيارات أبدًا؟ كيف يمكن استخدامه بطريقة غير مباشرة؟
30. ♦ هل يزيد أم ينقص معدل المسافة التي يقطعها النيوترون خلال مادة منشطرة قبل أن ينبعث إذا كانت المادة المنشطرة مصنعة على شكل قطعتين أم قطعة واحدة؟ هل هذا البناء يزيد أم ينقص احتمالية الانفجار؟
31. ♦ أي الأشكال تعتقد أنها تحتاج إلى مادة أكثر للكتلة الحرجة: المكعب أم الكرة؟ فسّر.
32. ♦ لماذا يصلح النيوترون للتسديد كذيفة على نحو أفضل من البروتون أو الإلكترون؟
33. ♦ لماذا لا يوجد البلوتونيوم بكميات وفيرة في الطبيعة أو في الخزانات؟
34. ♦ ما دور قضبان السيطرة في المفاعل النوويّ؟
35. ♦ لماذا يكون الكربون مهادنًا أفضل من الرصاص في المفاعلات النوويّة؟

## مسائل

مبتدئ ■ متوسط المعرفة ◆ خبير

4. ◆ افترض أنك قست شدة الإشعاع من كربون-14 لقطعة خشب قديمة فكانت 6%. قدر شدة إشعاع لقطعة حديثة. ما عمر هذه القطعة القديمة؟
5. ◆ افترض أنك تريد معرفة كمية الكيروسين في خزان تحت الأرض. فسكبت جالوناً واحداً من الكيروسين الذي يحتوي على مادة إشعاعية والتي عمر - النصف لها كبير جداً. وتعطي 5000 نقطة لكل دقيقة. وفي اليوم التالي. أخذت جالوناً من الخزان وقست نشاطه الإشعاعي فكان 10 نقاط لكل دقيقة. ما كمية الكيروسين في الخزان؟

1. ■ نظير السيزيوم-137 له عمر - النصف 30 سنة. وهو من نواتج محطات القوى النووية. كم من الوقت يمضي حتى يتبقى  $\frac{1}{16}$  من كميته الأصلية؟
2. ■ إذا كان عمر - النصف لعنصر مشع معين هو ساعة واحدة. إذا بدأت بعينة كتلتها 1 جم عند الساعة (12:00) ظهرًا. فكم سيبقى منه عند الساعة 3:00 بعد الظهر؟ وعند الساعة 6:00 بعد الظهر أيضاً؟ وكذلك عند الساعة 10:00 بعد الظهر؟
3. ■ وضعت عينة من نظير مشع إلى جانب عداد جايجر. ولوحظ أنه يسجل 160 نقطة كل دقيقة. وبعد 8 ساعات سجل 10 نقاط لكل دقيقة. ما عمر - النصف لهذه المادة؟

## أنشطة استكشافية

2. اكتب رسالة إلى صديق تناقش فيها محطة القوى النووية. ناقش فوائدها وأخطارها. وفسر كيف تؤثر المقارنة في وجهة نظرك الشخصية من القوى النووية. فسر كيف يختلف الانشطارات والاندماج النوويين.

1. اكتب رسالة إلى صديق لتبديد أي فكرة لديه حول حادثة التشتت الإشعاعي في العالم. اربط ذلك مع فكرة أن العديد من الناس الذين لديهم وجهة نظر قوية مع هذه الفكرة هم الأقل فهمًا لها.

## اختبار الاستعداد للقراءة

4. إنَّ الدليل الذي يدعم فكرة أنَّ القوة النووية القوية أشد من التفاعلات الكهربائية للمسافات بين النووية هي:
- أ- وجود البروتونات بعضها بجانب بعض في نواة الذرة.
- ب- انحلال النيوترونات ذاتيًا إلى بروتونات وإلكترونات.
- ج- مستودعات اليورانيوم أسخن قليلاً من محيطها.
- د- يحدث التداخل الراديوي بالقرب من أي مصدر مشع.
5. هل من المحتمل انحلال عنصر إلى الأمام في الجدول الدوري؛ أي أن ينحل لعنصر أعلى منه في العدد الذري؟
- أ- يُحرض الانحلال بالاصطدام مع بروتون.
- ب- عندما يتحرر جسيم بيتا. يتحوّل النيوترون إلى بروتون.
- ج- هذا يحدث فقط خلال الاندماج النووي.
- د- من غير المحتمل. ينتج عن الانحلال الإشعاعي دائمًا نظير له العدد الذري نفسه أو أقل.
6. نظير السيزيوم-137، والذي عمر النصف له 30 سنة. هو أحد نواتج محطات القوى النووية. إنَّ الوقت الذي يمر عليه حتى تنحل نصف كميته الأصلية هو:
- أ- لا شيء.
- ب- 15 سنة.
- ج- 30 سنة.
- د- 60 سنة.
- هـ- 90 سنة.

- إذا تمكنت من استيعاب هذا الفصل جيداً، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.
- اختر الإجابة المناسبة لكل ما يلي:
1. هل من المحتمل يوماً ما أن تطلق نواة الهيدروجين جسيم ألفا؟
- أ. نعم؛ لأن جسيمات ألفا أبسط أشكال الإشعاعات.
- ب. لا؛ لأنه يتطلب انشطاراتاً نوويةً للهيدروجين. وهذا مستحيل.
- ج. نعم؛ على الرغم من عدم حدوثه على العموم.
- د. لا؛ لأنها لا تحتوي على نويات كافية.
2. في قذف نواة ذرة بالبروتون "كرصاصة"، يجب تسريع البروتونات إلى طاقات عالية حتى تصل إلى النواة الهدف لأن:
- أ- الأنوية الهدف صغيرة جداً.
- ب- الأنوية الهدف سالبة الشحنة.
- ج- الإلكترونات المحيطة يجب أن تخترق النواة الهدف.
- د- الأنوية الهدف موجبة الشحنة.
3. نتوقع أن تكون جسيمات ألفا أقل قدرة على اختراق المواد التي لها الطاقة الحركية نفسها لأن:
- أ- أشعة ألفا تتحد مع الإلكترونات لتصبح ذرات هيليوم غير ضارة.
- ب- جسيمات ألفا تحمل شحنة كهربائية مضاعفة.
- ج- جسيمات ألفا تتحرك ببطء عند تساوي الطاقة الحركية.
- د- أي بدلين ما سبق.

9. إذا انقسم اليورانيوم إلى 90 جزءا ذات أحجام متساوية بدلا من جزأين، فستحرر طاقة :
- أ- أقل؛ لأن الكتلة لكل نوية أقل.
- ب- أقل؛ لأن الكتلة لكل نوية أكبر.
- ج- أكبر؛ لأن الكتلة لكل نوية أقل.
- د- أكبر؛ لأن الكتلة لكل نوية أكبر.
10. للتنبؤ بكمية الطاقة المتحررة سواء كان التفاعل انشطارا أو اندماجا، فسّر كيف يستخدم فيزيائي الجدول الدوري ومعادلة.
- أ- إيجاد التغير في الكتلة والقسمه على مربع سرعة الضوء.
- ب- إيجاد التغير في الكتلة وضربها في مربع سرعة الضوء.
- ج- إيجاد التغير في الكتلة، وتربيعها ومن ثم ضربها في سرعة الضوء.
- د- إيجاد التغير في الكتلة، وأخذ الجذر التربيعي لها، ومن ثم ضربها في سرعة الضوء.

إجابات إختبار الإستعداد للقراءة

10. أ، 6، 8، 4، 9، 5، 7، 3، 2، 1

7. عندما تصل قضبان وقود من اليورانيوم إلى نهاية دورة الوقود (عادة ثلاث سنوات) تأتي معظم طاقتها من انشطار البلوتونيوم لأن:
- أ- البلوتونيوم -239 المنشطر يتشكل عندما يمتص U-235 نيوترونات من انشطار U-238.
- ب- البلوتونيوم -239 المنشطر يتشكل عند امتصاص U-235 النيوترونات من انشطار U-238.
- ج- البلوتونيوم -39 المنشطر يتشكل عندما يمتص U-238 جسيمات ألفا من انشطار U-235.
- د- البلوتونيوم -239 المنشطر يتشكل عندما يمتص U-235 جسيمات ألفا من انشطار U-238.
8. يُحرر اليورانيوم -235 ما معدله 2.5 نيوترون لكل انشطار، أما البلوتونيوم -239 فيحرر 2.7 نيوترون لكل انشطار. لأي هذه العناصر تتوقع أن تكون كتلته الحرجة أصغر؟
- أ- البلوتونيوم -239
- ب- اليورانيوم -235
- ج- لا يؤثر عدد النيوترونات المتحررة لكل تفاعل في مقدار الكتلة الحرجة.
- د- لا يحدد عدد النيوترونات المتحررة لكل انشطار - الكتلة الحرجة للعناصر.

## اكتشف المزيد

<http://www.iaea.or.at>

موقع على الشبكة خاص بالوكالة الدولية للطاقة الذرية، والتي تراقب جميع القضايا المتعلقة بالتقنية النووية. وهذا الموقع هو الاختيار الأفضل للبدء في استكشاف التطبيقات الكثيرة للمفهوم الذي استعرض في هذا الفصل.

<http://www.iter.org>

موقع مشروع المفاعل النووي الحراري الدولي التجريبي. استكشف هذا الموقع للتعرف على أحدث العلوم والسياسات المرتبطة بهذا المشروع الهام.

<http://www.ocrwm.doe.gov>

مكتب إدارة النفايات المشعة المدنية (OCRWM) برنامج دائرة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية المعين لتطوير وإدارة النظام الفدرالي المتخصص في التخلص من نفايات الوقود النووي الناتج عن المفاعلات

النوية التجارية والنفايات النووية التي تحتوي على مستوى عالٍ من الإشعاعات الناتجة عن نشاطات هيئة الدفاع الوطنية. ستجد في هذا الموقع موقف الولايات المتحدة استكشف المزيد فيما يتعلق بمستودعات تخزين النفايات في مواقع جبل يوكا، ونيغاوا، والمواقع الأخرى المحتملة.

<http://ne.doe.gov>

دائرة الطاقة في الولايات المتحدة مكتب الطاقة النووية العلوم والتقنية.

<http://www.state.stats.nv.nucwaste>

ولاية نيفادا هي موطن عدد كبير من مواقع اختبار الأسلحة كما الحال في جبل بوكا، وكما تعتبر منشأة التخزين المحتملة على المدى الطويل. هو موقع ولاية نيفادا، ومكتب الحاكم، ووكالة المشاريع النووية، ومكتب مشروع النفايات النووية.

## الفصل 13 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

■ 13.2, 13.3, 13.4, 13.11, 13.22, 13.34, 13.35

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط

دروس تعليمية

■ الفيزياء النووية

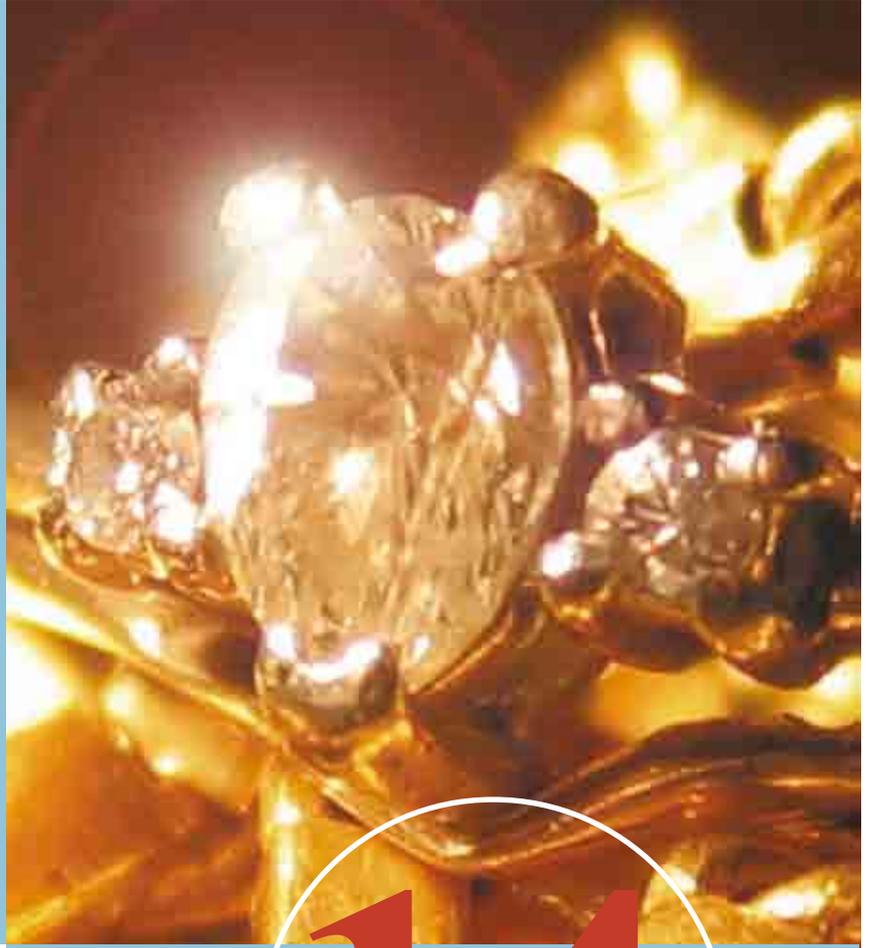
■ اشربة فيديو

■ الاضمحلال الاشعاعي

■ عمر النصف

■ بلوتونيوم

## عناصر الكيمياء



■ كلما تقدمت في دراسة مقرر العلوم الطبيعيّة هذا، سوف تلاحظ تراكم قوائم المصطلحات المفتاحية المشار إليها باللون الغامق، ما سبب هذه الزيادة في المصطلحات الجديدة؟ لماذا لا يمكن وصف العلوم الطبيعيّة باللغة العادية دون إضافة مفردات جديدة؟ خذ في الحسبان ما يلي: يجري العلماء تجارب في المختبر، يدوّنون ملاحظات، ومن ثمّ يستخلصون النتائج. ومع مرور الزمن، يصبح لديهم كم هائل من المعرفة الجديدة والتي بالضرورة تتعدى طاقة المصطلحات الحاليّة. فمثلاً، نقول في الكيمياء إنّ هناك أكثر من 100 نوع من *الذرات*، وإنّ أيّ مادة تتكون من نوع واحد من الذرات تسمّى *عنصرًا*. (تظهر صورة عنصري الذهب والكريتون في افتتاحية هذا الفصل). وترتبط الذرات معًا لتكوين جزيء، ويسمّى الجزيء المكوّن من ذرات عناصر مختلفة *مركّبًا*. وهكذا يُبنى مصطلح على آخر كلما حاولنا وصف طبيعة المادة بطريقة أعمق من مظهرها المباشر. وبدلاً من حفظ المصطلحات المفتاحية، يمكنك أن تفيد نفسك أفضل إذا ركّزت على المفهوم الذي يتضمنه المصطلح.

# 14

1.14 الكيمياء: العلم المركزيّ

2.14 العالم دون المجهرّيّ

3.14 الخصائص الفيزيائيّة والكيميائيّة

4.14 تحديد التغيرات الفيزيائيّة والكيميائيّة

5.14 من العناصر إلى المركّبات

6.14 تسمية المركّبات



تذكر أنّ المصطلح هو مجرد علامة. ويمكنك تعرّف المصطلح دون أن تستوعب المفهوم الذي يتضمنه؛ كما هو الحال في استطاعتك استيعاب المفهوم دون معرفة العلامة الدالة عليه. وعلى الرّغم من أهمية هذه المفردات للتواصل، إلا أنها لا تضمن استيعاباً مفاهيمياً. فإذا ركزت على المفاهيم أولاً، فسوف تأتي إليك المفردات الممثلة بشكل طبيعيّ.

تدرّب على توضيح صياغة المفاهيم الممثلة بخط أسود غامق وإعادتها. قم بذلك بصوت مرتفع لنفسك (أو لصديق)، وقلّ من النظر إلى الكتاب. عندما تكون قادرًا على التعبير عن هذه المفاهيم بلغتك الخاصة – بكلمات بسيطة – فسيتكوّن لديك فهم عميق لتتفوق في هذا المنهج وما بعده.

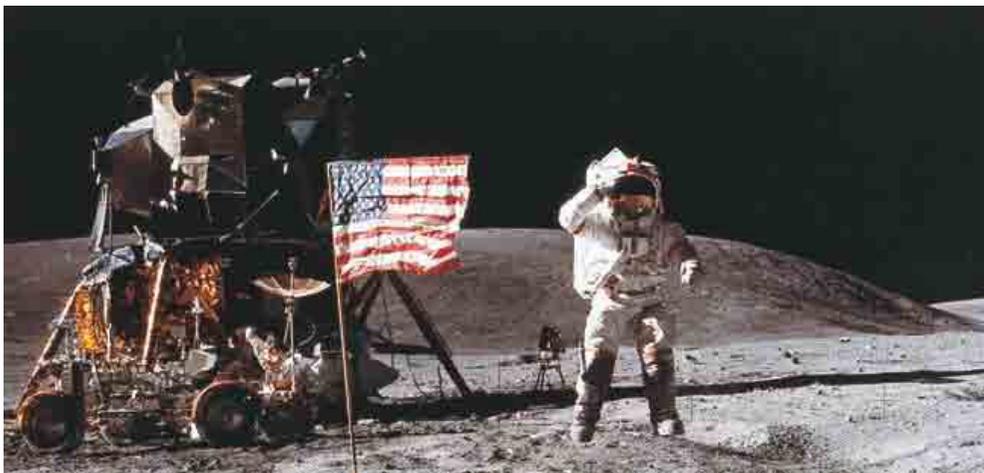
## ■ 1.14 الكيمياء: العلم المركزيّ

عندما تسأل: ممّ تتكون الأرض، والسماء، والمحيط. فأنت تفكر بالكيمياء. وعندما تتساءل كيف جُفّ برك الأمطار، وكيف تأخذ السيارة الطّاقة من البنزين، وكيف يستخلص جسمك الطّاقة من الطّعام الذي تأكله، فأنت تفكر بالكيمياء مرة أخرى. وإذا أردنا تعريف الكيمياء فهي دراسة المادة والتّحوّلات التي تتعرض لها. والمادة هي أيّ شيء يحتلّ فضاءً. إنها الشّيء الذي يكوّن الأشياء المادية جميعها. كما أنّ المادة هي أيّ شيء تستطيع لمسّه تذوّقه أو شمّه رؤيته أو سماعه. وهكذا، فإنّ مجال الكيمياء واسع جدًّا.

توصف الكيمياء غالباً بأنها علم مركزيّ بسبب علاقتها مع فروع العلوم الأخرى جميعها. إنها تبنّق من مبادئ الفيزياء، وتخدم كأساس لأعظم علم معقد: علوم الحياة. في الحقيقة، إنّ العديد من المكتشفات العظيمة في علوم الحياة اليوم كالهندسة الوراثية، هي تطبيقات لبعض أوجه الكيمياء المثيرة والغريبة جدًّا. لقد وضعت الكيمياء الأساس لعلوم الأرض الرئيسية: علم طبقات الأرض، وعلوم البحار، وعلوم الصخور.

إضافة إلى أنها مكوّن مهمّ لعلوم الفضاء. كما تم وصفه في الشّكل 1.14. وكما درسنا عن أصل القمر من التحاليل الكيميائية لصخوره في بداية السّبعينيّات، فنحن ندرس تاريخ المريخ وغيره من الكواكب من المعلومات الكيميائية التي جمعت بواسطة المسّات الفضائية.

لقد حدث التقدم العلميّ بسبب قيام العلماء بالأبحاث. والبحث هو كلّ نشاط منهجيّ يهدف إلى اكتشاف منهجيّ يفسّر معرفة جديدة. إنّ العديد من العلماء يركزون على البحث الأساسيّ (*Basic Research*)، والذي يؤدي بنا إلى فهم أعمق لكيفية عمل العالم الطبيعيّ.



الشّكل 1.14

مواد كيميائية خاصة، مثل وقود الصواريخ، فلزّات لسفن الفضاء، قماش وملابس الفضاء، جميعها تسمح لرواد الفضاء بالوصول إلى سطح القمر واستكشافه.

## الشكل 2.14

تشكّلت معظم أصناف المواد في البيوت الحديثة بفعل عمليات كيميائية من صنع الإنسان.



توظف الصناعات في الولايات المتحدة نحو 900000 كيميائي.



لقد أدت قواعد المعرفة التي أوجدها البحث الأساسي إلى تطبيقات مفيدة، ويسمى البحث الذي يهدف إلى تطوير هذه التطبيقات بالبحث التطبيقي (*Applied Research*)، والذي يركّز عليه معظم الكيميائيين في أبحاثهم. لقد زدنا البحث التطبيقي في الكيمياء بالأدوية، والأغذية، والماء، والملجأ، وكثير من البضائع المادية التي تميّز الحياة العصرية. والشكل 2.14 يبيّن عدة أمثلة على هذه المواد.

خلال القرن الماضي، لقد تفوقنا من خلال التلاعب بالذرات والجزيئات في استنباط مواد جديدة لتلبية احتياجاتنا. ولكن في الوقت نفسه، ارتكبنا أخطاءً في عدم الاهتمام بالبيئة. لقد ألقيت النفايات في الأنهار، أو دُفنت في الأرض، أو نُثرت في الهواء، دون الأخذ في الحسبان الآثار المحتملة البعيدة المدى. يعتقد العديد من الناس أن الأرض كبيرة بما فيه الكفاية بحيث تكون مصادرها غير محدودة، وأنها تستطيع امتصاص النفايات جميعها دون أن يلحق بها ضرر كبير.

أما الآن، فإنّ معظم الأمم تدرك أن هذا التوجه خطير. ولهذا، تنشط المؤسسات الحكومية والصناعية، والمواطنون المهتمون بنشاط مكثف لتنظيف مواقع النفايات السامة. لقد سُنّت التشريعات لحماية البيئة مثل القانون الدولي لمنع إنتاج المواد المدمرة للأوزون كالكلور-فلور-كربون (CFC). كما تبنى المجلس الأمريكي للكيمياء، والذي ينتج 90% من المواد الكيميائية المصنّعة في الولايات المتحدة برنامجاً سمي العناية الإيجابية، والذي تعهد فيه بتصنيع مواد كيميائية لا تحدث ضرراً في البيئة. وبين الشكل 3.14 شعار برنامج العناية الإيجابية. وإذا استخدمنا الكيمياء بوعي وحكمة، استطعنا عندئذٍ تقليل كمية النفايات المنتجة، وإعادة تدويرها، كما يمكن إعادة تصنيعها وبيعها كمواد استهلاكية، أو تحويلها إلى مواد غير خطيرة.

## الشكل 3.14

شعار برنامج العناية الإيجابية للمجلس الأمريكي للكيمياء.



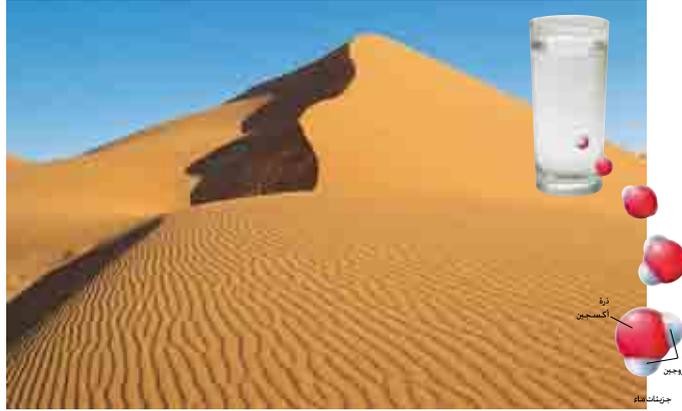
لقد تم المزيد من التقدم في كل من العلوم الفيزيائية والعلوم الحياتية على مدى القرن العشرين. ومن أمثلة التقدم في العلوم الفيزيائية فهنا لكيمياء الحياة، ولكن، من المؤكد أننا سنحرز مزيداً من التقدم في العلوم الحياتية في القرن الحادي والعشرين.

## نقطة فحص

لقد عرف الكيميائيون كيف يصنع الأسبرين باستخدام البترول كمادة أساسية. هل هذا مثال على البحث الأساسي أم البحث التطبيقي؟

هل كانت هذه إجابتك؟

هذا مثال على البحث التطبيقي؛ لأنّ الهدف الأساس هو إنتاج سلعة مفيدة، ولكن القدرة على إنتاج أسبرين من البترول اعتمد على فهم الذرات والجزيئات الذي تطور عبر العديد من سنوات من البحث الأساسي.



الشكل 4.14

عدد الذرات في كأس الماء المشاهدة هنا أكثر من عدد حبات الرمل في تَلِّ الرَّمَل الكبير.

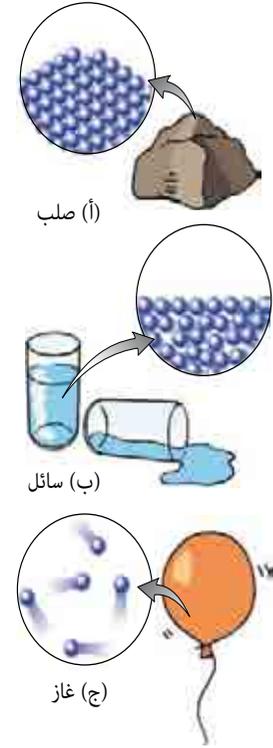
## ■ 2.14 العالم دون المجهرّي

يبدو الكثيب الرَّمَلِيّ من بعيد أملس ومادة متصلة. ولكن عن قرب، يكشف الكثيب عن نفسه بأنه مكون من حبيبات صغيرة من الرَّمَل. وبالطريقة نفسها كما ناقشنا في الفصل 12، فإنّ جميع ما حولنا – مهما بدا أملس- يتكون من وحدات أساسية تسمّى ذرات. ولكن الذرات من الصغر بحيث إنّ حبة رمل واحدة تحتوي على نحو 125 مليون تريليون ذرة. يبلغ عدد الذرات في حبة رمل واحدة 250,000 ضعف عدد حبات الرَّمَل في كومة الرَّمَل الموجودة في الشكل 4.14.

ومع أنّ الذرات صغيرة جدًّا، إلا أننا نعرف عنها الشّيء الكثير. فعلى سبيل المثال، هناك أكثر من 100 نوع من الذرات، وهي مرتبة ومعروفة جدًّا في الجدول الدّوريّ. ترتبط بعض الذرات معًا لتشكيل وحدة أكبر، ولكنها تبقى وحدات أساسية من المادة متناهية الصغر تسمّى الجزيئات. على سبيل المثال، وكما يبين الشكل 4.14، فإنّ ذرتي هيدروجين تتحدان مع ذرة أكسجين لتكوين جزيء مفرد من الماء يُعرف بـ  $H_2O$ . جزيئات الماء صغيرة جدًّا بحيث إنّ كوب ماء سعته 8- أونصات يحتوي على تريليون تريليون منها. يمكن دراسة عالمنا على مستويات مختلفة من التكبير: فعلى المستوى الجاهريّ، المادة كبيرة بما فيه الكفاية لتُرى، وتُقاس، وتُمسك. وتعدّ حفنة من الرَّمَل، أو كأس من الماء عينات مادية جاهزة. وعلى المستوى الجهرّيّ، فإنّ التّركيب الفيزيائيّ دقيق جدًّا بحيث لا يمكن رؤيته دون مجهر: فالخلية الحية مجهرية، كما هو الحال في جناح حشرة صغيرة. أمّا المستوى الثالث فهو ما دون الجهرّيّ، وهو عالم الذرات والجزيئات ومجال الكيمياء المهم.

لعلّك تذكر من الفصل 7 أنّ للمادة أطوارًا: فعلى المستوى دون الجهرّيّ، نجد أنّ الأطوار الصّلبة، والسائلة، والغازية تتميز بكيفية تماسك الجسيمات دون الجهرّيّة معًا. وهذا موضح في الشكل 5.14. ففي المادة الصّلبة كالصّخر، تكون قوى الجذب قوية كفاية لتمسك الجسيمات جميعها بعضها بعضًا في ترتيب ثابت ثلاثيّ الأبعاد. وقد تهتزّ الجسيمات في مواقع ثابتة، ولكن لا يتجاوز أحدها الآخر.

إنّ إضافة الحرارة تسبّب في زيادة الاهتزازات حتى تصل عند درجة حرارة معينة، وإلى تكوين ذبذبات سريعة تكفي لتمزيق الترتيب الثابت، ينصهر الصّخر ويتحوّل إلى صهارة (يناقش هذا العنوان في الجزء الثالث من هذا الكتاب). وبالمثل، فإنّ الجليد ينصهر إلى ماء. تنزلق الجسيمات بعضها على بعض، وتقفز بعضها حول بعض مثل مجموعة من الكرات في سلة. وهذا هو الطّور السّائل للمادة، إنّ حركية الجسيمات دون الجهرّيّة تؤدي إلى ظهور خاصية المائع للسائل – من حيث قدرتها على الانسياب، وأخذها شكل الوعاء الذي يحتويها.



الشكل 5.14

الخصائص الحجمية المألوفة لمادة صلبة، أو سائلة، أو غازية. (أ) تهتزّ الجسيمات دون المجهرّيّة في طور الصلابة حول مواقع ثابتة، (ب) تنساب الجسيمات دون المجهرّيّة في طور السائل متجاوزة بعضها بعضًا. (ج) تكون الجسيمات دون المجهرّيّة السريعة الحركة في الطّور الغازي متباعدة بمسافات كبيرة عن بعضها.

## لمعلوماتك

■ يزال الكافيين من الشاي والقهوة باستخدام ثاني أكسيد الكربون في الحالة الرابعة للمادة والمعروفة بالـ *مائع فوق الحرج*. يسلك الغاز في هذا الطور مثل السائل الغازي، والذي يتم تحت تأثير ضغط كبير وحرارة على المادة. وبعد إنتاج ثاني أكسيد الكربون فوق حرج من الأمور السهلة نسبيًا. وللحصول على ماء على شكل سائل فوق الحرج؛ فإنك تحتاج إلى ضغط يتجاوز 217 ضغطًا جويًا ودرجة حرارة 374°س تقريبًا. وبعد الماء فوق الحرج مادة أكالة (Corrosive). كما أن كميات كبيرة من الأكسجين يمكن أن تكون مذابة فيه. لدرجة أن اللهب يمكن أن يحرق الوسط. وهو مثالي للتخلص من المخلفات السامة.



الذهب  
اللانفادية: غير شفاف  
اللون: مائل إلى الأصفر  
الطور عند 25°س: صلب  
الكثافة: 19.3 جم/مللتر

الماس  
اللانفادية: شفاف  
اللون: بلا لون  
الطور عند 25°س: صلب  
الكثافة: 3.5 جم/مللتر



الماء  
اللانفادية: شفاف  
اللون: بلا لون  
الطور عند 25°س: سائل  
الكثافة: 1.0 جم/مللتر

## الشكل 6.14

الذهب والماس يمكن أن تشخص بخصائصها الفيزيائية. فمثلًا، إذا كان للمادة الخصائص الفيزيائية جميعها التي للذهب فهي حتمًا ذهب.

تؤدي زيادة الحرارة أكثر إلى حرك الجسيمات دون المجهريّة في السائل بسرعة كبيرة؛ بحيث لا تستطيع قوى التجاذب على إبقائها متماسكة. ثم تنفصل بعضها عن بعض مشكّلة الغاز. إن هذا الشيء لا يحدث بسهولة للصهارة؛ لأنّ قوى التجاذب كبيرة بين الجسيمات. تنفصل جزيئات الماء وتتحول إلى غاز عند درجة حرارة 100°س. ومادة مثل الهيليوم، فإنّ الجسيمات دون المجهريّة تتحول إلى طور الغاز عند درجة حرارة الغرفة.

إنّ جسيمات الغاز متباعدة بعضها عن بعض؛ لأنّها تتحرك بسرعة 500 م/ث (1100 ميل/ساعة)؛ وهكذا، فإنّ المادة في الطور الغازي تحتل حجمًا أكبر كثيرًا من حجمها في طور السائلة أو الصلبة. إنّ تطبيق ضغط على الغاز يجعل الجسيمات متقاربة. لذا، يقلّ حجمه. فمثلًا، يمكن ضغط كمية الهواء التي يحتاج إليها الغطاس تحت الماء للتنفس عدة دقائق في وعاء صغير. بحيث يستطيع حمله على ظهره.

## 3.14 الخصائص الفيزيائية والكيميائية

تسمى الخصائص التي تصف مظهرًا أو ملمسًا للمادة مثل اللون، أو الصلابة، أو الكثافة، أو التركيب، أو الطور، الخصائص الفيزيائية (Physical Properties). ويوجد لكلّ مادة مجموعة من الخصائص الفيزيائية التي يمكن استخدامها لتحديد هويتها (الشكل 6.14).

يمكن أن تتغير الخصائص الفيزيائية للمادة حين تتغير الظروف. ولكن لا يعني هذا أنّ مادة جديدة قد ظهرت. فتبريد الماء السائل إلى ما دون الصفر المئويّ يحوّل الماء إلى جليد صلب. ولكن المادة ظلّت ماءً. مهما كان الطور. إنّ الفرق الوحيد هو الاتجاهات النسبية لجزيئات المادة بعضها تجاه بعض. ففي طور السائل، تتقلّب جزيئات المادة بعضها حول بعض. ولكنها تهتز حول مواقع ثابتة في طور الجليد. يرى الكيميائيون جمّد الماء مثالًا على التغير الفيزيائي. وخلال هذا التغير الفيزيائي (Physical Change) تتغير المادة طورها أو بعض خصائصها الفيزيائية، ولكنها لا تتغير تركيبها الكيميائي. وهذا موضح في الشكل 7.14.

## نقطة فحص

لِمَ يعدّ انصهار الذهب عملية فيزيائية؟

هل كانت هذه إجابتك؟

خلال التغير الفيزيائي، تُغيّر المادة واحدة أو أكثر من خصائصها الفيزيائية. ولكنها لا تتغير هويتها الكيميائية. وحيث إنّ الذهب بقي ذهبًا، ولكن بشكل آخر. فالصهارة تمثل تغيرًا فيزيائيًا فقط.

تصف الخصائص الكيميائية (Chemical Properties) مقدرة المادة على التفاعل مع مواد أخرى. أو التحوّل من مادة إلى أخرى. يوضح الشكل 8.14 ثلاثة أمثلة هي: 1. للميثان، الغاز الطبيعي الخصائص الكيميائية للتفاعل مع الأكسجين لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون والماء، بالإضافة إلى كمية لا بأس بها من الطاقة. 2. وبالمثل، لصودا الخبز الخاصية الكيميائية للتفاعل مع الخل لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون والماء، وامتصاص كمية صغيرة من الطاقة الحرارية. 3. للنحاس الخاصية الكيميائية للتفاعل مع ثاني أكسيد الكربون والماء لتشكيل مادة صلبة لونها أخضر غامق -مائلة للزرقة تعرف بغشاء العتق. وعند تعرّض التماثيل النحاسية لثاني أكسيد الكربون والماء في الهواء تصبح مغطاة بغشاء العتق هذا. إنّ غشاء العتق ليس نحاسًا ولا ماء ولا ثاني أكسيد الكربون، بل هو مادة جديدة نتجت عن تفاعل هذه المواد الثلاث معًا.



الشكل 7.14

تغيران فيزيائيان. (أ) يمكن أن يظهر الماء السائل والجليد كمواضع مختلفة، ولكن نظرة دون المجهرية تبين أن كليهما يتكوّن من جزيئات ماء. (ب) تكون ذرات الزئبق عند درجة 25°س متباعدة بعضها عن بعض، وتكون كثافته 13.53 جم/ملتر، وعند درجة 100°س، تصبح الذرات متباعدة أكثر، بمعنى أن كل ملتر يحتوي على عدد أقل من الذرات مما كان عليه عند درجة 25°س، وتصبح الكثافة 13.35 جم/ملتر، أي أن الخاصية الفيزيائية المسماة كثافة تغيرت مع درجة الحرارة، ولكن هوية المادة لم تتغير؛ فالزئبق ما يزال زئبقاً.

تتضمن هذه التحوّلات الثلاثة جميعها تغييراً في الطريقة التي ترتبط بها الذرات في الجزيئات بالربط الكيميائي معاً. الرابطة الكيميائية (**Chemical Bond**) هي قوة جاذب بين ذرتين تمسكهما معاً. على سبيل المثال، يتكون جزيء الميثان من ذرة كربون واحدة مرتبطة مع أربع ذرات هيدروجين. كما أن جزيء الأكسجين يتكون من ذرتين من الأكسجين مرتبطتين معاً. ويبين الشكل 9.14 تغييراً كيميائياً يتم فيه سحب ذرات الميثان، من جزيء الميثان كما يتم فيه سحب ذرات الأكسجين من جزيء الأكسجين لتشكيل رابطة جديدة مع شركاء جدد، منتجةً جزيء ثاني أكسيد الكربون والماء.

يسمى أيّ تغير في المادة يتعلّق بإعادة ترتيب طرق ارتباط الذرات معاً تغييراً كيميائياً (**Chemical Change**). وعليه، فتحول الميثان إلى ثاني أكسيد الكربون وماء هو تغيير كيميائيّ. كما هو الحال في التحوّلين الموضّحين في الشكل 8.14.

تمتلك المادة الكيميائية صفة الميل إلى التغير إلى مادة أخرى، كتحوّل الحديد إلى صدأ.



الميثان

يتفاعل مع الأكسجين لتكوين ثاني أكسيد الكربون وماء منتجاً حرارة كبيرة في أثناء التفاعل.



صودا الخبز

تتفاعل مع الخل لتكوين ثاني أكسيد الكربون وماء تمتص حرارة في أثناء التفاعل.



النحاس

يتفاعل مع ثاني أكسيد الكربون لتكوين مادة مائلة إلى الخضرة - زرقاء تسمى غشاء العنق.

الشكل 8.14

تسمح الخصائص الكيميائية للمواد بالتحوّل إلى مواد أخرى. يتحوّل الغاز الطبيعيّ وصودا الخبز إلى ثاني أكسيد الكربون، وماء وحرارة. ويتحوّل النحاس إلى غشاء العنق.

## الشكل 9.14

التغيّر الكيميائي الذي يتحوّل فيه الميثان والأكسجين إلى جزيئات ثاني أكسيد الكربون وماء. تحطّم الذرات الروابط القديمة، وتشكّل روابط جديدة. ومع أنّ آليات التحوّل أكثر تعقيدًا مما هو موضح هنا، إلا أنّ فكرة تكوّن مواد جديدة من خلال إعادة ترتيب الذرات، هي فكرة صحيحة تمامًا.



يحدث التغيّر الكيميائي الموضح في الشكل 10.14 عند مرور تيار كهربائيّ خلال الماء. تتسبب طاقة التّيار في خطيم الروابط التي تمسك الذّرات معًا. وتشكّل الذرات المنفصلة روابط جديدة مع ذرات أخرى منتجة جزيئات جديدة. وهكذا، فإنّ جزيئات الماء تتحوّل إلى جزيئات أكسجين وهيدروجين. وهما مادتان تختلفان عن الماء تمامًا. يكون الهيدروجين والأكسجين غازات عند درجة حرارة الغرفة. ويمكن رؤيتهما كفقاعات ترتفع إلى السطح.

بلغة الكيمياء، تسمّى المواد التي تتعرّض لتغيّر كيميائيّ المواد *التفاعلة*. يتفاعل الميثان مع الأكسجين لتكوين ثاني أكسيد الكربون وماء. يتفاعل الماء عند مرور تيار كهربائيّ فيه لإنتاج غازي الهيدروجين والأكسجين. ولهذا، فإنّ مصطلح *التغيّر الكيميائيّ* يعني الشيء نفسه كالتفاعل الكيميائيّ. خلال التفاعل الكيميائي (*Chemical Reaction*) هذا، يتمّ إنتاج مواد جديدة من خلال تغيير الطريقة التي ترتبط بها الذّرات معًا. وسوف ندرس الروابط الكيميائيةّ والتفاعلات التي تتشكّل وتتحطّم في الفصول 15، و17، و18.

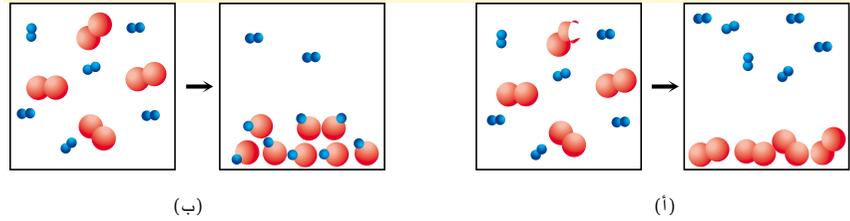


## الشكل 10.14

يمكن تحويل الماء إلى غازي الهيدروجين والأكسجين من خلال طاقة التّيار الكهربائيّ. ويعدّ مثل هذا التحوّل تحولًا كيميائيًا بسبب تكوّن مواد جديدة (الغازات) عند إعادة ترتيب الذرات الأصلية الموجودة في جزيئات الماء.

## نقطة فحص

تمثّل كلّ كرة في الأشكال التالية ذرة. الكرات المتصلة تمثّل جزيئات. أحد الشّكلين بيّن تغيّرًا فيزيائيًا، والآخر يظهر تغيّرًا كيميائيًا. أيّ التغيّرين فيزيائيّ، وأيّهما كيميائيّ؟



هل كانت هذه إجابتك؟

تذكّر أنّ التغيّر الكيميائيّ (والمعروف أيضا بالتفاعل الكيميائيّ) يتضمن فصل الجزيئات بعضها عن بعض بحيث تكون الذرات حرّة لتشكل روابط جديدة مع شركاء جدد. انتبه وميّز بين التّحطيم والابتعاد، وبين تغيير مواقع مجموعة من الجزيئات. في المجموعة A، بقيت الجزيئات قبل التغيّر وبعده كما هي. وكان الاختلاف في المواقع النسبيّة بعضها بالنسبة إلى بعض فقط. ولهذا، فإنّ المجموعة A تمثّل تغيّرًا فيزيائيًا فقط. أمّا في المجموعة B، فقد ظهرت جزيئات جديدة بعد التفاعل متشكّلة من روابط حمراء وكرات زرقاء. وهذه الجزيئات تمثّل موادّ جديدة. لذا، فإنّ المجموعة B تمثّل تغيّرًا كيميائيًا.

## 4.14 تحديد التغيرات الفيزيائية والكيميائية

كيف نحدّد ما إذا كان التغيّر الحاصل تغيّرًا كيميائيًا أم فيزيائيًا؟ قد يكون هذا خادعًا؛ بسبب حدوث تغيّر في المظهر الفيزيائيّ في الحالتين. مثلًا، يبدو الماء مختلفًا تمامًا بعد التجمد. كما تبدو السّيّارة مختلفة بعد أن تصدأ (الشكل 11.14). إنّ جَمَد الماء عملية فيزيائية لأنّ الماء المتجمد والماء السائل هما شكلان من الماء؛ إنّ التغيّر الذي حدث هو اتجاهات جزيئات الماء بعضها بالنسبة إلى بعض فقط.

## الشكل 11.14

يتضمّن تحوّل الماء إلى جليد، وتحوّل الحديد إلى صدأ تغيرًا فيزيائيًا في المظهر. ويعدّ تحوّل الجليد تغيرًا فيزيائيًا، في حين يعدّ تكون الصدأ تغيرًا كيميائيًا.



وفي المقابل. فإنّ صدأ السّيّارة هو نتيجة تحوّل الحديد إلى صدأ. ويعدّ هذا تغيرًا كيميائيًا؛ لأنّ الحديد والصدأ مادتان مختلفتان. فكلّ واحدة تتألف من ترتيب مختلف من الذرات. وكما سنرى في الجزأين التاليين. فإنّ الحديد عنصر. أمّا الصدأ فمركّب يتكوّن من ذرات الحديد والأكسجين.

هناك دليلان قويّان يمكن الاستعانة بهما لتقييم كلّ من التّغيرين الفيزيائيّ والكيميائي. هما: 1. التّغير الفيزيائيّ هو تغيّر في المظهر ينتج عن تعرض المادة لمجموعة من الشّروط الجديدة التي تتعرض لها المادة نفسها. وباستعادة الشّروط

الأصلية يُستعاد المظهر الأصليّ. كانصهار الماء المتجمد عند تدفّئه. 2. في التّغير الكيميائي. ينتج التّغير في المظهر نتيجة تكون مواد جديدة لها مجموعة فريدة من الخصائص الفيزيائيّة. كلّما زادت الدلائل على تكوّن مواد جديدة. زاد احتمال أن يكون التّغير كيميائيًا. الحديد مادة تستخدم في صنع السّيّارات. أمّا الصدأ فلا يستخدم لذلك. وهذا يشير إلى أنّ عملية الصدأ عملية كيميائيّة.

## نقطة فحص

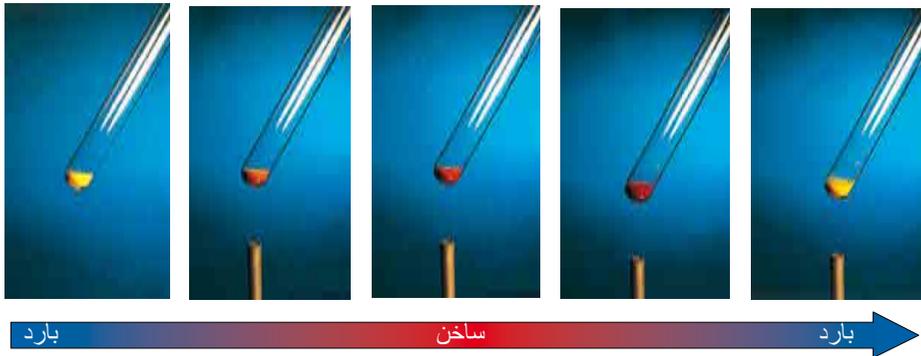
ازداد طول الشّخص الظاهر عن اليسار. بمقدار بوصة خلال السّنة الماضية. هل يمكن وصف التّغير على نحو أفضل بتغير فيزيائيّ أم كيميائيّ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

هل تكونت مواد جديدة في أثناء نموّه؟ بالتأكيد: ظهرت مواد جديدة نتيجة الطعام الذي تناوله. لقد اختلف جسمه. ولنقل من شطائر زبدة الفستق التي أكلها البارحة. ومع ذلك. من خلال كيمياء متقدمة جدًّا. تمكن جسمه من امتصاص ذرات شطيرة زبدة الفستق وإعادة ترتيبها في مواد جديدة. لذا. يمكن وصف النمو البيولوجي أفضل بوصفه تغيرًا كيميائيًا.



يبين الشّكل 12.14 كرومات البوتاسيوم. وهي مادة يعتمد لونها على درجة حرارتها. عند درجة حرارة الغرفة. تبدو كرومات البوتاسيوم بلون أصفر فاحّ لامع. وعند درجات حرارة أعلى. يصبح لونها أحمر غامقًا برتقاليًا.



## الشكل 12.14

يتحول لون كرومات البوتاسيوم عند تغيير درجة حرارته. إنّ تغيّر اللون هو تغيّر فيزيائيّ. يستعيد كرومات البوتاسيوم لونه الأصليّ الأصفر الفاتح اللامع عند الرّجوع إلى درجة الحرارة الأصليّة.

الشكل 13.14

يتعرض ثاني كروم الأمونيوم لتغير كيميائي عند تسخينه، ويتحول إلى أمونيا؛ بخار الماء وأكسيد الكروم (III). إن التبريد إلى درجة الحرارة الابتدائية لا يعيده إلى اللون البرتقالي؛ لأن ثاني كروم الأمونيوم لم يعد موجودًا.



ليس من السهل دائمًا التمييز بين التغيرات الفيزيائية والكيميائية بسبب الغموض. وأحيانًا يميز بينهما بعد سنوات من الدراسة والتجارب المختبرية. سوف تمتلك أدوات مناسبة تمكنك من تصنيف العديد من التغيرات. ومن الجائز أن تتعلم القليل منها الآن، وأن توجل الكثير منها إلى المستقبل، وخاصة إذا رغبت في التخصص في هذا المجال.

وعند تبريدها يعود اللون الأصفر الفاح اللامع. مؤكداً أنّ التغير فيزيائي. أمّا في التغيرات الكيميائية، فإنّ إعادة الشروط الأصلية لا يعيد المظهر الأصلي؛ فثاني كرومات الأمونيوم الذي يظهر في الشكل 13.14 هو مادة برتقالية، وعندما تسخن تنفجر مكونةً الأمونيا وبخار الماء وأكسيد الكروم (III) الأخضر. وعند تبريد أنبوب المختبر إلى درجة الحرارة الأصلية لا يظهر أي أثر لثاني كرومات الأمونيوم. وتظهر مكانه مادة جديدة لها صفات فيزيائية مختلفة تمامًا.

### 5.14 من العناصر إلى المركبات

كما تم وصفه باختصار في الفصل 12، يستخدم مصطلحا *العنصر* و*الذرة* بالمعنى نفسه. مثلا، يمكنك أن تسمع أنّ الذهب عنصر يتكون من ذرات الذهب. على العموم، يستخدم *العنصر* للإشارة إلى عينة المادة المجهرية أو الجاهرية. في حين تستخدم الذرة عندما نتكلم عن الجسيمات دون المجهرية في العينة. الفرق المهم بينهما هو أنّ العنصر مكوّن من ذرات، وليس العكس. يشار إلى الوحدة الأساسية لعنصر بالصيغة العنصرية (*Elements Formula*). تكون الصيغة للعناصر التي وحدتها الأساسية ذرات مفردة هي، ببساطة، الرمز الكيميائي؛ فالرمز Au هو الصيغة العنصرية للذهب، وAl الصيغة العنصرية للنيوم. إنّ الصيغة العنصرية للعناصر التي تكون الوحدة الأساسية لها ذرتين أو أكثر مرتبطين كجزيئات هو رمز كيميائي متبوع برقم سفلي يشير إلى عدد الذرات لكل جزيء. مثلاً، يتكوّن عنصر النيتروجين الذي يظهر في الشكل 1.14، عادة من جزيئات تحتوي على ذرتين من نيتروجين لكل جزيء. وعليه، فإنّ N<sub>2</sub> هو الصيغة العنصرية المخصصة عادة للنيتروجين. وبالمثل، فإنّ O<sub>2</sub> هو الصيغة العنصرية للأكسجين الذي تنفسه، وS<sub>8</sub> هو الصيغة العنصرية للكبريت.

#### لمعلوماتك

■ الكربون هو العنصر الوحيد الذي يشكّل رابطة مع نفسه إلى ما لانهاية. يمارس الكبريت ذلك إلى حدّ ما S<sub>8</sub>، والنيتروجين N إلى حدود N<sub>12</sub>. والصيغة العنصرية لقيراط واحد من الماس هو C<sub>10,000,000,000,000,000,000,000</sub> تقريبًا.

#### نقطة فحص

يتحول الأكسجين، O<sub>2</sub>، الذي نتنفسه إلى أوزون، O<sub>3</sub>، بوجود شرارة كهربائية. هل هذا تغير فيزيائي أم كيميائي؟

هل كانت هذه إجابتك؟

ينتج عن إعادة جميع الذرات مواد جديدة بالكامل. وهذا ما حدث هنا؛ فالأكسجين، O<sub>2</sub> الذي نتنفسه لا راحة له ويمنح الحياة، أمّا الأوزون، O<sub>3</sub>، فيمكن أن يكون سامًا. وذا راحة كرهية، ترتبط بالحركات الكهربائية عادة. ولهذا، فإنّ تحويل O<sub>2</sub> إلى O<sub>3</sub> عملية كيميائية. مع أن O<sub>2</sub> وO<sub>3</sub> شكلان لعنصر الأكسجين.

عند ربط ذرات عناصر مختلفة معًا، فإنها تشكل مركبًا (Compound). مثلًا، ترتبط ذرات الصوديوم بذرات الكلور لتكوين مركب كلوريد الصوديوم المعروف بملح المائدة. كما أنّ ذرات النيتروجين تتصل مع ذرات الهيدروجين لتكوين مركب الأمونيا الذي يستخدم في تنظيف المنازل. يُمثّل المركب بصيغته الكيميائية، حيث تكتب رموز عناصره معًا. فالصيغة الكيميائية لكلوريد الصوديوم هي NaCl، وصيغة الأمونيا  $NH_3$ . تشير الأرقام السفلى إلى النسبة التي تتحد بها العناصر. ومن المتعارف عليه أنّ الرقم 1 لا يذكر. على اعتبار أنه مفهوم ضمناً. تشير الصيغة الكيميائية NaCl إلى أنّ مركب كلوريد الصوديوم فيه ذرة واحدة من الصوديوم لكل ذرة من الكلور. والصيغة الكيميائية  $NH_3$  تدلنا على وجود 3 ذرات هيدروجين لكل ذرة نيتروجين في مركب الأمونيا. كما يوضح الشكل 14.14.

إنّ المركبات لها خصائص فيزيائية وكيميائية مختلفة تمامًا عن خصائص مكوناتها العنصرية. يوضح الشكل 15.14، أنّ كلوريد الصوديوم، NaCl، يختلف تمامًا عن عنصري الصوديوم والكلور الذي تشكل منهما. يتكوّن عنصر الصوديوم، Na، من ذرات الصوديوم، والذي يشكل فلزًا ناعمًا فضي اللون يمكن قطعه بالسكين بسهولة. ودرجة انصهاره  $97.5^\circ\text{C}$ . ويتفاعل بقوة مع الماء. أما عنصر الكلور Cl فيتكوّن من جزيئات كلور. تكون هذه المادة غازًا لونه أصفر مخضر عند درجة حرارة الغرفة، وهو سام جدًا. وقد استخدم في الحرب الكيميائية في الحرب العالمية الأولى. وهو يغلي عند درجة حرارة  $-34^\circ\text{C}$ . إنّ مركب كلوريد الصوديوم، NaCl، شبه شفاف، وقاس، وهو بلورة عديمة اللون. ودرجة انصهاره  $800^\circ\text{C}$ . لا يتفاعل كلوريد الصوديوم مع الماء بالطريقة نفسها التي يتفاعل بها الصوديوم مع الماء، وليس فقط أنه غير سام للإنسان. بل هو مكوّن رئيس للكائنات الحية جميعها. إنّ مركب كلوريد الصوديوم ليس صوديوم ولا كلور. إنه شيء مختلف تمامًا، وهو مادة كيميائية لها طعم طيب عند نثر القليل منه على (الذرة المحمصّة) الفشار.

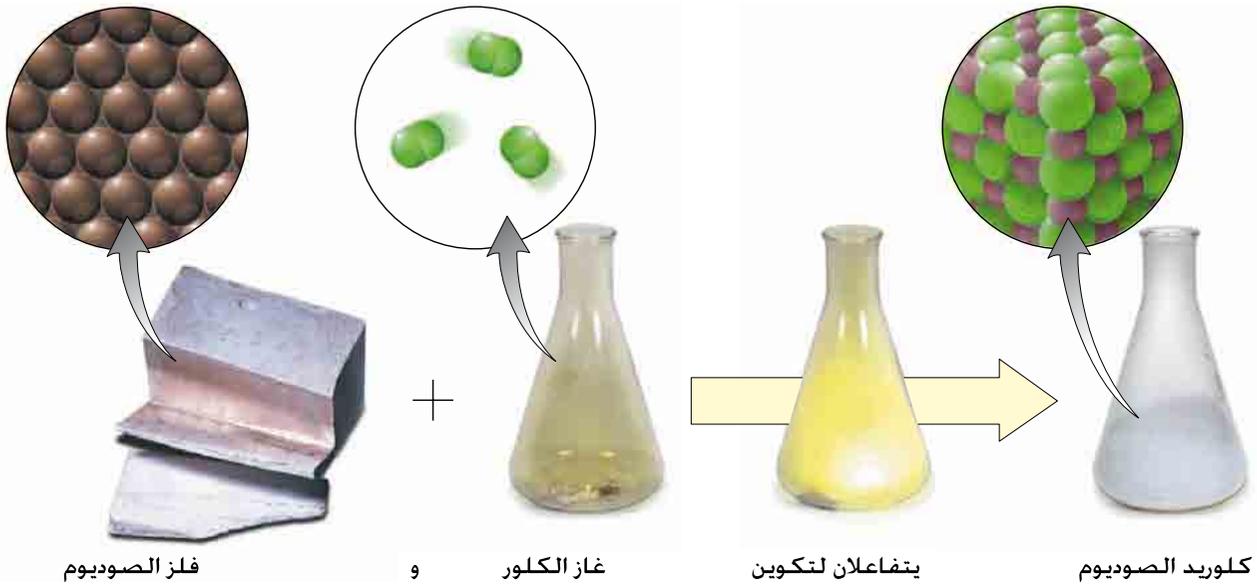
## الشكل 14.14



يتمثّل المركبان كلوريد الصوديوم والأمونيا بصيغتهما الكيميائية، NaCl و  $NH_3$  على الترتيب. تبين الصيغة الكيميائية نسب الذرات المكوّنة للمركب.

## الشكل 15.14

يتفاعل غاز الكلور مع فلز الصوديوم لتكوين كلوريد الصوديوم. وعلى الرغم من أنّ مركب كلوريد الصوديوم يتكون من الصوديوم والكلور، فإنّ الخصائص الفيزيائية والكيميائية لكلوريد الصوديوم مختلفة تمامًا عن الخصائص الكيميائية والفيزيائية لكلّ من غاز الكلور وفلز الصوديوم.





يختلف المركب بشكل فريد عن العناصر المكونة له، مثلًا، الماء سائل، مكون من عنصري الهيدروجين والأكسجين، وكلاهما غاز. ملح المائدة غير الضار يتكون من مادتين كيميائيتين خطرتين، هما الصوديوم الفلزي وغاز الكلور.

### ■ نقطة فحص

كبريتيد الهيدروجين.  $H_2S$ . مركب رائحته نفاذة. يستمد البيض الفاسد رائحته النتنة من تحرير كبريتيد الهيدروجين الذي يطلقه. هل تستنتج من هذا أنّ عنصر الكبريت  $S_8$  له الرائحة نفسها؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا. في الحقيقة، تكاد تكون رائحة عنصر الكبريت مهملة بالمقارنة مع رائحة كبريتيد الهيدروجين. إنّ المركبات تختلف تمامًا عن العناصر التي تكوّنها؛ فكبريتيد الهيدروجين يختلف عن الكبريت  $S_8$  اختلاف الماء عن عنصر الأكسجين  $O_2$ .

## ■ 6.14 تسمية المركبات

لقد تمّ تطوير نظام لتسمية المركبات المحتملة لعدد لا حصر له من قبل الآحاد الدوليّ للكيمياء الأساسية والتطبيقية (IUPAC). وقد صمّم هذا النظام ليشير إلى اسم المركب. والعناصر المكونة له، وكيفية اتحاد هذه العناصر معًا. إنّ الشّخص الذي يعرف هذا النظام يمكنه تمييز العناصر الكيميائية للمركب من اسمه المنهجيّ.

كما يمكنك تخيّل أنّ هذا النظام معقد جدًّا. ولا داعي لتعلّم قواعده جميعها. وبدلًا من ذلك، تعلّم بعض الإرشادات فهذا يساعد كثيرًا. إنّ هذه الإرشادات وحدها لا تكفي لتسمية أيّ مركب. ولكنّها سترشّدك إلى كيفية عمل هذا النظام للعديد من المركبات البسيطة التي تتكوّن من عنصرين فقط.

**دليل 1:** يكتب اسم العنصر الأبعد عن اليمين في الجدول الدّوريّ. ويضاف إليه مقطع "يد" ثم يتبع باسم العنصر الواقع عن اليسار:

مثلا

كلوريد الصّوديوم	NaCl
أكسيد الليثيوم	Li <sub>2</sub> O
فلوريد الكالسيوم	CaF <sub>2</sub>
كلوريد الهيدروجين	HCl
أكسيد الماغنسيوم	MgO
فوسفيد الاسترانشيوم	Sr <sub>3</sub> P <sub>2</sub>

**دليل 2:** عندما يحتوي مركبان أو أكثر على أعداد مختلفة من العناصر نفسها. عندئذٍ يضاف مقاطع قبل الاسم لإزالة الغموض. أول أربعة مقاطع هي أول (واحد)، ثاني (ثنائي)، وثالث (ثلاثي)، ورابع (رباعي). ويتم حذف المقطع الأحاديّ من بداية الاسم.

كربون وأكسجين

أول أكسيد الكربون CO

ثاني أكسيد الكربون CO<sub>2</sub>

نيتروجين وأكسجين

ثاني أكسيد النيتروجين NO<sub>2</sub>

رباعي أكسيد ثنائي النيتروجين N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (رابع أكسيد ثاني النيتروجين)

الكبريت والأكسجين

ثاني أكسيد الكبريت SO<sub>2</sub>

ثالث أكسيد الكبريت SO<sub>3</sub>

### ■ لمعلوماتك

يمكن أن يكون الهيدروجين الوقود المستقبلية. إنّّه يحترق بنظافة منتجًا طاقة وبخار ماء فقط. ولكن هناك شيء كثير مطلوب عمله قبل التحوّل من الوقود الأحفوري إلى الهيدروجين. مثلًا، يجب أن يُطوّر نظام لإنتاج الهيدروجين مباشرة من ضوء السّمس. كما يجب بناء البنية التحتية لتوزيع الهيدروجين. وهذه مهمات ليست سهلة، ولكن الظروف الاقتصادية والبيئية الحالية تضغط علينا للسير في هذا الاتجاه.

**دليل 3:** العديد من المركبات لا يشار إليها بالاسم المنهجي. وبدلاً من ذلك، اصطلح لها أسماء مألوفة. أو متعارف عليها تقليدياً منذ فترة طويلة. ومن هذه الأسماء المألوفة: الماء لـ  $H_2O$ ، والأمونيا لـ  $NH_3$ ، والميثان لـ  $CH_4$ .

### ■ نقطة فحص

ما الاسم المنهجي لـ  $NaF$ ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

هذا المركب هو مادة مقاومة لتجوّف الأسنان. وتضاف إلى بعض معاجين الأسنان؛ فلوريد الصوديوم.

## ملخص المصطلحات

جعلهما متماسكتين معاً، وكما نوقش في الفصل 19، فإن أصلها كهربائي.  
التغير الكيميائي **Chemical change**: تغيّر يتم فيه إعادة ترتيب ذرات مادة أو أكثر لإنتاج مواد جديدة.  
التفاعل الكيميائي **Chemical reaction**: مرادف للتغير الكيميائي.  
الصيغة العنصرية **Elemental formula**: ترميز يستخدم الرمز الذري (أحياناً). يشير الرقم السفلي (الدليلي) إلى كيفية ارتباط ذرات العناصر معاً.  
المركب **Compound**: مادة تنتج عن ارتباط ذرات عناصر مختلفة معاً.  
الصيغة الكيميائية **Chemical formula**: ترميز يستخدم للإشارة إلى مكونات المركب. يتكوّن من الرمز الذري للعناصر المكوّنة له كأرقام سفلية (دليلية) تشير إلى النسبة التي تتحد بها الذرات.

البحث الأساسي **Basic research**: فرع من فروع البحث العلمي. يركّز على الفهم العميق لكيفية عمل العالم الطبيعي.  
البحث التطبيقي **Applied research**: فرع من فروع البحث العلمي. يركّز على تطوير التطبيقات المستندة إلى الاكتشافات الرئيسية من خلال البحث الأساسي.  
الجزء **Molecule**: جسيم دون مجهري يتكوّن من مجموعة ذرات.  
دون المجهري **Submicroscopic**: في حجم الذرات والجزيئات، صغيرة جداً بحيث لا يمكن رؤيتها مباشرة بالمجاهر الضوئية.  
الخاصية الفيزيائية **Physical property**: أي صفة فيزيائية للمادة، مثل اللون، أو الكثافة، أو القساوة.  
التغير الفيزيائي **Physical change**: حالة تغيّر فيها المادة واحدة أو أكثر من خصائصها الفيزيائية دون التحوّل إلى مادة أخرى.  
الخاصية الكيميائية **Chemical property**: خاصية تصف قدرة المادة على التعرّض للتغير والتحوّل إلى مادة أخرى  
الرابطة الكيميائية **Chemical bond**: قوة التجاذب بين ذرتين

## أسئلة مراجعة

### 1.14 الكيمياء: العلم المركزي

1. ما الفرق بين البحثين: الأساسي والتطبيقي؟
2. لماذا تسمّى الكيمياء عادة العلم المركزي؟
3. يمثّل تعهد أعضاء مجلس الكيمياء الأمريكي في برنامج الاهتمام الإيجابي؟

### 2.14 العالم دون المجهري

4. هل تتكون الذرات من جزيئات، أم أنّ الجزيئات تتكوّن من ذرات؟
5. كيف يختلف ترتيب الذرات في الصلابة عنها في السيولة؟
6. كيف يختلف ترتيب الذرات في الغاز عن ترتيبها في السيولة والصلابة؟
7. أيّ ما يلي يحتلّ حجماً أكبر: 1 جم من الجليد، أم 1 جم من الماء السائل، أم 1 جم من بخار الماء؟

### 3.14 الخصائص الفيزيائية والكيميائية

8. ما الخاصية الفيزيائية؟
  9. ما الذي لا يتغيّر خلال التغير الفيزيائي؟
  10. ما التغير الفيزيائي؟
  11. ما الرابطة الكيميائية؟
  12. ما الذي يتغيّر خلال التفاعل الكيميائي؟
- ### 4.14 تحديد التغيرات الفيزيائية والكيميائية
13. لماذا يعدّ جمد الماء تغيّراً فيزيائياً؟
  14. لماذا يكون من الصعب أحياناً أن تقرر ما إذا كان التغير فيزيائياً أم كيميائياً؟
  15. لماذا يعدّ الصدأ تغيّراً كيميائياً؟
  16. ما بعض الإرشادات التي تُساعد على تحديد ما إذا كان التغير الملاحظ فيزيائياً أم كيميائياً؟

## 6.14 تسمية المركبات

22. أي العناصر المكونة للمركب يظهر اسمه أولاً؟  
 23. ما الاسم المنهجي للمركب KF وفق IUPAC؟  
 24. ما الصيغة الكيميائية لمركب ثاني أكسيد التيتانيوم؟  
 على الأغلب. لِمَ تستخدم الأسماء المعروفة للمركب الكيميائي بدلاً من الاسم المنهجي لها؟

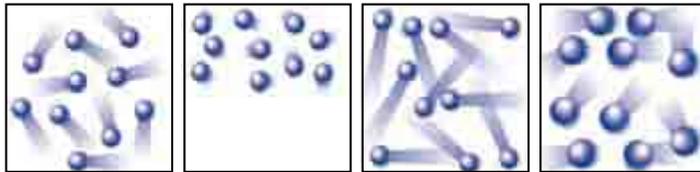
## 5.14 من العناصر إلى المركبات

17. ما الفرق بين الذرة والعنصر؟  
 18. ما عدد الذرات في جزيء الكبريت الذي له الصيغة العنصرية  $S_8$ ؟  
 19. ما الفرق بين العنصر والمركب؟  
 20. ما عدد الذرات في جزيء واحد من  $H_3PO_4$ ؟  
 وما عدد ذرات كل عنصر في هذا المركب؟  
 21. هل من الضروري أن تكون الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمركب تشبه العناصر التي تكوّن منها؟

## تمارين

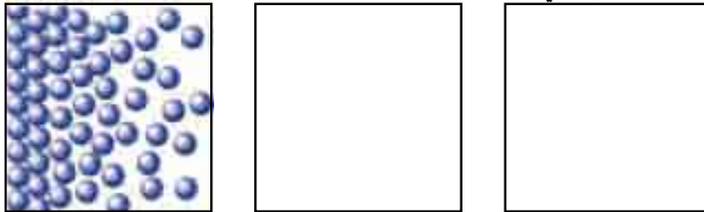
● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ◆ خبير

13. ● تضاف بلورات Red Kool - Aid (أحد المشروبات) إلى كأس ماء نقيّ ساخن. تغرق البلورات إلى القاع. وبعد 24 ساعة يصبح المحلول كله أحمر اللون. حتى لو لم يحرك أحد الماء. فسّر.  
 14. ● أضيفت بلورات Red Kool - Aid إلى كأس ماء نقيّ ساخن. وعند إضافة كمية البلورات نفسها إلى الكمية نفسها من ماء بارد. ودون أيّ تحريك. وبتوقعك. أيهما يصبح متجانس اللون أولاً. الماء الساخن أم البارد؟ ولماذا؟  
 15. ● دون أن يرى أحد. أضف 5 مللترات من محلول القرفة إلى بالون أزرق. حيث ربطته وتركته مغلقاً. أضف أيضاً 5 جم من الماء العذب إلى بالون أحمر. حيث ربطته وأغلقته أيضاً. سخّن البالونين في الميكروويف حتى ينتفخا إلى حجم حبة كرفوت. جاء أخوك ليتفحص البالونين فقال: إنّ البالون الأزرق يحتوي على القرفة. كيف عرف ذلك؟  
 16. ■ أيهما لها جاذبات أقوى بين جسيماتها دون الجهريّة. مادة صلبة عند درجة 25°س أم غازية عند درجة 25°س؟ فسّر.  
 17. ◆ بيّن الشكل الأبعد ليسار الجسيمات المتحركة للغاز ضمن وعاء صلب. أيّ الصناديق الثلاثة التي عند اليمين - أ، ب، ج - تمثل هذه المادة على نحو أفضل بعد تسخينها؟

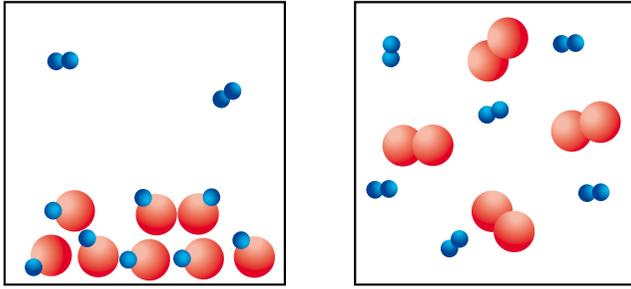


(أ) (ب) (ج)

18. ◆ بيّن الشكل عن اليسار (الأول) طورين لمادة واحدة. ارسم في الصندوق الأوسط كيف تبدو الجسيمات إذا برّدت المادة. أمّا في الصندوق الذي عن اليمين. فبيّن كيف تبدو الجسيمات إذا سخّنت المادة. إذا ممثّل كل جسيم جزيء ماء. فما درجة حرارة الصندوق الذي عن اليسار؟



1. ● في أثناء زيارتك بلدًا أجنبيًا. حاول مواطن ناطق بغير الإنجليزية إعطائك إرشادات شفوية إلى متحف محليّ بلغة البلد. إلا أنّه فشل بعد عدة محاولات. وقد لاحظ أحد الأشخاص المشاهدين إحباطك. واستنتج أنّك لست ذكيًا بما فيه الكفاية لتفهم الإرشادات البسيطة. في حين تعاطف معك مشاهد آخر بسبب تقديره صعوبة التنقل في مدينة غير مألوّفة. أيّ المشاهدين على حق؟  
 2. ● إذا استطاع أحد أن يفسّر لك فكرة باستخدام كلمات مألوّفة. فما الذي يمكن قوله حول فهم ذلك الشخص للفكرة؟  
 3. ● يستطيع الشخص A تفسير فكرة لمجموعة من طلبة الجامعة. في حين يستطيع الشخص B تفسير الفكرة نفسها بالعمق نفسه لطلبة مدارس المرحلة الإعدادية. أيّهما لديه فهم أعمق للفكرة؟  
 4. ● ما أفضل طريقة عملية تثبت فيها لنفسك أنك استوعبت فكرة ما؟  
 5. ● بأيّ منطق تشبّه شاشة الحاسوب الملوّن أو التلفاز مع نظرنا للمادة؟ ضع قطرة فقط من الماء على شاشة الحاسوب أو التلفاز للنظر عن قرب.  
 6. ■ أيّ العلوم التالية أكثر تعقيدًا. الفيزياء. أم الكيمياء. أم علوم الحياة؟  
 7. ■ هل الكيمياء هي دراسة دون الجهريّ. أم الجهريّ. أم الجاهري. أم جميع ما ذكر؟ دافع عن إجابتك.  
 8. ● غمست كرة من القطن في الكحول ثم مسح بها سطح الطاولة. فسّر ماذا يحدث لجزيئات الكحول المترسبة على سطح الطاولة. هل هذا تغيّر فيزيائيّ أم كيميائيّ؟  
 9. ■ توضع طبقة رقيقة من الزيت في المقلاة. وفوقها طبقة من حبات الذرة غير المفتقة. عند التسخين. تفتت حبات الذرة جميعها. ومن ثمّ تغادر المقلاة. اذكر التغيرات الفيزيائية والكيميائية في هذه الحالة.  
 10. ● عند مسح سطح طاولة بكرة من القطن مغموسة في الكحول. هل تكون ملاحظة رائحة الكحول الناجمة أقلّ أم أكثر بما إذا كان سطح الطاولة أكثر سخونة؟ فسّر.  
 11. ■ استخدم التمرين 9 لمقارنة ما يحدث في التمرين 10. هل من المنطقيّ التفكير في أنّ الكحول مكوّن من جسيمات صغيرة (جزيئات) بدلاً من مادة متصلة لانهائية؟  
 12. ● يختفي الكحول الممسوح على سطح الطاولة بسرعة. ماذا يحدث لدرجة حرارة سطح الطاولة؟ ولماذا؟



ب

أ

30. ما التغييرات الفيزيائية والكيميائية التي تحدث عند احتراق شمعة؟
31. الأوكتان هو أحد مركبات الجازولين. يتفاعل مع الأكسجين.  $O_2$  لتكوين ثاني أكسيد الكربون والماء. هل الأوكتان عنصر أم مركب؟ كيف تتأكد من ذلك؟
32. أيّ العناصر هي المعروفة منذ القدم؟ ما أدلتك؟
33. بوصفك مستهلكاً على هذه الأرض. اذكر 10 عناصر تتعامل مع عينات جاهزة؟
34. تستعمل ذرات الأكسجين لصناعة جزيئات الماء. هل هذا يعني أنّ الأكسجين.  $O_2$  والماء  $H_2O$ ، لهما خصائص متشابهة؟ لماذا نفرق عندما نتنفس الماء. بغض النظر عن ذرات الأكسجين الموجودة فيه؟
35. إذا أكلت قطعة صوديوم فلزية أو استنشقت غاز الكلور. فعلى الأغلب ستلاقي حتفك. ولكن إذا تركت هذه العناصر تتفاعل معاً. فيمكنك نثرها على الفشار بأمان لتتمتع بمذاق جيّد. ما الذي حصل هنا؟
36. في الغالب. تكون أسماء المركبات الكيميائية المألوفة أقصر من الأسماء المنهجية المناظرة. فالأسماء المنهجية للماء. والأمونيا. والميثان. مثلاً. هي أول أكسيد ثاني الهيدروجين.  $H_2O$ . ونيتريد ثلاثي الهيدروجين.  $NH_3$ . وكربون رباعي الهيدروجين.  $CH_4$ . أيّ الأسماء تفضل لهذه المركبات. الأسماء المألوفة أم الأسماء المنهجية؟ أيهما تراه يقدم وصفاً أفضل؟
37. ما الصيغة الكيميائية لمركب كبريت ثاني الهيدروجين؟
38. ما الاسم الكيميائي للمركب الذي صيغته الكيميائية  $Ba_3N_2$ ؟
39. ما الاسم المألوف لأكسيد ثنائي الهيدروجين؟
40. ما الاسم المألوف لأكسيد الأكسجين؟

19. أيّ ما يلي يحتل حجماً أكبر؛ 1 جم من الجليد. أم 1 جم من الماء السائل. أم 1 جم من بخار الماء؟
20. تنتقل جسيمات الغاز بسرعات تصل إلى 500 م/ث. لماذا؟ هل تستغرق جزيئات الغاز وقتاً طويلاً جداً للانتقال عبر الغرفة؟
21. الرطوبة مقياس لكمية بخار الماء في الغلاف الجويّ. لماذا تكون الرطوبة دائماً منخفضة داخل المجمدة في المطبخ؟
22. إذا وضعت 50 مللترًا من الـ BBS (أحد المشروبات) الصغير مع 50 مللترًا من الـ BBS الكبير. فستحصل على مجموع 90 مللترًا من الـ BBS مخلوط الحجم. فسّر.
23. إذا وضعت 50 مللترًا من الماء مع 50 مللترًا من الكحول النقيّ. فستحصل على مزيج مجموعته 98 مللترًا. فسّر.
24. تصنع حلوى الفيرمونتيون "سكر على الثلج" في الشتاء. يصب شراب القيقب المغلي في مغرفة من الثلج التّظيف الطّازج. عندما يقع الشراب على الثلج تنتج حلوى لذيذة. ما التغييرات الفيزيائية المرتبطة بصنع السكر فوق الثلج. أين التغير الكيميائيّ هنا؟
25. درجة غليان الأكسجين.  $O_2$  هي 90 كلفن (-183°س). أمّا درجة غليان النيتروجين.  $N_2$  فهي 77 كلفن (-196°س). أيّهما سائل وأيّهما غاز عند درجة 80 كلفن (-193°س)؟
26. اذكر ما إذا كان كلّ ما يلي مثالاً على الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية للمادة:
- أ. يوصل الجرافيت الكهرباء.
- ب. يفقد البزموت. Bi سطوعه عند انصهاره.
- ت. يُكبس القرش النحاسي على شكل قطعة تذكارية.
27. اذكر ما إذا كان كلّ ما يلي مثالاً على الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية للمادة:
- أ. انبعاث ثاني أكسيد الكربون عند فتح علبة الصّودا.
- ب. تحوّل لون التمثال البرونزي إلى اللون الأخضر.
- ت. يخفّ بريق لون ملعقة الفضة.
28. صنّف التغيرات الآتية إلى فيزيائية وكيميائية. حتى لو كنت مخطئاً في تقديرك. فعليك أن تكون قادراً على الدفاع عن اختيارك.
- أ. يتحول عصير العنب إلى خمر.
- ب. يحترق الخشب ويتحول إلى رماد.
- ج. يبدأ الماء في الغليان.
- د. الرجل المكسورة تجبر نفسها.
- هـ. نموّ العشب.
- و. يكسب الطّفّل 10 أرطال.
- ز. حطّم صخرة وحوّلها إلى مسحوق.
29. تمثّل كلّ كرة في الأشكال ذرة. وتمثّل الكرات المتصلة جزيئات. أيّ الصندوقين يحتوي على طور سائل؟ لِمَ لا نستطيع افتراض أنّ الصندوق B يمثل درجة حرارة منخفضة؟

## أنشطة استكشافية

## ماء النار

ضع وعاءً كبيراً من الماء البارد على فرن غاز (لهب بنزن إذا أجريت النشاط داخل المختبر) وارفع الشعلة. ما الناج المتكثف الذي تراه من احتراق الغاز الطبيعيّ خارج الوعاء؟ ما أصله؟ هل يتكون المزيد أم القليل منه إذا احتوى الوعاء على ماء متجمد؟ أين يذهب هذا الناج عندما يسخن الوعاء؟ ما التغييرات الفيزيائية والكيميائية التي يمكن تمييزها؟

## اندفاع فقائيع الأكسجين

يمكن تخطيم المركبات إلى العناصر المكوّنة لها. مثلاً، عندما تصبّ محلول فوق أكسيد الهيدروجين،  $H_2O_2$ ، على الجرح، يتحلل دمك بإنزيم موجود فيه لإنتاج غاز الأكسجين،  $O_2$ . كما يُستدل عليه من الفقائيع الناجمة. يقتل هذا الأكسجين العالي التركيز الكائنات الدقيقة على الجرح، وهناك إنزيم مشابه في خميرة الخبز.

## الأدوات والمواد اللازمة

كمية صغيرة من خميرة الخبز، 3% من محلول فوق أكسيد الهيدروجين، زجاجة ماء شرب عريضة وقصيرة، ملاقط، عيدان ثقاب.

## شروط السلامة

استعمل نظارات واقية، وأبعد المواد القابلة للاشتعال جميعها، كأوراق التنشيف من المكان. أبعدها عن الشعلة، لأنها ستتهوج أكثر عند تعرضها للأكسجين.

## طريقة العمل

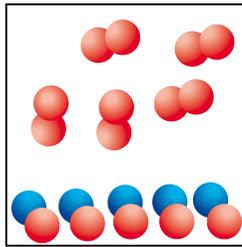
1. ضع الخميرة في الكأس، وأضف ما بملا عدة أغشية قتيّنة من فوق أكسيد الهيدروجين، وراقب تكوّن فقائيع الأكسجين.  
2. اختبر وجود الأكسجين من خلال الإمساك بنقاب مشتعل بملقط. وضع اللهب بالقرب من الفقائيع. انظر إلى سطوع اللهب أكثر عندما تتعرض للأكسجين المتصاعد. صف الخصائص الفيزيائية والكيميائية للأكسجين.

## اختبار الاستعداد للقراءة

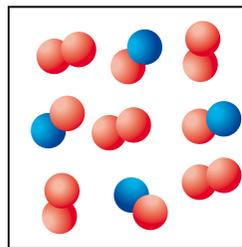
إذا استوعبت هذا الفصل جيداً، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر أفضل إجابة لكل ما يلي:

تبخّر النيتروجين،  $N_2$ ، هي 77 كلفن ( $-196^\circ\text{C}$ ). أيهما يكون سائلاً وأيها يكون غازاً عند درجة حرارة 50 كلفن ( $-223^\circ\text{C}$ )؟  
أ. الأكسجين سائل والنيتروجين غاز.  
ب. النيتروجين سائل والأكسجين غاز.  
ج. كلاهما سائل.  
د. كلاهما غاز.  
5. استناداً إلى المعلومات المعطاة في الشّكلين، أيهما له درجة غليان أقلّ: المادة المكوّنة من الجزيء A أم B؟

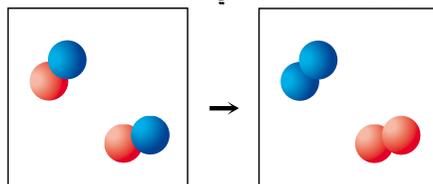


ب



أ

أ. الجزيء A، وهي أول من يتحول إلى سائل.  
ب. الجزيء B، وهي أول من يتحول إلى سائل.  
ج. الجزيء A، والتي تبقى في الطّور الغازي.  
د. الجزيء B، والتي تبقى في الطّور الغازي.  
6. يمثّل التحوّل التالي تغيّراً:



1. الكيمياء هي دراسة:  
أ. المادة.  
ب. تحولات المادة.  
ج. المظاهر الجهرية فقط.  
د. المادة وتحولاتها.  
2. تخيل أنك تستطيع رؤية الجزيئات المفردة، وتراقب مجموعة صغيرة من هذه الجزيئات وهي تتحرك ببطء وتهتز ويصدم بعضها بعضاً. تبدأ الجزيئات المتحركة في الاصطافاف ببطء، وبينما تقوم هي بذلك يزداد اهتزازها. وأخيراً تصطف الجزيئات جميعها، وتبدأ الاهتزاز حول مواقع ثابتة. إن ما يحدث هو:  
أ. تبرد العينة وتتجمد المادة.  
ب. تسخن العينة وتنصهر المادة.  
ج. تبرد العينة وتتكاثر المادة.  
د. تسخن العينة وتتبخّر المادة.  
هـ. لا تتغير العينة.  
3. إن الطّور الذي لا تتحرك فيه الذرات والجزيئات هو:  
أ. طور الصلابة.  
ب. طور السيولة.  
ج. الطّور الغازي.  
د. لا شيء مما ذكر.  
4. درجة تبخر الأكسجين،  $O_2$ ، هي 90 كلفن ( $-183^\circ\text{C}$ ). ودرجة

9. اذا كان لديك جزيء من  $TiO_2$  فكم جزيء أكسجين تحتوي؟  
 أ. 1،  $TiO_2$  هو خليط من Ti و  $O_2$ .  
 ب. لا شيء،  $O_2$  جزيء مختلف عن  $TiO_2$ .  
 ج. 2،  $TiO_2$  هو خليط من Ti و  $O_2$ .  
 د. 3، يحتوي  $TiO_2$  على 3 جزيئات.  
 هـ. لا شيء مما ذكر.  
 10. اسم المركب  $CaCl_2$  هو:  
 أ. كلوريد الكربون.  
 ب. ثاني كلوريد الكالسيوم.  
 ج. ثنائي الكالسيوم.  
 د. ثاني كالسيوم الكلور.  
 هـ. كلوريد الكالسيوم.

إجابات إختبار الاستعداد للقراءة

1 4 3 0 1 6 3 8 1 4 2 9 2 5 2 3 1 7 1 3

- أ. كيميائيًا. بسبب تكوّن العناصر.  
 ب. فيزيائيًا. بسبب تكون مواد جديدة.  
 ج. كيميائيًا. لأنّ الذرات مختلفة الارتباط.  
 د. فيزيائيًا. لأنّ التغيّر في الطّور.  
 7. مثال على التّغيّر الكيميائيّ هو:  
 أ. جمّد الماء إلى مكعبات بلورية.  
 ب. دهن ما بعد الحلاقة أو العطر على الجلد تولّد رائحة.  
 ج. تمدد قطعة من الفلز عند تسخينها. وعودتها إلى حجمها الأصلي حينما تبرد.  
 د. خطم زجاج نافذة.  
 هـ. استخدام الجازولين في الآلة منتجًا غازات.  
 8. إذا أحرقت 50 جم من الخشب ونتاج 10 جم من الرماد، فإنّ الكتلة الكلية للنواجج جميعها الناجمة من حرق هذا الخشب:  
 أ. أكثر من 50 جم.  
 ب. 10 جم.  
 ج. أقلّ من 10 جم.  
 د. 50 جم.  
 هـ. لا شيء مما ذكر.

## اكتشف المزيد

<http://www.chemsoc.org>

تحديثات أخبار الكيمياء، مجلة كيمياء على الشبكة، وغيرها الكثير من المواضيع على هذا الموقع الذي تشرف على إدارته الجمعية الملكية للكيمياء.

<http://www.chemsoc.org/viselements/pages/periodic>

مشروع العناصر البصرية للجمعية الملكية للكيمياء الذي يوفر رسوم كرتونية متحركة لجميع العناصر تقريباً. هناك حاجة لتوفير مصدر للشبكة بسرعة عالية.

<http://www.gsi.de>

موقع منشأة أبحاث الأيونات الثقيلة في دارمشتات بالألمانيا. حيث يتم تحضير الكثير من العناصر الثقيلة جداً التي تعيش لفترة قصيرة جداً.

<http://www.newton.dep.anl.gov>

قسم مختبر البرامج التعليمية التابع لمختبر ارغوون الوطني يقدم خدمة لوحة كشرات نيوتن والتي تقدم: (أسأل عالماً). استكشف ارشيف

الكيمياء للحصول على اجابات أسئلة جميعها أكثر من 1500 طالب منذ العام 1991.

<http://www.nevscientist.com>

الصفحة الرئيسية لمجلة العلوم والتقنية الأسبوعية البريطانية. حيث تعرض القضايا الراهنة والكثير من «المواضيع الساخنة» في العلوم

<http://www.csicop.org>

الصفحة الرئيسية للجنة الاستقصاء التشكيلي. هذه المنظمة التي تضم الجائزين على جائزة نوبل وغيرها من العلماء ذو الشهرة العالمية حيث تقوم بتحدي ادعاءات العلوم الزائفة بكل ما يتطلب ذلك من صرامة وحزم ودقة لأي إعادة علمي.

<http://www.randi.org>

هذا هو الصفحة الرئيسية لجاي إندي. الساحر الواسع الشهرة الذي يقوم باختبار الادعاءات حول الخوارق على الادعاءات حول الخوارق على نحو نشط.

## الفصل 14 مصادر على الشبكة

أشرطة فيديو

■ إنفجار فقاعة الأكسجين

■ ماء الحريق (الماء الملوّث المتبقي بعد اطفاء الحرائق)

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط

أشكال تفاعلية

■ 14.9

دورس تعليمية

■ ما الكيمياء؟

# كيف ترتبط الذرات؟ وكيف تتجاذب الجزيئات؟



## 15

■ قبل ملايين السنين، كانت منطقة السهول العظمى التي نعرف اليوم بالولايات المتحدة محيطًا. وعندما انخفض مستوى البحر، وظهرت قارة أمريكا الشمالية، بقيت العديد من جيوب مياه البحر، والتي تسمى الآن البحيرات المالحة. ومع مرور الزمن، تبخرت هذه البحيرات مخلقة وراءها مواد صلبة كانت ذائبة في مياه البحر. إن الأكثر وفرة هو كلوريد الصوديوم الذي شكّل بلورات مكعبة يطلق عليها علماء المعادن ملح الطعام المعدني. وعند توافر الشروط المناسبة، تنمو بلورات الملح لتصبح بعرض عدة سنتيمترات كما تبدو في صورة افتتاحية هذا الفصل. لماذا يكون لبلورات الملح المعدني هذا الشكل المميز؟ كما سنرى في هذا الفصل، فإن الخصائص الجاهرية لأي مادة يمكن إرجاعها إلى كيفية ارتباط أجزائها دون المجهرية معًا. فأيونات الصوديوم والكلور في بلورات الملح الصخري، على سبيل المثال، يرتبط بعضها ببعض باتجاهات مكعبة. ولهذا، فإن الجسم الجاهري الذي نعرفه بملح الطعام الصخري هو أيضًا مكعب.

وبالمثل، فإن الخصائص الجاهرية للمواد المكونة من جزيئات هي نتيجة كيفية تماسك الذرات في الجزيئات معًا.

1.15 تركيب الإلكترون – النقطي

2.15 تكوين الأيونات

3.15 الروابط الأيونية

4.15 الروابط الفلزية

5.15 الروابط التساهمية

6.15 الروابط التساهمية القطبية

7.15 القطبية الجزيئية

8.15 التجاذب الجزيئي



إنَّ التقدّم السّريع الذي يحرزه العلم الحقيقيّ يجعلني أحياناً أمر بلحظات أندم فيها على أنني ولدت مبكراً. من المستحيل تخيل المدى الذي ستصله قدرتنا على التحكم بالمادة خلال الألف سنة القادمة. آه، هل سيكون علم الأخلاق مستقيماً لا يحتاج إلى تحسين، وأن يتوقف الرجال عن أن يكونوا ذناباً بعضهم نحو بعض، وأن يتعلم الجنس البشريّ أخيراً ما يسميه الآن خطأ بشرياً. رسالة من بنيامين فرانكلين (Benjamin Franklin) للكيميائيّ جوزيف بريستلي (Joseph Priestley)، 8 شباط 1780.

ومثال ذلك أنّ العديد من الخصائص المدهشة للماء تعود إلى الزاوية بين ذرات الهيدروجين والأكسجين في جزيء الماء. وبسبب اتجاه هذه الزاوية، يكون لأحد جوانب الجزيء شحنة كهربائية سالبة ضئيلة، في حين يكون للجانب الآخر شحنة كهربائية موجبة. فجزيء الماء مستقطب كهربائياً، الفصل 8. إنّ استقطاب جزيئات الماء أدى إلى بروز بعض الظواهر، كعدم اختلاط الماء بالزيت، وارتفاع درجة غليان الماء.

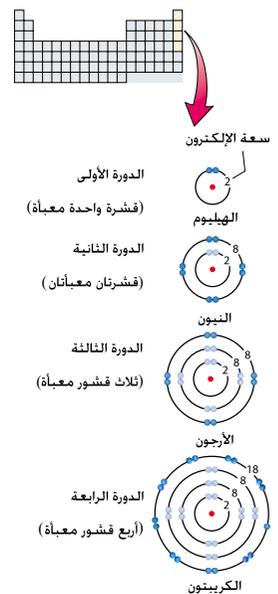
تنشأ قوة التجاذب التي تربط الأيونات أو الذرات معاً من قوة كهربائية بين الشحنات المتعاكسة للجسيمات. يطلق الكيميائيون على قوة الربط- الأيونية أو قوة الربط الذرية الرابطة الكيميائية. وفي هذا الفصل، سندرس ثلاثة أنواع من الروابط الكيميائية هي: 1- الرابطة الأيونية، والتي تربط الذرات معاً في البلورة. 2- الرابطة التساهمية، والتي تربط الذرات معاً في الجزيئات. 3- الرابطة الفلزية، والتي تربط الذرات معاً في عينة فلز. وسندرس في هذا الفصل لاحقاً كيف يؤدي سلوك الأيونات والجزيئات إلى الظواهر الجاهرية، مثل خلط الماء والملح.

### 1.15 تركيب الإلكترون - النقطي

نحتاج إلى نموذج ذري لمساعدتنا على فهم كيفية ربط الذرات. سنبدأ هذا الفصل بموجز مختصر لنموذج القشرة الذي أشير إليه في البند 9.12. تذكر كيفية ترتيب الإلكترونات حول نواة الذرة. بدلاً من الحركة في مدارات محددة مثل الكواكب حول الشمس. فالإلكترونات شيء شبه موجي يملأ مختلف الأحجام في الفضاء يسمى القشور.

وكما بين الشكل 29.12، تتوافر سبع قشور للإلكترونات في الذرة. وتملأ الإلكترونات هذه القشور بالترتيب. من الداخل. الأقرب إلى النواة إلى الأبعد عنها. أضف إلى ذلك أنّ السعة القصوى المسموح بها في القشرة الأولى هي إلكترونان. و8 لكل من القشورتين الثانية والثالثة. و18 لكل من القشورتين الرابعة والخامسة. و32 لكل من القشورتين السادسة والسابعة\*. تساوي هذه الأرقام عدد العناصر في كلّ دورة (السطر الأفقي) من الجدول الدوري. ويبين الشكل 1.15 كيفية تطبيق هذا النموذج على العناصر الأربعة الأولى من المجموعة 18.

تؤدي إلكترونات القشرة الأخيرة المعبأة دوراً مهماً في الخصائص الكيميائية للذرة. بما فيها قدرتها على تشكيل روابط. وللتدليل على أهميتها، سميت هذه الإلكترونات إلكترونات التكافؤ (كما وُصف في البند 5.15) وتسمى القشرة التي تحتها قشرة التكافؤ (Valence Shell). يمكن تمثيل إلكترونات التكافؤ بسهولة كمتالية من النقاط خيط بالرمز الذري. ويسمى هذا الترميز تركيب الإلكترون - النقطي. أو في بعض الأحيان رمز لويس النقطي (تكرماً للكيميائي الأمريكي G.N. Lewis الذي كان أول من اقترح مفاهيم القشور وإلكترونات التكافؤ).



الشكل 1.15

القشور المعبأة لعناصر المجموعة 18 من الهيليوم وحتى الكريبتون. القشرة الخارجية لكل من هذه العناصر معبأة بالكامل، ويكون عدد الإلكترونات في كلّ منها يناظر عدد الإلكترونات في الدورة التي ينتمي إليها كلّ من عناصر المجموعة 18.

\* كنقطة مرجعية للفيزيائيين الذين يدرسون هذا المقرر. جُمع هذه القشور من المدارات. بمستويات طاقة متشابهة بدلاً من العدد الكميّ الرئيسيّ. إنها القشور "الأرجونية" التي طوّرها لينوس باولي Linus Pauli لتفسير الرابطة الكيميائية وتنظيم الجدول الدوري.

الشكل 2.15

إلكترونات التكافؤ للذرة مبينة في تركيب الإلكترون النقطي. لاحظ أن الدورات الثلاث الأولى المبينة هنا في الشكل الموازي 30.12. لاحظ أيضاً أنه في الذرات الكبيرة، لا تكون الإلكترونات جميعها في قشرة التكافؤ. مثلاً، الكريبتون، Kr، له 18 إلكترونًا في غلاف التكافؤ، كما بين الشكل 1.15، ولكن 8 إلكترونات فقط هي المصنفة على أنها إلكترونات تكافؤ.

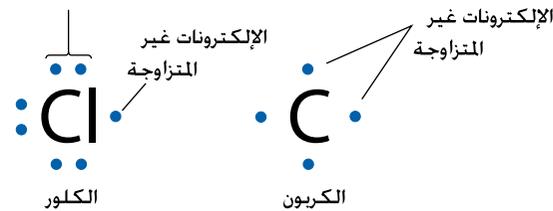
1	2	13	14	15	16	17	18
H ·							He:
Li ·	·Be·	·B·	·C·	·N·	·O·	·F·	·Ne:
Na·	·Mg·	·Al·	·Si·	·P·	·S·	·Cl·	·Ar:
K ·	·Ca·	·Ga·	·Ge·	·As·	·Se·	·Br·	·Kr:
Rb·	·Sr·	·In·	·Sn·	·Sb·	·Te·	·I·	·Xe:
Cs·	·Ba·	·Tl·	·Pb·	·Bi·	·Po·	·At·	·Rn:

هناك تفاصيل كثيرة لتتعلمها؟ ماذا يمكن للعلماء أن يعطوا قبل 200 سنة ماضية، مقابل المعلومات المتوفرة لك الآن بسهولة؟



يبين الشكل 2.15 تراكيب الإلكترون - النقطي للذرات المهمة في نقاشنا للروابط الأيونية والتساهمية. أما في نقاشنا للروابط الفلزية في نهاية هذا الفصل. فسنركز على إلكترونات التكافؤ للذرات الفلزية فقط، وليس على تراكيب نقط الإلكترون. عندما ننظر إلى تركيب نقط الإلكترون للذرة، سنتعرف مباشرة شيئين مهمين حول العنصر. وستعرف عدد إلكترونات التكافؤ له، وعدد الإلكترونات/المتزوجة كذلك. الكلور مثلاً له ثلاث مجموعات من الإلكترونات المتزوجة وإلكترون واحد مفرد. أما الكربون فله أربعة إلكترونات غير متزوجة:

الإلكترونات المتزوجة



تكون إلكترونات التكافؤ المتزوجة مستقرة نسبياً. أي أنها لا تشكل روابط كيميائية مع الذرات الأخرى في العادة. ولهذا، تسمى الإلكترونات المتزوجة في تركيب نقط الإلكترون الأزواج غير الرابطة (**Nonbonding Pairs**). (لا تتعامل مع المصطلح بحرفيته؛ لأنك سترى في الفصل 18 وفي ظل ظروف مناسبة أن الأزواج "غير الرابطة" تستطيع كذلك تشكيل رابطة كيميائية).

الشكل 3.15

أحدث جلبرت نيوتن لويس (Gilbert Newton Lewis) ثورة في الكيمياء بنظريته حول الرابطة الكيميائية التي نشرت عام 1916م. لقد عمل معظم حياته في قسم الكيمياء بجامعة كاليفورنيا بيركلي (Berkeley)، حيث لم يكن باحثاً منتجاً فقط، بل كان باحثاً استثنائياً أيضاً. وكان من بين إجراءاته التدريسية تزويد الطلبة بمجموعات مسائل متابعة للمحاضرات ومزيد من القراءات.

وفي المقابل، فإن إلكترونات التكافؤ غير المتزوجة لها ميل قوي للاشتراك في الربط الكيميائي. وبفعلها هذا تصبح زوجية مع إلكترون من ذرة أخرى. إن الروابط الأيونية والتساهمية التي سنناقشها في هذا الفصل هي نتيجة انتقال أو مشاركة لإلكترونات التكافؤ غير المتزوجة.

نقطة فحص

أين تقع إلكترونات التكافؤ؟ وما سبب أهميتها؟

هل كانت هذه إجابتك؟

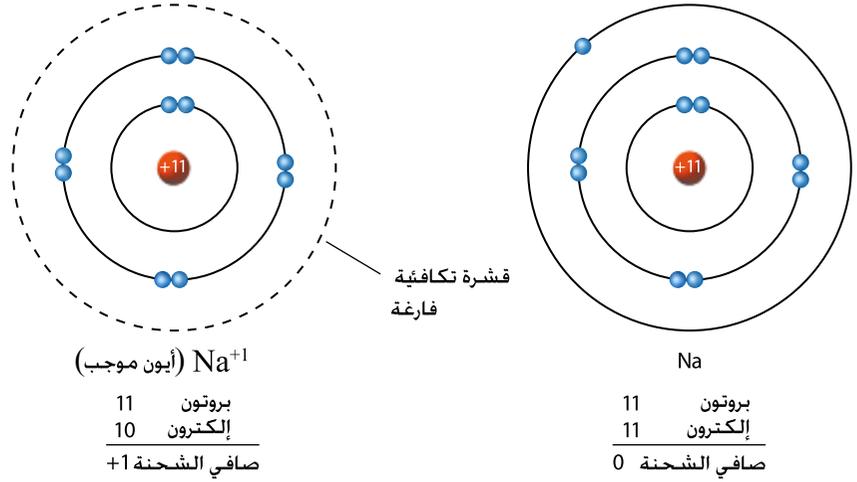
تقع إلكترونات التكافؤ في القشرة المعبأة الأخيرة للذرة. إنها مهمة؛ لأنها تؤدي دوراً رئيساً في تحديد الخصائص الكيميائية للذرة.

## 2.15 تكوين الأيونات

عندما يتساوى عدد كل من البروتونات والإلكترونات في نواة الذرة، تتعادل الشحنات وتكون الذرة متعادلة. ولكن إذا اكتسب أو فقد إلكترون أو أكثر، كما يوضح الشكلان 4.15 و 5.15، فإن التوازن يختل. وتأخذ الذرة شحنة كهربائية نهائية صافية. أي ذرة لها شحنة كهربائية صافية هي أيون. وعند فقد إلكترونات، يفوق عدد البروتونات عدد الإلكترونات، ويتكون أيون له شحنة موجبة صافية.

يستخدم الكيميائيون رمزا دللياً علويّاً عن اليمين من الرمز الذري يشير إلى قيمة شحنة الأيون وإشارتها. وهكذا. فكما هو مبين في الشكلين 4.15 و 5.15، يكتب أيون الصوديوم الموجب  $Na^{+1}$ ، في حين يكتب الأيون السالب المكون من ذرة الفلور  $F^{-1}$ . وعادة لا يُذكر الرقم 1 عند الإشارة إلى كل من الشحنة  $+1$  و  $-1$ . ولهذا، يكتب هذان عادة كما يلي:  $Na^{+}$  و  $F^{-}$ . وإليك هذان المثالان: تكتب ذرة الكالسيوم التي تفقد إلكترونين  $Ca^{2+}$ . وتكتب ذرة الأكسجين التي تكسب إلكترونين  $O^{2-}$ . (اتفق على كتابة الرقم قبل الإشارة وليس بعدها:  $+2$ ، وليس  $+2$ ).

يمكن استخدام نموذج القشرة لاستنتاج نوع الأيون الذي تميل الذرة إلى تكوينه. فوفق هذا النموذج، تميل الذرات إلى فقد الإلكترونات التي ينجم عنها ملء القشور الخارجية بسعتها القصوى أو اكتسابها. وإلقاء نظرة على هذه النقطة، ننظر إلى الشكلين 4.15 و 5.15 كأدلة مرئية.



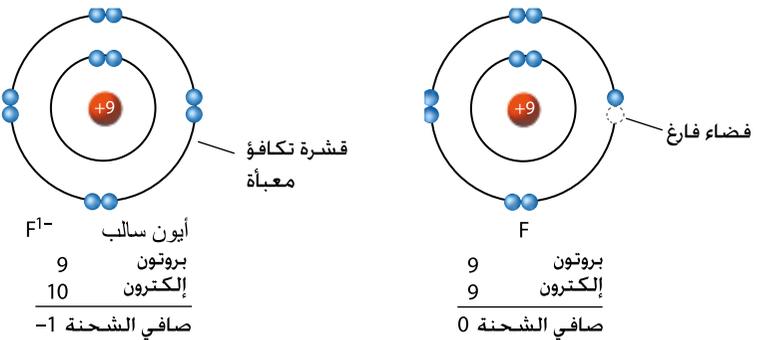
الشكل 4.15

تحتوي ذرة الصوديوم المتعادلة كهربائياً على 11 إلكترون مشحوناً بشحنة سالبة، و 11 بروتوناً في النواة مشحوناً بشحنة موجبة. عندما تفقد هذه الذرة إلكترون، فالنتيجة هي أيون موجب.

إذا كانت الذرة تمتلك إلكترونًا واحدًا فقط أو عددًا قليلاً من الإلكترونات في قشرة التكافؤ، فإنها تميل إلى فقد هذه الإلكترونات. تصبح القشرة التالية التي قبلها، القشرة الخارجية المعبأة، والتي هي معبأة بسعتها القصوى. إن ذرة الصوديوم في الشكل 4.15، مثلاً، لها إلكترون واحد في قشرة التكافؤ، والتي هي القشرة الثالثة، وعند تشكيل أيون، تفقد ذرة الصوديوم إلكترونًا واحدًا، جاعلة القشرة الثانية معبأة بسعتها الكاملة، أي القشرة المعبأة الخارجية. ولأن ذرة الصوديوم تمتلك إلكترون تكافؤ واحدًا لتفقد، فإنها تميل إلى تكوين أيون  $+1$ .

إذا كانت قشرة التكافؤ للذرة معبأة تقريباً، فإن هذه الذرة تجذب إلكترونات من ذرات أخرى مكونة أيوناً سالباً. ومثال هذا ذرة الفلور في الشكل 5.15، التي يوجد فراغ واحد في قشرة التكافؤ لاستيعاب إلكترون إضافي. وعند كسب هذا الإلكترون الإضافي، تحصل ذرة الفلور على قشرة تكافؤ معبأة. وهكذا تميل الفلور إلى تكوين أيون سالب  $-1$ .

يمكنك استخدام الجدول الدوري للمراجعة السريعة لكي تحدد نوع الأيون الذي تميل الذرة إلى تكوينه. كما يبين الشكل 6.15 كل ذرة في عناصر المجموعة 1؛ فإذا كان لها إلكترون تكافؤ فقط على سبيل المثال، فإنها تميل إلى تكوين أيون  $+1$ .



الشكل 5.15

كل ذرة في عناصر المجموعة 17 لها فراغ لإضافة إلكترون واحد إلى قشرة التكافؤ، لذا، تميل إلى تكوين أيون  $-1$ . إن ذرات عناصر الغازات النبيلة لا تميل إلى تشكيل أيونات من أي نوع؛ لأن قشورها التكافئية معبأة بسعتها الكاملة.

تحتوي ذرة الفلور المتعادلة كهربائياً على 9 بروتونات و 9 إلكترونات. وعندما تكسب هذه الذرة إلكترونًا واحدًا، فإن النتيجة تكون أيوناً سالباً.

تكون الأيون عادة

1+ 2+ 3+ 4- 3- 2- 1- 0

1 2 13 14 15 16 17 18

H Li Be B C N O F Ne

Na Mg 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 Al Si P S Cl Ar

K Ca Sc Ti V Cr Mn Fe Co Ni Cu Zn Ga Ge As Se Br Kr

Rb Sr Y Zr Nb Mo Tc Ru Rh Pd Ag Cd In Sn Sb Te I Xe

Cs Ba La Hf Ta W Re Os Ir Pt Au Hg Tl Pb Bi Po At Rn

Fr Ra Ac Rf Db Sg Bh Hs Mt Uun Uuu Uub

= جاذب نووي ضعيف لإلكترونات التكافؤ. هناك ميل إلى تكوين أيونات موجبة .

= جاذب نووي قوي لإلكترونات التكافؤ. هناك ميل إلى تكوين أيونات سالبة .

= جاذب نووي قوي لإلكترونات التكافؤ. لأن غلاف التكافؤ معبأ فلا يوجد ميل إلى تكوين أيونات من أي نوع .

الشكل 6.15

الجدول الدوري هو دليلك إلى أنواع الأيونات التي تميل الذرات إلى تكوينها.

نقطة فحص

ما نوع الأيون التي تميل ذرة الماغنسيوم Mg إلى تكوينه؟

هل كانت هذه إجابتك؟

توجد ذرة الماغنسيوم (العدد الذري 12) في المجموعة الثانية. ولها إلكترونات تكافؤ يمكنها فقدانها (الشكل 2.15). لذا تميل إلى تكوين أيون  $2+$ .

كما أشير إليه في الشكل 6.15، فإن التجاذب بين نواة الذرة وإلكترونات التكافؤ هي الأضعف للعناصر الموجودة في يسار الجدول الدوري، والأقوى للعناصر التي عن اليمين. ويمكننا أن نرى من موقع الصوديوم في الجدول الدوري، أنّ إلكترون التكافؤ المفرد لذرة الصوديوم غير مرتبط بقوة، وهذا يفسر السبب في سهولة فقدانه. ولكن جذب نواة الصوديوم لإلكترونات أكبر بكثير. ولهذا، فمن النادر أن تفقد ذرة الصوديوم أكثر من إلكترون واحد.

الإلكترونات السالبة الشحنة. ينتج الأيون السالب عن اكتساب إلكترون، في حين ينتج الأيون الموجب عن فقد إلكترون.

وعلى الجانب الآخر من الجدول الدوري، فإن نواة ذرة الفلور تمسك إلكترونات التكافؤ بقوة. وهذا يفسر سبب عدم ميل ذرة الفلور إلى فقدان أي من الإلكترونات لتكوين أيون موجب. وبدلاً من ذلك، فإن قوة السحب النووي للفلور لإلكترونات التكافؤ كافية لاستيعاب إلكترون إضافي "مستورد" من ذرة أخرى. إنّ قوة السحب لأتوية الغاز - النبيل لإلكترونات التكافؤ كبيرة بحيث يصعب فقدانها. وبسبب عدم توافر فراغ في قشرة التكافؤ لذرة الغاز - النبيل، فإنه لا يكسب إلكترونات إضافية. وهكذا، لا تميل ذرة الغاز - النبيل إلى تكوين أيونات من أي نوع.

نقطة فحص

لماذا تميل ذرة الماغنسيوم إلى تكوين أيون  $2+$ ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يقع الماغنسيوم إلى اليسار في الجدول الدوري، لذا لا تمسك ذرات هذا العنصر بالإلكترونات التكافؤ بقوة كبيرة؛ لأنّ هذين الإلكترونين غير مرتبطين بشدة. ولهذا، يسهل فقدانهما. وعليه، تميل ذرة الماغنسيوم إلى تكوين أيون  $2+$ .

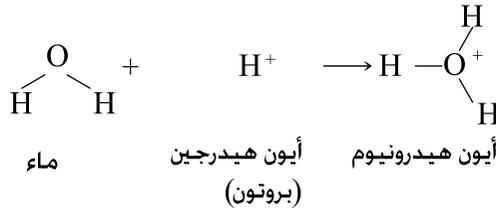
## لمعلوماتك

■ ما الشئ المشترك بين أيونات العناصر التالية: الكالسيوم، Ca، الكلور، Cl، الكروميوم، Cr، الماغنسيوم، Mg، المنجنيز، Mn، الموليبيديوم، Mo، النيكل، Ni، الفوسفور، P، البوتاسيوم، K، السيلينيوم، Se، الصوديوم، Na، الكبريت، S، الزنك، Zn؟ الجواب: جميعها فلزات مغذية وهي ضرورية للمحافظة على صحة جيدة، ولكن قد تكون ضارة، وحتى ممتة، إذا أخذت بكميات كبيرة.

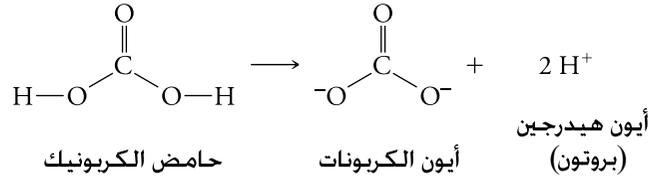
وباستخدامنا لنموذج القشرة، فقد استطعنا تفسير تكوّن الأيونات في المجموعات: 1 و2 و13 حتى 18. ولكن نموذج القشرة هذا مبسط جداً لتفسير عناصر المجموعات الانتقالية من 3 حتى 12. أو حتى الفلزات الانتقالية الداخلية، وعلى العموم، فإنّ ذرات هذه الفلزات تميل إلى تكوين أيونات موجبة، ولكن عدد الإلكترونات المفقودة يتغير، فمثلاً، يمكن لذرة الحديد أن تفقد إلكترونين لتكون  $Fe^{2+}$  أيون، وقد تفقد ثلاثة إلكترونات لتتشكّل أيون  $Fe^{3+}$ .

## يمكن أن تكون الجزينات أيونات

هكذا تصبح الذّرات أيونات بفقد الإلكترونات أو اكتسابها. ومن المدهش أنّ الجزينات أيضاً يمكن أن تصبح أيونات، يحدث هذا في معظم الأحيان، عندما يفقد الجزيء أو يكتسب بروتوناً - مكافئاً لأيون الهيدروجين،  $H^+$  (تذكر أنّ ذرة الهيدروجين هي بروتون مع إلكترون، أيون الهيدروجين،  $H^+$  هو ببساطة بروتون). مثلاً، جزيء الماء،  $H_2O$ ، يمكن أن يكتسب أيون هيدروجين،  $H^+$  (بروتون) لتشكيل أيون الهيدرونيوم،  $H_3O^+$ :



وبالتشابه، يمكن لجزيء حامض الكربونيك  $H_2CO_3$  أن يفقد بروتونين لتشكيل أيون الكربونات،  $CO_3^{2-}$ :



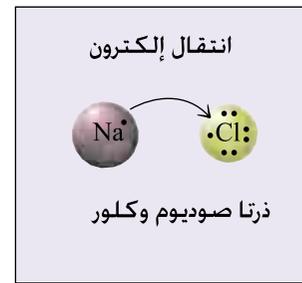
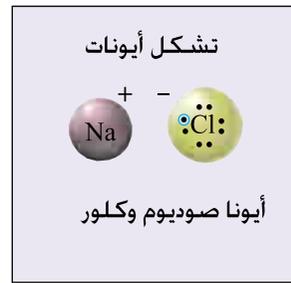
سوف ندرس كيفية حدوث هذه التفاعلات في الفصول الآتية. أمّا الآن، فعليك فهم أيونات الهيدرونيوم والكربونات كأثلة على الأيونات المتعددة الذّرات (*Polyatomic Ions*). وهي جزيئات تحمل شحنة كهربائية صافية. يقدم الجدول 1.15 قائمة بأيونات متعددة الذّرات التي تدرسها عادةً.

الجدول 1.15 الأيونات المتعددة الذّرات المألوفة

الصيغة	الاسم
$H_3O^+$	أيون الهيدرونيوم
$NH_4^+$	أيون الأمونيوم
$HCO_3^-$	أيون الكربونات الثنائية
$CH_3CO_2^-$	أيون الأسيتات
$NO_3^-$	أيون النترات
$CN^-$	أيون السيانيد
$OH^-$	أيون الهيدروكسيل
$CO_3^{2-}$	أيون الكربونات
$SO_4^{2-}$	أيون الكبريتات
$PO_4^{3-}$	أيون الفوسفات

الشكل 7.15

(1) تفقد ذرة الصوديوم المتعادلة كهربائياً إلكترون التكافؤ الذي لها لذرة الكلور المتعادلة كهربائياً. (2). تكون نتيجة انتقال الإلكترون هذا أنه يصبح لدينا أيونان مشحونان متعاكسان. (3). ويرتبط الأيونان معاً برابطة أيونية. تشير الكرات المرسومة حول هذه والإيضاحات اللاحقة لتراكيب نقط الإلكترون إلى الأحجام النسبية لذرات الأيونات. لاحظ أنّ أيون الصوديوم أصغر من ذرة الصوديوم وذلك لفقدان الإلكترون الوحيد في الغلاف الثالث عند تكوّن الأيون، مبقياً على قشرتين معبأتين فقط. ويكون أيون الكلور أكبر من ذرة الكلور؛ لأنّ إضافة إلكترون للقشرة الثالثة يجعلها تتمدد بسبب التنافر بين الإلكترونات.



3

2

1

3.15 الروابط الأيونية

عند وضع ذرة لها ميل إلى فقد إلكترونات على اتصال مع ذرة لها ميل إلى اكتساب هذه الإلكترونات، فإنّ النتيجة هي انتقال إلكترون أو أكثر من ذرة إلى أخرى. وتكوّن أيونين لهما شحنات متعاكسة. يحدث هذا عند اتحاد الصوديوم مع الكلور. وكما هو مبين في الشكل 7.15. فإنّ ذرة الصوديوم تفقد أحد إلكتروناتها لذرة الكلور. وتكون النتيجة تكوين أيون صوديوم موجب وأيون كلور سالب. ينجذب الأيونان المشحونان بشحنتين متعاكستين أحدهما إلى الآخر بقوة كهربائية، تقيهما متقاربين. يسمّى هذا الجذب الكهربائي بين أيونين مشحونين بشحنتين متعاكستين الرابطة الأيونية.

يشكّل أيون الصوديوم والكلور معاً المركّب الكيميائي كلوريد الصوديوم المعروف بملح الطعام. يعرف هذا المركّب وكذلك المركّبات الكيميائية جميعها التي تحتوي على أيونات بالمركّبات الأيونية (Ionic Compounds). تختلف المركّبات الأيونية جميعها عن العناصر المكوّنة لها. كما ناقشنا ذلك في البند 5.14. فكلوريد الصوديوم ليس صوديوم، ولا كلور. بل إنه جميع أيونات كل من الصوديوم والكلور والتي تشكّل مادة فريدة من حيث خصائصها الفيزيائية والكيميائية.

الرّابطة الأيونية هي مجرد قوة الجذب الكهربائي التي تمسك الأيونات ذات الشّحنات المتعاكسة معاً بحسب قانون كولوم (الفصل 8).

نقطة فحص

هل يعدّ انتقال الإلكترون من ذرة الصوديوم إلى ذرة الكلور تغييراً فيزيائياً أم تغييراً كيميائياً؟

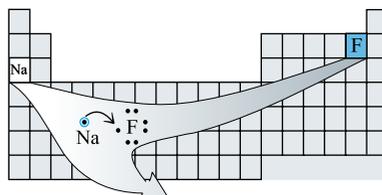
هل كانت هذه إجابتك؟

تذكر من الفصل 14 أنّ التغيّر الكيميائي يتضمّن تكوين مواد جديدة فقط. وعليه، فهذا وغيره من انتقال الإلكترون، وبسبب تكوين مواد جديدة، هو تغيّر كيميائي.

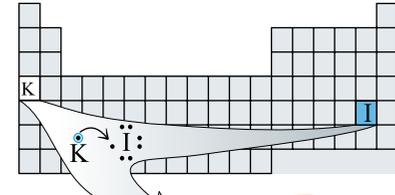
كما يبين الشكل 8.15، تتكوّن المركّبات الأيونية عادة من عناصر موجودة على الجانبين المتعاكسين من الجدول الدوري. علاوة على ذلك، وبسبب كيفية ترتيب الفلزّات وغير الفلزّات في الجدول الدوري، فعادةً ما تُشتقّ الأيونات الموجبة من العناصر الفلزّية، أمّا الأيونات السالبة فتُشتقّ من العناصر غير الفلزّية.

الشكل 8.15

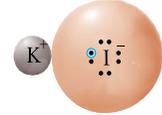
(أ) يضاف المركّب الأيوني يوديد البوتاسيوم، KI بكميات قليلة إلى الملح التجاري؛ لأنّ أيون اليود، I يحتوي على المعدن المغذي الأساسي. (ب) يضاف المركّب الأيوني فلوريد الصوديوم، NaF، إلى ماء البلدية، ومعاجين الأسنان لأنه مصدر جيد لأيونات الفلور، F<sup>-</sup>، المقوية للأسنان.



(ب)



(أ)

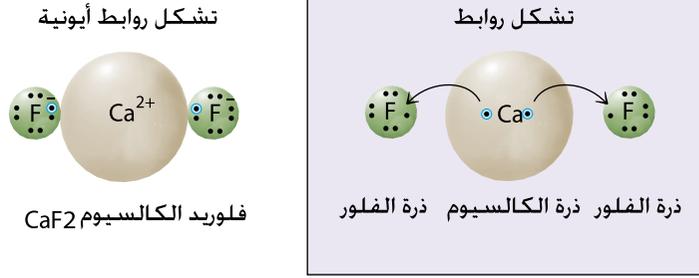


الشكل 9.15

تفقد ذرة الكالسيوم إلكترونين لتكوين أيون الكالسيوم،  $Ca^{2+}$ . يمكن التقاط هذين الإلكترونين من ذرتي فلور تتحولان إلى أيونين من الفلور. يتحد أيون الكالسيوم مع أيوني الفلور لتكوين المركب الأيوني فلوريد الكالسيوم،  $CaF_2$ ، والذي يتوافر في الطبيعة لمعدن الفلورات.



الفلورات



يجب أن تتعادل الشحنتان الموجبة والسالبة في المركبات الأيونية جميعها. في كلوريد الصوديوم مثلاً هناك أيون  $+1$  لكل أيون كلور  $-1$ . ويجب أن تتوازن الشحنتان في المركبات التي تحتوي على الأيونات التي تحمل شحنتان متعددة. مثلاً، يحمل أيون الكالسيوم شحنة  $+2$ ، ولكن أيون الفلور يحمل شحنة  $-1$  فقط. وبسبب لزوم أيونين من الفلور لمعادلة كل أيون كالسيوم، فإن صيغة فلوريد الكالسيوم تكون  $CaF_2$  كما يوضح الشكل 9.15. يوجد فلوريد الكالسيوم طبيعياً في ماء الشرب لبعض المجتمعات، لأنه مصدر جيد لأيون الفلور المقوي للأسنان.  $F^-$ .

يحمل أيون الألومنيوم شحنة  $+3$ ، ويحمل أيون الأكسجين شحنة  $-2$ . ومعاً، تكون هذه الأيونات المركب الأيوني أكسيد الألومنيوم  $Al_2O_3$ ، المكوّن الرئيس للأحجار الكريمة، مثل الياقوت (Ruby) والصفيري (Sapphire). يوضح الشكل 10.15 تكوين أكسيد الألومنيوم؛ تحمل أيونات الأكسجين الثلاثة في  $Al_2O_3$  شحنة مقدارها  $-6$ ، والتي تعادل مجموع الشحنة  $+6$  التي يحملها أيونا الألومنيوم. وكما ذكر سابقاً، فإن الياقوت يختلف عن الصفيري في لونه بسبب الشوائب التي يحتوي عليها؛ فالياقوت أحمر اللون بسبب وجود أيونات قليلة من الكروم، في حين لون الصفيري أزرق بسبب وجود أيونات قليلة من الحديد والتيتانيوم.

نقطة فحص

ما الصيغة الكيميائية للمركب الأيوني أكسيد الماغنسيوم؟

هل كانت هذه إجابتك؟

بسبب أنّ الماغنسيوم أحد عناصر المجموعة 2، فأنت تعلم أنّ ذرة الماغنسيوم تفقد إلكترونين لتكوين أيون  $Mg^{2+}$ . وبسبب أنّ الأكسجين من عناصر المجموعة 16، فإنّ ذرة الأكسجين تكسب إلكترونين لتكوين أيون  $O^{2-}$ . تتعادل هذه الشحنتان بنسبة 1-1، وهكذا تكون الصيغة الكيميائية لأكسيد الماغنسيوم  $MgO$ .

الشكل 10.15

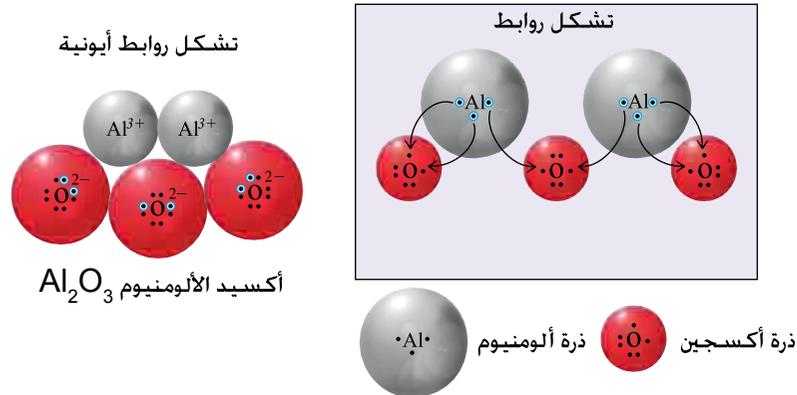
تفقد ذرتا ألومنيوم ما مجموعه ستة إلكترونات لتكوين أيونين من الألومنيوم،  $Al^{3+}$ . ويمكن التقاط هذه الإلكترونات الستة من ثلاث ذرات أكسجين، محاولة إيها إلى ثلاثة أيونات أكسجين،  $O^{2-}$ . تتحد أيونات الألمنيوم مع أيونات الأكسجين لتكوين المركب الأيوني أكسيد الألومنيوم،  $Al_2O_3$ .



ياقوت



ياقوت أزرق





(ب)



● Na<sup>+</sup> أيون الصوديوم  
● Cl<sup>-</sup> أيون الكلور

(ا)

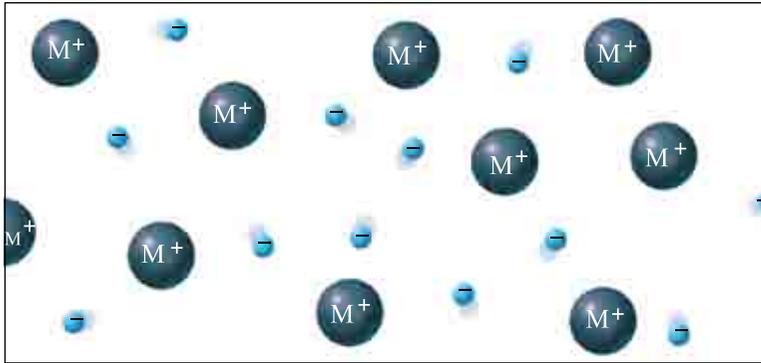
### الشكل 11.15

(أ) في كلوريد الصوديوم كما هو الحال في المركبات الأيونية الأخرى، تتشكل بلورات أيونية، حيث يكون أيون داخلي محاطاً بأيونات بشحنات معاكسة. (للتبسيط، جزء صغير فقط من مصفوفة الأيون تظهر هنا. تتضمن بلورة NaCl عادية ملايين الأيونات.) (ب) يبين المجهر التركيب التكبيبي لبلورات ملح المائدة. إنَّ شكل المكعب هو نتاج ترتيب أيونات الصوديوم والكلور.

يحتوي المركب الأيوني عادة على عدد كبير من الأيونات مجتمعة معاً في ثلاثة أبعاد بدرجة ترتيب عالية؛ ففي كلوريد الصوديوم، مثلاً، يحاط كلُّ أيون صوديوم بستة أيونات من الكلور، وكلُّ أيون كلور محاط بستة أيونات صوديوم (الشكل 11.15). على العموم، يوجد أيون صوديوم واحد لكلِّ أيون كلور، ولا يوجد أزواج محددة من كلوريد الصوديوم. إنَّ هذا الترتيب من الأيونات يعرف بالبلور الأيوني. وكما ذكرنا في بداية هذا الفصل على المستوى الذري، فإنَّ التركيب البلوري لكلوريد الصوديوم مكعبٌ. ولهذا، فالبلورات الجاهزية لملح المائدة مكعبة أيضاً. حطّم مكعباً كبيراً من بلورة كلوريد صوديوم بمطرقة. علام تحصل؟ ستحصل على بلورات كلوريد الصوديوم صغيرة! وبالمثل، يكون التركيب البلوري للمركبات الأيونية الأخرى، مثل فلوريد الكالسيوم، وأكسيد الألومنيوم، نتاجاً لكيفية رصّ الأيونات معاً. وسوف ندرس تفاصيل أكثر عن التركيب البلوري للمعادن في الفصل 20.

## 4.15 الروابط الفلزّية

لقد درسنا في البند 4.12 بعض خصائص الفلزات: فهي موصلة للكهرباء والحرارة، معتمة للضوء، وتتشوّه تحت الضغط بدلاً من أن تنكسر. وبسبب هذه الخصائص، تستخدم الفلزات في بناء البيوت، والأجهزة، وناطحات السحاب. تبتُّ أسلاك الفلزات إشارات الاتصالات عبر الأراضي وكذلك الطاقة الكهربائية. كما أننا نلبس المجوهرات الفلزّية، ونصرف العملات الفلزّية، ونشرب كذلك من علب فلزية. ومع هذا، ما الذي يعطي الفلزّ خصائصه؟ يمكن الإجابة عن هذا السؤال بالنظر إلى سلوك ذراتها. تميل الإلكترونات الخارجية لذرات معظم الفلزات إلى الارتباط الضعيف بالنواة الذرية، ويتبع ذلك سهولة نزع هذه الإلكترونات، مخلفة وراءها أيوناً فلزّياً موجب الشحنة. تنساب العديد من الإلكترونات المنزوعة من مجموعة كبيرة من الذرات بحرية عبر أيونات الفلز كما هو موضح في الشكل 12.15. يمسك هذا "المائع" من الإلكترونات أيونات الفلز الموجبة الشحنة معاً في نوع من الرابطة الكيميائية تسمى الرابطة الفلزّية.



● M<sup>+</sup> أيون فلز - إلكترون

### الشكل 12.15

تتماسك الأيونات الفلزّية معاً بالانسياب الحرّ لإلكتروناتها. تشكّل هذه الإلكترونات الضعيفة الارتباط ما يسمى "المائع الإلكتروني"، وهي تنساب خلال الشبيكة من الأيونات الموجبة.

تفسّر حركة الإلكترونات في الفلز قدرته المهمة على توصيل الكهرباء والحرارة. كما أنّ الفلزات معتمة ولا معة لأنّ الإلكترونات الحرة تهتز بسهولة، وبذبذبات الضوء الساقط عليها نفسها. عاكسة معظمه. وأكثر من ذلك، فإنّ أيونات الفلز ساكنة لا تكون في مواقع ثابتة، كما هو حال الأيونات في البلورة الأيونية. وبدلاً من ذلك، وبسبب تماسك أيونات الفلزّ معاً "مائع" الإلكترونات، تتحرك هذه الأيونات في الاتجاهات جميعها بعضها بالنسبة إلى بعض، وهذا ما يحدث عند طرق هذه الأيونات وسحبها لتشكيلها بعدة أشكال. يمكن ربط فلزين أو أكثر معاً بالروابط الفلزّية، مثلاً، يحدث هذا عند مزج الذهب المصهور مع البلاتين المصهور لتكوين محلول متجانس يعرف بالذهب الأبيض. يمكن تعديل جودة الذهب الأبيض

بتغيير نسب الذهب والبلاديوم. الذهب الأبيض هو مثال على السبيكة (*Alloy*). والتي هي أي خليط مكوّن من عنصرين فلزيين أو أكثر. يستطيع صانعو الفلزات تعديل خصائص أي سبيكة عن طريق تغيير نسب العناصر الفلزيّة المكوّنة. ومثال هذا تصميم الدولار المعدني على شكل المرأة الطير المبين في الشكل 13.15. أو الميداليات الفلزية. وغيرها من العملات الفلزيّة المستخدمة لأغراض كثيرة.



الشكل 13.15

يتكوّن لون السطح الخارجيّ الذهبيّ للدولار الفلزيّ الأمريكي (تذكّر) من سبيكة ملونة بنسب 77% نحاس، 12% خارصين، 7% منجنيز، 4% نيكل. أما جسم القطعة فهو من النحاس الثقيّ

هناك عدة فلزات فقط متوافرة في الطبيعة على شكل فلزّ كالذهب والبلاتينيوم. إنّ مخازن هذه الفلزات الطبيعية، والمعروفة أيضاً كفلزات وطنية نادرة حقاً. في معظم الحالات، توجد الفلزات في الطبيعة على شكل مركبات كيميائية؛ فالحديد مثلاً يوجد في معظمه على شكل أكسيد الحديد  $Fe_2O_3$ . والنحاس على شكل بيريت النحاس  $CuFeS_2$ . تسمّى الخزانة الجيولوجية التي تحتوي على تراكيز عالية نسبياً من المركبات المحتوية على الفلزات/المناجم. تستخرج صناعة الفلزات من المناجم في الأرض. كما يبين الشكل 14.15. ومن ثمّ تعالج كفلزات. وعلى الرّغم من وجود المركبات المحتوية على فلزات في كلّ مكان. إلا أنّ ما يستخلص منها من المناجم هو الفلزات ذات التركيز الكافي. والتي تكون بكميات ذات جدوى اقتصادية.



معلوماتك

■ خامات الفلز مركبات أيونية حيث تكون ذرات الفلز قد فقدت إلكترونات لتصبح أيونات موجبة. يتطلب تحويل الخامات إلى فلزات إعطاء إلكترونات مرة أخرى إلى أيونات الفلز. ويتمّ هذا بتسخين الخام في وجود مواد تطلق إلكترونات. مثل الكربون. في أفران تصل درجة حرارتها إلى 1500°س. ينشأ الفلز في حالة الانصهار، والذي يمكن تحويله إلى أشكال مفيدة.

الشكل 14.15

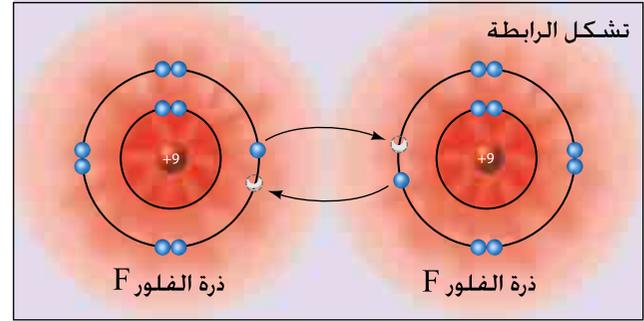
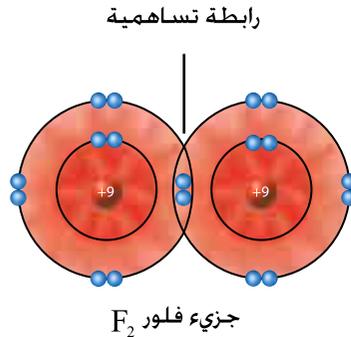
أكبر منجم نحاس في العالم في وادي بينجهام، يوتا.

### ■ 5.15 الروابط التساهميّة

تخيّل طفلين يلعبان معاً ويتشاركان في ألعابهما. ربما تكون الرابطة التي تقيهما معا هي الجذبهما المتبادل إلى الألعاب التي يتشاركان فيها. وبالطريقة نفسها. تتماسك ذرتان بالتجاذب المتبادل للإلكترونات التي تتشاركان بها. مثلاً، ذرة الفلور لها جذب قوى للإلكترون إضافي حتى تملأ القشرة الأخيرة المعبأة. وكما يبين الشكل 15.15. تستطيع ذرة الفلور الحصول على إلكترون إضافي بالإمسك بالإلكترون التّكافؤ غير المتزاوج من ذرة فلور أخرى.

الشكل 15.15

يمتد أثر الشحنة النووية الموجبة (الملونة بالظل الأحمر) لذرة الفلور إلى أبعد من القشرة المعبأة الأخيرة. يمكن أن تتسبب هذه الشحنة الموجبة في تجاذب بين ذرة الفلور والإلكترون غير المتزاوج في ذرة فلور مجاورة. ومن ثم تتماسك هاتان الذرتان في جزيء الفلور من خلال التجاذب الذي تتأثر كلتاهما به من خلال تشاركهما بالإلكترونين. وتحصل كل ذرة فلور على قشرة معبأة.



وينتج عن هذه الحالة أن تتبادل الجذب ذرتا الفلور للإلكترونين نفسيهما. يسمى هذا النوع من التجاذب الكهربائي الذي من خلاله تتماسك الذرات بواسطة التجاذب المتبادل للإلكترونات المشتركة **الرابطه التساهمية**. وبدل المقطع (Co) بالإنجليزية على التشارك. وكلمة valent على التكافؤ. لتصبح تشاركًا بالإلكترونات التكافؤ. (Covalence).

تسمى المادة التي تتكون من ذرات متماسكة معًا بروابط مشتركة مركبات مساهمة. إن الوحدة الأساسية لمعظم المركبات التساهمية المشتركة هي الجزيء. والذي يمكن تعريفه رسميًا على أنه مجموعة من الذرات التي ترتبط معًا بروابط تساهمية. يستخدم الشكل 16.15 عنصر الفلور لتوضيح هذا المبدأ. يستخدم الكيميائيون الخط المستقيم، عادة، للدلالة على ارتباط إلكترونين برابطة تساهمية عند كتابة التركيب البنائي لنقط الإلكترون للمركبات المساهمة. وفي بعض التمثيلات، تهمل أزواج الإلكترونات غير المرتبطة. ويحدث هذا في الحالات التي لا تقوم فيها هذه الإلكترونات بأي دور مهم في العملية المراد توضيحها. هنالك طريقتان تستخدمان عادة لتوضيح بناء الإلكترون التقطي لجزيء الفلور دون استخدام الكرات لتمثيل الذرات. هما:



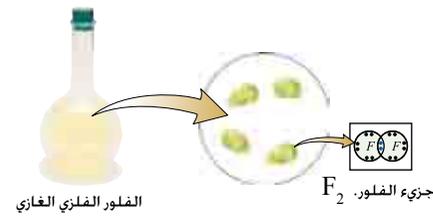
تذكر أن الخط المستقيم يمثل في الحالتين إلكترونين، واحد من كل ذرة. وعليه، فلدينا الآن نوعان من أزواج الإلكترونات لاقتفاء أثرهما. يشير مصطلح **الأزواج غير المرتبطة** إلى أي زوج من الإلكترونات موجود في تركيب الإلكترون التقطي للذرة المفردة. كما يشير مصطلح **الزوج المرتبط** إلى أي زوج ينتج عن رابطة تشاركية تساهمية. ينتج الزوج غير المرتبط عندما يكون أصل الإلكترونين هو الذرة نفسها. أمّا للزوج المرتبط فيأتي إلكترون واحد من ذرة تشترك في الرابطة التساهمية. في حين يأتي الإلكترون الآخر من ذرة أخرى تشترك في الرابطة التساهمية نفسها.

تذكر أن الرابطة الأيونية (الجزء 3.15) تنشأ عند توافر ذرة لها استعداد لفقدان إلكترون على اتصال مع ذرة أخرى عندها استعداد لاكتساب هذا الإلكترون. وفي المقابل، تتشكل الرابطة التساهمية عند اتصال ذرتين لدى كليهما الاستعداد لاكتساب إلكترونات إحداهما من الأخرى. وبشكل رئيس، إن الذرات التي تميل إلى تكوين روابط تساهمية هي ذرات لعناصر غير فلزية. في زاوية أعلى يمين الجدول الدوري (ما عدا عناصر الغازات النبيلة والتي هي مستقرة جدًا، ولا تميل إلى تكوين روابط).

يميل الهيدروجين إلى تكوين روابط تساهمية بشكل مغاير لعناصر المجموعة 1، لأن له جذبًا قويًا كافيًا لإلكترون إضافي. فمثلًا، ترتبط ذرات الهيدروجين برابطة تساهمية لتكوين جزيء الهيدروجين،  $H_2$ . كما هو مبين في الشكل 17.15.

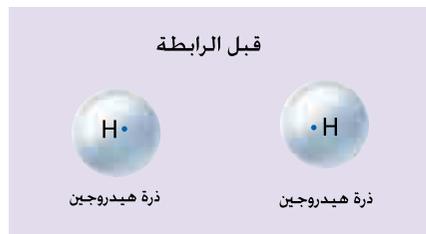
الشكل 17.15

تكوّن ذرتا الهيدروجين رابطة تساهمية عندما تشاركان بالإلكترونات غير المتزاوجة.



الشكل 16.15

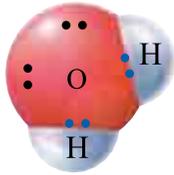
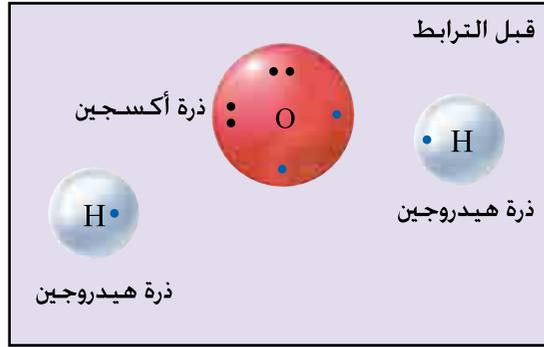
الجزيئات هي الوحدة الأساسية للمركب التساهمي الغازي الفلور  $F_2$ . لاحظ في نموذج جزيء الفلور هذا، أن الكرات تتداخل، في حين لا تتداخل الكرات التي بينت سابقًا للمركبات الأيونية. الآن، تعرف أن الفرق في الوصف يعزى إلى الفرق في أنواع الرابطة.



تكون رابطة تساهمية



تكون رابطة تساهمية

جزء الماء  $H_2O$ 

قبل الترابط

ذرة أكسجين

ذرة هيدروجين

ذرة هيدروجين

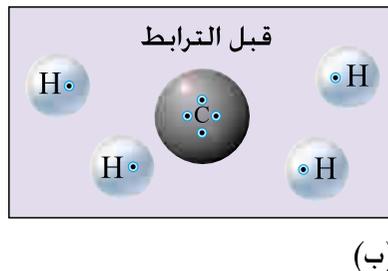
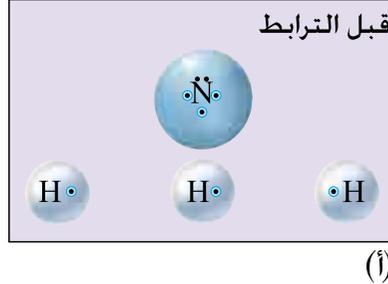
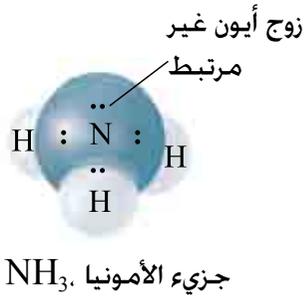
الشكل 18.15

يتزاوج إلكترونات التكافؤ غير المتزاوجين للأكسجين مع إلكترونات التكافؤ غير المتزاوجين لذرتي الهيدروجين لتكوين المركب التساهمي الماء.

يساوي عدد الروابط التساهمية التي تستطيع أن تكونها ذرة ما عدد الإلكترونات الإضافية التي تستطيع جذبها. وهو العدد اللازم لملء قشرة التكافؤ. يجذب الهيدروجين إلكترونًا إضافيًا واحدًا. وهكذا، فهو يكون رابطة تساهمية واحدة. الأكسجين، الذي يجذب إلكترونين إضافيين، يجدهما عندما يواجه ذرتي هيدروجين. ويتفاعل معهما لتكوين الماء  $H_2O$ . كما يبين الشكل 18.15. في الماء، لا تتمكن ذرة الأكسجين من الحصول على إلكترونين إضافيين بالترابط تساهميًا لذرتي هيدروجين فحسب، ولكن كل ذرة هيدروجين تحصل على إلكترون إضافي عند ارتباطها بذرة أكسجين. وهكذا، فإن كل ذرة تحصل على قشرة تكافؤ معبأة.

يجذب النيتروجين ثلاثة إلكترونات إضافية. لذا، فهو يشكل ثلاث روابط تساهمية. كما يحدث في الأمونيا،  $NH_3$ . وهذا مبيّن في الشكل 19.15. وبالمثل، تجذب ذرة الكربون أربعة إلكترونات إضافية. ولهذا، تستطيع تكوين أربع روابط تساهمية. كما يحدث في الميثان،  $CH_4$ . لاحظ أن عدد الروابط التساهمية المشكلة من هذه العناصر غير الفلزّية يساوي نوع الأيونات السالبة التي تميل إلى تكوينها (الشكل 6.15). وهذا منطقي؛ لأنّ تكوين كل من الرابطة التساهمية والأيون السالب تطبيقان للمفهوم نفسه: تميل الذرات غير الفلزّية إلى اكتساب إلكترونات حتى تملأ قشور تكافؤها.

إنّ الماس مركب تساهميّ بصورة غير عادية؛ فهو يتكون من أربع ذرات كربون مرتبطة تساهميًا الواحدة مع الأخرى في الاتجاهات الأربعة. والنتيجة بلورة تساهمية. وهي شبكة ذرات مرتبطة تساهميًا في ثلاثة أبعاد، عالية الترتيب. كما هو مبيّن في الشكل 20.15. تكون هذه الشبكة من ذرات الكربون تركيبًا صلبًا وقويًا جدًا. ولهذا يكون الماس صلبًا جدًا. وأيضًا، لأنّ الماس مكوّن من مجموعة ذرات متماسكة معًا بروابط تساهمية، فإنّها تصنّف على أنها جزيء مفرد. وعلى عكس معظم الجزيئات الأخرى، يكون جزيء الماس كبيرًا بما فيه الكفاية بحيث يرى بالعين المجردة. وهكذا فإنّ التسمية المناسبة له هي الجزيء الضخم.



الشكل 19.15

(أ) تجذب ذرة النيتروجين الثلاثة إلكترونات الثلاثة من ذرات الهيدروجين لتكوين الأمونيا،  $NH_3$ ، وهو غاز يمكن أن يذوب في الماء لتكوين منظف فاعل. (ب) تجذب ذرة الكربون الإلكترونات الأربعة في أربع ذرات هيدروجين لتكوين الميثان،  $CH_4$ ، المكون الرئيس للغاز الطبيعي. في هذه الحالات، وفي معظم حالات تشكل الرابطة التساهمية، تكون النتيجة غلاف تكافؤ معبأ بالذرات المرتبطة جميعها.



الشكل 20.15

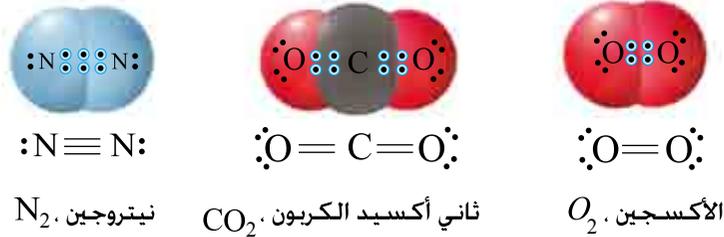
يوضح الشكل جمالية التركيب البلوري للماس، حيث تمثل العيدان الروابط التساهمية. تعدّ الطبيعة الجزيئية للماس السبب في الصلابة الشديدة له.

#### لمعلوماتك

■ اكتشف الفلكيون حديثاً جُماً ماساً. له نواة صلبة مصنوعة من الماس. يبلغ عرض هذا الماس ذي الحجم النجمي نحو 4000 كم. أي أنه يعادل 10 بلايين تريليون تريليون قيراط تقريباً. وقد سمّي "لوسي" بعد أغنية فرقة الخنافس "لوسي في السماء مع الماس". في غضون 7 بلايين سنة، فعلى الأغلب أنّ جُمننا الشمس، سيتبلور إلى كرة ماسية ضخمة.

الشكل 21.15

الرّابطة التساهميّة الثنائيّة في جزيء الأكسجين،  $O_2$ ، وثاني أكسيد الكربون،  $CO_2$  والرّابطة التساهميّة الثلاثيّة في جزيء النيتروجين  $N_2$ .



#### ■ 6.15 الرّوابط التساهميّة القطبيّة

إذا كانت ذرتا الرّابطة التساهميّة متماثلتين فإنّ لأنوبيتهما الشّحنة الموجبة نفسها، لذا، تتشاركان في الإلكترونات بالتساوي. ويمكننا تمثيل هذه الإلكترونات بوضعها في المركز وباستخدام تركيب نقط - الإلكترون بحيث تكون هذه الإلكترونات في المنتصف تماماً بين الرموز الذرية، أو يمكننا رسم غيمة بحيث

هناك إلكترونات لكل رابطة تساهمية دائماً. لذا، فالرابطة الثنائية تتكون من أربعة إلكترونات، أما الرابطة الثلاثية فتتكون من ستة إلكترونات.

ما عدد الإلكترونات التي تكون الرّابطة التساهميّة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

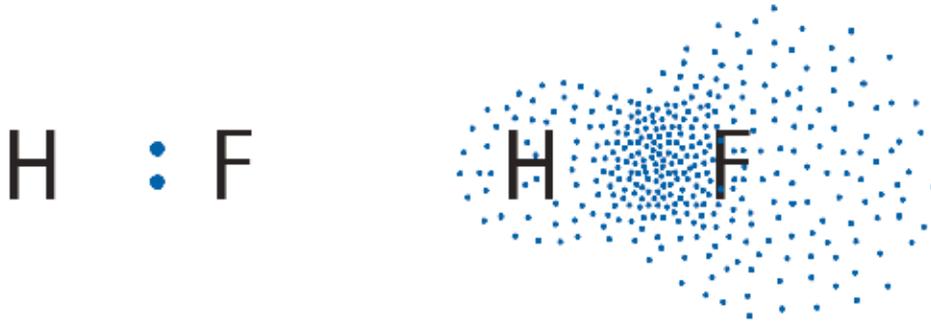
2 - 1 من كلّ ذرة مشاركة.

وهناك بعض الذّرات التي تكوّن روابط تساهمية ثلاثية؛ حيث تشترك ستة إلكترونات؛ ثلاثة إلكترونات من كلّ ذرة. ومن الأمثلة النيتروجين الجزيئي،  $N_2$ . يشار إلى أعلى الرّابطة المزدوجة أو الرّابطة الثلاثية على أنّها رابطة تساهمية متعددة، إنّ الرّوابط التساهميّة أعلى من هذه، مثل الرّابطة التساهميّة الرباعية. لا تُلاحظ عادة.

تظهر مواقع إلكترونات الربط مقابل الزمن كسلسلة من النقاط. وحيثما تكون النقاط أكثر تركيزاً، تكون احتمالية وجود الإلكترونات أعلى ما يمكن.



في الرابطة التساهمية بين الذرات غير المتماثلة، تكون الشحنات النووية مختلفة. ولهذا، قد تكون المشاركة في الإلكترونات غير متكافئة. وهذا ما يحدث في رابطة الهيدروجين - الفلور، حيث تنجذب الإلكترونات أكثر نحو شحنة الفلور الكبيرة:



تمكث إلكترونات الربط وقتاً أطول حول ذرة الفلور. ولهذا، يكون جانب الفلور من الرابطة سالباً قليلاً، وبسبب ابتعاد إلكترونات الربط عن ذرة الهيدروجين، يجعل ذلك جانب الهيدروجين من الرابطة موجباً قليلاً. يسمى فصل الشحنات هذا **الثنائقي (Dipole)**، الذي يمثّل بالرمز  $\delta^+$  أو  $\delta^-$  (نقرأ "سالب قليلاً" أو "موجب قليلاً" على الترتيب) أو بالسهم المصّلب الذي يشير إلى الجانب السالب من الرابطة:



وهكذا تنهمك الذرات المكونة للرابطة في صراع على الإلكترونات. لقد قيس مقدار قوة الذرة على امتلاك إلكترونات الربط تجريبياً، وسميت **السالبية الكهربائية (electronegativity)** للذرة. يكون مدى السالبية الكهربائية من 0.7 إلى 3.98 كما بين الشكل 22.15. وكلما كانت السالبية

الكهربائية للذرة أعلى، كانت مقدرتها على سحب الإلكترونات إلى جانبها أعلى عند تكوين رابطة. وهكذا، في فلوريد الهيدروجين، يكون للفلور سالبية كهربائية أعلى، أو قوة لسحب الإلكترونات أكثر منها للهيدروجين.

تكون السالبية الكهربائية كبيرة للعناصر في الجانب الأيمن العلوي من الجدول الدوري. في حين تكون قليلة للعناصر التي في الجانب الأيسر السفلي. لا تذكر الغازات النبيلة عند مناقشة السالبية الكهربائية لأنها نادراً ما تشارك في الربط الكيميائي. كما ذكر سابقاً.

H 2.2																		He -
Li 0.98	Be 1.57											B 2.04	C 2.55	N 3.04	O 3.44	F 3.98	Ne -	
Na 0.93	Mg 1.31											Al 1.61	Si 1.9	P 2.19	S 2.58	Cl 3.16	Ar -	
K 0.82	Ca 1.0	Sc 1.36	Ti 1.54	V 1.63	Cr 1.66	Mn 1.55	Fe 1.83	Co 1.88	Ni 1.91	Cu 1.90	Zn 1.65	Ga 1.81	Ge 2.01	As 2.18	Se 2.55	Br 2.96	Kr -	
Rb 0.82	Sr 0.95	Y 1.22	Zr 1.33	Nb 1.6	Mo 2.16	Tc 1.9	Ru 2.2	Rh 2.28	Pd 2.20	Ag 1.93	Cd 1.69	In 1.78	Sn 1.96	Sb 2.05	Te 2.1	I 2.66	Xe -	
Cs 0.79	Ba 0.89	La 1.10	Hf 1.3	Ta 1.5	W 2.36	Re 1.9	Os 2.2	Ir 2.20	Pt 2.8	Au 2.54	Hg 2.00	Tl 2.04	Pb 2.33	Bi 2.02	Po 2.0	At 2.2	Rn -	
Fr 0.7	Ra 0.9	Ac 1.1	Rf -	Db -	Sg -	Bh -	Hs -	Mt -	Uun -	Uuu -	Uub -							

عندما يكون للذرتين في الرابطة التساهمية سالبية كهربائية نفسها، فإنّ الثنائقي لا يتكون حينها (كما هو الحال في  $H_2$ ). وتصنّف الرابطة على أنّها رابطة غير قطبية (nonPolar). وعندما تختلف سالبية الكهرباء للذرات يمكن تكوّن الثنائقي (كما هو الحال في HF) عندئذٍ. وهنا تصنف الرابطة على أنّها رابطة قطبية (Polar). يعتمد مقدار قطبية الرابطة على الفرق بين قيمتي سالبية الكهرباء للذرتين؛ وكلما كان الفرق كبيراً زادت القطبية.

الشكل 22.15

السالبية الكهربائية المقاسة تجريبياً للعناصر.

في رابطة الفلور - الهيدروجين، يكون لأحد الأطراف كثافة إلكترونات أعلى. لذا، يكون سالباً قليلاً، أما الطرف الآخر فيكون موجباً قليلاً. ويشكل بذلك ثنائقي، وهو امتداد لاستقطاب الشحنة الكهربائية التي نوقشت في الفصل 8.

الثنائقي كمية متجهة لها مقدار واتجاه. عندما يتساوى ثنائقيان ويتعاكسان، فإن أحدهما يُلغى الآخر فعلياً.

## الفصل 15 كيف ترتبط الذرات؟ وكيف تتجاذب الجزيئات؟ 367

ويمكننا أن نقرأ من الشكل 22.15، كلما زاد البعد بين ذرتين في الجدول الدوري، زاد الفرق في سالبية الكهربية بينهما. وعليه، زادت قطبية الرابطة بينهما أيضًا. ولهذا، يستطيع الكيميائي التنبؤ بأيّ الروابط أكثر قطبية من غيرها دون قراءة سالبية الكهربية لهما. يمكن معرفة قطبية الرابطة بالنظر إلى المواقع النسبية للذرات في الجدول الدوري؛ كلما ابتعدتا إحداهما عن الآخر، وخصوصًا إذا كانت إحداهما في أسفل اليسار والأخرى في أعلى اليمين، زادت قطبية الرابطة بينهما.

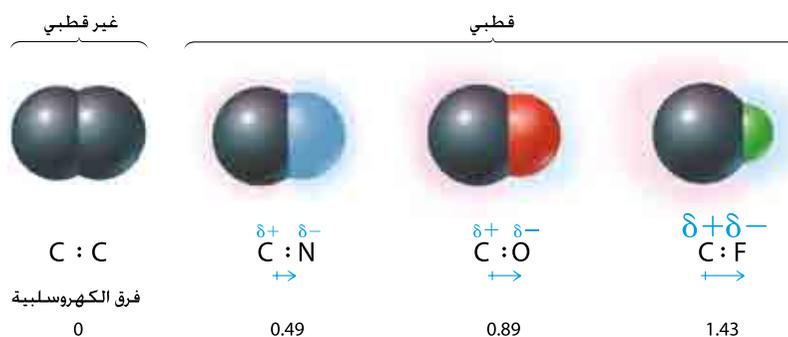
### ■ نقطة فحص

رتب الروابط التالية وفق زيادة القطبية  $\text{S—F}$ ،  $\text{P—F}$ ،  $\text{Ga—F}$ ،  $\text{Ge—F}$  (الذري 9، P، الفوسفور ذو العدد الذري 15، S، الكبريت ذو العدد الذري 16، Ga، الجاليوم ذو العدد الذري 31، Ge، الجيرمانيوم ذو العدد الذري 32): (الأقل قطبية)----- (الأكثر قطبية)

### هل كانت هذه إجابتك؟

إذا أحببت هذا السؤال، أو حاولت إجابهته دون قراءتك للجواب، فهذا جيد؛ فقد تعلمت أكثر من قراءتك للمقرر؛ لقد تعلمت العلوم الطبيعية. كلما زاد فرق سالبية الكهربية بين الذرات المرتبطة، زادت قطبية الرابطة. ولهذا فإن ترتيب زيادة القطبية هو  $\text{S—F} < \text{P—F} < \text{Ge—F} < \text{Ga—F}$ . لاحظ أنه يمكن الحصول على هذه الإجابة بالنظر إلى المواقع النسبية لهذه العناصر في الجدول الدوري، بدلًا من حساب الفرق في سالبية الكهربية بينهما.

يعبر عن مقدار قطبية الرابطة أحيانًا بطول السهم المصلب، أو بحجم الرمز  $\delta+$  و  $\delta-$  اللذين يستخدمان لتوضيح الشناقطيني، كما هو مبين في الشكل 23.15.



### الشكل 23.15

هذه الروابط مرتبة من اليسار إلى اليمين وفق تزايد القطبية، كما يستدل على ذلك من حجم السهم المصلب، وكذلك من حجم رمز  $\delta+$  /  $\delta-$ . أيّ هذه الأزواج أبعد في الجدول الدوري بعضها عن بعض؟

لاحظ أنه يمكن حساب فرق سالبية الكهربية بين الذرات في الرابطة الأيونية أيضًا. مثلًا، في رابطة كلوريد الصوديوم، فرق سالبية الكهربية هو 2.23، وهو أكبر كثيرًا من الفرق 1.43 المبين لرابطة  $\text{C—F}$ ، الموضحة في الشكل 23.15.

إنّ المهم هو الوصول إلى حقيقة عدم وجود حدّ فاصل واضح بين الروابط الأيونية والتساهمية. بل إنّ هناك تغيّرًا تدريجيًا من واحدة إلى أخرى، بحسب بعد الذرات بعضها عن بعض في الجدول الدوري. وهذا الاتصال موضح في الشكل 24.15. يكون للذرات على الجوانب المتعكسة من الجدول الدوري فرق كبير في سالبية الكهربية. ولهذا، تكون الروابط بينها عالية القطبية؛ أي أنها أيونية. ويكون للذرات غير الفلزية من النوع نفسه سالبية كهربية متماثلة، وهكذا تكون الروابط تساهمية غير قطبية. أمّا في الرابطة التساهمية القطبية فيكون توزيع الإلكترونات غير متساوٍ، وتكون الذرات مشحونة قليلًا، وتقع بين هذين الطرفين.



الشكل 24.15

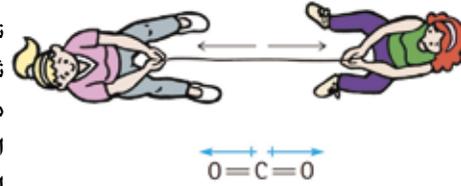
تمثل الرابطة الأيونية والتساهمية غير القطبية طرفي الرابطة الكيميائية. تتضمن الرابطة الأيونية انتقال إلكترون أو أكثر، في حين تتضمن الرابطة التساهمية غير القطبية التشارك المتساوي في الإلكترونات. أما خصائص الرابطة التساهمية القطبية فتقع بين هاتين الرابطين.

### 7.15 القطبية الجزيئية

عندما تكون الروابط جميعها في الجزيء غير قطبية، يكون الجزيء غير قطبي بالكامل؛ كحالة  $\text{H}_2, \text{O}_2, \text{N}_2$ . وعندما يتكون الجزيء من ذرتين فقط، وتكون الرابطة بينهما قطبية، يكون استقطاب الجزيء تمامًا كاستقطاب الرابطة. كما في  $\text{HF}$ ،  $\text{HCl}$ ، و  $\text{ClF}$ .

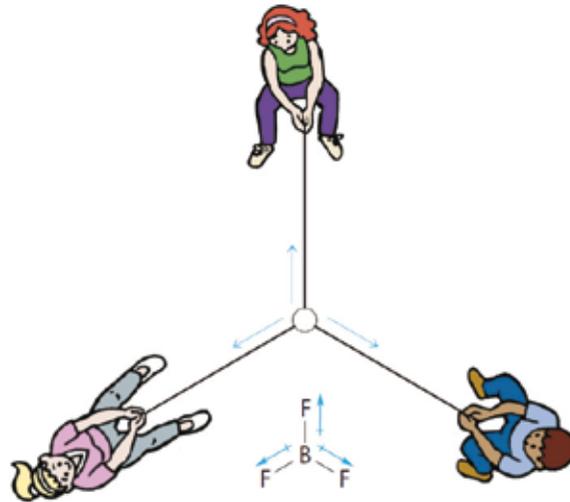
تنشأ الصعوبة عند تقييم القطبية في الجزيئات التي تحتوي على أكثر من ذرتين. خذ ثاني أكسيد الكربون  $\text{CO}_2$ ، المبين في الشكل 25.15. إنَّ المسبب للثناقلي في كلِّ من رابطة الكربون - أكسجين هو القدرة الكبيرة للأكسجين على سحب إلكترونات الرابطة (لأنَّ الأكسجين أكثر سالبية كهربائية من الكربون). وفي الوقت نفسه، فإنَّ الأكسجين على الجانب المعاكس الآخر لذرة الكربون يسحب هذه الإلكترونات ثانية إلى الكربون. وتكون المحصلة النهائية توزيعًا منتظمًا لإلكترونات الرابطة حول كامل الجزيء. وهكذا، فوجود ثنائيتين متساويتين في القيمة ويسحبان في اتجاهين متعاكسين عمليًا يلغي كلَّ منهما الآخر. وأخيرًا، يكون الجزيء ككلِّ غير قطبي.

يوضح الشكل 26.15 حالة مشابهة لثلاثي فلوريد البورون،  $\text{BF}_3$ ، الذي تشكل فيه ثلاث ذرات فلور زاوية  $120^\circ$  بعضها مع بعض حول ذرة البورون المركزية. ولأنَّ الزوايا جميعها متساوية، ولأنَّ كلَّ ذرة فلور تسحب إلكترون البورون، - فإنَّ لرابطة الفلور القوة نفسها، وتكون المحصلة النهائية لقطبية الجزيء صفرًا



الشكل 25.15

لا يوجد ثناقلي صاف لجزيء ثاني أكسيد الكربون. لذا، يكون الجزيء غير قطبي. وهذا يناظر شخصين يمارسان لعبة شدِّ الحبل. ما دام الشخصان يشدان بقوى متساوية ولكن في اتجاهات متعاكسة، فإنَّ الحبل يبقى ثابتًا.

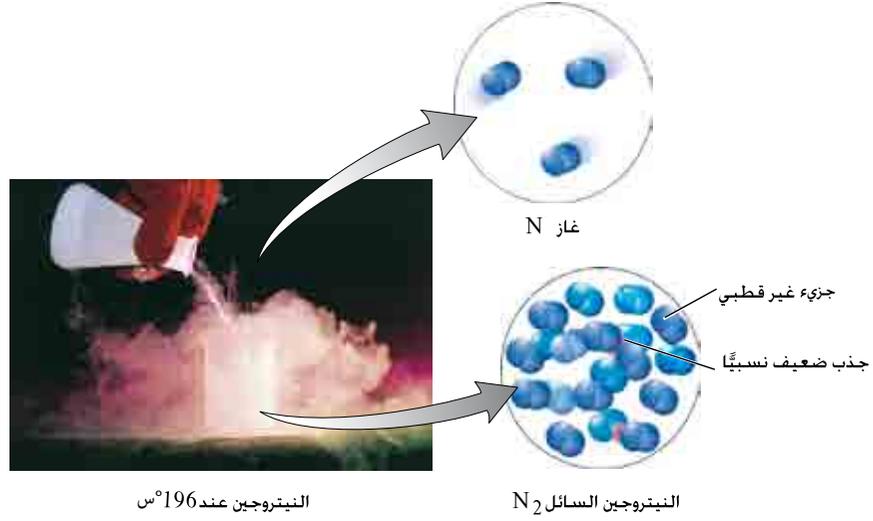


الشكل 26.15

تقابل الثناقليات الثلاث لثلاثي فلوريد البورون بعضها بعضًا بزواوية مقدارها  $120^\circ$ ، وهذا ما يجعل الجزيء كاملًا غير قطبي. كما أنَّ هذا يناظر ثلاثة أشخاص يسحبون حبلًا مربوطًا بحلقة مركزية بقوى متساوية. طالما بقي الثلاثة يسحبون الحبل المرتبط بحلقة مركزية وبقوى متساوية، وكلَّ منهم يحافظ على زاوية  $120^\circ$ ، فستبقى الحلقة ثابتة في مكانها.

الشكل 27.15

يكون النيتروجين سائلاً عند درجة غليانه الباردة جداً  $196^{\circ}\text{C}$ . لا تنجذب جزيئات النيتروجين بعضها إلى بعض لأنها غير قطبية. وعلى هذا، فإن كمية الحرارة القليلة المتوافرة عند درجة  $-196^{\circ}\text{C}$  تكفي لفصل بعضها عن بعض، وتسمح للنيتروجين بدخول الطور الغازي.



النيتروجين عند  $196^{\circ}\text{C}$

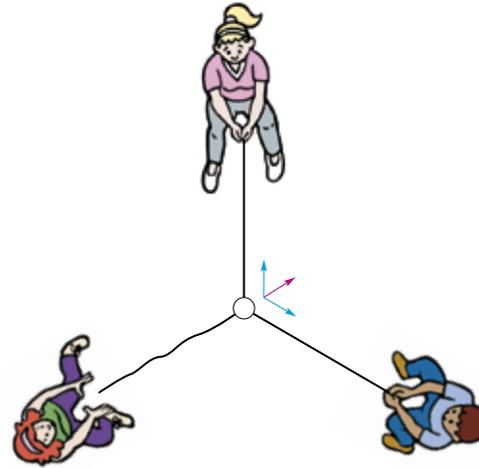
النيتروجين السائل  $\text{N}_2$

يكون هناك جذب ضعيف نسبياً من الجزيئات غير القطبية للجزيئات غير القطبية الأخرى. مثلاً، الروابط التساهمية في جزيء ثاني أكسيد الكربون أقوى عدة مرات من أي قوى جذب يمكن أن تحدث بين جزيئين متجاورين من ثاني أكسيد الكربون. يفسر غياب الجذب بين الجزيئات غير القطبية انخفاض درجات الغليان للعديد من المواد غير القطبية. تذكر من الجزء 2.14 أن الغليان هو عملية إبعاد جزيئات السائل عن بعضها عند تحويلها إلى الطور الغازي. وعندما يكون هناك جاذب ضعيف بين جزيئات السائل، فإننا نحتاج إلى حرارة تسخين أقل لفصل الجزيئات بعضها عن بعض، والسماح لها بدخول الطور الغازي. وهذا يعني أن درجة غليان السائل منخفضة نسبياً. ومثال هذا النيتروجين الجزيئي،  $\text{N}_2$ . المبين في الشكل 27.15. كذلك تكون درجات الغليان لكل من الهيدروجين ( $\text{H}_2$ )، والأكسجين ( $\text{O}_2$ )، وثاني أكسيد الكربون ( $\text{CO}_2$ )، وثلاثي فلوريد البورون ( $\text{BF}_3$ ) منخفضة جداً للسبب نفسه.

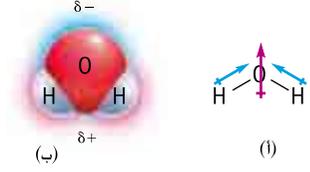
هناك الكثير من الحالات التي لا تستطيع ثنائيات الروابط المختلفة في الجزيء من إلغاء بعضها بعضاً. أنعم النظر في تناظر الجبل في الشكل 26.15. وما دام كان السحب متساوياً من الجميع فإن الحلقة تبقى مشدودة. ولكن، تخيل أن أحد الأشخاص بدأ يرخي حبله لتخفيف الشد قليلاً. عندئذٍ لا يكون السحب متزنًا، وتبدأ الحلقة في الابتعاد عن الشخص المترخي. كما في الشكل المبين 28.15. وبالمثل، إذا بدأ شخص يشد بقوة أكبر فإن الحلقة تبتعد عن الشخصين الآخرين.

الشكل 28.15

إذا تراخى شخص بالسحب، في حين استمر الآخرون به، فإن الحلقة تتحرك في اتجاه الشخص ذي اللباس الأرجواني.



تحدث الحالة نفسها في الجزيئات، حيث تكون الروابط القطبية التساهمية غير متساوية ومتعاكسة. ربما يكون المثال المناسب هو الماء  $H_2O$ ، حيث الرابطة التساهمية بين الهيدروجين والأكسجين لها ثنائياتية كبير نسبياً بسبب الفرق الكبير في السالبية الكهربائية. وبسبب الشكل المائل للجزيء، فإن الثنائياتيين المبيينين بالأزرق في الشكل 29.15، لا يلغى أحدهما الآخر كما تفعل أقطاب  $C-O$  في الشكل 25.15. وبدلاً من ذلك، فإن الثنائياتيين لجزيء الماء تعمل معاً لإكساب جزيء الماء ثنائياتية محصلاً كما هو مبين باللون الأرجواني.

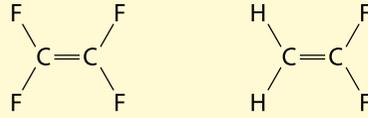


الشكل 29.15

(أ) تتجمع الثنائياتيين المفردة في جزيء الماء لتكون ثنائياتية كلياً كبيراً للجزيء، كما هو مبين بالأرجواني. (ب) لذا، تكون المنطقة حول ذرة الأكسجين سالبة قليلاً، والمنطقة حول ذرتي الهيدروجين موجبة قليلاً.

## نقطة فحص

أي هذه الجزيئات قطبيّة وأيّها غير قطبيّة؟



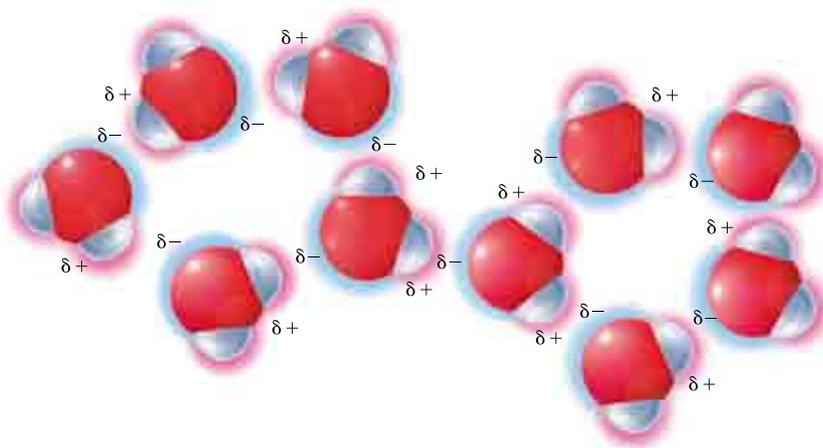
هل كانت هذه إجابتك؟

عادة ما يكون التماثل أعظم مفتاح لتحديد القطبية. وبسبب أن الجزيء الذي عن اليسار متمثل فإن الثنائياتيين على الجانبين يلغى أحدهما الآخر. ولهذا فإن الجزيء غير قطبي:



وبسبب أن الجزيء الذي عن اليمين أقل تماثلية (مائل إلى جانب) فإنه يكون جزيئاً قطبيّاً. ولأنّ الكربون أكثر سالبية كهربائية من الهيدروجين، فإنّ الثنائياتيين لذرتي الهيدروجين - كربون يكون في اتجاه الكربون. ولأنّ الفلور أكثر سالبية كهربائية من الكربون، فإنّ الثنائياتيين لروابط الكربون-فلور يكون في اتجاه الفلور. وبسبب اتجاه أسهم الثنائياتيين جميعها نحو الفلور، واتجاه معدل توزيع إلكترونات الرابطة، فإن جانب الجزيء يكون سالباً قليلاً عند الفلور، أمّا عند الهيدروجين فيكون جانب الجزيء موجباً قليلاً.

يوضح الشكل 30.15 كيفية الجذاب الجزيئات القطبية بعضها ببعض كهربائياً. بحيث يصعب فصلها. أي، يمكن التفكير في الجزيئات القطبية كأنها "لاصقة" ولهذا نحتاج إلى طاقة أكبر لفصلها عن بعضها - لتغيير الطور-. ولهذا، تكون درجات غليان المواد المكونة من جزيئات قطبية أعلى من درجة غليان المواد المكونة من جزيئات غير قطبية، كما هو مبين في الجدول 2.15.



الشكل 30.15

تجذب جزيئات الماء بعضها بعضاً؛ لأنّ كلّ جزيء يحتوي على جانب موجب قليلاً وجانب آخر سالب قليلاً. تتموضع الجزيئات بعضها بالنسبة إلى بعض بحيث يواجه الوجه الموجب لجزيء ما الوجه السالب للجزيء المجاور.

الجدول 2.15 درجات الغليان لبعض المواد القطبية والمواد غير القطبية

المادة	درجة الغليان (س°)
قطبية	
فلوريد الهيدروجين، HF	20
الماء، H <sub>2</sub> O	100
الأمونيا، NH <sub>3</sub>	-33
غير قطبية	
الهيدروجين، H <sub>2</sub>	-253
الأكسجين، O <sub>2</sub>	-183
النيتروجين، N <sub>2</sub>	-196
ثلاثي فلوريد البورون، BF <sub>3</sub>	-100
ثاني أكسيد الكربون، CO <sub>2</sub>	-79

يغلي الماء عند درجة 100° س. في حين يغلي ثاني أكسيد الكربون عند درجة -79° س. الفرق بين هاتين الدرجتين كبير. ويساوي 179° س إذا أخذنا في الحسبان أنّ كتلة جزيء ثاني أكسيد الكربون أكثر من ضعفي كتلة جزيء الماء.

وبسبب الدور الذي يقوم به التماسك الجزيئي في تحديد الخصائص الجاهرية للمواد. فإنّ مفهوم القطبية الجزيئية مفهوم مركزي في الكيمياء. والشكل 31.15 يصف مثالاً مناسباً.

### الشكل 31.15

يصعب خلط الزيت بالماء، كما يتضح من بقعة الزيت على شاطئ أسبانيا عام 2002، ليس بسبب تنافر جزيئات الماء والزيت، بل لأنّ جزيئات الماء تتجاذب معاً أكثر بسبب قطبيتها. وعليه، فإنّ جزيئات الزيت غير القطبية تُستثنى وتبقى وحدها. ولأنّ الزيت أقلّ كثافة، فإنه يطفو على السطح، حيث يُشكّل ذلك خطراً كبيراً على الطيور والحياة البرية الأخرى.



### 8.15 التجاذب الجزيئي

حتى الآن، علمنا أنّ ذرات الجزيء تتماسك معاً من خلال الرّوابط التّساهميّة. علاوة على ذلك، يسلك الجزيء سلوك وحدة أساسية، له جاذب كهربائيّ مع الجزيئات المجاورة. وكما ناقشنا في الجزء السابق.

كلّما زادت قطبيّة الجزيء، كبر جذبُه للجزيئات المجاورة. وهذا يفسر سبب ارتفاع درجة غليان الماء؛ لأنّ جزيئات الماء تتمتع بقطبيّة عالية، وينجذب بعضها إلى بعض بقوة ولهذا، تتطلب طاقة كبيرة لفصل الجزيئات بعضها عن بعض حتى تتحول إلى الطّور الغازي. في هذا الجزء، سنتعمق في دراسة كيفية معرفة الخصائص الفيزيائية للمواد، مثل درجة الغليان، من خلال معرفة قطبيّة الجزيئات. بالإضافة إلى دراسة الجذب بين الجزيئات في مادة واحدة، كما سندرس الجذب بين الوحدات الأساسية للمواد كجزيئات الماء والملح. كما يبين الجدول 3.15، هناك أربعة أنواع من الجذب الكهربائي بين الجزيئات. وأنّ شدة أقوى نوع من هذه التّجاذبات هي أضعف كثيرًا من الرّابطة الكيميائية. إنّ الجذب بين جزيئي ماء متجاورين، مثلًا، يساوي من قوة الرّوابط الكيميائية التي تربط ذرتي الأكسجين والهيدروجين معًا في جزيء الماء. وعلى الرّغم من أنّ جذب الجزيء - الجزيء ضعيف نسبيًا، إلّا أنه إشارة مهمة جدًّا على الخصائص الفيزيائية للمواد.

في الجزء الأول من هذا الفصل، تحدثنا عن كيفية تشكّل الجزيئات. وسنرى الآن كيفية اختلاطها معًا.

الجدول 3.15 الجذب الكهربائي بين الجزيء والجزيء المجاور

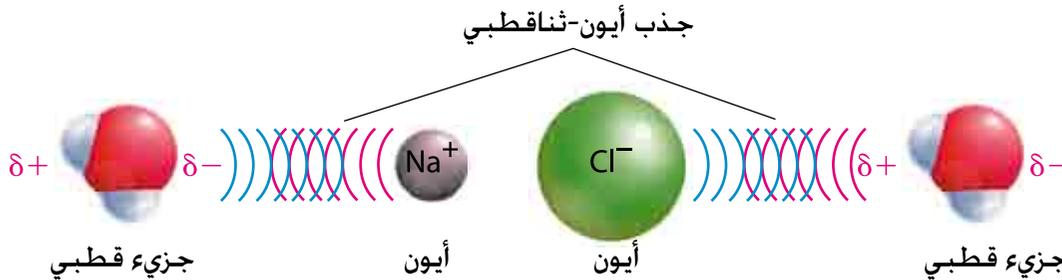
الجذب	القوة النسبيّة
الأيون - ثنائي قطبيّ	الأقوى
ثنائي قطبيّ - ثنائي قطبيّ	
ثنائي قطبيّ - ثنائي قطبيّ مستحثّ	
ثنائي قطبيّ مستحثّ - ثنائي قطبيّ مستحثّ	الأضعف

### الأيونات والثنائيات

تذكر من الجزء 7.15 أنّ الجزيء القطبيّ هو ذلك الجزيء الذي تكون إلكترونات الربط فيه موزعة دون تماثل. يحمل أحد جوانب الجزيء شحنة سالبة صغيرة، ويحمل الجانب المعاكس شحنة موجبة صغيرة. إنّ هاتين الشحنتين المتباعدتين تشكّلان الثنائيات.

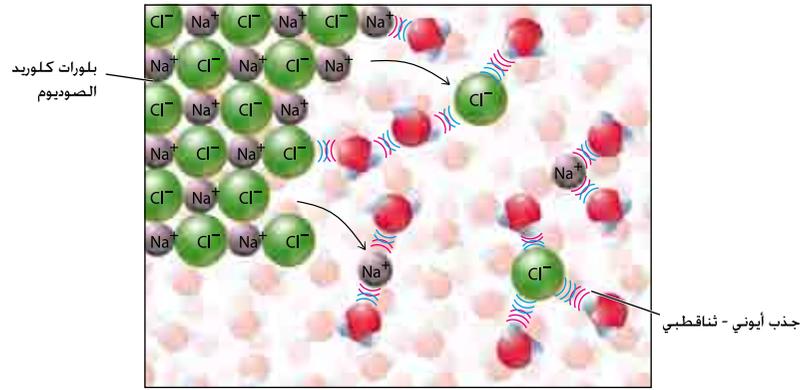
إذن، ماذا يحدث للجزيئات القطبيّة، مثل جزيئات الماء، عندما تكون بجانب مركب أيوني، مثل كلوريد الصوديوم؟ إنّ الشّحنات المختلفة تجذب الواحدة الأخرى. فيجذب أيون الصوديوم الموجب الجانب السالب من جزيء الماء، ويجذب أيون الكلور السالب الجانب الموجب من جزيء الماء. وهذه الظاهرة موضّحة في الشكل 32.15. يسمّى هذا التّجاذب بين الأيون والثنائي قطبيّ جزيء قطبيّ جاذب أيون - ثنائي قطبيّ. إنّ جاذب الأيون - ثنائي قطبيّ هو أضعف كثيرًا من الرّوابط الأيونية، ولكن تضافر عدد كبير من جاذبات الأيون - ثنائي قطبيّ يفتت الرّوابط الأيونية. هذا ما يحدث لكلوريد الصوديوم في الماء. تحطم التّجاذبات الناجمة عن جزيئات الماء الرّوابط الأيونية، وتسحب الأيونات بعيدًا بعضها عن بعض. يمثل الشكل 33.15، محلول كلوريد الصوديوم في الماء. (يسمّى المحلول في الماء المحلول المائيّ.)

الشكل 32.15



تظهر التّجاذبات الكهربائية كسلسلة من الأقواس المتداخلة. يشير القوس الأزرق إلى الشّحنة السالبة، في حين يشير القوس الأحمر إلى الشّحنة الموجبة.

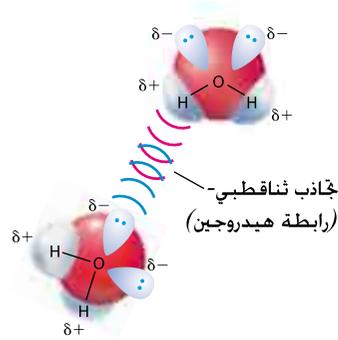
يسمى الجذب بين جزيئين قطبيين الجذب الثنائي قطبي - الثنائي قطبي. يكون جاذب الثنائي قطبي - الثنائي قطبي قويًا بشكل غير عادي في الرّابطة الهيدروجينية (*Hydrogen Bond*). يحدث هذا التّجاذب بين الجزيئات التي تربط تساهميًا فيها ذرة الهيدروجين مع ذرة لها سالبة كهربائية عالية.



محلول مائي من كلوريد الصوديوم

الشكل 33.15

تتفصل أيونات الصوديوم عن أيونات الكلور المرتبطة بقوة معاً في شبكة البلورة بالجذب الجمعي (الكلبي) من العديد من جزيئات الماء لتشكيل محلول مائي من كلوريد الصوديوم



الشكل 34.15

إنَّ جذب الثنائي قطبي بين جزيئات الماء هو رابطة هيدروجين؛ لأنه يتضمن ارتباط ذرات هيدروجين بذرات الأكسجين ذات سالبية كهربية مرتفعة.

عادة النيتروجين أو الأكسجين أو الفلور. تذكر من الجزء 6.15 أنَّ السالبية الكهربائية للذرة هي وصف لقدرة الذرة على سحب إلكترونات الربط نحوها. كلما زادت السالبية الكهربائية للذرة كانت قدرتها أفضل لاكتساب إلكترونات. لذا تزداد شحنتها السالبة.

انظر إلى الشكل 34.15 لمعرفة كيفية عمل الرابطة الهيدروجينية. إنَّ جانب الهيدروجين من الجزيء المستقطب (الماء في هذه الحالة) له شحنة موجبة؛ لأنَّ السالبية الكهربائية للأكسجين عالية. ويسحب بقوة إلكترونات الرابطة التساهمية. لذا، يجذب الهيدروجين إلى زوج من الإلكترونات غير المرتبطة على الذرة السالبة الشحنة لجزيء آخر (في هذه الحالة، جزيء ماء آخر). إنَّ هذا الجذب المتبادل بين الهيدروجين والذرة السالبة الشحنة لجزيء آخر هو الرابطة الهيدروجينية.

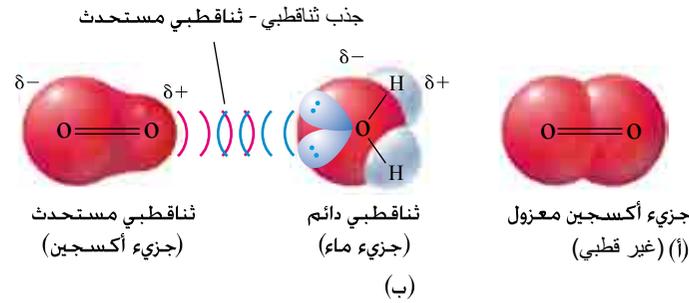
ومع أنَّ الرابطة الهيدروجينية أضعف كثيراً من الرابطين الأيونية أو التساهمية، فإنَّ آثار الروابط الهيدروجينية تكون واضحة جداً. مثلاً، يعزى العديد من خصائص الماء إلى الروابط الهيدروجينية. كما أنَّ الرابطة الهيدروجينية مهمة جداً في كيمياء الجزيئات الكبيرة، مثل الـ DNA. والبروتينات التي توجد في الكائنات الحية.

الثنائي قطبي المستحث (Induced Dipole)

تتوزع الإلكترونات بانتظام في العديد من الجزيئات. وفي هذه الحالة لا يوجد ثنائي قطبي. جزيء الأكسجين،  $O_2$ . كمثل. يمكن أن يستحث هذا الجزيء غير القطبي ليصبح ثنائي قطبياً مؤقتاً بتقريبه من جزيء ماء (أي جزيء قطبي)، كما يوضح الشكل 33.15. إنَّ الجانب ذا السالبية الكهربائية الضعيفة من جزيء الماء يدفع الإلكترونات في جزيء الأكسجين بعيداً. وهكذا تدفع إلكترونات جزيء الأكسجين إلى الجانب الأبعد من جزيء الماء. وتكون النتيجة توزيعاً غير منتظم مؤقتاً للإلكترونات. وهذا ما يُطلق عليه الثنائي قطبي المستحث. إنَّ الجذب الناتج بين الثنائي قطبي الدائم (الماء) والثنائي قطبي المستحث (الأكسجين) هو جذب ثنائي قطبي - ثنائي قطبي مستحث.

الشكل 35.15

(أ) لا يوجد لجزيء الأكسجين المعزول ثنائي قطبي؛ حيث تتوزع إلكتروناته بالتساوي. (ب) يستحث جزيء الماء المجاور إعادة توزيع الإلكترونات في جزيء الأكسجين. (يظهر الجانب السالب قليلاً من جزيء الأكسجين أكبر من الجزء الموجب قليلاً؛ لأنَّ الجزء السالب قليلاً يحتوي على إلكترونات أكثر).

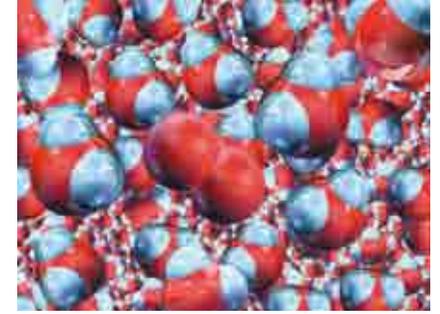


## ■ نقطة فحص

كيف يتغير التوزيع الإلكتروني في جزيء الأكسجين عندما يكون جانب الهيدروجين في جزيء الماء بالجوار؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لأن جانب الهيدروجين من جزيء الماء موجب الشحنة قليلاً، تسحب الإلكترونات في جزيء الأكسجين نحو جزيء الماء، مستحثةً جزيء الأكسجين لثناقليبي مؤقت حيث يكون الجانب الأكبر بالقرب من جزيء الماء (بدلاً من أن يكون بعيداً ما أمكن، كما كان في الشكل 35.15).



الشكل 36.15

يكون التجاذب الكهربائي بين جزيئات كل من الماء والأكسجين ضعيفاً نسبياً، وهذا يفسر عدم ذوبان الأكسجين بشكل كبير في الماء. مثلاً، الماء المليء بالهواء عند درجة حرارة الغرفة يحتوي على نحو جزيء من الأكسجين لكل 200,000 جزيء ماء. وعليه، تكون خياشيم السمك ذات فاعلية عالية في استخلاص الأكسجين الجزيئي من الماء.

تذكر أنّ الثناقليبي المستحث هو مؤقت فقط . وإذا أبعد جزيء الماء من الشكل 35.15، فسيرجع جزيء الأكسجين إلى وضعه الطبيعي؛ حالة ثناقليبي غير مستقطب. أي أنّ جذب الثناقليبي - المستحث أضعف من تجاذب الثناقليبي - الثناقليبي. ولكن جذب الثناقليبي - الثناقليبي المستحث قوي بما فيه الكفاية لجعل كميات قليلة من الأكسجين تذوب في الماء، كما هو مبين في الشكل 36.15. يحدث هذا التجاذب بين الماء والأكسجين المذاب في الماء.

يكون جذب الثناقليبي - الثناقليبي المستحث مسؤولاً عن حفظ غلاف البلاستيك للزجاج كما في الشكل 37.15. تصنع العلف جزيئات غير قطبية طويلة. تستحث ليصبح لها ثناقليبيات عندما توضع على اتصال مع الزجاج الذي له قطبية عالية. وكما سنناقش لاحقاً، فإنّ جزيئات المواد غير المستقطبة، مثل علف البلاستيك، يمكنها حثّ ثناقليبي بينها. وهذا يفسر سبب إلصاق غلاف البلاستيك ليس للمواد المستقطبة مثل الزجاج فقط، ولكن مع بعضها بعضاً.

## ■ نقطة فحص

ميز بين جذب الثناقليبي - الثناقليبي من جهة، وجذب الثناقليبي - الثناقليبي المستحث من جهة أخرى؟

هل كانت هذه إجابتك؟

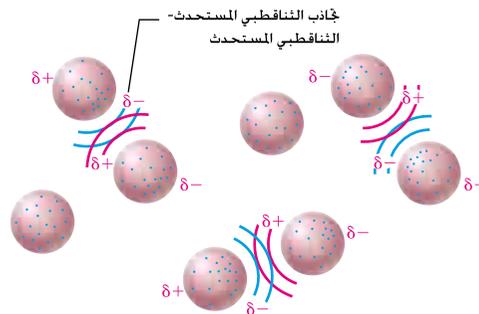
يكون جذب الثناقليبي - الثناقليبي أقوى، ويتعلق بثناقليبين دائمين. إنّ جذب الثناقليبي - الثناقليبي المستحث أضعف، ويرتبط بثناقليبي دائم وآخر مؤقت.



الشكل 37.15

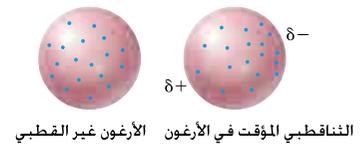
الثناقليبيات المؤقتة المستحثة في الجزيئات التي عادة ما تكون غير قطبية في غلاف البلاستيك يجعلها تلتصق بالزجاج.

يكون للذرات الفردية والجزيئات غير المستقطبة في المعدل تقريباً توزيع إلكترونات منتظم. ولكن بسبب حركة الإلكترونات العشوائية، يمكن أن تتكون الإلكترونات إلى جانب معين في لحظة معينة للجزيء غير القطبي. ينتج هذا الوضع ثناقليبياً مؤقتاً، كما هو مبين في الشكل 38.15. وكما أنّ الثناقليبي الدائم لجزيء قطبي يستطيع إحداث ثناقليبي مستحث في جزيء غير قطبي، فإنّ الثناقليبي المؤقت يستطيع أن يفعل الشيء نفسه. وهذا يؤدي إلى جذب ضعيف نسبياً من نوع الثناقليبي المستحث - ثناقليبي مستحث، كما هو موضح في الشكل 39.15.



الشكل 39.15

بسبب أنّ توزيع الإلكترونات المتساوي في العادة للذرات يصبح توزيعاً غير متساوٍ لحظياً، فإنّ الذرات تتجاذب مع بعضها بالثناقليبي المستحث - الثناقليبي المستحث.

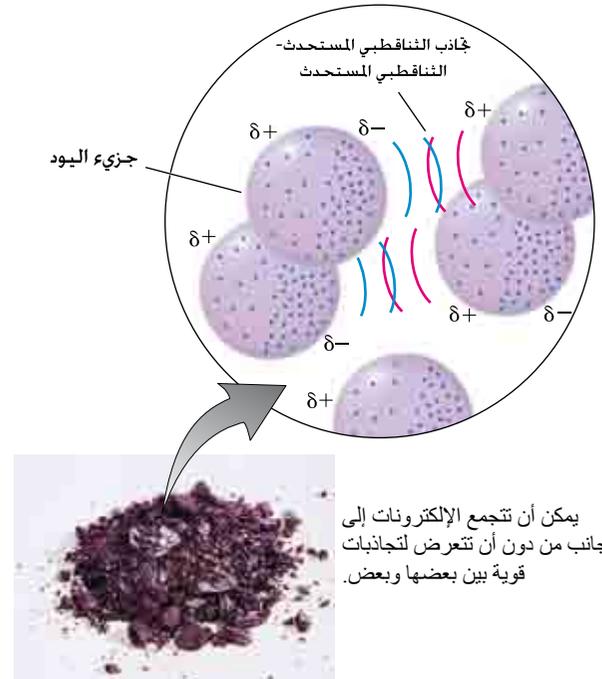


الشكل 38.15

يكون التوزيع الإلكتروني للذرة عادة متساوياً عند أي لحظة، ويكون التوزيع فيه غير متساوٍ، وينتج ثناقليبياً مؤقتاً.



(ب) غاز الفلور،  $F_2$ ، عند درجة حرارة الغرفة



(أ) اليود  $I_2$ ، صلب عند درجة حرارة الغرفة

#### الشكل 40.15

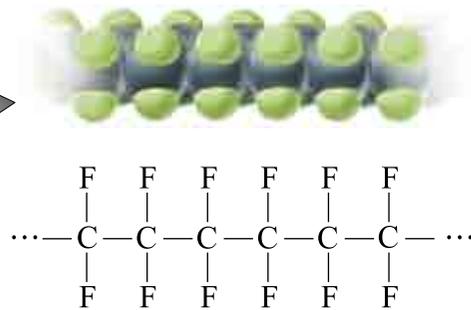
(أ) يسهل تشكيل الشناقبيات المؤقتة في الذرات الكبيرة، مثل جزيئات اليود بسبب تجمع الإلكترونات في أحد الجوانب، وتكون متباعدة نسبيًا، ولا تتنافر بالقوة الكهربائية. (ب) في الذرات الصغيرة مثل جزيئات الفلور، لا تستطيع الإلكترونات التجمع في أحد الجوانب بسهولة بسبب تزايد قوة التنافر الكهربائية عندما تقترب الإلكترونات بعضها من بعض.

إنّ الإلكترونات تتنافر مع الإلكترونات. وهذا يعني أنّ هناك مقاومة لاجتماعهما معًا على جانب واحد من الذرة. ولكن في الذرات الكبيرة، جُذ الإلكترونات بسهولة في التجمع على جانب واحد. وللتشبيه: خذ سفينة تطوف في البحر. وعلى متنها 10 مسافرين. ولأنّ السفينة كبيرة فمن السهولة أن يتجمع المسافرون على أحد الجوانب. ولكن لو كان هؤلاء على مركب جثة صغير، لوجدوا من الضرورة أن يبعدوا بين أنفسهم بانتظام قدر الإمكان. خنثية انقلاب المركب بهم. وبطريقة منسابة، فإنّ من السهل على الذرات الكبيرة تكوين ثناقبيات مؤقتة من الذرات الصغيرة. كما هو موضح في الشكل 40.15. وهكذا، فإنّ الذرات الكبيرة- والجزيئات المكونة من ذرات كبيرة لها أقوى جذب ثناقطي مستحث- ثناقطي مستحث. أي أنّ الإلكترونات تكون أكثر "التصاقًا". يكون جزيء اليود،  $I_2$ ، مثلاً أكثر التصاقاً من جزيء الفلور،  $F_2$ . وهذا يفسر سبب صلابة اليود عند درجة حرارة الغرفة، في حين يكون الفلور غازًا. مع أنّ كليهما من المواد غير المستقطبة.

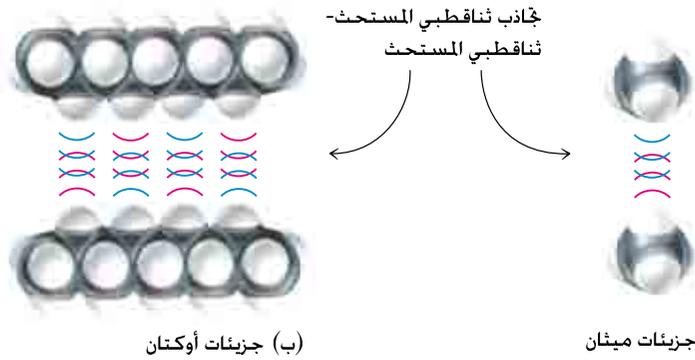
الفلور من أصغر الذرات، وتمتلك الجزيئات غير المستقطبة المصنوعة من ذرات الفلور جذبًا ثناقطيًا مستحثًا - ثناقطيًا مستحثًا ضعيفًا جدًا. وبسبب هذا المبدأ، يكون سطح التفلون غير لاصق. تتكون جزيئات التفلون - المين جزء منها في الشكل 41.15 - من سلسلة طويلة من ذرات الكربون مرتبطة كيميائيًا مع ذرات الفلور. ولهذا لا تؤثر هذه الذرات بأيّ جذب ملموس في أيّ مادة على تواصل مع سطح التفلون؛ ومثال هذا البيض المحفوق في مقلاة.

#### الشكل 41.15

تلتصق أشياء قليلة بالتفلون بسبب وجود نسبة عالية من ذرات الفلور فيه. يوضح التركيب المين هنا جزءًا فقط من الطول الكلي للجزيء.



## الشكل 42.15



(أ) يتجاذب جزيئان من الميثان غير القطبي معًا عن طريق جذب الثناقطبي المستحث - الثناقطبي المستحث، ولكن بتجاذب واحد لكل جزيء فقط. (ب) يشبه جزيئان من الأوكتان جزيئين من الميثان، ولكنها أطول. لذا يكون عدد تجاذبات الثناقطبي المستحث- الثناقطبي المستحث بين جزيئين من الأوكتان أكبر.

## نقطة فحص

ما الفرق بين التجاذب الثناقطبي- الثناقطبي المستحث " وجاذب " الثناقطبي المستحث - الثناقطبي المستحث؟

## هل كانت هذه إجابتك؟

إنَّ جاذب " الثناقطبي - ثناقطبي المستحث " هو أقوى. ويتضمن ثناقطبيًا دائمةً وثنناقطبيًا مؤقتًا آخر. في حين يكون جاذب " الثناقطبي المستحث - الثناقطبي المستحث " أضعف. ويتضمن ثنائي قطبين مؤقتين.

يساعدنا جذب الثناقطبي المستحث - الثناقطبي المستحث على تفسير سبب أنَّ الغاز الطبيعي غاز عند درجة حرارة الغرفة. أمَّا البنزين فيكون سائلًا. إنَّ المكوّن الرئيسي للغاز الطبيعي هو الميثان  $CH_4$ . في حين أنَّ المكوّن الأساس للبنزين هو الأوكتان  $C_8H_{18}$ . ويمكن أن نرى من الشكل 42.15 أنَّ عدد التجاذبات " الثناقطبي المستحث - الثناقطبي المستحث " بين جزيئين من الأوكتان أقل كثيرًا من عدد التجاذبات بين جزيئين من الميثان. لقد سبق أن عرفت أنَّ قطعتين صغيرتين من رابطة البلاستيك\* يمكن فصلهما أسهل من الأربطة الطويلة. ويكون جزيء الميثان مثل الأربطة القصيرة. يمكن فصل بعضها عن بعض بقليل من الجهد. ولهذا تكون درجة غليان الميثان منخفضة. (-161°س) وهو غاز على درجة حرارة الغرفة. إنَّ جزيء الأوكتان كحزام البلاستيك الطويل. يصعب فصلهما نسبيًا بسبب كبر عدد جذب الثناقطبي المستحث - الثناقطبي المستحث، وتكون نقطة الغليان للأوكتان 125°س. أعلى كثيرًا من تلك التي للميثان. كما يكون الأوكتان سائلًا عند درجة حرارة الغرفة. (تؤدي كتلة الأوكتان الكبيرة دورًا في جعل درجة الغليان عالية).

إنَّ جذب الثناقطبي المستحث - الثناقطبي المستحث. والمعروف بقوى التعلق. يمكنه تفسير كيفية تسلق أبي بريص جدار الزجاج. ودعم وزن جسمه كاملاً بإصبع رجلٍ واحدة فقط. تكون قدم أبي بريص مغطاة ببلايين الشعيرات دون المجهرية تسمى الملقوق. ويبلغ سمك الواحدة منها نحو  $\frac{1}{300}$  من سمك شعرة الإنسان. إنَّ قوى الجذب بين هذه الشعيرات والحائط هو جذب الثناقطبي المستحث- الثناقطبي المستحث الضعيف. ولكن بسبب العدد الضخم جدًّا لهذه الشعيرات. فإنَّ قوى التلاصق تكون كبيرة. أو أنَّ قوى الجذب الكلية تكون كافية لمنع من السقوط (الشكل 43.15). وهناك بحوث جري حاليًا لتطوير غراء صناعي جاف مبني على التصاق أبي بريص.



## الشكل 43.15

## نقطة فحص

الميثانول  $CH_3OH$  والذي يمكن استخدامه كوقود. ليس أكبر كثيرًا من الميثان.  $CH_4$ . ولكنه سائل عند درجة حرارة الغرفة. ما السبب برأيك؟

## هل كانت هذه إجابتك؟

إنَّ الرابطة التساهمية القطبية بين الأكسجين - الهيدروجين في كل جزيء ميثانول تؤدي إلى رابطة هيدروجينية بين الجزيئات. تكون هذه تفاعلات جذب بينية قوية نسبيًا. وتمسك جزيئات الميثانول معًا كسائل عند درجة حرارة الغرفة.

إذا كانت قدم ( أبو بريص ) لاصقًا قويًا، فكيف يحتفظ بأقدامه نظيفة؟ الجواب: لأنَّ قدمه غير قطبية تمامًا. يمكن للوسخ أن يلتصق بها لبرهة، ولكن بعد عدة خطوات، يلتصق الوسخ بكمية أكبر على السطح الذي يمشي عليه. وبالطبع، هناك سطح واحد على الأقل يجد صعوبة في التسلق عليه؛ إنَّه التفلون.

## ملخص المصطلحات

تتشارك فيها.  
 المركب التساهمي **Covalent compound**: عنصر أو مركب كيميائي تتماسك الذرات بالروابط التساهمية.  
 الجزيء **Molecule**: مجموعة من الذرات تتماسك بشدة معاً بالروابط التساهمية.  
 الثنائي القطبي **Dipole**: انفصال في الشحنة يحدث في الرابطة الكيميائية بسبب الفرق في السالبية الكهربائية للذرات المرتبطة.  
 السالبية الكهربائية **Electronegativity**: مقدرة الذرة على جذب الزوج المرتبط من الإلكترونات إلى نفسها عندما ترتبط بذرة أخرى.  
 غير قطبي **Nonpolar**: خاصية للرابطة الكيميائية التي لا يوجد لها ثنائي قطبي.  
 قطبي **Polar**: خاصية للرابطة الكيميائية التي لها ثنائي قطبي.  
 الرابطة الهيدروجينية **Hydrogen bond**: جاذب ثنائي قطبي – ثنائي قطبي قوى بين ذرة هيدروجين مشحون قليلاً بشحنة موجبة لجزيء وزوج من الإلكترونات غير المرتبطة لجزيء آخر.  
 الثنائي القطبي المستحث **Induced dipolar**: ثنائي قطبي صنع مرحلياً في جزيء كان غير قطبي. مستحث من شحنة مجاورة.

قشرة التكافؤ **Valence shell**: القشرة الخارجية الأخيرة المعبأة في الذرة.  
 تركيب الإلكترون النقطي **Electron-dot structure**: ترميز مختصر لنموذج القشرة للذرة. والذي يبين إلكترونات التكافؤ حول الرمز الذري.  
 الأزواج غير المرتبطة **Nonbonding pairs**: تزاوج اثنين من إلكترونات التكافؤ التي لا تميل إلى الاشتراك في رابطة كيميائية.  
 الأيون **Ion**: جسيم مشحون كهربائياً يتكون عندما تفقد ذرة أو تكسب واحداً أو أكثر من إلكتروناتها.  
 أيون متعدد الذرات **polyatomic ion**: جزيء أيوني مشحون.  
 الرابطة الأيونية **Ionic bond**: رابطة كيميائية حيث تمسك قوة الجذب الكهربائي الأيونات ذات الشحنات المتعاكسة معاً.  
 المركب الأيوني **Ionic Compound**: أي مركب كيميائي يحتوي على أيونات.  
 الرابطة الفلزية **Metallic bond**: رابطة كيميائية تكون فيها أيونات الفلز الموجبة الشحنة متماسكة معاً ضمن "المنع".  
 السبيكة **Alloy**: خليط من عنصرين أو أكثر من العناصر الفلزية.  
 الرابطة التساهمية **Covalent bond**: رابطة كيميائية تمسك الذرات معاً بالجذب المتبادل لإلكترونين أو أكثر من الإلكترونات التي

## أسئلة مراجعة

### 1.15 تركيب الإلكترون النقطي

1. ما عدد الإلكترونات التي يمكن وضعها في القشرة الأولى؟ وما العدد في القشرة الثانية؟
2. أيّ الإلكترونات تتمثل بتركيب الإلكترون النقطي؟
3. كيف تقارن تراكيب الإلكترون النقطي للعناصر في المجموعة نفسها من الجدول الدوري بعضها ببعض؟
4. ما عدد الأزواج غير المرتبطة في غلاف التكافؤ لذرة الأكسجين؟ ما عدد إلكترونات التكافؤ غير المتزاوجة؟

### 2.15 تكوين الأيونات

5. كيف يختلف الأيون عن الذرة؟
6. هل تفقد الذرة إلكترونات أم تكتسبها لتصبح أيوناً سالباً؟
7. لماذا تميل ذرة الفلور إلى اكتساب إلكترون واحد فقط؟
8. ماذا تفقد الجزيئات أو تكتسب حتى تصبح أيونات متعددة الذرات؟

### 3.15 الروابط الأيونية

9. أيّ العناصر تميل إلى تكوين روابط أيونية؟
10. ما الشحنة الكهربائية لأيون الكالسيوم في كلوريد الكالسيوم،  $\text{CaCl}_2$ ؟
11. افترض أنّ ذرة الأكسجين تكتسب إلكترونين حتى تصبح أيون

أكسجين. فما شحنتها الكهربائية ؟  
 12. ما البلورة الإلكترونية؟

### 4.15 الروابط الفلزية

13. ما الأسهل على الفلزات: اكتساب الإلكترونات أم فقدها؟
14. ما السبيكة؟
15. ما الفلز الطبيعي؟

### 5.15 الروابط التساهمية

16. أيّ العناصر تميل إلى تكوين الروابط التساهمية؟
17. ما عدد الإلكترونات المشتركة في الرابطة التساهمية الثنائية؟
18. ما عدد الروابط التساهمية التي تستطيع ذرة الأكسجين تكوينها؟

### 6.15 الروابط التساهمية القطبية

19. ما الثنائي قطبي؟
20. أيّ العناصر في الجدول الدوري له أكبر سالبية كهربائية؟ ما العنصر الأقل سالبية كهربائية؟
21. أيّ الرابطين أكثر قطبية: الكربون – أكسجين أم الكربون – نيتروجين؟

## 7.15 القطبية الجزيئية

22. كيف يمكن أن يكون الجزيء غير قطبي عندما يتكون من ذرات لها سالبية كهربائية مختلفة؟
23. لماذا تغلي المواد غير القطبية عند درجات حرارة منخفضة نسبيًا؟
24. أي الجزيئين له درجة تماثل أعلى: القطبي أم غير القطبي؟
25. لماذا لا يمتزج الزيت والماء؟
26. ما الجزيء الذي تصفه بأنه "أكثر لصقاً": القطبي أم غير القطبي؟

## 8.15 التجاذب الجزيئي

27. ما الفرق الرئيس بين الرابطة الكيميائية والجذب بين جزيئين؟
28. أيهما أقوى: جذب الثنائيات القطبية- الأيون أم جذب الثنائيات القطبية المستحث- الثنائيات القطبية المستحث؟
29. ما الرابطة الهيدروجينية؟
30. هل الثنائيات القطبية المستحث دائم؟

## تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ◆ خبير

- (د) U مع Cl \_\_\_\_\_
16. تكوّن ذرات العناصر غير الفلزّية روابط تساهمية، ولكنها تشكّل أيضًا روابط أيونية. كيف يمكن ذلك؟
17. تكوّن ذرات العناصر الفلزّية روابط أيونية. ولكنها ليست جيدة لتكوين روابط تساهمية. لماذا؟ ما الصيغة الكيميائية لهذا المركّب؟
18. الفوسفين مركب تساهمي لعنصر الفوسفور  $P$  والهيدروجين  $H$ . ما الصيغة الجزيئية الكيميائية له؟
19. ما مصدر السالبية الكهربائية للذرة؟
20. أيّ الروابط الآتية أكثر قطبية:  $C-O$ ،  $C-C$ ،  $C-N$ ،  $H-O$ ،  $H-H$ ، أو  $C-H$ ؟
21. أيّ الجزيئات الآتية أكثر قطبية:  $O=C=S$ ،  $O=C=O$ ،  $O=C=S$ ؟
22. في كلّ جزيء. الذرة التي تحمل أكبر شحنة موجبة فيما يلي هي:
- أ-  $H-Cl$   
ب-  $Br-F$   
ج-  $C \equiv O$   
د-  $Br-Br$
23. رتبّ الروابط التالية بحسب تزايد القطبية:  
 $N-N$ ،  $N-F$ ،  $N-O$ ،  $H-F$   
\_\_\_\_\_ > \_\_\_\_\_ > \_\_\_\_\_ > \_\_\_\_\_  
(الأعلى قطبية) (الأقلّ قطبية)
24. كلما زادت الشحنة النووية للذرة زادت سالبيتها الكهربائية. هل هذا صحيح؟ فسّر.
25. كلما زادت القشور في الذرة نقصت سالبيتها الكهربائية. هل هذا صحيح؟ فسّر.
26. لماذا لا يمتزج الماء مع الزيت؟
27. يختلف الماء  $H_2O$  والميثان  $CH_4$ . بنوع واحد من الذرات. ولكن لهما الكتلة نفسها تقريبًا. لماذا تكون درجة غليان الماء أكبر كثيرًا من درجة غليان الميثان؟
28. تكون رابطة الكربون- الأكسجين المفردة قطبية. ومع ذلك فإنّ ثاني أكسيد الكربون،  $CO_2$ ، والذي يوجد رابطة كربون - أكسجين. هو غير قطبي. لماذا؟

1. كيف ترتبط إلكترونات التكافؤ غير المتزاوجة في الذرة مع عدد الروابط التي تستطيع الذرة تكوينها؟
2. لماذا تميل ذرة الفلور إلى كسب إلكترون واحد فقط؟
3. تفقد الذرة إلكترونًا وتقدمه لذرة أخرى. هل هذا مثال على التغير الفيزيائي أم الكيميائي؟
4. حمل أيونات الماغنسيوم شحنة  $-2$ ، وحمل أيونات الكلور شحنة  $(-1)$ . ما الصيغة الكيميائية للمركب الأيوني كلوريد الماغنسيوم؟
5. حمل أيونات الباريوم شحنة  $+2$ ، وأيونات النيتروجين شحنة  $(-3)$ . ما الصيغة الكيميائية للمركب الأيوني نيتريد الباريوم؟
6. إذا سحبت مالا من البنك أكثر مما لديك في حسابك، فسيظهر احتياط سالب. ولكن إذا أخذت إلكترونًا من الذرة. فستظهر الذرة موجبة الشحنة. فسّر.
7. يفقد حامض الكبريتيك  $H_2SO_4$  بروتونين لتشكيل أيون متعدد الذرات. ما هذا الأيون؟
8. ما الجزيء الذي عندما يفقد بروتونًا يتحول إلى أيون الهيدروكسيل،  $OH^-$ ؟
9. أيهما يجب أن يكون أكبر: ذرة البوتاسيوم  $K$ . أم أيون البوتاسيوم  $K^+$ ؟
10. أيهما له درجة انصهار أعلى: كلوريد الصوديوم  $NaCl$ . أم أكسيد الألومنيوم  $Al_2O_3$ ؟
11. ترتبط ذرات الفلور معًا لتكوين رابطة تساهمية. لماذا لا تقوم ذرات البوتاسيوم بالشئ نفسه؟
12. أيّ العناصر ملانم لتشكيل روابط أيونية أو روابط تساهمية؟
13. ماذا يحدث عندما يقترب إلكترون الهيدروجين من غلاف التكافؤ لذرة الفلور؟
14. هل التغير بين الروابط الأيونية والروابط التساهمية مباشر أم تدريجي؟ فسّر.
15. صنّف الروابط التالية إلى أيونية، أو تساهمية. أو لا هذه ولا تلك (العدد الذري للأكسجين  $O$  هو 8. العدد الذري للفلور  $F$  هو 9. العدد الذري للصوديوم  $Na$  هو 11. العدد الذري للفلور  $F$  هو 17. العدد الذري لليورانيوم  $U$  هو 92).
- أ-  $O$  مع  $F$  \_\_\_\_\_  
ب-  $Ca$  مع  $Cl$  \_\_\_\_\_  
ج-  $Na$  مع  $Na$  \_\_\_\_\_

- موزونة. فكيف يجذب كلوريد الصوديوم إلى الماء. والعكس بالعكس؟
33. هل يجذب جزيء الماء أكثر إلى جزيء ماء آخر أم إلى أيون الصوديوم؟ فسّر.
34. لماذا لا توجد روابط هيدروجين قوية في سائل كبريتيد الهيدروجين.  $H_2S$ ؟
35. لماذا يكون جذب الأيون - الثناقطبي أقوى من جذب الثناقطبي- الثناقطبي؟
36. يكون الكلور  $Cl_2$ . غازا على درجة حرارة الغرفة. في حين يكون البروم  $2Br$  سائلا. لماذا؟
37. كيف تنجذب جزيئات الأكسجين لجزيئات الماء؟
38. رتب المركبات التالية في قائمة بحسب زيادة درجة الغليان:  $Cl_4, CBr_4, CCl_4, CF_4$ .
39. أيهما له ذوبانية أعلى في الماء:  $NH_3$  أم  $NCl_3$ ؟ ولماذا؟
40. لماذا تكون مساحة سطح قدم الحذاء ممتدة كثيرا؟

29. ■ يجلس ثلاثة أطفال يتشاركون في حلوى الفاصوليا حول طاولة. فإذا كانت المسافة بين كل اثنين منهما متساوية. ولكن أحد الأطفال يميل إلى حلوى الفاصوليا. ومن النادر أن يعطي واحدة منها. إذا مثلت كل قطعة حلوى من الفاصوليا بالكترون. فمن الذي ينتهي سالبًا قليلاً؟ ومن منهم ينتهي موجبا قليلاً؟ هل سالبية الطفل السالب بقدر موجبية الطفل الموجب؟ وهل تصف الوضع هذا بأنه وضع قطبي أم غير قطبي؟ ماذا لو كان الأطفال جميعهم شرهين بالقدر نفسه؟
30. ■ أيهما أقوى: الرابطة التساهمية التي تمسك الذرات معا ضمن الجزيء. أم الجذب الكهربائي بين جزيئين متجاورين؟
31. ■ لماذا يكون جزيء الماء أكثر جذباً لأيون الكالسيوم أكثر من أيون الصوديوم؟
32. ■ تكون الشحنتان في كلوريد الصوديوم موزونة: حيث لكل أيون صوديوم موجب هناك أيون كلور سالب مقابل له. ولأنّ الشحنتان

## أنشطة استكشافية

### قريباً من البلورات

انظر إلى بلورات ملح المائدة بعدسة مكبرة. والأفضل. بمجهر إن كان متوافراً. إذا كان لديك مجهر. فكسّر البلورات بملقعة. وافحص الدقيق الناتج. اشتر بعض الملح الخالي من الصوديوم. والذي هو كلوريد البوتاسيوم.  $KCl$ . وافحص هذه الأيونات البلورية في كلتا الحالتين: قبل التكسير وبعده. يشكّل كل من كلوريد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم بلورات مكعبة. ولكن هناك اختلافات جوهرية. ما هذه الاختلافات؟

### جزيئات القرص الصمغي

استخدم معاجين الأسنان وأقراصا صمغية أو حلوى الفاصولياء بألوان

مختلفة لبناء نماذج من الجزيئات كتلك المبينة في الأشكال 17.15 وحتى 19.15 والشكل 21.15. دع الألوان المختلفة تمثل عدة عناصر مختلفة.

عندما تتقن بناء هذه النماذج. افحص مهارتك ببناء نماذج لثنائي فلور الميثان.  $CH_2F_2$ . والإيثان.  $C_2H_6$ . وفوق أكسيد الهيدروجين.  $H_2O_2$ . والأسيتيلين.  $C_2H_2$ . تذكر أنّ كل ذرة كربون ترتبط بأربع روابط تساهمية. وكلّ ذرة أكسجين لها رابطتان. وكلّ ذرة فلور وهيدروجين لها رابطة واحدة.

مساعدة: واحد من هذه الجزيئات ذو رابطة ثلاثية.

## اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيداً. فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك. فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر أفضل إجابة لكل سؤال مما يلي:

- ب-  $NaCl$  : لأنه صلب عند درجة حرارة الغرفة.
- ج- أكسيد الألومنيوم : بسبب كبر أيوناته. ولهذا. تكون قوى التجاذب بين جزيئاته أكبر.
- د- أكسيد الألومنيوم : بسبب وجود الروابط التساهمية ضمن الجزيء.
4. يمكن لذرات العناصر الفلزية أن تكون روابط أيونية. ولكنها ليست جيدة تماماً في تشكيل الروابط التساهمية. والسبب هو أنّ: أ- هذه الذرات كبيرة جداً لتكون قريبة كثيراً من غيرها من الذرات. ب- لها ميلاً كبيراً لفقد إلكترونات. ج- قشور التكافؤ معبأة بالإلكترونات.
- د- هذه الذرات على الجانب غير الصحيح من الجدول الدوري.
5. بلغة الجدول الدوري. هل التغير بين الروابط الأيونية والتساهمية مباشر أم تدريجي؟ أ- يحدث التغير المباشر في أشباه الفلزات. ب- أيّ عنصر في الجدول الدوري يمكن أن يشكّل رابطة تساهمية. ج- هناك تغير تدريجي: كلما كانا متباعدين. تكون أيونية أكثر. د- يعتمد تكوين العنصر لأيّ من الرابطتين على شحنة النواة. وليس على الموقع النسبي في الجدول الدوري.

1. تفقد ذرة أحد إلكتروناتها وتقدمه لذرة أخرى. هذا مثال على: أ. تغير كيميائي يتعلّق بتكوين أيونات. ب. تغير فيزيائي يتعلّق بتكوين أيونات. ج. تغير كيميائي يتعلّق بتكوين روابط تساهمية. د. تغير فيزيائي يتعلّق بتكوين روابط تساهمية.
2. حمل أيونات الألومنيوم شحنة  $+3$ . وحمل أيونات الكلور شحنة  $(-1)$ . الصيغة الكيميائية للمركب الأيوني كلوريد الألومنيوم هي: (أ)  $Al_3Cl$  (ب)  $AlCl_3$  (ج)  $Al_3Cl_3$  (د)  $AlCl$
3. أيهما تتوقع أن يكون له درجة انصهار أعلى: كلوريد الصوديوم  $NaCl$ . أم كلوريد الألومنيوم  $Al_2O_3$ ؟ أ- أكسيد الألومنيوم؛ لأنه جزيء أكبر. وله عدد أكبر من التجاذبات الجزيئية.

- أ- الرابطة الكيميائية في جزيء - أيون - ثنائي مشابهاً للرابطة التساهمية.
- ب- الشحنة المائلة (الثنائطي) لا تجذب الشحنة المائلة (ثنائطي آخر).
- ج- مساحات الثنائطي تكون معرضة للتغير من مناطق الموجب إلى السالب في الجزيء.
- د- مقدار الشحنة الكهربائية المرتبطة بالأيون كبيرة جداً.
10. الكلور  $Cl_2$  غاز عند درجة حرارة الغرفة، ولكن البروم  $Br$  سائل لأن:
- أ- ذرات الكلور كبيرة، وهذا يجعل تكوين جذب الثنائطي المستحث- الثنائطي المستحث الأكثر تفضيلاً.
- ب- ذرات البروم أكبر، وهذا يجعل تكوين الثنائطي المستحث- الثنائطي المستحث أكثر تفضيلاً.
- ج- جزيئات الكلور الصغيرة قدرة على أن تكون مرصوصة بشدة في اتجاهات فيزيائية.
- د- أيونات البروم تتماسك معاً بروابط أيونية.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1

6. لا تستطيع ذرة الهيدروجين أن تكون أكثر من رابطة تساهمية واحدة لأن:
- أ- له قشرة واحدة من الإلكترونات فقط.
- ب- له إلكترون واحد ليتشارك فيه فقط.
- ج- الهيدروجين يكون قد فقد إلكترون التكافؤ له.
- د- له سالبية كهربائية عالية جداً.
7. عند اتحاد النيتروجين والفلور لتكوين جزيء، فإن الصيغة الكيميائية المرجحة هي:
- (أ)  $N_3F$  (ب)  $N_2F$  (ج)  $NF_4$  (د)  $NF$  (هـ)  $NF_3$
8. المادة المكونة من الجزيئات المبينة أدناه التي لها درجة غليان أعلى هي:
- $S=C=O$      $O=C=O$
- أ- الجزيء إلى اليسار،  $SCO$ ؛ لأنه الأخير في الجدول الدوري.
- ب- الجزيء إلى اليسار،  $SCO$ ؛ لأن له تماثلية أدنى.
- ج- الجزيء إلى اليمين،  $OCO$ ؛ لأن له تماثلية أعلى.
- د- الجزيء إلى اليمين،  $OCO$ ؛ لأن له كتلة أكبر.
9. يكون جذب الأيون- ثنائطي أكبر من جذب ثنائطي- ثنائطي لأن:

## اكتشف المزيد

الزمنية). استكشف هذا الموقع للحصول على دراسات حالات تاريخية حيث أشارت إلى هذا الاستنتاج ومن المشاريع المثيرة للأهتمام القيام بمقارنة جهود الأبحاث الداعمة لإضافة اليود للملح وإضافة الكلور إلى ماء الشرب.

[http://www.soils.wisc.edu/virtual\\_museum](http://www.soils.wisc.edu/virtual_museum)

الصفحة الرئيسية للمتحف الافتراضي للمعادن والجزيئات، التي تقوم على العناية بها فيليب براك من جامعة منيسوتا وإيد ناتر من جامعة ويسكونسن. في هذا الموقع، ستجد نماذج جزيئية التي يمكنك التلاعب بها في ثلاثة أبعاد. وللقيام بذلك، يجب أن يكون المتصفح الخاص بك مزود بـ `chime plugin`، والذي يمكنك تحميله من الشبكة مجاناً بعد أن تقوم بالتسجيل على الموقع: [http://www.mdl.com/my\\_account/register1.jsp](http://www.mdl.com/my_account/register1.jsp)

<http://www.ada.org/public/fluoride/index.asp>  
هذا الموقع الرئيس لمركبات الفلورايد التابع لجمعية أطباء الأسنان الأمريكية، وفيه الكثير من الروابط مع معلومات حول الفلوريدات وإضافة الكلور لماء الشرب ومعاجين الأسنان. كانت جمعية أطباء الأسنان الأمريكية واحد من الداعمين الأصليين لإضافة الكلور لماء الشرب منذ بداية عام 1940.

<http://www.fluoridealert.org/50-reasons.htm>

يوفر الدكتور بول كونيت، بروفيسور الكيمياء في جامعة سانت لورنس 50 سبباً تعارض إضافة الكلور كماء الشرب. إضافة إلى روابط مع مقالات مراجعة لأبحاث زملاء في المهنة.

<http://www.saltinstitute.org/idd.htm>

تظهر العديد من التقارير في المراجع فعالية الملح المضاف إليه اليود في التحكم في الحالة المرضية المعروفة باسم جوبترا تضخم الفترة

## الفصل 15 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

15.18, 15.35 ■

دروس تعليمية

■ القوى بين الجزيئية

■ الروابط التساهمية

■ الروابط وقطبية الرابطة

■ الجذب القطبي

أشرطة فيديو

■ الروابط الأيونية

■ الروابط التساهمية

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط

## المخاليط



■ كيف يمكن تحضير الماء العذب من مياه البحر؟ هل صحيح أنّ السمك يمكن أن يغرق في الماء؟ تختفي بلورات السكر عند تحريكها في الماء. ولكن، أين تذهب؟ ممّ تتكوّن الغيوم؟ وما الشّيء المشترك بينها وبين الدم الذي يسري في عروقنا؟ عندما يترك ماء الشّرب يغلي فترة طويلة فإنه يتبخّر مخلّفًا وراءه مادة طباشيريّة في الوعاء. ما هذا الشّيء الطّباشيريّ؟ وما مصدره؟ كيف تُعالج مياه البلدية بحيث تصبح آمنة للاستخدامات المنزلية؟ كيف تعالج محطة معالجة المياه العادمة المياه الملوثة؟ إنّ الإجابة عن هذه الأسئلة تشير إلى فهم موضوع المخاليط.

1.16 معظم المواد مخاليط

2.16 تصنيف الكيمائيين للمادة

3.16 المحاليل

4.16 الذوبانية

5.16 الصّابون والمنظّفات

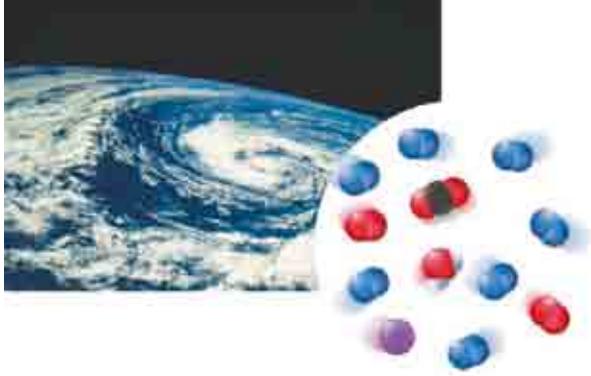
6.16 إزالة عسر الماء

7.16 تنقية الماء الذي نشربه

8.16 معالجة المياه العادمة

## الشكل 1.16

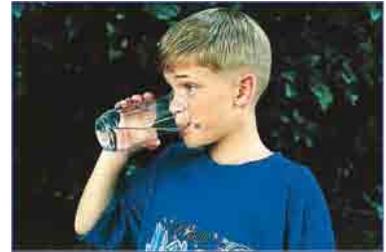
الغلاف الجوي للأرض هو خليط من العناصر والمركبات الغازية. يشاهد بعضها هنا.



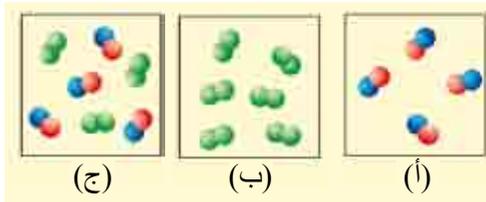
## ■ 1.16 معظم المواد مخاليط

**الخليط (Mixture)** هو اتحاد بين مادتين أو أكثر حيث تحتفظ كل مادة بخصائصها. إنَّ معظم المواد التي نتعامل معها هي مخاليط: مخاليط عناصر، مخاليط مركبات، أو مخاليط من العناصر والمركبات. فمثلاً، الفولاذ خليط من عناصر الحديد، والكروم، والنيكل، والكربون. والمياه المعدنية الفوارة خليط من المركب السائل، والماء، ومركب غازي، وثاني أكسيد الكربون. إنَّ غلافنا الجوي، كما يوضِّح الشكل 1.16، خليط من عناصر النيتروجين، والأكسجين، والأرجون، إضافة إلى كميات قليلة من المركبات كثنائي أكسيد الكربون وبخار الماء.

ماء الشَّرب خليط يحتوي في معظمه على ماء ومركبات كثيرة أخرى. ويعتمد نوعه على مكان إقامتك. فالماء الذي تشربه يمكن أن تحتوي على مركبات الكالسيوم، والمغنسيوم، والكلور، والفلور، والحديد، والبوتاسيوم، وكميات قليلة من مركبات الرصاص، والرَّثْبِق، والكاديوم، ومركبات عضوية، وأكسجين، ونيتروجين، وثاني أكسيد الكربون المذاب. وعلى الرَّغم من أهمية تقليل المكونات السامة في المياه التي تشربها، فإنَّ تنقيتها من المواد جميعها التي فيها أمر غير ضروري، وغير مطلوب ومستحيل. إنَّ بعض المواد الصَّلبة والغازية الذائبة تعطي الماء مذاقه الخاص، والعديد منها مفيد لصحة الإنسان؛ فمركبات الفلور تحمي الأسنان، والكلور يحطم البكتيريا الضارة، بالإضافة إلى أننا نحصل على 10% من احتياجاتنا من الحديد، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنسيوم، وجميعها من مياه الشَّرب، الشَّكلان (2.16 و 3.16).



## ■ نقطة فحص



حتى الآن، عرفت ثلاثة أنواع من المادة هي العناصر، والمركبات، والمخاليط. أيّ الصناديق الموجودة في الأسفل يحتوي على: عناصر فقط؟ مركبات فقط؟ خليط؟

## هل كانت هذه إجابتك؟

الجزئيات في الصندوق (أ) كلّ واحد يحتوي على نوعين من الذرات. لذا، فهي تمثّل المركب. أمّا الجزئيات في الصندوق (ب) فكلّ واحد يحتوي على الذرات نفسها، ولهذا، فهي تمثّل العنصر. ولكن الصندوق (ج) خليط من العناصر والمركبات.

## الشكل 2.16

يزودنا ماء الشَّرب بـ  $H_2O$  بالإضافة إلى العديد من المركبات، العديد منها ذو نكهة ويساعدنا على النمو، كما يوضح جراهام (Graham) في عمر 7 سنوات وعمر 21 سنة.



## لمعلوماتك

■ إنَّ سُمِّيَّة أيِّ مادة هي في كميَّة الجرعة. على سبيل المثال. يمكن أن يكون الماء العذب قاتلاً عند شربه بكميات كبيرة. لماذا؟ لأنَّ الكثير منه يطرد الأيونات المذابة والتي هي ضرورية جدًّا للصحة. وبالمثل. ومع أنَّ كميات قليلة من الفلور تحمي الأسنان من التَّحلل. فإنَّ الكثير منه يجعل الأسنان مرقشة. والأسوأ من ذلك. هو أنَّ الفلور الإضافي يتَّحد مع الكالسيوم في الدم. ليشكِّل بلورات فلوريد الكالسيوم المميته. ونقول مرة أخرى للتأكيد أنَّ سُمِّيَّة أيِّ مادة هي في كميَّة الجرعة!

## الشكل 3.16

ينتج معظم الأكسجين في فقايع الهواء من الهواء الذائب في الماء إلى الغلاف الجوي. ولكن بعض الأكسجين يمتزج بالماء. تعتمد الأسماك على هذا الأكسجين الذائب لتبقى حية. ومن دون هذا الأكسجين المذاب، والتي تستخلصه السمكة من الماء بخياشيمها، فإنَّها ستغرق فورًا. وعليه، فالسمكة لا «تتنفس» الماء، بل تتنفس الأكسجين الذائب فيه.



لقد ابتكر الكيميائيون العديد من الطرق الباردة لفصل مكونات المخاليط. تستخدم معظم هذه الطرق المبدأ البسيط لفصل مكونات المخلوط عن طريق الاختلاف في الخصائص الفيزيائية.

## الشكل 4.16

سكر المائدة هو مركب مكون فقط من جزيئات السُّكروز. عند مزج هذه الجزيئات مع الشاي الساخن، تصبح موزعة بين جزيئات الماء والشاي، وتشكِّل خليط السُّكروز - الشاي - الماء. لا يتكون أيُّ مركب جديد. لذا، فإنَّ هذا مثالًا على التغير الفيزيائي.

لاحظ أنَّ جزيئات كلِّ من المركب والعناصر تبقى على تماس في الخليط. أي أنَّه لا يوجد تبادل للذرات بين المكونات عند تشكُّل الخليط.

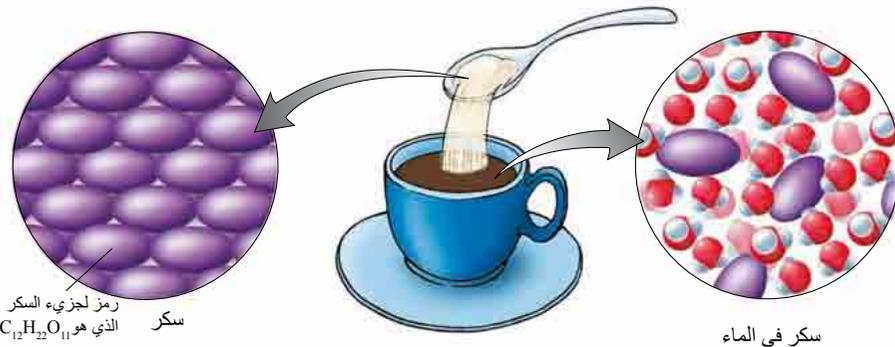
هناك فرق بين الطريقة التي تتحد بها العناصر لتكوين المركبات. والطريقة التي تتحد بها أيُّ من العناصر أو المركبات لتكوين خليط. تحتفظ كلُّ مادة في الخليط بهويتها الكيميائية. على سبيل المثال. جزيئات السُّكروز في ملعقة شاي من السُّكروز كما في الشكل 4.16 تماثل جزيئات السُّكروز الموجودة في الشاي. أمَّا الفرق الوحيد فهو أنَّ جزيئات السُّكروز في الشاي مختلطة مع جزيئات مادة أخرى في معظمها ماء. ولهذا، فإنَّ تشكُّل الخليط هو تغيُّر فيزيائي. وفي المقابل. كما ناقشنا في البند 5.14، هناك تغيُّر في الهوية الكيميائية عندما تتحد العناصر لتكوين مركبات. تذكر أنَّ كلوريد الصوديوم ليس خليطًا من ذرات الصوديوم وذرات الكلور. ولكنه مركب. وهذا يعني أنه مختلف تمامًا عن العناصر المكونة له. إنَّ تشكُّل المركب هو تغيُّر كيميائي.

## يمكن فصل المخاليط بالطرق الفيزيائية



يمكن فصل مكونات المخاليط بعضها عن بعض بالاستفادة من الاختلافات في صفات مكوناتها الفيزيائية. يمكن مثلاً فصل خليط مكون من مواد صلبة وسائلة بعضها عن بعض باستخدام ورق الترشيح. والتي تسمح للسائل بالمرور. في حين لا تسمح بذلك للمواد الصلبة. وهكذا تعدّ القهوة عادةً: يمرر الكافيين وجزيئات النكهة في الماء الساخن عبر المرشحات. ومن ثمَّ إلى إبريق القهوة. أمَّا القهوة والمواد الصلبة فتترسب. تسمّى عملية فصل الخليط المكون من مواد صلبة وسائلة بالترشيح. وهذه آلية معروفة عند الكيميائيين.

كما يمكن فصل المخاليط بالاستفادة من الاختلاف في نقاط الغليان أو التجمد. ويُعدّ ماء البحر خليطًا من الماء ومركبات مختلفة. معظمها كلوريد الصوديوم. ففي حين يغلي الماء عند درجة حرارة 100°س. إلا أنَّ كلوريد الصوديوم لا يذوب حتى 800°س. إحدى طرائق فصل الماء عن الخليط الذي نسميه ماء البحر. هو بتسخين هذا الماء إلى درجة 100°س. عند هذه الدرجة يتحول الماء السائل إلى بخار ماء. ويبقى كلوريد الصوديوم مذابًا في الماء المتبقي. وعند ارتفاع بخار الماء. يمكن تمريره إلى وعاء مبرّد. حيث يتكاثف إلى سائل دون المواد الصلبة المذابة. تسمّى عملية تجميع المواد المتبخرة التَّقطير (Distillation).

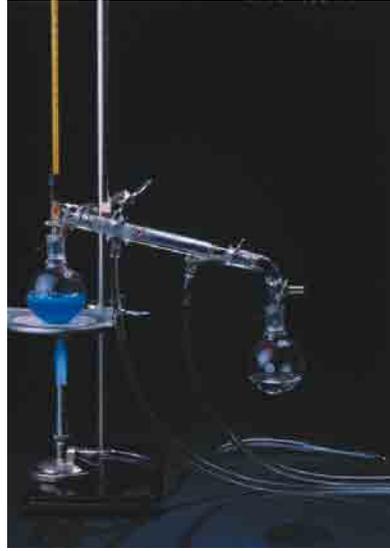


رمز لجزيء السكر الذي هو  $C_{12}H_{22}O_{11}$  سكر

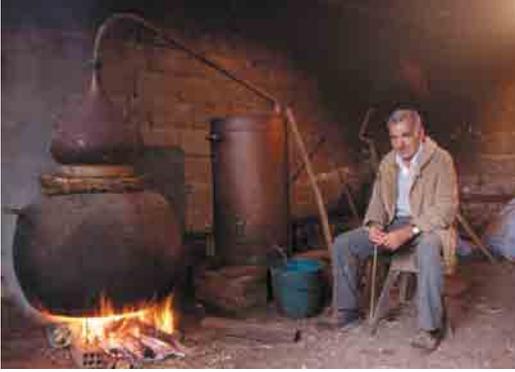
سكر في الماء

## الشكل 5.16

(أ) جهاز تقطير يستخدم لفصل مركب واحد من مخلوط. يغلي المخلوط في دورق إلى اليمين. يحتوي البخار المتصاعد على المكونات المتطايرة فقط للمخلوط. يوجه البخار إلى أنبوب يحافظ على برودتها بانسياب ماء بارد على سطحها الخارجي. يتكاثف البخار داخل الأنبوب ويجمع في دورق عن اليسار (ب).



(i)



(ب)

كما هو موضح في الشكل 5.16. بعد التقطير طريقة فاعلة جداً، ولكنها مكلفة. كطريقة فصل ماء البحر عن الماء العذب. وسندرس ذلك بتفاصيل أكثر في البند 7.16. بعد تقطير الماء من ماء البحر، تبقى المواد الصلبة، على الرغم من أن هذه المواد مخاليط من المركبات، وتحتوي على العديد من المركبات التجارية الثمينة مثل كلوريد الصوديوم، وبروميدي البوتاسيوم. (الشكل 6.16).

## الشكل 6.16

في الطرف الجنوبي لخليج سان فرانسيسكو، توجد مناطق مجزأة بأرصفت أرضية، ما هي إلا برك تبخر، حيث يسمح للماء بالتبخر، مخلطاً وراءه المواد الصلبة، والتي كانت ذائبة في مياه البحر. تنقى هذه المواد لبيعها تجارياً. يعود لون البرك الرائع هذا إلى الجسيمات العالقة من أكسيد الحديد وغيره من المعادن، والتي يسهل إزالتها عند التصفية.



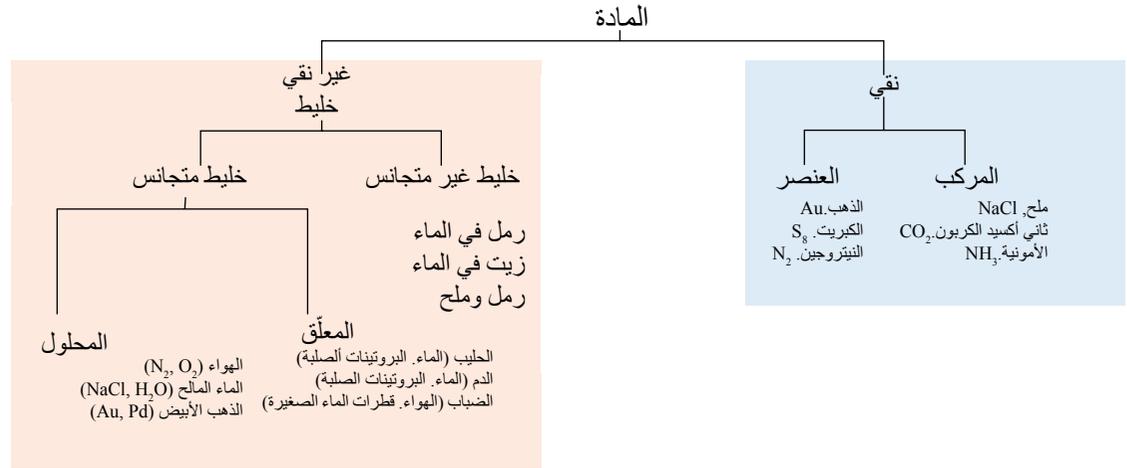
## ■ 2.16 تصنيف الكيميائيين للمادة

إذا كانت المادة نقية (*Pure*)، فإنها تتكون من عنصر واحد أو مركب واحد. فالذهب النقي مثلاً، يحتوي على عنصر الذهب فقط. كما أن ملح المائدة النقي يحتوي على مركب كلوريد الصوديوم فقط. ولكن إذا كانت المادة غير نقية (*Impure*)، فإنها تكون خليطاً، وتحتوي على عنصرين أو أكثر. أو على مركبات. يبين الشكل 7.16 مخطط التصنيف للمواد.

ولأن الذرات والجزيئات متناهية في الصغر، فمن غير العملي تحضير عينة تكون نقية تماماً؛ أي أن تكون من مادة واحدة بنسبة 100%.

## الشكل 7.16

التصنيف الكيميائي للمواد.



يمكن أن يكون عصير البرتقال طبيعيًا 100%، ولكنه لن يكون نقيًا بهذه النسبة.

مثلًا، إذا كانت ذرة واحدة أو جزيء واحد من كل تريليون تريليون من الذرات مختلفًا، فلا نستطيع القول إنّ المادة نقية. ولكن يمكن "تنقية" المواد بطرق مختلفة مثل التقطير. يجب فهم كلمة (نقي) كمصطلح نسبي. عند مقارنة نقاوة عينتين، فالعينة الأنقى هي التي تحوي شوائب أقل. فعينة من الماء نقاوتها 99.9% فيها نسبة شوائب أكثر من عينة نقاوتها 99.9999%.

أحيانًا، تسمى المخاليط المحضرة طبيعيًا ووفق التعريف الكيميائي، لا يمكن أن يصنّف عصير البرتقال بالنقي؛ لأنه يحتوي على العديد من المواد، بما فيها الماء، واللب،

والنكهات، والفيتامينات، والسكر.

إنّ المخاليط قد تكون متجانسة (Homogeneous) أو غير متجانسة؛ ففي المخاليط غير المتجانسة (Heterogeneous).

يمكن رؤية المكونات المختلفة كمواد مستقلة، مثل

اللب في عصير البرتقال، والرمل في الماء، وكرات الزيت المنتشرة في

الخل. أي أنّ المكونات المختلفة مرئية. أما المخاليط المتجانسة

(Homogeneous) فلها التركيب نفسه في أجزائه كلّها.

أي أنّ لأيّ جزء نسبة المكونات الموجودة نفسها في أيّ جزء آخر من

الخليط، ولا يمكن تحديد المكونات كأشياء محددة ومستقلة.

والشكل 8.16 يظهر هذا التمييز.

يمكن أن يكون الخليط المتجانس محلولًا أو معلّقًا. يكون

للمكونات جميعها الطور نفسه في المحلول (Solution). إنّ الهواء

الذي نتنفسه محلول غازي يتكوّن من عناصر غازية كالنيتروجين

والأكسجين وبعض الكميات القليلة من المواد الغازية الأخرى.

أما الماء المالح فهو محلول سائل لأنّ كلًّا من الماء وكلوريد الصوديوم

الذائب فيه يوجدان في الطور نفسه. وكمثال على المحلول الصلب

الذهب الأبيض الذي هو خليط متجانس من عنصري الذهب

والبلاديوم. وسنناقش المخاليل بتفاصيل أكثر في الجزء التالي.



بيتزا



«الثلج» في قبة الثلج



الجرانيت

(أ) مخاليط غير متجانسة



ذهب أبيض



ماء بحر نظيف



هواء

(ب) مخاليط متجانسة

## الشكل 8.16

(أ) في المخاليط غير المتجانسة، يمكن رؤية المكونات المختلفة بالعين المجردة. (ب) في المخاليط المتجانسة، تمزج المكونات المختلفة على مستوى أدق بحيث لا يمكن تمييزها.

**المحلول المعلق (Suspension)** خليط متجانس، وتكون مكوناته المختلفة في أطوار مختلفة. مثل الصلبة في السوائل، والسوائل في الغازات. وفي التعليق يكون الخليط كاملاً في أجزائه جميعها بحيث لا يمكن تمييز الأطوار المختلفة. ويعدّ الحليب كذلك محلولاً معلقاً لأنه خليط متجانس من البروتينات ودهون منتشرة بدقة في الماء. كما أنّ الدم محلول معلق لأنه يتكوّن من انتشار دقيق لخلايا الدم في الماء. والغيوم مثال آخر على التعليق؛ فهي مخاليط متجانسة من قطرات ماء دقيقة معلقة في الهواء. إذا سلّطت ضوءاً على محلول تعليق، كما في الشكل 9.16 فسينتج مخروط مرئي عند انعكاس الضوء عن المكونات المعلقة.

إنّ أسهل طريقة للتمييز بين المعلق والمحلول في المختبر هو تدوير العينة في جهاز الطرد المركزي (فرازة بالتردد المركزي). يدور هذا الجهاز آلاف الدورات في الدقيقة. ويفصل مكونات التعليق وليس المحلول. كما هو موضح في الشكل 10.16.



الشكل 9.16

يصبح مسار الضوء مرئياً عند مروره خلال محلول معلق.

### ■ نقطة فحص

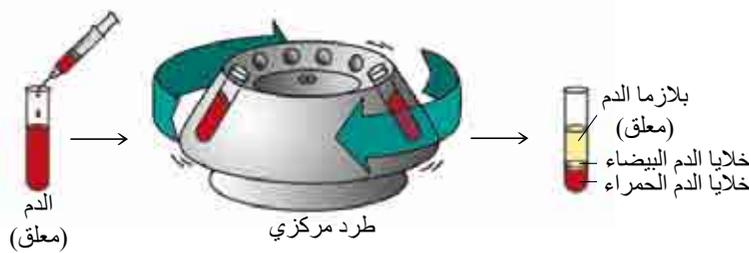
- بأيّ ما يلي يمكن تنقية الماء غير النقي؟
- إزالة جزيئات الماء غير النقية.
  - إزالة الأشياء التي ليست ماء جميعها.
  - تفتيت الماء إلى مكوناته البسيطة.
  - إضافة المعقّمات مثل الكلور.

### هل كانت هذه إجابتك؟

الجواب هو البديل ب: يُنقى الماء غير النقي بإزالة الأشياء التي ليست ماء جميعها.  $H_2O$  مركب من عنصري الهيدروجين والأكسجين بنسبة 2 إلى 1. كلّ جزيء من  $H_2O$  مائل لأيّ جزيء من  $H_2O$  آخر. وليس هناك جزيء  $H_2O$  غير نقيّ. يمكن أن يحتوي الماء على أشياء كثيرة. مثل، رمل الشاطئ، ومطاط الغطس، والبكتيريا. يقال (إنّ الماء غير نقي) عند وجود أيّ شيء غير الماء فيه. ومن المهم أن تكون الشوائب في الماء وليست جزءاً منه. وهذا يعني أنّ هناك إمكانية لإزالتها بطرق فيزيائية مختلفة كالترشيح أو التقطير.

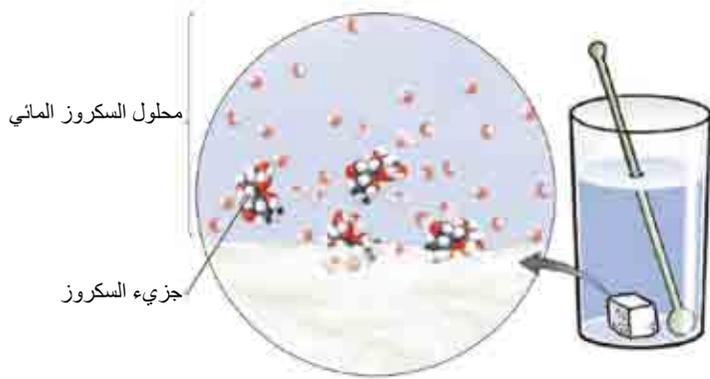
الشكل 10.16

لأنّ الدم معلق، يمكن فصله بالتردد المركزي إلى مكوناته التي تحتوي على بلازما الدم (محلول مائل للاصفرار) وخلايا الدم البيضاء والحمراء. ولكن لا يمكن فصل مكونات البلازما بعضها؛ عن بعض بسبب عدم تأثير الطرد المركزي في المحاليل.



### ■ 3.16 المحاليل

ماذا يحدث لسكّر المائدة، المعروف كيميائياً بالسكّروز، عندما يُحرّك في الماء؟ هل تحطم السكّور؟ نحن نعلم أنه لم يتحطم؛ لأنه يجعل الماء حلواً. هل يختفي السكّور لأنه بطريقة ما لا يحتل حيزاً، أو لأنه يختفي بين زوايا الماء وشقوقه؟ ليس كذلك؛ لأنّ إضافة السكّور يغيّر الحجم. يمكن ألا يلاحظ ذلك في البداية، ولكن إذا تابعنا إضافة السكّور إلى الماء، فسوف نشاهد ارتفاع مستوى الماء، كما هو الحال لو أنك تضيف رملاً.



يفقد السكر بتحركه في الماء تركيبه البلوري. تتكوّن كل بلورة من السكر من بلاتين الجزيئات المترابطة بدقة معًا. وعند تعريض البلورة للماء (كما ظهر في الشكل 4.16 ويظهر مرة أخرى في الشكل 11.16)، تسحب جزيئات الماء المزيد من جزيئات السكر عبر الروابط الهيدروجينية التي تتشكل بين جزيئات السكر وجزيئات الماء. وبتحريك بسيط، تختلط جزيئات السكر بسرعة خلال الماء. وبدلاً من بلورات السكر والماء، نحصل على خليط متجانس من جزيئات السكر والماء. وكما نوقش سابقاً، *فالتجانس* يعني أنه لو أخذ أي جزء من الخليط فسيكون مائلاً لأي جزء آخر. في مثالنا عن السكر، فإنّ هذا يعني أنّ حلاوة الرشفة الأولى تشبه حلاوة الرشفة الأخيرة.

تذكر أنّ الخليط المتجانس المكوّن من طور أحادي يسمّى *محلولاً*. محلول

السكر في الماء هو في طور السائل، ولكنّ المحاليل لا تكون سائلة دائماً. بل يمكن أن تكون صلبة أو غازية أيضاً. كما يبين الشكل 12.16. إنّ الجواهر محاليل صلبة؛ فالياقوت مثلاً، محلول صلب من كميات قليلة من مركبات الكروم الأحمر في أكسيد الألومنيوم الشفاف. والياقوت الأزرق محلول صلب من كميات قليلة من مركبات الحديد الأخضر الخفيف ومركبات التيتانيوم الأزرق في أكسيد الألومنيوم. وتعدّ السبائك الفلزية مثلاً آخر مهمّاً على المحاليل الصلبة. إنّها خليط من عناصر فلزية مختلفة. والسبائك المعروفة بالنحاس الأصفر هي محلول صلب من النحاس والزنك. كما أنّ سبيكة الفولاذ محلول صلب من الحديد والكروم، والنيكل، والكربون.

ويعدّ الهواء الذي نتنفسه مثلاً على المحاليل الغازية؛ يتكوّن 78% من حجمه من غاز النيتروجين، و21% من غاز الأكسجين، و1% غازات مواد أخرى. بما في ذلك غاز الماء وثاني أكسيد الكربون. أمّا محلول الهواء الذي نزره فيتكوّن من 75% من النيتروجين، و14% من الأكسجين، و5% من ثاني أكسيد الكربون، ونحو 6% من بخار الماء. ولهذا، نرى أنّ الهواء الذي نتنفسه يتعرض لتغيير كيميائي قبل أن نزره. في وصف المحاليل يسمّى المكوّن الموجود بأكبر كمية المذيب (*Solvent*)، وأيّ مكوّن آخر المذاب. مثلاً، عند خلط ملعقة شاي من سكر المائدة في لتر واحد من الماء، نعرّف السكر على أنه مذاب والماء مذيب.

### الشكل 11.16

تسحب جزيئات الماء جزيئات السكر من بلورات السكر بعيداً بعضها عن بعض. إنّ هذا السحب البعيد، لا يؤثر في الروابط التساهمية بين جزيء السكر نفسه. ولهذا يبقى جزيء السكر المذاب جزيئاً مفرداً.



يرى معظم الناس أنّ الحلول تعني إيجاد الإجابات، أمّا الكيميائيون، فيرون أنّ المحاليل تعني أنّ الأشياء ما زالت مخلوطة معاً.

### الشكل 12.16

توجد المحاليل في طور: (أ) الصلبة، أو (ب) السائلة، أو (ج) الغاز.



(ج)



(أ)



(ب)

إنّ عملية خلط المذاب بالمذيب تسمى الإذابة (*Dissolving*). ولعمل محلول ما: يجب أن يذوب المذيب. أي يجب أن يشكّل المذيب والمذاب خليطاً متجانساً. وأنّ ذوبانية إحدى المواد في الأخرى هي دالة للتجاذب الكهربائيّ بينهما.

### ■ نقطة فحص

ما المذيب في المحلول الغازي الذي يسمى الهواء؟

هل كانت هذه إجابتك؟

النيتروجين هو المذيب لأنه المكوّن الموجود بأكبر كمية.

هناك حدّ لكمية المذاب التي يمكن أن تذوب في كمية معينة من المذيب. كما يوضح الشكل 13.16 مثلاً، نعلم أنه عند إضافة سكر المائدة إلى كوب من الماء، فإنّ السكر يذوب بسرعة. وعند استمرارك في إضافة السكر، تصل إلى نقطة لا يذوب بعدها السكر، وهذا يعني أنّ الماء لا يستطيع إذابة المزيد منه. وعندما يحدث هذا، يكون لدينا محلول مشبع (*saturated*). يعرف بأنه لا يمكن إذابة مذاب أكثر فيه. في حين يسمى المحلول الذي ما زال يستطيع إذابة المزيد من المذاب محلولاً غير مشبع (*Unsaturated*).

### الشكل 13.16

يذوب 200 جم من السكر كحدّ أقصى في 100 ملتر من الماء على درجة 20°س. (أ) ينتج من مزج 150 جم من السكر في 100 ملتر من الماء على درجة 20°س محلول غير مشبع. (ب) ينتج من مزج 200 جم من السكر في 100 ملتر من الماء عند درجة 20°س محلول مشبع. (ج) إذا مزج 250 جم من السكر في 100 ملتر من الماء عند درجة 20°س، فسيبقى 50 جم من السكر غير مذاب. (كما سناقش لاحقاً، يتغير تركيز المحاليل المشبعة في درجات الحرارة المختلفة).



(ج) 250 جم من السكر في 100 ملتر من الماء على درجة 20°س

(ب) 200 جم من السكر في 100 ملتر من الماء على درجة 20°س

(أ) 150 جم من السكر في 100 ملتر من الماء على درجة 20°س

### لمعلوماتك

■ كم يلزم من الوقت للعد إلى المليون؟ إذا استغرق العد الواحد ثانية واحدة، فإنّ العدّ دون توقف إلى المليون يستغرق 11.6 يوماً. وللعّد إلى بليون واحد: يستغرق 31.7 سنة. وللعّد إلى التريلين: يستغرق 31,700 سنة! إنّ العدّ إلى التريلين مضرّوباً في 602 بليون يستغرق مليونين ضرب العمر التقديري للكون. باختصار، إنّ العدّ 602 بليون ترليون هو هائل بشكل لا يصدق.

يعبّر رياضياً عن كمية المذاب في المحلول بدلالة تركيز المحلول. وهو كمية المذاب لكلّ كمية من المحلول:

$$\text{التركيز} = \frac{\text{كمية المذاب}}{\text{كمية المحلول}}$$

مثلاً، يمكن أن يكون تركيز محلول السكر-الماء هو 1 جم من السكر لكلّ لتر من المحلول. يمكن مقارنة تركيز هذا المحلول بتركيز المحاليل الأخرى. فمثلاً محلول السكر-الماء الذي يحتوي على 2 جم من السكر لكلّ لتر واحد من المحلول أكثر تركيزاً، والمحلول الذي يحتوي على 0.5 جم من السكر لكلّ لتر هو أقلّ تركيزاً، أو أنّه مخفف.

إنّ الكيميائيين يهتمون عادة بعدد جسيمات المذاب في المحلول أكثر من عدد جرامات المذاب. ولكن عدد الجسيمات دون الجهرية لأيّ عينة ملاحظة مهما كانت صغيرة هو عدد هائل جداً. ولتفادي الارتباك الحادث من هذه الأرقام الكبيرة: يستخدم العلماء وحدة تسمى المول.



مول واحد من السكر

يساوي

342 جم من السكر

يساوي

$6.02 \times 10^{23}$  جزيء من السكر

#### الشكل 14.16

يحتوي محلول مائي من السكر والذي تركيزه مول واحد من السكر لكل لتر من المحلول على  $6.02 \times 10^{23}$  جزيء سكر (342 جم) في كل لتر من المحلول.



عدد الجزيئات	الكتلة	المركب
$3.5 \times 10^{23}$	200 g	سكر
$3.3 \times 10^{24}$	100 g	ماء

#### الشكل 15.16

على الرغم من أن 200 جم من السكر لها ضعف كتلة 100 جم من الماء، إلا أن 100 جم من الماء يحوي عشرة أضعاف عدد الجزيئات الموجودة في 200 جم سكر. كيف يكون ذلك؟ تبلغ كتلة جزيء الماء  $\frac{1}{20}$  من كتلة جزيء السكر (بل أقل)، وهذا يعني أنه نحو 10 مرات عدد جزيئات الماء التي توجد في نصف الكتلة.

يحتوي المول (*Mole*) الواحد على  $6.02 \times 10^{23}$  جسيم من أي نوع من الجسيمات. (هذا الرقم كبير جداً؛ أي أنه نحو 602 بليون تريليون أو 602,000,000,000,000,000,000 جسيم. من المدهش أن مصطلح المول مشتق من الكلمة اللاتينية moles التي تعني كتلة، أو كمية كبيرة، أو مقداراً كبيراً. إن المول الواحد من الذهب مثلاً يحتوي على  $6.02 \times 10^{23}$  ذرة ذهب، وأن المول الواحد من السكر يحتوي على  $6.02 \times 10^{23}$  جزيء سكر.

حتى لو لم تسمع من قبل بمصطلح مول، فإنك تعرف الآن الفكرة الأساسية وهي أن "المول الواحد" هو اختصار لـ: "6 مضروب في 10 مرفوع إلى الأس 23". وكما أن "الزوج" يعني 2 من أي شيء، والدسته تعني 12 من أي شيء، فإن "المول" يعني  $6.02 \times 10^{23}$  من وحدة أساسية معينة، مثل الذرات، أو الجزيئات، أو الأيونات. إنها ببساطة كذلك:

■ زوج من جوز الهند = 2 جوز هند.

■ دسته من الحلوى = 12 قطعة حلوى.

■ مول من الجزيئات =  $6.02 \times 10^{23}$  جزيئات.

وإليك الأمثلة الآتية: يساوي المول الواحد من ذرات الذهب  $6.02 \times 10^{23}$  ذرة ذهب. والمول الواحد من السكر يحتوي على  $6.02 \times 10^{23}$  جزيء سكر. ويصل عمود من مول واحد من القروش إلى ارتفاع نحو 860 كوادريليون كيلو متر. وهذا يساوي قطر مجرتنا تقريباً. كما أن مولاً واحداً من كرات اللعب الصغيرة يكفي لتغطية مساحة الولايات المتحدة الخمسين بعمق 1.1 كيلو متر.

ولكن جزيئات السكر صغيرة جداً بحيث إن  $6.02 \times 10^{23}$  منها توجد في 342 جم فقط من السكر. وهو مقدار كوب صغير من السكر. ونستطيع استخدام التعبير المختصر الآتي: 342 جم من السكر تحتوي على مول واحد من السكر. وكما في الشكل 14.16 فإن محلولاً مائياً تركيزه 342 جم سكر لكل لتر من المحلول. تركيزه أيضاً يساوي  $6.02 \times 10^{23}$  جزيئات سكر لكل لتر من المحلول. أو له تركيز مول واحد لكل لتر من المحلول. إن عدد الجرامات يعطينا كتلة المذاب في المحلول. أما عدد المولات فيشير إلى عدد الجزيئات الفعلية.

يستخدم الكيميائيون عادة وحدة المولارية (*Molarity*)، وهي تعبير عن تركيز المحلول بعدد المولات لكل لتر من المحلول. أي أن

$$\text{المولارية} = \text{عدد مولات المذاب} / \text{لتر من المحلول}$$

فالمحلول الذي يحتوي على مول واحد من المذاب لكل لتر من المحلول هو محلول 1 مولر ويرمز إليه عادة 1M. و2-مول (2M) محلول يحتوي على مولين من المذاب لكل لتر من المحلول.

يمكن توضيح الفرق بين الإشارة إلى عدد المولات للمذاب، والإشارة إليه بعدد الجرامات بالسؤال التالي: محلول مائي مشبع يحتوي على 200 جم من السكر و100 جم من الماء. أيهما المذيب: السكر أم الماء؟

وكما هو موضح في الشكل 15.16، يوجد في 200 جم من السكر  $3.5 \times 10^{23}$  جزيء سكر. ونحو 10 أضعاف هذا العدد من جزيئات الماء في 100 جم ماء-  $3.3 \times 10^{24}$  جزيء ماء. وكما عرفت سابقاً، فإن المذيب هو المكون الموجود بكمية أكبر. ولكن ماذا نعني بكمية؟ إذا كانت الكمية تعني عدد الجزيئات فإن الماء هو المذيب. ولكن إذا كانت الكمية تعني الكتلة، فإن السكر هو المذيب. إذن، فالجواب يعتمد على كيفية تعريفك للكمية. من وجهة نظر كيميائية، تعني الكمية عادة عدد الجزيئات. وعليه، فالماء هو المذيب.

## ■ نقطة فحص

1. ما عدد مولات السكر في 0.5 لتر لمحلول 2M؟ ما عدد جزيئات السكر؟
2. هل يحتوي لتر واحد لمحلول 1M سكر في الماء على لتر واحد من الماء. أم أقل. أم أكثر؟

## هل كانت هذه إجابتك؟

1. عليك معرفة أن 2M يعني مولين من السكر لكل لتر من المحلول. ولإيجاد كمية المذاب: يجب أن نضرب تركيز المحلول في كمية المحلول

$$(2 \text{ مول}) (0.5 \text{ لتر}) = \text{مولاً واحداً}$$

مثل  $6.02 \times 10^{23}$  جزيء.

2. إن تعريف المولاري يعني عدد لترات المحلول وليس عدد لترات المذيب. وعند إضافة السكر إلى حجم معين من الماء، فإن حجم المحلول يزداد. ولهذا، إذا أضفنا مولاً واحداً من السكر إلى لتر واحد من الماء، فإن حجم المحلول أكثر من لتر واحد. لذا، فإن 1M يحتاج إلى أقل من لتر واحد من الماء.

## لمعلوماتك

■ هل يمتد «مول» من القروش المصفوفة بشكل عمودي عبر مجرتنا؟ قدر الإجابة بنفسك. ضع قروشاً إلى ارتفاع أسم. لإيجاد طول «مول» واحد من القروش المصفوفة بعضها فوق بعض. خذ العدد «مول» واحد ( $6.02 \times 10^{23}$ ). ثم اقسمه على عدد القروش في ارتفاع أسم. يكون جوابك بالسنتيمترات. لتحويل الإجابة إلى كيلومترات: اقسّم على عدد السنتيمترات في الكيلومتر وهو 100,000. تجد طول مول من القروش!

## حساب العلوم الطبيعية

## ■ حسابات للمحاليل

## مسألة 1

ما عدد الجرامات من السكر الموجودة في 3 لترات من المحلول المائي الذي تركيزه 2 جم من السكر لكل لتر من المحلول؟

## الحل:

المطلوب في هذه المسألة هو إيجاد كمية المذاب. لذا، يجب استخدام الصيغة الثانية من الصيغ الثلاث المعطاة سابقاً:

$$\text{كمية المذاب} = 2 \text{ جم/لتر} \times 3 \text{ لتر} = 6 \text{ جم.}$$

## مسألة 2

إذا كان تركيز محلول تستخدمه في المختبر هو 10 جم من المذاب لكل لتر من المحلول. وسكبت ما يكفي من المحلول في دورق فارغ بحيث أصبحت كمية المذاب في الدورق 5 جم من المذاب، فما عدد لترات المحلول الذي سكبته في الدورق؟

## الحل:

المطلوب في هذه المسألة هو إيجاد كمية المحلول. ولهذا، علينا استخدام الصيغة الثالثة المعطاة سابقاً، وهي أن:

$$\text{حجم المحلول} = 5 \text{ جم} / (10 \text{ جم/لتر}) = 0.5 \text{ لتر.}$$

## مسألة 3

إذا كان تركيز محلول مشبع من كلوريد الصوديوم في الماء عند درجة حرارة 20°س هو 380 جم من كلوريد الصوديوم تقريباً لكل لتر من المحلول. فما عدد غرامات كلوريد الصوديوم التي نحتاج إليها لعمل 3 لترات من المحلول المشبع؟

## الحل:

نضرب تركيز المحول في الحجم النهائي للمحلول للحصول على كمية المذاب اللازمة:

$$380 \text{ جم/لتر} \times 3 \text{ لترات} = 1140 \text{ جم.}$$

## مسألة 4

كُلفت طالبة بتحضير محلول مائي من كلوريد الصوديوم بحيث يكون تركيزه 10 جم لكل لتر، فإذا أعطيت 20 جم من ملح الطعام. فكم لتراً من المحلول تستطيع تحضيره؟

## الحل:

نقسم كمية المذيب على تركيز المحلول:

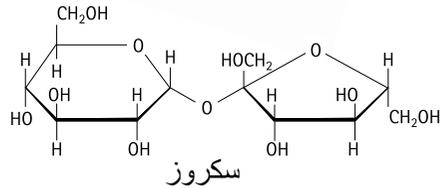
$$20 \text{ جم} / (10 \text{ جم/لتر}) = 2 \text{ لترين.}$$

من صيغة تركيز المحلول، يمكن اشتقاق معادلات لكمية كل من المذاب والمذيب: تركيز المحلول = كمية المذاب / حجم المحلول  
كمية المذاب = تركيز المحلول × حجم المحلول  
حجم المحلول = كمية المذاب / تركيز المحلول

لإيجاد أي من هذه المقادير، يجب أن تتماثل الوحدات. مثلاً، إذا كان التركيز بوحدة جم/لتر من المحلول، فإن كمية المذاب يجب أن تكون بالجرامات وكمية المحلول باللترات.

لاحظ أنّ هذه المعادلات أعدت لحساب حجم المحلول بدلاً من حجم المذيب. حجم المحلول أكبر من حجم المذيب، كما ناقشنا ذلك في الجزء 3.16. مثلاً، لا يعتمد حجم المحلول المائي للسكر على حجم الماء فحسب، بل على حجم السكر المذاب أيضاً.

## 4.16 الذوبانية



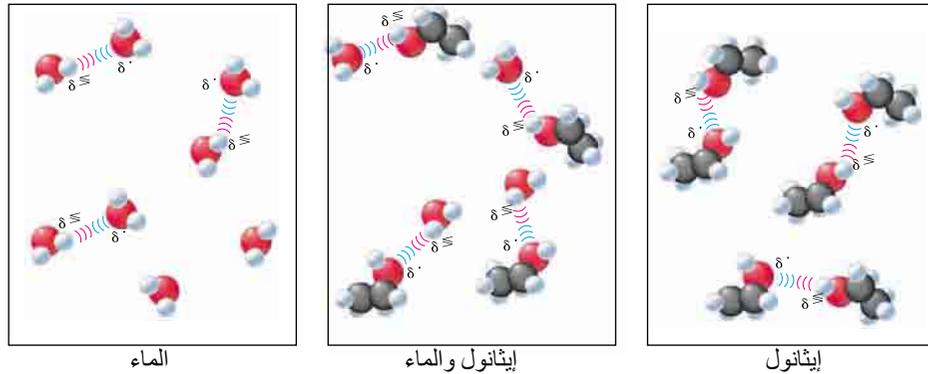
الشكل 16.16

يحتوي جزيء السكروروز العديد من روابط الهيدروجين - الأكسجين التساهمية، حيث تكون ذرات الهيدروجين موجبة قليلاً، وتكون ذرات الأكسجين سالبة قليلاً. تنتج هذه التناقضات في أي جزيء سكروروز روابط هيدروجينية مع جزيئات السكروروز المجاورة.

الذوبانية لمذاب هي قدرته على الذوبان في مذيب. وكما هو متوقع، فإن هذه المقدرة تعتمد على التجاذبات دون الجهرية بين كل من جسيمات المذاب والمذيب. إذا كان للمذاب ذوبانية ملموسة في المذيب، فيقال عندئذ إن المذاب ذائب (soluble) في ذلك المذيب. تعتمد الذوبانية أيضاً على التجاذبات بين جزيئات المذيب بعضها ببعض. كما تعتمد على التجاذبات بين جزيئات المذاب بعضها ببعض كذلك. مثلاً، يوضح الشكل 16.16، لجزيء السكروروز عدة روابط هيدروجين - أكسجين قطبية. ولهذا، فإن جزيء السكروروز يستطيع تكوين روابط هيدروجينية متعددة الواحدة مع الأخرى. تكون روابط الهيدروجين هذه قوية كفاية بحيث تجعل السكروروز صلباً عند درجة حرارة الغرفة، وله نقطة انصهار عالية، نحو 185°س. ولكي يذوب السكروروز في الماء يجب على جزيئات الماء أولاً سحب جزيئات السكروروز بعيداً بعضها عن بعض. وهذا يضع حداً لكمية السكروروز التي يمكن أن تذوب في الماء. ونصل في النهاية - إلى النقطة التي لا يوجد عدد جزيئات ماء كافية لفصل جزيئات السكروروز بعضها عن بعض. وكما ناقشنا في الجزء 3.16، فإن هذه هي نقطة التشبع. وفيها لا تذوب أي كمية إضافية من السكروروز.

عندما يكون التجاذب بين جزيء وآخر في جزيئات المذاب قريباً من التجاذب بين جزيء وآخر في جزيئات المذيب، عندها لا توجد أي نقطة عملية للتشبع. وكما يوضح الشكل 17.16، تكون روابط الهيدروجين بين جزيئات الماء بالقوة نفسها التي هي بين جزيئات الإيثانول. وهكذا، فإن هذين السائلين يمتزجان معاً بأي نسبة. ويمكننا إضافة الإيثانول للماء حتى يصبح الإيثانول هو المذيب وليس الماء. يسمّى المذاب الذي ليس له نقطة تشبع في مذيب معين المذاب غير المنتهي في ذلك المذيب. فالإيثانول مثلاً، يذوب بلا نهاية في الماء. كما أن الغازات جميعها تذوب بلا نهاية في الغازات الأخرى عموماً؛ لأنه يمكن مزجها بأي نسبة.

دعنا ننظر إلى الجهة الأخرى القصوى من الذوبانية، حيث يكون للمذاب ذوبانية قليلة في مذيب معين. ومثال ذلك الأكسجين،  $O_2$ ، في الماء. وعلى النقيض من السكروروز حيث يذوب 200 جم في كل 100 ملتر من الماء، فإن نحو 0.004 جم من الأكسجين فقط يذوب في 100 ملتر من الماء. يمكن تفسير ذوبانية الأكسجين القليلة في الماء بملاحظة أن قوى التجاذب الكهربائي التي تحدث بين جزيئات كل من الأكسجين والماء هي ضعيفة نسبياً.



الشكل 17.16

حجم جزيئات الإيثانول والماء هو نفسه، وكلاهما يشكّل روابط هيدروجينية. وكنتيجة لذلك، يمتزج الإيثانول والماء معاً بسرعة.

وهي تجاذبات بين الثناقطبين المستحثين. ولكن الأكثر أهمية، هو التجاذب القوي بين جزيئات الماء عبر روابط الهيدروجين التي تشكلها جزيئات الماء بين بعضها وبعض. وتستبعد فعليًا جزيئات الأكسجين من التمازج.

تسمى المادة التي لا تذوب بأي قيمة معقولة بغير الذائبة في ذلك المذيب. وسنذكر الآن العديد من المواد غير الذائبة في الماء، بما فيها الرَّمَل والزَّجَاج. ولأنّ المادة لا تذوب في مذيب معين، فلا يعني هذا أنها لا تذوب في مذيب آخر؛ فالرَّمَل والزَّجَاج يذوبان في حامض الهيدروفلوريك، HF، الذي يستخدم لإعطاء الزجاج منظر زخرفة الثلج المبين في الشكل 18.16. كما أنّ زيت البلاستيك لا يذوب في الماء، ولكنه يذوب في الأسيتون، وهو مذيب

يستخدم في إزالة طلاء الأظافر. إذا صببت قليلاً من الأسيتون في كأس بلاستيكية فستشوّه الكأس سريعاً، كما هو موضح في الشكل 19.16.



الشكل 18.16

يُرغَل الزَّجَاج بإذابة سطحه الخارجي في حامض فلوريد الهيدروجين.

### ■ نقطة فحص

لماذا لا يذوب السُّكَّر في الماء دون حدود؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ التجاذب بين جزيئين من السُّكَّر أقوى من التجاذب بين جزيئي سكر وماء. ولهذا، يذوب السُّكَّر في الماء فقط ما دام أنّ عدد جزيئات الماء أكبر كثيراً من عدد جزيئات السُّكَّر. وعندما يكون هناك عدد قليل نسبياً من جزيئات الماء لإذابة كمية إضافية من السُّكَّر يكون المحلول مشبعاً.



الشكل 19.16

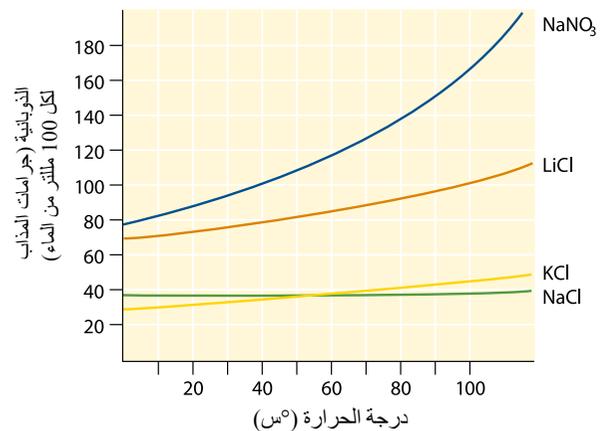
هل هذه الكأس منصهرة أم مذابة؟

### الذوبانية تتغير مع درجة الحرارة

ربما تعلم من خبرتك أنّ المواد الصلبة التي تذوب في الماء عادة، تكون ذوبانيتها أفضل في الماء الساخن من ذوبانيتها في الماء البارد. فمثلاً يمكن صنع محلول شديد التركيز من السُّكَّر في الماء بتسخين الماء حتى درجة الغليان. هكذا يُصنع القَطْر وسكر النبات.

تزداد الذوبانية بازدياد درجة الحرارة؛ لأنّ جزيئات الماء الساخن لها طاقة حركية أكبر وتستطيع الاصطدام بشدة مع المذاب الصلب. تساعد الاصطدامات الشديدة في تقليل التجاذبات الكهربائية بين الجسيمات في المادة الصلبة.

ومع أنّ الذوبانية للعديد من المذابات الصلبة، السُّكَّر مثلاً، تزداد بازدياد درجة الحرارة، فإنّ ذوبانية المذابات الصلبة الأخرى مثل كلوريد الصوديوم، تتأثر قليلاً، كما هو مبين في الشكل 20.16. إنّ الفرق في هذا يعزى إلى عدد من العوامل، من ضمنها قوة الروابط الكيميائية في جزيئات المذاب، وطريقة رصّ هذه الجزيئات معاً، وفي الحقيقة، فإنّ بعض المواد الكيميائية مثل كربونات الكالسيوم،  $\text{CaCO}_3$ ، تصبح أقلّ ذوبانية عند زيادة درجة حرارة الماء، وهذا يفسر سبب تغليف السطح الداخلي لإبريق الشاي عادةً ببقايا كربونات الكالسيوم.



الشكل 20.16

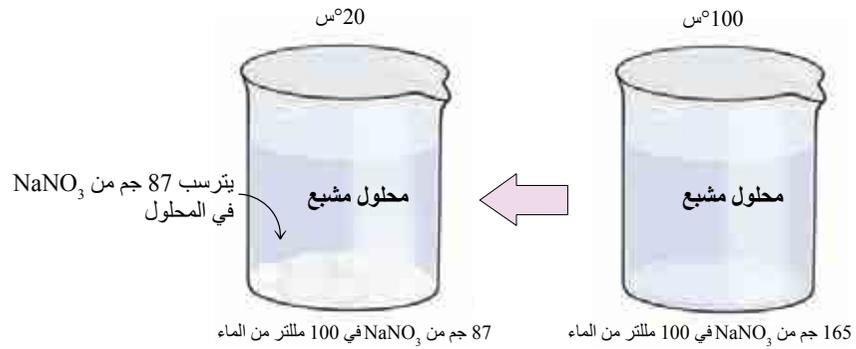
تزداد ذوبانية العديد من المواد الصلبة التي تذوب في الماء مع زيادة درجة الحرارة، في حين تتأثر ذوبانية بعضها الآخر قليلاً بدرجة الحرارة.

تذوب الشحمة في المادة الرقافية المخففة للدهان، ولهذا تستخدم هذه المادة الرقافية المخففة للدهان في غسل اليدين من الزيوت. ولكن دهون الجسم هي الأخرى تذوب في هذه الرقافية. ولهذا فإن اليدين اللتين نُنظفنا بهذه المادة الرقافية المغذية للدهون تكونان جافتين ومتشققتين.

### الشكل 21.16

يذوب 165 جم من نترات الصوديوم في 100 ملتر من الماء على درجة حرارة 100°س، ولكن يذوب 87 جم منها فقط في 100 ملتر عند درجة حرارة 20°س. بتبريد المحلول المشبع من  $\text{NaNO}_3$  من درجة حرارة 100°س إلى درجة حرارة 20°س يترسب 78 جم من المذاب.

عندما يسمح لمحلول مشبع بالسكر أن يبرد عند درجة حرارة عالية، فإن بعض السكر من المحلول يخرج عادة ويترسب. وعندما يحدث ذلك، يُقال للمذاب (السكر في هذه الحالة) أنه ترسب من المحلول. دعنا نستمر في تفكيرنا الكمي إلى ذروته، ولنأخذ مثلاً آخر: عند درجة حرارة 100°س تكون ذوبانية نترات الصوديوم،  $\text{NaNO}_3$ ، في الماء 165 جم لكل 100 ملتر. وعند تبريد هذا المحلول، تتناقص ذوبانية  $\text{NaNO}_3$ ، كما في الشكل 21.16 ويعمل هذا التناقص في ذوبانية  $\text{NaNO}_3$  على الترسب (وتخرج من المحلول). عند درجة حرارة 20°س، تصبح ذوبانية  $\text{NaNO}_3$  87 جم في 100 ملتر من الماء. وحين يبرد المحلول من 100°س إلى 20°س، فإن 78 جم (165 جم - 87 جم) يترسب كما هو مبين في الشكل 21.16.



### الذوبانية في الغازات

بالمقارنة مع ذوبانية المواد الصلبة، فإن ذوبانية الغازات في السوائل تتناقص مع زيادة درجة الحرارة. كما يوضح الجدول 1.16. ويحدث هذا لأن زيادة درجة الحرارة ترفع طاقة حركة جزيئات المذيب. إن هذه الزيادة في طاقة حركة جزيئات المذيب تجعل من الصعب على الجزيئات المذابة البقاء في المحلول نتيجة طرد جزيئات المذاب من جزيئات المذيب ذات الطاقات العالية.

الجدول 1.16 اعتماد ذوبانية غاز الأكسجين في الماء على درجة الحرارة تحت الضغط الجوي الاعتيادي (المعياري).

الذوبانية $\text{O}_2$ (جم $\text{O}_2$ لكل لتر $\text{H}_2\text{O}$ )	درجة الحرارة (°س)
0.0141	0
0.0109	10
0.0092	20
0.0083	25
0.0077	30
0.0070	35
0.0065	40

الهواء محلول غازي، وأحد مكوناته الفرعية هو بخار الماء. تسمى عملية خروج الماء من هذا المحلول "على شكل مطر أو ثلج الترسيب" للمطر أو الثلج.

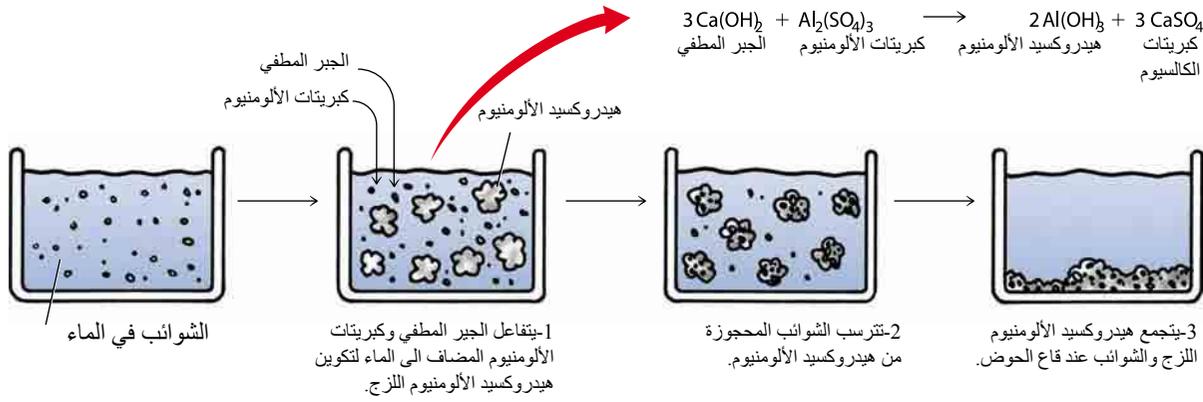
ربما لاحظت أنّ المشروبات الغازية السكرية الساخنة تفقد الغازات أسرع من المشروبات الغازية المبردة. وكلما زادت درجة الحرارة فإنّ جزيئات ثاني أكسيد الكربون تغادر السائل المذيب بمعدل أعلى. تعتمد ذوبانية الغاز في السائل أيضاً على ضغط الغاز فوق السائل مباشرة. على العموم، إنّ وجود ضغط غاز عال فوق السائل يعني مزيداً من الغاز المذاب. كما يعني وجود العديد من جسيمات الغاز في وحدة الحجم. فعلى سبيل المثال، إنّ "الجزء غير الممتلئ" في علبة المشروب الغازي المغلقة، محشوّة بجزيئات ثاني أكسيد الكربون في الطور الغازي. وحيث لا يوجد أي مكان تذهب إليه، فإنّ هذه الجزيئات تذوب في السائل











الشكل 27.16

يتفاعل الجير المطفي،  $\text{Ca(OH)}_2$  وكبريتات الألمونيوم  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  مع هيدروكسيد الألمونيوم  $\text{Al(OH)}_3$ ، وكبريتات الكالسيوم  $\text{CaSO}_4$ ، والتي تتشكل مع بعضها مواد لزجة.

يقال للماء الذي يمكن شربه بأمان بأنه *صالح للشرب*. يستخدم الماء الصالح للشرب في الولايات المتحدة حاليًا لكل شيء من الطبخ وحتى غسل الحمامات. إن الخطوة الأولى في معظم المرافق العامة في إنتاج مياه الشرب من المصادر الطبيعية هي إزالة جسيمات الرمل، أو الممرضات، مثل البكتيريا. يمكن عمل ذلك بواسطة مزج الماء بمواد معينة مثل الجير المطفي، وكبريتات الألمونيوم التي تخثرها في مادة هلامية، وهيدروكسيد الألمونيوم الذي ينتشر خلال الماء (الشكل 27.16). ويتم ذلك في الأحواض الرسوبية. إن التحريك البطيء يعمل على تجميع المواد المتخثرة وترسيبها إلى قاع الحوض. وعند ترسب هذه التجمعات المتشكلة، حمل معها الكثير من الأوساخ والبكتيريا. ثم يرشح الماء خلال الرمل والحصى.

ولتحسين طعم الماء ورائحته: تعمل العديد من محطات المعالجة على إشباع الماء بالأكسجين. وذلك بتمريره خلال أعمدة من الهواء. كما في الشكل 28.16. تقوم عملية إشباع الماء بالهواء بإزالة العديد من الروائح الكريهة والمواد الكيميائية المشتعلة مثل مركبات الكبريت. وفي الوقت نفسه، يكتسب الماء طعمًا أفضل بعد إذابة الهواء فيه؛ من دون ذوبان الهواء. لا نكهة لطعم الماء. وكخطوة أخيرة، يعالج الماء بمطهر. ويكون عادة غاز الكلور،  $\text{Cl}_2$ . وفي بعض الأحيان الأوزون،  $\text{O}_3$ . ثم يخزن في برك لتزويد سكان المدينة به.

تملك البلدان المتقدمة التكنولوجيا والبنية التحتية لإنتاج كميات كبيرة من المياه الصالحة للشرب. وكنتيجة، يرى كثير من المواطنين أن مياه الشرب من حقوقهم المسلم بها. ولكن عدد محطات معالجة المياه في الأقطار النامية قليل. في هذه المناطق، يشرب الناس مياههم كمشروبات ساخنة مثل الشاي الذي يعقم بالغلّي، أو باستخدام المواد المعقمة.

أحيانًا لا يتوافر الوقود للغلّي ولا الأفراس للتعقيم. ولهذا، يموت أكثر من 400 شخص (معظمهم من الأطفال) في العالم كل ساعة من الأمراض المعدية. مثل الكوليرا وحمى التيفوئيد والزحار، والتهاب الكبد، وجميعها ينتقل عن طريق شرب المياه الملوثة. وعليه، فقد طوّر عدد من المصنّعين الأمريكيين أنظمة صغيرة قادرة على تخليص المياه من الممرضات (pathogen) وذلك بتعريضها للأشعة فوق البنفسجية التي تقضي عليها. بين الشكل 29.16 أحد هذه النماذج وهو معقم ببطارية خلية شمسية تسمح له بالعمل في المناطق النائية.



الشكل 28.16

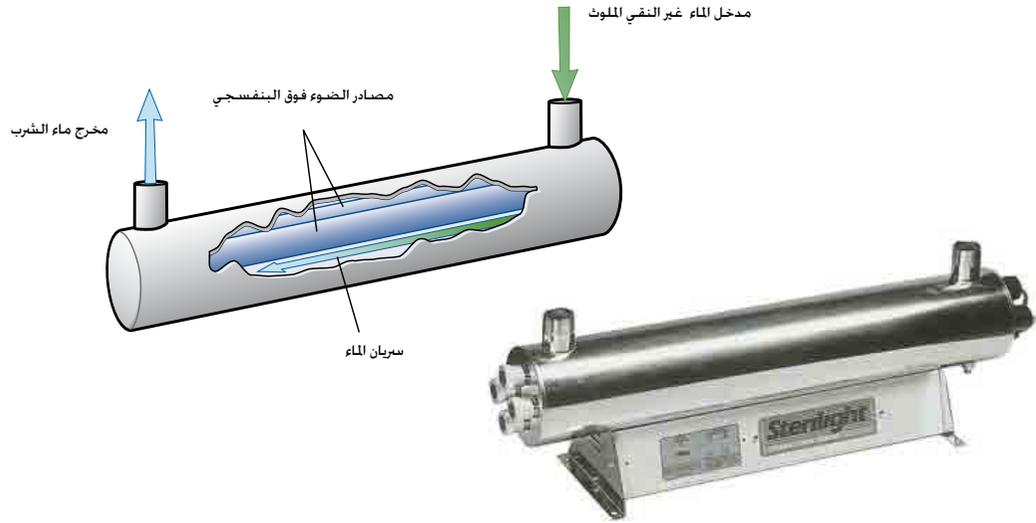
تزال الشوائب المتطايرة من ماء الشرب بدفقه من خلال أعمدة الهواء داخل هذه الأنابيب كلها.



إن النقص في مياه الشرب العذبة من أهم أسباب الموت، خاصة عند أطفال الدول النامية.

الشكل 29.16

وحدة التطهير للماء على مقياس صغير. تحمل مثل هذه الوحدة قيمة عظيمة خاصة في مناطق العالم التي تكون فيها مياه الشرب شحيحة.



بعيداً عن الممرضات، تحتوي مياه الآبار والأنهار غير المعالجة على عناصر سامة تتسرب إلى منبع الماء من التشكيلات الجيولوجية الطبيعية. فعلى سبيل المثال، يحفر العديد من الآبار العميقة في بنجلادش لتجنب الممرضات المنتشرة على سطح الماء في هذه المنطقة. ولكن الماء المأخوذ من هذه الآبار العميقة ملوث بشدة بالزرنيخ الذي هو عنصر يوجد طبيعياً في قشرة الأرض. يوجد الزرنيخ تحت الصخور التي تتشكل من رسوبيات الأنهار المحملة من الهملايا. ولأنّ هذه المناطق مأهولة بكثافة، حيث يعيش نحو 70 مليون إنسان، فإنّهم معرضون للتسمم بالزرنيخ. ويمكن ملاحظة أثره عبر أضرار الجلد، والقابلية العالية للإصابة بمرض السرطان. إنّ الناس بحاجة ماسة إلى طرق رخيصة التكلفة لإزالة الزرنيخ من مياه الآبار، وإلى اعتراف العالم بهذه المشكلة، وكذلك إلى الدعم السياسي والاجتماعي والاقتصادي للتغلب على هذه المشكلة.

في عام 1990م من القرن الماضي، أجبرت حملة ضد كلورة الماء في البيرو الحكومة إلى وقف كلورة ماء الشرب. وفي خلال أشهر تم تسجيل 1.3 مليون إصابة بالكوليرا، نجم عنها 13,000 وفاة.

نقطة فحص

كيف تعمل محطة معالجة المياه التي تنقي المياه بإضافة كل من الجير المطفي، وسلفات الألومنيوم؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يكون الماء الذي يدخل إلى محطة المعالجة خليطاً متجانساً يحتوي على المواد الصلبة العالقة. وبإضافة الجير المطفي وسلفات الألومنيوم يتم الإمساك بالمواد العالقة وترسيبها في القعر. حيث يمكن إزالتها بسهولة.

إزالة الملوحة

مع نزوب المصادر الطبيعية للمياه العذبة في العديد من المناطق، هناك اهتمام متزايد بآليات إنتاج مياه عذبة من الخزانات الأرضية العميقة، أو مياه البحر، أو المياه الجوفية قليلة الملوحة. تعمل محطات إزالة الملوحة في 120 بلداً تقريباً حول العالم بسعة إجمالية تقدر بنحو 16 بليون لتر يومياً. إنّ إزالة ملوحة الماء في العديد من مناطق العالم في الكاربي، وشمال إفريقيا، والشرق الأوسط، هي المصدر الرئيس في المدن (الشكل 30.16). وبعدّ الماء الذي أزيلت ملوحته المصدر الرئيس للبلديات في الولايات المتحدة، فهناك أكثر من ألف محطة إزالة الملوحة، وبسعة إجمالية أكثر من 400 مليون لتر يومياً. تستخدم معظم المياه المعالجة للأغراض الصناعية، وتأتي من المصادر القليلة الملوحة، أو من المياه التي تحتوي على نسبة عالية من المعادن المذابة.

معلوماتك

لقد كانت مدينة جيرسي أول مدينة في ولاية نيوجيرسي تبدأ بكلورة ماء شربها في عام 1908م، وبحلول عام 1910م، ونتيجة لتنقية ماء الشرب بالكلور، انخفض معدل الإصابة بالتيفوئيد إلى 20 فرداً لكل 100000. وفي عام 1935م، انخفض معدل الوفاة إلى 3 أفراد لكل 100000. وفي العام نفسه 1935م، قضى أقل من 20 شخصاً بسبب حمى التيفوئيد في أنحاء الولايات المتحدة جميعها.

الشكل 30.16

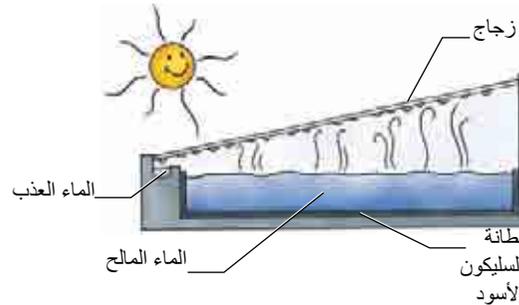


تعدّ المملكة العربية السعودية رائدة في إزالة ملوحة الماء. إنّ محطاتها المزيلة للملوحة كتلك التي تظهر هنا، لها طاقة إجمالية تبلغ نحو 4 بلايين لتر يوميًا.

هناك طريقتان رئيستان لإزالة الملوحة من مياه البحر أو المياه قليلة الملوحة. وهما: التّقطير والتّناضح العكسيّ. إنّ هاتين الطريقتين فاعلتان في إزالة العديد من الملوثات الأخرى. مثل الممرضات والأسمدة والمبيدات. وهكذا. فإنّ التّقطير والتّناضح العكسيّ يستخدمان أيضًا لتنقية المياه العذبة الطبيعية. ومثال هذا العديد من شركات المياه التي تعبئ المياه العذبة المعالجة في زجاجات بالتّقطير أو بالتّناضح العكسيّ.

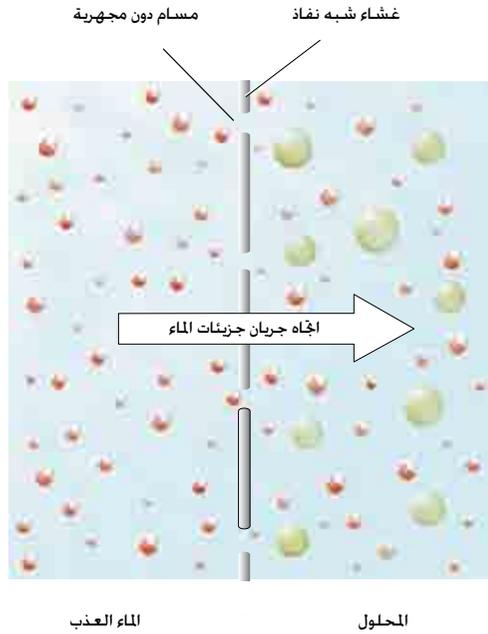
يتضمن التّقطير تبخير الماء بالحرارة، ثم تكثيف البخار إلى ماء سائل نقي. (الجزء 1.16) ينتج أكثر من 60% من المياه الأرضية المزالة الملوحة باستخدام هذه الطريقة. ولأنّ حرارة التبخير للماء عالية فإنّ هذه الطريقة مكلفة للطاقة. لذا، تقوم معظم محطات تقطير الماء اليوم بحرق كميات كبيرة من الوقود الأحفوري، ولكن لسوء الحظ، تنتج كميات هائلة من الملوثات بالنسبة إلى حجم الماء العذب المنتج. أمّا المقطرات الشمسية فتتجنب حرق الوقود، ولكنها تتطلب مساحة تقدّر بنحو 1م<sup>2</sup> لإنتاج 4 لترات من الماء العذب في اليوم، كما يبين الشكل 31.16. يمكن اعتبار مساحة السطح لمنزل واحد أو قرية صغيرة. أمّا المدن الكبيرة المساحة، حيث تكون الأرض المفتوحة الفارغة نادرة، فإنّ التّقطير الشمسيّ غير عمليّ خاصة إذا أخذنا في الحسبان تكاليف الصيانة للعديد من هذا النوع من المقطرات.

في العديد من المناطق، تفضل طريقة التّناضح العكسيّ لإزالة ملوحة الماء. ولكي تفهم التّناضح العكسيّ، يجب عليك فهم التّناضح أولاً. يتضمن التّناضح غشاءً شبيه نفاذ (Semi permeable membrane) يحتوي على ثقوب دون مجهرية تسمح بمرور جزيئات الماء



الشكل 31.16

محطات التّقطير الشمسية مشهورة في المجتمعات النائية على طول حدود تكساس - نيومكسيكو، حيث إنّ الماء من حوض غراندي مالح، إضافة إلى طرح الكيمياء الزراعية من الري.



ولكن ليس الأيونات المذابة الكبيرة أو الجزيئات المذابة. عندما نفصل كمية ماء عذب عن كمية ماء مالح بحاجز شبه نفاذ. فإنّ جزيئات الماء العذب تنتقل إلى الجزء المالح من الماء بمعدل سرعة أكبر من معدل الانتقال من الماء المالح إلى الماء العذب. والسبب في ذلك وجود جزيئات ماء على جانب حاجز الماء العذب أكثر من جزيئات الماء على جانب الحاجر من الماء المالح. كما في الشكل 23.16. تسمى محصلة انتقال جزيئات الماء عبر الغشاء شبه النفاذ إلى الجانب الأكثر تركيزاً **التناضح (Osmosis)**.

إنّ نتيجة التناضح هي زيادة حجم الماء المالح ونقص حجم الماء العذب. وفي المقابل، فإنّ التغيرات في الحجم تسمح بزيادة الضغط. والذي يسمى **الضغط التناضحي**. إنّ **الضغط الأسموزي** في الشكل 33.16 هو نتاج زيادة ارتفاع الماء المالح إلى جانب المياه العذبة. تكون جزيئات الماء في الجانب المالح مضغوطة عبر الغشاء بضغط التناضح. وفي النهاية، يتساوى معدل انتقال جزيئات الماء بين الجانبين. ونصل إلى حالة اتزان. كما في الشكل 33.16 ب. إذا طبقنا ضغطاً خارجياً على الماء المالح، تنضغط جزيئات ماء أكثر عبر الغشاء من الجانب المالح إلى جانب المياه العذبة. كما في الشكل 33.16 ج. إنّ إجبار الماء على الانتقال عبر غشاء شبه نفاذ من المحلول الأكثر تركيزاً إلى المحلول الأقل تركيزاً - يسمى **التناضح العكسي (Reverse osmosis)**. وكما نرى فإنّ التناضح العكسي هو آلية لإنتاج مياه

عذبة من المياه المالحة.

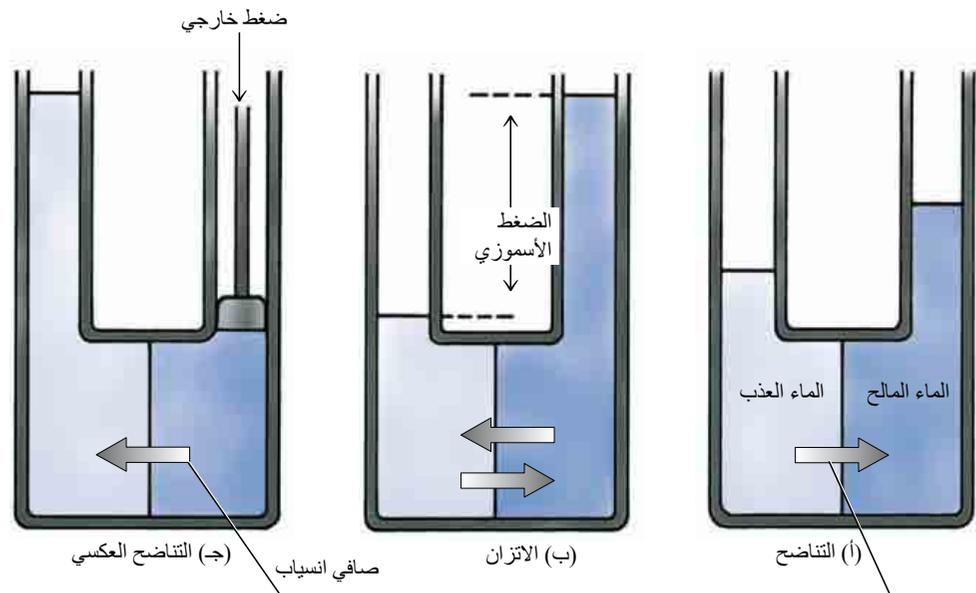
### الشكل 32.16

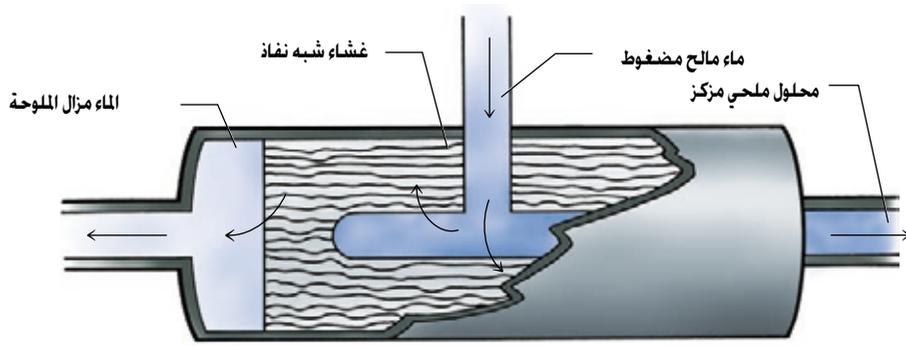
الأسموزية. تسمح المسامات دون المجهرية للأغشية شبه النفاذة فقط لجزيئات الماء بالعبور. بسبب وجود جزيئات الماء بكثرة على طول وجه الغشاء من جانب المياه العذبة أكثر من وجه المحلول، هناك جزيئات ماء متوافرة للانتقال إلى المحلول أكثر من المتوافرة للانتقال إلى المياه العذبة.

إنّ الضغط التناضحي للمياه المالحة كبير جداً؛ 24.8 ضغط جوي (psi 365). وإنتاج ضغط أكبر من هذا الضغط: نحتاج إلى التغلب على بعض المشاكل الفنية. إضافة إلى زيادة استهلاك الطاقة. ومع ذلك، فقد استطاع المهندسون بناء وحدات توليد ضغط تناضحي قوي. كما في الشكل 34.16، والتي يمكن ربطها مع إنتاج ماء عذب من المياه المالحة بمعدل ملايين الجالونات في اليوم. إنّ محطات إزالة الملوحة بالتناضح العكسي للمياه القليلة الملوحة. وتتطلب توليد ضغوط خارجية قليلة جداً مناسبة واقتصادية.

### الشكل 33.16

(أ) ينتج التناضح عن كميات كبيرة من الماء المالح الذي يتسبب في زيادة الضغط على الجانب المالح من الغشاء. (ب) عندما يزيد الضغط على الجانب المالح من الغشاء على حدّ معين، ينتقل عدد متساوٍ من جزيئات الماء في كلا الاتجاهين. (ج) يجبر تطبيق الضغط الخارجي جزيئات الماء على الانتقال من جانب الماء المالح إلى جانب الماء العذب. وهكذا، فإنّ معدل الانتقال من المالح إلى العذب يزيد على معدل الانتقال من العذب إلى المالح.





### ■ نقطة فحص

الأغشية البيولوجية، بما فيها أغشية الخيار، شبه نفاذة. وعند وضع محلول ملحي يصغر حجمه. هل هذا مثال على التناضح أم التناضح العكسي؟

### هل كانت هذه إجابتك؟

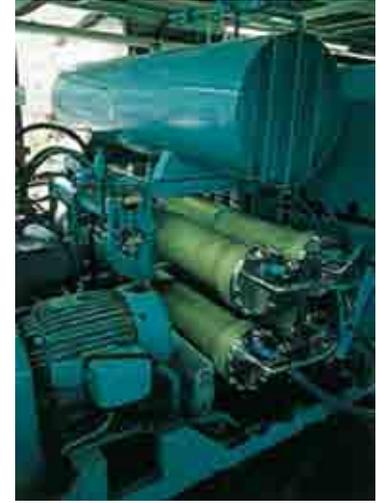
لا يوجد هنا ضغط خارجي، ما ينفي التناضح العكسي. بدلاً من ذلك، يدل ذبول الخيار على فقدان خلايا الخيار للماء إلى الماء المالح المركز. وهذا تناضح. حيث تنتقل جزيئات الماء عبر الغشاء شبه النفاذ إلى المناطق الأكثر تركيزاً بالملح. إذا أضفت بعض التوابل وبعض الأنواع الصحيحة من الكائنات الدقيقة، فستحصل على مخلل.

### الماء المعبأ

إنّ مياه البحر المحلاة، القليلة الملوحة مصادرٌ جديدة ومهمة للمياه العذبة. وعلى الرغم من أنّ هذه المياه العذبة أكثر تكلفة من مياه المصادر الطبيعية العذبة إلا أنه يمكن القول عندئذ إنّ هذه التكلفة تعكس القيمة الحقيقية للمياه العذبة. في الولايات المتحدة، تتوافر المياه العذبة بكميات هائلة، ما يسمح للشركات ببيع الماء بسعر يقلّ عن قرش (بنس) للتر الواحد. ومع ذلك، فإنّ المستهلكين مستعدون لدفع ما يقارب دولارين لكلّ لتر من الماء المعبأ في زجاجات! ينفق الأمريكيون في كلّ عام نحو 400 مليون دولار في العام على الماء المعبأ في زجاجات. كما أنّ السوق ينمو بسرعة كبيرة. ومن السهل التنبؤ بالاعتماد المتزايد على التّقطير والتناضح العكسيّ.

في عام 2005م تم بيع 100 بليون لتر من الماء المعبأ في العالم، ولكن معظمه في الدول المتقدمة، حيث إنّ ماء الصّنبور هناك صالح للشرب. من الصعب تقدير كمية الطاقة المستهلكة في عمليات نقل المياه المعبأة في علب من مصادرها إلى المستهلكين، ولكن بسبب أنّ الماء كثيف فإنّ التكلفة عالية دون شك. وعلى افتراض أننا نحتاج إلى 100 مللتر من الجازولين لنقل لتر واحد من الماء في علبه، فهذا يعني انبعاث نحو 25 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون في العالم، دون ذكر الملوثات الأخرى. بينت الدراسات أنّ 20% تقريباً من علب مياه الشرب يعاد تدويرها. وفي كاليفورنيا وحدها، يرمى نحو بليون علب مياه في المهملات سنويّاً. ويمكن صناعة 74 مليون قدم مربع من السجاد من بلاستيك هذه العلب. لذا، يجب على الأفراد الذين يشربون المياه المعبأة في علب إدراك الثمن البيئي الضخم لذلك.

تضاعف الجهود للتغلب على الأضرار البيئية المتعددة لعلب المياه، والحدّ من التكلفة العالية التي تبلغ حتى 1000 مرة تكلفة الماء في الصنابير. ومن ذلك تركيز العديد من مسوّقي مياه العلب على الفوائد الثانوية لمنتجاتهم. وهذا يتضمن الأكسجين المذاب، كما يظهر في الجدول 1.16



الشكل 34.16

تتكون وحدة الضغط الأسموزي العكسيّ الصناعية من عدة أغشية شبه نفاذة مرصوفة حول الماء المركز الملوحة. يدفع الماء المزال الملوحة إلى أحد الجوانب، أما الماء المالح المتبقي، والذي يصبح أكثر تركيزاً فيكون موجوداً على الجانب الآخر. يمكن لشبكة من وحدات الأسموزية العكسيّة أن تعمل معاً بالتوازي معاً لإنتاج كميات هائلة من الماء العذب من الماء المالح.



الشكل 35.16

إن كربنة الماء بنفسك ليس فقط ممتعاً، بل أوفر وأفضل بيئياً من شراء الصّودا من المتاجر.

## لمعلوماتك

■ الماء الموجود في الطبيعة مليء بالبكتيريا التي تحطم المركبات العضوية. إن البكتيريا الهوائية تخلص المواد العضوية في وجود الأكسجين.  $O_2$ . محولة المواد العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون العديم الرائحة. وماء. ونترات. وكبريتات. خلال البكتيريا اللاهوائية المواد العضوية في غياب الأكسجين. منتجة الميثان. والذي هو غاز قابل للاشتعال. وله رائحة النيتروجين والمركبات المحتوية على الكبريت الكريهة. تعود الرائحة القذرة للبالوعة إلى نقص الأكسجين المذاب ونواحي التحليل غير الهوائي.



الشكل 36.16

في هونولولو، حيث يتدفق نحو 280 مليون لتر من المياه العادمة عبر عدة محطات لمعالجة المياه العادمة كل يوم. يُضخ هذا الماء إلى أعماق مئات الأمتار تحت سطح البحر، وهكذا يستمر في الانسياب نحو قعر المحيط. تكون شروط معالجة المياه العادمة أقل صرامة من تلك التي على اليابسة بالكامل، حيث ليس من السهولة استبعاد المياه العادمة.

ليس أكثر من 0.0083 جم/لتر عند درجة حرارة الغرفة. وللمقارنة. فإن النّفس الواحد من الهواء يحتوي على 100 مرة من كمية الأكسجين الموجود في نصف لتر من الماء "المشبع بالأكسجين". والأكثر من ذلك. أنّ معظم الغازات المتجمعة في القناة الهضمية تخرج مع الفضلات. على افتراض أنك لم تتجشأ. والأسوأ من ذلك الادعاء بأنّ المياه المعلبة تحتوي على ماء "فاعل" يُعدّل تركيبه باستخدام "طاقة خفية" لجعله أكثر تغذية. لا يمكن الكشف عن الطاقة الخفية بالطبع بالعلوم الحالية. ولكن أثرها في صحتك يمكن أن يكون كبيراً: فيا أيّها المستهلك انتبه! معظم الماء المعبأ في العلب المبيعة اليوم هو ماء بلديات منقى بالتناضح العكسي. لقد اكتشف معظم الناس أنّ استخدام وحدات تناضح عكسي في بيوتهم أقلّ تكلفة. وأقلّ ضرراً على البيئة. وللدعابة. يمكنك تركيب آلة صودا. ليصبح لديك نافورة صودا. كما في الشكل 35.16.

## 8.16 معالجة المياه العادمة

يجب معالجة محتويات أنظمة الصرف الصحيّ التي تقع ضمن نطاق معظم البلديات قبل التخلص منها بإطلاقها إلى الأنهار والمحيطات. يعتمد مستوى المعالجة على الجهة التي يوجّه الماء إليها فيما إذا كانت نهراً أو محيطاً. فإذا كانت وجهة المياه العادمة نهراً. فإنّ معالجتها تتطلب أعلى درجات الحرص حفاظاً على مصلحة الناس والمجموعات في اتجاه مجرى النهر. أمّا في المحطات المحاطة ببحار عميقة. كما في حالة المحطة الظاهرة في الشكل 36.16 فإنّ متطلبات المعالجة تكون أقلّ صرامة.

تفقد الخلفات البشرية مكوناتها حين تصل إلى محطة معالجة المياه العادمة. وتبدو المياه العادمة كسيل رماديّ بنيّ. ولكن يوجد في هذا السيل العديد من المنتجات غير الذائبة. بما فيها المواد البلاستيكية الصغيرة. مثل سدادات الرّجاجات والمواد الرّمليّة. والمواد الوسخة. مثل مخلفات القهوة والرّمّل. كما توجد كرات دهنية صلبة من مخلفات زيوت الطبخ. وعليه. فإنّ الخطوة الأولى في معالجة المياه العادمة هي في غربلة هذه المواد غير الذائبة. (يجب أن تعلم أنّ خبراء معالجة المياه العادمة يشيرون إلى أنه يجب التعامل مع هذه المواد غير الذائبة بما فيها دهون مخلفات الطهي. يجب أن تصرّف كمخلفات صلبة. لا أن تمرّر عبر المصارف أو ترمى بالحمامات).

إنّ المستوى الثاني من معالجة المياه العادمة في البلديات بعد الغربلة هي المعالجة الرئيسية. في المعالجة الرئيسية. يدخل الماء المعالج بعد الغربلة إلى حوض ترسيب كبير لترسيب المواد الصلبة كوحل (الشكل 37.16). وبعد فترة زمنية. يُزال الوحل من قعر الحوض ويرسل مباشرة- على الأغلب- إلى مكاب الخلفات الصلبة. بعض المحطات مزودة بأفران كبيرة تحرق الوحل وتحرقه. أحياناً مع بعض الخلفات من البلديات مثل منتجات الورق. أمّا الرماد الناتج فيكون أكثر تراصاً. ولا يحتاج إلى مساحة أرضية كبيرة.

يعقّم الماء المعالج المتدفق من المعالجة الرئيسية. وكذلك بمستويات أعلى من المعالجة إما بغاز الكلور أو بالأوزون قبل إطلاقه للبيئة. ومن الميزات المهمة لاستخدام غاز الكلور هو بقاءه لفترة طويلة حتى بعد خروجه من المحطة. وهذا يزوده بحماية إضافية ضد الأمراض. ولكن. يتفاعل الكلور مع كثير من المركبات العضوية في الماء المعالج ليكون مركبات الكلور- كربون الهيدروجين. (العديد منها تسبب السرطانات). إضافة إلى أنّ الكلور يقتل البكتيريا فقط. ويبقى على الفيروسات دون القضاء عليها. أمّا الأوزون ففوائده أكثر: لأنّه يقتل كلّاً من البكتيريا والفيروسات.



## ■ اختبر معلوماتك

متر بين الوظائف الرئيسية للمعالجات الأولى والثانية والثالثة للمياه العادمة.

هل كانت هذه إجابتك؟

تزيل المعالجة الأولى للمياه العادمة الخلفات الصلبة الكبيرة، والوحل من المصارف باستخدام أجهزة غرابيل وأحواض كبيرة. أما المعالجة الثانية فتقلل من حاجة المياه المتدفقة إلى الأكسجين عن طريق التهوية. في حين تزيل المعالجة الثالثة الممرضات والخلفات التي لم يتم التخلص منها في المعالجتين السابقتين بترشيح المياه المتدفقة عبر كرات دقيقة من الكربون أو غيرها من الجسيمات الدقيقة.

## ملخص المصطلحات

**محلول غير مشبع Unsaturated solution:** المحلول الذي يستطيع إذابة كمية إضافية من المذاب.  
**التركيز Concentration:** مقياس كمي لكمية المذاب في المحلول.  
**المول Mole:** أي كمية من المادة النقية التي تحتوي على عدد من الذرات، أو الجزيئات، أو الأيونات، أو أي وحدات أساسية تساوي عدد الذرات في 12 غم من الكربون-12. وهذا العدد يساوي  $6.02 \times 10^{23}$  جسيم.  
**المولارتي Molarity:** وحدة قياس التركيز، وتساوي عدد المولات المذابة في المحلول.  
**ذائب soluble:** قابل للذوبان في مذيب معين إلى حد ما.  
**الذوبانية Solubility:** مقدرة المذاب على الذوبان في مذيب معين.  
**غير قابل للذوبان Insoluble:** عدم القدرة على الذوبان بأي كمية ملموسة في مذيب معين.  
**الترسيب Precipitate:** المذاب الذي يخرج من المحلول.  
**عسر الماء Hard water:** الماء الذي يحتوي على كميات كبيرة من أيونات الكالسيوم والمغنسيوم.  
**غشاء شبه نفاذ Semipermeable membrane:** الغشاء الذي يسمح فقط بمرور جزيئات صغيرة تلائم فتحات المسامات دون الجهرية.  
**التناضح Osmosis:** انتشار الماء أو بعض السوائل الأخرى عبر غشاء شبه نفاذ من محلول له تركيز مذاب منخفض إلى محلول له تركيز مذاب أعلى.  
**التناضح العكسي Reverse osmosis:** آلية لتنقية الماء لإجباره على المرور عبر غشاء شبه نفاذ.

**الخليط Mixture:** اتحاد بين مادتين أو أكثر. تحتفظ كل مادة بخصائصها.  
**التقطير Distillation:** عملية تنقية، حيث تكثف المادة بعد تبخيرها بتمريرها إلى درجات حرارة باردة في دورق، ثم يجمع السائل المكثف النقي.  
**نقي Pure:** مكون من تركيب منتظم، أو دون شوائب. يدل هذا المصطلح في الكيمياء على مادة مكونة من عنصر واحد أو مركب واحد.  
**غير نقي Impure:** يشير هذا المصطلح في الكيمياء إلى أن المادة الخليط مكونة من أكثر من عنصر أو مركب.  
**خليط غير متجانس Heterogeneous mixture:** خليط يمكن اعتبار مكوناته المختلفة مواد مفردة.  
**خليط متجانس Homogeneous mixture:** خليط تكون مكوناته مزوجة بدقة بحيث يكون التركيب نفسه (متجانساً) في أجزائه جميعها.  
**المحلول Solution:** خليط متجانس حيث يكون لمكوناته جميعها الطور نفسه.  
**المعلق Suspension:** خليط متجانس لا تكون مكوناته المختلفة في الطور نفسه.  
**المذيب Solvent:** مكوّن: المحلول لا يكون مذيباً.  
**مذاب Solute:** أي مادة في المحلول غير المذيب.  
**الإذابة Dissolving:** عملية مزج المذاب في مذيب لإنتاج خليط متجانس.  
**محلول مشبع Saturated solution:** محلول يحتوي على الكمية العظمى من المذاب الذي يمكن إذابته في المذيب.

## أسئلة مراجعة

## 1.16 معظم المواد مخاليط

1. ما الذي يشير إلى أن مادة ما خليط؟

2. كيف يمكن فصل مكونات الخليط بعضها عن بعض؟

3. كيف يستطيع التقطير فصل مكونات الخليط؟

## 2.16 تصنيف الكيمائيين للمادة

4. لماذا من غير العملي الحصول على عينة جاهزة بنقاوة 100%؟

5. كيف يختلف المحلول عن التعليق؟

6. كيف يمكن تمييز المحلول عن التعليق؟

## 3.16 المحاليل

7. ماذا يحدث لحجم من محلول السكر عند إذابة كمية إضافية من السكر فيه؟
8. لماذا تعدّ الياقوتة محلولًا؟
9. ميز بين المذاب والمذيب؟
10. ماذا يعني أن المحلول مركز؟
11. هل يعدّ المول الواحد من الجسيمات عددًا كبيرًا أم صغيرًا؟

## 4.16 الذوبانية

12. ما الطرائق التي تتجاذب بها جزيئات الإيثانول وجزيئات الماء بعضها مع بعض؟
13. ماذا يعني أن مادتين تذوب إحداهما في الأخرى إلى ما لانهاية؟
14. ما نوع الجذب الكهربائي المسؤول عن قدرة الأكسجين على الذوبان في الماء؟
15. لماذا تتناقص ذوبانية الغاز في السائل المذيب مع زيادة درجة الحرارة؟

## 5.16 الصابون والمنظفات

16. أي جزء من جزيء الصابون غير قطبي؟
17. بأي نوع من الجذب الكهربائي يتجاذب الصابون مع الماء؟
18. على الأغلب بأي نوع من الجذب الكهربائي تتجاذب جزيئات الأوساخ معًا؟
19. ما الفرق بين الصابون والمنظف؟

## 6.16 إزالة عسر الماء

20. ما مكون الماء العسر الذي يجعله عسرًا؟
21. لماذا تنجذب جزيئات الصابون لأيونات كل من الماغنسيوم والكالسيوم؟
22. تنجذب أيونات كل من الكالسيوم والماغنسيوم لكاربونات الصوديوم أكثر من الجذابها إلى الصابون. لماذا؟

## 7.16 تنقية الماء الذي نشربه

23. لماذا يُعرّض الماء المعالج للهواء قبل تزويد الناس به؟
24. اذكر طريقتين يستخدمهما الناس لتطهير المياه في المناطق التي لا توجد فيها وسائل معالجة البلديات؟
25. ما العنصر الموجود طبيعيًا والذي لوث مستودعات مياه بنجلادش؟
26. ما الطريقتان الرئيستان لإزالة ملوحة الماء؟
27. اذكر سلبية واحدة للتقطير الشمسي؟

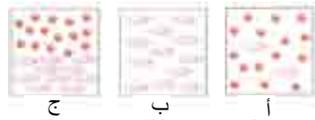
## 8.16 معالجة المياه العادمة

28. لماذا تكون متطلبات معالجة المياه العادمة في هاواي أقل صرامة من معظم المحطات في وسط الولايات المتحدة؟
29. ما الخطوة الأولى في معالجة الصرف الصحي الخام؟
30. ما مصادر الطاقة المستخدمة في تهوية المياه العادمة في أنظمة البرك المتقدمة المتكاملة؟

## تمارين

1. صنّف ما يلي على أنها (أ) خليط متجانس. (ب) خليط غير متجانس. (ج) عنصر. (د) مركب:  
الحليب ----- الفولاذ ----- ماء المحيط -----  
الدم -----  
الصوديوم ----- كوكب الأرض -----.
2. أي الصناديق الآتية يحتوي على عنصر. مركب. خليط؟ ما مجموع الأنواع المختلفة من الجزيئات مابين في الصناديق الثلاثة؟
3. كيف يمكنك فصل خليط من الرمل والملح. وخليط آخر من الحديد والرمل؟
4. يمكن فصل مكونات الخليط بالاستفادة من الفروق في الخصائص الكيميائية للمكونات. لماذا تكون هذه الطريقة في الفصل أقل سهولة من الاستفادة من الفروق في الخصائص الفيزيائية لهذه المكونات؟
5. لماذا لا يمكن فصل عناصر المركب بعضها عن بعض بطرق فيزيائية؟

6. كيف يمكن تمييز المحلول عن التعليق؟



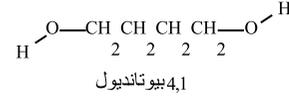
7. أي الأشكال أعلاه يمثل التعليق على نحو أفضل؟
8. أي الأشكال أعلاه يمثل المحلول على نحو أفضل؟
9. أي الأشكال أعلاه يمثل المركب على نحو أفضل؟
10. تدعم العديد من الحبوب الجافة بالحديد، والذي يضاف إلى الحبوب على شكل جسيمات حديد صغيرة. كيف يمكن فصل هذه الجسيمات عن الحبوب؟
11. فسّر سبب نقصان ذوبانية المواد الثلاث التالية في الماء عند درجة حرارة 20°س وذلك عندما تصبح الجزيئات أكبر. مع ارتفاع درجة الغليان:

المادة	درجة الغليان/الذوبان
$\text{CH}_3-\text{O}-\text{H}$	65°س لانهاية
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{O}-\text{H}$	117°س 8جم/100مللتر
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{O}-\text{H}$	138°س 2.3جم/100مللتر

مبتدئ ■ متوسط المعرفة ◆ خبير

28. ■ عندما تضع ماء صنوبر في وعاء فوق الفرن ليغلي. فأنت ترى الفقاعات عادة تبدأ قبل الوصول إلى درجة الغليان. فسّر.
29. ■ لماذا يمكن أن يكون الماء اليسر غير مناسب للناس الذين يحاولون تقليل كمية أيون الصوديوم في غذائهم؟
30. ■ يتكون الزيد عند سطح الماء العسر المغلي. ما هذا الزيد؟ ولماذا يتكوّن؟
31. ■ لماذا تفقد سخانات الماء كفاءتها بسرعة في الأدوات المنزلية باستخدام الماء العسر؟
32. ■ أضيفت أيونات الفوسفات،  $PO_4^{3-}$ ، إلى المنظّفات يوميًا. للمساعدة في التنظيف. ما فائدتها في عملية التنظيف؟
33. ■ لا تضاف أيونات الفوسفات،  $PO_4^{3-}$ ، إلى المنظّفات للمساعدة في التنظيف؛ لأنها تسبب النمو الكبير للطحالب في البيئة المائية التي تصب في المياه العادمة. ما المادة الكيميائية البديلة؟
34. ■ هل يمكن استخدام التناضح العكسي للحصول على ماء عذب من المحاليل السكرية؟ فسّر.
35. ■ يكون تركيز السكر في الخلايا أعلى الشجرة أكثر من تركيز السكر في الخلايا أسفلها. كيف يمكن لهذه الحقيقة أن تساعد الشجرة في تحريك الماء إلى الأعلى من الجذور؟
36. ■ لماذا يكون غسل المراحيض بالماء النظيف من صنوبر مياه البلدية إهدارًا للماء كغسلها بالماء المعبأ؟
37. ■ ما الذي يعكس بالتناضح العكسي؟
38. ■ كيف يسمح الغشاء شبه النفاذ للمذاب ولا يسمح للمذيب؟
39. ■ لماذا تقلّ التكلفة كثيرًا عند تنقية المياه العذبة بالتناضح العكسي مقارنة بتنقية المياه المالحة بالتناضح العكسي نفسه؟
40. ■ يخاف بعض الناس من شرب المياه المقطرة لأنهم سمعوا بأنها تصفي الجسم من المعادن. باستخدام معرفتك الكيميائية، وضح أنه لا أساس لهذه المخاوف. وأنّ الماء المقطر مناسب جدًا للشرب.
41. ■ يحصل العديد من مالكي البيوت على مياه الشرب من آبار يحفرونها في ممتلكاتهم. أحيانًا تفوح رائحة كريهة من هذه الآبار بسبب وجود كميات قليلة من غاز كبريتيد الهيدروجين،  $H_2S$ . كيف يمكن إزالة هذه النكهة من المياه التي تؤخذ من الصنابير؟
42. ■ هل يعدّ خلل الطعام من البكتيريا في أنظمة الهضم هوائيًا أم غير هوائيًا؟ ما الدلائل التي تدعم إجابتك؟
43. ■ ماذا تستخدم معظم محطات معالجة المياه لتنقية الماء؟
44. ■ أين تذهب معظم الكتلة الصلبة لمواد الصرف الخام بعد أن تجمع في محطة المعالجة؟
45. ■ كيف تتشابه الخصائص التطهيرية للضوء فوق البنفسجي والأوزون؟

12. ♦ درجة غليان 4،1 البيوتانديول هي  $230^\circ\text{C}$ . هل تتوقع أن يذوب هذا المركب في الماء عند درجة حرارة الغرفة أم لا يذوب؟ فسّر.



13. ■ علام يحتوي ماء الصنبور والماء المقطر بالإضافة إلى الماء؟
14. ■ لماذا تنخفض ذوبانية الأكسجين في الماء؟
15. ■ لماذا تقل ذوبانية الغاز في السائل مع زيادة درجة الحرارة؟
16. ■ على أساس الحجم الذري، أيهما تتوقع أن تكون ذوبانيته أعلى في الماء: الهيليوم، He، أم النيتروجين،  $N_2$ ؟
17. ■ إذا ضحّ النيتروجين إلى رثتيك بضغط عالٍ، فماذا يحدث لذوبانيته في دمك؟
18. ■ يضغط الهواء الذي يتنفسه الغطاس ذو الرئة المائية لمعادلة ضغط الماء المحيط بجسمه. يتسبب التنفس بالهواء المضغوط في ذوبان كميات إضافية من النيتروجين في الأجسام المائية، وخصوصًا في الدم. إذا ارتفع الغطاس إلى السطح بسرعة عالية، فإنّ فقاعات النيتروجين الخارجة من موانع الجسم (مثل خروج ثاني أكسيد الكربون من علية الصّودا عند فتحها). تسبب ألمًا، وربما حالة مرضية مميتة تعرف بالثني؟ لماذا يساعد تنفس خليط من الهيليوم والأكسجين بدلًا من الهواء، الغطاسين على تجنب حصول الثني؟
19. ■ لماذا تكون ذوبانية الغازات النبيلة في الغازات النبيلة الأخرى بلا نهاية؟
20. ■ لماذا يكون للأكسجين بعض الذوبانية في الماء؟
21. ■ ميز بين المحلولين: المشبع وغير المشبع.
22. ■ عند درجة  $10^\circ\text{C}$ ، أيهما أكثر تركيزًا: محلول مشبع من نترات الصوديوم،  $NaNO_3$ ، أم محلول مشبع من كلوريد الصوديوم،  $NaCl$ ؟ (انظر الشكل 20.16)
23. ■ يتمدد حجم العديد من السوائل المذيبة مع زيادة درجة الحرارة. ماذا يحدث لتركيز محلول مكوّن من هذه المذيبات عند زيادة درجة حرارة المحلول؟
24. ■ ما العلاقة بين الترسيب والمذيب؟
25. ■ يكون كلوريد الهيدروجين،  $HCl$ ، غازًا عند درجة حرارة الغرفة. هل تتوقع أن تذوب هذه المادة بقوة في الماء؟
26. ■ هل تتوقع وجود أكسجين ذائب في مياه المحيط عند القطب الشمالي أكثر مما هو عند خط الاستواء؟ لماذا؟
27. ■ ما مدى ضرورة الصّابون لإزالة الملح عن يديك؟ لماذا؟

## مسائل

■ مبتدئ ■ متوسط المعرفة ■ خبير

1. السموم. أمّا الباقي وهو 999,999 مليون تريليون من هذه الجزيئات ماء. ما نسبة نقاوة الماء؟ أي، ما نسبة جزيئات الماء في الكأس؟
3. ■ إذا شربت كأسًا صغيرة من الماء بنقاوة 99.9999% و0.0001% من بعض السموم. افترض أنّ الكأس تحتوي على مليون مليون تريليون من الجزيئات، والتي هي 30 مللترًا. بيّن أنك شربت مليون تريليون جزيء سم. هل هذا مدعاة للقلق؟

1. ■ افترض أنّ العدد الإجمالي للجزيئات في عينة من السائل نحو 3 ملايين تريليون؛ منها مليون تريليون واحد من هذه الجزيئات لبعض السموم. أما مليون تريليون من هذه الجزيئات فهي جزيئات ماء. بين أنّ نقاوة الماء هي 67% تقريبًا.
2. ■ افترض أنّ العدد الإجمالي للجزيئات في كأس من السائل هو نحو 1,000,000 مليون تريليون؛ منها مليون تريليون واحد لبعض

6. ♦ كُلف طالب استخدام 20.0 جم من كلوريد الصوديوم لعمل محلول مائي بتركيز 10.0 جم من كلوريد الصوديوم لكل لتر من المحلول. افترض أنّ 20.0 حجم جم من كلوريد الصوديوم 7.5 مللتر. كم يلزم من الماء لعمل هذا المحلول؟

4. ■ بيّن أنه يلزم 45 جم من كلوريد الصوديوم لعمل 15 لترًا من محلول تركيزه 3.0 جم من كلوريد الصوديوم لكل لتر من المحلول.  
5. ■ إذا أُضيف ماء لمول واحد من كلوريد الصوديوم في دورق حتى أصبح الحجم لترًا واحدًا، فبين أنّ المولارتي للماء هو مولار واحد (1 M).  
ما المولارتي للماء عند إضافة مولين من كلوريد الصوديوم لنصف لتر من المحلول؟

## أنشطة استكشافية

### طريقة العمل

1. ضع نقطة مركزة من الحبر في مركز قطعة ورق مسامية.
  2. بحذر، ضع نقطة من المذيب فوق نقطة الحبر وراقب انتشار الحبر قطريًا مع المذيب. ولأنّ المكونات لها الجذاب مختلف للمذيب (بناءً على التجاذبات بين جزيئات المكونات وجزيئات المذيب)، فإنها تنتقل مع المذيب بمعدلات مختلفة.
  3. مباشرة بعد الامتصاص الكامل لقطرة المذيب، أضف قطرة أخرى في موضع القطرة الأولى نفسه، وثالثة... وهكذا حتى ترى انفصال المكونات بوضوح.
- يعتمد انفصال المكونات على عدد من العوامل بما في ذلك المذيب الذي اخترته وطريقتك في العمل. من الممتع أن ترى الطرف المتحرك من الحبر تحت مجهر أو عدسة قوة تكبيرها عالية.
- لقد طُور ورق التنشيف أصلًا لفصل أصباغ النباتات المختلفة عن بعضها. ولهذا السبب اكتسبت هذه الطريقة اسمها؛ فكلمة chrome تعني لونا باللغتين اللاتينية. لا تحتاج الخاليط إلى أن تكون ملونة حتى يمكن فصلها بهذه الطريقة. وكلّ ما هو مطلوب هو أن يكون للمكونات جاذبات متميزة للمذيب المتحرك والوسط المستقر. مثل الورق الذي يمزّ من خلاله المذيب.

### الحلوة الزائدة

إذا كان الصّلب يذوب في السائل، فلا يعني هذا أنّ الصّلب لا يحتل حيزًا.

### الأدوات والمواد اللازمة

كأس طويلة، ماء ساخن، وعاء أكبر من الكأس الطويلة، أربع ملاعق شاي من سكر المائدة.

### طريقة العمل

1. املاً كأسًا حتى حافتها بماء ساخن. ثم اسكب الماء كلّه بحذر في وعاء أكبر.
2. أضف السّكر إلى الكأس الفارغة.
3. اسكب نصف الماء الذي في الوعاء في الكأس، وحرك جيدًا حتى يذوب السّكر كلّه.
4. اسكب ما تبقى من الماء في الكأس ببطء. وحين تصل قريبًا من حافتها، اسأل صديقًا لك: هل سيصبح مستوى الماء كما كان سابقًا. أم أقل. أم أكثر مما كان عليه. بحيث ينسكب الماء من حافة الكأس إن

### فهم أعمق وإخراج الفقاع

ما الذي داخل كأس الماء؟ افصل مكونات الماء التي تأخذها من الصنبور لمعرفة الجواب. تحذير: استعمل نظارات واقية للخطوة الأولى خوفًا من تناثر الماء المحتمل.

### طريقة العمل

1. ضع النظارة الواقية، وأضف ماءً من الصنبور إلى وعاء طهو. اغل الماء حتى الجفاف. (أطفئ النار قبل أن يتبخّر الماء بالكامل. إنّ حرارة القدر سوف تكمل تبخير الجزء المتبقي.)
2. افحص الناج المتبقي بكنشطه بسكين. إنّ هذه المواد الصّلبة هي التي تبتلعها مع كلّ كأس ماء تشربه.
3. لتري الغازات الذائبة في الماء الذي تشربه، املاً وعاءً نظيفًا بالماء، واتركه عدة ساعات على درجة حرارة الغرفة. لاحظ الفقاع الملتصقة بالجوانب الداخلية للوعاء. ما أصلها؟ علام حتوي؟ لمزيد من التجارب، استعمل وعاءين جنبًا إلى جنب للخطوة 3. في الوعاء الأول، استعمل ماءً ساخنًا من صنبور المطبخ. واستعمل في الوعاء الثاني ماءً مغليًا مبردًا إلى درجة حرارة الأول. عندئذ ستجد أنّ الغليان نزع الهواء من الماء؛ أي أنه أزال غازات الجو. يحتاج الكيميائيون إلى استخدام الماء المنزوع الغازات، والذي يسمح للماء المغلي أن يبرد في أوعية مغلقة. لماذا لا يعيش السمك في الماء الذي لا يحتوي على الغازات.

### أقواس المطر الدائرية

يحتوي الحبر الأسود على أصباغ العديد من الألوان. تمتص هذه الأصباغ مجتمعة ترددات الضوء المرئي كلّها. وبسبب عدم انعكاس أيّ لون، يظهر الحبر أسود اللون. يمكننا استخدام الجذب الجزيئي لفصل مكونات الحبر الأسود من خلال آلية تسمى ورق التنشيف.

### الأدوات والمواد اللازمة



قلم حبر سائل يعمل بغمس الرأس في الحبر ويجف بسرعة، أو قلم حبر (الحبر يذوب في الماء). في قطعة ورق مسامية، مثل ورق الحمام، أو أوراق المائدة أو مرشحات القهوة، مذيب مثل الماء، أسيتون، كحول الصقل، أو خلّ أبيض.

## طريقة العمل

1. املاً الوعاء إلى عمق 1 سم. أضف عدة قطرات من ملون الغذاء (الصبغة) أو بعض الملح (أو كليهما معاً) للماء ثم حرّك.
2. ضع كأس القهوة في مركز الوعاء. يجب أن يكون ارتفاع الكأس (فارعاً) أقل بمقدار بوصة واحدة من الوعاء على الأقل.
3. ضع البلاستيك بحيث يكون غير مشدود فوق الوعاء، وثبته بالمطاط.
4. يجب ألا يكون السداد شديداً، في الحقيقة اترك طرفين منفتحين حتى لا تحدث زيادة في الضغط عندما يقترب الماء من الغليان. استخدم المقصات لقص الزيادة في البلاستيك حول محيط الوعاء. ضع مكعب الجليد في منتصف البلاستيك، والذي يتدلى فوق الكأس.
5. ضع النظارة الواقية. ثم أشعل النار واجعلها هادئة لتصل بالماء في مصفاتك إلى درجة الغليان بهدوء. انظر إلى إشارات تكون غيمة تحت مكعب الجليد. عند بدء الغليان، تبدأ الكأس الاهتزاز في الوعاء. خفّف الحرارة، أو حتى أطفئها إذا أصبح الاهتزاز قوياً.
6. قم بغلي الماء ما دام الجليد فوق الغطاء البلاستيكي. يمكن إزالة الجليد المذاب بقطعة إسفنجة. تستمر عملية التقطير حتى بعد أن يُطفأ الفرن. افحص الماء في الكأس. لماذا لم يحمل الملح وملونات الطعام إلى الكأس؟ ما كمية الماء التي يمكنك جمعها في الكأس لكل مكعب جليد؟ كيف يمكنك تعديل المصفاة حتى تعمل بكفاءة باستخدام ضوء الشمس للتقطير؟

لم يستطع صديقك التوصل إلى الإجابة. أسأله: ماذا يمكن أن يحدث لو أضيف السكّر إلى كأس الماء عندما كانت مثلثة إلى حافتها؟



## مصفاة الماء الميكرووية

يمكنك صنع مصفاة ماء ذات كفاءة متدنية، ولكنها مسلية في البيت. تخذ: استعمل نظارة واقية، وجنب البخار في هذه التجربة؛ قد يكون حرق البخار مؤذياً.

## الأدوات والمواد اللازمة

وعاء طهي عميق، ماء، ملون طعام (صبغة)، ملح، كأس قهوة ثقيلة، بلاستيك لفاف، مطاط، مقصات، مكعب جليد.

## اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيداً، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل إجابة صحيحة. وإن لم تستطع، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصل اللاحق.

اختر أفضل إجابة لكل سؤال مما يلي:

1. يقول أحدهم إنه لا يشرب ماء الصنبور لأنه يحتوي على آلاف من جزيئات الشوائب في كل كأس. كيف تدافع عن عدم نقاوة الماء، إذا كانت فعلاً تحتوي على آلاف الجزيئات والشوائب في الكأس؟
  - أ. الشوائب ليست سيئة بالضرورة. وفي الحقيقة، قد تكون جيدة لك.
  - ب. إن الماء يحتوي على جزيئات ماء، وكل جزيء ماء هو نقي.
  - ج. لا تدافع؛ إذا كان الماء يحتوي على شوائب، فيجب عدم شربه.
  - د. بالمقارنة بالبلايين من جزيئات الماء، فإن ألف جزيء من أشياء أخرى هي في الواقع لا شيء.
2. الفرق بين المركب والمخيط هو:
  - أ. كلاهما يتكون من ذرات عناصر مختلفة.
  - ب. ارتباط الذرات فيهما مختلف.
  - ج. أحدهما صلب والآخر سائل.

- د. مكونات الخليط غير مرتبطة كيميائياً معاً.
3. هل الهواء في بيتك خليط متجانس أم غير متجانس؟
  - أ. متجانس؛ لأنه مزوج جيداً.
  - ب. غير متجانس؛ لأنه يحتوي على غبار.
  - ج. متجانس؛ لأن مكوناته جميعها لها درجة الحرارة نفسها.
  - د. غير متجانس؛ لأنه مكون من أنواع مختلفة من الجزيئات.
4. يكون شراب الفواكه نصف المثلج دائماً أكثر حلاوة من شراب الفواكه المذاب بالكامل نفسه لأن:
  - أ. السكّر يترسب في القاع.
  - ب. تكون (البلورات) التبلور هي عملية تنقية.
  - ج. بلورة نصف المثلج أكثر دفئاً.
  - د. جزيئات السكّر أقل ذوبانية في المحلول نصف المثلج.
5. خذ في الحسبان التجاذبات الكهربائية. لا يذوب كلوريد الصوديوم، NaCl، في الكيروسين بسبب:
  - أ. صغر جزيئات NaCl، لا توجد فرص كبيرة للكيروسين للتفاعل مع جزيئاته من خلال أيّ تجاذبات كهربائية.

8. إنَّ فائدة استخدام غاز الكلور في تطهير مصادر مياه الشرب هي:  
 أ. تزويدنا بوقاية إضافية ضد الممرضات.  
 ب. إعطاء الماء الطعم العذب.  
 ج. أنَّ الكلور المتبقي في الماء يساعد على تبييض الأسنان.  
 د. جميع ما ذكر.
9. تنفجر خلايا الدم الحمراء، والتي تحتوي على محلول مائي مذاب فيه المعدن، عند وضعها في الماء العذب بسبب:  
 أ. أنَّ الأيونات المذابة تزيد الضغط الذي يفجر الخلايا المفتوحة أخيراً.  
 ب. دخول مزيد من جزيئات الماء أكثر من الجزيئات التي تدخل إليه.  
 ج. أنَّ الماء العذب يذيب جدار خلية الدم.  
 د. جميع ما ذكر.
10. تفوح من البرك الراكدة رائحة كريهة أكثر من الغدير الجاري بسبب:  
 أ. عدم انتقال الرائحة عبر الغدير.  
 ب. تنوع الحياة المائية التي تجذبها.  
 ج. نقص الأكسجين الكافي المذاب.  
 د. جميع ما ذكر

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

- ب. أنَّ جزيء الكيروسين مستقطب جداً، يمكن لـ NaCl أن يكون روابط فقط ثنائياتي- ثنائياتي مستحث وهو ضعيف جداً، جاعلاً الذوبانية منخفضة فيه.  
 ج. التجاذب القوي بين جزيئات الكيروسين، يستثنى NaCl.  
 د. أنَّ NaCl يتكوّن من أيونات تتجاذب معاً، والكيروسين غير قطبي، ولهذا لا يتفاعل NaCl والكيروسين بشكل جيد.  
 6. لا يعيش السمك طويلاً في الماء الذي غلي ثم بُرد ثانية إلى درجة حرارة الغرفة. السبب في ذلك هو:  
 أ. لأنَّ تركيز ثاني أكسيد الكربون المذاب في الماء أصبح عاليًا.  
 ب. نفاذ المواد الغذائية في الماء.  
 ج. زيادة تركيز الملح في الماء بعد تبخر جزء من الماء، مما يؤثّر سلبيًا في السمك.  
 د. أنَّ عملية الغليان تزيل الهواء المذاب في الماء. وعند التبريد، يكون الماء مفرغًا من محتوياته من الهواء، وهذا يؤدي إلى غرق السمك.  
 7. كم جراما من السكّر (سكّروز) في 5 لترات من ماء السكّر والذي تركيزه 0.5 جم لكل لتر من المحلول؟  
 أ. 50 جم  
 ب. 25 جم  
 ج. 2.5 جم  
 د. 1.5 جم

## اكتشف المزيد

<http://www.bicn.com/acic>

لمعرفة المزيد حول كارثة الزرنينخ في بنغلادش، رقم بزيارة الصفحة الرئيسية لمركز معلومات كارثة الزرنينخ. حيث تجد وصف مفصل لكيمياء التخلص من الزرنينخ على الموقع <http://www.eng2.uconn.edu/~nikos/asrt-brochure.html>

<http://www.sugar.org>

بحسب هذا الموقع، تفخر جمعية السكر ان تقدم معلومات موثوقة، ومعلومات قائمة على العلم حول السكر الطبيعي النقي، وضع الاعتماد على العلم الموثوق الجمعية في موقع رائد الإيصال المعلومات الدقيقة عن الاستخدامات الغذائية والوظيفية للسكر لكل من المستهلكين، والمتخصصين ووسائل الاعلام.

<http://www.idadesal.org>

هذا الموقع هو الصفحة الرئيسية لجمعية التحليه الدولية، والتي تهدف اهدافها الى تطوير وترويج الاستعمالات الصحيحة لتقنية التحليه حول العالم.

## الفصل 16 مصادر على الشبكة

- المحاليل
- تغيير الذائبية بتغير درجة الحرارة والضغط
- يعمل الصابون بكونه جزئياً قطبياً وغير مستقطب في آن واحد

اختبار قصير  
 بطاقات تعليمية  
 روابط

أشكال تفاعلية  
 16.32

دروس تعليمية  
 الذائبية

أشرطة فيديو  
 يمكن فصل المخلوقات بطرائق فيزيائية

# كيف تتفاعل الكيمائيات؟



■ تُحدث حرارة صاعقة البرق تفاعلات كيميائية متعددة في الغلاف الجوي، ويتضمن ذلك تفاعل النيتروجين والأكسجين لتكوين أول أكسيد النيتروجين،  $\text{NO}$ . يتفاعل أول أكسيد النيتروجين المتكون بدوره بالطريقة نفسها مع الأكسجين في الغلاف الجوي وبخار الماء لتكوين حامض النيتريك  $\text{HNO}_3$  وحامض النيتروز  $\text{HNO}_2$ . تُحمل هذه الأحماض بالمطر لتصل الأرض؛ حيث تُكوّن أيونات تمتصها النباتات النامية؛ عملية تتضمن مزيداً من التفاعلات الكيميائية.

عرف العلماء كيفية السيطرة على التفاعلات الكيميائية لإنتاج العديد من المواد المفيدة كالنترات والأسمدة ذات الأساس النيتروجيني من النيتروجين في الغلاف الجوي، وكذلك المعادن من الصخور، وأيضاً البلاستيك والمواد الصيدلانية من البترول. إنّ هذه المواد والآلات الأخرى المنتجة من التفاعلات الكيميائية، بالإضافة إلى الطاقة الهائلة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية التي يدخل منها الوقود الأحفوري وتدعى الاحتراق، حسّنت ظروف حياتنا كثيراً.

يهدف هذا الفصل إلى تزويدك برؤية واضحة لأسس التفاعلات الكيميائية، والتي مُهد لها في الفصل 14، ومن ثمّ سوف ندرس في الفصل القادم نوعين من التفاعلات الكيميائية هما: تفاعلات الحامض مع القاعدة، وتفاعلات التأكسد والاختزال.

## 1.17 المعادلات الكيميائية

## 2.17 حساب عدد الذرات والجزيئات من الكتلة

## 3.17 سرعة التفاعل

## 4.17 المحفّزات

## 5.17 الطّاقة والتّفاعلات الكيميائية

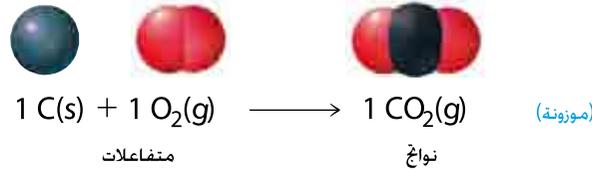
## 6.17 القصور الحراريّ (الإنتروبي) يوجه التّفاعلات الكيميائية

## 1.17 ■ المعادلات الكيميائية

كما ناقشنا في الفصل 14، يعاد ترتيب الذرات في أثناء التفاعل الكيميائي لإنتاج واحد أو أكثر من المركبات الجديدة. يلخص هذا النشاط كتابيًا على شكل معادلة كيميائية. تبين المعادلة الكيميائية المواد المتفاعلة، وتسمى المتفاعلات (**Reactants**). تقع عن اليسار من السهم الذي يشير إلى المواد الجديدة المتكونة، وتسمى النواتج (**Products**):

النواتج → المتفاعلات

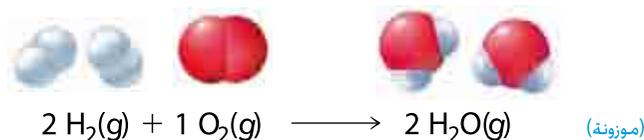
تمثل المتفاعلات والنواتج عادة بصيغهما العنصرية أو الكيميائية. وفي بعض الأحيان يُستخدم النموذج الجزيئي، أو ببساطة، الاسم بدلًا من الصيغة. كما يشار غالبًا إلى الطور: (S) للصلب، و(l) للسائل، و(g) للغاز. المركبات التي تذوب في الماء يُرمز لها (aq) للمحاليل المائية. وأخيرًا، تدل الأرقام التي توضع قبل المتفاعلات أو النواتج على النسبة التي تتحد بها المتفاعلات أو تتشكل. تسمى هذه الأرقام بالعماملات، وتمثل أعداد الذرات المفردة أو الجزيئات. فمثلًا، لتمثيل تفاعل كيميائي حيث يتم حرق الفحم بوجود الأكسجين لتشكيل غاز ثاني أكسيد الكربون، نكتب المعادلة الكيميائية مستخدمين المعاملات 1:



يعدّ قانون حفظ الكتلة (**Law of mass conservation**) من أهم مبادئ الكيمياء. وينصّ هذا القانون على أنّ المادة لا تفتنى ولا تستحدث خلال التفاعل الكيميائي\*. إنّ الذرات الموجودة في بداية التفاعل يُعاد ترتيبها لتكوين جزيئات جديدة. وهذا يعني أنّ الذرات لا تُفقد ولا تُكتسب خلال أي تفاعل. ولهذا يجب أن تكون المعادلة موزونة. في المعادلة الموزونة، يجب أن يظهر العدد نفسه من كلّ ذرة على جانبي السهم. فمعادلة تكوين ثاني أكسيد الكربون موزونة؛ بسبب وجود ذرة كربون واحدة وذرتي أكسجين على كلّ جانب. يمكنك حساب عدد الذرات في الأمثلة لكي ترى ذلك بنفسك.

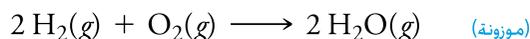
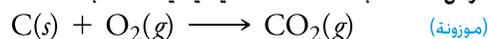
\* يبقى هذا القانون صحيحًا لجميع الأغراض العملية. ولكن، تقنيًا، فإنّ الطاقة المتحررة أو الممتصة في التفاعل الكيميائي تنشأ من تحول الكتلة إلى طاقة والعكس صحيح. ولكن كمية الكتلة المفقودة أو الزائدة هي من الصغر بحيث يمكن إهمالها للأغراض العملية جميعها في التفاعل الكيميائي. ولكن ليس الشيء نفسه في التفاعلات النووية التي ناقشناها في الفصل 13. في هذه التفاعلات، يظهر قانون حفظ الكتلة والطاقة بقوة.

في تفاعل كيميائي آخر، تتفاعل جزيئا غاز الهيدروجين،  $2\text{H}_2$  مع جزيء أكسجين غازي  $\text{O}_2$  لتكوين جزيئين من الماء،  $\text{H}_2\text{O}$ ، في الطور الغازي:



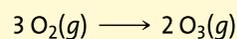
إنّ معادلة تكوين الماء موزونة أيضًا؛ هناك أربع ذرات هيدروجين وذرتا أكسجين قبل السهم وبعده. بدلنا المعامل في مقدمة الصيغة الكيميائية على عدد المرات التي يجب أن يُحسب بها العنصر المركب. مثلا  $2\text{H}_2\text{O}$ ، تشير إلى جزيئي ماء، والذي يحتوي على مجموع أربع ذرات هيدروجين وذرتي أكسجين.

بالإتفاق، لا يذكر المعامل 1، ولهذا تكتب المعادلات الكيميائية السابقة عادة كما يلي:



### ■ نقطة فحص

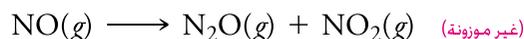
ما عدد ذرات الأكسجين الموجودة في المعادلة الموزونة التالية؟



هل كانت هذه إجابتك؟

قبل التفاعل، يوجد 6 ذرات أكسجين في 3 جزيئات أكسجين،  $\text{O}_2$ ، وبعد التفاعل، فإنّ ذرات الأكسجين الست نفسها موجودة في جزيئين من الأوزون،  $\text{O}_3$ .

تُبين المعادلة الكيميائية غير الموزونة التفاعلات وكذلك النواتج دون المعاملات الصحيحة. فالمعادلة:



مثلاً غير موزونة؛ لأنّ هناك ذرة نيتروجين واحدة وذرة أكسجين واحدة قبل السهم، في حين توجد 3 ذرات نيتروجين و3 ذرات أكسجين بعد السهم.

يمكن وزن المعادلة غير الموزونة بإضافة المعاملات أو تغييرها لإيجاد النسبة الصحيحة. (من المهم عدم تغيير الرمز السفلي، لأنّ تغييره يعني تغيير هوية المركب  $\text{H}_2\text{O}$  وهو الماء، ولكن  $\text{H}_2\text{O}_2$  هو فوق أكسيد الهيدروجين. مثلاً لوزن المعادلة السابقة أضف 3 أضعاف  $\text{NO}$ :



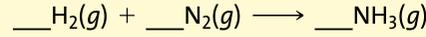
والآن، لدينا 3 ذرات أكسجين على جانبي السهم، كما أنّ قانون حفظ الكتلة لم يُنقض. يُطوّر الكيميائي المتمرس مهارات لوزن المعادلات، تتضمن هذه المهارة طاقة خلاقية، كما أنها كغيرها من المهارات تتحسن بالخبرة. والأهم من أن تكون ماهرًا في وزن المعادلات هو إدراكك سبب ضرورة وزنها. إنّ السبب في ذلك هو قانون حفظ الكتلة والذي يدلنا على أنّ الذرات لا يمكن إحداثها أو إفناؤها في التفاعل الكيميائي؛ ببساطة يعاد ترتيبها، وهكذا، فإنّ وجود كلّ ذرة قبل التفاعل يحتم وجودها بعد التفاعل، حتى لو اختلفت المجموعات التي توجد بها الذرات.

### ■ لمعلوماتك

تتضمن المتفجرات الكيميائية عادة التحول من مواد كيميائية صلبة أو سائلة غير مستقرة إلى غازات مستقرة، تحت حجمًا كبيرًا. يُعيد التفجير، ينتج مول واحد من النيتروجلسرين،  $\text{C}_3 \text{H}_5 \text{N}_3 \text{O}_9$ ، 7.25 مول من الغازات بما فيها ثاني أكسيد الكربون،  $\text{CO}_2$ ، والنيتروجين،  $\text{N}_2$ ، والأكسجين،  $\text{O}_2$ ، وبخار الماء،  $\text{H}_2\text{O}$ . يكون التغير في الحجم مذهلاً من أقل من 0.3 لتر إلى 175 لترًا، أي بزيادة مقدارها 600%. بالنسبة للنيتروجلسرين والمواد المشابهة الشديدة الانفجار، تتحدد هذه الغازات بسرعات فوق صوتية، مُحدثه أمواجًا صادمةً قويةً ومدمرة.

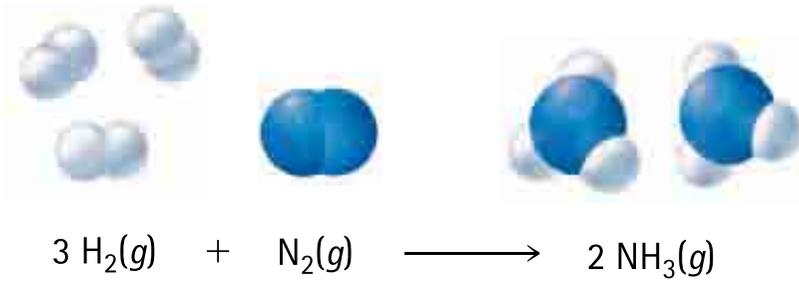
## ■ نقطة فحص

اكتب معادلة موازنة تبين تفاعل غاز الهيدروجين،  $H_2$ ، مع غاز النيتروجين  $N_2$  لتكوين غاز الأمونيا،  $NH_3$ :



هل كانت هذه إجابتك؟

بداية، هناك ذرتا هيدروجين قبل التفاعل (السهم)، و3 بعد التفاعل، وتوزن هذه المعادلة بوضع 3 قبل جزيء الهيدروجين ومعامل 2 للأمونيا  $NH_3$ ، وهذا يؤدي إلى وجود 6 ذرات هيدروجين قبل سهم التفاعل، و6 ذرات هيدروجين بعده، وفي هذه الأثناء يجعل عدد ذرات النيتروجين في الأمونيا 2 بعد سهم التفاعل، والذي يوزن ذرات النيتروجين قبل سهم التفاعل، لذا تصبح المعادلة الموازنة كالآتي:



يستخدم الكيميائيون عدة طرق لوزن المعادلات. ارجع إلى كتاب مفاهيم العلم الطبيعي – الطبعة الرابعة – كتاب التدريب للأمثلة، يمكن لأستاذك تعريفك بطريقته المفضلة لوزن المعادلات. وللمزيد من التدريب على ذلك انظر الأسئلة في نهاية هذا الفصل.

## ■ 2.17 حساب عدد الذرات والجزيئات من الكتلة

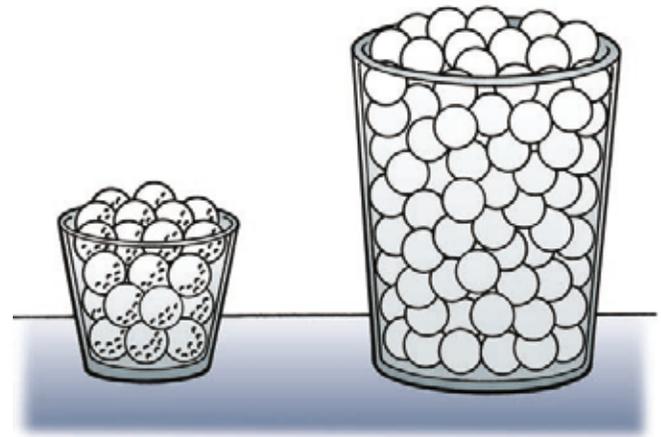
في أي تفاعل كيميائي، يتفاعل عدد محدد ليكون عددًا معينًا من النواج. مثلاً، عند اتحاد الكربون مع الأكسجين لتكوين ثاني أكسيد الكربون، تكون النسبة دائماً ذرة كربون واحدة لجزيء أكسجين واحد، وإذا أراد الكيميائي تحضير هذا المركب في المختبر، فإنه سيهدر ماله وجهده: فإذا وضع 4 ذرات كربون لكل جزيء أكسجين فإنّ ذرات الكربون الزائدة تنقصها جزيئات الأكسجين للتفاعل، وتبقى كما هي.

كيف يمكن قياس عدد محدد من الذرات أو الجزيئات؟ بدلاً من عدّ هذه الجسيمات منفردة، يستطيع الكيميائيون استخدام موازين لقياس كتلة الكميات. وبسبب اختلاف كتلة الذرات والجسيمات على اختلافها، فإنّ الكيميائي، ببساطة، لا يستطيع قياس كتل متساوية من كلّ نوع. على سبيل المثال، إنّهُ يحتاج إلى عدد ذرات الكربون وعدد جزيئات الأكسجين نفسها، إنّ قياس الكتلة نفسها من كليهما لا يعطينا العدد نفسه.

تعلم أنّ 1 كجم من كرة التنس يحتوي على كرات أكثر من 1 كجم من كرات الجولف، كما يوضح الشكل 1.17 بطريقة ماثلة، ولأنّ كتلة الذرات والجزيئات تختلف باختلافها، فهناك أعداد مختلفة في عينة لكتلة 1 جم من كلّ نوع. ولأنّ كتلة ذرة الكربون أقلّ من كتلة جزيء الأكسجين، فإنّ عدد ذرات الكربون في 1 جم من الكربون أكثر من عدد

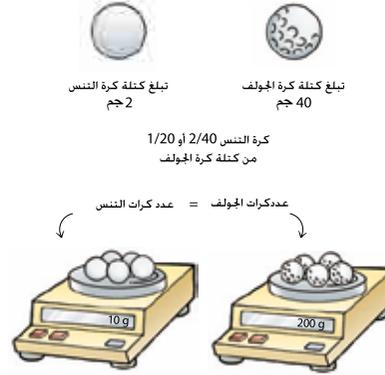
## الشكل 1.17

عدد كرات تنس الطاولة في كتلة معينة مختلف عن عدد كرات الجولف للكتلة نفسها.



وعليه. يتضح أنّ كتلاً متساوية من هاتين المادتين لا تحتوي على عدد ذرات الكربون وجزيئات الأكسجين نفسها.

إذا علمت *الكتل النسبية* للمواد المختلفة. فيمكنك عندئذٍ قياس أعداد متساوية. مثلاً. إذا علمنا أنّ كتلة كرة الجولف 20 ضعف كتلة كرة التنس. وهذا يعني أنّ نسبة كتلة كرات الجولف إلى كرات التنس هي 20 إلى 1. فقياس كتلة مقدارها 20 مرة مقارنة بكتلة التنس. يعطينا العدد نفسه من الاثنين. كما في الشكل 2.17.



### الشكل 2.17

يتساوى عدد كرات الجولف في 200 جم من كرات الجولف مع عدد كرات التنس في 10 جرامات من كرات التنس.

### نقطة فحص

يوّد زبون شراء خليط من حلوى الفاصولياء الزرقاء والحمراء بنسبة 1:1، كلّ قطعة حلوى زرقاء لها ضعف كتلة قطعة الحلوى الحمراء. فإذا وزن البائع 5 أرطال من الحلوى الحمراء. فما عدد الأبطال من الحلوى الزرقاء يجب أن يزن؟

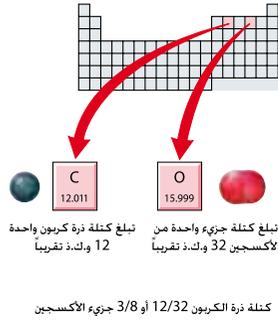
### هل كانت هذه إجابتك؟

لأنّ كتلة الحلوى الزرقاء ضعف كتلة الحلوى الحمراء. فعلى البائع أن يزن ضعف كتلة الحلوى الزرقاء للحصول على النسبة نفسها. وهذا يعني 10 أرطال. إذن. لم يعلم البائع أنّ كتلة الحلوى الزرقاء ضعف كتلة الحلوى الحمراء. وأنه لا يستطيع أن يعرف كتلة الزرقاء حتى يحصل على نسبة 1:1. وبطريقة ماثلة. يخطئ الكيميائي عند تحضيره لتفاعل كيميائي إذا لم يعلم الكتل النسبية للمتفاعلات.

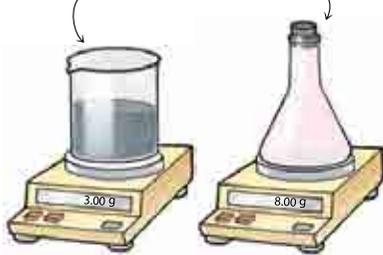
إنّ كتل العناصر المعروضة في الجدول الدوري هي كتل نسبية. نستطيع قياس أعداد متساوية من الذرات أو الجزيئات للعناصر إذا علمنا هذه الكتل. على سبيل المثال. وكما يوضح الشكل 3.17. فإنّ كتلة الكربون

هي 12.011 و.ك.ذ (كما نوقش في الجزء 3.12. وحدة *الكتل الذرية* [و.ك.ذ] مادة يساوي  $1.661 \times 10^{-24}$  غم.) إنّ *صيغة الكتلة (Formula Mass)* لمادة هي مجموع الكتل الذرية للعناصر في صيغتها الكيميائية. فصيغة الكتلة لجزيء الأكسجين.  $O_2$ . هي نحو 32 و.ك.ذ (15.999 + 15.999 و.ك.ذ). إذن. تبلغ نسبة كتلة ذرة الكربون إلى كتلة جزيء الأكسجين  $\frac{12}{32}$  تقريباً. ولقياس العدد

نفسه من ذرات الكربون وجزيئات الأكسجين. يلزم قياس 12 جم من الكربون. و32 جم من الوزن الجزيئي للأكسجين. أي أنّ نسبة تساوي  $\frac{12}{32}$  أو  $\frac{6}{16}$  أو  $\frac{3}{8}$  تؤدي الغرض. مثلاً. 3 جم من الكربون لها العدد نفسه من الجسيمات مثل 8 جم جزيئات الأكسجين.



عدد جزيئات الأكسجين = عدد ذرات الكربون



### الشكل 3.17

للحصول على عدد متساوٍ من ذرات الكربون وجزيئات الأكسجين، يتطلب هذا قياس ذرات الكربون وجزيئات أكسجين بنسبة  $\frac{3}{8}$  من الكتلة.

## ■ اختبار معلوماتك

1. تفاعل 3 جم من الكربون، C، مع 8 جم من جزئيات الأكسجين، O<sub>2</sub>. فكان الناتج 11 جم من ثاني أكسيد الكربون، CO<sub>2</sub>. هل ينطبق ذلك على أنّ 1.5 جم من الكربون تتفاعل مع 4 جم من جزئيات الأكسجين لتنتج 5.5 جم من ثاني أكسيد الكربون؟
2. هل ينتج تفاعل 5 جم من الكربون مع 8 جم من الأكسجين 11 جم من ثاني أكسيد الكربون؟

هل كانت هذه إجابتك؟

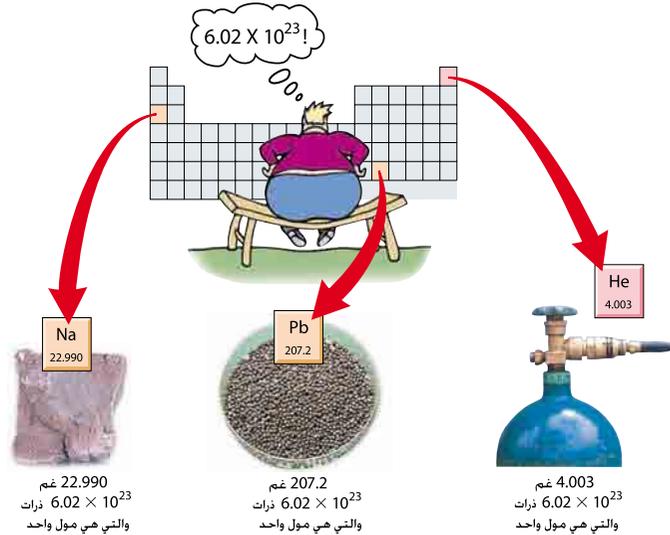
1. الكميات هي نصف الكميات الأولى مع المحافظة على النسبة نفسها. عند تكون 11 جم من ثاني أكسيد الكربون: 1.5 : 4 : 5.5 = 3 : 8 : 11.
2. هذا من الأخطاء الشائعة للعديد من الطلبة عندما يفكرون أنّ التفاعل لا يحدث إذا كانت نسبة المواد التفاعلية ليست هي الملائمة. وعليك فهم أنّ 3 جرامات من الـ 5 جرامات من الكربون تلزم للتفاعل. وهذه الجرامات الثلاثة تتفاعل مع 8 جرامات من الأكسجين لتكون 11 جم من ثاني أكسيد الكربون. ولهذا، سيكون هناك جرامان من الكربون لا تشارك في التفاعل. ولإشراك الكربون المتبقي (2 جم) يتطلب المزيد من الأكسجين.

## التحويل بين المولات والجرامات

تتفاعل الذرات والجزئيات بنسب معينة. ولكن في المختبر، يتعامل الكيميائيون مع كميات كتلية من المواد، والتي تقاس بالكتلة. لذا يحتاج الكيميائيون إلى معرفة العلاقة بين كتلة عينة معينة وعدد الذرات أو الجزئيات في تلك الكتلة. المفتاح لهذه العلاقة هو المول. تذكر من الجزء 3.16 أنّ المول هو وحدة تساوي  $6.02 \times 10^{23}$ . ويعرف هذا العدد بعدد أفوجادرو، تكميلاً للعالم أفوجادرو Avogadro الذي عاش في القرن الثامن عشر.

كما يوضح الشكل 4.17، إذا عبّرت عن الكتلة الذرية لأيّ عنصر بقيمتها العددية بالجرامات، فإنّ عدد الذرات في عينة ذلك العنصر لها الكتلة نفسها. ويساوي دائماً  $6.02 \times 10^{23}$  وهو مول واحد. مثلاً، تحتوي 22.990 جم من عينة صوديوم، Na (الكتلة الذرية = 22.990 و.ك.ذ.)، على  $6.02 \times 10^{23}$  ذرة صوديوم، وأنّ 207.2 جم من الرصاص، Pb (العدد الكتلي = 207.2 و.ك.ذ.)، يحتوي على  $6.02 \times 10^{23}$  ذرة رصاص. العدد الكتلي له (22.990).

ينطبق المفهوم نفسه على المركبات. عبّر عن القيمة الرقمية لكتلة الصيغة لأيّ مركب بالجرامات، وكلّ عينة لها كتلة تلك القيمة تحتوي على  $6.02 \times 10^{23}$  جزيء من ذلك المركب. فمثلاً، هناك  $6.02 \times 10^{23}$  جزيء أكسجين، O<sub>2</sub>، في 31.998 جم من الأكسجين الجزيئي، O<sub>2</sub> (الكتلة الجزيئية) هي 31.998 و.ك.ذ. و  $6.02 \times 10^{23}$  جزيء، CO<sub>2</sub>، في 44.009 جم من ثاني أكسيد الكربون، CO<sub>2</sub> (كتلة الصيغة = 44.009 و.ك.ذ.).



## لمعلوماتك

■ يغطي عدد أفوجادرو من حبات الرمل مساحة الولايات المتحدة لارتفاع مترين. إنّ عدد سكان العالم 6.4 بلايين نسمة تقريباً يعيشون على الأرض. لذا، نحتاج إلى نحو 94 تريليون ضعف مجموع سكان الأرض لنحصل على عدد أفوجادرو من الناس. وإذا أردت جمع مليون ذرة هيدروجين في الثانية، فستحتاج إلى 19 بليون سنة لتجمع جم واحد من الهيدروجين؛ عمر الكون نفسه نحو 13 بليون سنة. و يبلغ طول عمود من القروش بعدد أفوجادرو نحو 800,000 تريليون كيلومتر. أي ما يعادل قطر مجرتنا تقريباً. وإنّ صقّفت القروش لوصلت إلى مجرة الأندروميدا التي تبعد عنا نحو مليون سنة ضوئية.

## الشكل 4.17

عبّر عن القيمة الرقمية للكتلة الذرية لأيّ عنصر بالجرامات، وهذه الجرامات تحتوي على  $6.02 \times 10^{23}$  من الذرات.

## ■ نقطة فحص

1. ما عدد الذرات في عينة ليثيوم كتلتها 6.941 جم، Li (العدد الكتلي = 6.941 و.ك.ذ.)؟
2. ما عدد الجزيئات في عينة من الماء، H<sub>2</sub>O، كتلتها 18.015 جم (كتلة الصيغة - 18.015 و.ك.ذ.).

هل كانت هذه إجابتك؟

1. لأن هذا العدد من الجرامات من الليثيوم يساوي الكتلة الذرية رقميًا، فإن الصيغة تحتوي على  $10^{23} \times 6.02$  ذرة ليثيوم، ويعادل مولاً واحداً.
2. لأن هذا العدد من الجرامات يساوي الكتلة الجزيئية للماء، فإن الصيغة تحتوي على  $6.02 \times 10^{23}$  جزيء ماء، وتعادل مولاً واحداً.

تعرف الكتلة المولية (**Molar Mass**) لأي مادة، سواء كانت عنصراً أو مركباً على أنها كتلة مول واحد من تلك المادة، وعليه، فوحدة الكتلة للمول هي جرام لكل مول. مثلاً، الكتلة الذرية للكربون 12.011 و.ك.ذ. وهذا يعني أنّ مولاً واحداً من الكربون له كتلة مول جزيء الأكسجين، O<sub>2</sub>، (كتلة الصيغة هي 31.998 و.ك.ذ.) وهي 31.998 جم/مول. ولتبسيط الأمر: نُقرب مثل هذه القيم إلى أقرب عدد صحيح، فالعدد المولي للكربون، يمثل بـ 12 جم/مول، وجزيء الأكسجين هو 32 جم/مول.

## ■ نقطة فحص

ما كتلة مول الماء (الوزن الجزيئي هو 18 و.ك.ذ.)

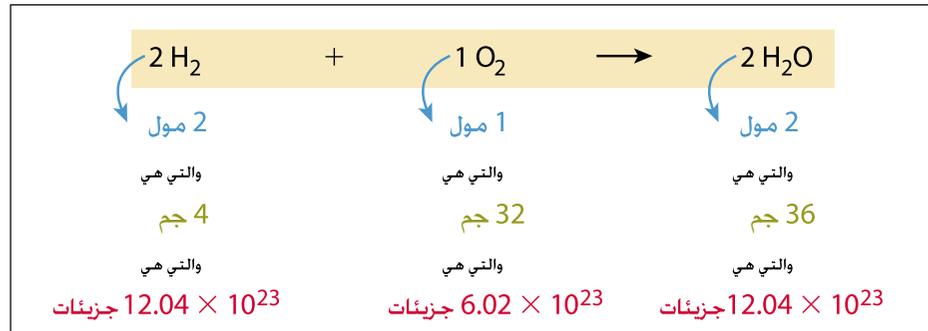
هل كانت هذه إجابتك؟

من صيغة الكتلة، تعلم أنّ كتلة مول واحد من الماء هي 18 جم. لذا، فإنّ كتلة المول هي 18 جم/مول.

ولأن المول الواحد من أيّ مادة يحتوي دائماً على  $6.02 \times 10^{23}$  جسيم، فإنّ المول يعدّ وحدة مثالية في التفاعلات الكيميائية. مثلاً، يتفاعل مول من الكربون (12) مع مول من جزيء الأكسجين (32 جم) ليعطينا مولاً واحداً من ثاني أكسيد الكربون (44 جم). في كثير من الحالات، لا تكون النسبة بين المواد الكيميائية المتفاعلة هي 1:1 كما في الشكل 5.17. مثلاً، يتفاعل مولاّن (4 جم) من جزيئات الهيدروجين مع مول واحد من جزيئات الأكسجين (32 جم)، للحصول على مولين (36 جم) من الماء. لاحظ كيف أنّ معاملات المعادلة الكيميائية الموزونة يمكن تفسيرها بسهولة بعدد المولات في المواد المتفاعلة والنواج. فما على الكيميائيّ إلا تحويل عدد المولات إلى جرامات حتى يعرف كمية ما يحتاج إليه من المواد المتفاعلة ليحصل على النسب الملائمة المطلوبة.

## الشكل 5.17

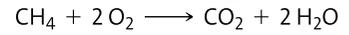
يتفاعل مولاّن من H<sub>2</sub> مع مول واحد من O<sub>2</sub> لينتج مولاّن من H<sub>2</sub>O. هذا مماثل للقول إن 4 جم من H<sub>2</sub> تتفاعل مع 32 جم من O<sub>2</sub> لينتج 36 جم من H<sub>2</sub>O أو مكافئاً لقولنا بأنّ  $12.04 \times 10^{23}$  من جزيئات H<sub>2</sub> تتفاعل مع  $6.02 \times 10^{23}$  من جزيئات O<sub>2</sub> لإعطاء  $12.04 \times 10^{23}$  من جزيئات الماء.



## حساب العلوم الطبيعية

## ■ كتل المواد المتفاعلة والنتيجة

تدلنا معاملات المعادلة الكيميائية على النسب التي تتفاعل بها المواد المتفاعلة وتتكون بها المواد الناتجة. فمثلاً، تدلنا المعادلة التالية على أنّ كلّ مول من الميثان،  $\text{CH}_4$ ، يتفاعل ويُنتج مولين من الماء  $\text{H}_2\text{O}$ .



وبذلك، فإذا أعطيت 16 جم من الميثان،  $\text{CH}_4$ ، فكم جراماً من الماء  $\text{H}_2\text{O}$  يتكون عنده؟ كما تعلم أنّ 16 جراماً من الميثان،  $\text{CH}_4$ ، هي مول واحد (الكتلة الجزيئية هي 16 و.ك.ذ.). لذا، فإنّ 16 جراماً من الميثان تُنتج مولين من الماء. ولكن، كم جراماً يساوي مولان من الماء؟ حسناً، المول الواحد من الماء،  $\text{H}_2\text{O}$ ، يساوي 18 جم (الكتلة الجزيئية 18 و.ك.ذ.)، وعليه، فإنّ المولين يساويان 36 جم. وهكذا، فإنّ تفاعل 16 جراماً من الميثان،  $\text{CH}_4$ ، مع الأكسجين،  $\text{O}_2$ ، ينتج 36 جم من الماء،  $\text{H}_2\text{O}$ . دعنا ننظر إلى هذه العملية خطوة خطوة من وجهة نظر رياضية.

## ■ مسألة 1

ما كتلة الماء الناتجة عند تفاعل 16 جم من الميثان (الكتلة الجزيئية 16 و.ك.ذ.) مع الأكسجين،  $\text{O}_2$ ، في التفاعل الآتي؟



## ■ الحل:

**الخطوة 1:** حول الكتلة المعطاة إلى مولات. عامل التحويل

$$(16 \text{ g-CH}_4) \left( \frac{1 \text{ mole CH}_4}{16 \text{ g-CH}_4} \right) = 1 \text{ mole CH}_4$$

**الخطوة 2:** استخدم معاملات المعادلة الموزونة لإيجاد عدد المولات المنتجة من  $\text{H}_2\text{O}$  من عدد المولات من  $\text{CH}_4$ . عامل التحويل

$$(1 \text{ mole-CH}_4) \left( \frac{2 \text{ moles H}_2\text{O}}{1 \text{ mole-CH}_4} \right) = 2 \text{ moles H}_2\text{O}$$

**الخطوة 3:** بعد معرفتك عدد المولات من  $\text{H}_2\text{O}$  المنتجة، حوّل هذه القيمة إلى جرامات من  $\text{H}_2\text{O}$ . عامل التحويل

$$(2 \text{ moles H}_2\text{O}) \left( \frac{18 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ mole H}_2\text{O}} \right) = 36 \text{ g H}_2\text{O}$$

إنّ طريقة تحويل الجرامات من المادة إلى مولات (الخطوة 1)، ثم من مولات هذه المادة إلى مولات تلك المادة (الخطوة 2)، وبتبعتها تحويل مولات تلك المادة إلى جرامات (الخطوة 3)، تسمى هذه العملية علم قياس الأعداد العنصري. وباستخدام قياس الأعداد العنصري هذا، يمكن

للعلماء حساب كميات المواد المتفاعلة والناتجة في أي تفاعل كيميائي. لقد طوّرت طرق حساب قياس الأعداد العنصري في كثير من مقررات الكيمياء العامة. في هذا المقرر، يجب أن نتعرف معنى هذا المصطلح. وهذا يعني أن نُنظّم جدولاً للذرات والجزيئات عند تفاعلها لتشكيل المكوّنات. ومع ذلك، فلبعض الواجبات الخاصة، يمكنك استخدام مهارات التفكير التحليلي للمسائل التعليمية. حاول أن تستخلص الإجابة استناداً إلى معرفتك بقانون حفظ الكتلة. ثم اتبع الخطوات المعطاة هنا للتأكد من إجابتك.

## ■ مسألة 2

بيّن أنّ 44 جراماً من ثاني أكسيد الكربون،  $\text{CO}_2$ ، تنتج عند تفاعل 16 جراماً من الميثان،  $\text{CH}_4$ ، مع الأكسجين،  $\text{O}_2$ . ما عدد جرامات الأكسجين اللازمة لهذا التفاعل؟

## ■ الحل:

تمثل 16 جم من الميثان،  $\text{CH}_4$ ، مولاً واحداً، والذي يتفاعل مع الأكسجين لإنتاج مول واحد من ثاني أكسيد الكربون،  $\text{CO}_2$ ، والمول الواحد من ثاني أكسيد الكربون (كتلة الصيغة له 44 و.ك.ذ.) يساوي 44 جم. إذا كان 16 جم من الميثان

تتشابه عملية إعداد الطّعام مع الكيمياء في أنّهما يتطلبان قياس مقادير المواد. وكما ينظر الطاهي إلى الوصفة لمعرفة قياس كمية المواد الضرورية بالكوب أو ملعقة الشاي، فإنّ الكيميائي ينظر إلى الجدول الدوري لقياس الكميات الضرورية بعدد الجرامات لكلّ مول لكلّ عنصر أو مركب.

## ■ 3.17 سرعة التفاعل

تساعد المعادلة الكيميائية الموزونة في تحديد كمية النواج التي يمكن تشكيلها من كميات المتفاعلات المتوافرة. ولكن المعادلة لا تفيدها كثيراً عمّا يحدث خلال التفاعل على المستوى دون الجوهري. في هذا الجزء والذي يليه، سندرس المستوى دون الجوهري؛ لنبين كيفية تغيير معدّل التفاعل، إما من خلال تغيير التركيز أو درجة حرارة المتفاعلات، أو بإضافة ما يعرف بالحفّز.

إنّ بعض التفاعلات الكيميائية بطيئة مثل صدأ الحديد، أما الأخرى فسرّعة مثل حرق الجازولين. يُشار إلى سرعة التفاعل بمعدل حدوث التفاعل، وهو مؤشّر على سرعة تحويل المواد المتفاعلة إلى نواج. كما يبين الشكل 6.17، بداية، يحتوي الدورق على جزيئات المواد المتفاعلة فقط. ومع مرور الزمن، تتحول المواد المتفاعلة إلى جزيئات النواج. وكنتيجة لذلك، يزيد تركيز جزيئات النواج. وعليه، يعرف معدّل التفاعل إما بسرعة زيادة تركيز النواج أو سرعة نقصان تركيز المتفاعلات.

وهي كتلة المتفاعلات نفسها. كما يجب أن تكون. استناداً إلى قانون حفظ الكتلة. إنَّ اخاد 40 جم من الأكسجين مع 28 جم من النيتروجين. يُبقي 8 جم من الأكسجين زيادة دون تفاعل. إنَّ 32 جم من الأكسجين فقط هي التي تتفاعل مع النيتروجين. مُنتجاً 60 جم من NO. مع بقاء 8 جرامات من الأكسجين دون تفاعل.

(64 جم  $O_2$ ) × (مول واحد  $O_2$  / 32 جم  $O_2$ ) = مولين  $O_2$   
**الخطوة 2:** حوّل مولات  $O_2$  إلى مولات  $O_3$ .  
 (مولين  $O_2$  / 3 مولين  $O_3$ ) × (مولين  $O_2$  / 3 مولين  $O_3$ ) = 1.33 مول  $O_3$   
**الخطوة 3:** حوّل مولات  $O_3$  إلى جرامات  $O_3$ .  
 (1.33 مولين  $O_3$ ) × (48 جم  $O_3$  / 1 مول  $O_3$ ) = 64 جم  $O_3$   
**عينة مسألة 4**

ما كتلة أول أكسيد النيتروجين (30 NO. و. ك. ذ) المتشكل عند تفاعل 28 جم من النيتروجين (28  $N_2$  جم. و. ك. ذ) مع 32 جم من الأكسجين (32  $O_2$  جم. و. ك. ذ) في التفاعل الآتي؟



ماذا عن اخاد 28 جم من النيتروجين.  $N_2$ . مع 40 جم من الأكسجين.  $O_2$ ؟

**الحل:**

هناك عدة طرق لحل هذه المسألة. إحدى هذه الطرائق هي إدراك أنّ 28 جم من  $N_2$  هي مول واحد من  $N_2$ . وأنّ 32 جم من  $O_2$  هي مول واحد من  $O_2$ . ووفق المعادلة الموزونة. فإنّ تفاعل مول واحد من  $O_2$  ينتج مولين من NO. إنّ كتلة مولين من NO هي: (مولين NO) × (30 جم NO / 1 مول NO) = 30 جم NO

تتفاعل مع الأكسجين لإنتاج 44 جم ثاني أكسيد الكربون زائد 36 جم من الماء. فيجب أن تساوي كتلة التفاعلات (44 جم + 36 جم = 80 جم) كتلة النواتج (16 جم + ؟؟ = 80 جم). وعليه. يمكن حساب أنّ الميثان يتفاعل مع 64 جم من الأكسجين. وهي تساوي مولين. كما هو مبين في المعادلة.

**مسألة 3**

ما عدد جرامات الأوزون ( $O_3$  48 و.ك.ذ) التي يمكن إنتاجها من 64 جم من الأكسجين ( $O_2$  32 و.ك.ذ) في التفاعل الآتي:



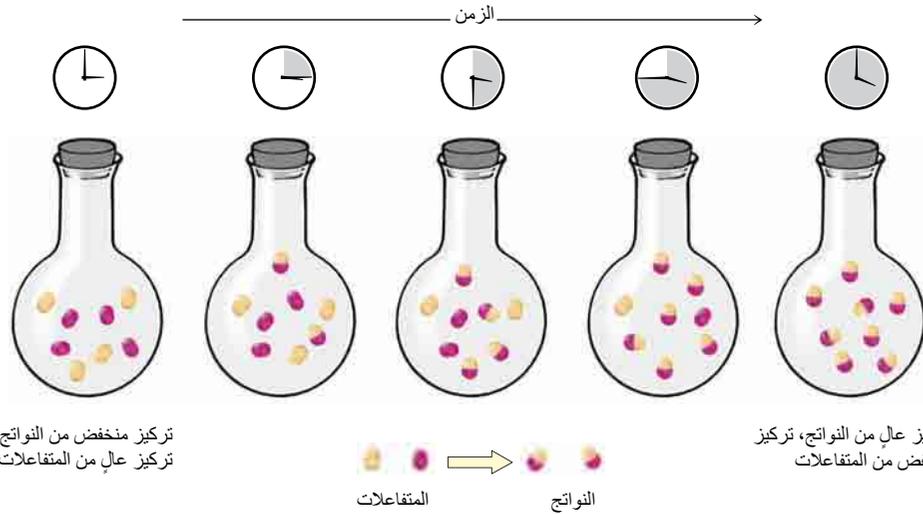
**الحل:**

وفق قانون حفظ الكتلة. يجب أن تتساوي كتلة الكميات المتفاعلة مع كتلة الكميات المنتجة. ولأنّ هذا التفاعل يتضمن متفاعلاً واحداً ومنتجاً واحداً آخر. يجب ألا نتفاجأ إذا علمنا أنّ 64 جم من التفاعل تنتج 64 جم من النواتج. وإليك خطوات الحل:

**الخطوة 1:** حوّل جرامات الأكسجين  $O_2$  إلى مولات من  $O_2$ :

الشكل 6.17

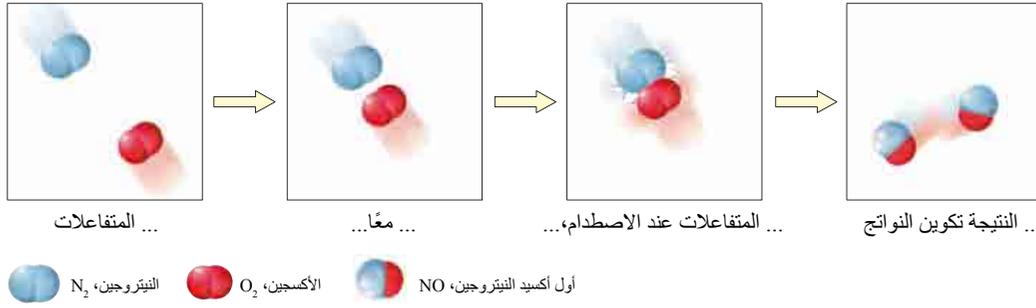
مع مرور الزمن، يمكن أن تتحول المتفاعلات في دورق التفاعل إلى نواتج. إذا حدث ذلك بسرعة فإنّ معدل التفاعل يكون عالياً. ولكن إذا حدث ذلك ببطء، فسيكون معدل التفاعل بطيئاً.



تركيز منخفض من النواتج، تركيز عالٍ من المتفاعلات

النواتج

تركيز عالٍ من النواتج، تركيز منخفض من المتفاعلات



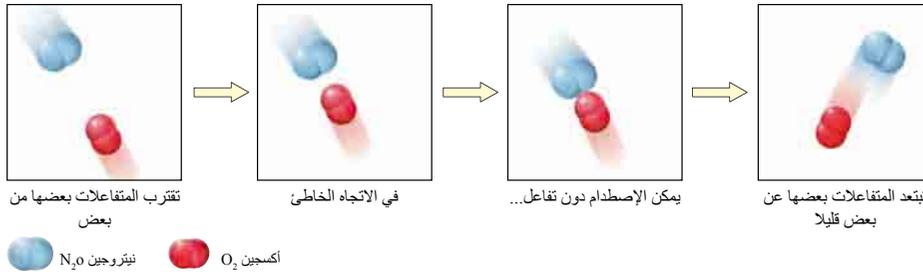
الشكل 7.17

تصطدم الجزيئات المتفاعلة معاً في أثناء التفاعل.

ما الذي يُحدّد معدل التفاعل الكيميائي؟ الجواب معقد. إلا أنّ العامل المهم هو أن جزيئات المواد المتفاعلة يجب أن تكون متلاصقة مادياً، ولأنّ الجزيئات تتحرك بسرعة، فإنّ هذا التلاصق الماديّ يمكن وصفه بدقة على أنّه صدام. ويمكن توضيح العلاقة بين الصدمات الجزيئية ومعدل التفاعل بدراسة تفاعل غاز النيتروجين مع غاز الأوكسجين لتكوين أول أكسيد النيتروجين. كما في الشكل 7.17.

لحدوث التفاعل: يجب أن تصطدم الجزيئات المتفاعلة. لأنّ ازدياد عدد الصدمات يزيد من سرعة التفاعل. وتعدّ زيادة تركيز المواد المتفاعلة إحدى الطرائق الفاعلة لزيادة عدد الصدمات. يوضح الشكل 7.17 أنه عند تركيز عالٍ، يزداد عدد الجزيئات في حجم معين، وهذا يجعل الصدمات بين الجزيئات أكثر احتمالاً. وللمقارنة، خذ مجموعة من الناس فوق صالة رقص: كلما زاد عدد الراقصين زادت ارتطامات بعضهم ببعض. إن زيادة تركيز جزيئات النيتروجين والأوكسجين يؤدي إلى زيادة عدد الصدمات بين هذه الجزيئات. وعليه، يزداد عدد جزيئات أول أكسيد النيتروجين المتكونة في فترة زمنية معينة.

لا تؤدي الصدمات جميعها بين الجزيئات المتفاعلة إلى تكوين نواتج. ولكن يجب أن تصطدم الجزيئات باتجاهات محددة لكي يحدث التفاعل. فالنيتروجين والأوكسجين مثلاً، يمكن أن يكونا أول أكسيد النيتروجين إذا اصطدما باتجاهات متوازنة كما في الشكل 7.17. إذا كان التصادم باتجاهات متعامدة كما في الشكل 9.17، فإنّ أول أكسيد النيتروجين لا يتشكل. ويكون متطلب الاتجاه أكثر دقة للمركبات الكبيرة، والتي يكون لها أكثر من الجاه.



الشكل 9.17

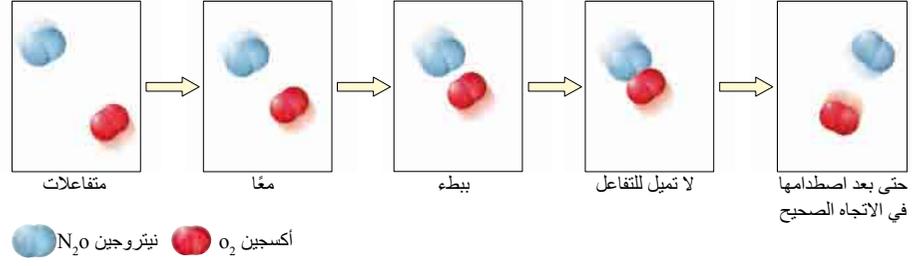
يمكن لاتجاهات الجزيئات المتفاعلة عند التصادم أن تحدد حدوث التفاعل من عدمه. يميل الاصطدام التعامدي بين جزيئات النيتروجين  $N_2$  وجزيئات الأوكسجين،  $O_2$  إلى عدم تكون جزيئات من النواتج.

وهناك سبب آخر في ألا تؤدي التصادمات جميعها إلى تكوين نواتج، وهو أنّ الجزيئات المتفاعلة يجب أن تصطدم بكمية كافية من الطاقة الحركية حتى تستطيع تحطيم روابطها. في هذه الحالة فقط يكون من المحتمل أنّ تغير الذرات في الجزيئات المتفاعلة أمّا ربط مع شركائها وتكوين جزيئات جديدة. إنّ الروابط في جزيئات  $N_2$ ،  $O_2$ ، مثلاً، تكون قوية جداً، ولكي تحطم هذه الروابط، يجب أن تحتوي الصدمات بين هذه الجزيئات على كميات كافية من الطاقة. وكننتيجة لذلك، فإنّ الصدمات بين جزيئات  $N_2$  و  $O_2$  البطيئة الحركة، حتى لو كان الصدام بالاتجاهات الملائمة، يمكن ألا يؤدي إلى تكوين NO. كما في الشكل 10.17.

## الفصل 17 كيف تتفاعل الكيماويات؟ 421

### الشكل 10.17

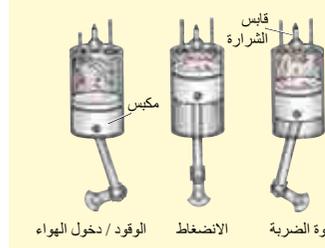
يمكن للجزيئات البطيئة الحركة أن تصطدم بقوة غير كافية لتحطيم روابطها. ونتيجة لذلك، لا يمكنها التفاعل وتكوين جزيئات كنواتج.



كلما ارتفعت درجة حرارة المادة، كانت جزيئاتها أسرع في الحركة. والصدمات بينها أكثر قوة. وهكذا، فإنّ درجة الحرارة المرتفعة تزيد من سرعة التفاعل. فمثلاً، جزيئات النيتروجين والأكسجين التي تشكل غلافنا الجوي، تصطدم باستمرار معاً. ولكن، لا تملك هذه الجزيئات الطاقة الحركية الكافية لتشكيل أول أكسيد النيتروجين عادة. إلا أنّ حرارة صاعقة البرق تزيد من طاقة حركة هذه الجزيئات إلى درجة أنّ جزءاً كبيراً من الصدمات بين الجزيئات في جوار الصاعقة يُشكل أول أكسيد النيتروجين. وكما نوقش في افتتاحية هذا الفصل، فإنّ أول أكسيد النيتروجين المتكوّن بهذه الطريقة يتعرض لتفاعلات جوية متزايدة لتشكيل مواد كيميائية تُعرف بالنترات، والتي تعتمد عليها النباتات للبقاء حية. هذا مثال على تثبيت النيتروجين في التربة، والذي ربما درسته في منهج علوم الحياة.

تتضمّن علوم الحياة تطبيقات رائعة للكيمياء، يعد تثبيت النيتروجين أحد هذه الأمثلة، وأخرى بما فيها التمثيل الضوئي، والتنفس الخلوي، والجينات الجزيئية. لذا فهناك فوائد مميزة لتعلم الكيمياء قبل التقدم في علوم الحياة.

### نقطة فحص

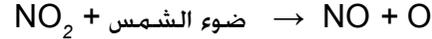


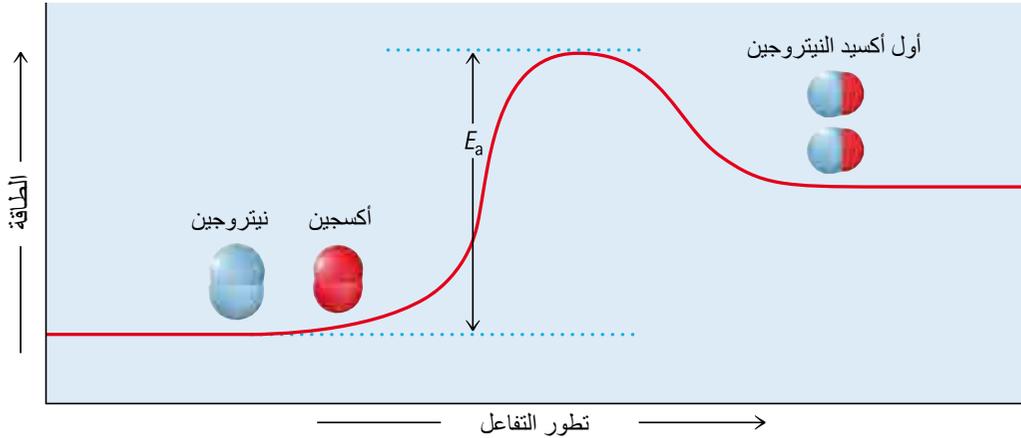
تعمل آلة الاحتراق الداخلي بسحب مزيج من الهواء وبخار الجازولين إلى حجرة. ويكون عمل المكبس حينها ضغط الغازات إلى حجم أصغر قبل الاشتعال من شرارة القابس. ما فائدة ضغط البخار إلى حجم أقل؟

### هل كانت هذه إجابتك؟

عملياً، يزيد ضغط البخار إلى حجرات صغيرة من التركيز. ولهذا، تزداد عدد الصدمات بين الجزيئات التي تُسرّع بدورها التفاعل الكيميائي. وكما نوقش في الجزء 7.2، فإنّ الضغط يزيد درجة الحرارة التي تعزز التفاعل الكيميائي أيضاً.

يمكن الحصول على الطاقة اللازمة لتحطيم الروابط من امتصاص الإشعاع الكهرومغناطيسي. فعند امتصاص الإشعاع من الجزيئات المتفاعلة، تبدأ الذرات في الجزيئات الاهتزاز بسرعة بحيث يمكن تحطيم الروابط بينها بسهولة. ويكون الامتصاص المباشر للإشعاع الكهرومغناطيسي في العديد من الحالات كافياً لتحطيم الروابط الكيميائية. وبدء تفاعل كيميائي. إنّ ملوث الغلاف الجوي المألوف، ثاني أكسيد النيتروجين،  $\text{NO}_2$ ، مثلاً، يمكن أن يتحول إلى أول أكسيد النيتروجين والأكسجين الذري عند تعرضه لضوء الشمس:





الشكل 11.17

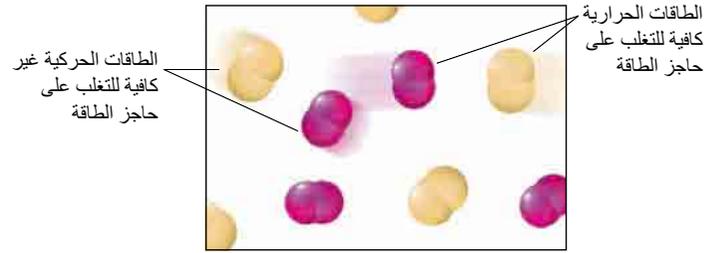
يجب أن تكتسب الجزيئات المتفاعلة الحد الأدنى من الطاقة، تسمى طاقة التنشيط،  $E_a$ ، قبل أن تتحول إلى إنتاج جزيئات.

إنّ حطيم الروابط هي الخطوة الأولى الضرورية في معظم التفاعلات الكيميائية. سواء نتجت عن الصدمات، أم عن امتصاص الإشعاع الكهرومغناطيسي، أم من كليهما. ويمكن النظر إلى الطاقة اللازمة لتحطيم الروابط على أنها حاجز الطاقة. ويسمى الحد الأدنى اللازم للتغلب على حاجز الطاقة هذا طاقة التنشيط ( $E_a$ ) (Activation Energy).

في التفاعل بين النيتروجين والأكسجين لتشكيل أول أكسيد النيتروجين، فإنّ طاقة التنشيط عالية جداً (لأن الروابط في  $O_2, N_2$  قوية) بحيث تستطيع جزيئات النيتروجين والأكسجين السريعة فقط امتلاك الطاقة الكافية للتفاعل. ويبين الشكل 11.17 طاقة التنشيط كحدا عمودية.

تناظر طاقة التنشيط في التفاعل الكيميائيّ الطاقة التي تحتاج إليها السيارة للصعود إلى قمة تل. وبالمثل، يمكن أن تتحول الجزيئات المتفاعلة إلى جزيئات نواتج فقط إذا امتلكت الجزيئات المتفاعلة مقداراً من الطاقة يساوي طاقة التنشيط أو أكبر منها.

عند أي درجة حرارة معلومة، هناك توزيع عرض لطاقات الحركة للجزيئات المتفاعلة. يتحرك بعضها ببطء، في حين يتحرك بعضها الآخر بسرعة. وكما ناقشنا في الجزء 1.6، فإنّ درجة حرارة المادة ترتبط بمعدل طاقات الحركة لهذه الجزيئات جميعها. إن القليل من الجزيئات المتفاعلة المتحركة بسرعة في الشكل 12.17 لها طاقة كافية لعبور حاجز الطاقة، وهي أول ما تتحول إلى جزيئات نواتج. عند ارتفاع درجة حرارة المواد المتفاعلة، يزداد عدد الجزيئات التي تمتلك طاقة كافية لعبور الحاجز. ولهذا، تزيد سرعة التفاعلات بارتفاع درجات الحرارة عمومًا. بالمقابل، عند درجات الحرارة المنخفضة، تمتلك قليل من الجزيئات طاقة كافية لعبور الحاجز. لذا، تتباطأ التفاعلات، على العموم، عند درجات حرارة منخفضة.



الشكل 12.17

بسبب امتلاك الجزيئات المتفاعلة السريعة طاقة كافية للتغلب على حاجز الطاقة، فإنها ستكون أول من تتحول إلى جزيئات النواتج.

### نقطة فحص

ما الجهاز المستخدم لإبطاء السرعة التي تنمو فيها الكائنات الدقيقة على الغذاء؟

هل كانت هذه إجابتك؟

الثلاجة! إنّ الكائنات الدقيقة كعفن الخبز، موجودة في كلّ مكان، ويصعب تجنبها. يتم تخفيض درجة حرارة الكائنات الدقيقة الملوث للغذاء، حيث تقلل الثلاجة من معدل التفاعلات الكيميائية التي تعتمد عليها الكائنات الدقيقة في نموها. وعليه، فإنّ فترة صلاحية الغذاء ستطول.

لتصبح مادتان كيميائيتان قادرتين على التفاعل، يجب أن: 1- يحصل تصادم بالاتجاهات الصحيحة. 2- تمتلك المادتان طاقةً حركيةً كافيةً للبدء في تحطيم الروابط الكيميائية لكي تتشكل روابط جديدة. إنّ هذه جميعها تعدّ أوجهاً لنظرية أوسع تعرف بنظرية الحركة الجزيئية.

## الشكل 13.17

لا يستطيع هذا التمساح الحركة على الأرض في ليلة باردة. عند الضحى، كما يشاهد هنا، فإنه يبدأ الحركة والابتعاد عن الطريق حينما يشعر بالدفء.



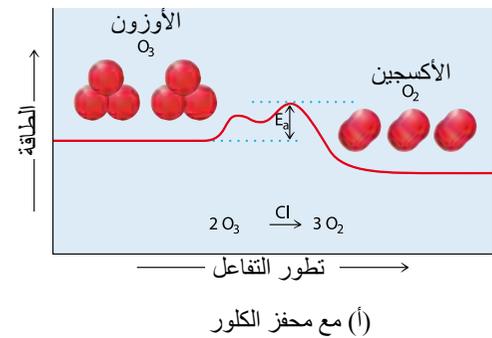
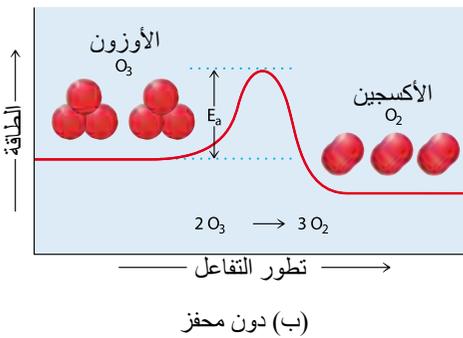
تتأثر معظم التفاعلات بدرجة الحرارة بهذه الطريقة. بما فيها تلك التفاعلات التي حدثت في الأجسام الحية. تكون درجة حرارة أجسام الحيوانات التي تنظم درجة حرارتها الداخلية كالإنسان مثلاً، ثابتة تقريباً. ولكن درجة حرارة أجسام بعض الحيوانات، كالتمساح المبين في الشكل 13.17، ترتفع وتنخفض بحسب درجة حرارة البيئة. ففي يوم دافئ، "تتسارع" التفاعلات الكيميائية في جسم التمساح. في حين تنخفض معدل هذه التفاعلات في يوم بارد. ونتيجة لهذا، تكون حركات التمساح بطيئة.

## ■ 4.17 المحفزات

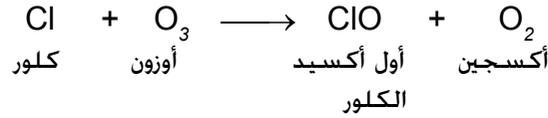
كما ناقشنا في الجزء السابق، فإن زيادة تركيز درجة حرارة المواد المتفاعلة أو زيادتها يجعل التفاعل الكيميائي أسرع. وهناك طريقة ثالثة لزيادة معدل التفاعل وهي إضافة محفز وهو أي مادة تزيد من سرعة التفاعل الكيميائي بتقليل طاقة التنشيط. ويمكن للمحفز أن يكون جزءاً من التفاعل. ولكنه يعاد كمنتج للتفاعل. وهكذا يكون متوافقاً للاشتراك كمتفاعل في التفاعلات اللاحقة. عادة ما تكون عملية تحويل الأوزون،  $O_3$ ، إلى أكسجين،  $O_2$ ، بطيئة. بسبب زيادة طاقة التنشيط النسبية لهذا التفاعل. كما يوضح الشكل 14.17 أ تعمل ذرات الكلور بوصفه محفزاً، وتقلل من حاجز الطاقة، كما في الشكل 14.17 ب. وبذلك يسير التفاعل بسرعة أكبر.

## الشكل 14.17

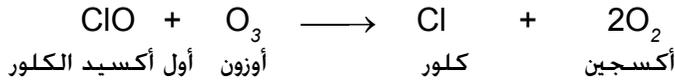
(أ) تدل طاقة التنشيط العالية نسبياً (حاجز الطاقة) على أن جزيئات الأوزون الأعلى طاقة هي تلك التي تتفاعل لتكوين جزيئات الأكسجين. (ب) يخفض وجود ذرات الكلور طاقة التنشيط، وهذا يعني أن مزيداً من الجزيئات المتفاعلة يمتلك طاقة لتكوين نواتج. يسمح وجود الكلور للتفاعل أن يتم بخطوتين، وتقابل طاقتي التنشيط الأصغر لهذه الخطوات. (لاحظ أن العرف يقضي بكتابة المحفز فوق سهم التفاعل.)



إنّ الكلور الذري يقلل حاجز الطاقة لهذا التفاعل عن طريق توفير مسارات بديلة لتفاعلات وسيطية. إنّ كلّ تفاعل يُنقص طاقة التنشيط بحيث تصبح أقلّ من التفاعل غير المحفز. تتضمن هذه المسارات البديلة خطوتين:



ثم يتفاعل أول أكسيد الكلور مع جزيء أوزون آخر لإعادة تكوين ذرة كلور بالإضافة إلى إنتاج جزيئين من الأكسجين:



على الرغم من استهلاك الكلور في التفاعل الأول، فقد تم إعادة إنتاجه في التفاعل الثاني. والنتيجة هي أنّ الكلور لم يُستهلك. وفي الوقت نفسه، فقد تم تحويل جزيئين من الأوزون بسرعة إلى ثلاثة جزيئات من الأكسجين. ولهذا، يعدّ الكلور محفزًا لتحويل الأوزون إلى أكسجين، لأنّ الكلور يسرّع التفاعل، ولكنه لا يُستهلك فيه.

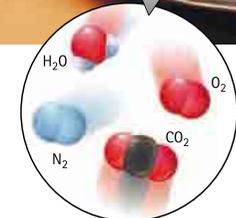
تعمل ذرات الكلور في طبقة الستراتوسفير بوصفها محفزًا لتحطيم طبقة أوزون الأرض. تشير الدلائل إلى أنّ ذرات الكلور يعاد توليدها في الستراتوسفير كمنتجات من غازات الكلور والفلور والكربون (CFCs) والتي هي صناعة بشرية. وتستخدم بكثرة كمائع تبريد في المبردات ومكثفات الهواء. إنّ تحطيم طبقة الأوزون يعدّ أمرًا خطيرًا لدوره في حمايتنا من أشعة الشمس فوق البنفسجية الضارة. يقدر أن ذرة كلور واحدة في طبقة الأوزون تستطيع تحفيز تحويل 100,000 جزيء أوزون إلى جزيئات أكسجين في عام أو عامين قبل أن تزال ذرة الكلور بعمليات طبيعية.

لقد استطاع الكيميائيون تسخير طاقة الحفاز للعديد من الأسباب المفيدة. مثلاً، تحتوي الغازات العادمة التي تنتج عن محرك السيارة على العديد من الملوثات مثل أول أكسيد النيتروجين، وأول أكسيد الكربون، وأبخرة الوقود غير المحترق (كربون الهيدروجين). وللتقليل من كمية هذه الملوثات التي تدخل الغلاف الغازي؛ تزود معظم السيارات بمحولات محفزة كما في الشكل 15.17. يعمل المحفز الفلزي في المحوّل على زيادة سرعة التفاعلات التي تحوّل الملوثات في عوادم السيارات إلى مواد أقلّ سُميّة. يتحول أول أكسيد النيتروجين إلى نيتروجين وأكسجين، كما يتحول أول أكسيد الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون. في حين يتحول الوقود غير المحترق إلى ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء؛ لأنّ المحفّزات لا تستهلك في التفاعلات التي تقوم بتسهيلها. إنّ محوّلًا محفّزًا واحدًا يمكن أن يستمر في العمل بفاعلية طيلة عمر السيارة.

أدت المحولات المحفزة بالإضافة إلى الرقاقات التي تسيطر على النسب بين الوقود والهواء إلى انخفاض ملموس لانبعاث الملوثات. تطلق السيارة العادية، في عام 1960م، نحو 11 جم من الوقود غير المحترق، و4 جم من أكسيد النيتروجين، و84 جم من أول أكسيد الكربون لكلّ ميل تتحركه. في حين تطلق السيارة المحسّنة في عام 2000 أقلّ من 0.5 جم من الوقود غير المحترق، وأقلّ من 0.5 جم من أكسيد النيتروجين، و3 جم فقط من أول أكسيد الكربون لكلّ ميل تقطعه. لقد تم تعويض هذا التحسين في نوعيات السيارات بزيادة عدد السيارات المستخدمة، كما ترى في الازدحام المروري في الشكل 16.17 كما تم أيضا التعويض بازدياد عدد السيارات الرياضية، والتي تزيد من التلوث.

### لمعلوماتك

■ قبل سقوط الاتحاد السوفيتي، سُمح للغاز الطبيعي بالتسرب إلى الغلاف الجوي من العديد من مواقع الحفر في سيبيريا، على افتراض عدم وجود قيمة اقتصادية للغاز الطبيعي. وبعد سقوط الاتحاد السوفيتي، أُغلقت هذه الآبار لمنع الغاز من التسرب. في غضون أسابيع، سجلت أجهزة مراقبة المناخ في مونالو *Maunaloa* على الجانب الآخر من الكوكب انخفاضًا ملموسًا على مستويات الميثان ونواجه، وثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. إنّ الأثر الذي نسبته في الغلاف الغازي كبير.



قبل الوصول إلى المحوّل المحفّز، يحتوي العادم على الملوثات مثل NO و CO و الهيدروكربونات.

بعد مرورها من خلال المحفّز، يحتوي العادم على بخار الماء، O<sub>2</sub> و N<sub>2</sub> و CO<sub>2</sub>.

### الشكل 15.17

يقلل المحوّل المحفّز الملوثات الضارة الناتجة عن الاحتراق بتحويلها من منتجات ضارة مثل NO، CO والهيدروكربونات الضارة إلى نواتج غير ضارة مثل N<sub>2</sub>، O<sub>2</sub> و CO<sub>2</sub>. يكون المحفّز عادة من البلاتين، Pt أو البلاديوم، Pd، أو الروبيديوم، Rd.



الشكل 16.17

إنّ عوادم السيارات اليوم أنظف كثيراً مما كانت عليه قبل اختراع المحول المحفز، ولكن هناك المزيد من السيارات المستعملة اليوم. في عام 1960م، كان هناك نحو 74 مليون سيارة في الولايات المتحدة. وفي عام 2003م، كان هناك 243 مليون سيارة مسجلة تقريباً.

تعتمد الصناعة الكيميائيّة على المحفّزات بسبب تخفيضها لتكاليف الصناعة وذلك بتخفيض درجة الحرارة اللازمة. وكذلك بزيادة كمية المنتج دون استهلاك. وفي الحقيقة فإنّ أكثر من 90% من البضائع المصنعة تنتج بالاستعانة بالمحفّزات، التي لولاها لكان سعر البنزين أعلى كثيراً. بالإضافة إلى أسعار البضائع الاستهلاكية كالمطاط، والبلاستيك، والأدوية، وقطع السيارات، والأقمشة، والمواد الغذائية المنتجة بالأسمدة الكيميائيّة. تعتمد الكائنات الحية على نوع خاص من المحفّزات تعرف بالإنزيمات، والتي تسمح لتفاعلات الكيمياء الحيوية بالحدوث بطريقة سهلة. يمكن التعلم أكثر عن طبيعة الإنزيمات وسلوكها في مقرر العلوم الحياتية.

### ■ نقطة فحص

كيف يخفض المحفّز طاقة التنشيط في التفاعل الكيميائي؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يزوّد المحفّز بمسارات بديلة ويسهّل الحصول عليها لإتمام حدوث التفاعل الكيميائي.

## ■ 5.17 الطاقة والتفاعلات الكيميائيّة

كما ناقشنا في الجزأين السابقين، يجب أن تحتوي التفاعلات على مقدار من الطّاقة حتى تتغلب على طاقة التنشيط ويحدث التفاعل. وعند إتمام التفاعل، فإنّ ما أن يكون هناك إطلاق طاقة صافي أو امتصاص صافي لها. تسمّى التفاعلات التي يكون فيها إطلاق صافي للطاقة التفاعل الطارد للحرارة (إكسوثيرمي)

(Exothermic). تعدّ الصواريخ التي تحمل السفن إلى الفضاء وتوهج المعسكرات بلون أحمر حار أمثلة على التفاعلات الطاردة للحرارة. وتسمّى التفاعلات التي يكون نيتها امتصاص الطاقة تفاعلات ماصة للحرارة (إندوثيرمي) (Endothermic). يتضمن البناء الضوئي سلسلة من التفاعلات الماصة للحرارة والتي تحدث بسبب امتصاص طاقة ضوء الشمس. يوضح الشكل 17.17 كلاً من التفاعلات الطاردة للحرارة والماصة لها، والتي يمكن استيعابها من خلال مفهوم طاقة الرب (Bond Energy).



الشكل 17.17

إنّ محصلة التفاعلات الكيميائيّة التي تتم بحرق الخشب هي تحرير للطّاقة. أمّا محصلة التفاعلات الكيميائيّة التي تحدث في التركيب الضوئي للنبات فهي امتصاص لها.

خلال التفاعل الكيميائي، تحطّم الروابط الكيميائيّة ويُعاد ترتيب الذرات لتكوين روابط كيميائية جديدة. يتضمن هذا التحطيم والتكوين للروابط الكيميائية تغييراً في الطّاقة. بالتناظر، وللتشبيه، تأمّل زوجاً من المغناطيس. لفصله بعضهما عن بعض حتّى إلى "طاقة عضلية". وعلى العكس، عندما يتصادم المغناطيسان يصبحان أسخن من ذي قبل، وهذه السخونة دلالة على تحرير الطاقة. تمتص المغناطيسان طاقة لكي ينفصلا، ويطلقان طاقة حينما يلتصقان. وينطبق المبدأ نفسه على الذرات، حيث إنّك بحاجة إلى بذل طاقة لفصل الذرات المرتبطة معاً. وعند أخذ هذه الذرات تنتج طاقة، عادة ما تكون على شكل طاقة حركية للذرات أو الجزيئات، أو إشعاعات مغناطيسية أو كليهما.

تكون كمية الطّاقة اللازمة لفصل ذرتين مرتبطتين معاً هي كمية الطّاقة المتحررة نفسها عند اتحادهما معاً. تسمّى هذه الطّاقة طاقة الرّبط. سواء أكانت متمصّة عند خّطيم رابطة، أو متحرّرة عند تكوين رابطة. إنّ لكلّ رابطة كيميائية طاقة ربط مميزة لها. ومثال هذا أنّ طاقة ربط الهيدروجين بالهيدروجين هي 436 كيلو جول/مول. وهذا يعني امتصاص 436 كيلو جول من الطّاقة عند خّطيم روابط مول واحد من الهيدروجين بالهيدروجين. إنّ الروابط المختلفة المتعلقة بعناصر مختلفة لها طاقات ربط مختلفة. كما بين الجدول 1.17. يمكنك الرجوع إلى هذا الجدول وأنت تدرس هذا الجزء. ولكن لا تحفظ طاقات الربط هذه. بل حاول التركيز على فهم معانيها.

### الجدول 1.17 طاقات ربط مختارة

الرابطة	طاقة الربط (كيلو جول/مول)	الرابطة	طاقة الربط (كيلو جول/مول)
H—H	436	N—N	159
H—C	414	O—O	138
H—N	389	Cl—Cl	243
H—O	464	C=O	803
H—F	569	N=O	631
H—S	339	O=O	498
H—Cl	431	C≡C	837
C—C	347	N≡N	946

اصطلاحاً. تمثل طاقة الربط الموجبة كمية الطّاقة المتمصّة عند خّطيم الرّابطة. في حين تمثل طاقة الربط السالبة كمية الطّاقة المتحررة عند تكوين الرّابطة. وعليه. خذ في الحسبان الإشارات السالبة والموجبة عندما تحسب صافي كمية الطّاقة المتحررة أو المتمصّة خلال التّفاعل. وجرت العادة أن تعين إشارة موجبة للطاقة المتمصّة وإشارة سالبة للطاقة المتحررة عند إجراء الحسابات. فعلى سبيل المثال. عند حساب الطّاقة لتحطيم روابط مول واحد من H—H فستكتب +436 كيلو جول للإشارة إلى امتصاص الطّاقة. وعندما يتعلق الأمر بتكوين مول واحد من روابط H—H فستكتب -436 كيلو جول للإشارة إلى أن الطّاقة حرّرت. وسنجرى بعض العينات الحسابية بعد قليل.

### ■ نقطة فحص

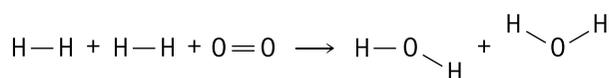
هل للروابط التساهمية المفردة جميعها طاقة الربط نفسها؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا. نعتد طاقة الربط على أنواع الذرات المرتبطة. فمثلاً. لرابطة H—H المفردة طاقة ربط تساوي 436 كيلو جول/مول. أما الرّابطة المفردة H—O فلها طاقة ربط تساوي 464 كيلو جول/مول. إنّ الروابط المفردة التساهمية جميعها ليست متساوية في طاقة ربطها.

### يتضمن التّفاعل الطارد للحرارة تحرير طاقة صافية

في أي تفاعل كيميائي. يكون مجموع الطّاقة المتمصّة من خّطيم الروابط في المواد المتفاعلة مختلفاً دائماً عن مجموع الطّاقة المتحررة من النّواتج. خذ تفاعل الهيدروجين مع الأكسجين لتكوين الماء:



يجب تزويد طاقة لهذه المغناطيس حتى نسحبها عن بعضها



تتحرر الطاقة عندما يقتربان



تذكر أنّ الروابط التي تتشكّل عن الروابط التي تتحطم تختلف في التّفاعل. ولهذا فإنّ طاقات الربط للروابط المتشكلة تختلف عنها في الروابط المحطمة.

ترتبط ذرات الهيدروجين مع ذرات الهيدروجين، كمتفاعلات وترتبط ذرات الأكسجين ثنائيًا معًا. مجموع الطاقة الممتصة عند ختم هذه الروابط هو +1370 كيلو جول.

نوع الرابطة	عدد المولات	طاقة الربط	مجموع الطاقة
H—H	2	+436 كيلو جول/مول	+872 كيلو جول
O = O	1	+498 كيلو جول/مول	+498 كيلو جول
		مجموع الطاقة الممتصة	+1370 كيلو جول

في النواتج هناك أربع روابط هيدروجين - أكسجين. إن مجموع الطاقة المتحررة عند تشكيل هذه الروابط هو - 1856 كيلو جول.

نوع الرابطة	عدد المولات	طاقة الربط	مجموع الطاقة
H—O	4	-464 كيلو جول/مول	-1856 كيلو جول
		مجموع الطاقة المتحررة	-1856 كيلو جول

تزيد كمية الطاقة المتحررة في هذا التفاعل على كمية الطاقة الممتصة. بحسب صافي الطاقة في هذا التفاعل بجمع هاتين الكميتين:

$$\begin{aligned} \text{صافي طاقة التفاعل} &= \text{الطاقة الممتصة} + \text{الطاقة المتحررة} \\ &= +1730 \text{ كيلو جول} + (-1856 \text{ كيلو جول}) \\ &= -486 \text{ كيلو جول} \end{aligned}$$

تدل الإشارة السالبة لصافي الطاقة على أن هناك صافي طاقة متحررة. لذا فإن التفاعل طارد للحرارة. ولأي تفاعل طارد للحرارة، يمكن اعتبار الطاقة نواتج. وأحيانًا تضمن بعد السهم في المعادلة الكيميائية:



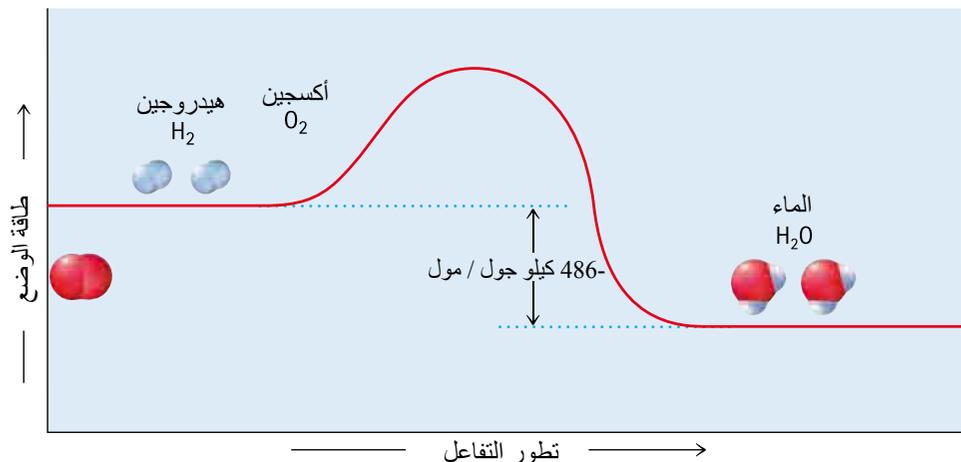
في التفاعل الطارد للحرارة، تكون طاقة الوضع للذرات في الجزيئات الناتجة أقل من طاقة الوضع للجزيئات المتفاعلة. وهذا موضح في الشكل الجانبي للتفاعل المبين في الشكل 18.17. يعود انخفاض طاقة الوضع للذرات في الجزيئات المتفاعلة إلى أنها متماسكة بقوة معًا؛ هذا شبيه بتجاذب المغناطيسين. حيث تقل طاقة وضعهما عند اقتراب كل منهما من الآخر. يُعوّض النقص في طاقة الوضع بكسب في طاقة الحركة. وكـمغناطيسين يتحركان بحرية عندما يلتقيان ويتحركان بسرعات عالية، تنحول طاقة الوضع في المتفاعلات إلى ذرات وجزيئات تتحرك بسرعة عالية، وإشعاعات كهرومغناطيسية، أو كليهما.

### معلوماتك

■ يفحص علماء ناسا بطريقة روتينية صلاحية العديد من المواد على التحمل مقابل الأكسجين الذري، O. المتوافر في المدار المنخفض لمركبة الفضاء. لقد اكتشفوا أن الأكسجين الذري، عمليًا، يحول سطوح المواد العضوية إلى غاز ثاني أكسيد الكربون. كما أدركوا فائدة الأكسجين الذري في استعادة الدهان المتضرر نتيجة الدخان وغيره من الملوثات العضوية. ويتعاون العلماء مع المحافظين على الفن، تم استخدام الأكسجين الذري لاستعادة ألوان لوحات متضررة، وكان أثره رائعًا.

### الشكل 18.17

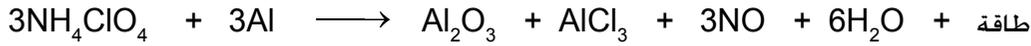
في التفاعل الإكسوثيرمي، تكون الجزيئات الناتجة عن طاقة وضع أقل من الجزيئات المتفاعلة. وتكون كمية الطاقة الناتجة الناتجة عن التفاعل مساوية للفرق في طاقات الوضع بين المتفاعلات والنواتج.



تساوي طاقة الحركة المتحررة من هذا التفاعل الفرق بين طاقة الوضع لكل من المواد المتفاعلة والنواج. كما يشار إليه في الشكل 18.17.

من المهم فهم أنّ الطاقة المتحررة من التفاعل المنتج للحرارة لا تصنع من التفاعل. فهذه تخضع لقانون حفظ الطاقة. والذي يخبرنا بأنه لا يمكن إحداث الطاقة أو إفناؤها في التفاعل الكيميائي (أو أي عملية). ولكنّ الطاقة تتحول من شكل إلى آخر. خلال التفاعل المنتج للحرارة، تتحرر الطاقة التي كانت على شكل طاقة وضع. كروابط كيميائية، إلى طاقة حركية لجزيئات تتحرك بسرعة و/أو إشعاعات كهرومغناطيسية.

يعتمد مقدار الطاقة المتحررة في تفاعل منتج للحرارة على مقدار المواد المتفاعلة. فمثلاً، إنّ تفاعل كميات كبيرة من الهيدروجين والأكسجين يُزود مكوك الفضاء بالطاقة اللازمة لرفعه إلى المدار. كما في الشكل 19.17. هناك حجرتان في الخزان المركزي الكبير. والذي يلتصق به المكوك؛ - إحداهما مليئة بسائل الهيدروجين والأخرى مليئة بسائل الأكسجين. عند الاشتعال، يمتزج هذان السائلان ويتفاعلان كيميائيًا لتكوين بخار الماء الذي يُنتج الدفع اللازم عند قذفه إلى خارج خرطوم الصاروخ. ويتمّ الحصول على دفع إضافي يُعزز من زوج من صواريخ الوقود الصلب. والذي يحتوي على مزيج من بيركلورات الأمونيوم،  $NH_4ClO_4$ . ومسحوق الألومنيوم. عند الاشتعال، تتفاعل هذه المواد الكيميائية وتشكل نواج تقذف من خلف الصاروخ. إنّ المعادلة الموزونة التي تمثل هذا التفاعل هي:



الشكل 19.17

تستخدم مركبة الفضاء التفاعلات الكيميائية للارتفاع عن سطح الأرض.

### ■ نقطة فحص

أين يذهب صافي الطاقة المتحررة من التفاعل المنتج للحرارة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

تذهب هذه الطاقة لزيادة سرعات الذرات والجزيئات المتفاعلة، وغالبًا إلى إشعاعات كهرومغناطيسية.

### يتضمن التفاعل الماص للحرارة امتصاصًا صافيًا للطاقة

عندما تكون كمية الطاقة المتحررة في النواج أقل من كمية الطاقة الممتصة عند ختيم الروابط. يكون التفاعل ماصًا للحرارة. ومثال هذا تفاعل نيتروجين الغلاف الجوي والأكسجين لتكوين أول أكسيد النيتروجين. والذي هو التفاعل المستخدم نفسه للعديد من النقاشات في الفصول الماضية:



كمية الطاقة الممتصة عند ختيم الروابط الكيميائية هي:

نوع الرابطة	عدد المولات	طاقة الربط	مجموع الطاقة
$N \equiv N$	1 +	946 كيلو جول/مول	946+ كيلو جول/مول
$O = O$	1 +	498 كيلو جول/مول	498+ كيلو جول/مول
		مجموع الطاقة الممتصة:	1444+ كيلو جول



تذكر من الفصل الثاني أنه لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار ومعاكس له في الاتجاه. ومثال ذلك اندفاع الصاروخ إلى أعلى عندما تندفع المواد الكيميائية إلى أسفل.

كمية الطّاقة المتحررة عند تكوين روابط في النواتج هي:

نوع الرابطة	عدد المولات	طاقة الربط	مجموع الطّاقة
N = O	2	- 631 كيلو جول/مول	- 1262 كيلو جول
مجموع الطّاقة المتحررة:			- 1262 كيلو جول

وكما ذكر من قبل، نحسب صافي طاقة التفاعل بإضافة الكميتين:

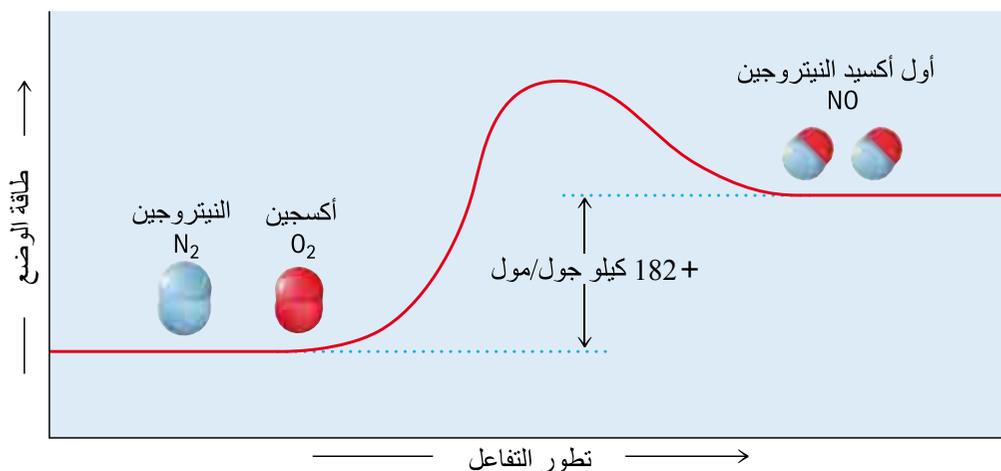
$$\begin{aligned} \text{صافي طاقة التفاعل} &= \text{الطاقة الممتصة} + \text{الطاقة المتحررة} \\ &= +1444 \text{ كيلو جول} + (-1262 \text{ كيلو جول}) \\ &= +182 \text{ كيلو جول} \end{aligned}$$

تدل الإشارة الموجبة على وجود صافي/متصاص للطاقة، وهذا يعني أنّ التفاعل ماصّ للحرارة. ويمكن اعتبار الطّاقة كمتفاعل لأيّ تفاعل ماصّ للحرارة. وعليه، تُضمّن في بعض الأحيان قبل السهم في المعادلة الكيميائية:



إنّ طاقة الوضع للذرات في الجزيئات الناتجة أعلى من طاقة الوضع للجزيئات المتفاعلة في التفاعل الماص للحرارة. وهذا موضّح في هيئة التفاعل في الشكل 20.17. وإنّ رفع طاقة الوضع للذرات في جزيئات النواتج يتطلب صافي مدخل طاقة، والتي يجب أن تأتي من مصدر خارجي ما. مثل الإشعاع الكهرومغناطيسي، أو الكهرباء، أو الحرارة. وهكذا، يتفاعل النيتروجين والأكسجين لتكوين أول أكسيد النيتروجين فقط عند تسليط حرارة كبيرة، كما يحدث بجوار صاعقة البرق، أو داخل آلة الاحتراق.

**الشكل 20.17**  
في التفاعل الإندوثيرمي، تكون الجزيئات الناتجة في مستوى طاقة وضع أعلى من الجزيئات المتفاعلة، وتكون محصلة الطّاقة الممتصة في التفاعل مساوية للفرق في طاقات الوضع بين المتفاعلات والنواتج.



### 6.17 ■ القصور الحراريّ (الإنثروبي) يوجّه التفاعلات الكيميائية

كما نوقش في البند 6.6، فإنّ الطّاقة تميل إلى التشتت. إنها تنساب من موقع تركيزها إلى موقع انتشارها. لا تبقى طاقة المقلاة الساخنة، مثلاً، مركزة في المقلاة عند إخراج المقلاة من الفرن. ولكن الطّاقة تنتشت بعيداً عن المقلاة إلى المحيط البارد. وبالمثل، تنتشت الطّاقة الكيميائية المركزة في البنزين إلى حرارة للعديد من الجزيئات الصغيرة ذات الطّاقة المنخفضة عند الحرق. يُستعمل بعض هذه الحرارة في الآلة لتسيير السيارة. في حين ينتشر ما بقي في جسمها، إلى السائل في المشاع، أو عبر أنبوب العادم.

يرى بعض العلماء أنّ ميل الطّاقة إلى الانتشار هو أحد الأسباب المركزية للعمليات الفيزيائية والكيميائية؛ أي أنّ العمليات التي ينجم عنها تشتتت في الطّاقة تميل إلى أن تحدث وحدها؛ إنها مفضلة. وهذا يتضمن تبريد المقلاة وحرق البنزين. في الحالتين تشتتت الطّاقة في محيطها. والعكس صحيح أيضاً. فالعمليات التي تنتج تركيزاً في الطّاقة لا تميل إلى أن تحدث؛ إنها غير مفضلة. مثلاً، لا تنساب السخونة في الغرفة لتتجمّع تلقائياً في المقلاة لتسخينها. وبالمثل، لا تميل الجزيئات المنخفضة الطّاقة الخارجة من عادم السيارة إلى التجمع تلقائياً لتكوين جزيئات بنزين عالية الطّاقة. إنّ الانسياب الطبيعي للطّاقة هو دائماً رحلة باتجاه واحد؛ من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل. أو "الانتشار". يُستخدم مصطلح "الإنتروبي" لوصف الانتشار الطبيعي للطّاقة. لقد وصفت الإنتروبي في الجزء 6.6. عند تطبيق هذا المصطلح في الكيمياء، فإنّ السؤال الأساس الآتي يكون مفيداً لنا: إذا وضعت مادتين معاً، فهل تتفاعل معاً لإنتاج مواد جديدة؟ إذا كانت نتيجة التفاعل الكلية هي زيادة في الإنتروبي (تشتتت للطّاقة). فإنّ الجواب هو نعم. وبالعكس. إذا كانت النتيجة الكلية للتفاعل نقصاناً فيها (تركيز في الطّاقة). فلا يحدث التفاعل من تلقاء نفسه.

إنّ التفاعلات التي تكون نتيجتها تشتتاً في الطّاقة، مثل التفاعلات الإكسوثيرمية، تميل إلى الحدوث تلقائياً. في المقابل، تتطلب التفاعلات الإندوثيرمية أن تتركز الطّاقة حول المتفاعلات، لذا لا تحدث من تلقاء نفسها.

طريقة سريعة لتحديد إمكانية حصول تفاعل ما هي في تقييم ما إذا كان التفاعل يؤدي إلى تشتت طاقة كمحصلة، وهي تقول لنا إن الإنتروبي تزداد

بسبب ميل الطاقة الطبيعي للتشتت، فإن التفاعل الذي يؤدي إلى زيادة الإنتروبي غالباً ما يحدث، التفاعل الذي يؤدي إلى نقصان الإنتروبي فإنه لا يحدث على الأغلب

باستخدام مصطلح الإنتروبي، فإنّك في موقع تستطيع فهم سبب الاستدامة الذاتية للتفاعلات الإكسوثيرمية (الطاردة للحرارة). في حين أنّ معظم التفاعلات الإندوثيرمية (الماصة للحرارة) تحتاج إلى حتّ مستمر. تنشر التفاعلات الطاردة للحرارة الطّاقة إلى المحيط. مثلما تفعل المقلاة الساخنة. وهذا زيادة للإنتروبي. ولهذا، فإنّ التفاعلات الطاردة للحرارة لها أفضلية في الحدوث. في المقابل، في التفاعلات الماصة للحرارة، تمتص المواد المتفاعلة الطّاقة من محيطها. إنّ هذا تركيز للطّاقة، وهو يعارض الميل الطبيعي للانتشار. فالتفاعلات الماصة للحرارة، يمكن استدامتها فقط، باستمرار تزويدها بالطّاقة من مصدر خارجي\*. إنّ الشمس هي مصدر الطّاقة لتفاعلات البناء والتي هي بيت ساخن لإنتاج الإنتروبي من التفاعلات النووية الطاردة للحرارة.

### ■ نقطة فحص

تتكون بلورات السكر طبيعياً ضمن محاليل السكر فوق المشبعة المائية. هل تشكيل هذه البلورات، والتي تضع جزيئات السكر بطريقة مرتبة، ينجم عنه زيادة أم نقصان في الإنتروبي؟

هل كانت هذه إجابتك؟

ينتج عن تكون بلورات السكر هذه زيادة في الإنتروبي. إنّ المفتاح لزيادة الإنتروبي هنا هو تكوّن البلورات "وحدها" دون التزود بالطّاقة من مصدر خارجي. من المدهش، أن تتحرر الطّاقة عندما تقترب الجزيئات بعضها من بعض لتكوين المادة الصلبة. مثلاً، عند جَمَد الماء، تسمّى الحرارة المنطلقة حرارة الانصهار (انظر الجزء 9.7). إنّ انطلاق الحرارة هو انتشار للطّاقة، والتي هي بالتعريف، زيادة في الإنتروبي.



الشكل 21.17

تستخدم بعض طاقة الشمس المشتتة لتحريك التفاعلات الإندوثيرمية، وهي ضرورية لوظائف الكائنات الحية.

\* هناك بعض الأمثلة على التفاعلات الماصة للحرارة والتي تحدث تلقائياً بامتصاص الحرارة من البيئة محدثة زيادة في الإنتروبي. إنّ المثال التقليدي هو مزج الملح بالماء (انظر النشاط الاستكشافي في نهاية الفصل). في هذه الحالات، تزداد الإنتروبي ليس بإطلاق الطّاقة بل بتشتت الذرات والجزيئات المحتوية على الطّاقة في المحلول.

## ملخص المصطلحات

معدّل التفاعل **Reaction rate**: مقياس لسرعة تزايد تركيز المواد المتفاعلة في التفاعل الكيميائي. أو تناقص تركيز المتفاعلات. طاقة التنشيط **Activation energy**: الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لحدوث التفاعل الكيميائي. المحفز **Catalyst**: أي مادة تزيد من سرعة التفاعل الكيميائي دون أن تُستهلك في التفاعل. طاردة للحرارة **Exothermic**: مصطلح يصف التفاعل الكيميائي، والذي يكون فيه صافي تحرير الطاقة. ماصة للحرارة **Endothermic**: مصطلح يصف التفاعل الكيميائي، والذي يكون فيه صافي امتصاص للطاقة. طاقة الرابطة **Bond energy**: مقدار الطاقة التي امتصت عند تحطيم الرابطة الكيميائية أو حررت عند تشكيلها.

المعادلة الكيميائية **Chemical equation**: تمثيل للتفاعل الكيميائي. تسجل فيه المواد المتفاعلة قبل السهم الذي يشير إلى النواتج. المتفاعلات **Reactants**: المواد المتفاعلة في التفاعل الكيميائي. النواتج **Products**: المواد الجديدة المتكونة في التفاعل الكيميائي. قانون حفظ الكتلة **Law of mass conservation**: المادة لا تفنى ولا تُستحدث خلال التفاعل الكيميائي. بل يعاد ترتيب الذرات فقط. دون فقدان أو اكتساب أي كتلة. لتكوين جزيئات جديدة. صيغة الكتلة **formula Mass**: مجموع الكتل الذرية للذرات في المركب الكيميائي أو العنصر. عدد أفوجادرو **Avogadro's number**: عدد الجسيمات -  $6.02 \times 10^{23}$  - المحتوى في 1 مول من أي شيء. الكتلة المولية **Molar mass**: كتلة مول واحد من المادة.

## أسئلة مراجعة

## 1.17 المعادلات الكيميائية

15. لماذا لا تؤدي التصادمات جميعها بين الجزيئات المتفاعلة إلى تكوين منتج؟
16. ماذا يحدث عادة لمعدل سرعة التفاعل عند زيادة درجة الحرارة؟
17. أي الجزيئات المتفاعلة يكون أول ما يخرق حاجز الطاقة؟
18. ما المصطلح الذي يُستخدم لوصف كمية الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لسير التفاعل؟

## 4.17 المحفزات

19. ما المحفز الفاعل في تحطيم أوزون  $O_3$  الغلاف الجوي؟
20. ما الهدف من الحوّل المحفز؟
21. ماذا يفعل المحفز لحاجز طاقة التفاعل؟
22. ما الأثر النهائي للتفاعل الكيميائي في المحفز؟
23. لماذا تعدّ المحفزات مهمة لاقتصادنا؟

## 5.17 التفاعلات الكيميائية والطاقة

24. إذا تطلب 436 كيلو جول لتحطيم رابطة. فكم كيلوجول يتحرر عند تشكيل الرابطة نفسها؟
25. هل تستهلك الطاقة في أي وقت خلال التفاعل المنتج للحرارة؟
26. ما الذي يطلق في التفاعل المنتج للحرارة؟
27. ما الذي يمتص في التفاعل الماص للحرارة؟

## 6.17 الإنتروبي يوجه التفاعلات الكيميائية

28. أين تذهب الطاقة عندما تنشئت؟
29. ما الذي يزداد دائماً؟
30. لماذا تكون التفاعلات المنتجة للحرارة مستدامة ذاتياً؟

1. ما هدف المعاملات في المعادلة الكيميائية؟
  2. ما عدد ذرات كل من الكروم والأكسجين المشار إليها في الجانب الأيمن من المعادلة الموزونة؟
- $$4Cr(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2Cr_2O_3(g)$$
3. ماذا تمثل الرموز: (s)، (l)، (g)، و (aq) في المعادلة الكيميائية؟
  4. لِمَ يجب أن تكون المعادلة الكيميائية موزونة؟
  5. لماذا من المهم عدم تغيير الرمز السفلي أبداً في الصيغة الكيميائية عند موازنة المعادلة الكيميائية؟

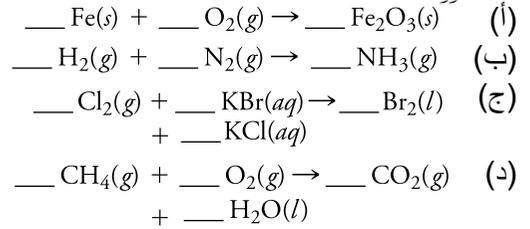
## 2.17 عدّ الذرات والجزيئات من الكتلة

6. لماذا لا يتساوى عدد كرات كل من التنس والقاعدة لكتلتيهما نفسها؟
7. لماذا لا تحتوي الكتلة نفسها من ذرات الكربون وجزيئات الأكسجين على العدد نفسه من الجسيمات؟
8. ما كتلة ذرة صوديوم مفردة بوحدة الكتل الذرية؟
9. ما صيغة الكتلة لأول أكسيد النيتروجين. NO. بوحدة الكتل الذرية؟
10. إذا كان لديك مول واحد من الكرات. فكم كرة عندك؟
11. إذا كان لديك مولان من القروش. فما عدد القروش عندك؟
12. ما عدد مولات الماء في 18 جم من الماء؟
13. ما عدد جزيئات الماء في 18 جم من الماء؟
14. القول بأنّ لديك مولاً واحداً من جزيئات الماء هو كقولك إنّ لديّ  $6.02 \times 10^{23}$  جزيء ماء. لماذا؟

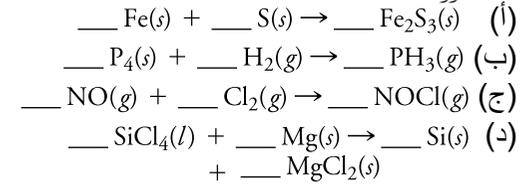
## 3.17 معدّل التفاعل

## تمارين

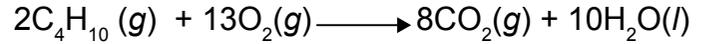
1. • زِن المعادلات الآتية:



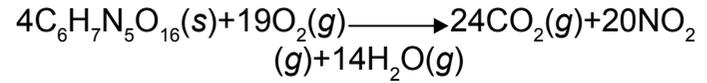
2. • زِن المعادلات الآتية:



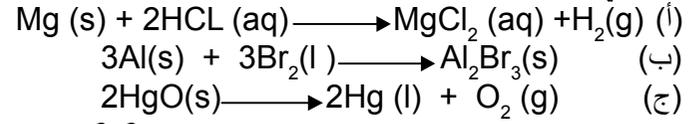
3. • هل المعادلة الكيميائية الآتية موزونة؟



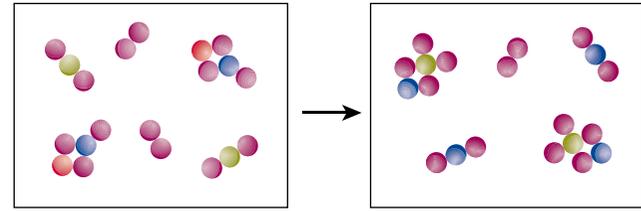
4. • هل المعادلة الآتية موزونة؟



5. • أيّ المعادلات الآتية موزونة؟



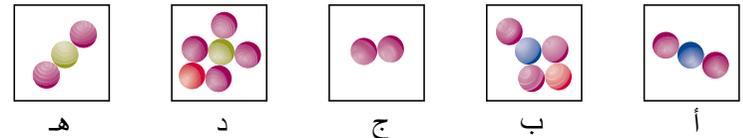
استخدم الرسوم التوضيحية الآتية للإجابة عن التمارين 6-9.



6. • هل هذا التفاعل موزون؟

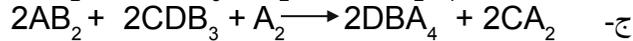
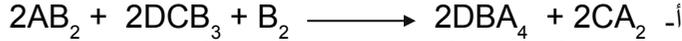
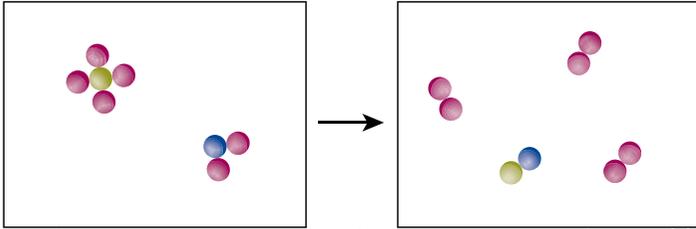
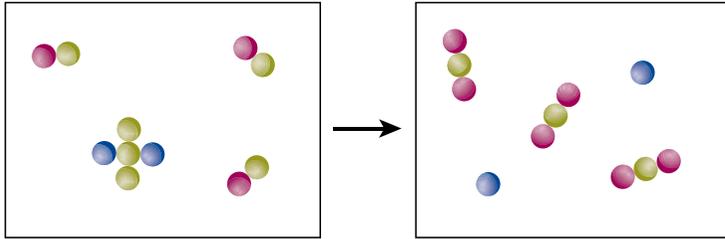
7. • افترض أنّ التوضيحات أعلاه صورتان من فيلم سينمائي؛ واحدة قبل التفاعل، والأخرى بعده. فما عدد الجزيئات الثنائية الذرية الممثلة في هذا الفيلم؟

8. • يظهر أدناه على الأقلّ جزيء إضافيٍّ من الجزيئات المتفاعلة. أيّ هذه الجزيئات هو؟



9. • أيّ المعادلات الآتية تصف هذا التفاعل أفضل؟

• مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

10. • تمثّل المتفاعلات المبينة أدناه في الرسم عن اليسار الميثان،  $\text{CH}_4$  والماء  $\text{H}_2\text{O}$ . اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة التي تصف التفاعل؟11. • تمثّل المتفاعلات المبينة أدناه في الرسم عن اليسار أكسيد الحديد،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ، وأول أكسيد الكربون،  $\text{CO}$ . اكتب المعادلة الكيميائية الكاملة الموزونة التي تصف التفاعل.12. • ما الصيغة الكتلية للماء،  $\text{H}_2\text{O}$ ، والبروبين  $\text{C}_3\text{H}_6$ ، وثنائي البروبانول  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ ؟13. • أيها يحتوي على ذرات أكثر: 17.031 جم من الأمونيا،  $\text{NH}_3$ .أم 72.922 جم من كلوريد الهيدروجين،  $\text{HCl}$ ؟14. • ما الذي له أكبر عدد من الجزيئات: 28 جم من النيتروجين،  $\text{N}_2$ .أم 32 جم من الأكسجين،  $\text{O}_2$ . أم 32 جم من الميثان،  $\text{CH}_4$ . أم 38جم من الفلور،  $\text{F}_2$ ؟

15. • كم تساوي وحدتان من الكتل الذرية بالجرامات؟

16. • ما كتلة ذرة الأكسجين بوحدات الكتل الذرية؟

17. • ما كتلة الماء بوحدات الكتل الذرية؟

18. • ما كتلة ذرة الأكسجين بالجرامات؟

19. • ما كتلة جزيء الماء بالجرامات؟

20. • هل من المحتمل أن تجد عينة أكسجين كتلتها 14 و.ك.ذ؟ فسّر.

21. • أيهما أكبر: 1.01 و.ك.ذ من الهيدروجين، أم 1.01 جم من الهيدروجين؟

22. • أيهما أكبر كتلة:  $1.204 \times 10^{24}$  جزيء من الهيدروجين الجزيئي، أم  $1.204 \times 10^{24}$  جزيء ماء؟23. • كم جم من الجاليوم في 145 جم من زرنخ الجاليوم  $\text{GaAs}$ ؟24. • كم ذرة من الزرنخ في عينة زرنخ الجاليوم،  $\text{GaAs}$  كتلتها

145 جم؟

25. • فيم تختلف صيغة الكتلة عن الكتلة الذرية؟

26. • كيف يمكن لطائرة تحمل 110 أطنان من الوقود أن تطلق 340

طنناً من ثاني أكسيد الكربون؟

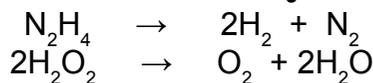
37. هل التفاعلات الكيميائية التي تحدث في البطارية المستهلكة منتجة للحرارة أم ماصة لها؟ ما الأدلة التي تدعم جوابك؟ هل التفاعل الذي يحدث في بطارية إعادة الشحن حين إعادة شحنها منتجًا للحرارة أم ماصًا لها؟
38. ما الدور الذي تقوم به الإنتروبي في التفاعل الكيميائي؟
39. لماذا يفضل التفاعل الطارد للحرارة عادة تكوين منتجات؟
40. تحت أي شروط لا تفقد الشظيرة حرارتها لمحيطها؟
41. عند شروق الشمس على قمة جبل جليدي، يتسامى كثير من الثلج بدلًا من الذوبان. فسّر لماذا تفضل هذه العملية من ناحية الإنتروبي؟
42. احسب ما إذا كانت الإنتروبي تزيد أم تنقص في التفاعل التالي. استخدم بيانات الجدول 1.17 لتأكيد حساباتك.
- $$2C(s) + 3H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$$
43. تفضل التفاعلات المنتجة للحرارة لأنها تطلق حرارة للبيئة. هل يفضل أن تتم داخل حجرة فائقة التسخين أم لا؟
44. في المختبر التفاعلات الماصة للحرارة تتم عادة عند درجات حرارة مرتفعة. في حين تحدث التفاعلات الطاردة للحرارة عند درجات حرارة أقل. ما بعض الأسباب المحتملة لذلك؟
45. تنمو النباتات البرية "وحدها" بسهولة. ومع ذلك فإن الإنتروبي لجزيئات النباتات النامية أقل من المواد المستخدمة لنمو النبات. كيف يحدث هذا؟ *النقصان* في الإنتروبي لعملية تقوم وحدها؟ تعمل التفاعلات الماصة للحرارة في المختبر عادة عند درجات حرارة مرتفعة. في حين تعمل التفاعلات المنتجة الماصة للحرارة عند درجات حرارة أقل. اذكر بعض الأسباب لحدوث ذلك.

27. ما الشرطان اللذان يجب توافرها في التصادم بين الجزيئات المتفاعلة لتحديد ما إذا كان التصادم سينتج جزيئات جديدة؟
28. هل يتفاعل المحمّز مع المواد المتفاعلة؟
29. لماذا يستغرق الطعام الموجود في الثلاجة وقتًا أطول ليفسد؟
30. هل تمنع الثلاجة فساد الطعام أم تؤجله؟ فسّر.
31. لماذا تحترق قطعة الخشب المتوهجة الموضوعة في الهواء ببطء، في حين تلتهب بسرعة عند وضعها في أكسجين نقي؟
32. لماذا تضاف الحرارة غالبًا إلى التفاعلات الكيميائية التي تجري في المختبر؟
33. تُخرج الأقرص المضادة لحموضة فقايع بشكل قوي في الماء، على درجة حرارة الغرفة. ولكن ببطء في مزيج بنسبة 50 : 50 من الكحول والماء عند درجة حرارة الغرفة أيضًا. اقترح تفسيرًا يتضمن العلاقة بين سرعة التفاعل وعدد مرات التصادمات الجزيئية.
34. في التفاعلات المحفزة المتابعة العلمية لتكوين الأوزون من الأكسجين الجزيئي، أي المركبات العلمية هو المحمّز: أول أكسيد النيتروجين أم ثاني أكسيد النيتروجين؟
- $$O_2 + 2NO \rightarrow 2NO_2$$
- $$2NO_2 \rightarrow 2NO + O_2$$
- $$2O + 2O_2 \rightarrow 2O_3$$
35. سمع العديد من الناس عن اضمحلال الأوزون. واستغربوا سبب عدم تعويضنا الأوزون المحطم. معرفتك حول مركبات الكلور - الفلور - الكربون (CFC) ومعرفتك كيفية عمل المحمّزات، فسّر عدم ديمومة هذا الحل.
36. في التفاعل الماص للحرارة، أيهما له طاقة وضع أكبر: المواد المتفاعلة أم المواد الناتجة؟

## مسائل

مبتدئ ■ متوسط المعرفة ◆ خبير

7. ما عدد جرامات الماء،  $H_2O$ ، والبروبين،  $C_3H_6$ ، التي يمكن تكوينها من تفاعل 6.0 جم من 2-بروبانول،  $C_3H_8O$ ؟
- $$C_3H_8O \rightarrow C_3H_6 + H_2O$$
8. ما عدد مولات الماء،  $H_2O$ ، التي يمكن إنتاجها من تفاعل 16 جم من الميثان،  $CH_4$ ، مع أكسجين متوافر بكثرة،  $O_2$ ؟ ما عدد جرامات الماء هذه؟ التفاعل هو:
- $$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$
9. استخدم طاقات الرّبط في الجدول 1.17 وتصميم الحسابات في البند 5.17 لحساب ما إذا كانت التفاعلات العلمية منتجة للحرارة أم ماصة لها.
- $$H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$$
- $$2HC \equiv CH + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O$$
10. استخدم طاقات الرّبط الموجودة في الجدول 1.17 وتصميم الحساب المبين في البند 5.17 لتحديد ما إذا كانت التفاعلات العلمية منتجة للحرارة أم ماصة لها.



1. برهن أنّ هناك  $1.0 \times 10^{22}$  ذرة كربون في قيراط واحد من الماس النقي كتلته 0.20 جم.
2. ما عدد ذرات الذهب في عينة كتلتها 5.0 جم من الذهب الخالص (197) Au. و.ك.ذ؟
3. برهن أنّ مولاً واحداً من  $KClO_3$  يحتوي على 122.55 جم.
4. يمكن إنتاج العينات الصغيرة من الأكسجين التي تحتاج إليها في المختبر بأي عدد من التفاعلات الكيميائية البسيطة، مثل:
- $$2KClO_3(s) \rightarrow 2KCl(s) + 3O_2(g)$$
- وفق هذه المعادلة الكيميائية الموزونة، ما عدد مولات الأكسجين التي يمكن إنتاجها من تفاعل مولين من  $KClO_3$  الصلب.
5. يمكن إنتاج العينات الصغيرة من الأكسجين التي تحتاج إليها في المختبر بأي عدد من التفاعلات الكيميائية البسيطة، مثل:
- $$2KClO_3(s) \rightarrow 2KCl(s) + 3O_2(g)$$
- ما كتلة الأكسجين (بالجرامات) المنتجة عندما يشارك 122.55 جم من  $KClO_3$  (كتلة الصيغة له 122.55 و.ك.ذ) في هذا التفاعل.
6. بين أنّ كتلة الصيغة لـ 2-بروبانول،  $C_3H_8O$ ، هي 60 و.ك.ذ وأنّ كتلة الصيغة للبروبين،  $C_3H_6$ ، هي 42 و.ك.ذ. وأنّ كتلة الصيغة للماء أيضًا،  $H_2O$ ، هي 18 و.ك.ذ.

## أنشطة استكشافية

## تسخين مخاليط الماء وتبريدها

النشاطين الآتيين:

1. ضع ماءً عند درجة حرارة الغرفة في راحة يدك وهي على شكل كوب فوق مغسلة. صبّ المقدار نفسه من كحول الصقل عند درجة حرارة الغرفة على الماء. هل هذا المزج عملية منتجة للحرارة أم ماصة لها؟ ماذا يحدث على المستوى الجزيئي؟
2. أضف ماءً فاتراً إلى كوبين من البلاستيك (لا تستعمل أكواب الستايروفوم). صبّ الماء في الكوبين مراراً بالتتابع حتى تضمن تساوي درجتي حرارتهما وحصل على كمية الماء نفسها في كلا الكوبين. أضف عدة ملاعق من ملح المائدة إلى أحد الكوبين وقم بالتحريك. ماذا حدث لدرجة حرارة الماء بالنسبة إلى الماء غير المعالج؟ (ضع الكوبين بالقرب من وجنتيك لتحسّس) هل هذه عملية للحرارة طاردة أم ماصة لها؟ ماذا يحدث على المستوى الجزيئي؟

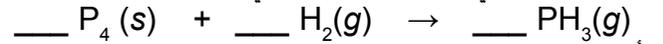
تذكر من الجزء 8.15 أنّ كلاً من الروابط الكيميائية والتجاذبات بين الجزيئية من نتائج القوة الكهربائية. أمّا الفرق فهو أنّ الروابط الكيميائية في العادة أقوى عدة مرات من تجاذبات الجزيء - الجزيء. وهكذا، فكما أنّ تكوين الروابط الكيميائية وخطيمها يتضمن طاقة، فإنّ تكوين التجاذبات الجزيئية وخطيمها يتضمن ذلك أيضاً. ولكن كمية الطاقة المتعلقة بتجاذبات الجزيء - الجزيء سواء الممتصة أو المتحررة لكلّ جرام من المادة قليلة نسبياً، تتضمن التغيرات الفيزيائية تكوين تجاذبات الجزيء - الجزيء أو خطيمها. ولهذا، فإنّ حصول التغيرات أكثر أمثاً، ما يجعلها أكثر ملاءمة للنشاط خارج المختبر. اختبر طبيعة التغيرات الفيزيائية الطاردة للحرارة والماصة لها بنفسك بإجراء

## اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيداً، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر أفضل إجابة لكلّ سؤال مما يلي:

1. المعاملات التي تزن المعادلة الآتية هي:



(أ) 3، 2، 4

(ب) 1، 6، 4

(ج) 1، 4، 4

(د) 2، 10، 8

2. صيغة الكتلة لثاني أكسيد الكبريت،  $\text{SO}_2$  هي:

(أ) نحو 16 و.ك.ذ.

(ب) نحو 32 و.ك.ذ.

(ج) نحو 60 و.ك.ذ.

(د) نحو 64 و.ك.ذ.

3. ما الذي يحتوي على العدد الأكبر من الذرات؟

(أ) 28 جم من النيتروجين،  $\text{N}_2$ .

(ب) 32 جم من الأكسجين،  $\text{O}_2$ .

(ج) 16 جم من الميثان،  $\text{CH}_4$ .

(د) 38 جم من الفلور،  $\text{F}_2$ .

4. عدد جزيئات الأسبرين (الصيغة الكتلية 180 و.ك.ذ) في عينة من

0.250 جم هي:

(أ)  $6.02 \times 10^{23}$

(ب)  $8.38 \times 10^{20}$

(ج)  $1.51 \times 10^{23}$

(د) ليس هناك ما يكفي من المعلومات.

5. تتغذى الخميرة في عجينة الخبز على السّكر لإنتاج ثاني أكسيد الكربون. يكون عمل الخميرة أسرع في المناطق الدافئة لأنّ:

(أ) هناك عددًا أكبر من التصادمات الفاعلة بين الجزيئات المتفاعلة.

(ب) الضغط الجوي يتناقص مع زيادة درجة الحرارة.

(ج) الخميرة تميل إلى "النشاط" مع درجة الحرارة الدافئة، ولهذا السبب

يحتفظ الخبز بالخميرة في الثلاجة.

(د) معدل التبخير يزداد بزيادة درجة الحرارة.

6. ماذا تستنتج حول طاقة التنشيط لتفاعل يستغرق عدة بلايين من

السنين ليكتمل؟ ماذا عن التفاعل الذي يستغرق أجزاء من الثانية؟

(أ) يجب أن تكون طاقة التنشيط لكلا التفاعلين منخفضة جداً.

(ب) يجب أن تكون طاقة التنشيط لكلا التفاعلين عالية جداً.

(ج) يجب أن تكون طاقة التنشيط للتفاعل البطيء عالية جداً

والتفاعل السريع منخفضة جداً.

(د) التفاعل البطيء يجب أن تكون طاقة التنشيط والتفاعل

السريع يجب أن تكون طاقة التنشيط عالية.

7. الدور الذي يقوم به CFC كمحفّز لتحطيم الأوزون هو:

(أ) خطم الأوزون بارتباط بجزيء الـ CFC والذي يزود بالطاقة من

الضوء فوق البنفسجي.

(ب) لا يوجد دليل علمي قويّ على أنّ الـ CFC يقوم بدور مهم

كمحفّز في تحطيم الأوزون.

(ج) تنشيط ذرات الكلور الـ CFC في عملها كمحفّز.

(د) تنتقل جزيئات الـ CFC إلى طبقات الجو العليا (الستراتوسفير)،

حيث تولد ذرات الكلور لتحطيم من الضوء فوق البنفسجي.

8. تكوين الأوزون،  $\text{O}_3$ ، من الأكسجين،  $\text{O}_2$ ، مثل على التفاعل:

(أ) المنتج للحرارة، بسبب إطلاق ضوء فوق بنفسجي خلال التكوين.

(ب) الماص للحرارة، بسبب إطلاق ضوء فوق بنفسجي خلال التكوين.

(ج) المنتج للحرارة، بسبب امتصاص ضوء فوق بنفسجي خلال التكوين.

- (د) الماص للحرارة، بسبب امتصاص ضوء فوق بنفسجي خلال التكوين.  
9. كمية الطاقة بالكيلوجول المتحررة أو الممتصة من تفاعل مول واحد من النيتروجين،  $N_2$ ، مع 3 مولات من الهيدروجين،  $H_2$ ، لتكوين مولين من الأمونيا،  $NH_3$ ، هي: راجع الجدول 1.17 لطاقت الربط.  
(أ) +899 كيلو جول/مول.  
(ب) -933 كيلو جول/مول.
- (ج) +80 كيلو جول/مول.  
(د) -80 كيلو جول/مول.  
10. يمكن جعل التفاعل الماص للحرارة يستمر، في حين يتسبب هذا التفاعل في تشتت أقل للطاقة بواسطة:  
(أ) حدوث التفاعل في الفراغ.  
(ب) تبريد التفاعل.  
(ج) زيادة تركيز المواد المتفاعلة.  
(د) تسخين التفاعل.

إجابات إختيار الاستعداد للقراءة

01٢، 6٢، 8٣، ٤٢، 9٢، ٥١، ١٣٣، ٤٢٢، ١٢٣

## اكتشف المزيد

يلعب أدواراً متعددة ذات أهمية بالغة في بيولوجيا الإنسان. استخدم أكسيد النيتريك ككلمة مفتاحية في أثناء استخدامك أدوات البحث على الشبكة للوصول إلى ارتفاع نسبة كريات الدم الحمراء مثل هذا الموقع المخصص للعديد من الأدوار الصغيرة، ولكنها تلعب أدوار الجزيئات المهمة في بيولوجيا الإنسان. وفي العديد من الأمراض مثل: الزهايمر، بيركنسون، الأزمات، وأمراض القلب، والعدوى.

<http://www.secondlaw.com>

<http://www.entropysimple.com>

تركز هذه المواقع على "الصورة الكبيرة" في كيفية توائم قانون الديناميكا الحرارية على خبراتنا اليومية، بما فيها الشعور بالوقت. كما تتوفر الكثير من التطبيقات العلمية البسيطة جداً والواقعية. وكجزء من متابعة مفيدة جداً للفصل 17.6، ستساعدك هذه المواقع على فهم هذا القانون كواحد من أبسط القوانين، لكنه الأكثر تأثيراً في الطبيعة.

<http://www.thecatalyst.org>

طور هذا الموقع كمصدر لمعلومات لعلمي الكيمياء في المدارس الثانوية، ولكن سيجد أي دارس للكيمياء أن الروابط مفيدة جداً. قد تتبع الروابط نحو تاريخ الكيمياء، على سبيل المثال، من أجل معرفة المزيد عن أميدو وفوجادرو وذلك العدد الضخم الذي اطلق عليه اسمه تخليداً لأعماله.

<http://www.thecatalys.org/wwwchem.html>

مجموعة ممتازة من الدروس التعليمية طورها جون بارك أحد أعضاء فريق الكيمياء في مدرسة دايا مند بار الثانوية في كاليفورنيا. تشمل الدروس التعليمية المناسبة لهذا الفصل التفاعلات الكيميائية وأنواعها، نظرية الحركة الجزيئية، قوانين الغازات، المول، علم الحركة، الحسابات الكيميائية، والكيمياء الحرارية.

<http://www.wxumac.demon.co.uk>

يعتبر أول أكسيد النيتروجين، والمعروف أيضاً بإسم أكسيد النيتريك،  $NO$ ، هو المادة الأساسية لتحضير النترات في الأسمدة الكيميائية ويعتبر هذا الأكسيد من الملوثات الشائعة في الغلاف الجوي، إلا أنه

## الفصل 17 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

■ 17.7, 17.8, 17.9, 17.10

دروس تعليمية

■ المعاملات والتفاعلات الكيميائية

■ الاتزان

أشرطة فيديو

■ الروابط الأيونية

■ الروابط التساهمية

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط



# نوعان من التفاعلات الكيميائية



# 18

■ تبدل ذرات المواد المتفاعلة شركاءها خلال التفاعل الكيميائي لتكوين مواد جديدة، تسمى نواتج. فعند احتراق الخشب على سبيل المثال، تنفصل ذرات جزيئات السليلوز بعضها عن بعض من أجل الاتحاد مع ذرات جزيئات الأكسجين، لتكوين ثاني أكسيد الكربون، وبخار الماء، بالإضافة إلى كمية من الحرارة.

في هذا الفصل، سندرس نوعين من التفاعلات الكيميائية هما: 1- تفاعلات الحمض – القاعدة. 2- تفاعلات التأكسد والاختزال. تتضمن تفاعلات الحمض – القاعدة انتقال بروتونات من أحد المتفاعلات إلى آخر. تساعد هذه التفاعلات التي تتم في معدتك على هضم الغذاء. كما أنها تقوم بدور رئيس في التسخين الكوني. يمكن إرجاع مصدر معظم البضائع الاستهلاكية إلى تفاعلات الحمض – القاعدة. أما تفاعلات التأكسد والاختزال فتتضمن انتقال واحد أو أكثر من الإلكترونات من أحد المتفاعلات إلى الآخر؛ فحرق الخشب هو أحد تفاعلات التأكسد – الاختزال، كما هو الحال في التفاعلات التي نستخدمها لتحويل الطعام الذي نأكله إلى طاقة كيميائية. إن تفاعلات التأكسد والاختزال مسؤولة عن صدأ السيارة. وهي أيضا مصدر الطاقة الكهربائية في البطارية.

1.18 الأحماض تعطي البروتونات والقواعد

تأخذها

2.18 الشدة النسبية للأحماض والقواعد

3.18 المحاليل؛ الحمضية، والقاعدية والمتعادلة

4.18 الأمطار الحمضية والمحيطات القاعدية

5.18 فقدان الإلكترونات واكتسابها

6.18 حصاد طاقة الإلكترونات المتحركة

7.18 الكهرلة

8.18 الحت والاحتراق

## الشكل 1.18



## ■ 1.18 الأحماض تعطي البروتونات، والقواعد تأخذها

إنَّ مصدر المصطلح "حمض" هو من اللاتيني (acidus) ويعني "حزيق". ويرجع المذاق الحزيق للخلّ والفاواكه الحمضية إلى وجود الأحماض. إنَّ الأحماض مهتمة في الصناعة الكيميائية؛ فعلى سبيل المثال، ينتج أكثر من 85 بليون رطل من حمض الكبريتيك سنويًا في الولايات المتحدة لتكون هذه المادة الكيميائية هي الأكثر تصنيعًا. يستخدم حمض الكبريتيك في صناعة كلِّ من: الأسمدة، والمنظفات، وأصباغ الدهان، والبلاستيك، والمواد الصيدلانية، والبطاريات. كما تستخدم في إنتاج الحديد وال فولاذ. كما أنه مهم جدًا لتصنيع البضائع التي يعدّ إنتاجها معيارًا لقوة الصناعة الوطنية. يُظهر الشكل 1.18 عددًا قليلًا من الأحماض التي نستخدمها.

تتميز القواعد بطعمها المرّ وملمسها اللزق. ومن المدهش أنّ القواعد نفسها ليست لزقة. بل يسبب تحويل زيت الجلد إلى محاليل لزقة من الصابون. كما أنّ معظم المستحضرات التجارية لتصريف الانسدادات (التخثر) تحتوي على هيدروكسيد الصوديوم. (NaOH) (وتعرف بالقلوي). وهي شديدة القاعدية. ولكنها ضارة إذا كانت مركزة. وهذه القواعد تستخدم بكثرة في الصناعة؛ ففي الولايات المتحدة، يصنّع كلَّ عام نحو 25 بليون رطل من هيدروكسيد الصوديوم، لإنتاج مواد كيميائية مختلفة. ولصناعتي اللباب والورق. تسمّى المحاليل التي تحتوي على القواعد قلوية، وهو تعبير مشتق من الكلمة العربية/القلي ("الرماد"). ويصبح الرماد لزجًا عندما يكون مبلولًا. لاحتوائه على كربونات البوتاسيوم ( $K_2CO_3$ ). يبين الشكل 2.18 بعض القواعد المعروفة.

يمكن تعريف الأحماض والقواعد بعدة طرق. ولكن، سنعتمد التعريف الذي اقترحه العالمان الكيميائيان: الدانماركي يوهانز برونستد (1879–1947) Johanes Bronsted والبريطاني توماس لوري (1874–1936) Thomas Lowry عام 1923م. لقد عرّف برونستد-لوري، الحمض بأنه المادة الكيميائية التي تعطي أيون الهيدروجين، ( $H^+$ ).

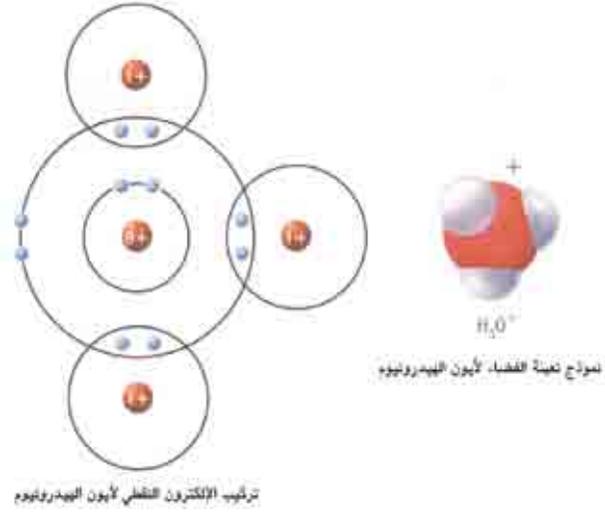
## الشكل 2.18



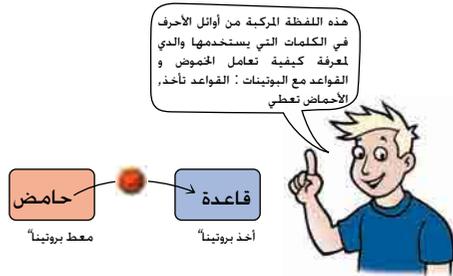
أمثلة على القواعد (أ) التفاعلات المتعلقة ببيكربونات الصوديوم،  $NaHCO_3$ ، والتي تجعل الأطعمة المخبوزة تنتفخ. (ب) يحتوي الرماد على كربونات البوتاسيوم،  $K_2CO_3$ . (ج) يُصنع الصابون من تفاعل القواعد مع الزيوت الحيوانية أو النباتية. ويكون الصابون نفسه قلوياً مخفّفًا. (د) تستخدم القواعد القوية، مثل هيدروكسيد الصوديوم، NaOH، منظفات للبالوعات.

## الشكل 3.18

إنّ شحنة أيون الهيدرونيوم الموجبة نتيجة للبروتون الإضافي الذي استحوذ عليه الجزيء. إنّ أيونات الهيدرونيوم ذات الدور المهم في العديد من تفاعلات القاعدة - الحمض، هي أيونات متعددة الذرات، والتي كما ذكرنا في البند 2.15، جزيئات تحمل شحنة كهربائية.

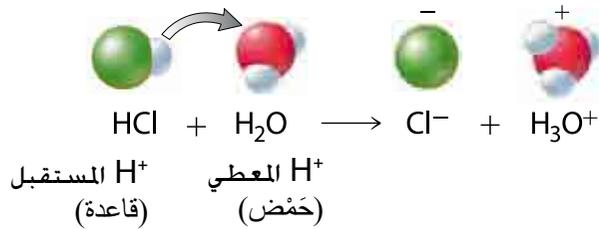


مجموع البروتونات 11+  
مجموع الإلكترونات 10-  
الصافي 1+



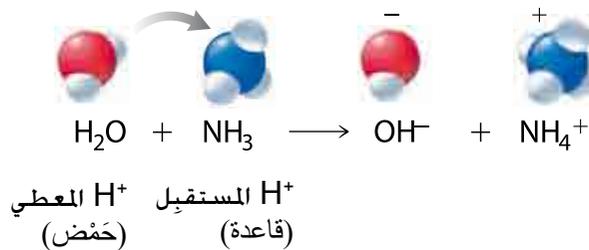
هذه اللفظة المركبة من أوائل الأحرف في الكلمات التي يستخدمها والذي لمعرفة كيفية تعامل الحموض و القواعد مع البروتونات : القواعد تأخذ الإحماض تعطي

والقاعدة هي المادة الكيميائية التي تأخذ أيون الهيدروجين. تذكر أنّ ذرة الهيدروجين يتكوّن من إلكترون واحد يحيط بنواة تحتوي على بروتون واحد. يتكون أيون الهيدروجين،  $H^+$ ، من فقدان إلكترون. لذا، فهو ليس أكثر من بروتون وحيد. وأحيانا يُقال إنّ الحمض هو المادة الكيميائية التي تعطي بروتوناً، والقاعدة هي المادة الكيميائية التي تأخذ بروتوناً.



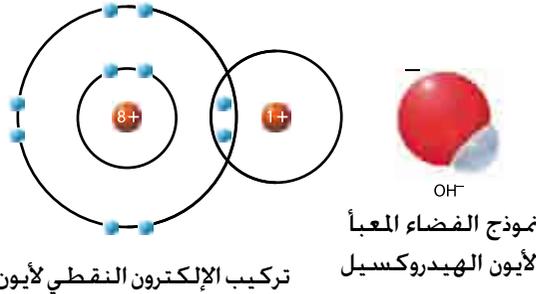
لا توجد أيونات هيدروجين،  $H^+$ ، في الماء؛ لأنّ أيّ أيون هيدروجين يتشكّل سرعان ما يلتقط من جزيء ماء ويتحوّل إلى أيون الهيدرونيوم،  $H_3O^+$ .

يعطي كلوريد الهيدروجين أيون الهيدروجين إلى أحد أزواج الإلكترونات غير المرتبطة في جزيء الماء، منتجاً رابطة هيدروجينية ثالثة ترتبط بالأكسجين. في هذه الحالة، يسلك كلوريد الهيدروجين سلوك الحمض (معطٍ للبروتون) ويسلك الماء سلوك القاعدة (أخذ للبروتون). تكون نواتج هذا التفاعل أيوني الكلور والهيدرونيوم ( $H_3O^+$  (Hyronium ion)). والذي كما يوضح الشكل 3.18 هو جزيء ماء مضاف إليه بروتون.



## الشكل 4.18

لأيون الهيدروكسيل شحنة سالبة صافية، وهي من توابع فقدانه لبروتون. وكذلك أيونات الهيدرونيوم، التي لها دور في العديد من تفاعلات الحمض - القاعدة.

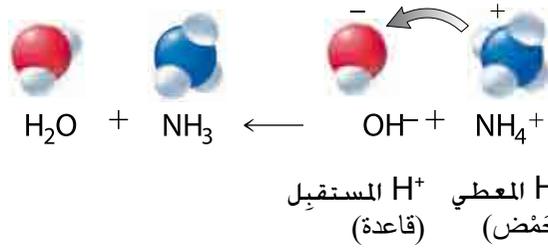


$$\begin{array}{r} 9+ \text{ مجموع الشحنة} \\ 10- \text{ مجموع الإلكترونات} \\ \hline 1- \text{ صافي الشحنة} \end{array}$$

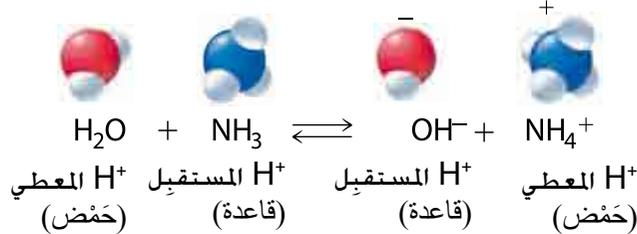
ينتج عن هذا التفاعل تكوين أيوني الأمونيوم والهيدروكسيل (*Hydroxide*). والذي كما يبين الشكل 4.18 جزيء ماء دون نواة لأحد ذرات الهيدروجين.

إنّ إحدى المزايا المهمة لتعريف برونستد - لوري أنه يستخدم *السلوك* لتعريف ما إذا كانت المادة حمضاً أم قاعدة نقول مثلاً إنّ كلوريد الهيدروجين يسلك سلوك الحمض عند مزجه بالماء. والماء يسلك سلوك القاعدة. وبالمثل، تسلك الأمونيا *سلوك* القاعدة عند مزجها بالماء. والتي بدورها تحت هذه الظروف تسلك سلوك الحمض. ولأنّ الحمض أو القاعدة تعرف بسلوك كل منهما. فلا يوجد تناقض في اعتبار مادة كيميائية كالماء تسلك مرة سلوك الحمض ومرة أخرى سلوك القاعدة. وللمقارنة، خذ نفسك مثلاً. فأنت على ما أنت عليه، ولكن سلوكك يعتمد على مع من تتعامل. وبالمثل، فإنّ مادة كيميائية كالماء، تسلك سلوك القاعدة (تأخذ  $H^+$ ) عند مزجها بكلوريد الهيدروجين. ولكنها تسلك سلوك الحمض (يعطي  $H^+$ ) عند مزجها بالأمونيا.

يمكن لمنتجات تفاعل الحمض - القاعدة أن تكون أحماضاً أو قواعد. فأيون الأمونيوم مثلاً، يمكن أن يعيد إعطاء أيون هيدروجين لأيون الهيدروكسيل لإعادة تشكيل الأمونيا والماء:



تحدث تفاعلات الحمض - القاعدة بشكل متزامن في الاتجاهين. وعليه، يمكن تمثيل حدوثها في الوقت نفسه باستخدام سهمين يشيران إلى اتجاهين متعاكسين:



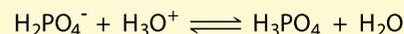
إذا نظرنا إلى المعادلة من اليسار إلى اليمين، فإنّ الأمونيا تسلك سلوك القاعدة لأنها تتقبل أيون الهيدروجين من الماء، والذي بدوره يسلك سلوك الحمض. ولكن عند النظر إليها من الجهة المعاكسة، فإنّ المعادلة تُظهر أنّ أيون الأمونيوم يسلك سلوك الحمض لأنه يعطي أيون الهيدروجين لأيون الهيدروكسيل، والذي بدوره يسلك سلوك القاعدة.



يعتمد سلوكنا على مع من نتعامل، وهكذا بالنسبة إلى المواد الكيميائية.

## ■ نقطة فحص

حدد سلوك الحمض من القاعدة لكل مادة مشاركة في هذا التفاعل



هل كانت هذه إجابتك؟

في اتجاه التفاعل الطبيعي (من اليسار إلى اليمين).  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  يكسب أيون الهيدروجين ليصبح  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . بتقبل أيون الهيدروجين.  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  يأخذ أيون الهيدروجين ليكون والذي يسلك كحمض في الاتجاه المعاكس  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . يفقد أيون الهيدروجين ليصبح وبالتالي يسلك كحمض. إن مستقبل أيون الهيدروجين هو  $\text{H}_2\text{O}$ . والذي يسلك كقاعدة عند تحوله إلى  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

## المح (salt) أحد نواتج تفاعل الحمض - القاعدة

تعني كلمة ملح باللغة الدارجة كلوريد الصوديوم.  $\text{NaCl}$ . ملح المائدة. ولكن بلغة الكيميائيين فإن مصطلح الملح يعني مركبا أيونيًا يتشكل من تفاعل بين الحمض والقاعدة. مثلاً، يتفاعل كلوريد الهيدروجين مع هيدروكسيد الصوديوم لإنتاج ملح كلوريد الصوديوم والماء:



كلوريد	هيدروكسيد	ماء كلوريد
الهيدروجين	الصوديوم	الصوديوم
(حمض)	(قاعدة)	(ملح)

وبالمثل، فإن التفاعل بين كلوريد الهيدروجين وهيدروكسيد البوتاسيوم ينتج ملح كلوريد البوتاسيوم والماء:



كلوريد	هيدروكسيد	ماء كلوريد
الهيدروجين	البوتاسيوم	البوتاسيوم
(حمض)	(قاعدة)	(ملح)

إن كلوريد البوتاسيوم هو المكون الرئيس لـ "خال من - الملح". ملح المائدة. كما هو ملاحظ في الشكل 5.18.

يكون الملح في العادة أقل حثًا من الأحماض والقواعد التي تشكل عنها. ويكون للمادة الكيميائية الحثّة قدرة على تفتيت المواد أو إجهاد السطوح. إن كلوريد الهيدروجين هو حمض حثّ؛ لذا يستخدم بكثرة لتنظيف الحمامات وكذلك في خرط سطوح الفلزات. كما أن هيدروكسيد الصوديوم قاعدة حثّة جدًّا. ويستخدم أيضًا في تسليك البالوعات (وانسدادات المواسير). إن مزج كلوريد الهيدروجين وهيدروكسيد الصوديوم بالكميات نفسها ينتج محلولًا مائيًا من كلوريد الصوديوم - ماء ملح. وهو أقل ضررًا من أيّ من مكوناته. يوجد عدد كبير من الأملاح بعدد الأحماض والقواعد الموجودة. سيانيد الصوديوم،  $\text{NaCN}$ . هو سُمّ قاتل. كما أن "الملح الصخري" نترات البوتاسيوم  $\text{KNO}_3$ . مادة مفيدة كسماد. وكذلك في صناعة البارود.

يستخدم كلوريد الكالسيوم،  $\text{CaCl}_2$ . عادة لإذابة الجليد من الممرات. كما يساعد فلوريد الصوديوم،  $\text{NaF}$ . في حماية الأسنان من التسوس. يبين الجدول 1.18 تفاعلات الأحماض والقواعد التي تنتج هذه الأملاح. يسمّى التفاعل بين الحمض والقاعدة تفاعل التعادل (*Neutralization reaction*). كما يرى من شفرة اللون في تفاعلات التعادل في الجدول 1.18. يأتي الأيون الموجب من القاعدة. أمّا الأيون السالب فيأتي من الحمض. وتندد أيونات الهيدروجين والهيدروكسيل المتبقية لتكوين الماء.

إن تفاعلات التعادل لا تنتج كلّها ماء. فعلى سبيل المثال. يسلك الدواء (الإيفيدرين الكاذب) سلوك القاعدة بقبوله  $\text{H}^+$  من كلوريد الهيدروجين بوجود كلوريد الهيدروجين. ينضم أيون  $\text{Cl}^-$  إلى أيون  $\text{H}^+$  لتشكيل ملح كلوريد الهيدروجين. وهو يستخدم لإزالة الاحتقان الأنفي. كما في الشكل 6.18. يذوب هذا الملح في الماء البارد. ويمكن امتصاصه خلال النظام الهضمي.



## الشكل 5.18

يستخدم "الخلي من الملح" كملح المائدة البديل، والذي يحتوي على كلوريد البوتاسيوم بدلاً من كلوريد الصوديوم. ولكن يجب الحذر من استخدام هذه المنتجات؛ لأن كميات زائدة من أملاح البوتاسيوم يمكن أن تؤدي إلى أمراض خطيرة. وأكثر من ذلك، فإن أيونات الصوديوم مكوّن حيويّ لغذائنا، ويجب عدم استبعاده بالكامل. ولتحقيق التوازن الجيد بين هذين الأيونين المهمين؛ يمكنك طلب الملح المتوافر في الأسواق، والذي هو مزيج من كلوريد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم، كالذي يظهر هنا.

## لمعلوماتك

■ ما الذي يجعل أحد الأحماض قويًا والآخر ضعيفًا؟ باختصار، هذا يتعلق باستقرار الأيون السالب المتبقي بعد التبرع بالبروتون. إنّ حمض الهيدروكلوريك قويّ لأنّ أيون الكلور يتكّيف بشكل جيد مع الشحنة السالبة. ولكن حمض الأسيتيك ضعيف؛ لأنّ أيون الأكسجين أقلّ قدرة على التّكّيف مع الشحنة السالبة.

## الجدول 1.18 تفاعلات حمض - قاعدة والأملاح المتكوّنة

حمض	قاعدة	ملح	ماء
HCN	+ NaOH	NaCN	+ H <sub>2</sub> O
سيانيد الهيدروجين	هيدروكسيد الصوديوم	سيانيد الصوديوم	
HNO <sub>3</sub>	+ KOH	KNO <sub>3</sub>	+ H <sub>2</sub> O
حمض النيتريك	هيدروكسيد البوتاسيوم	نترات البوتاسيوم	
HCl <sub>2</sub>	+ Ca(OH) <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	+ 2H <sub>2</sub> O
حمض الكلوريك	هيدروكسيد الكالسيوم	كلوريد الكالسيوم	
HF	+ NaOH	NaF	+ H <sub>2</sub> O
حمض الفلوريك	هيدروكسيد الصوديوم	فلوريد الصوديوم	

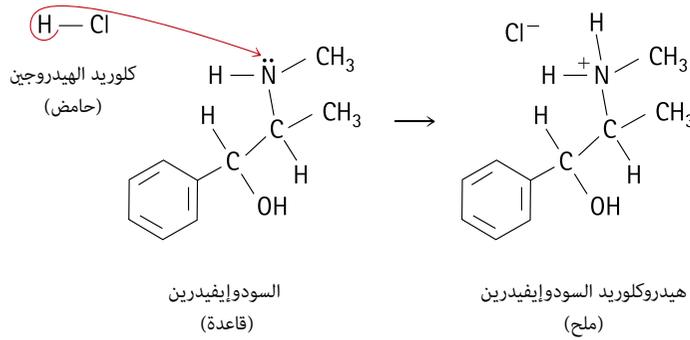
إنّ تفاعلات التّعادل لا تنتج كلّها ماء. فعلى سبيل المثال، يسلك الدواء (الإيفيدرين الكاذب) سلوك القاعدة بقبوله H<sup>+</sup> من كلوريد الهيدروجين بوجود كلوريد الهيدروجين. ينضم أيون Cl<sup>-</sup> إلى أيون H<sup>+</sup> لتشكيل ملح كلوريد الهيدروجين. وهو يستخدم لإزالة الاحتقان الأنفي، كما في الشكل 6.18. يذوب هذا الملح في الماء البارد، ويمكن امتصاصه خلال النظام الهضمي.

## نقطة فحص

ما الوصف الأفضل لتفاعل التّعادل: تغير فيزيائيّ، أم تغير كيميائيّ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يتم تكوين مواد كيميائية جديدة خلال تفاعل التّعادل، وهذا يعني أنّ هذا التّفاعل هو تغير كيميائيّ.



## الشكل 6.18

كلوريد الهيدروجين والإيفيدرين الكاذب يتفاعلان لتكوين ملح هيدروكلوريد السودوإيفيدرين، والذي، بسبب ذائبيته في الماء، يمتص بسهولة في الجسم.

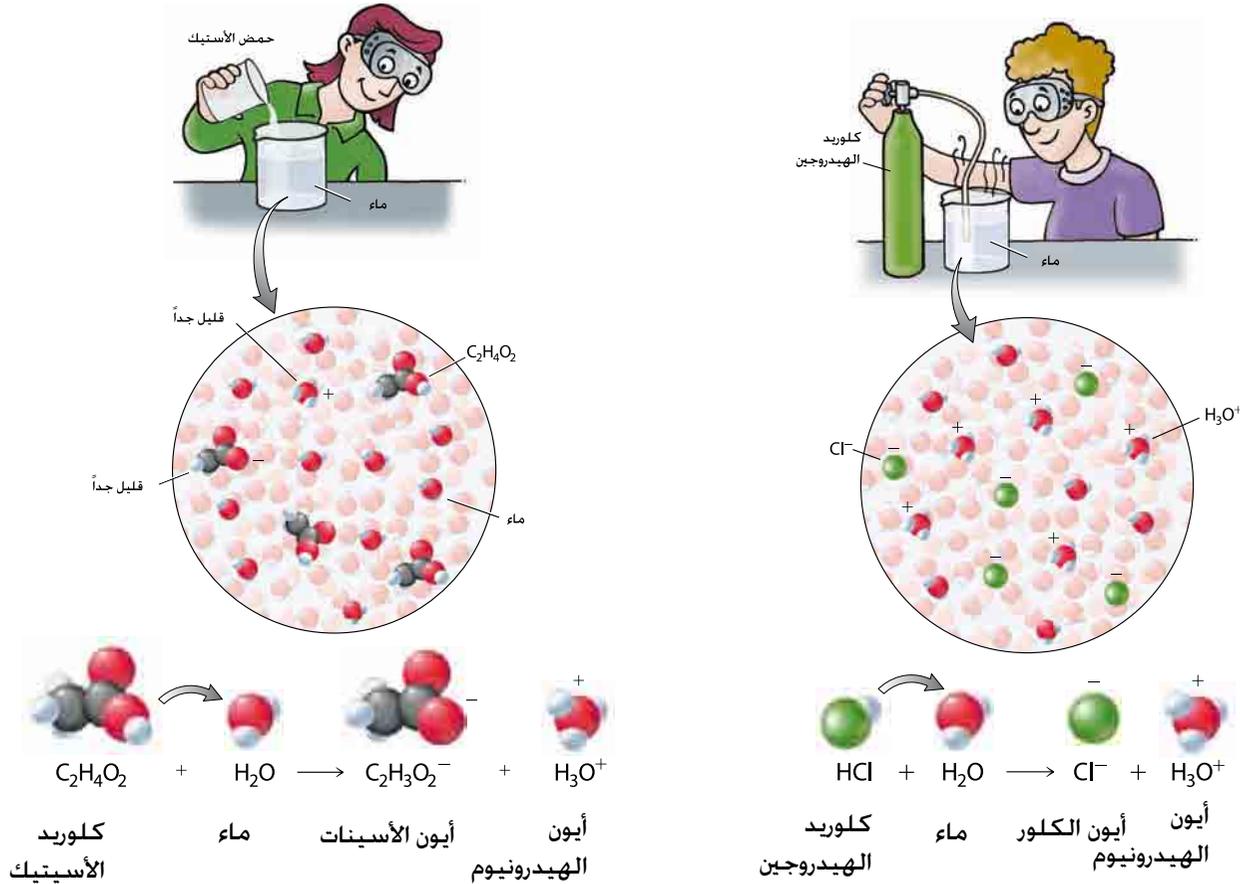
## 2.18 الشدّة النسبية للأحماض والقواعد

على العموم، كلما كثر استعداد الحمض لإعطاء أيونات هيدروجين، كان أقوى. وفي المقابل، كلما زاد تقبل القاعدة لأيونات الهيدروجين، كانت القاعدة أقوى. وكمثال على الحمض القوي، كلوريد الهيدروجين. أمّا هيدروكسيد الصوديوم NaOH فمثال على القاعدة القوية. إنّ قدرة هاتين المادتين على الحثّ هي نتيجة لقوتهما.

الحْتّ هو إحدى الطرائق لتقييم قوة الحَمْض أو القاعدة. وهو قياس كمية المتبقي من أيّ منهما بعد إضافته إلى الماء. إذا كانت كمية المتبقي كبيرة. فإنّ الحَمْض أو القاعدة ضعيف. ولتوضيح هذا المفهوم. ادرس ما يحدث عند إضافة كلوريد الهيدروجين القوي للماء. وماذا يحدث عند إضافة حَمْض الأسيتيك الضعيف للماء.  $C_2H_4O_2$ . (المكوّن النشط للخل). ولأنّ حَمْض كلوريد الهيدروجين حَمْض. فهو يعطي أيونات الهيدروجين للماء. مكوناً أيونات الكلور وأيونات الهيدرونيوم. ولأنّ  $HCl$ . حَمْض قويّ. فإنّه يتحول إلى أيونات تقريباً بالكامل. كما هو مبين في الشّكل 7.18.

وبسبب أنّ حَمْض الأسيتيك ضعيف. فإنّ استعداده يكون قليلاً لإعطاء أيونات الهيدروجين للماء. وعند ذوبان هذا الحَمْض في الماء. يتحوّل جزء بسيط فقط من جزيئات هذا الحَمْض إلى أيونات. وتحدّث هذه العملية تكسير الروابط القطبية بين  $O - H$  (لا تتأثر الروابط  $C - H$  لحَمْض الأسيتيك بالماء لأنّها غير مستقطبة). يبقى الجزء الرئيس من جزيئات حَمْض الأسيتيك متماسكاً بشكله الأصليّ المتأين. كما هو مبين في الشّكل 8.18.

يبين الشّكلان 7.18 و 8.18 السلوك دون الجهري لكلّ من الأحماض القوية والضعيفة في الماء. ولأنّ الجزيئات والأيونات أصغر من أن ترى. فكيف يستطيع الكيميائيّ قياس قوة الحَمْض؟ إنّ إحدى طرائق هذا هي قياس قدرة المحاليل على توصيل التيار الكهربائي. كما يوضح الشّكل 9.18. لا يحتوي الماء النقي على أيونات لإيصال الكهرباء. وعند ذوبان الحَمْض في الماء. يتولد الكثير من الأيونات. كما أشير في الشّكل 7.18.



### الشّكل 8.18

عند إضافة حَمْض الأسيتيك السائل إلى الماء، يتفاعل القليل فقط من جزيئات هذا الحَمْض مع الماء لتكوين أيونات. الجزء الرئيس من جزيئات حَمْض الأسيتيك تبقى بشكل غير مؤين، وهذا يعني ضمناً أنّ حَمْض الأسيتيك ضعيف.

### الشّكل 7.18

مباشرةً وبعد إضافة كلوريد الهيدروجين الغازي إلى الماء، يتفاعل مع الماء لتكوين أيونات كلّ من الهيدرونيوم والكلور. في حين يدلّنا الجزء اليسير المتبقي من  $HCl$  (لا يظهر شيء هنا) بأنّه يسلك سلوك الحمض القوي.



(ج)



(ب)



(ا)

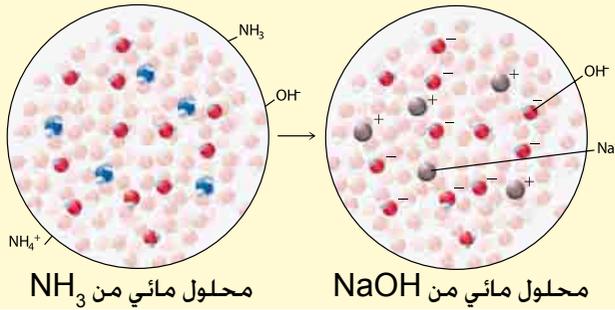
يسمح وجود هذه الأيونات بمرور تيار كهربائي كبير. وعند ذوبان الحمض الضعيف في الماء، تتولد أيونات قليلة، كما أشير إليه في الشكل 8.18. إن وجود عدد قليل من الأيونات يعني وجود تيار كهربائي ضعيف. يمكن رؤية المنحنى نفسه مع القواعد القوية والضعيفة. ومثال ذلك أن تمثل القاعدة القوية لتقبل أيونات الهيدروجين أكثر من القاعدة الضعيفة. إن محاليل القواعد القوية تسمح بانسياب تيار كهربائي كبير. أما محاليل القاعدة الضعيفة، فإنها تسمح بانسياب تيار كهربائي ضعيف .

### الشكل 9.18

(أ) الماء النقي لا يوصل الكهرباء في هذه الدارة الكهربائية لعدم احتوائه على الأيونات. لذا، يبقى المصباح في هذه الدارة غير مضاء. (ب) لأن  $HCl$  حمض قوي، تقريبًا، فإن جزيئاته جميعها تتكسر وتفصل في الماء، مكونة تركيزًا عاليًا من الأيونات التي توصل التيار الكهربائي لإضاءة المصباح. (ج) لأن حمض الأسيتيك  $C_2H_4O_2$  ضعيف في الماء، فإن جزءًا بسيطًا من جزيئاته تتكسر إلى أيونات. وبسبب تولد قليل من الأيونات، ينتج تيار كهربائي ضعيف، ويكون ضوء المصباح ضعيفًا.

### نقطة فحص

وفقًا للمحاليل المائية هنا، أي القاعدتين أقوى:  $NH_3$  أم  $NaOH$ ؟



هل كانت هذه إجابتك؟

هناك عدد أيونات أكبر في المحلول عن اليمين، وهذا يعني أن هيدروكسيد الصوديوم،  $NaOH$ ، قاعدة قوية. الأمونيا هي القاعدة الأضعف، كما يستدل من وجود عدد أقل من الأيونات في المحلول إلى اليسار.

لا يعني كون الحمض أو القاعدة قويًا أنه محلول حاد. إن سبب الحد للمحلول الحمضي هو أيونات الهيدرونيوم وليس الحمض الذي أنتج أيونات الهيدرونيوم. وبالمثل، فإن فعل الحد لمحلول القاعدة ينتج عن أيونات الهيدروكسيل التي تحتويه بغض النظر عن القاعدة التي ولدت أيونات الهيدروكسيل. فالمحلول المخفف جدًا من حمض قوي أو قاعدة قوية يمكن أن يكون له أثر حد ضعيف: لأن هذه المحاليل تحتوي على عدد قليل من أيونات الهيدرونيوم أو أيونات الهيدروكسيل. (تقريبًا، تحطم جزيئات الحمض القوي جميعها، أو جزيئات القاعدة القوية إلى أيونات. ولكن لأن المحلول مخفف جدًا، فإن عددًا قليلًا يتوافر من جزيئات الحمض أو القاعدة الموجودة أصلاً. وعليه، يوجد عدد قليل من أيونات الهيدرونيوم أو أيونات الهيدروكسيل). لذا، لا تقلق إذا اكتشفت أن بعض معاجين الأسنان تحتوي كمية قليلة من هيدروكسيد الصوديوم، واحدة من أقوى القواعد المعروفة.

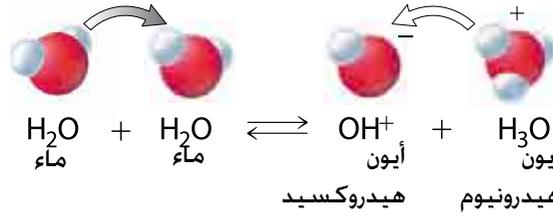
## لمعلوماتك

■ الأسبرين جزئي حمضي. ولكن ليس حمضيًا بدرجة حمض الهيدروكلوريك. HCl الموجود في معدتك والمستخدم في هضم الطعام. إذن، كيف يتلف الأسبرين المعدة؟ إن حمض المعدة من القوة بحيث إن الأسبرين في مثل هذه البيئة لا يستطيع منح أيون الهيدروجين. وهذا يعني أنه يبقى غير "متأين". إن الأسبرين غير المؤين غير قطبي ولا يذوب في الماء. ولكنه مع ذلك قادر على اختراق الغشاء المحتوي على حمض الهيدروكلوريك غير القطبي الذي يبطن المعدة. بعد مروره من خلال هذا الغشاء، يجد الأسبرين نفسه في بيئة أقل حمضية. حيث يستطيع منح أيون الهيدروجين. وهذا يخفف درجة الحموضة (PH) للجدار الداخلي للمعدة. والذي يتلف الأنسجة. وربما يسبب النزيف. يكون العلاج بالطبع هو ابتلاع حبوب الأسبرين المغلفة. والتي تؤخر إطلاق الأسبرين حتى يمرّ خلال المعدة.

من جهة أخرى. يمكن أن يكون محلول مركز من حمض ضعيف. مثل حمض الأسيتيك في الخلّ. حادًا أو أشد من محلول مخفف لحمض قوي مثل كلوريد الهيدروجين. لذا فالقوة النسبية لمحاليل حمضية أو قاعدية. يمكن مقارنتها فقط عندما يكون لهما التركيز نفسه.

## ■ 3.18 المحاليل: الحمضية، والقاعدية، والمتعادلة

يقال للمادة التي لها المقدرة على سلوك مسلك الحمض. ولها المقدرة نفسها للسلوك مسلك القاعدة بأنها أمفوتيرية. الماء مثال جيد على هذه المواد. ولأن الماء أمفوتيري (Amphoteric) فإنه يتفاعل مع نفسه. وفي سلوكه مسلك الحمض. يعطي جزئي الماء أيون هيدرونيوم إلى جزئي الماء الجوار. والذي يصبح قاعدة لأنه يأخذ أيون الهيدرونيوم. ينتج هذا التفاعل أيوني الهيدروكسيل والهيدرونيوم اللذين يتفاعلان معًا لإعادة تكوين جزئي الماء:



عندما يكتسب جزئي ماء أيون الهيدروجين. فإن جزئي ماء آخر يجب أن يفقد أيون هيدروجين. ولهذا. فإنّ مقابل كلّ تشكيل لأيون الهيدرونيوم. يتشكل أيون الهيدروكسيل أيضًا. في الماء النقي. يكون مجموع أعداد أيونات الهيدرونيوم مساويًا لعدد أيونات الهيدروكسيل. تكشف التجارب أنّ تركيز أيونات كلّ من الهيدرونيوم والهيدروكسيل قليلة جدًا. نحو  $0.0000001 \text{ M}$  لكلّ منهما. حيث ترمز M إلى المولارتي: أي مول واحد لكل لتر (الجزء 3.16). فالماء نفسه حمض ضعيف جدًا. وفي الوقت نفسه قاعدة ضعيفة جدًا. كما يُستدل على ذلك من عدم إضاءة المصباح في الشكل 9.18 أ.

## ■ نقطة فحص

هل تتفاعل جزيئات الماء بعضها مع بعض؟

هل كانت هذه إجابتك؟

نعم. ولكن بشكل قليل. عندما يتفاعل الماء مع نفسه. ينتج أيونات كلّ من الهيدرونيوم والهيدروكسيل (ملحوظة: تأكد من فهمك لهذه العبارة لأنها تعدّ الأساس لبقية الفصل).

كشفت مزيد من التجارب قواعد مهمة لها علاقة بتركيز أيونات كلّ من الهيدرونيوم والهيدروكسيل في المحاليل التي تحتوي على الماء. إنّ حاصل ضرب تركيز أيونات الهيدرونيوم في تركيز أيونات الهيدروكسيل في المحلول المائي يساوي دائمًا مقدارًا ثابتًا.  $K_w$ . وهو رقم بالغ الصغر:

$$0.0000000000000001 = K_w = \text{تركيز } \text{H}_3\text{O}^+ \times \text{تركيز } \text{OH}^-$$

يُعطى التركيز عادة كمولارتي. والذي يشار إليه برموز المعادلة باستخدام المربعات:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = K_w = 0.0000000000000001$$

تعني المربعات أن تقرأ المعادلة "مولارتي لـ  $H_3O^+$  مضروب في مولارتي  $OH^-$  يساوي  $K_w$ . وبكتابتها بالرموز العلمية نحصل على ما يلي:

$$[OH^-] [H_3O^+] = K_w = 1 \times 10^{-14}$$

تكون قيمة  $K_w$  للماء النقي. حاصل ضرب تركيز أيونات الهيدرونيوم  $M 0.000 0001$  في تركيز أيونات الهيدروكسيل  $M 0.000 0001$  والتي يمكن كتابتها بالرموز العلمية كما يلي:

$$[1 \times 10^{-7}] \times [1 \times 10^{-7}] = K_w = 1.0 \times 10^{-14}$$

إنّ القيمة الثابتة  $K_w$  مهمة جداً؛ لأنّ ذلك يعني عدم وجود مادة مذابة في الماء. إنّ حاصل ضرب تركيز أيون الهيدرونيوم في تركيز أيون الهيدروكسيل يساوي دائماً  $1.0 \times 10^{-14}$ . ولهذا، إذا زاد تركيز أيون الهيدرونيوم ( $H_3O^+$ )، وجب أن ينقص تركيز أيون  $OH^-$  بحيث يبقى حاصل ضرب التركيز هو  $1.0 \times 10^{-14}$ .

### ■ نقطة فحص

- 1- إنّ تركيز أيون الهيدروكسيل في الماء النقي هو  $1.0 \times 10^{-7}$ . ما تركيز أيون الهيدرونيوم؟
- 2- ما تركيز أيونات الهيدرونيوم في محلول إذا كان تركيز أيونات الهيدروكسيل  $M 1.0 \times 10^{-3}$ ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

$$1. \quad [H_3O^+] = [OH^-] \text{ في الماء النقي } 1.0 \times 10^{-7} M.$$

$$2. \quad 1.0 \times 10^{-11} M \text{ وذلك } [OH^-] [H_3O^+] = 1 \times 10^{-14} \text{ يجب أن يساوي } K_w = 1.0 \times 10^{-14}.$$

يمكن وصف المحاليل المائية بأنها حمضية، أو قاعدية، أو متعادلة. كما يلخص ذلك الشكل 10.18. إنّ المحلول الحمضي (**Acidic Solution**) هو المحلول الذي يكون فيه تركيز أيونات الهيدرونيوم أعلى من تركيز أيونات الهيدروكسيل. يحضر المحلول الحمضي بإضافة الحمض إلى الماء. ويكون تأثير هذه الإضافة زيادة تركيز أيونات الهيدرونيوم، والتي تقلل من تركيز أيونات الهيدروكسيل بالضرورة. أمّا المحلول القاعدي (**Basic Solution**) فهو المحلول الذي يكون فيه تركيز أيونات الهيدروكسيل أعلى من تركيز أيونات الهيدرونيوم. ويحضر المحلول القاعدي بإضافة القاعدة للماء. تزيد هذه الإضافة من تركيز أيونات الهيدروكسيل التي تقلل من تركيز أيونات الهيدرونيوم بالضرورة. في حين أنّ المحلول المتعادل (**Neutral Solution**) هو المحلول الذي يتساوى فيه تركيز أيونات كل من الهيدرونيوم والهيدروكسيل. يعدّ الماء النقي مثلاً على المحاليل المتعادلة؛ ليس لأنه يحتوي على عدد قليل من أيونات كل من الهيدرونيوم والهيدروكسيل، بل لأنه يحتوي على عدد متساوٍ من الاثنين. ويمكن الحصول على محلول متعادل عند اتحاد كيميائيين متساويين من الحمض والقاعدة. وهذا يفسر أنّ الحمض والقاعدة يعادل أحدهما الآخر.

في المحلول الحمضي

$$[H_3O^+] > [OH^-].$$

في المحلول القاعدي

$$[H_3O^+] < [OH^-].$$

في المحلول المتعادل

$$[H_3O^+] = [OH^-].$$

### الشكل 10.18

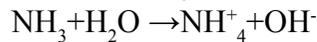
تحدد التراكيز النسبية لأيونات كل من الهيدرونيوم والهيدروكسيل ما إذا كان المحلول حمضياً، أو قاعدياً، أو متعادلاً.

### ■ نقطة فحص

كيف تعمل إضافة الأمونيا للماء على جعل المحلول قاعدياً في حين أنّ الأمونيا لا تحتوي على أيونات هيدروكسيل في صيغتها الكيميائية؟

هل كانت هذه إجابتك؟

تعمل الأمونيا بطريقة غير مباشرة على زيادة تركيز أيونات الهيدروكسيل بتفاعلها مع الماء:



يزيد هذا التفاعل تركيز أيونات الهيدروكسيل، والذي له الأثر في تقليل تركيز أيونات الهيدرونيوم. ومع وجود تركيز لأيونات الهيدروكسيل أعلى من تركيز أيونات الهيدرونيوم، يصبح المحلول قاعدياً.

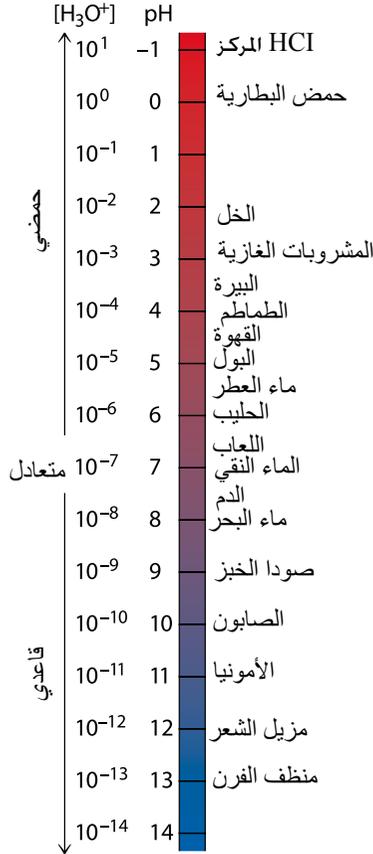
## مقاييس درجة الأحماض (pH) المستخدم لوصف الأحماض

إنّ مقياس درجة الأحماض  $pH$  هو مقياس رقميّ يستخدم للدلالة على درجة حموضة المحلول. وهو يساوي سالب لوغاريتم تركيز أيون - الهيدرونيوم رياضياً:

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

لاحظ مرة أخرى أنّ القوس المربع يستخدم للدلالة على التراكيز المولارية، حيث  $[H_3O^+]$  يُقرأ "تركيز أيون الهيدرونيوم المولري". ولفهم الدالة اللوغارتمية: انظر إلى صندوق حساب العلوم الطبيعية عن اللوغاريتمات في الجزء التالي.

لإيجاد  $pH$  للمحلول المتعادل، والذي تركيز أيون الهيدرونيوم له  $1.0 \times 10^{-7} M$ . نأخذ أولاً لوغاريتم هذه القيمة وهي -7 (انظر شكل صندوق العلوم الطبيعية عن اللوغاريتمات في الجزء التالي). تعرف الـ  $pH$  بسالب هذه القيمة، وهذا يعني  $-(-7) = 7$ . لذا، فإنّ تركيز أيون الهيدرونيوم للمحلول المتعادل يساوي  $1.0 \times 10^{-7} M$  و  $pH$  له تساوي 7. إنّ قيم  $pH$  للمحاليل الحمضية أقلّ من 7. فعلى سبيل المثال، إذا كان تركيز أيون الهيدرونيوم لمحلول حمضي  $1.0 \times 10^{-4} M$ ، فإنّ  $pH = -\log[1.0 \times 10^{-4}] = 4$ . وكلما كان المحلول أكثر حمضية، كان تركيز أيون - الهيدرونيوم أكبر، ومن ثمّ أقلّ  $pH$ . أمّا قيم  $pH$  للمحاليل القاعدية فتكون أكبر من 7. فعلى سبيل المثال، تكون قيمة  $pH$  لمحلول قاعديّ تركيز أيون الهيدرونيوم له يساوي  $1.0 \times 10^{-8} M$  هي  $pH = -\log[1.0 \times 10^{-8}] = 8$ . وكلما زادت قاعدية المحلول قلّ تركيز أيون الهيدرونيوم له. ولكنّ بزيادة قيم  $pH$  له. يبين الشكل 11.18، فيمّا نموذجية لدرجة الأحماض ( $pH$ ) لمحاليل مألوفة. كما يبين الشكل 12.18، طريقتين مألوفتين لتحديد قيم  $pH$ .

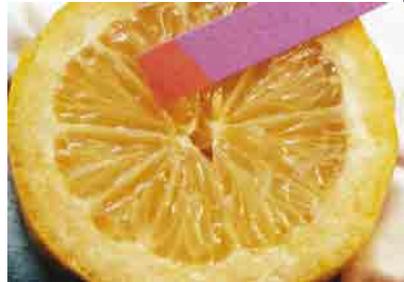


## الشكل 11.18

قيم  $pH$  لبعض المحاليل المألوفة.

## الشكل 12.18

(أ) يمكن قياس  $pH$  لمحلول إلكترونيًا باستخدام مقياس  $pH$ . (ب) يمكن تقدير  $pH$  لمحلول بطريقة تقريبية باستخدام ورق دوار الشمس، وهو مغلف بصبغة تغير لونه تبعًا لقيمة  $pH$ .



(ب)



(أ)

## حساب العلوم الطبيعية

## ■ pH واللوغاريتمات

يمكن إيجاد اللوغاريتم لأي عدد باستخدام آلة حاسبة علمية بإدخال الرقم، ثم الضغط على زر [log]. وتجد الآلة الحاسبة الأس لـ 10 التي يجب رفعها للحصول على الرقم. فمثلاً اللوغاريتم لـ  $10^2$  هو 2. هل الجواب 2 لأنه الأس الذي يوضع لك 10 لنحصل على  $10^2$ . وإذا كنت تعرف أنّ  $10^2$  تساوي 100، فستفهم أنّ لوغاريتم 100 هو 2 أيضاً. تأكد من ذلك على آلتك الحاسبة. وبالمثل، فإنّ لوغاريتم الـ 1000 هو 3؛ لأنّ 10 رفعت إلى الأس الثالث،  $10^3$  تساوي 1000. (لاحظ: نحن نتحدث عن الأساس 10 للوغاريتم، وليس اللوغاريتم الطبيعي ذا الأساس e).

إنّ أي عدد موجب، بما فيها الأعداد الصغيرة، لها لوغاريتم. فلوغاريتم العدد 0.0001 والتي تساوي  $10^{-4}$  هو -4 (الأس الذي يرفع له 10 ليساوي هذا العدد).

## ■ مسألة 1:

ما لوغاريتم الـ 0.01؟

## ■ الحل:

العدد 0.01 هو  $10^{-2}$ . إذن، فله لوغاريتم يساوي -2 (الأس الذي يرفع إلى 10).

يكون تركيز أيون الهيدرونيوم لمعظم المحاليل أقل من 1 M عادة. وتذكر مثلاً أنّ تركيز أيون الهيدرونيوم في الماء المتعادل هو  $0.0000001 M$  ( $10^{-7} M$ ). إنّ لوغاريتم أي عدد أقل من 1 (ولكن أكبر من صفر) يكون عدداً سالباً. إنّ وجود إشارة (-) في تعريف الـ pH هو لتحويل لوغاريتم تركيز أيون الهيدرونيوم إلى عدد موجب.

عندما يكون تركيز أيون الهيدرونيوم هو 1 M، فإنّ pH له تساوي صفرًا؛ لأنّ  $1 M = 10^0 M$  ومحلل له 10 M تكون pH له تساوي -1؛ لأنّ  $10 M = 10^1 M$ .

## ■ مسألة 2:

ما درجة pH لمحلل تركيز أيون الهيدرونيوم له يساوي 0.001 M؟

## ■ الحل:

الرقم 0.001 هو  $10^{-3}$ . إذن  
 $pH = -\log[H_3O^+]$

$$= -\log 10^{-3} = -(-3) = 3$$

## ■ مسألة 3:

ما لوغاريتم العدد  $10^5$ ؟

## ■ الحل:

”ما لوغاريتم  $10^5$ ؟“ أي ”ما الأس للعدد 10 ليعطي الرقم  $10^5$ ؟“ والجواب هو 5.

## ■ مسألة 4:

ما لوغاريتم العدد 100000؟

## ■ الحل:

يجب معرفة أنّ 100000 هو  $10^5$ . لذا، فإنّ لوغاريتم 100000 هو 5.

## ■ مسألة 5:

ما pH لمحلل له تركيز أيون الهيدرونيوم  $10^{-9} M$ ؟ هل هذا المحلول حمضيّ، أم قاعديّ، أم متعادل؟

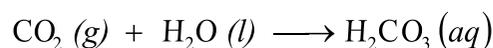
## ■ الحل:

$pH = 9$ . وهذا يعني أنه محلل قاعديّ.

$$\begin{aligned} pH &= -\log[H_3O^+] \\ &= -\log 10^{-9} \\ &= -(-9) \\ &= 9 \end{aligned}$$

## ■ 4.18 الأمطار الحمضية والمحيطات القاعدية

كما ذكر سابقاً، فإنّ مياه المطر بطبيعتها حمضية. إنّ أحد مصادر الأحماض هو ثاني أكسيد الكربون، وهو الغاز نفسه الذي يعطي الطعم الفوار في المشروبات الغازية. يحتوي الغلاف الغازي على 810 بلايين طن من غاز  $CO_2$ . معظمها من المصادر الطبيعية، كالبراكين وخلل المواد العضوية. ولكن هناك كميات متزايدة نتيجة الأنشطة البشرية (نحو 135 بليون طن). يتفاعل الماء الموجود في الغلاف الجوي مع ثاني أكسيد الكربون لتكوين حمض الكربونيك:



حمض الكربونيك ماء ثاني أكسيد الكربون

يسلك حمض الكربونيك، كما يوحي اسمه، كحمض ويُنقص pH للماء. إنّ وجود  $CO_2$  في الغلاف الجوي يجعل pH نحو (5.6) وهو أقلّ كثيراً من قيمة pH للمحاليل المتعادلة وهي 7.

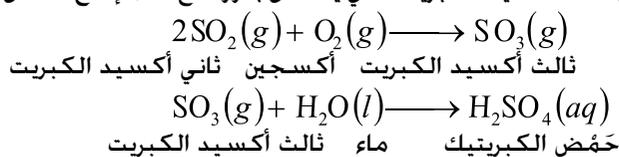
## ■ لمعلوماتك

■ عند درجة حرارة أعلى من  $374^\circ C$  وضغط يساوي 218 جوي، يتحول الماء إلى حالة من المادة تعرف بالمائع فوق الحرج، والذي يشبه كلاً من السائل والغاز. إنّ pH للمحلل المتعادل من الماء فوق الحرج تساوي 2، وهذا يعني أنه حاد جداً. جرى البحوث حالياً لمعرفة كيفية استخدام الماء فوق الحرج للقضاء على المواد الكيميائية السامة، مثل مواد الحرب الكيميائية الأثر أطول.

## معلوماتك

■ ما زالت الأمطار الحَمْضِيَّة مشكلة خطيرة في العديد من مناطق العالم. ومع ذلك، فقد حدث تقدم ملموس نحو حل هذه المشكلة. فمثلاً في الولايات المتحدة، تم خفض انبعاث ثاني أكسيد الكبريت وأكسيد النيتروجين إلى النصف منذ عام 1980م. كما تم تطبيق قانون الهواء النظيف ضمن الولاية (CAIR) في عام 2005م، والذي صُمم لخفض مستويات الملوثات بصورة أكثر. وخصوصاً في المناطق التي تهطل فيها أمطار المناطق الصناعية الكثيفة.

وبسبب التذبذبات الموسمية، تتراوح قيمة pH لماء المطر بين 5 و7. إن هذه الأحماض الطبيعية لماء المطر يمكن أن تؤدي إلى تسريع تعرية التربة، وكذلك تشكيل كهوف تحت الأرض عند توافر شروط معينة. بالاتفاق، يشير مصطلح المطر الحَمْضِيّ إلى المطر الذي تكون له أقل من 5. ينتج المطر الحَمْضِيّ عن امتصاص الملوثات المنقولة جوّاً، مثل ثاني أكسيد الكبريت، من الرطوبة في الغلاف الجوي. ويتحول ثاني أكسيد الكبريت إلى ثالث أكسيد الكبريت الذي يتفاعل بدوره مع الماء لإنتاج حَمْض الكبريتيك:



في كل عام، ينبعث إلى الغلاف الجويّ نحو 20 مليون طن من  $\text{SO}_2$  نتيجة حرق الفحم والنفط اللذين يحتويان على الكبريت. إن حَمْض الكبريتيك أقوى كثيراً من حَمْض الكربونيك. لذا، فإن المطر المضاف إليه حَمْض الكبريتيك يؤدي إلى تآكل المعادن والدهانات، وغير ذلك من المواد التي تتعرض له. وتبلغ التكلفة في كل عام بلايين الدولارات. كما أنّ التكلفة على البيئة كبيرة جداً (الشكل 13.18). إن العديد من الأنهار والبحيرات التي تصلها مياه الأمطار الحَمْضِيَّة تصبح أقل قدرة على حمل الحياة، كما أنّ الكثير من النباتات التي تصلها الأمطار الحَمْضِيَّة تموت. وهذا الشيء واضح الدلالة في المناطق الصناعية الضخمة.

## نقطة فحص

ما الذي يجعل المحلول المائي الناتج حامياً عند إضافة حَمْض الكبريتيك  $\text{H}_2\text{SO}_4$  إلى الماء؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لأن حَمْض الكبريتيك قوي، وهو يكوّن أيونات الهيدرونيوم عند إذابته في الماء. إن أيونات الهيدرونيوم هي المسؤولة عن فعل الحت.



(ب)



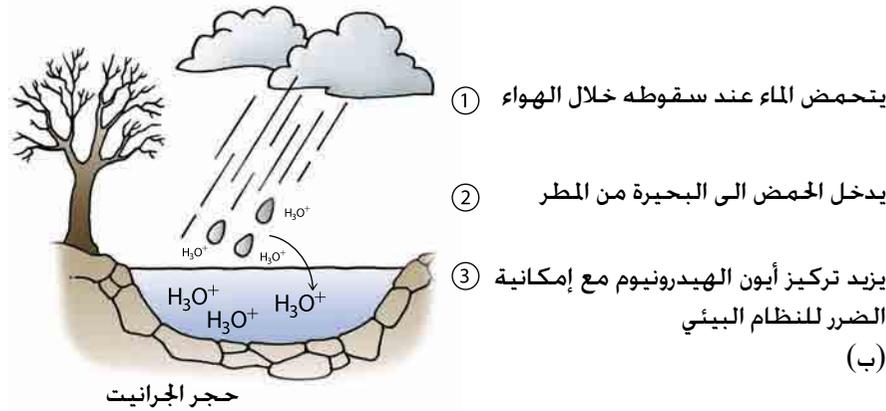
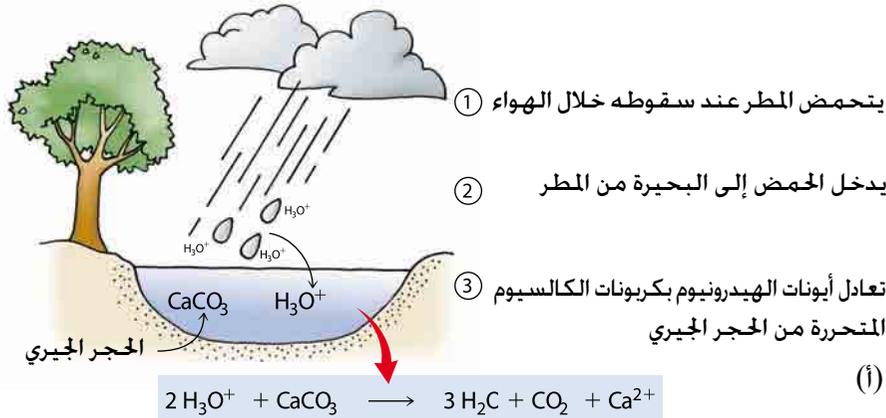
(i)

## الشكل 13.18

(أ) تبين هاتان الصورتان المسألة نفسها في متنزه مدينة نيويورك الأوسط قبل أثر المطر الحَمْضِيّ وبعده. (ب) العديد من الغابات التي تقع في اتجاه الريح من المناطق الصناعية الكثيفة، مثل شمال شرق الولايات المتحدة وأوروبا، أصابها المطر الحَمْضِيّ بشكل ملحوظ.

## الشكل 14.18

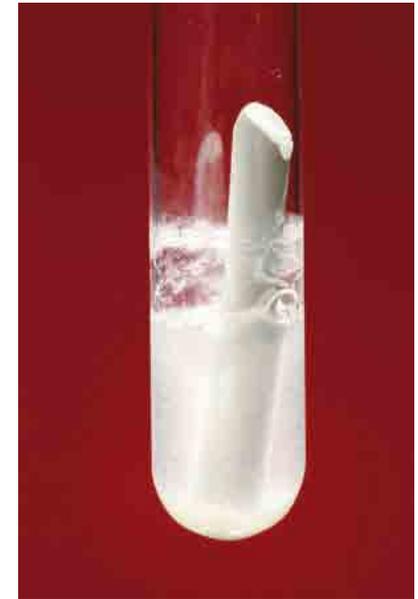
(أ) لا يظهر الأثر المدمر للمطر الحمضي في مسطحات المياه العذبة المبطنة بـكربونات الكالسيوم، والذي يعادل أي حموضة. (ب) البحيرات والأنهار المبطنة بمواد خاملة لا تكون محمية.



يعتمد الأثر البيئي للمطر الحمضي على الجيولوجيا المحلية. كما يوضح الشكل 14.18. في بعض المناطق. كما هو الحال في الوسط الغربي للولايات المتحدة. تحتوي الأرض على كميات ضخمة من المركبات القلوية. مثل كربونات الكالسيوم (الحجر الكلسي) التي ترسبت عندما كانت هذه الأراضي تحت المحيط. كما حدث ذلك عدة مرات خلال 500 مليون عام مضت. تتعادل المياه الحمضية التي تصب في هذه الأراضي مع كربونات الكالسيوم قبل أن تحدث أضرارًا (يوضح الشكل 15.18 معادلة كربونات الكالسيوم للحمض).

ولكن في الشمال الشرقي للولايات المتحدة وعدة مناطق أخرى. تحتوي الأرض على القليل من كربونات الكالسيوم. وتتكون أساسًا من مواد غير نشطة كيميائيًا. مثل الجرانيت. ويتراكم أثر المطر الحمضي على الأنهار والبحيرات. إن أحد الحلول الممكنة لهذه المشكلة هو زيادة الـ pH للبحيرات الحمضية والأنهار. بإضافة كربونات الكالسيوم. بعملية يطلق عليها التـكـلس. إن تكاليف نقل كربونات الكالسيوم بالإضافة إلى تكاليف المراقبة الدقيقة لأنظمة المياه جعل هذه العملية مقصورة على نسبة قليلة من أنظمة المياه المتأثرة. وأكثر من ذلك. فباستمرار هطول الأمطار الحمضية في هذه المناطق تزداد الحاجة إلى استمرار عملية التـكـلس هذه.

إنّ الحلّ المثاليّ لمشكلة الأمطار الحمضية على المدى الطويل هو منع معظم كميات ثاني أكسيد الكبريت المنتجة وغيرها من الملوثات من دخول الغلاف الجوي منذ البداية. بهذا الاتجاه. فقد أعيد تصميم المداخن لتقليل كمية الملوثات المنبعثة. أمّا الحلّ الجذري على المدى الطويل فهو التحوّل من استخدام الوقود الأحفوريّ إلى مصادر الطّاقة النظيفة. كالطّاقة النووية والسّمسيّة.



## الشكل 15.18

يصنع معظم الطباشير من كربونات الكالسيوم، والتي هي المادة الكيميائية نفسها الموجودة في الحجر الجيري. حتى إضافة حمض ضعيف، مثل حمض الأسيتيك للحل، ينتج أيونات هيدرونيوم تتفاعل مع كربونات الكالسيوم لتكوين العديد من المنتجات، وأكثرها ملاحظة هو ثاني أكسيد الكربون الذي يخرج على شكل فقاعات من المحلول. جرّب ذلك بنفسك! إذا لم تكن الفقاعات كثيرة كما هي ظاهرة هنا، فإنّ الطباشير تكون مصنوعة من مركبات معدنية أخرى.

## ■ نقطة فحص

ما نوع البحيرات الحمضية من الأثار السلبية للأمطار الحمضية؟

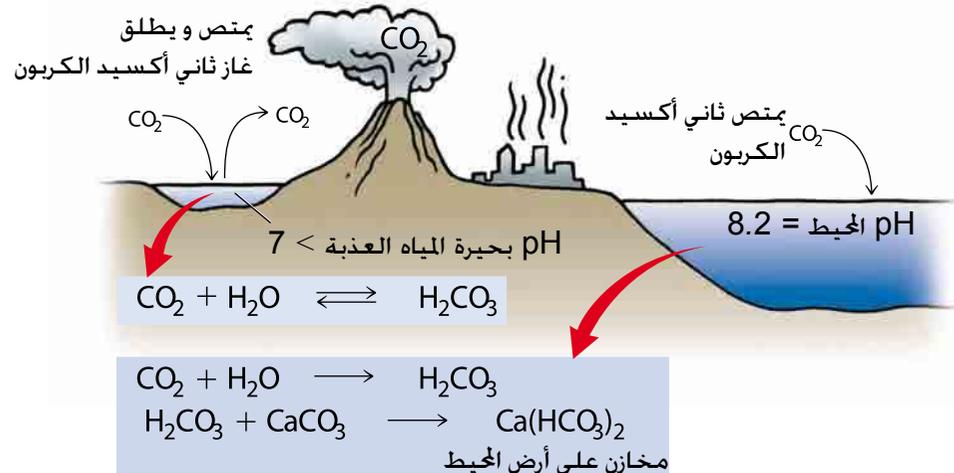
هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ البحيرات التي تتكوّن أرضيتها من المعادن القاعدية، مثل الحجر الجيري، تكون أكثر مقاومة للأمطار الحمضية؛ لأنّ كيميائية الحجر الجيري (في معظمه كربونات الكالسيوم،  $\text{CaCO}_3$ ) تعمل على معادلة الحمض الداخل.

يجب ألا نتعجب من تزايد كميات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي نتيجة للأنشطة البشرية. ولكن المدهش هو أنّ الزيادة في نسبة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ليست متناسبة. أيّ أنّها أقلّ مما هو متوقع. كما تشير إليه الدراسات. إنّ التفسير المحتمل لذلك له علاقة بالمحيطات (الشكل 16.18). عندما يذوب ثاني أكسيد الكربون في جسم مائي؛ قطرة، أو بحيرة، أو محيط، فإنه يكون حمض الكربونيك. يتحول حمض الكربونيك في الماء العذب مرة أخرى إلى الماء وثاني أكسيد الكربون. والذي يعود ثانية إلى الغلاف الجوي. ولكن معادلة حمض الكربونيك تتم بسرعة في المحيطات بالمواد القلوية المذابة مثل كربونات الكالسيوم (المحيط قاعدي و pH له  $\approx 8.2$ ). تنتهي منتجات التّعادل هذه إلى أرضية المحيط كمواد صلبة غير قابلة للذوبان. وهكذا، فإنّ معادلة ثاني أكسيد الكربون في المحيط يمنع إعادة إطلاقه ثانية إلى الغلاف الجوي. ولهذا، فإنّ المحيط مصرف لثاني أكسيد الكربون. فمعظم ثاني أكسيد الكربون الذي يصل المحيط يخرج. وعليه، فإنّ ضخّ المزيد من  $\text{CO}_2$  إلى المحيط يعني مزيداً منه في المحيطات. وهذه واحدة من بين الطرائق العديدة التي تساهم فيها المحيطات في تنظيم بيئتنا الكونية.

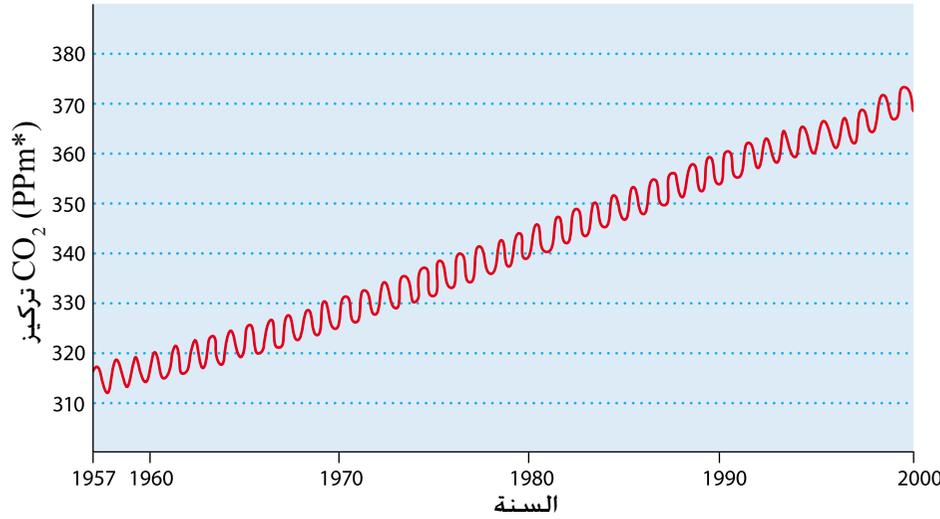
ومع ذلك، فما زال تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجويّ متزايداً، كما يبين الشكل 17.18. يُنتج ثاني أكسيد الكربون بسرعة كبيرة بحيث لا يستطيع المحيط امتصاصه، وهكذا يمكن أن يؤدي إلى تغيير بيئة الأرض. إنّ غاز ثاني أكسيد الكربون هو أحد غازات الدفيئة. وهذا يعني أنه يساعد في تدفئة سطح الأرض. من خلال منعه للإشعاعات تحت الحمراء من الانبعاث إلى الفضاء الخارجي. ولو لم توجد غازات الدفيئة في الغلاف الجوي، لأصبح سطح الأرض ثلجة. أي أنّ درجة حرارته نحو ( $-18^\circ\text{C}$ ). ولكن، مع استمرار زيادة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، فسوف نشهد زيادة في معدل درجة حرارة سطح الأرض. يمكن أن تؤدي زيادة معدل درجة الحرارة إلى تغيير في الأنماط المناخية العالمية. كما أنه يؤدي إلى زيادة في ارتفاع مستوى البحر، إضافة إلى ذوبان في الأغصية الجليدية القطبية، وزيادة في حجم مياه البحر بسبب التمدد الحجمي. وسوف ندرس التسخين الكوني بتفاصيل أكثر في الفصل 25.

وهكذا، فإنّ حموضة المطر تعتمد كثيراً على تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. والذي يعتمد بدوره على الـ pH للمحيط. تتداخل هذه الأنظمة مع درجات الحرارة الكونية، والتي ترتبط بدورها بعدد غير محدود من النظم الحية على الأرض. كم هذا صحيح! إنّ هذه الأجزاء جميعها متداخلة بشكل معقد، حتى تبلغ مستوى الذرات والجزيئات!



## الشكل 16.18

يتكون ثاني أكسيد الكربون عند دخول حمض الكربونيك لأيّ مسطح مائي. يكون هذا التفاعل معكوساً في المياه العذبة، ويعاد إطلاق ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي. في المحيط القاعدي، يتعادل حمض الكربونيك إلى مركبات مثل  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ، والذي يترسب على أرض المحيط. ونتيجة لذلك، يبقى معظم ثاني أكسيد الكربون الذي يدخل إلى المحيط من الغلاف الجوي هناك.

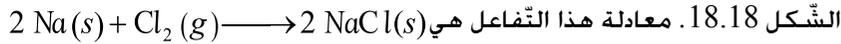


\* ppm = جزء من المليون. وهذا يعني عدد جزيئات ثاني أكسيد الكربون لكل مليون جزيء من الهواء.

### ■ 5.18 فقدان الإلكترونات واكتسابها

يشير التأكسد (Oxidation) إلى العملية التي يفقد فيها المتفاعل واحدًا أو أكثر من إلكتروناته. أما الاختزال (Reduction) فمعكس ذلك. حيث يكتسب فيها المتفاعل واحدًا أو أكثر من إلكتروناته. إنّ التأكسد والاختزال عمليتان متكاملتان وحدثان في الوقت نفسه معًا دائمًا؛ أي لا يمكن أن يحدث الواحد دون الأخرى. فالإلكترون المفقود من تفاعل الأكسدة لإحدى المواد الكيميائية لا يختفي. بل تكسبه مادة كيميائية أخرى في عملية الاختزال.

يحدث تفاعل التأكسد - الاختزال عند اتحاد الصوديوم مع الكلور لتكوين كلوريد الصوديوم. كما هو مبين في



ولمعرفة كيفية انتقال الإلكترونات في هذا التفاعل، يمكننا أن ننظر إلى المواد المتفاعلة على انفراد. تتحول كل ذرة صوديوم المتعادلة كهربائيًا إلى أيونات مشحونة كهربائيًا بشحنة موجبة. وفي الوقت نفسه يمكننا القول إنّ كل ذرة تفقد إلكترونًا. ومن ثم تأكسدت:



يتحول كل جزيء كلور متعادل إلى أيونين سالبين. كل ذرة منهما تكسب إلكترونًا ومن ثم تختزل:



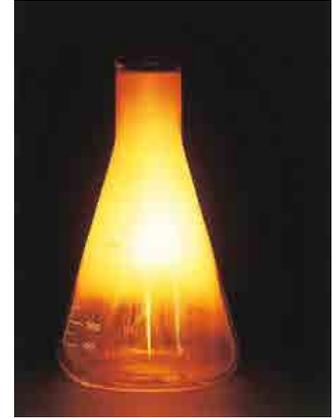
المحصلة هي أنّ الإلكترونين اللذين خسرتهم ذرات الصوديوم قد انتقلا إلى ذرات الكلور. وهكذا، فإنّ كل معادلة من المعادلتين السابقتين تمثّل نصف العملية الحقيقية. ولهذا السبب، يطلق عليهما نصف تفاعل (Half reaction): أي لا يمكن لذرة الصوديوم أن تفقد إلكترونًا دون وجود ذرة كلور لتلتقطه. كل من نصفي التفاعل مطلوب لتمثيل كامل عملية التأكسد - الاختزال. نصف التفاعل مفيد لتوضيح أيّ متفاعل يكسب إلكترونات وأيّ متفاعل يفقدها. ولهذا السبب يستعمل نصف التفاعل خلال هذا الفصل.

### الشكل 17.18

لقد سجل الباحثون في محطة موناو Mauna Loa لمراقبة المناخ في هاواي ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو منذ أن بدأ تجميع البيانات في خمسينيات القرن الماضي. يعرف هذا المنحنى المشهور بمنحنى كيلينج Keeling، تكريمًا لشارلز كيلينج، وهو أول من بدأ هذا المشروع، وأول من لاحظ هذه الاتجاهات. من المثير أن تعكس الذبذبات في هذا المنحنى مستويات ثاني أكسيد الكربون الفصلية.

### لمعلوماتك

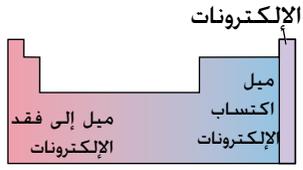
■ يختبر العلماء طرقًا لتعزيز قدرة المحيطات على امتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي. لقد وجدوا أنّ إضافة مسحوق الحديد إلى منطقة صغيرة من المحيط كان له أثر كبير في تسريع نمو كائنات حية صغيرة عززت معدل امتصاص ثاني أكسيد الكربون. هل يمكن أن يساهم هذا الامتصاص في حل مشكلة الاحتباس الحراري؟ وهل بإضافة كمية كبيرة من مسحوق الحديد يبدأ عصر جليدي جديد، أو يغير أيكولوجية المحيط؟ لا نعلم.



### الشكل 18.18

في تكوين كلوريد الصوديوم الإكسوثرمي، يتأكسد فلز الصوديوم من غاز الكلور، ويختزل غاز الكلور من فلز الصوديوم.

ميل قليل لفقدان أو اكتساب



- على الأغلب يسلك سلوك عامل مؤكسد (يختزل)
- على الأغلب يسلك سلوك عامل مختزل (يتأكسد)

### الشكل 19.18

يستدل على مقدرة الذرة على اكتساب أو فقدان إلكترونات من موقعها في الجدول الدوري. تميل تلك التي في أعلى اليمين إلى اكتساب إلكترونات، أما التي في أسفل اليسار فتميل إلى فقدانها.



عندما نقول أن مادة قد تأكسد، فإننا نعني بذلك أنها قد فقدت الإلكترونات. وعندما نقول أن مادة قد اختزلت، فإننا نعني بذلك أنها اكتسبت إلكترونات.

التأكسد	الاختزال
تصبح الحالة الأيونية موجبة أكثر	تصبح الحالة الأيونية سالبة أكثر
فقدان الإلكترونات	اكتساب الإلكترونات
اكتساب أكسجين	فقد أكسجين
فقد هيدروجين	اكتساب هيدروجين

### الشكل 20.18

إن نتيجة الأكسدة شحنة موجبة أكبر، يتم الحصول عليها بفقدان إلكترونات، أو كسب ذرات أكسجين، أو فقدان ذرات هيدروجين. في حين أن نتيجة الاختزال شحنة سالبة أكبر، يتم الحصول عليها باكتساب إلكترونات، أو فقد ذرات أكسجين، أو باكتساب ذرات هيدروجين.

ولأن الصوديوم يسبب اختزال الكلور، فإن الصوديوم يسلك سلوك عامل اختزال. إن عامل الاختزال هو أي متفاعل يتسبب في اختزال مادة أخرى. لاحظ أن الصوديوم قد تأكسد حينما سلك سلوك عامل اختزال: لقد فقد إلكترونات. وعلى النقيض، فإن الكلور تسبب في أكسدة الصوديوم. وبهذا، فقد سلك كعامل مؤكسد. وبسبب اكتسابه إلكترونات في العملية، فإنه قد اختزل. تذكر أن التأكسد هو فقدان إلكترونات، والاختزال هو اكتسابها.

إن العناصر المختلفة ذات ميول مختلفة للتأكسد والاختزال: فبعضها يفقد إلكترونات بسهولة أكثر من غيرها، وبعضها يكتسب إلكترونات بسهولة أكثر. كما يوضح الشكل 19.18.

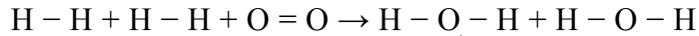
### نقطة فحص

1. تتأكسد معاملات الاختزال في تفاعلات التأكسد-الاختزال. هل هذا صحيح؟
2. تختزل معاملات التأكسد في تفاعلات التأكسد-الاختزال. هل هذا صحيح؟

هل كانت هذه إجابتك؟

العبارتان صحيحتان.

ليس من السهولة دائماً تصنيف التفاعل على أنه تفاعل تأكسد - اختزال. ولكن يمكن أن تزودنا المعادلة الكيميائية ببعض الإحعاءات المهمة. أولاً، انظر إلى التغيرات في الحالة الأيونية للعناصر. يتكون فلز الصوديوم، مثلاً، من ذرات صوديوم متعادلة. لتكوين كلوريد الصوديوم، تتحول هذه الذرات إلى أيونات الصوديوم الموجبة الشحنة، وهكذا تفقد ذرات الصوديوم إلكترونات (تأكسد). وإليك الآن طريقة ثانية لتشخيص التفاعل على أنه تفاعل تأكسد - اختزال من خلال معرفة ما إذا كان العنصر يكسب ذرات أكسجين أم يفقدها، عندما يكتسب العنصر أكسجين، فإنه يفقد إلكترونات. وبسبب ارتفاع الكهروسالبية للأكسجين، فإن اكتساب الأكسجين هو تأكسد (فقدان إلكترونات)، أما فقدانه فاختزال (اكتساب إلكترونات). مثلاً، يتفاعل الهيدروجين،  $H_2$ ، مع الأكسجين،  $O_2$ ، لتكوين الماء،  $H_2O$ ، كما يلي:

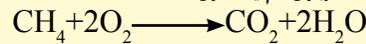


لاحظ أن عنصر الهيدروجين يصبح مرتبطاً بذرة الأكسجين من خلال هذا التفاعل. ولهذا فإن الهيدروجين يتأكسد.

وهناك طريقة ثالثة لتشخيص ما إذا كان التفاعل هو تفاعل تأكسد - اختزال هي في رؤية ما إذا كان العنصر يكسب ذرات هيدروجين أم يفقدها. إن كسب الهيدروجين هو اختزال. أما فقدانه فتأكسد. في تكوين الماء الموضح أعلاه، رأينا أن عنصر الأكسجين قد كسب ذرات هيدروجين، وهذا يعني أن الأكسجين قد اختزل؛ أي أنه اكتسب إلكترونات من الهيدروجين. ولهذا تكون ذرة الأكسجين ضمن الماء سالبة قليلاً كما ناقشنا في الجزء 7.15. لقد تم تلخيص الطرائق الثلاث لتشخيص التفاعل على أنه تفاعل تأكسد - اختزال في الشكل 20.18.

### نقطة فحص

في المعادلة التالية، هل يتأكسد الكربون أم يختزل؟



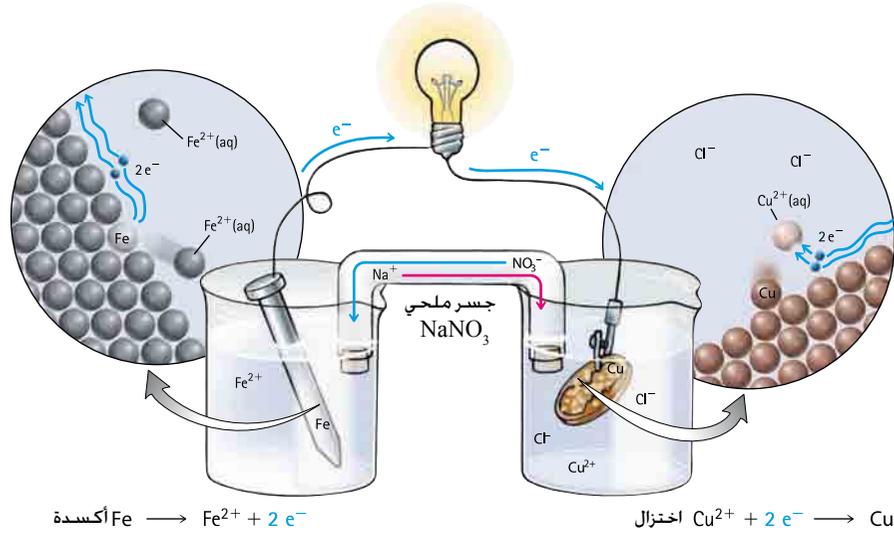
هل كانت هذه إجابتك؟

عندما يشكّل كربون الميثان،  $CH_4$ ، ثاني أكسيد الكربون،  $CO_2$ ، فإنه يفقد هيدروجين، ويكتسب أكسجين، وهذا يشير إلى أن الكربون قد تأكسد.



الشكل 23.18

يكمل الجسر الملحي الدارة الكهربائية. تتحرر الإلكترونات عند مرور الحديد المؤكسد عبر السلك إلى الوعاء الأيمن. تنتقل أيونات النترات،  $\text{NO}_3^-$ ، من الجسر الملحي في الوعاء الأيسر لتوازن الشحنات الموجبة لأيونات الحديد  $\text{Fe}^{2+}$  المتكون، مانعةً بذلك تراكم الشحنة الموجبة. في هذه الأثناء، تدخل أيونات الصوديوم،  $\text{Na}^+$  من الجسر الملحي إلى الوعاء الأيمن لتوازن أيونات الكلور  $\text{Cl}^-$  "المتخلي عنها" من أيونات النحاس عند إمساك أيونات النحاس  $\text{Cu}^{2+}$  الإلكترونات لتصبح فلز نحاس.

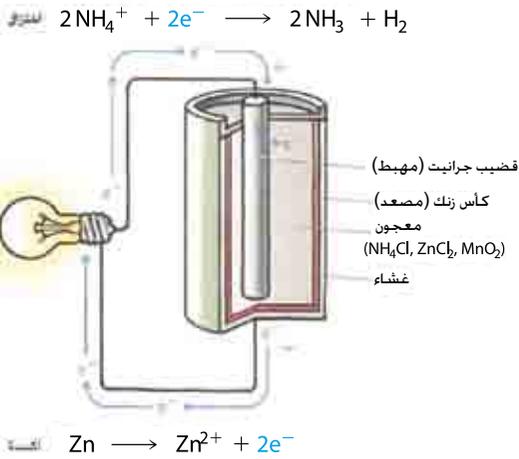


قد يكون الجسر الملحي بسيط جداً ليتكون من منشفة ورقية مشبعة بالماء المالح.

حلّ هذه المشكلة: يجب السماح لأيونات النترات بالانتقال إلى أيّ من الوعاءين لكي لا يحدث تراكم للشحنات الموجبة أو السالبة في أيّ منهما. يمكن تحقيق ذلك بعمل جسر ملحي. بأنبوب على شكل U معبأ بملح مثل نترات الصوديوم  $\text{NaNO}_3$  ومغلق من طرفيه بسدادات شبه مسامية. يوضح الشكل 23.18 كيف يسمح الجسر الملحي لأيونات التي يمسهها للدخول إلى أيّ من الوعاءين. سامحاً بانسياب الإلكترونات عبر السلك الموصل صانعة دائرة كهربائية متكاملة.

البطاريات

وهكذا يمكننا أن نرى بإعداد مناسب إمكانية حصاد الطاقة الكهربائية من تفاعل التأكسد - الاختزال. إنّ الجهاز المبين في الشكل 23.18 مثال على ذلك. تسمى هذه الأجهزة *الخلايا الفولتية*. وبدلاً من وجود وعاءين. يمكن أن تكون الخلية الفولتية وحدة ذاتية متكاملة.



الشكل 24.18

بطارية الخلية الجافة المألوفة من قضيب جرافيت مغمور في معجون كلوريد الأمونيوم، وثاني أكسيد المنجنيز، وكلوريد الزنك.

وتسمى في هذه الحالة *بطارية*. تكون البطارية إما مستهلكة أو يمكن إعادة شحنها، وسندرس هنا بعض الأمثلة لكلّ منهما. على الرغم من أنّ النوعين يختلفان في التصميم والمكونات. إلا أنّهما يعملان بالمبدأ نفسه: يتم وصل مادتين تُؤكسد وتختزل إحداهما الأخرى في وسط يتم انتقال الأيونات من خلاله لموازنة انسياب الإلكترونات الخارجي.

دعنا ندرس البطاريات المستهلكة أولاً: *بطارية الخلية الجافة* المألوفة. والتي اخترعت في عام 1860م وما تزال تستخدم حتى يومنا هذا. ومن المحتمل أن تكون أرخص مصدر للطاقة المستهلكة لمصابيح الإضاءة. والألعاب وما شابه. تتكون بطارية الخلية الجافة من كأس من الزنك معبأ بعجينة سميكة من كلوريد الأمونيوم  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ، وكلوريد الزنك  $\text{ZnCl}_2$ ، وثاني أكسيد المنجنيز  $\text{MnO}_2$ . يغمس في هذه العجينة عصا مسامية من الجرافيت تصل إلى أعلى البطارية. كما هو مبين في الشكل 24.18.

الجرافيت موصل جيد للتيار الكهربائي. تستقبل المواد الكيميائية في العجينة الإلكترونات عند عصا الجرافيت. وهناك تختزل. إنّ تفاعل أيونات الأمونيوم هو

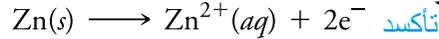


يعرف القطب (*Electrode*) بأنه أيّ مادة توصل الإلكترونات من الوسط الذي تحدث فيه التفاعلات الكهروكيميائية وإليه.

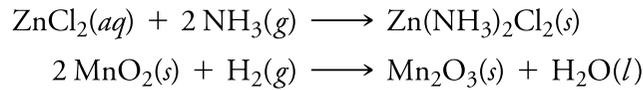


يزداد عمر البطاريات الاحتياطية للكشاف الضوئي إذا ما حفظت في الثلاجة.

يسمى القطب الذي يحدث عليه الاختزال الكيميائي المهبط (*Cathode*). ويكون المهبط لأيّ بطارية. كالتي تشاهد في الشكل 24.18. دائماً موجباً (+)، وهذا يشير إلى أنّ الإلكترونات تنجذب طبيعياً إلى هذا الموقع. إنّ مصدر الإلكترونات التي تكتسبها المواد الكيميائية عند المهبط هو المصعد (*Anode*). وهو القطب الذي تتأكسد عنده المواد الكيميائية. ويكون المصعد لأيّ بطارية دائماً سالباً (-)، وهذا يشير إلى أنّ الإلكترونات تبعد عن هذا الموقع. إنّ المصعد في الشكل 24.18 هو كأس الزنك. حيث تفقد ذرات الزنك الإلكترونات لتشكيل أيونات الزنك:



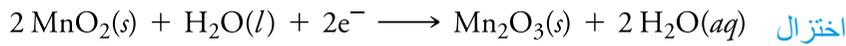
ينتج عن اختزال أيونات الأمونيوم في خلية البطارية الجافة غازان هما الأمونيا،  $\text{NH}_3$ ، والهيدروجين- $\text{H}_2$ . اللذان يجب إزالتها حتى نتجنب زيادة الضغط الذي قد يؤدي إلى الانفجار. تتم الإزالة من تفاعل الأمونيا مع كلوريد الزنك وتفاعل الهيدروجين مع ثاني أكسيد المنجنيز:



إنّ عمر البطارية الجافة قصير عادة. تتسبب الأكسدة في تآكل كأس الزنك. وفي النهاية تتسرب المحتويات نحو الخارج. وحتى عندما تكون البطارية غير شغالة. يتآكل الزنك عند تفاعله مع أيونات الأمونيوم. ويمكن حماية الزنك من التآكل بتخزين البطارية في ثلاجة. وكما ناقشنا في الجزء 3.17. تتباطأ التفاعلات الكيميائية مع نقصان درجة الحرارة. وهكذا فتبريد البطارية يعمل على تباطؤ معدل تآكل الزنك. والذي بدوره يزيد من عمرها.

وهناك نوع آخر من البطاريات المستهلكة. هو البطاريات القلوية. الغالبية الثمن. وهي موضحة في الشكل 25.18. تتلافى العديد من مشاكل بطاريات الخلية الجافة. وذلك من خلال عملها في عجيبة قلوية قوية. وبوجود أيونات الهيدروكسيل. يتأكسد الزنك إلى أكسيد الزنك غير المذاب:

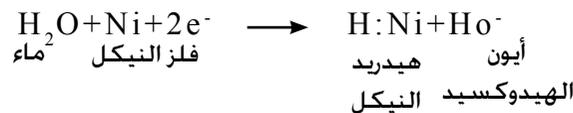
وفي الوقت نفسه. يختزل ثاني أكسيد المنجنيز:



لاحظ تجنب استخدام أيون الأمونيوم الذي يؤدي إلى تآكل الزنك. في هذين التفاعلين. (وهذا يعني أنّ البطاريات القلوية تدوم وقتاً أطول من بطاريات الخلية الجافة) كما أنهما يمنعان تشكّل النواتج الغازية. إضافة إلى أنّ هذه البطاريات أفضل في المحافظة على جهد ثابت خلال فترات عملها الطويلة.

إنّ بطاريات الزئبق والليثيوم الصغيرة المستهلكة والتي تستخدم في الآلات الحاسبة وآلات التصوير هي أنواع من البطاريات القلوية. في بطارية الزئبق. يُختزل أكسيد الزئبق.  $\text{HgO}$ . بدلاً من ثاني أكسيد المنجنيز. وبسبب سميّته. وأضراره على البيئة. فقد أوقف المصنعون صناعة هذا النوع من البطاريات. أما بطاريات الليثيوم فتستخدم فلز الليثيوم مصدرًا للإلكترونات بدلاً من الزنك. ليس لأنّ الليثيوم يعطينا جهداً أعلى من الزنك فقط. ولكن لأنّ كثافته تبلغ نحو  $\frac{1}{13}$  من كثافة الزنك. والذي يسمح بإنتاج بطارية خفيفة.

يكون عمر البطاريات المستهلكة قصيراً نسبياً؛ لأنّ المواد الكيميائية التي تنتج الإلكترونات تستهلك. إنّ الميزة الرئيسة للبطارية التي يمكن إعادة شحنها هي انعكاسية تفاعلات التأكسد والاختزال. وتعدّ بطارية NiMH أحد الأمثلة الشائعة لمثل هذه البطاريات. إنّ شحن هذه البطارية يجعل فلز النيكل يستخلص الهيدروجين من الماء لتشكيل أيون الهيدروجين السالب. كما هو مبين أدناه:  $\text{H}$ . حيث تمثّل النقطتان إلكترونين\*.



\* يمثل النيكل في هذه المعادلة مركباً شبيه فلزي للنيكل. وعناصر مختلفة من الأرضية النادرة. مثل اللانثانوم La.



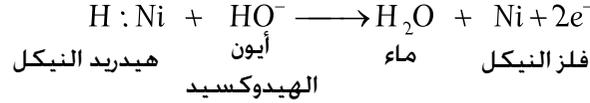
الشكل 25.18

تدوم البطاريات القلوية أطول من بطاريات الخلية الجافة وتعطي جهداً ثابتاً، ولكنها أعلى ثمنًا.



بجانب الشحنة الابتدائية الموجودة في البطارية الحديثة جداً فإنّ الطاقة في بطارية السيارة تستمد في النهاية من الوقود في خزان البنزين من خلال عملية إعادة الشحن.

إنّ دور النيكل هو في استقرار الإلكترونين على الهيدروجين. والذي يسمى أيون الهيدريد بسبب احتوائه على إلكترون إضافي. وكما يسمى الكلور بالكلوريد عند إضافة إلكترون إضافي له. يسمى أيون الكلوريد. باستخدام الرمز  $\text{Ni}^{2+}$  في نهايته. وهكذا فإنّ البطارية المشحونة تماماً تحتوي على كميات وفيرة من هيدريد النيكل. وعند تشغيل البطارية وتزويدنا بالكهرباء، يطلق أيون الهيدريد إلكترونات، وهو ينضم إلى أيون الهيدروكسيل لإعادة تشكيل الماء:



إنّ إعادة شحن البطارية القابلة لإعادة الشحن يعني إعادة توليد المواد الكيميائية. مثل هيدريد النيكل التي يمكن أن تطلق إلكترونات عند الحاجة. إن المواد الكيميائية في بطارية NiMH هي هيدريد النيكل.  $\text{H}:\text{Ni}$ . أما المواد الكيميائية لبطارية السيارة الاعتيادية فهي الرصاص.  $\text{Pb}$ . والذي يتحول إلى كبريتات الرصاص.  $\text{PbSO}_4$ . عند إطلاقها إلكترونات. وعند إعادة شحن بطارية السيارة، تتحول كبريتات الرصاص ثانية إلى رصاص.  $\text{Pb}$ .

تستخدم بطاريات أيون - الليثيوم التي يعاد شحنها في مجالات عديدة. كتزويد الحاسوب المحمول بالطاقة. وكذلك أجهزة الهاتف المحمول. كما يستخدم بعض هذه البطاريات في السيارات المهجنة. كما في سيارة تويوتا (Prius) التي تظهر في الصورة (الشكل 26.18). لقد حسّن التهجين من كفاءة السيارة؛ لأنّ طاقتها الحركية تتحول إلى طاقة وضع كهربائية في البطارية عندما تنبأطاً. بدلاً من تحويلها إلى طاقة حرارية ضائعة من قبل كوابح السيارة. تستخدم الطاقة الكهربائية الناجمة في محرك البنزين للسيارة وجعلها تتحرك. كما أنّ أنظمة البطارية المهجنة تغلق محرك السيارة إذا كانت تسير بسرعة عادية أو بطيئة. كما في حالة الاختناقات المرورية.

إنّ استمرار التحسينات في تكنولوجيا البطاريات سيؤدي إلى ظهور الجيل الثاني من السيارات المهجنة والمعروفة بالهجين القابل للشحن. والذي يمتاز ببطاريات أكبر. وخزانات وقود أصغر. يمكن شحن هذه السيارات المهجنة خلال الليل. واستخدامها في اليوم التالي حتى مسافة 60 ميلاً دون استخدام البنزين. علماً بأنّ معدل استخدام الفرد العادي اليومي للسيارة هو 40 ميلاً في الولايات المتحدة. والأفضل من ذلك. أنه يمكن شحن هذا النوع من السيارات باستخدام بطاريات شمسية أو محرك هوائي صغير. كما أنّ السيارات التي يستمر شحنها خلال النهار، يمكن أن تزود الشبكة بالطاقة خلال الذروة. ويمكن أن يكافأ أصحاب هذه السيارات لتوفيرهم الطاقة. أضف إلى ذلك. أنّ مثل هذا النوع من السيارات قد يزودنا باحتياطي كهربائي للاستخدامات المنزلية في الحالات الطارئة عند انقطاع التيار الكهربائي. كما تسهم هذه السيارات المهجنة القابلة للشحن ذات البطاريات الكبيرة وذات الكفاءة العالية، في الحفاظ على الطاقة والاكتفاء الذاتي على المستويين الخاص والعام.

### ■ نقطة فحص

ما المواد الكيميائية التي تنتج عند إعادة شحن بطارية هيدريد النيكل؟

هل كانت هذه إجابتك؟

هيدريد النيكل.  $\text{H}:\text{Ni}$ . وأيونات الهيدروكسيل  $\text{HO}^-$ .

### خلايا الوقود

إنّ خلية الوقود جهاز لتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية. وتعدّ خلايا الوقود أكثر الطرق كفاءة في توليد الكهرباء. بين الشكل 27.18 خلية وقود الهيدروجين - الأكسجين. هذه الخلية لها حجرتان؛ واحدة لدخول وقود الهيدروجين والأخرى لدخول وقود الأكسجين. وتفصل بينهما مجموعة من الأقطاب المسامية.

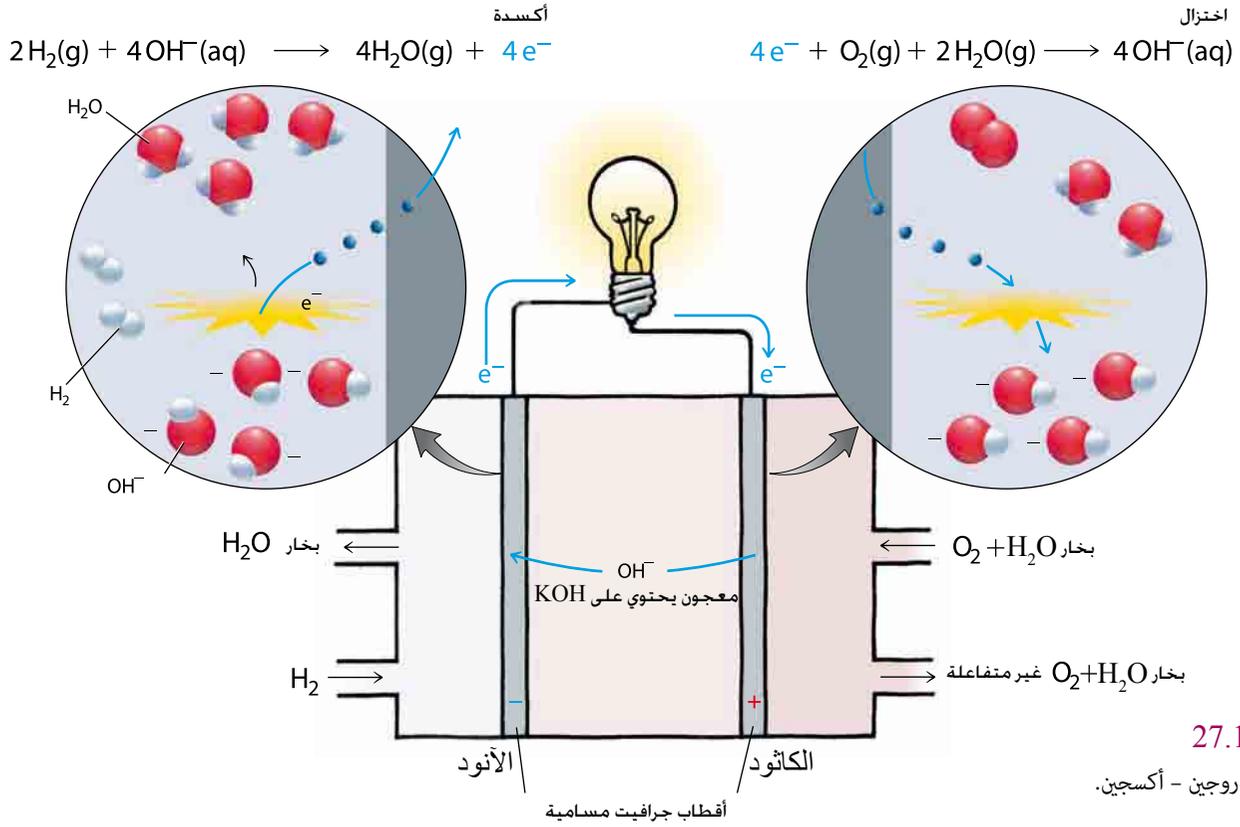


الشكل 26.18

تم بيع 500,000 سيارة مهجنة منذ عام 2006م في أنحاء العالم كله، منها 266,000 تقريباً في الولايات المتحدة. في الأعوام القادمة، تخيل سيارة مهجنة يمكن شحنها بالكهرباء ليلاً في بيتك، واستخدامها في النهار التالي دون استخدام البنزين حتى مسافة 60 ميلاً.

### لمعلوماتك

■ تتحرك الإلكترونات من المصعد السالب إلى المهبط الموجب عند أخذ تيار من البطارية. ولكن، عند إعادة شحنها، تتحرك الإلكترونات من المهبط إلى المصعد. حيث تأتي الإلكترونات اللازمة للاختزال من المهبط. ولأنّ الإلكترونات لا تنتقل إلى المهبط السالب وحدها، بل تجبر على ذلك، فإن عملية إعادة الشحن تستهلك طاقة.



الشكل 27.18

خلية وقود هيدروجين - أكسجين.

يتأكسد الهيدروجين عند تلامسه مع أيونات الهيدروكسيل. وذلك على القطب المواجه للهيدروجين (المصعد). تنساب الإلكترونات الناتجة عن هذا التأكسد عبر دائرة كهربائية خارجية لتزويد الطاقة الكهربائية قبل التقائها بالقطب المقابل للأكسجين (المهبط) يلتقط الأكسجين الإلكترونات في الحال (بتعبير آخر يختزل الأكسجين) ويتفاعل مع الماء لتكوين أيونات الهيدروكسيل. ولإكمال الدارة الكهربائية، تنتقل أيونات الهيدروكسيل هذه عبر الأقطاب المسامية. ومن خلال عجينة هيدروكسيد البوتاسيوم، KOH، تتحد مع الهيدروجين عند القطب المقابل للهيدروجين.

كما توضح معادلة التأكسد الظاهرة في أعلى الشكل 27.18، تتفاعل أيونات الهيدروجين والهيدروكسيل لإنتاج جزيئات الماء ذات الطاقة العالية. والتي تكون على شكل بخار. يستخدم هذا البخار في التسخين أو في توليد الكهرباء في التوربين البخاري. والأفضل من ذلك، أن الماء الذي يتكاثف من البخار يكون نقيًا صالحًا للشرب.

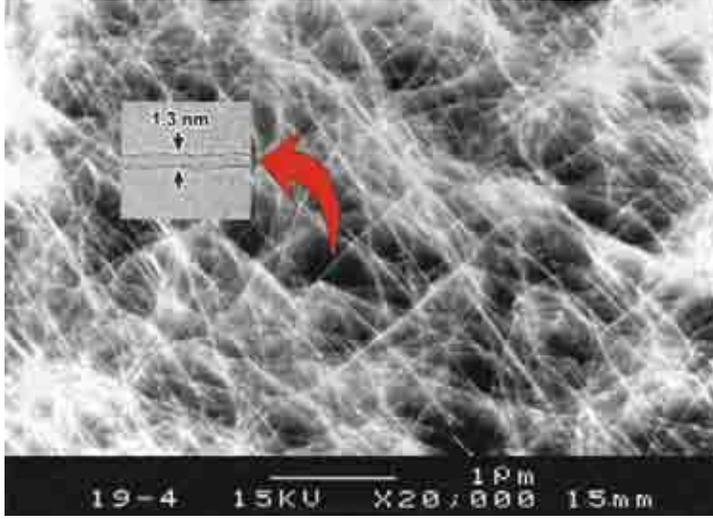
على الرغم من التشابه بين خلايا الوقود وبطاريات الخلية - الجافة، إلا أن خلايا الوقود لا تنضب طالما تزود بالوقود. تستخدم المركبة الفضائية خلايا الوقود لاحتياجاتها الكهربائية. كما أنها تنتج 100 جالون من ماء الشرب لرواد الفضاء خلال مهمة عادية تستغرق أسبوعًا. وبالعودة إلى الأرض، فقد طوّر الباحثون خلايا وقود لاستخدامها في الحافلات والسيارات. وكما يظهر في الشكل 28.18، هناك حافلات تجريبية في العديد من المدن، في فان كوفر، كولومبيا البريطانية، وفي شيكاغو/ إلينوي/ الولايات المتحدة. تنتج هذه الآليات القليل من الملوثات، وذات كفاءة أعلى من السيارات التي تستخدم الوقود الأحفوري.

في المستقبل، سوف تجهز المباني التجارية والمنازل الشخصية بخلايا وقود كبديل عن التزود بالكهرباء (والتدفئة) من محطات القوى المحلية. ويعكف الباحثون على إيجاد نماذج صغيرة من خلايا الوقود، لاستبدال بطاريات الأجهزة الكهربائية المحمولة، كأجهزة الهواتف والحواسيب المحمولة. ويمكن لهذه الأجهزة أن تعمل لفترات زمنية طويلة بكمية وقود يمكن أن تكون موجودة في محلات البقالة.



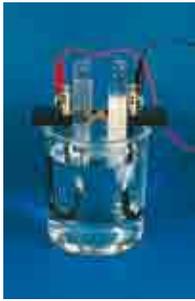
الشكل 28.18

لأن مصدر الطاقة في هذه الحافلة هو خلية الوقود فإن معظم ما ينبعث من عوادمها هو بخار ماء.



### الشكل 29.18

تتكوّن ألياف الكربون المنمنمة (النانوية) من أنابيب دون مجهرية تقريبًا، والتي تتفوق على معظم المواد المعروفة في مقدرتها على امتصاص جزيئات الهيدروجين. وباستخدام ألياف الكربون المنمنمة، يمكن تقليص حجم 36,000 لتر من الهيدروجين إلى مجرد 35 لترًا. إنّ ألياف الكربون المنمنمة حديثة الاكتشاف. ولكن يتطلب المزيد من البحث لتأكيد قدرتها على تخزين الهيدروجين، وتطوير التكنولوجيا اللازمة لذلك.



### الشكل 30.18

تنتج الكهرلة للماء غازي الهيدروجين والأكسجين بنسبة 1:2 بالحجم، وفق الصيغة الكيميائية للماء:  $H_2O$ . ولكي تتم هذه العملية؛ يجب إذابة أيونات في الماء حتى تصل الشحنة الكهربائية إلى الأقطاب.

من المدهش أنّ السيّارة التي تستعمل خلية وقود الهيدروجين – الأكسجين. يمكنها قطع مسافة 500 كم بنحو 3 كجم من الهيدروجين. ولكن، يبلغ حجم هذه الكمية من غاز الهيدروجين على درجة حرارة الغرفة والضغط الجوي 36,000 لتر تقريبًا. أي حجم 4 سيارات متوسطة الحجم على وجه التقريب! إذن، فالعقبة الأساس في تطوير تكنولوجيا خلية الوقود يكمن في الوقود وليس في الخلية. ويمكن حصر هذه الكمية من الغاز في حجم أصغر كثيرًا، كما هو موضح في المركبة التجريبية في فان كوفر.

يتطلب ضغط الغاز طاقة. ونتيجة لذلك تنقص كفاءة خلايا الوقود. وهي الميزة الأساسية لها. كما أنّ تبريد الهيدروجين يواجه مشاكل مشابهة ليصبح في طور السائل. ويأخذ حجمًا قليلًا. لذا، يعكف الباحثون على تطوير طرق إبداعية أخرى لتزويد خلايا الوقود بالهيدروجين. من بين هذه الطرق، إنتاج الهيدروجين من تفاعلات كيميائية ضمن خلية الوقود ذاتها. ومن تفاعلات تتعلق بوقود كسائل مثل الميثانول،  $CH_3OH$ . أو كبديل، يمكن استخدام بعض المواد المسامية. بما في ذلك تلك المطورة حديثًا كألياف النانو كربون المبينة في الشكل 29.18، والتي يمكنها حفظ كميات هائلة من الهيدروجين على سطحها. وتسلك "سلوك إسفنجية" هيدروجين. يعصر الهيدروجين من هذه المواد عند الطلب وذلك بالسيطرة على درجة الحرارة؛ فكلما كانت المادة أسخن أطلقت هيدروجين أكثر.

### نقطة فحص

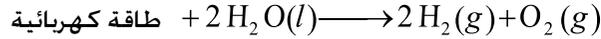
ما دام كان الوقود متوافرًا لخلية الوقود، تستطيع هذه الخلية تزويد الطاقة الكهربائية إلى ما لا نهاية. لماذا لا تفعل البطاريات الشيء نفسه؟

هل كانت هذه إجابتك؟

تزود البطاريات الكهرباء ما دام كان هناك تأكسد واختزال للمواد الكيميائية المتفاعلة التي تحتويها. وعند استهلاك هذه التفاعلات، لا تستطيع هذه البطاريات إنتاج الكهرباء. ومن الممكن أن تعمل بطارية إعادة الشحن مرة أخرى. ولكن بعد انقطاع سريان الكهرباء لتعبئة التفاعلات مرة ثانية.

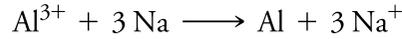
### 7.18 الكهرلة

الكهرلة هي استعمال الطاقة الكهربائية لإنتاج طاقة كيميائية. إنّ إعادة شحن بطارية السيّارة مثلاً على الكهرلة. كما في الشكل 30.18، حيث يمرّر تيار كهربائيّ خلال الماء، وهي عملية تفتت الماء إلى مكوناته العنصرية:



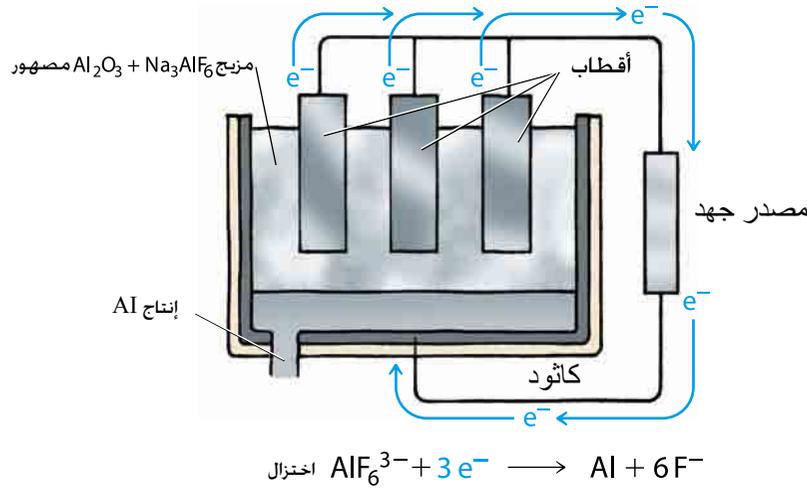
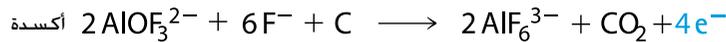
تستخدم الكهرلة لتنقية المعادن من المناجم. ومثال هذا، الألومنيوم وهو العنصر الثالث الأكثر وفرة طبيعيًا في القشرة الأرضية، والذي يوجد متحدًا مع الأكسجين طبيعيًا في المنجم على شكل بوكسيت. لم يعرف الألومنيوم في العالم حتى عام 1827م، عندما تم تفاعل البوكسيت مع حمض الكلوريد.

يعطينا هذا التفاعل أيون الألومنيوم،  $Al^{3+}$ ، والذي يختزل إلى فلز الألومنيوم، حيث يعمل الصوديوم بوصفه عامل اختزال.



هذه الطريقة الكيميائية مكلفة؛ لقد كان ثمن رطل الألومنيوم في ذلك الوقت 100,000 دولار، وكان يعدّ عنصرًا شحيحًا وقيمًا. في عام 1855م، عرضت أدوات الطعام المصنوعة من الألومنيوم وبعض الأصناف الأخرى مع مجوهرات التاج الفرنسي في باريس. وفي عام 1886م، اكتشفت طريقة لاستخلاص الألومنيوم من أكسيد الألومنيوم،  $Al_2O_3$ ، كمكوّن أساسي للبوكسيت، على يد عالِمَيْن عمل كل منهما مستقلاً عن الآخر في الوقت نفسه تقريبًا، وهما شارلز هول (1863–1914) في الولايات المتحدة، وبول هيرولت Paul Heroult في فرنسا (1863–1914). لقد عرفت هذه الطريقة فيما بعد بطريقة هول – هيرولت، والتي تظهر في الشكل 31.18. حيث يمرّ تيار كهربائي قوي خلال خليط مذاب من أكسيد الألومنيوم والكريولايت Cryolite، والموجودة طبيعيًا كفلز. تتفاعل أيونات الفلور في الكريولايت مع أكسيد الألومنيوم لتكوين أيونات فلوريد الألومنيوم المختلفة، مثل والتي بدورها تتأكسد إلى أيون فلوريد الألومنيوم السداسي. ويختزل الـ  $Al^{3+}$  إلى عنصر الألومنيوم الذي يجمع من قاع حجرة التفاعل. إنّ هذه العملية ما زالت تستخدم حتى يومنا هذا من قِبَل الصناعيين، ولقد طُورت بشكل كبير لإنتاج الألومنيوم بكميات كبيرة. وفي عام 1890م، انخفض سعر الألومنيوم ليصل ثمن الرطل منه إلى دولارين.

يبلغ الإنتاج العالمي من الألومنيوم اليوم 16 مليون طن في السنة، ويتطلب لكلّ طنّ من الألومنيوم من المنجم استهلاك 16,000 كيلوات - ساعة من الطاقة الكهربائية، وهذا معدل استهلاك عائلة أمريكية في 18 شهرًا. وفي المقابل، فإنّ تكلفة إعادة تدوير الألومنيوم تستهلك 700 كيلوات - ساعة لكلّ طنّ فقط. وهكذا، فإنّ إعادة التدوير لا يقلل كمية النفايات فقط، ولكنه يساعد في تخفيف الحمولة عن محطات القوى أيضًا، مما يحدّ من تلوث الهواء، إضافة إلى المحافظة على مناجم الألومنيوم العالية الجودة في الولايات المتحدة والتي بدأت تنضب. كما أنّ إعادة التدوير تساهم في تقليل الحاجة إلى تطوير مناجم بوكسيت جديدة في الأفطار الأجنبية.



يمكن أن ينتج التّعبير الكيميائيّ كهرباء. وعليه، فمن المنطق أن تنتج الكهرباء تغييرًا كيميائيًا؛ العلوم الفيزيائية متماثلة.

### معلوماتك

■ نحتاج أجسامنا إلى كميات كبيرة من الطّاقة من أجل البقاء. نحصل على هذه الطّاقة من جزئيات خاصة عالية الطّاقة مثل (ATP)، والتي ينتجها الجسم عن طريق أكسدة جزئيات الطعام بالأكسجين. إذا توقفت عن التنفس، بالخنق مثلًا، فإنّ خلايا جسمك لا تستطيع إنتاج هذه الجزئيات عالية الطّاقة بحرمانها من الأكسجين. وتكون النتيجة الموت المفاجئ؛ ولكن بدلًا من الموت، لماذا لا يطفئ الجسم بالكامل حتى يتوافر الأكسجين ثانية؟ يحدث التلف المميت؛ لأنّ بعض الخلايا تستمر في القيام بأنشطتها حتى مع توافر مستوى قليل من الأكسجين. وتستمر أجزاء منها بالعمل وأجزاء أخرى معطلة، ونتيجة هذا الاختلال في التوازن، تموت الخلية. يكمن السرّ في تأكّدنا من أنّ الخلايا جميعها معطلة تمامًا. وهذا يفسر عودة الحياة أحيانًا للذين يغرقون في المياه المتجمدة حتى بعد مرور ساعة دون تنفس؛ تنعطل خلاياهم جميعها بانتظام بسبب البرد الشديد.

### الشكل 31.18

إنّ درجة انصهار أكسيد الألومنيوم عالية جدًّا (2030°س)، لتحليلها بكفاءة إلى فلز الألومنيوم. عند مزج هذا الأكسيد بفلز الكريولايت، تنخفض درجة الانصهار إلى درجة معقولة 980°س. ويتمير تيار كهربائيّ قويّ خلال مصهور أكسيد الألومنيوم - خليط الكريولايت، ينتج فلز الألومنيوم عند المهبط، حيث تمسك أيونات الألومنيوم إلكترونات، وبهذا تختزل إلى فلز الألومنيوم.



الشكل 32.18

لا يؤدي الصدأ نفسه إلى تلف تراكيب الحديد الذي يتشكّل فوقه. يدمر فقدان الحديد الفلزي سلامة التراكيب لهذه الأجسام.

## لمعلوماتك

■ اكتشف الباحثون أنّ استنشاق الفئران وحيوانات أخرى لغاز كبريتيد الهيدروجين،  $H_2S$ ، بتركيز معينة، يدخلها في مرحلة تتعطل فيها عملياتهم الحيوية. حيث تنذبذب درجة الحرارة عدة درجات فوق درجة حرارة محيطهم. والنتيجة هي دخول الحيوان مرحلة الدم البارد. وهذا ما يحدث للدببة والسناجب عند السبات (البيات الشتوي). الظاهر هو أنّ كبريتيد الهيدروجين يحاكي جزيء الأكسجين،  $O_2$ . تمتص الخلايا  $H_2S$ ، وتحاول استخدامه كما لو أنه أكسجين. ولكن دون قوة الأكسجين المؤكسدة؛ ببساطة تُغلق آليات الخلايا. إنّ إغلاق الخلايا بانتظام هو المفتاح لإعادة العمليات الحيوية للكائن الحي. كما تم نقاشه في (أضف إلى معلوماتك صفحة 460). إذا تم تطبيق هذا على الإنسان، فإنّ توقف عملياته الحيوية يحتمل عدة إمكانيات، بما فيها الحماية ضد حُطم الخلايا المميت بسبب السكتات الدماغية، والنوبات القلبية، وغيرها من الجروح الحرجة. والتي يتضرر بسببها جريان الدم أو تزويده. كما أنّ هذه التكنولوجيا يمكنها مساعدة المتبرعين بالأعضاء أحياناً مدة طويلة قبل عملية الزرع.

الشكل 33.18

إنّ جلفنة المسمار (طلاؤه بالزنك) (أسفل) يحميه من الصدأ، مع التضحية بأكسدة الزنك.

## ■ نقطة فحص

هل يعدّ التفاعل الإكسوثيرمي (الطارد للحرارة) في خلية وقود الهيدروجين - الأكسجين مثلاً على الكهرلة!

هل كانت هذه إجابتك؟

لا: خلال الكهرلة، تستعمل الطّاقة الكهربائية لإنتاج تغيّر كيميائيّ. أمّا في خلية الوقود أكسجين - هيدروجين - فإنّ التغيّر الكيميائيّ يستخدم لإنتاج الطّاقة الكهربائية.

## ■ 8.18 الحتّ والاحتراق

إذا نظرت إلى يمين الجانب العلوي من الجدول الدوري فستجد أكثر عوامل الأكسدة المألوفة؛ إنّه الأكسجين. في الحقيقة، وإن لم تكن قد لاحظت هذا حتى الآن، فإنّ مصطلح الأكسدة مشتق من اسم هذا العنصر. يستطيع الأكسجين انتزاع إلكترونات الكثير من العناصر، وبخاصة تلك التي في أسفل الجدول الدوري من اليسار. وهناك تفاعلان مألوفان من تفاعلات التأكسد - الاختزال يتعلقان بالأكسجين بوصفه عاملاً مؤكسداً هما الحت والاحتراق.

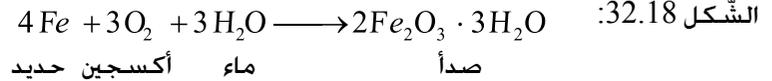
## ■ نقطة فحص

الأكسجين عامل تأكسد جيد. كما هو الكلور. ماذا يشير هذا بالنسبة إلى مواقعهما في الجدول الدوري؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يجب أن يكون كلّ من الكلور والأكسجين في المنطقة نفسها من الجدول الدوري. كما أنّ كليهما له شحنات نووية قوية وفاعلة، إضافة إلى أنّ كلّاً منهما عامل تأكسد قويّ.

الحتّ هو العملية التي يتلف الفلز بها. إنّ التلّف الذي يسببه أكسجين الغلاف الجوي هو مشكلة عامة ومكلفة. مثلاً نحو ربع - الفولاذ المنتج في الولايات المتحدة يستعمل لاستبدال الحديد التالف. مكلّمًا بلايين الدولارات سنويًا. يتلف الحديد عند تفاعله مع أكسجين الغلاف الجوي والماء، مشكّلاً أكسيد الحديد الثلاثي الماء، وهو مادة بنية تميل إلى الاحمرار موجودة طبيعيًا، وتعرف بالصدأ، وهي مبينة في الشكل 32.18:



وهناك عنصر آخر مألوف يتأكسد بالأكسجين هو الألومنيوم، والناج عن أكسدة الألومنيوم هو أكسيد الألومنيوم،  $Al_2O_3$ ، الذي لا يذوب في الماء. وبسبب عدم ذوبانه في الماء، فإنه يشكّل غطاء واقياً يحمي الفلز من مزيد من التأكسد. إنّ هذا الغطاء شفاف، لذا، يحتفظ فلز الألومنيوم بلونه اللامع.



إنّ الغطاء الواقى، المؤكسد والعديم الذوبان في الماء هو الأساس في العملية المعروفة بالجلّفنة. للزنك ميول أكثر قليلاً من الحديد للأكسدة. ولهذا فالعديد من المواد الحديدية، كالمسامير المشاهدة في الشكل 33.18، جلفن بطبقة من الزنك. يتأكسد الزنك إلى أكسيد الزنك، وهو مادة خاملة وبعيدة الذوبان بحيث تحمي الحديد تحتها من الصدأ.

## الشكل 34.18

تساعد شرائح الزنك على حماية هيكل الحديد لناقلة النفط من الأكسدة. ترتبط شرائح الزنك المبيّنة هنا بهيكل السطح الداخلي.

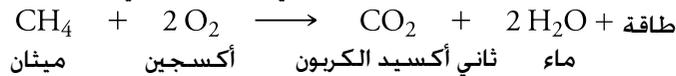


الفلزات المستخدمة لحماية المهابط "تضحى" بنفسها للمصاعد (بفقدان الإلكترونات) وذلك للإبقاء على الفلزات المطلوبة، مثل أنابيب النحاس، دون أكسدة. تسمى هذه الفلزات المضحى بها أحياناً المصاعد القربانية.

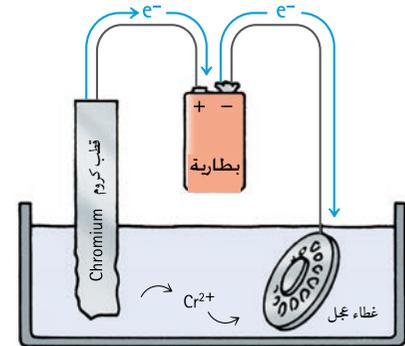
في آلية تسمى الحماية المهبطية، يمكن حماية تراكيب الحديد من الأكسدة بوضعها على اتصال مع فلزات معينة، مثل الزنك أو الماغنسيوم، والتي لها ميل أكبر للتأكسد. وهذا يجبر الحديد على قبول الإلكترونات؛ أي أنه يسلك سلوك المهبط. (يحدث الصدأ حينما يسلك الحديد سلوك المصعد فقط). مثلاً، الناقلات عبر المحيط. محمية من الحث بواسطة أشربة من الزنك مثبتة بهيكلها كما هو مبين في الشكل 34.18. وبالمثل، خمى أنابيب الفولاذ في الخارج بوصلها بقضبان من الماغنسيوم موضوعة تحت الأرض.

إضافة إلى ذلك، هناك طريقة أخرى لحماية الحديد وغيره من الفلزات من التآكسد وهي طلاؤها بفلز مقاوم للحث، مثل الكروم، أو البلاتين، أو الذهب. الطلاء هو عملية تغليف أحد الفلزات بأخر بواسطة الكهرلة. وهذه العملية موضحة في الشكل 35.18؛ يوصل الجسم المراد طلاؤه إلى الطرف السالب لبطارية، ثم يُغمس في محلول يحتوي على أيونات الفلز المراد استخدامه كطلاء. ويوصل الطرف الموجب للبطارية بقطب مصنوع من فلز الطلاء. تُغلق الدارة عند غمس القطب في المحلول، فتجذب أيونات الفلز الذابة إلى الجسم السالب الشحنة، حيث تلتقط الإلكترونات وترسب ذرات الفلز. ومن ثمّ تزود الأيونات في المحلول بالتآكسد الإجباري لفلز التغليف عند القطب الموجب.

**الاحتراق** هو تفاعل تأكسد - اختزال بين مواد غير فلزية والأكسجين الجزيئي. تتميز تفاعلات الاحتراق بأنها إكسوثيرمية (محررة للطاقة). يتشكّل الماء من تفاعل احتراق عنيف بين الهيدروجين والأكسجين. وكما ناقشنا في الجزء 5.17، تستخدم الطاقة الناتجة عن هذا التفاعل لتزويد الصواريخ في الفضاء بالطاقة. وهناك أمثلة مألوفة أخرى على تفاعلات الاحتراق كحرق الخشب، وكذلك حرق الوقود الأحفوري. إنّ حرق هذه المواد وغيرها من المواد الكيميائية ذات الأساس الكربوني ينتج ثاني أكسيد الكربون والماء. خذ على سبيل المثال حرق الميثان، وهو المكون الأساسي للغاز الطبيعي:



في الاحتراق، تنتقل الإلكترونات لتشكيل روابط قطبية بدلاً من الروابط التساهمية غير القطبية أو بالعكس. (هذا بالمقابلة مع الأمثلة الأخرى التي ذكرت عن تفاعلات التآكسد - الاختزال التي أدرجت في هذا الفصل، والتي تتضمن تشكيل أيونات من الذرات، أو بالعكس: أي تكوين ذرات من الأيونات).

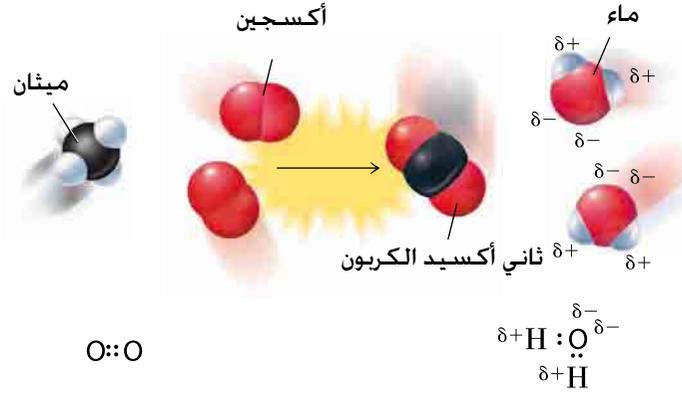


## الشكل 35.18

عند مرور الإلكترونات في غطاء الإطار وإعطائه شحنة سالبة، تتحرك شحنات الكروم الموجبة من المحلول إلى غطاء الإطار، وتختزل إلى فلز الكروم الذي يترسب كطلاء على الغطاء. يزود المحلول بالأيونات عندما تتأكسد ذرات الكروم إلى أيونات  $\text{Cr}^{2+}$  عند المهبط.

## الشكل 36.18

(أ) لا تجذب أي ذرة من جزيء الأكسجين إلكترونات الرابطة أكثر من الأخرى. (ب) تسحب ذرة الأكسجين من جزيء الماء الإلكترونات بعيداً عن ذرة الهيدروجين في جزيء الماء، جاعلة ذرة الأكسجين سالبة أكثر وذرتي الهيدروجين موجبة أكثر.



## لمعلوماتك

■ هناك نوعان من الثقبان: الأول الذي يُضرب في أي مكان. وعادة ما يكون له "عين الثور" والآخر هو "ثقب الأمان" والذي يتطلب ضرب الثقب بأحد جانبي العلبة. كلاهما يتضمن حرق الكبريت من رأس عود الثقب. ولكن محاولة حرق الكبريت باستخدام أكسجين الهواء فقط هي عملية صعبة. ولهذا، يُخلط الكبريت بعامل مؤكسد مثل كلورات البوتاسيوم،  $KClO_3$ . للنوع الأول، نحتاج إلى مادة إضافية ثالثة هي الفوسفور الأحمر،  $P_4$ . تعمل حرارة الاحتكاك على تحويل الفوسفور الأحمر إلى فوسفور أبيض. وهو شكل آخر من الفوسفور. يحترق بسرعة في الهواء. هذا يبدى تفاعل التأكسد - الاختزال بين الكبريت وكلورات البوتاسيوم. والتي بدورها تبدأ الشرر لحرق عود الثقب. يعمل ثقب الأمان بالطريقة نفسها. ما عدا أن الفوسفور الأحمر يُضمن داخل ضارب القشرة. وهو المكان الذي ينار منه الثقب.

(أ) تتشارك ذرات الأكسجين المتفاعلة الإلكترونات بالتساوي في الجزيئات  $O_2$ .

(ب) تسحب ذرات الأكسجين الناتجة الإلكترونات بعيداً من نواة H في الجزيئات  $H_2O$  وتحتزل.

يوضح الشكل 36.18 هذا المفهوم. والذي يقارن بين التركيب الإلكتروني لمواد الاحتراق الابتدائية والأكسجين الجزيئي من جهة ونواجح الاحتراق والماء من جهة أخرى. إن الأكسجين الجزيئي مركب تساهمي غير قطبي. على الرغم من أن لكل ذرة أكسجين في الجزيء شحنة كهروسالبة. ولكن روابط الإلكترونات الأربعة تكون مسحوبة بالقدر نفسه من قبل الذرتين. ولهذا لا تتجمع الإلكترونات على جانب على حساب الجانب الآخر. ولكن بعد الاحتراق. تتشارك ذرات الهيدروجين والأكسجين بالإلكترونات في جزيء الماء. إلا أنها تسحب في اتجاه الأكسجين. وهذا يعطي الأكسجين شحنة سالبة إضافية قليلة. وهذه طريقة أخرى للقول إن ذرة الأكسجين ربحت إلكترونات. وإنها اختزلت. وفي الوقت نفسه. فإن ذرات الهيدروجين في جزيء الماء تطور شحنة موجبة قليلة. وهذه طريقة أخرى للقول إنها فقدت إلكترونات. وتعرضت للأكسدة. إن اكتساب الأكسجين للإلكترونات وخسران الهيدروجين لها هي عملية تتحرر فيها الطاقة. إن الطاقة تتحرر عادة على شكل طاقة حركية جزيئية (حرارة) أو على شكل ضوء (لهب).

من المدهش. أن تفاعلات التأكسد - الاختزال تحدث خلال جسمك. يمكنك تصوّر نموذج مبسط لعمليات الأيض بمراجعة الشكل 36.18، والتعويض عن الميثان بجزيء الطعام. تتخلى جزيئات الطعام عن إلكتروناتها لجزيئات الأكسجين التي تستنشقها. وتكون نواجح غاز ثاني أكسيد الكربون والماء والطاقة. يخرج الإنسان في عملية الزفير ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء. والكثير من الطاقة يستخدم للمحافظة على درجة حرارة الجسم (تدفئة الجسم). وكذلك لتفعيل الكثير من التفاعلات الكيموحيوية الضرورية للحياة).

## ملخص المصطلحات

**التعادل Neutralization:** تفاعل يتم بإحاد الحمض والقاعدة لتكوين الملح.  
**الأمفوتيرية Amphoteric:** وصف للمادة التي يمكن أن تسلك سلوك الحمض أو سلوك القاعدة.  
**المحلول الحمضي Acidic solution:** محلول يكون فيه تركيز أيونات الهيدرونيوم أكثر من تركيز أيونات الهيدروكسيل.

**الحمض Acid:** مادة تعطي أيونات الهيدروجين.  
**القاعدة Base:** مادة تأخذ أيونات الهيدروجين.  
**أيون الهيدرونيوم Hydronium ion:** جزيء الماء بعد اكتسابه أيون هيدروجين.  
**أيون الهيدروكسيل Hydroxide ion:** جزيء الماء بعد فقدانه أيون هيدروجين.  
**الملح Salt:** مركب أيوني يتشكل من تفاعل الحمض والقاعدة.

الكيمياء الكهربيّة **Electrochemistry**: فرع من الكيمياء يهتم بالعلاقة بين الطّاقة الكهربيّة والتّغير الكيميائيّ.  
**القطب Electrode**: أي مادة توصل الإلكترونيات من وسط حدوث التّفاعل الكهروكيميائيّ أو إليه.  
**الكاثود Cathode**: القطب الذي يحدث عليه الاختزال.  
**الأنود Anode**: القطب الذي يحدث عليه التّأكسد.  
**الكهولة Electrolysis**: استخدام الطّاقة الكهربيّة لإحداث تغير كيميائيّ.  
**الحث Corrosion**: انحلال الفلز في العادة بفعل أكسجين الغلاف الجويّ.  
**الاحتراق Combustion**: تفاعل تأكسد - اختزال منتج للحرارة بين مادة غير فلزية والأكسجين الجزيئيّ.

**المحلول القاعديّ Basic solution**: محلول يكون فيه تركيز أيون الهيدروكسيل أكثر من تركيز أيون الهيدرونيوم.  
**المحلول المتعادل Neutral solution**: محلول يكون فيه تركيز أيونات الهيدرونيوم مساويًا لتركيز أيونات الهيدروكسيل.  
**pH**: مقياس لدرجة حموضة المحلول يساوي سالب لوغاريتم للأساس 10 لتركيز أيون الهيدرونيوم.  
**التّأكسد Oxidation**: عملية يفقد فيها المتفاعل واحدًا أو أكثر من إلكتروناته.  
**الاختزال Reduction**: عملية يكتسب فيها المتفاعل واحدًا أو أكثر من إلكتروناته.  
**نصف تفاعل Half reaction**: جزء واحد من تفاعل التّأكسد - الاختزال. يُثَلِّ بمعادلة حيث تظهر الإلكترونيات كمتفاعلات أو كنواتج.

## أسئلة مراجعة

بناءً على إنتاج ثاني أكسيد الكربون نتيجة الأنشطة البشرية؟

### 5.18 فقدان الإلكترونات واكتسابها

15. أيّ العناصر لها ميل أعظم لتسلك سلوك عوامل مؤكسدة؟
16. اكتب معادلة نصف التّفاعل حيث تتأكسد فيه ذرة البوتاسيوم. K.
17. ما الفرق بين العامل المؤكسد والمختزل؟
18. أيّ العناصر لها ميل أعظم للسلك كعوامل اختزال؟

### 6.18 حصاد طاقة الإلكترونات المتحركة

19. ما الكهولة؟
20. ما الهدف من جسر الملح في الخلية الفولتية؟
21. ما نوع التّفاعل الذي يحدث على المهبط؟
22. ما نوع التّفاعل الذي يحدث على المصعد؟
23. ما الفرق الجوهرى بين البطارية وخلية الوقود؟

### 7.18 الكهولة

24. ما الكهولة؟ وكيف تختلف عمّا يحدث داخل البطارية؟
25. أعط مثالاً على فلز ينتج أساساً بالكهولة.

### 8.18 الحث والاحتراق

26. ما الشئ المشترك بين أكسدة كلّ من الزنك والألومنيوم؟
27. ما الفلز الذي يغلف المسامير المجلفن؟
28. اذكر بعض الفروق بين الحث والاحتراق؟
29. ما الذي يجبر الحديد على أخذه خلال الحماية المهبطية؟
30. ماذا يحدث لقطبية ذرات الأكسجين عندما يتحول من الأكسجين الجزيئيّ  $O_2$  إلى جزيئات ماء  $H_2O$ ؟

### 1.18 الأحماض تعطي البروتونات، والقواعد تأخذها

1. ما تعريفات برونستد- لوري للحمض والقاعدة؟
2. ما الأيون الذي يكونه الماء عندما يذوب الحمض في الماء؟
3. عندما تفقد المادة الكيميائيةّ أيون هيدروجين، هل تسلك سلوك الحمض أم القاعدة؟

### 2.18 الشدّة النسبيّة للأحماض والقواعد

4. ماذا يعني أنّ الحمض قويّ في محلول مائيّ؟
5. لماذا يوصل محلول الحمض القوي الكهربيّ أفضل من محلول الحمض الضعيف للتركيز نفسه؟
6. متى يكون محلول قاعدة ضعيف أكثر حثًا من محلول قاعدة قويّ؟

### 3.18 المحاليل الحمضية، والقاعدية، والمتعادلة

7. هل الماء حمض قوي أم ضعيف؟
8. ما الصحيح حول التراكيز النسبيّة لأيونات الهيدرونيوم والهيدروكسيل في المحلول الحمضيّ؟ ماذا عن المحلولين المتعادل والقاعديّ؟
9. لإم يشير pH للمحلول؟
10. هل تزداد pH للمحلول أم تنقص عندما يزداد تركيز أيون الهيدرونيوم في المحلول؟

### 4.18 المطر الحمضيّ والمحيطات القاعدية

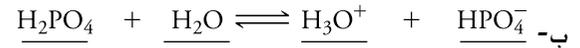
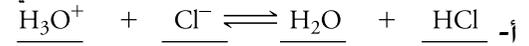
11. ما الناتج عن التّفاعل بين ثاني أكسيد الكربون والماء؟
12. ما علاقة ثاني أكسيد الكبريت بالمطر الحمضيّ؟
13. كيف ينتج البشر ثاني أكسيد الكبريت الملوّث للهواء؟
14. لماذا لا ترتفع مستويات ثاني أكسيد الكربون بالسرعة المتوقعة؟

## تمارين

1. يتفاعل الحمض مع القاعدة لتكوين ملح يتكون من أيونات موجبة وأخرى سالبة. أيهما يكون الأيونات الموجبة: الحمض أم القاعدة. وأيها يكون الأيونات السالبة؟

2. يتكون الماء من تفاعل بين الحمض والقاعدة. لِمَ لا يصنّف الماء على أنه ملح؟

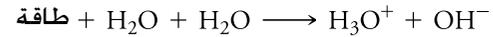
3. حدّد سلوك الحمض من القاعدة لكلّ مادة في التفاعلين الآتيين:



4. ماذا يحدث لخصائص الحثّ لكلّ من الحمض والقاعدة بعد أن يعادل كلّ منهما الآخر؟ لماذا؟

5. لماذا لا نستخدم مقياس pH للإشارة إلى حمضية المحلول بدلاً من ذكر تركيز أيون الهيدرونيوم؟

6. يكون التفاعل الأمفوترى بين جزيئات الماء إندوثيرميًا (مأصًا للحرارة). وهذا يعني أنّ التفاعل يتطلب طاقة حرارية ليبدأ:



وكلما كان الماء ساخناً توافرت الطّاقة لهذا التفاعل. وكلما كثر تكونت أيونات كلّ من الهيدرونيوم والهيدروكسيل.

أ-أيهما له pH أعلى: الماء التّقيّ الساخن أم الماء التّقيّ البارد؟

ب-هل من المحتمل أن يكون الماء متعادلاً ولكن الـ pH له أكبر أو أقل من 7.0؟

7. ما تركيز أيونات الهيدرونيوم في المحلول الذي له pH له (-3)؟ لماذا يستحيل تخضير مثل هذا المحلول؟

8. ماذا يحصل لـ pH محلول حمضي عند إضافة الماء التّقيّ إليه؟

9. هل يمكن التخفيف من حمضية محلول بإضافة محلول حمضي إليه؟

10. العديد من الجزيئات التي تُكسب السمك المطهي رائحة هي مركبات قاعدية. كيف يمكن بسهولة تحويل هذه الجزيئات ذات الرائحة إلى أملاح قليلة الرائحة قبيل تناوله؟

11. يعتمد مدى استعداد الحمض على التبرع بأيون الهيدروجين على مقدرة الحمض للتلاؤم مع الشحنة السالبة التي تكتسبها بعد تبرعها. أيهما يكون الحمض الأقوى: الماء أم حمض فوق الكلوريد؟ لماذا؟



ماء

حمض فوق هيدروكلوريك

12. إذا صببت خللاً على رمل شاطئ الكاربيبي. فسينتج كثير من الرغوة والفقاقيع. أمّا إذا صببته على رمل شاطئ كاليفورنيا. فلا يحدث شيء. لماذا؟

13. لماذا تكون رابطة H—F أقوى كثيراً من رابطة H—I؟ (مساعدة: خذ في الحسبان الحجم الذري.)

14. أيّ الرابطين أسهل للتحطيم: H—F أم H—I؟

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ◆ خبير

15. أيّ الحمضين الأقوى: H—F أم H—I؟

16. المكوّن الرّئيس لمادة المبيض هو فوق كلورات الصوديوم.

17. ما النواج التي تتكوّن عند تفاعل هذا المركب مع حمض الهيدروكلوريك، HCl: منظف الحمامات؟

18. ماذا يحدث لـ pH الماء الصّودا عندما يفقد الكربنة؟

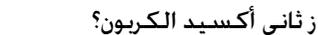
19. كيف يمكنك أن تعرف ما إذا كان معجون الأسنان الذي تستعمله يحتوي على كربونات الكالسيوم، CaCO<sub>3</sub>. أو ربما صودا الخبز (بيكربونات الصّودا) NaHCO<sub>3</sub>. دون النظر إلى بطاقة المكونات؟

20. لماذا تميل البحيرات التي تقع في الأحواض الجرانيتية إلى الحمض عندما يحدث المطر الحمضيّ أكثر من تلك التي تكون أحواضاً كلسية؟

21. كيف تسرّع المحيطات الساخنة عملية الاحتباس الحراري؟

22. ماذا يحدث لـ pH لمحلول 1M من حمض الكلوريك، HCl. عندما ينفخ فيه غاز ثاني أكسيد الكربون؟

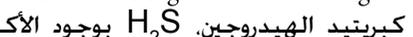
23. أيّ العناصر تتأكسد وأبها تختزل في المعادلة التالية؟



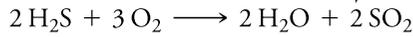
24. أيّ العناصر يسلك سلوك عامل مؤكسد. وأيّ الفلزات يسلك سلوك عامل مختزل في التفاعل التالي؟



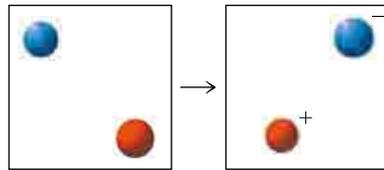
25. يحترق كبريتيد الهيدروجين، H<sub>2</sub>S بوجود الأكسجين، O<sub>2</sub>. لإنتاج الماء وثاني أكسيد الكبريت، SO<sub>2</sub>. هل يتأكسد الكبريت من خلال هذا التفاعل أم يختزل؟



26. تتفاعل الأحماض الدهنية غير المشبعة، مثل C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>2</sub>. مع غاز الهيدروجين. لتكوين الأحماض الدهنية المشبعة مثل C<sub>12</sub>H<sub>24</sub>O<sub>2</sub>. هل تتأكسد الأحماض الدهنية غير المشبعة في هذه العملية أم تختزل؟



27. أيّ الذرّات تأكسدت: الحمراء أم الزرقاء؟



28. في التمرين السابق. أيّ الذرّات تسلك سلوك عامل مؤكسد: الحمراء أم الزرقاء؟

29. ما الارتباط الذي تتوقعه بين الكهروسالبية للعنصر (الجزء 6.15) وقدرته على سلوك كعامل مؤكسد؟ ماذا عن قدرته على السلوك كعامل مختزل؟

30. تكون ذرّات الحديد، Fe. عوامل مختزلة أفضل من أيونات النحاس، Cu<sup>2+</sup>. في أيّ اتجاه تنساب الإلكترونات عندما يُغمّر مسمار حديد في محلول أيونات النحاس Cu<sup>2+</sup>؟

37. ● يحتاج جسم الإنسان إلى الحديد من نوع أيون  $Fe^{2+}$  لصحة جيدة. تحتوي الحبوب المقوية بالحديد. عادة. على مقدار ضئيل من فلز الحديد.  $Fe$ . ما الذي يجب على الجسم فعله للاستفادة من فلز الحديد هذا: أكسدة أم اختزال؟
38. ■ لماذا تكون تفاعلات الاحتراق منتجة للحرارة عادة؟
39. ■ 88.88% من كتلة الماء أكسجين. تحتاج النار إلى الأكسجين لتشتد وتقوى. إذن. لماذا لا تشتد النار وتقوى عند إضافة الماء إليها؟
40. ■ لذرات الحديد ميل أكبر من ذرات النحاس إلى الأكسدة. هل هذا جيد أم سيء للمنزل الذي فيه كثير من المواسير المصنوعة من أنابيب الحديد والنحاس التي يرتبط بعضها مع بعض؟ فسّر ذلك.
41. ■ لذرات النحاس ميل أكبر من ذرات الحديد إلى الاختزال. هل هذا جيد أم سيء لتمثال الحرية الذي نحاسه الخارجي مدعوم بأدراع من الفولاذ؟
42. ■ عندما يلعب البرق. تتفاعل جزيئات كل من النيتروجين.  $N_2$ . والأكسجين.  $O_2$ . في الهواء لتشكيل النترات  $NO_3^-$ . والتي تنزل مع المطر لتخصّب التربة. هل هذا مثال على الأكسدة أم الاختزال؟
43. ● لماذا يكون الهواء فوق اللهب المفتوح رطباً دائماً؟
44. ■ كيف يمكن استخدام الكهرلة لرفع هيكل سفينة غارقة؟
45. ■ يُؤيِّض الطعام عند هضمه بالتتابع. هل يتأكسد الطعام تدريجياً أم يختزل؟ ما أدلتك على ذلك؟

31. ◆ من المصادر الرئيسية لغاز الكلور.  $Cl_2$ . هو من التحليل الكهربائي للمياه الشديدة الملوحة.  $NaCl(aq)$ . ما المنتجات الثانوية الأخرى التي نحصل عليها نتيجة هذا التحليل الكهربائي؟ اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة.
32. ■ البنسات الأمريكية المصنوعة بعد عام 1982م مصنوعة من فلز الخارصين.  $Zn$ . ومغطاة بفلز النحاس.  $Cu$ . تسهل أكسدة الخارصين أكثر من النحاس. إذن. لماذا لا تتآكل هذه البنسات بسرعة؟
33. ■ المعادلة الكيميائية العامة للتمثيل الضوئي مبينة أدناه. من خلال هذا التفاعل. هل يتأكسد الكربون أم يختزل؟
- $$6 CO_2 + 6 H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6 O_2$$
34. ● المعادلة الكيميائية لحرق البروبان.  $C_3H_8$ . مبينة أدناه. من خلال هذه المعادلة. هل يتأكسد الكربون أم يختزل؟
- $$C_3H_8 + 5 O_2 \longrightarrow 3 CO_2 + 4 H_2O$$
35. ◆ يجب وزن المعادلات الكيميائية. ليس من حيث عدد الذرات فقط. ولكن أيضاً من ناحية الشحنة. أي أنّ عدد الذرات ليس هو الذي يجب أن يتساوى قبل السهم وبعده في المعادلة فقط. ولكن أيضاً الشحنة. خذ ذلك في الحسبان حين تزن المعادلة الكيميائية التالية:
- $$Sn^{2+} + Ag \longrightarrow Sn + Ag^+$$
36. ■ أجر التمرين 35 قبل محاولة وزن كل من الذرات والشحنات للمعادلة التالية:
- $$Fe^{3+} + I^- \longrightarrow Fe^{2+} + I_2$$

## مسائل

5. ■ عندما يكون الـ pH لمحلول هو 1. يكون تركيز أيونات الهيدرونيوم  $1.0 M = 10^{-1} M$ . افترض أنّ حجم هذا المحلول 500 مللمتر. فما الـ pH بعد إضافة 500 مللمتر من الماء النقي؟ تحتاج إلى آلة حاسبة وتستطيع حساب اللوغاريتم للإجابة عن هذا السؤال.
6. ■ بين أنّ الـ pH لمحلول هو (-0.301) عندما يساوي تركيز أيون الهيدرونيوم 2.0 M. هل المحلول حمضي أم قاعدي؟

1. ● أثبت أنّ تركيز أيون الهيدروكسيل في محلول مائي  $1 \times 10^{-4} M$  عندما يكون تركيز أيون الهيدرونيوم هو  $1 \times 10^{-10} M$ .
2. ● إذا كان تركيز أيون الهيدرونيوم لمحلول هو  $1 \times 10^{-10} M$ . فما الـ pH لهذا المحلول؟ هل المحلول حمضي أم قاعدي؟
3. ● إذا كان تركيز أيون الهيدرونيوم لمحلول هو  $1 \times 10^{-4} M$ . فما الـ pH لهذا المحلول؟ هل هذا المحلول حمضي أم قاعدي؟
4. ● بين أنّ تركيز أيون الهيدروكسيد هو  $1 \times 10^{-9} M$  لمحلول مائي الـ pH له تساوي 5.

## أنشطة استكشافية

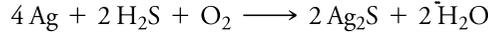
### الملفوف الملون



يوجد العديد من الدلائل على الـ pH في النباتات. صبغات الملفوف الأحمر تعدّ مثلاً جيداً على هذا. تكون هذه الصبغات حمراء عند قيم pH منخفضة (5 - 6)، وبنفسجية فاتحة حول قيم (7 - 8) pH. وخضراء فاتحة. قاعدية معتدلة. عند قيم (8 - 11) pH. وخضراء داكنة قاعدية مركزة. عند قيم الـ pH (12 - 14).

احتياطات السلامة العامة: استعمل نظارة واقية. ولا تستخدم منتجات الكلور.

النصف كما يلي:



يتبين من هذه المعادلات أنّ كبريتيد الهيدروجين يسبب فقدان الفضة للإلكترونات للأكسجين. ولإرجاع الفضة إلى حالتها الفلزية اللامعة: يجب إرجاع الإلكترونات التي فقدتها له. ولكن الأكسجين لا يتخلى عن الإلكترونات للفضة. أمّا ذرات الألومنيوم فتستطيع فعل ذلك بالارتباط المناسب.

### الأدوات والمواد المطلوبة

وعاء ألومنيوم نظيف جداً (أو وعاء من غير الألومنيوم أو رقائق الألومنيوم). ماء. بيكربونات الصوديوم. قطعة فضة فاقدة للمعان.

### طريقة العمل

1. ضع نحو لتر من الماء. وعدة ملاعق من بيكربونات الصوديوم في وعاء ألومنيوم (أو في الوعاء من غير الألومنيوم والذي يحتوي على رقائق الألومنيوم).
2. سخّن الماء حتى يغلي. ثم أبعدها عن مصدر الحرارة.
3. اغمر قطعة الفضة الفاقدة للمعان ببطء. ستري آثاراً مباشرة عند اتصال قطعة الفضة بالألومنيوم. (أضف بيكربونات صوديوم إن لم تر الأثر مباشرة). أيضاً، بمجرد قبول أيونات الفضة للإلكترونات من الألومنيوم. ومن ثم تختزل إلى ذرات الفضة اللامعة. فإنّ أيونات الكبريت تصبح حرة لتشكيل غاز كبريتيد الهيدروجين. والتي ترجع ثانية إلى الهواء؛ يمكنك شمّ رائحته!
- يكون دور بيكربونات الصوديوم كمحلول أيوني موصلاً يسمح للإلكترونات بالحركة من ذرات الألومنيوم إلى ذرات الفضة. ما ميزة هذه الطريقة مقارنة بطريقة صقل الفضة بمعجون أكّال؟
- يزيل الصقل بمعجون أكّال كلاً من الطبقة غير اللامعة وبعض ذرات الفضة. وعليه، فإنّ الأواني المطلية بالفضة التي تصقل بهذه الطريقة يمكن أن تفقد طلاءها الفضي. وبالعكس، فإنّ إعادة الفضة ولمعانها. تتم بطريقة الألومنيوم. أمّا القطع الكبيرة التي لا يمكن وضعها داخل إناء، فحاول مسحها بلطف بمعجون من كربونات الصوديوم والماء. مستعملاً رقائق الألومنيوم كقماش للمسح.

### الأدوات المواد المطلوبة

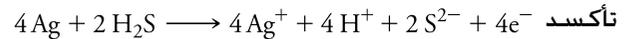
1. رأس من الملفوف الأحمر. وعاء صغير. ماء. أربع كؤوس بلاستيكية غير ملونة. منظف حمامات. خلّ. صودا الخبز. مطهر أمونيا.

### طريقة العمل

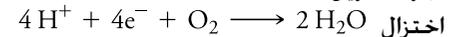
1. اغلّ كأساً من الملفوف المقطع في كأسين من الماء (5 دقائق). اعصر الحساء واجمعهم.
  2. اسكب ربع الحساء في كلّ كأس واتركها لتبرد.
  3. أضف كمية قليلة من منظف الحمامات إلى الكأس الأولى. وكمية قليلة أخرى من الخلّ إلى الكأس الثانية. وصودا الخبز إلى الكأس الثالثة. ومحلول الأمونيا إلى الكأس الرابعة.
  4. استخدم الألوان المختلفة لتقدير قيم pH.
  5. امزج بعض المحاليل الحمضية والقاعدية معاً. ولاحظ التغيّر السريع في pH (كما يستدلّ من تغير اللون).
- لا يحدث التغيّر في مؤشر pH دائماً. لإثبات ذلك؛ أضف مقدار ملعقة شاي من صودا الخبز (بيكربونات الصوديوم) إلى الكأس الذي أضفت إليها الخلّ. (لماذا ينتج إضافة صودا الخبز فقاقيع؟) أضف الخلّ مرة أخرى لإعادة اللون الأحمر.

### تبطين الفضة

إنّ فقدان لمعان الأواني الفضية هو بسبب غلاف كبريتيد الفضة.  $\text{Ag}_2\text{S}$ . وهو مركب أيوني يتكون من أيونين من الفضة  $\text{Ag}^+$  وأيون واحد من الكبريت.  $\text{S}^{2-}$ . يبدأ انطفاء اللمعان على الأواني الفضية عندما تتحد ذرات الفضة في هذه الأواني مع كبريتيد الهيدروجين.  $\text{H}_2\text{S}$ . الموجود في الجو. وهو غاز ذو رائحة كريهة ينتج عن هضم الأغذية في الحيوانات الثديية وغيرها من الكائنات الحية. نصف التفاعل للفضة وكبريتيد الهيدروجين كالآتي:



تتحد أيونات الفضة مع أيونات الكبريت لتشكيل كبريتيد الفضة المائل للسواد. وفي الوقت نفسه، تتحد أيونات الهيدروجين مع الأكسجين في الجو لتكوين الماء:



تعطى المعادلة الكيميائية لفقدان لمعان الفضة. لمجموع معادلتني

### اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيداً، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر أفضل إجابة لكل سؤال مما يلي:

1. العلاقة بين أيون الهيدروكسيل وجزء الماء هي أنّ:
  - أ. أيون الهيدروكسيل جزء ماء زائد بروتون.
  - ب. أيون الهيدروكسيل وجزء الماء هما الشيء نفسه.
  - ج. أيون الهيدروكسيل جزء ماء ناقص نواة الهيدروجين.
  - د. أيون الهيدروكسيل جزء ماء زائد إلكترونين إضافيين.

2. هيدروكسيل الصوديوم، NaOH، قاعدي قوي. وهذا يعني أنه يقبل أيونات الهيدروجين بسهولة. إنّ النواتج المتكوّنة عندما يأخذ هيدروكسيل الصوديوم أيون الهيدروجين من جزء الماء هي:
  - أ. الماء وهيدروكسيل الصوديوم.
  - ب. هيدروكسيل الصوديوم وأيونات الهيدرونيوم.
  - ج. أيونات الصوديوم وأيونات الهيدرونيوم.
  - د. أيونات الصوديوم والماء.
3. عندما يساوي تركيز أيون الهيدرونيوم 1M، فما pH للمحلول؟ هل المحلول حمضي. أم قاعدي. أم متعادل؟

- أ. pH = 0. حَمُضي.  
 ب. pH = 1. حَمُضي.  
 ج. pH = 10. قاعدي.  
 د. pH = 7. متعادل.
4. أضيف حَمُض ضعيف لمُحلول من حَمُض الهيدروكلوريك القوي. هل يصبح المُحلول أكثر حَمُضية، أم أقل حَمُضية، أم يبقى كما هو؟  
 أ. أكثر حَمُضية؛ لأنه يصبح هناك أيونات هيدرونيوم أكثر في المُحلول.  
 ب. أقل حَمُضية؛ لأنّ المُحلول يصبح مخففاً أكثر مع تركيز أقلّ لأيون الهيدرونيوم المضاف للمُحلول.  
 ج. لا تتغير الأحماضة؛ لأنّ تركيز حَمُض الكلوريد عالٍ بحيث لا يحدث تغير بإضافة المُحلول الضعيف.  
 د. أقل حَمُضية؛ بسبب زيادة تركيز أيونات الهيدروكسيل.
5. إنّ قطعة الطباشير مفيدة في إزالة عُسْر الهضم لأنّ:  
 أ. كربونات الكالسيوم قاعدة وتُعادِل الأحماض الزائدة.  
 ب. كربونات الكالسيوم تمتص الحَمُض الزائد وحمله إلى خارج النظام.  
 ج. كربونات الكالسيوم تُضيف بطانة إضافية لحماية المعدة من الحَمُض الزائد.  
 د. كربونات الكالسيوم قد تحوّل الحَمُض إلى غاز يريح المعدة من زيادة الحَمُض الزائد.
6. أيّ العناصر تتأكسد، وأيّها تختزل في التفاعل التالي؟  

$$\text{Sn}^{2+} + 2\text{Ag} \longrightarrow \text{Sn} + 2\text{Ag}^+$$
  
 أ. يتأكسد أيون القصدير  $\text{Sn}^{2+}$  ويختزل أيون الفضة، Ag.  
 ب. يختزل أيون القصدير  $\text{Sn}^{2+}$  ويتأكسد أيون الفضة.  
 ج. يتأكسد كلٌّ من أيون القصدير  $\text{Sn}^{2+}$  والفضة، Ag.  
 د. يتأكسد كلٌّ من أيون القصدير  $\text{Sn}^{2+}$  والفضة، Ag.
7. تتعلق كهروسالبية الذّرات بقدرتها على التّأكسد بالكيفية الآتية:  
 أ. كلما زادت كهروسالبية الذرة زادت قدرتها على التّأكسد.  
 ب. كلما نقصت كهروسالبية الذرة نقصت قدرتها على التّأكسد.  
 ج. كلما زادت كهروسالبية الذرة قلّت قدرتها على التّأكسد.  
 د. لا تؤثر كهروسالبية الذرة في قدرتها على التّأكسد.
8. في إنتاج الألومنيوم، فلز الصوديوم:  
 أ. يتأكسد.  
 ب. يختزل.  
 ج. يتأكسد ويختزل.  
 د. لا يتأكسد ولا يختزل.
9. تدوم البطارية التي لها جدران سميكة من الخارصين أكثر من تلك التي تكون جدرانها رقيقة لأنّ:  
 أ. جدران الخارصين السميكة تمنع البطارية من السخونة العالية.  
 ب. جدران الخارصين السميكة تمنع الإلكترونات من الضياع في البيئة المحيطة.  
 ج. البطارية تحتفظ بالحَمُض.  
 د. جدران الزنك تتحول إلى أيونات زنك عندما تزود البطارية الكهرباء.
10. المعادلة الكيميائية العامة للتركيب الضوئيّ مبينه أدناه. من خلال هذه المعادلة، هل يتأكسد الأكسجين في جزيئات الماء أم يُختزل؟  

$$6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$$
  
 أ. يتأكسد أكسجين جزيئات الماء.  
 ب. يختزل أكسجين جزيئات الماء.  
 ج. يتأكسد جزء من أكسجين جزيئات الماء في حين يُختزل الجزء الآخر.  
 د. لا يتأكسد أكسجين جزيئات الماء ولا يُختزل.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

10، 6، 8، 2، 9، 5، 4، 3، 2، 1

## اكتشف المزيد

<http://www.alminum.org>

على موقع جمعية الألومنيوم، ستجد حقائق أساسية عن صناعة الألومنيوم، وجهود التدوير، وتأثير استخدام الألومنيوم على البيئة.

<http://www.calcars.org/vehices.html>

التي تعلم المزيد حول مكونات السيارات الهجينة (PHEVs) من على هذا الموقع التابع لمبادرة السيارات في كاليفورنيا، والذي يدعم تشجيع كفايات الوقود لأكثر من 100 ميل/جالون.

<http://www.fuelcellworld.org>

استخدم خلايا الوقود ككلمة مفتاحية في البحث عن عدد من الشركات الخاصة المكرسة لتحسين كفاءة خلايا الوقود وتعميم استعمالها. إن خلايا الوقود هي بالتأكيد موجه المستقبل.

<http://www.epa.gov>

قم زيارة الصفحة الرئيسية لوكالة حماية البيئة واستخدام المطر الحمضي ككلمة مفتاحية في موقع بحث الوكالة لتجد الكثير من المقالات حول هذا الموضوع.

[http://mlso.hao.ucar.edu/cgi-/mlso\\_homepage.cgi](http://mlso.hao.ucar.edu/cgi-/mlso_homepage.cgi)

يعد هذا الموقع مشاريع الغلاف الجوي حول المناخ. التابعة لمختبر تشخيص وربط المناخ في رصد ماوند لوا الشمس. كما يتضمن المرجع روابط مع شبكة اكتشاف تغيرات الستراتوسفير.

<http://householdproducts.nlm.nih.gov/products.htm>

استخدم قاعدة بيانات المنتجات المنزلية التابعة لمكتبة الطب الوطنية لتعليم المزيد حول طبيعة هذه المنتجات الكيميائية الطبيعية مثل مركبات العناية الشخصية بها، الفنون والأشغال اليدوية، مبيدات الحشرات، العناية بالحديقة، ومنتجات السيارات.

## الفصل 18 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

18.27 ■

دروس تعليمية

- طبيعة الأحماض والقواعد
- الأحماض والقواعد القوية والضعيفة
- مقياس درجة الحموضة

أشرطة فيديو

- بعض الأحماض والقواعد أقوى من بعضها الآخر
- مياة المطر حمض ومياه المحيط قاعدة
- تكوين رمال الشاطئ

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط



# المركبات العضوية



■ إن قدرة ذرات الكربون على ارتباط بعضها ببعض فريدة. ولهذا فإنها تشكّل جزيئات مكونة من ذرات كربون عديدة. أضف إلى هذه الحقيقة أنّ ذرات الكربون يمكنها الارتباط بذرات عناصر أخرى. وعندئذٍ يمكنك تصور احتمالية عدد غير متناهٍ من الجزيئات المختلفة أساسها الكربون إنّ لكلّ جزيء مجموعة من الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية الفريدة. فمثلاً، نشمّ نكهة الفانيليا حين تمتص الأعضاء الحسية في الأنف مركب *الفانلين*، يتكون هذا المركب من حلقة من ذرات كلّ من الكربون والأكسجين مرتبطة بطريقة معينة. يكون الفانلين هو المكون الأساس في أيّ شيء له نكهة الفانيليا؛ ولا توجد نكهة فانيليا دون الفانلين. وفي المقابل تتشكل نكهة الشوكولاتة عندما يمتص الأنف مجموعة من الجزيئات أساسها الكربون، وليست ناتجة عن امتصاص جزيء واحد فقط.

# 19

1.19 مركبات كربون الهيدروجين  
(الهيدروكربونات)

2.19 الهيدروكربونات غير المشبعة

3.19 المجموعات الوظيفية

4.19 الكحولات، والفينولات والإثيرات

5.19 الأمينات وأشباه القلويات

6.19 المركبات الكربونية (مركبات الكربونيل)

7.19 المبلمرات



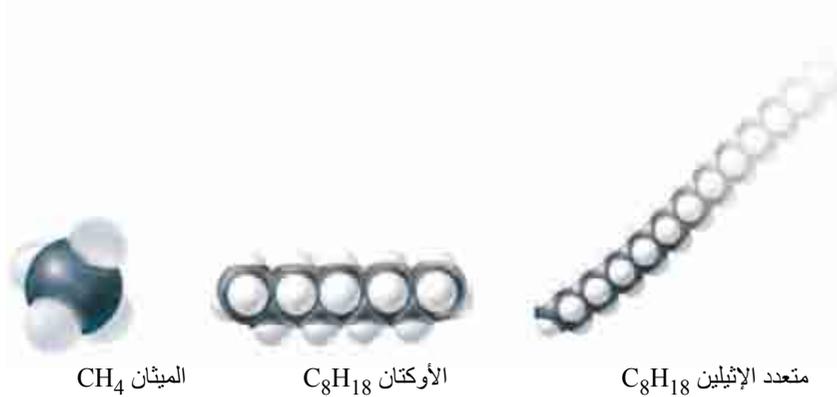
ربما تجد صعوبة في لفظ رباعي  
ميثيل بايرازين، ولكنك ستحب ما  
يفعله للأيس كريم.

تستند الحياة إلى قدرة الكربون على الارتباط بذرات كربون أخرى لتشكيل تراكيب مختلفة. إنّ هذه الحقيقة تعكس ظهور فرع الكيمياء الذي يدرس المركبات التي تحتوي على الكربون. وهذا الفرع يعرف بالكيمياء العضوية (**Organic Chemistry**). إنّ مصطلح عضويّ مشتق من *التعضي* وليس بالضرورة أن يكون مرتبطاً بنموذج زراعيّ صديق للبيئة. هناك اليوم أكثر من 13 مليون مركب عضوي معروف. ونحو 100,000 مركب جديد يضاف كلّ عام. ويتضمن هذا المركبات المكتشفة في الطبيعة. وكذلك المحضرة في المختبر. (في المقابل هناك ما بين 200,000 و 300,000 مركب غير عضوي معروف. وهذه أساسها عناصر غير الكربون).

وبسبب أنّ المركبات العضوية وثيقة الارتباط بالكائنات الحية. ولأنّ هناك العديد من التطبيقات - كالنكهات. والوقود. والمبلمرات. والأدوية. والزراعة. والكثير غيرها - فمن المهم أن يكون لدينا فهم أساسي لها. وسنبداً بأسهل المركبات العضوية: تلك التي تحتوي على كربون وهيدروجين فقط.

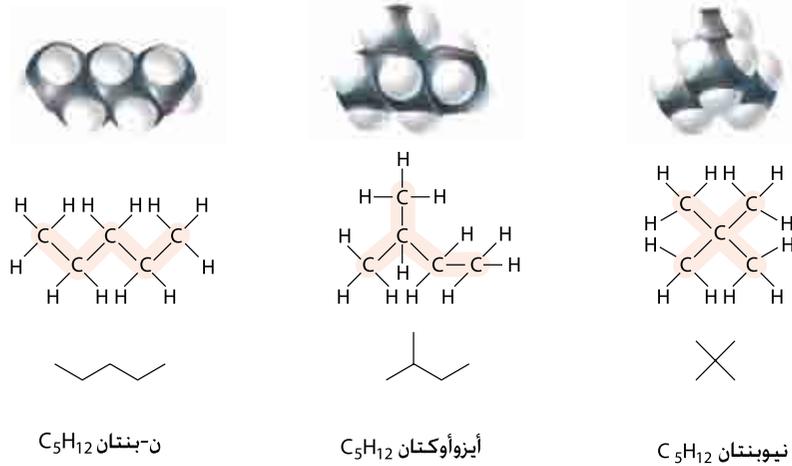
## ■ 1.19 مركبات كربون الهيدروجين (الهيدروكربونات) (Hydrocarbons)

تسمّى المركبات العضوية التي تحتوي على الكربون والهيدروجين فقط مركبات كربون الهيدروجين (الهيدروكربونات). التي يختلف بعضها عن بعض بعدد ذرات الكربون والهيدروجين التي تحتويها. ويعدّ الميثان،  $CH_4$  أبسط الهيدروكربونات. وهو يحتوي على ذرة كربون واحدة لكلّ جزيء. إنّ الميثان هو المكوّن الرئيس للغاز الطبيعيّ. أمّا مركب كربون الهيدروجين. الأوكتان.  $C_8H_{18}$ . فله 8 ذرات كربون لكلّ جزيء. وهو أحد مكونات الجازولين. في حين أنّ مركب كربون الهيدروجين متعدد الإثيلين يحتوي على المئات من ذرات الكربون والهيدروجين لكلّ جزيء. متعدد الإثيلين هو بلاستيك يستخدم لصناعة العديد من المواد المألوفة مثل علب الحليب والأكياس البلاستيكية.



الشكل 1.19

هذه الهيدروكربونات الثلاثة جميعها لها الصيغة الجزيئية نفسها. يمكننا رؤية الخصائص التركيبية المختلفة بتركيز الانتباه على هيكل الكربون في بعدين. ومن السهل رسم تراكيب عصا تستخدم الخطوط للروابط التساهمية كلها للكربون - الكربون.



تختلف الهيدروكربونات أيضاً في الطريقة التي ترتبط بها ذرات الكربون معاً. يوضح الشكل 1.19 الهيدروكربونات الثلاثة. ن-بنتان، وأيزوبنتان، ونيوبنتان. إن مركبات كربون الهيدروجين جميعها لها هذه الصيغة الجزيئية،  $C_5H_{12}$  نفسها، ولكنها تختلف بنائياً بعضها عن بعض. فهيكلك الكربون في ن-بنتان هو سلسلة من خمس ذرات كربون. وفي أيزوبنتان تتفرع السلسلة بحيث يكون الهيكل أربع ذرات كربون. ويبدأ التفرع عند ذرة الكربون الثانية. وفي النيوبنتان ترتبط ذرة الكربون المركزية بأربع ذرات كربون محيطة بها.

يمكن أن نرى اختلاف الخصائص البنائية للمركبات الثلاثة برسم الجزيئات في بعدين. كما يظهر في السطر الأوسط من الشكل 1.19. وبطريقة أخرى. يمكن تمثيل هذه المركبات ببناء العصي كالمشاهدة في السطر الأساسي. يستخدم بناء العصي عادة كرمز مختصر لتمثيل الجزيء العضوي. تمثل كل (عصا) رابطة تساهمية. ولفهم وجود ذرات الكربون عند نهاية أي خط، أو كلما التقى اثنان أو أكثر من الخطوط المستقيمة (إلا إذا رسمت نوعاً آخر من الذرات عند نهاية الخط). كما لا تظهر عادة أي من ذرات الهيدروجين المرتبطة بذرات الكربون. وبدلاً من ذلك، يكون وجودها ضمنياً. وبالتالي يبقى التركيز على البناء الهيكلي الذي يتكون من ذرات الكربون.

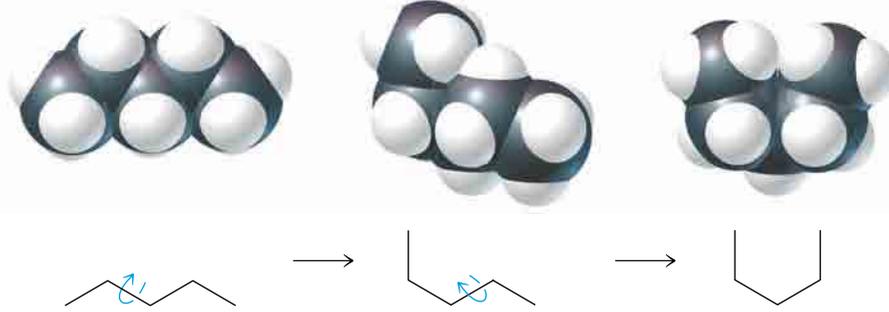
عندما تكون كل ذرة كربون في كربون الهيدروجين ما عدا الذرتين في الأطراف مرتبطة بذرتين فقط. فإن الجزيء في هذه الحالة يسمى الهيدروكربونات ذات السلسلة المستقيمة. (لا تأخذ هذا الكلام بحرفيته: لأن المركب ن-البنتان المبين في الشكل 1.19 هو كربون هيدروجين ذو سلسلة مستقيمة على الرغم من الخط المتعرج للرسم الممثل له). وعندما ترتبط ذرة الكربون على الأقل في كربون الهيدروجين بثلاث ذرات كربون أو أربع. فإن جزيء هيدروكربون يكون متفرعاً. وهكذا فكل الأيزوبنتان والنيوبنتان هما هيدروكربونات متفرعة.

تكون للجزيئات مثل ن-البنتان والأيزوبنتان والنيوبنتان الصيغة الجزيئية نفسها. وهذا يعني أن لها العدد نفسه من النوع ذاته من الذرات. ولكن طريقة ترتيب هذه الذرات معاً مختلفة. ونقول إن لكل مركب هيئة (Configuration) تدل على كيفية ارتباط هذه الذرات. تُنتج الهيئات المختلفة بناءات كيميائية مختلفة. وتعرف الجزيئات التي لها الصيغة الكيميائية نفسها، ولها هيئات مختلفة، ومن ثم تراكيب مختلفة بالبناء الأيسوميري (Structural Isomers). (المتشكلات). تختلف التراكيب الأيسوميرية بعضها عن بعض في الخصائص الفيزيائية والكيميائية. فمثلاً درجة الغليان لـ ن-البنتان هي  $36^\circ\text{C}$ . أمّا درجة الغليان للأيزوبنتان فهي  $30^\circ\text{C}$ . في حين أن درجة الغليان للنيوبنتان هي  $10^\circ\text{C}$ .

يزداد عدد التراكيب الأيسوميرية المثلة لصيغة كيميائية بسرعة بزيادة عدد ذرات الكربون. هناك ثلاثة تراكيب أيسوميرية للمركبات التي لها صيغة  $C_5H_{12}$ ، و18 لـ  $C_8H_{18}$ ، و75 لـ  $C_{10}H_{22}$ . وعدد ضخم  $366,319$  لـ  $C_{20}H_{42}$ !

بالنظر الى تراكيب العصي، تذكر أن كل زاوية أو نهاية تمثل ذرة كربون، وأن كل ذرة كربون يجب أن ترتبط أربع مرات. وبسبب افتراض وجود الهيدروجين فإنها لا تظهر.

## الشكل 2.19



ثلاثة امتثالات لجزيء ن-بنتان. يبدو الجزيء مختلفاً لكل تماثل، ولكن هيكل ذرات الكربون الخمس هو نفسه للامتثالات الثلاثة. في عينة من سائل ن-بنتان، توجد الجزيئات في الامتثالات جميعها.

تسمى الاتجاهات الفضائية المختلفة للجزيء الذي أساسه الكربون الامتثالات (Conformation). اثن مفاصل رسغك، ومرفقك، وكتفك لتجد أنّ ذراعك يشكّل مدى من الامتثالات. وبالمثل فإنّ الجزيء العضوي يمكن أن يدور حول الرابطة. الكربون - الكربون الأحادية، ويشكّل مدى من الامتثالات. مثلاً التركيب في الشكل 2.19 هو امتثالات مختلفة لـ ن-بنتان. وبلغت الكيمياء العضوية، نقول إنّ هيئة الجزيء، مثل ن-بنتان، له مدى واسع من الامتثالات. وإذا غيرت هيئة ن-بنتان، فلا يعود عندك ن-بنتان. وبدلاً من ذلك ستحصل على تركيب أيسوميري مختلف، مثل الأيزوبنتان، والذي له مدى خاص به من الامتثالات المختلفة.



أيهما أسهل أن يُغير؛ امتثال ذراعك أم هيئتها؟

## معلوماتك

وكما ناقشنا في الفصل 18-4، فإننا نقوم بضخ كميات كبيرة، إلى حد غير معقول، من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي عن طريق حرق الوقود الأحفوري. ولكن الغلاف الجوي هو ليس المتنفس الوحيد لامتناس ثاني أكسيد الكربون الذي ننتجه. حيث يمكن تعديل مداخل المصانع ومحطات الطاقة، مثلاً، لامتناس  $CO_2$ ، ما الذي والذي يحول بدوره إلى سائل ويضخ إلى 1 كيلومترات داخل الأرض. ولكن هذه الإمكانية لم يتم التفكير فيها بعد، فعملية تخزين  $CO_2$  في خزانات تحت الأرض قد تم توظيفها من قبل مضافة للغاز الطبيعي في الجزائر. ولكن مثل هذا النظام النفقات الخاصة به، حيث يمكن أن يقفز سعر إنتاج الكهرباء من التقاط  $CO_2$  الناتج من حرق الوقود الأحفوري في محطات توليد الكهرباء بأكثر من 20%. ولكن تكاليف عدم تبني هذا النظام على المدى الطويل هي أكثر من ذلك بكثير.

## نقطة فحص



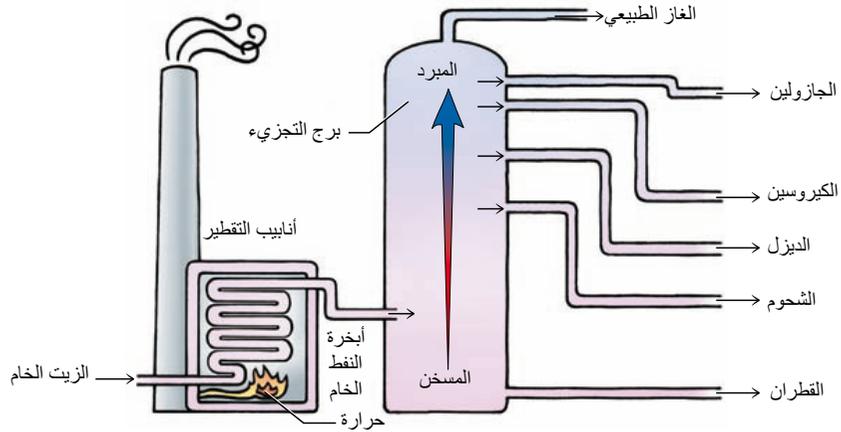
## هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ أفضل طريقة لإجابة أي سؤال حول الامتثالات للجزيء هي اللعب بالنماذج الجزيئية، والتي يمكنك الإمساك بها بين يديك. في هذه الحالة، الرابطة (c) بطريقة ما، بحيث يكون الكربون في نهاية اليمين مع الرابطة (d) تخرج من مستوى الورقة، ومباشرة تشير إليك، ثم تسقط فجأة ثانية إلى مستوى الورقة أسفل الرابطة (c). إنّ هذا الدوران يشبه دوران ذراع المصارع، الذي تكون ذراعه فوق الطاولة، وهو على وشك الخسارة، وفجأة يندفع بقوة ويلوي ذراع الخصم (وذراعه هو) من خلال دوران نصف دائري ويربح.

يمكن الحصول على الهيدروكربونات بشكل رئيس من الفحم والبترو. لقد تشكل معظم الفحم والبترو الموجود اليوم قبل 280 مليون و395 مليون سنة، عندما خللت النباتات والحيوانات بغياب الأكسجين. في ذلك الوقت، كانت الأرض مغطاة بالمستنقعات الكثيفة بسبب قربها من مستوى البحر، وكانت تنغمر بالمياه دورياً. لقد طمرت المواد العضوية تحت طبقات من الترسبات البحرية، وفي النهاية تحولت إلى فحم أو بترو. إنّ الفحم مادة صلبة تحتوي على العديد من جزيئات الهيدروكربونات الكبيرة والمعقدة. ويستخدم معظم الفحم المنتج اليوم في إنتاج الفولاذ، وتوليد الكهرباء في محطات الطاقة بحرق الفحم.

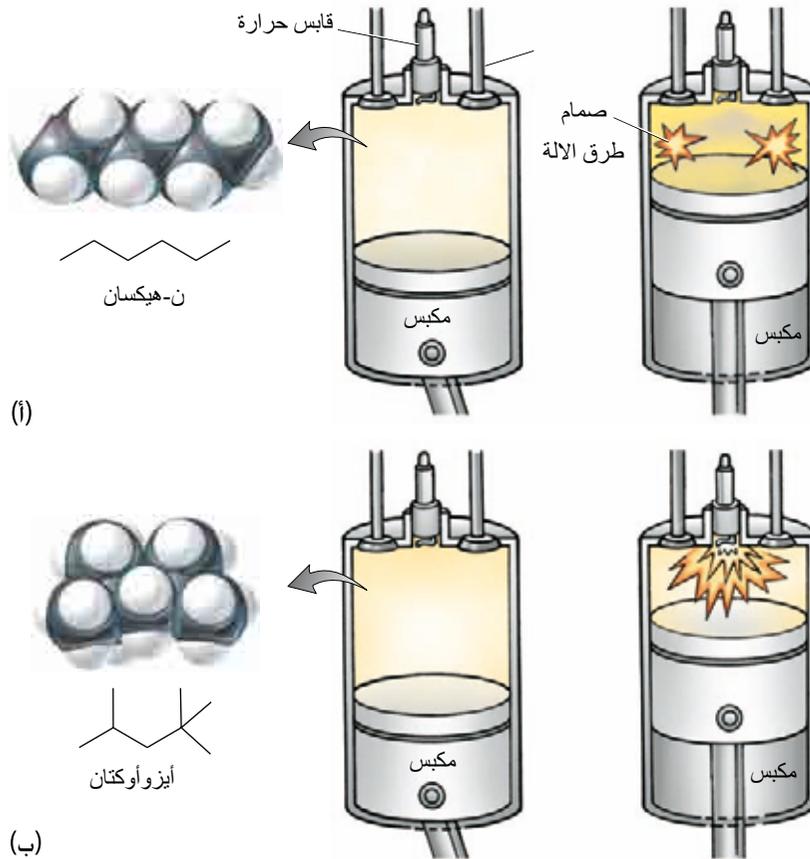
الشكل 3.19

رسم للتقطير الجزيئي للبتترول إلى مكوناته المفيدة.



أما البترول. والذي يسمّى أيضًا النفط الخام. فهو سائل يمكن فصله عن مكوناته الهيدروكربونية عبر عملية تعرف بالتقطير التجزيئي. المبين في الشكل 3.19. يسخن النفط في أنبوب حتى يتبخر عند درجة حرارة عالية تكفي لتبخير معظم مكوناته. ينساب البخار الساخن إلى أسفل برج التجزئة؛ حيث تكون درجة الحرارة في الأسفل أكبر منها في الأعلى. وعند صعود البخار في البرج يبرد. وتبدأ مختلف المكونات في التكاثف. تتكاثف الهيدروكربونات التي لها درجة غليان عالية مثل القطران. والشحوم أولاً عند درجات حرارة عالية. تنتقل الهيدروكربونات التي لها درجة غليان منخفضة مثل البنزين إلى المناطق الباردة عند أعلى البرج قبل أن تتكاثف. تُصَرَّف الأنابيب مختلف أجزاء الهيدروكربون من البرج. أما الغاز الطبيعي الذي هو بشكل رئيس ميثان فلا يتكاثف. بل يبقى غازًا ويتجمع عند أعلى البرج.

كلما انخفضت درجة غليان الهيدروكربون،  
صعد إلى أعلى في برج التقطير الجزيئي.



الشكل 4.19

(أ) من الممكن تشغيل سلسلة الهيدروكربون الخطية، مثل ن-هكسان من الحرارة المتولدة عند ضغط الجازولين بالمكبس - قبل اشتغال قابس الشرارة. وهذا يقلب توقيت دورة المحرك، مؤدياً إلى ظهور صوت.  
(ب) الهيدروكربونات المتفرعة، مثل الأيزو - أوكتان أقل استعداداً للاحتراق، ولا يشتعل بالانضغاط وحده، بل عندما يشتغل قابس الشرارة فقط.

تفسر الفروق في شدة التجاذب بين الجزيئات بسبب تكاثف الهيدروكربونات المختلفة عند درجات حرارة مختلفة. وكما ناقشنا في الجزء 8.15، في مقارنة بين جذب الشناقطي المستحث - الشناقطي المستحث في الميثان والأوكتان، تتعرض الهيدروكربونات الكبيرة إلى العديد من هذه التجاذبات أكثر من الجزيئات الصغيرة. وبسبب قلة التجاذبات مع الجوار، فإنها تتكاثف فقط عند درجات حرارة أبرد حين تكون عند قمة البرج.

يتكون الجازولين المستخلص من التقطير الجزيئي للبتروك من تشكيلة واسعة من الهيدروكربونات التي لها درجات غليان متشابهة. بعضها يحترق بكفاءة أكبر في محرك السيارة. حترق الهيدروكربونات ذات السلسلة الخطية بسرعة كبيرة. مثل ن-هيكسان. محدثة ما يعرف بطرقة *المحرك*. كما هو موضح في الشكل 4.19. حترق هيدروكربونات الجازولين التي لها تفرعات كثيرة. مثل الأيزوأوكتان. ببطء مما يجعل عمل المحرك أكثر نعومة. يُستخدم هذان المركبان: ن-هيكسان والأيزوأوكتان. كمركبات معيارية في تقييم درجة الأوكتان في الجازولين. اعتبرت الدرجة 100 اختيارياً للأيزوأوكتان. في حين أعطيت الدرجة 0 لـ ن-هيكسان. يقارن الأداء ضد الطرقة لجازولين معين مع مخاليط مختلفة من الأيزوأوكتان و ن-هيكسان. ويعطى درجة الأوكتان. بين الشكل 5.19 المعلومات عن الأوكتان التي تظهر عند محطات ضخ الجازولين العادية.



الشكل 5.19

تظهر درجات الأوكتان على مضخات الجازولين من المدهش أن السيارات الحديثة مصممة للعمل أفضل على درجة الوقود الأوكتان 87. ومع وقود أوكتان أعلى درجة، فإنك لا تفقد الكفاءة فقط، بل النقود أيضاً.

### ■ نقطة فحص

ما التركيب الأيسوميري المبين في الشكل 1.19، الذي له أعلى درجة أوكتان؟

هل كانت هذه إجابتك؟

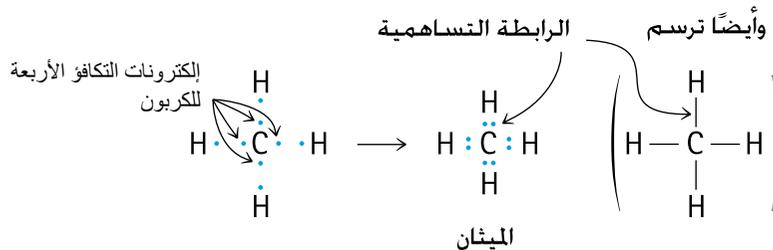
يكون للتركيب الأيسوميري الذي له أعظم كمية من تفرع الكربون احتمالية أعلى درجة من الأوكتان. مما يجعل الجواب الصحيح هو النيوبنتان. لمعلوماتك، تكون الدرجة كما يلي:

المركب	درجة الأوكتان
ن-بنتان	61.7
أيزوبنتان	92.3
نيوبنتان	116

### ■ 2.19 الهيدروكربونات غير المشبعة

تذكر من الجزء 1.15 أن للكربون أربعة إلكترونات تكافؤ غير مرتبطة. وكما هو مبين في الشكل 6.19، فإن كلاً من هذه الإلكترونات يستطيع التزاوج مع إلكترون من ذرة أخرى. مثل الهيدروجين لتكوين رابطة تساهمية.

للهدروكربونات التي نوقشت حتى الآن جميعها، بما فيها الميثان المبين في الشكل 6.19، ترتبط كل ذرة كربون مع جيرانها بأربع روابط تساهمية مفردة. تعرف مثل هذه الهيدروكربونات بالهدروكربونات المشبعة.



الشكل 6.19

للحربون أربعة إلكترونات تكافؤ؛ كل إلكترون يتزاوج مع إلكترون من ذرة الهيدروجين في الروابط التساهمية الأربعة للميثان.

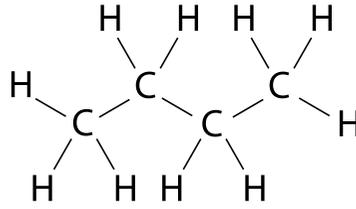
### ■ لمعلوماتك

يكون للدهون المشبعة في غذائنا سلاسل كربون طويلة تحتوي على روابط مفردة. تميل هذه السلاسل لأن تكون خطية. لذا فإنها تكون مترابطة معاً (مثل عيدان الثقاب في العلبة). وهكذا، فإنّ الدهون المشبعة تكون صلبة عند درجة حرارة الغرفة مثل الشحم. تحتوي سلاسل الكربون في الدهون غير المشبعة على روابط ثنائية. وتأخذ شكل منحنى، لذا لا تكون مترابطة جيداً معاً. وتكون الدهون غير المشبعة، مثل زيت الزيتون، سائلة عند درجة حرارة الغرفة.

الشكل 7.19

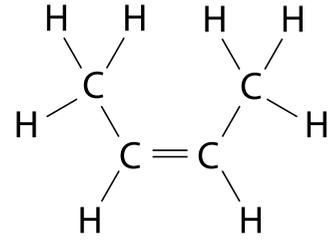
تشبع ذرات الكربون في الهيدروكربون ن-بيوتان، بحيث ترتبط كل ذرة مع أربع ذرات أخرى. وبسبب الرابطة الثنائية، ترتبط ذرتان من الهيدروكربون غير المشبع 2-بيوتين مع ثلاث ذرات أخرى، والذي يجعل الجزيء هيدروكربون غير مشبع.

هيدروكربون مشبع



ن-بيوتان  $C_4H_{10}$

هيدروكربون غير مشبع

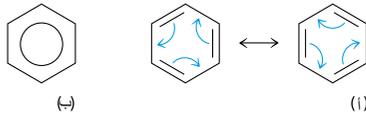


2-بيوتان  $C_4H_8$

يعني المصطلح "مشبع" أن ترتبط كل ذرة كربون بالعديد من الذرات قدر الإمكان. وسندرس الآن حالات تكون فيه واحدة أو أكثر من ذرات الكربون مرتبطة بأقل من أربع ذرات مجاورة. ويحدث هذا حين تكون واحدة على الأقل من الروابط بين الكربون والذرة المجاورة رابطة متعددة. (انظر الجزء 5.15 لمراجعة الروابط). تعرف الهيدروكربونات المحتوية على رابطة متعددة - سواء ثنائية أو ثلاثية أو أكثر - بالهيدروكربونات غير المشبعة. وبسبب الرابطة المتعددة، ترتبط ذرتا كربون بعدد من الذرات أقل من أربع. ولذلك تسمى ذرات الكربون هذه غير المشبعة.

يقارن الشكل 7.19 بين الهيدروكربون المشبع ن-بيوتان والهيدروكربون غير المشبع 2-بيوتين. إن عدد الذرات المرتبطة مع ذرتي الكربون في الوسط في ن-بيوتان أربعة، في حين ترتبط ذرتا الكربون في الوسط في البيوتين بثلاث ذرات؛ ذرة هيدروجين وذرتي كربون.

من الهيدروكربونات غير المشبعة المهمة البنزين،  $C_6H_6$ ، والذي يمكن رسمه على شكل حلقة سداسية مسطحة بثلاث روابط ثنائية. كما هو مبين في الشكل 8.19. على عكس الرابطة الثنائية بين الذرات في معظم الهيدروكربونات غير المشبعة، إن الرابطة الثنائية لا تكون ثابتة في البنزين بين ذرتي كربون. وبدلاً من ذلك، فإن هذه الإلكترونات تكون حرة الحركة حول الحلقة. ويمثل هذا عادة بدائرة داخل الحلقة. كما هو مبين في الشكل 8.19 ب، بدلاً من الروابط الثنائية المفردة.

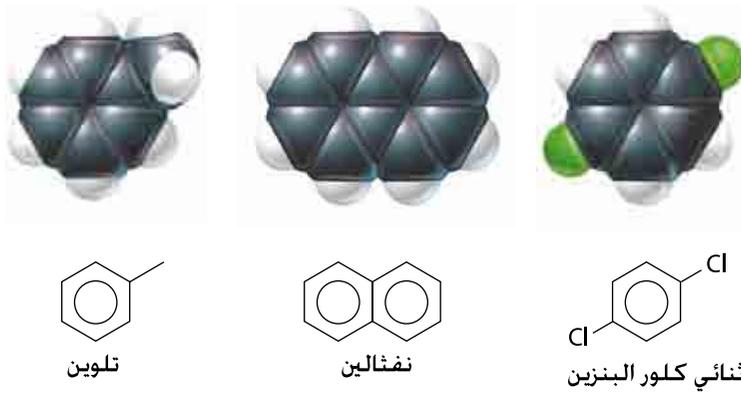


الشكل 8.19

(أ) تنتقل الروابط الثنائية للبنزين،  $C_6H_6$  حول الحلقة. (ب) لهذا السبب، عادة ما تمثل بدائرة داخل الحلقة.

تحتوي العديد من المركبات العضوية في تركيبها على واحدة أو أكثر من حلقات البنزين. ولأن العديد من هذه المركبات ذات رائحة عطرية، فإن أي مركب عضوي يحتوي على حلقة بنزين يُصنّف على أنه مركب عطري (حتى وإن لم تكن له رائحة عطرية معينة). ويبين الشكل 9.19 بعض الأمثلة؛ فالتولوين مذيب مألوف. يستخدم لتخفيف الدهان، وهو سام، ويعطي لاصق الطائرات رائحة مميزة. وبعض المركبات العطرية مثل النفتالين، يحتوي على حلقتين أو أكثر من حلقات البنزين مرتبطة معاً. في زمن ما، كانت كرات طارد العتّ تُصنع من النفتالين أما اليوم، فتصنع هذه الكرات من المركب الأقل سمّية 1، 4 - ثنائي كلوروبنزين.

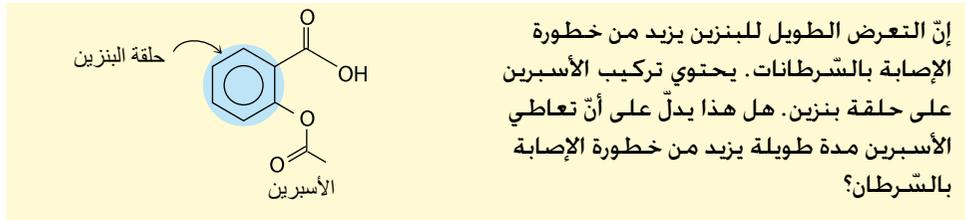
إنّ الأسيتيلين،  $C_2H_2$  مثال على الهيدروكربون غير المشبع، والذي يحتوي على رابطة ثلاثية. كما أنّ اللهب الناتج عن حرق الأسيتيلين المحصور في وجود الأكسجين حار بما فيه الكفاية لصهر الحديد، والذي يجعل من الأسيتيلين وقوداً مفضلاً في عملية اللحم (الشكل 10.19).



## الشكل 9.19

التركييب الثلاثة للمركبات العضوية والتي تحتوي على حلقة أو أكثر من حلقات البنزين هي: التولوين، والنفتالين، و 1,4 ثنائي كلوريد بنزين.

## نقطة فحص



## هل كانت هذه إجابتك؟

لا: فعلى الرغم من أنّ كلا من البنزين والأسبرين يحتويان على حلقة بنزين، إلا أنّ التركيب الإجمالي للمركبين مختلف تمامًا. كما أنّ لهما خصائص كيميائية مختلفة. لكلّ ذرة كربون محتواة في المركب العضوي مجموعة خصائص فيزيائية، وكيميائية، وبيولوجية متميزة. فعلى الرغم من أنّ البنزين يسبب السرطان فإنّ الأسبرين يستخدم لعلاج ألم الرأس.



## الشكل 10.19

الأسيتيلين  $C_2H_2$  هيدروكربون غير مشبع، عندما يشعل ينتج لهبًا حارًا بما يكفي لصهر الحديد.

## 3.19 المجموعات الوظيفية

يمكن لذرات الكربون أن ترتبط بعضها مع بعض، ومع ذرات الهيدروجين بالعديد من الطرق. بحيث ينتج عددًا هائلًا من الهيدروكربونات. كما أنّ ذرات الكربون ترتبط أيضًا مع ذرات عناصر أخرى، مما يزيد عدد الجزيئات العضوية المحتملة. في الكيمياء العضوية، تسمى أيّ ذرة غير الكربون والهيدروجين في الجزيء العضوي الذرة المغايرة (*Heteroatom*)؛ حيث تشير كلمة مغايرة إلى أنّ الذرة تختلف عن أيّ من الهيدروجين أو الكربون.

يمكن أن يعمل تركيب الهيدروكربون كهيكل لربط ذرات مغايرة مختلفة. وهذا مشابه لشجرة عيد الميلاد عند استخدامها لتعليق الزينة عليها، وكما أنّ الزينة تعطي شخصية للشجرة، فإنّ الذرات المغايرة تعطي شخصية للجزيء العضوي. كما أنّ للذرات المغايرة آثارًا أساسية في خصائص الجزيء العضوي.



بالتأكيد، فإنّ كيمياء الهيدروكربونات مدهشة، ولكن إضافة ذرات مغايرة للجزيئات العضوية تجعلها مدهشة فوق العادة. تحتوي المواد العضوية جميعها التي في الكائنات الحية مثلاً، على ذرات مغايرة.

خذ الإيثان،  $C_2H_6$  والإيثانول،  $C_2H_6O$ . اللذين يختلفان أحدهما عن الآخر بذرة الأكسجين. يغلي الإيثان عند درجة -88°س، وهو غاز عند درجة حرارة الغرفة، ولا يذوب في الماء بشكل جيد. وفي المقابل، فإنّ درجة الغليان للإيثانول هي +78°س، وهو سائل عند درجة حرارة الغرفة، وذائبته في الماء بلا نهاية. كما أنّه المكون الأساس للمشروبات الكحولية. وأكثر من ذلك، ادرس أمين الإيثيل،  $C_2H_7N$ . الذي له ذرة نيتروجين على الأساس نفسه لهيكل ذرتي الكربون. هذا المركب أكّال. لاذع وسامّ جدّاً، وهو مختلف تماماً عن أيّ من الإيثان أو الإيثانول.

تصنّف المركبات العضوية وفق المجموعات الوظيفية التي تحتوي عليها. وتعرف المجموعة الوظيفية على أنها مجموعة من الذرات التي تتصرف كوحدة. كما أنّ معظم هذه المجموعات الوظيفية تتميز بالذرات المغايرة التي تحتوي عليها؛ أدرجت بعض المجموعات الوظيفية في الجدول 1.19.

في الجزء المتبقي، سنقدم عائلات الجزيئات العضوية المبينة في الجدول 1.19. وسنوضح الدور الرئيس الذي تقوم به الذرات المغايرة في تحديد خصائص كلّ عائلة.

الجدول 1.19 المجموعات الوظيفية في الجزيئات العضوية

التركيب العام	الاسم	الصف
	مجموعة البيدروكسيل	الكحولات
	مجموعة الفينوليك	الفينولات
	مجموعة الإثير	الإثيرات
	مجموعة الأمين	الأمينات
	مجموعة الكيتون	الكيتونات
	مجموعة الألدهايد	الألدهايدات
	مجموعة الأميد	الأميدات
	مجموعة الكربوكسيل	الحموض الكربوكسيلية
	مجموعة الإيستر	الإيسترات

في أثناء دراستك هذه المادة، ركّز على فهم الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمتنلف عائلات المركبات؛ لأنّ هذا، بمنحك تقديرًا عظيمًا لروعة التنوع الهائل للجزيئات العضوية وللعديد من تطبيقاتها.

### ■ نقطة فحص

ما أهمية الذرات المغايرة في الجزيء العضوي؟

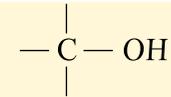
هل كانت هذه إجابتك؟

تحدّد الذرات المغايرة "هوية" الجزيء العضوي كثيرًا.

## ■ 4.19 الكحولات، والفينولات، والإثيرات

الكحولات جزيئات عضوية، بحيث ترتبط مجموعة الهيدروكسيل بالكربون المشبع. تتكون مجموعة الهيدروكسيل من أكسجين مرتبط مع الهيدروجين. وبسبب قطبية رابطة الأكسجين - الهيدروجين، غالبًا ما تذوب الكحول القليل الكتلة في الماء، والذي هو بدوره قطبي. بعض الكحولات المعروفة، ودرجات انصهارها، ودرجات غليانها مدرجة في الجدول 2.19.

ينتج في الولايات المتحدة سنويًا أكثر من 11 بليون رطل من الميثانول،  $\text{CH}_3\text{OH}$ ، والذي يذهب معظمه في صناعة الفورمالدهايد وحمض الأسيتيك، وهي مواد أولية مهمة لإنتاج البلاستيك. إضافة إلى ذلك، يستخدم الميثانول كمذيب، وكمعزز للأوكتان، كما أنّه عامل مضاد للتجميد في الجازولين، ويسمّى كحول الخشب في بعض الأحيان بسبب إمكانية الحصول عليه من الخشب. ويجب عدم شرب الميثانول بتاتًا؛ لأنه في الجسم، يُؤيِّض إلى الفورمالدهايد وحمض الفورميك؛ فالفورمالدهايد مؤذ للعيون، ويؤدي إلى فقدان البصر. كما أنّه استخدم في زمن ما لحفظ العينات البيولوجية الميتة. أمّا حمض الفورميك، فهو مكوّن المادة المؤثرة لعرض النمل، إلى جانب أنّ بإمكانه تخفيض pH الدم إلى مستويات خطيرة. وللميثانول خصائص سمية أصيلة، إنّ شرب نحو 15 مللترًا (3 ملاعق شاي تقريبًا) من الميثانول قد يؤدي إلى العمى، في حين أنّ شرب نحو 30 مللترًا يسبب الموت.



مجموعة الهيدروكسيل

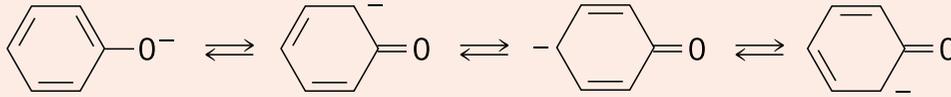
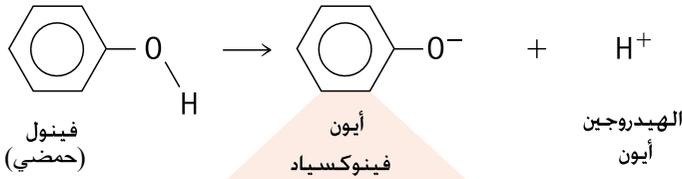
الجدول 2.19 بعض الكحولات البسيطة

التركيب	الاسم العلمي	الاسم المألوف	درجة الانصهار (°س)	درجة الغليان (°س)
$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{H} \end{array}$	ميثانول	الكحول الميثيلي	-97	65
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	إيثانول	الكحول الإيثيلي	-115	78
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{OH} \quad \text{H} \end{array}$	بروبانول-2	كحول الأيزوبروبيل	-126	97

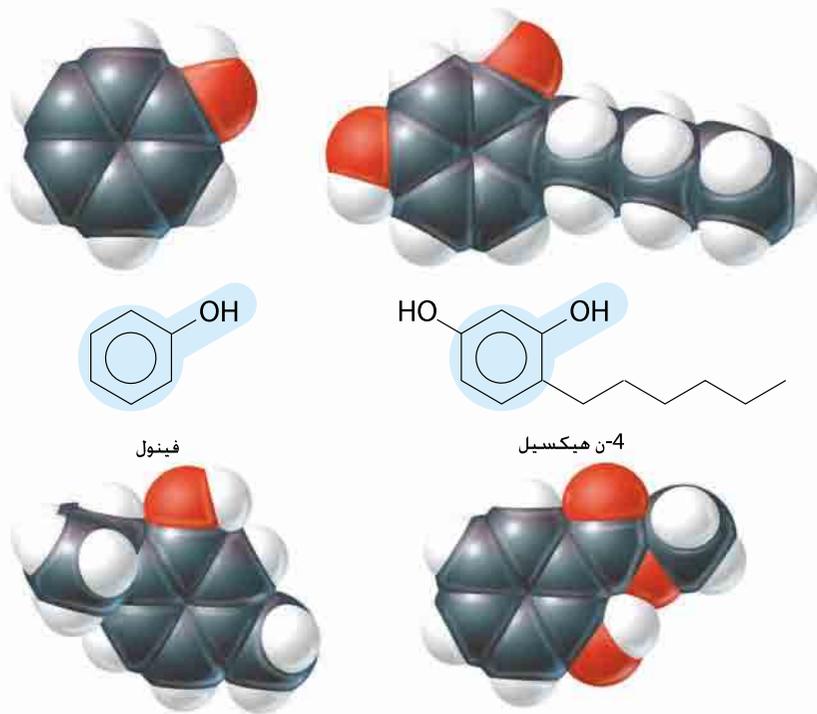


الشكل 12.19

تنتقل الشحنة السالبة لأيون الفينوكسيد إلى مواقع مختارة على حلقة البنزين. تساعد هذه الحركة على إيواء الشحنة السالبة، ولهذا تتبرع بسرعة مجموعة الفينوليك بأيون الهيدروجين.



بيّن الشكل 13.19 أبسط فينول وهو الفينول. في عام 1867م اكتشف جوزيف ليستر (1827-1912م) Joseph Lister القيمة التطهيرية للفينول. والذي عند تعريض الأجهزة الطبية والجروح له. يزيد كثيراً معدل نجاح العمليات الجراحية. لقد كان الفينول أول ما استخدم كمحلول مضاد للبكتيريا. أو التطهير. يُتلف الفينول الأنسجة السليمة. ولكن تم إنتاج العديد من الفينولات المعتدلة. مثلاً يستخدم الفينول 4-ن-هكسيل ريزوسينول في غسول الفم وعلاج الحنجرة. ولهذا المركب خصائص تطهيرية أكبر من الفينول. بالإضافة إلى أنه لا يتلف الأنسجة. إنّ غسول الفم ماركة ليسترين (سُميت تكريمًا لجوزيف ليستر) تحتوي على الفينول المطهر الثيامول وميثيل سلسلايت.



نحن نصنف الجزيئات العضوية على أساس المجموعات الوظيفية التي تحتويها. وكما ستري قريباً، يمكن أن تحتوي الجزيئات العضوية على أكثر من مجموعة وظيفية. وعليه، يمكن أن يصنف جزيء عضوي واحد على أنه فينول أو إيثر في الوقت نفسه.



الشكل 13.19

كل فينول يحتوي على مجموعة الفينوليك (مضاء بالأزرق).

■ نقطة فحص

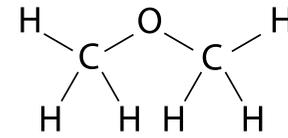
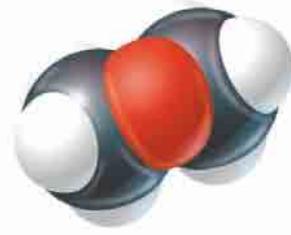
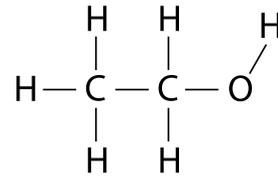
لماذا تكون الكحولات أقل حمضية من الفينولات؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا تحتوي الكحول على حلقة بنزين مرتبطة مع مجموعة الهيدروكسيل. إذا كانت الكحول لتفقد هيدروجين الهيدروكسيل، فستكون النتيجة شحنة سالبة على الأكسجين. ودون حلقة البنزين المجاورة، لا تجد الشحنة السالبة مكاناً تذهب إليه. وكنتيجه لهذا، يتصرف الكحول كحمض ضعيف جداً فقط. مثلما يفعل الماء.

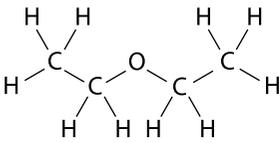
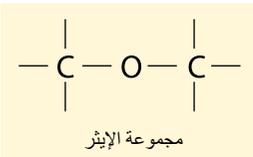
الشكل 14.19

يرتبط الأكسجين في الكحول مثل الإيثانول بذرة كربون واحدة وذرة هيدروجين واحدة. الأكسجين في الإيثر، مثل ثنائي ميثيل الإيثر، يرتبط بذرتي كربون. وبسبب هذا الفرق، فإن الكحول والإيثرات اللذين لهما كتلة جزيئية متشابهة لهما خصائص فيزيائية مختلفة تماماً.



الإيثانول: يذوب في الماء، يغلي على دلاجة 78°س

ثنائي إيثيل الإيثر: لا يذوب في الماء درجة الغليان 25-°س



ثنائي الإيثر درجة الغليان 35°س

الإيثرات (Ether) مركبات عضوية مرتبطة تركيباً مع الكحول. ولكن ذرة الأكسجين في

مجموعة الإيثر، لا ترتبط بذرة الكربون وذرة الهيدروجين بل بذرتي كربون. وكما نرى في الشكل 14.19، فإن الإيثانول وثنائي ميثيل الإيثر لهما الصيغة الكيميائية،  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$  نفسها. ولكن خصائصهما الفيزيائية مختلفة كثيراً. حيث إن الإيثانول سائل عند درجة حرارة الغرفة (درجة الغليان 78°س) ويمتزج جيداً بالماء، أما ثنائي ميثيل الإيثر فهو غاز عند درجة حرارة الغرفة (درجة الغليان -25°س) كما أنه أقل ذائبية في الماء. إن الإيثرات لا تذوب جيداً في الماء لأنها غير قادرة على تكوين رابطة هيدروجينية قوية مع الماء دون مجموعة الهيدروكسيل (الجزء 8.15). إضافة إلى أن فصل جزيئات الإيثر بعضها عن بعض يتطلب قليلاً من الطاقة دون رابطة الهيدروكسيل القطبية. ولهذا، يكون للإيثرات ذات الوزن الجزيئي المنخفض درجة غليان منخفضة وتتبخر بسرعة كبيرة.

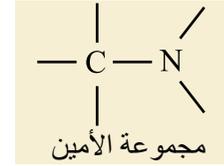
ثنائي إيثيل الإيثر، المبين في الشكل 15.19، كان من أوائل المطهرات. لقد اكتشفت صفاته التطهيرية في بدايات 1800م وعُدَّ استخدامه ثورة في علم الجراحة. وبسبب تطايره العالي على درجات حرارة الغرفة، فإنَّ استنشاقه يدخل بسرعة إلى مجاري الدم. ولأنَّ ذائبية الإيثر في الماء متدنية وتطايره عالٍ، فإنه يترك بسرعة مجاري الدم. وبسبب هذه الخصائص الفيزيائية، يمكن إدخال المريض الذي يتعرض للجراحة من التخدير (حالة فقدان الوعي) وإخراجه ببساطة بتنظيم الغازات المتنفسة. إنَّ غازات التخدير الحديثة لها آثار جانبية قليلة أقل من ثنائي إيثيل الإيثر، ولكنها تستند إلى المبدأ نفسه.

الشكل 15.19

ثنائي إيثيل الإيثر هو الاسم العلمي "للإيثر". وقد استخدم تاريخياً مخدراً.

## ■ 5.19 الأمينات وأشباه القلويات

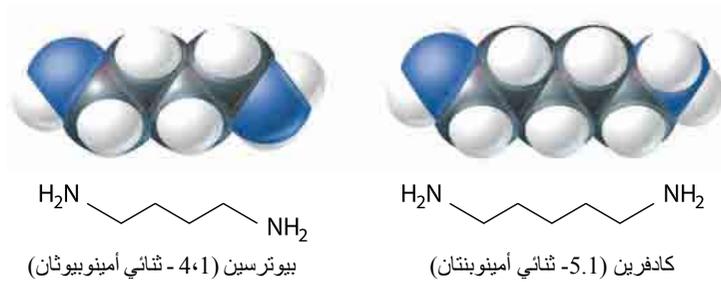
الأمينات مركبات عضوية تحتوي على مجموعة الأمين؛ ذرة نيتروجين مرتبطة بواحدة، أو اثنتين، أو ثلاثة كربونات مشبعة. تكون الأمينات عادة أقل ذائبية في الماء من الكحول؛ لأنّ رابطة النيتروجين - الهيدروجين لا تكون قطبية بمقدار رابطة الأكسجين - الهيدروجين. إنّ انخفاض قطبية الأمينات يعني أيضاً أنّ درجات غليانها عادة تكون أقل قليلاً من الكحول التي لها صيغة الكتلة نفسها. يدرج الجدول 3.19 ثلاثة أمينات بسيطة.



الجدول 3.19 ثلاثة أمينات بسيطة

التركيب	الاسم	درجة الانصهار (°س)	درجة الغليان (°س)
	إيثيل أمين	18-	17
	ثنائي إيثيل أمين	50-	55
	ثلاثي إيثيل أمين	7-	89

إنّ أحد أكثر الخصائص الفيزيائية المميزة للعديد من الأمينات ذات الصيغة - الكتلية القليلة هي رائحتها الكريهة. يبين الشكل 16.19 اثنين من الأمينات التي لها أسماء ملائمة، هما: البوترسين (4،1 - ثنائي أمينوبيوثان) والكادافرين، التي يعزى إليهما رائحة اللحوم المتحللة بشكل جزئي. إنّ الأمينات قاعدية لأنّ لدى ذرة النيتروجين استعداداً لأخذ أيون الهيدروجين من الماء. كما يوضح الشكل 17.19.



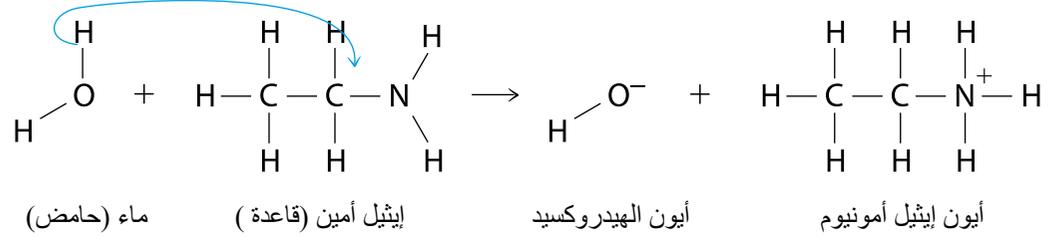
الشكل 16.19

الأمينات ذات صيغة الكتلة المنخفضة مثل هذه تميل إلى أن تكون ذات رائحة منفرة.

## الفصل 19 المركبات العضوية 485

### الشكل 17.19

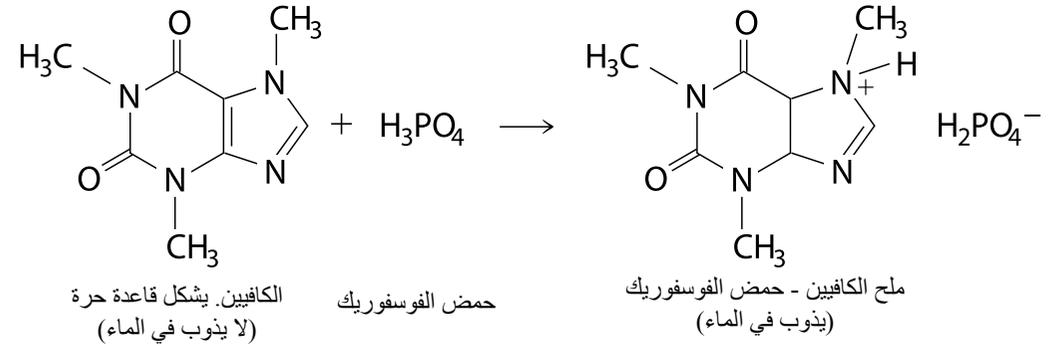
يتصرف الإيثيل أمين كقاعدة، تأخذ أيون الهيدروجين من الماء ليصبح أيون الإيثيل أمونيوم. هذا التفاعل ينتج أيون الهيدروكسيل - HO والذي يزيد pH للمحلول.



تسمى مجموعة من الجزيئات المعقدة التي توجد طبيعيًا - وهي قاعدية لأنها تحتوي على ذرات نيتروجين-*أشباه القلويات*. ولأنّ للعديد من أشباه القلويات قيمة طَبِّية، فإنّ هناك اهتمامًا كبيرًا في استخلاص هذه المركبات من النباتات والأحياء البحرية التي تحتوي عليها. تتفاعل أشباه القلويات مع الحمض لتكوين ملح يذوب عادة في الماء بشكل جيد. كما هو مبين في الشكل 18.19. وهذا مغاير لأشباه القلويات غير الأيونية، المعروفة بالقاعدة الحرة، والتي عادة لا تذوب في الماء.

### الشكل 18.19

أشباه القلويات هي قواعد تتفاعل مع الأحماض لتكوين الأملاح، ومثال عليها الكافيين المبين هنا، وهي تتفاعل مع حمض الفوسفوريك.



تحتوي معظم المستحضرات الصيدلانية التي تؤخذ عن طريق الفم على ذرات نيتروجين مغايرة بشكل ملح يذوب في الماء.

توجد معظم أشباه القلويات في الطبيعة ليس بالشكل الحر من القاعدة، ولكن على شكل أملاح للأحماض الموجودة طبيعيًا والمعروفة بأحماض التنيك. وهو حمض عضوي من مجموعة ذات الأساس - فينول. وله تركيب معقد. إنّ أملاح أشباه القلويات لهذه الأحماض عادة ما تذوب في الماء الساخن بشكل أفضل من ذوبانها في الماء البارد. يوجد الكافيين في القهوة والشاي على شكل ملح حمض التنيك. ولهذا، تكون القهوة والشاي أكثر فاعلية عند نقعها بالماء الساخن. كما يعرض الشكل 19.19. حمض التنيك هو المسؤول عن الصبغة التي تتكوّن بسبب هذه المشروبات.



### نقطة فحص

لماذا تحتوي معظم العصائر المحتوية على الكافيين على حمض الفوسفوريك أيضًا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يتفاعل حمض الفوسفوريك، كما يبين الشكل 18.19 مع الكافيين لتكوين ملح حمض الكافيين - فوسفور. والذي تكون ذائبته عالية في الماء البارد أكثر من حمض التنيك المتوافر في الطبيعة.

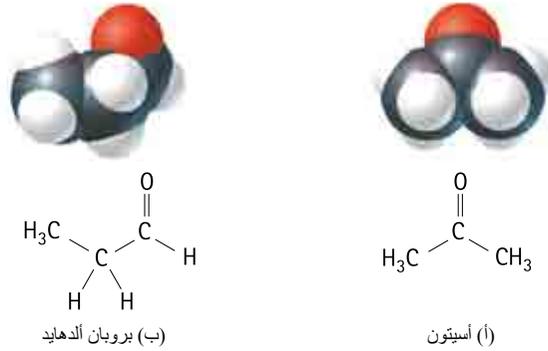
### الشكل 19.19

التنيك هو المسؤول عن الصبغة البنية في أكواب القهوة أو على أسنان شاربها. والتنيك حمض، يمكن إزالته بسرعة بمنظفات قاعدية. استخدم قليلاً من مبيض الغسل في الكوب، واغسل فمك بصودا الخبز.

## 6.19 المركبات الكربونية (مركبات الكربونيل)

تتكون مجموعة الكربونيل من ذرة كربون مرتبطة برابطة ثنائية مع ذرة أكسجين. توجد في المركبات العضوية مثل الكيتونات، والألدهايدات، والأميدات، والأحماض الكربوكسيلية، والإيسترات.

## الشكل 20.19



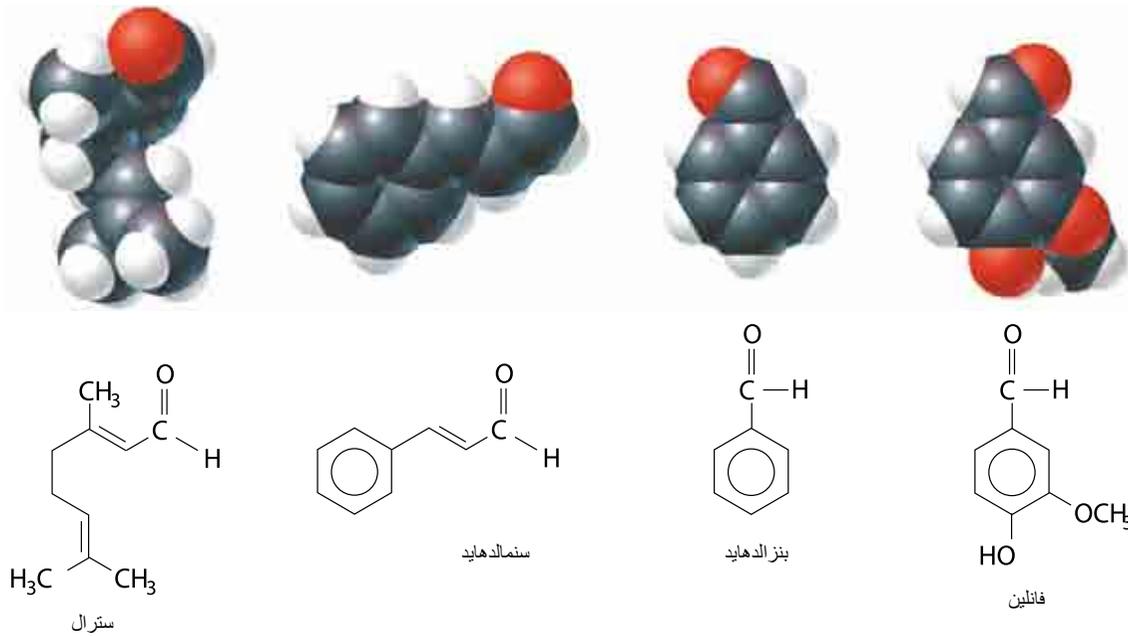
(أ) عندما يرتبط كربون مجموعة الكربونيل بذرتي كربون، ينتج الكيتون. مثل الأسيتون.  
(ب) عندما يرتبط كربون مجموعة الكربونيل في الأقل لذرة هيدروجين، تكون النتيجة ألدهايد، مثل بروبان ألدهايد.

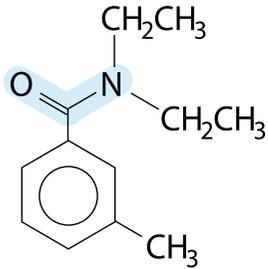
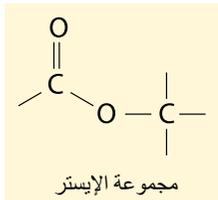
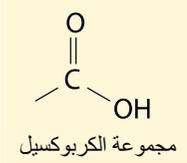
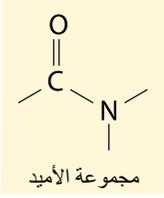


الكيتون (*Ketone*) هو جزيء عضويّ يحتوي على الكربونيل، والذي يكون فيه كربون الكربونيل مرتبطاً مع ذرتي كربون. ويعدّ الأسيتون مثالاً شائعاً للكيتون الذي يستخدم عادة في إزالة طلاء الأظافر. وهو مبين في الشكل 20.19. في الأدهايد (*Aldehyde*)، يرتبط كربون الكربونيل بذرة كربون واحدة وذرة هيدروجين واحدة. كما في الشكل 20.19. أو بذرتي هيدروجين في حالات خاصة من الفورمالدهايد. إنّ العديد من الأدهايدات عطرية. ومثال ذلك أن عددًا من الأزهار ذات رائحة سائغة لطيفة وسارة بسبب وجود أدهايدات بسيطة. في حين تعود رائحة الليمون، والقرفة، واللوز إلى سترال الأدهايد. وسنما أدهايد. وبنزين أدهايد. على الترتيب. إنّ تركيب هذه الأدهايدات الثلاثة. مبينة في الشكل 21.19. وهناك أدهايد آخر هو الفانلين الذي ذكر في مقدمة هذا الفصل: فهو جزيء مفتاح النكهة. مشتق من بذور القرقة. ولكن استخلاصه مكلف جدًا. إنّ تقليد نكهة الفانيليا أقلّ تكلفة لأنّه محلول لمركب الفانلين، والذي يصنع اقتصاديًا من النُفائيات الكيميائية من لبّ الخشب. لا يكون طعم الفانيليا الصناعية مائلًا لطعم الفانيليا المستخلصة طبيعيًا. ولكن، بالإضافة إلى الفانلين. فإنّ العديد من جزيئات النكهة تسهم في الطعم المعقد للفانيليا الطبيعية.

## الشكل 21.19

إنّ الأدهايد السبب في العديد من العطريات المألوفة.





ن-ن-ثنائي ميثيل-ميثا-تولوياميد

### الشكل 22.19

ن-ن - ثنائي ميثيل - ميثا- تولوياميد مثال على الأמיד. تحتوي الأמידات على مجموعة الأמיד مابين ومسلط الضوء بالأزرق عليه.



إنّ العديد من الكتب التي طبعت قبل اكتشاف الورق الخالي من الحمض لها رائحة الفانيليا؛ لأنّ الفانيليا تتشكل وتنبعث مع الزمن. وتتسارع هذه العملية بالأحماض التي يحتوي عليها الورق.

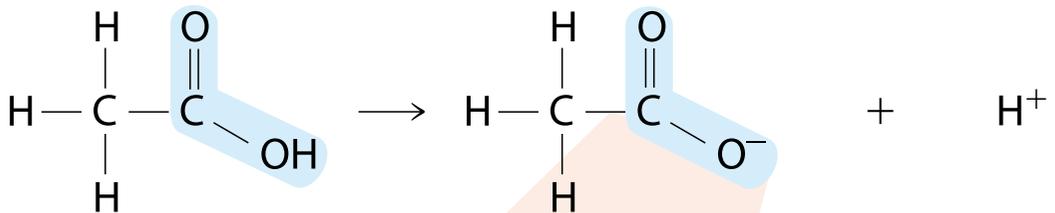
**الأמיד (Amide)** جزيء عضوي يحتوي على الكربونيل. بحيث يرتبط كربون الكربونيل بذرة نيتروجين. والمكون النشط لمعظم المواد الطاردة للبعوض أميد اسمه الكيميائي هو ن-ن - ثنائي ميثيل - ميثا- تولوياميد. وهو المعروف تجاريًا بـ DEET والمبين في الشكل 22.19. هذا المركب حقيقة ليس مبيدًا للحشرات. ولكن. يسبب لبعض الحشرات -وخصوصًا الناموس- فقدان حاسة الاتجاه. وهو عمليًا. يحمي من يعض DEET من لدغ الناموس.

**حمض الكربوكسيلي (Carboxylic acid)** جزيء عضوي يحتوي على مجموعة الكربونيل. والذي ترتبط ذرة كربون الكربونيل فيه بمجموعة الهيدروكسيل. كما يوحي اسمه. فيمكن لهذه المجموعة أن تعطي أيون هيدروجين. لذا يكون الجزيء الذي يحتويه حمضيًا. مثل حمض الأسيتيك،  $C_2H_4O_2$ . والذي يعدّ أهم مكونات الخلّ بعد الماء. يمكنك التذكّر أنّ هذا المركب استخدم مثلاً على الحمض الضعيف في الفصل 18.

وكما هو الحال مع الفينولات. تنتج حمضية حمض الكربوكسيل في جزء منها عن قدرة المجموعة الوظيفية للتعامل مع شحنة الأيون السالبة التي تتشكل بعد التبرع بأيون الهيدروجين. وكما هو مبين في الشكل 23.19، يتحول حمض الكربوكسيل إلى أيون الكربوكسيلات عندما يفقد أيون الهيدروجين. تنتقل الشحنة السالبة لأيون الكربوكسيلات جيئة وذهابًا بين ذرتي الأكسجين. ويساعد هذا الانتشار على إيواء الشحنة السالبة.

وهناك مثال مثير للاهتمام على المركب العضوي الذي يحتوي على كل من حمض الكربوكسيل والفينول. وهو حمض السلسليك. وهذا الحمض موجود في لحاء شجر الصفصاف. وموضح في الشكل 24.19. ولقد استخدم في زمن ما مخفضًا لآثار الحمى (خافض للحرارة). وهو مسكن. ولكنه يسبب الغثيان واضطراب المعدة بسبب حموضته العالية نسبيًا. بسبب وجود مجموعتين وظيفيتين حمضيتين. وفي عام 1899م. أنتجت مؤسسة فريدريك باير Friedrich Bayer الشركة الألمانية نسخة معدلة من المادة الكيميائية لهذا المركب. بحيث تحولت مجموعة حمض الفينول إلى المجموعة الوظيفية الإيسترية. وكانت النتيجة أقلّ حمضية وأكثر احتمالاً وهو حمض أستيل السلسليك. وهو الاسم الكيميائي للأسبرين. المبين في الشكل 24.19ب.

**الإيستر (Ester)** جزيء عضوي يشبه حمض الكربوكسيل إلا أنّه في الإيستر يستبدل هيدروكسيل الهيدروجين بالكربون. وعلى النقيض من حمض الكربوكسيل. لا يكون الإيستر حمضيًا بسبب نقص الهيدروجين من مجموعة الهيدروكسيل. ومثل الألدهايدات. للعديد من الإيسترات البسيطة روائح عطرية مميزة. وغالبًا ما تستخدم منكهات. بعض الإيسترات المألوفة مدرجة في الجدول 4.19.



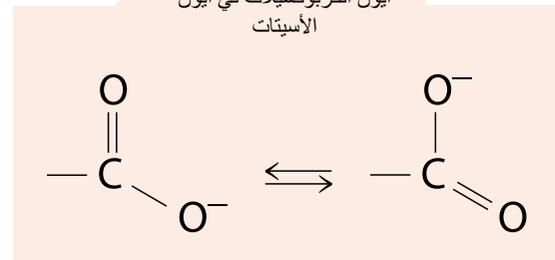
مجموعة الكربوكسيل في حمض الأسيتيك

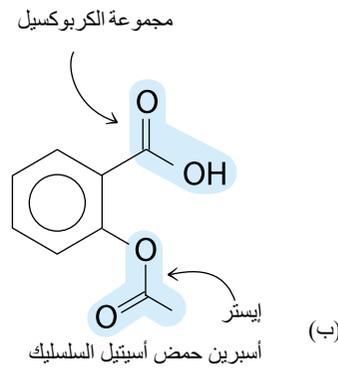
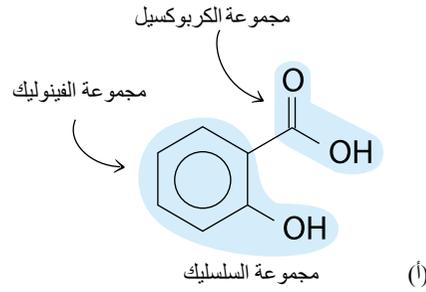
أيون الكربوكسيلات في أيون الأسيتات

أيون الهيدروجين

### الشكل 23.19

تنتقل الشحنة السالبة لأيون الكربوكسيل ذهابًا وإيابًا بين ذرتي الأكسجين في مجموعة الكربوكسيل.



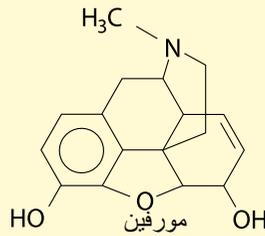
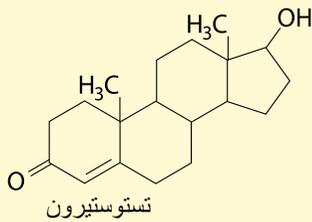
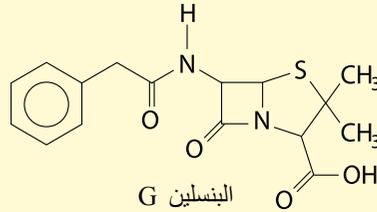
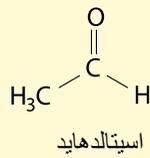


الشكل 24.19

(أ) حمض السلسليك الذي يوجد في لحاء شجر الصفصاف مثال على الجزيء الذي يحتوي على مجموعتي كُـل من الكربوكسيل والفينوليك. (ب) الأسبرين، حمض أسيتيل السلسليك أقل حموضة من حمض سلسليك؛ لأنه لم يعد يحتوي على مجموعة الفينوليك الحمضية، والتي تم تحويلها إلى إستر.

نقطة فحص

حدّد المجموعات الوظيفية في الجزيئات الأربعة الآتية: (جاهل مجموعة الكبريت في البنسلين)



نحن نأكل المواد الكيميائية العضوية يومياً وفي الحقيقة فإن المواد الكيميائية العضوية هي الوحيدة التي نأكلها، ما عدا بعض المعادن مثل أيونات الصوديوم والكالسيوم.

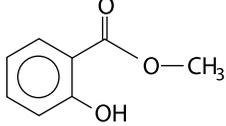
هل كانت هذه إجابتك؟

أسيتيل ألدهايد: ألدهايد. البنسلين: أميد (مجموعتا أميد). حمض الكربوكسيل. تستوستيرون: الكحول والكيتون. المورفين: الكحول. الإيثروالأمين.

لمعلوماتك

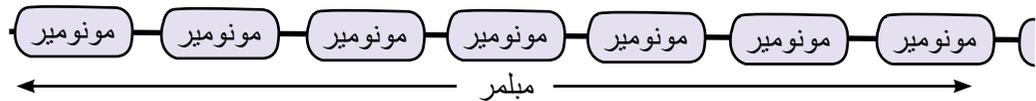
■ في عام 1800 أنتج معظم حمض السلسليك المستهلك من الناس من قطران الفحم وليس من لحاء الصنفاص. يكون للقطران المتبقي في حمض السلسليك طعم كريه. وبإخاذ هذا الطعم مع تهيج المعدة الذي يسببه حمض السلسليك، فإنّ العديد من المرضى يرون أنّ التداوي بحمض السلسليك أسوأ من المرض. أضاف الكيميائي فيلكس هوفمان Hoffman الذي كان يعمل في باير مجموعة الأسيتيل إلى مجموعة الفينول في حمض السلسليك عام 1897م. ووفقا لباير Bayer فقد تأثر هوفمان بحالة والده الذي كان يشكو من الألام الجانبية لحمض السلسليك. ولتسويق الدواء الجديد: استخدم هوفمان اسم الأسبرين: حيث يدلّ المقطع الأول على الأسيتيل والمقطع الأوسط (سبر) على الألكيلية الأسبيرية (نوع من الورد). لمصدر آخر على حمض السلسليك. ويستخدم المقطع الأخير "ين" ملحقاً للمادة الدوائية. بعد الحرب العالمية الأولى، فقدت الشركة الألمانية باير الحق في استخدام اسم الأسبرين. ولم تستطع استرداد هذا الحق حتى عام 1994م بثمن باهظ جداً، بليون دولار.

الجدول 4.19 بعض الإسترات ونكهاتها وروائحها

النكهة/الرائحة	الاسم	التركيب
شراب مسكر	فورمات الإيثيل	$\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2\text{CH}_3$
موز	أسيتات الأيزوبنتل	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{H}$
برتقال	أسيتات الأوكتل	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3$
أناناس	بيوتانات الإيثيل	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2\text{CH}_3$
تفاح	بيوتانات الميثيل	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_3$
توت العليق	فورمات الأيزوبيوتيل	$\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{H}$
شاي كندا	سلسلات الميثيل	

## 7.19 المبلمرات

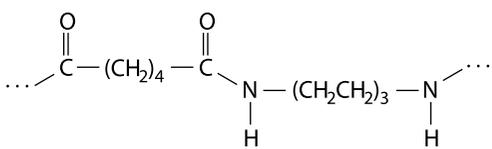
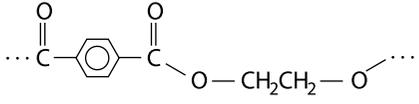
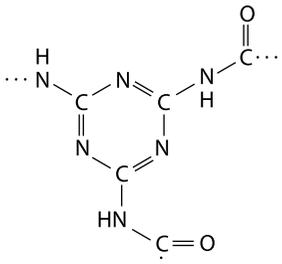
المبلمرات جزيئات طويلة جداً، وتتكون من وحدات جزيئية متكررة تسمى مونومرات. كما يوضح الشكل 25.19. يكون للمونومرات تركيب بسيط نسبياً يتكوّن من 4-100 ذرة لكلّ جزيء. عند تسلسل المونومرات معاً، فإنها تكوّن مبلمرات تتشكّل من مئات الآلاف من الذرات لكلّ جزيء. هذه الجزيئات الكبيرة تبقى أصغر من أن ترى بالعين المجردة. ولكنها مع ذلك عملاقة في العالم دون المجهرى - لو كان سمك جزيء المبلمر العادي سمك خيط طائرة الورق، فسيكون طولها 1كم.



الشكل 25.19

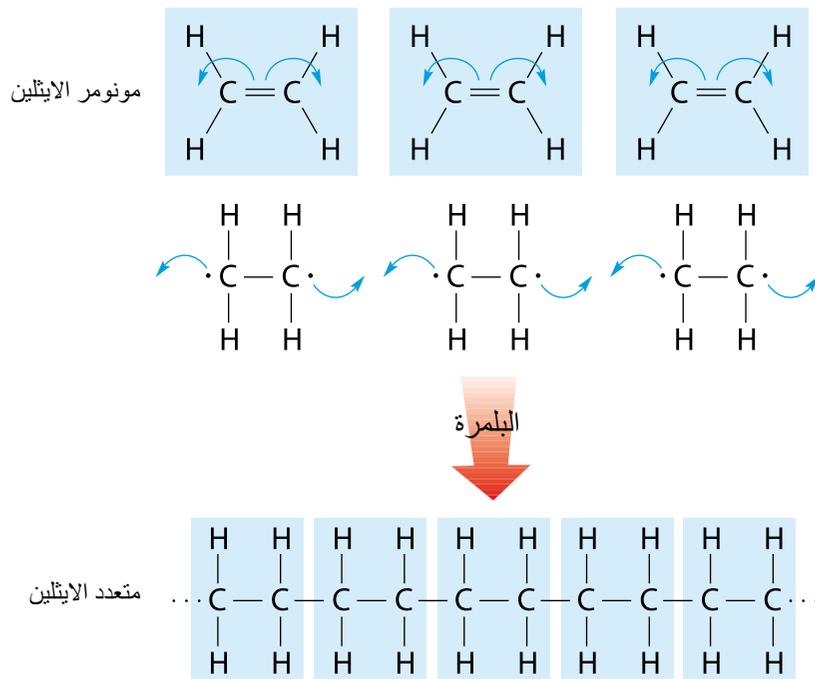
المبلمر هو جزيء طويل يتكون من العديد من جزيئات المونومرات الصغيرة المترابطة.

رمز إعادة التدوير	الاستخدامات المألوفة	الوحدة المتكررة	المبلمرات المضافة
	العلب، الأكياس البلاستيكية	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \cdots \text{C} - \text{C} \cdots \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$	متعددة الإثيلين (PE)
	السجاد الداخلي - والخارجي	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \cdots \text{C} - \text{C} \cdots \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$	متعددة البرولين (PP)
	الأدوات البلاستيكية، العزل	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \cdots \text{C} - \text{C} \cdots \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	متعددة ستايرين (PS)
	الأنابيب، ستائر الحمامات	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \cdots \text{C} - \text{C} \cdots \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array}$	متعددة كلوريد (PVC)
—	الغلاف البلاستيكي	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{Cl} \\   \quad   \\ \cdots \text{C} - \text{C} \cdots \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array}$	متعددة كلوريد الفينيلين (ساران)
—	غطاء غير لاصق	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\   \quad   \\ \cdots \text{C} - \text{C} \cdots \\   \quad   \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array}$	متعددة رباعي فلوريد البرولين (التفلون)
—	الدهانات، اللدائن	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \cdots \text{C} - \text{C} \cdots \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C} \equiv \text{N} \end{array}$	متعددة الأكريلونيترايل (أورلون)
—	كرات البولنج، النوافذ	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH}_3 \\   \quad   \\ \cdots \text{C} - \text{C} \cdots \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C} = \text{O} \\ \quad \quad   \\ \quad \quad \text{OCH}_3 \end{array}$	متعددة ميثيل الأكريلات الميثيل
—	العلكة، الغراء	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \cdots \text{C} - \text{C} \cdots \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \quad   \\ \quad \quad \text{C} - \text{CH}_3 \\ \quad \quad    \\ \quad \quad \text{O} \end{array}$	متعددة أسيتات الفينيل (PVA)

رمز إعادة التدوير	الاستخدامات المألوفة	الوحدة المتكررة	المبلمرات المضافة
—	السجاد، الملابس		النيلون
	العلب البلاستيكية، الملابس		متعدد الإيثيلين تيرفتالات
—	الصحن، غلف الطاولات		حبيبات ميلامين- فورمالدهايد (ميلمك، فورمايكا)

إنّ العديد من الجزيئات التي تشكّل الكائن الحيّ هي مبلمرات. بما فيها الـ (د.ن.ا) (DNA). والبروتينات. والسليولوز في النباتات. والكربوهيدرات المعقدة في الغذاء النشوي. أمّا الآن. فسنركز على المبلمرات التي صنعها الإنسان. فيما يُعرف بالمبلمرات الصناعية. والتي تشكّل صنفاً من المواد والمعروفة بالبلاستيك. سنبدأً دراستنا لنوعين رئيسيين من المبلمرات الصناعية التي تستخدم اليوم وهما: 1- المبلمرات المضافة. 2- المبلمرات المكثفة.

كما هو مبين في الجدول 5.19. فإن للمبلمرات المضافة والمكثفة استخدامات واسعة مختلفة. نعم المبلمرات والتي هي من تصميم الإنسان فقط أشكال الحياة العصرية. في الولايات المتحدة مثلاً. تخطّت المبلمرات الصناعية الفولاذ بوصفها مادة ذات استخدامات واسعة.

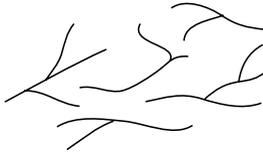


الشكل 26.19

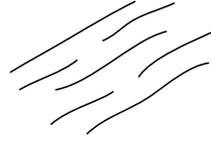
يتكوّن متعدد البولي إيثيلين المضاف عندما تتوزع إلكترونات الرابطة المزدوجة في جزيئات مونومر الإيثيلين، وتصبح غير مزدوجة، ثم ترتبط مع إلكترونات مفردة في ذرة الكربون المجاورة لتشكّل رابطة تساهمية جديدة تربط المونومرين معاً.

## الشكل 27.19

(أ) سلاسل متعدد الإيثيلين HDPE تستطيع أن تترتب بشكل متقارب معاً مثل سلاسل المعكرونة غير المطبوخة. (ب) سلاسل متعددة الإيثيلين LDPE المتفرعة تمنع السلاسل من الترتيب الجيد.



(ب) سلاسل المركب LDPE



(أ) سلاسل المركب HDPE

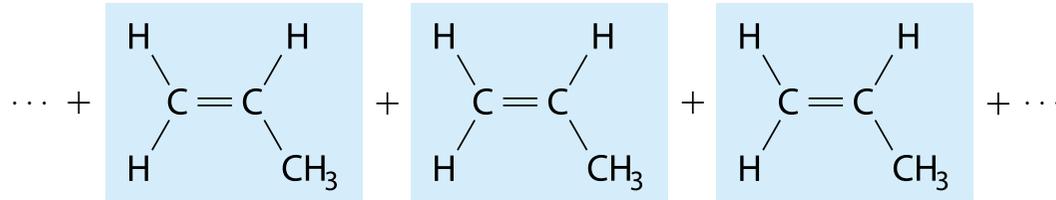
## المبلمرات المضافة (Addition Polymers)

تشكّل المبلمرات المضافة، ببساطة، بتوصيل وحدات المونومرات. ولحدوث ذلك، يجب أن يحوي كلّ مونومر رابطة ثنائية على الأقل. كما يبين الشكل 26.19، تحدث البلمرة عندما تنفصل إلكترونات من كلّ رابطة ثنائية بعضها عن بعضه لتشكيل روابط تساهمية جديدة مع جزيئات المونومر المجاور. خلال هذه العملية، لا تفقد أيّ من الذرات، لذا فإنّ الكتلة الإجمالية للمبلمر تساوي مجموع كتل المونومرات كلّها. ينتج نحو 12 مليون طن من متعدد الإيثيلين سنويًا في الولايات المتحدة، وهذا يعني 90 رطلاً تقريبًا لكلّ مواطن هناك. إنّ المونومر الذي يصنع منه الإيثيلين، هو هيدروكربون غير مشبع ينتج بكميات كبيرة من البترول.

ينتج الشكل الرئيس لمتعدد الإيثيلين باستخدام محقّرات وشروط تفاعل مختلفة. يبين الشكل 27.19 رسماً تخطيطيًا لمتعدد الإيثيلين العالي الكثافة (HDPE)، يتكون من جدائل طويلة من سلسلة مستقيمة من الجزيئات مرصوصة جيدًا معاً، يجعل الصّف المتراصّ الجدائل في HDPE صلبة نسبيًا، بحيث يصبح البلاستيك متينًا، ويكون مفيدًا في صنع أشياء كالزجاجات وأباريق الحليب. إنّ متعدد الإيثيلين قليل الكثافة (LDPE)، المبين في الشكل 27.19 ب، يصنع من جدائل من سلاسل كثيرة التفرع. وهذا البناء يمنع الجدائل من التراصّ بعضها فوق بعض. يجعل LDPE أكثر انحناءً من HDPE ويعطيها درجة انصهار أقل. تحتفظ HDPE بشكلها في الماء المغلي، في حين تتشوه الـ LDPE. وتكون LDPE أكثر فائدة للأصناف مثل الأكياس الزجاجية، وأغشية التصوير، وعزل الأسلاك الكهربائية.

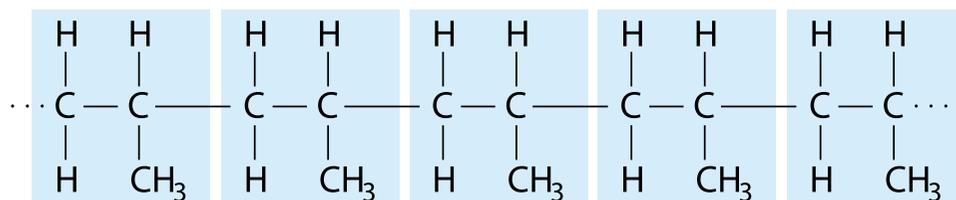
تصنع المبلمرات المضافة الأخرى باستخدام مونومرات مختلفة. المتطلب الوحيد هو وجوب احتواء المونومر على رابطة ثنائية. مثلاً، مونومر البروبيلين ينتج متعدد البروبيلين، كما هو مبين في الشكل 28.19. متعدد البروبيلين هو مادة بلاستيكية متينة مفيدة في صنع الأنابيب، والحقائب ذات الأغلفة الصلبة، وقطع الطائرات. إنّ ألياف متعدد البروبيلين مفيدة كمواد تنجيد، وللسجاد داخل البيوت وخارجها، وحتى الملابس الداخلية الحرارية.

مونومر بروبلين



البلمرة

متعدد البروبيلين

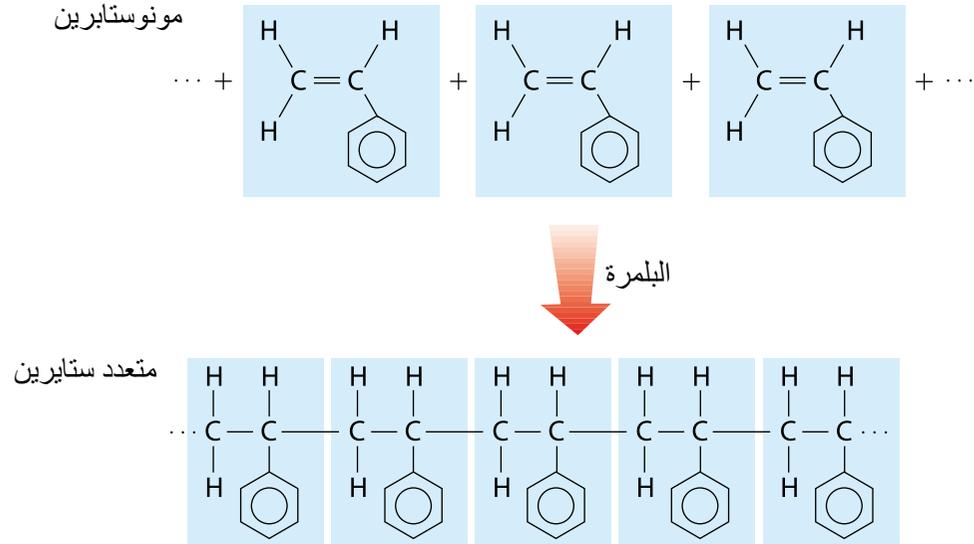


## الشكل 28.19

يتبلمر مونومر بروبلين ليكون متعدد البروبيلين.

الشكل 29.19

يتبلر مونومر الستايرين لتكوين البولستيرين. مبلر مضاف آخر مهم هو متعدد كلوريد الفينيل (PVC)، وهو قاس وسهل التقولب. يُصنع معظم مطاط الأرضيات، وستائر الحمامات، والأنايب من الـ PVC، المبينة في الشكل 30.19.



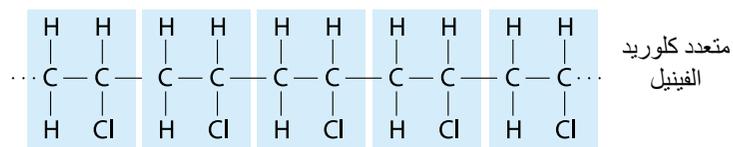
يبين الشكل 29.19 أنه باستخدام ستايرين كمونومر ينتج متعدد الستايرين (البولستيرين). تصنع الأكواب البلاستيكية الشفافة من البولستيرين. كما هو الحال من الآلاف الأخرى من أصناف الأواني المنزلية. يولد نفخ الغاز في سائل البولستيرين الستايروفوم. والذي يستخدم بكثرة في صناعة أكواب القهوة. ومواد الشحن. والعزل.

إنّ المبلر المضاف كلوريد البوليوفينيلين (الاسم التجاري ساران) المبين في الشكل 31.29. يستخدم في صناعة البلاستيك لتغليف الغذاء. يساعد كبر حجم ذرات الكلور في هذا المبلر في الالتصاق بالسطوح مثل الزجاج من خلال جذب الثناقطي - الثناقطي المستحث. كما نوقش في الجزء 8.15. المبلر المضاف متعدد رباعي فلورو الإيثيلين المبين في الشكل 32.19. والمعروف بالتيفلون. في المقابل مع الساران المحتوي على الكلور. فإن التيفلون المحتوي على الفلور له سطح غير لاصق؛ لأنّ ذرات الفلور لا تميل إلى التعرض إلى أيّ جذب جزيئي. إضافة إلى ذلك، وبسبب أنّ روابط الكربون - فلور قوية بشكل غير عادي. يمكن أن يسخن التيفلون إلى درجات حرارة عالية قبل أن يتحلل. إن هذه الخصائص تجعل التيفلون مثاليًا لطلاء سطوح أواني الطهو. كما أنه خامل نسبيًا. ولهذا، تشحن العديد من المواد الكيميائية الحادة أو تخزن في حاويات من التيفلون.

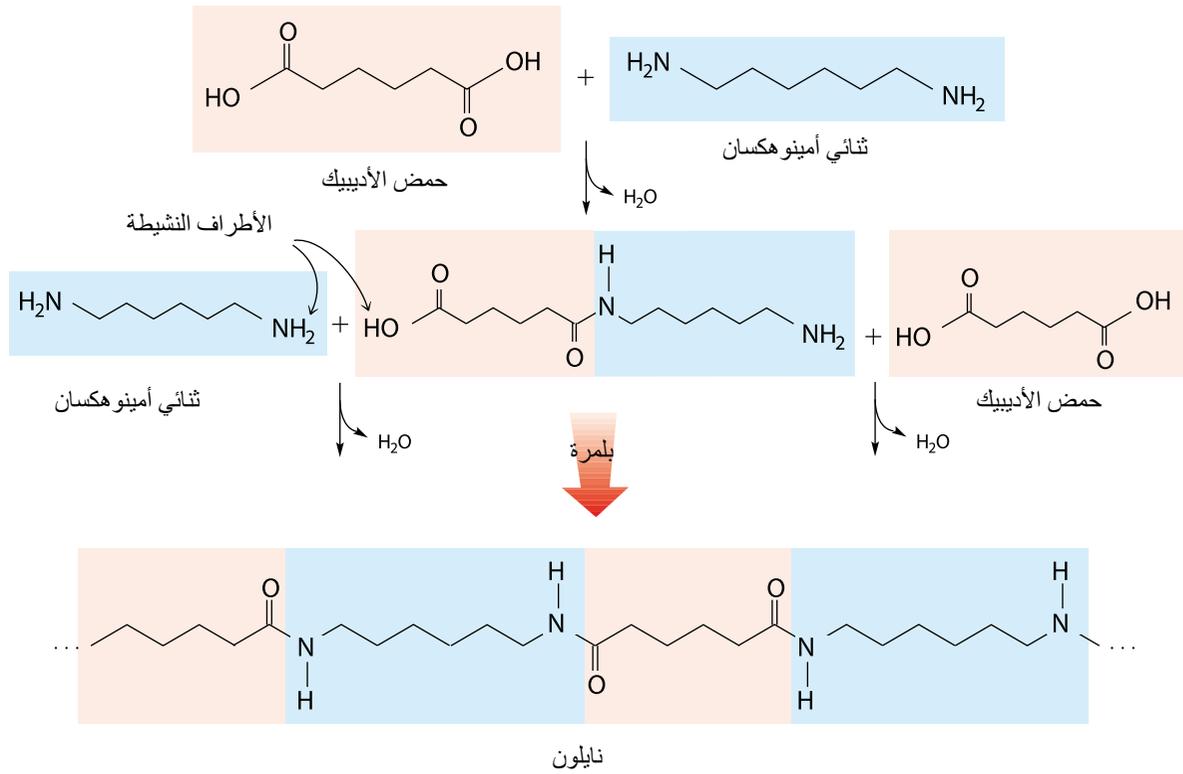


الشكل 30.19

الـ PVC صلب وسهل التقولب، ولهذا يستخدم في صناعة العديد من الأواني المنزلية.







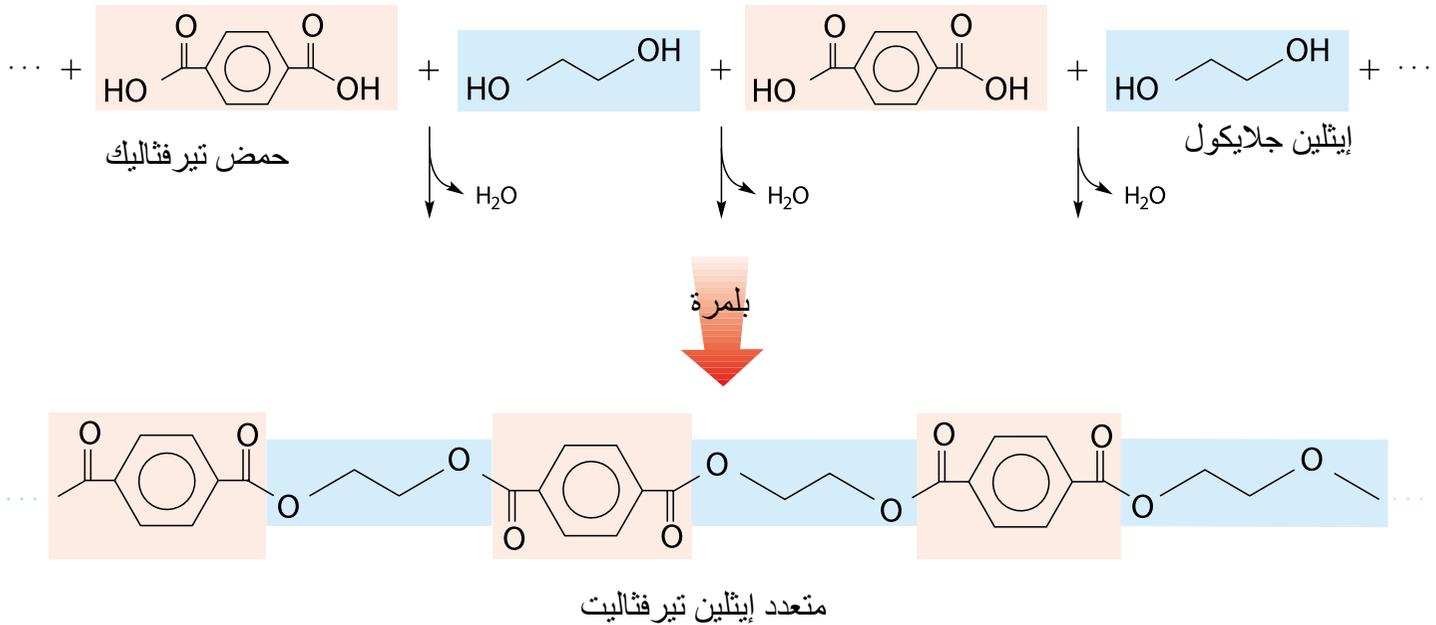
الشكل 33.19

يتبلر حمض الأديبيك مع ثنائي أمينو هكسان ليشكل النايلون كبلمر مكثف.

يبين الشكل 33.19 عملية تكثيف المبلمر المسمى النايلون، والذي صنع عام 1937م على يد الكيميائي ولاس كاروثيرس (1896-1937) Wallace Carothers في شركة DuPont. يتكوّن هذا المبلمر من مونومرين مختلفين، والذي يصنّفه كـ **مبلمر مشترك**. ويعدّ حمض الأديبيك واحداً من هذه المونومرات، وهو يحتوي في طرفيه على مجموعتين وظيفيتين، كلتاها من مجموعات الكربوكسيل. والمونومر الثاني هو سداسي ميثيلين ثنائي الأمين، والذي تكون فيه مجموعتا الأمين متفاعلتين. ويتفاعل أحد أطراف جزيء حمض الأديبيك وطرف جزيء سداسي ميثيل الأمين معاً، متخلصة من جزيء الماء في هذه العملية. وبعد وصل المونومرين معاً تبقى الأطراف جاهزة لتفاعلات أخرى تؤدي إلى نمو سلسلة المبلمر. وإضافة إلى الاستخدامات في الملابس المحبوكة، فإنّ للنايلون استخدامات مفيدة في صناعة الجبال، والمظلات، والملابس والسجاد.

وهناك مبلمر كثيف آخر له استخدامات عديدة هو متعدد تيرفثالات الإيثيلين (PET)، والذي يتكون من اتحاد مبلمرات إيثيلين جلايكول وحمض التيرفثاليك. كما هو مبين في الشكل 34.19. إنّ علب الصودا البلاستيكية تتكون من هذا المبلمر. وتستخدم ألياف الـ PET والتي تسمى مايلار، والتي يمكن تغليفها بجسيمات معدنية لصناعة أشرطة التسجيل المغناطيسية، والبالونات التي تبدو كمعدنية، والتي تراها في معظم الخازن التجارية.

تستطيع المونومرات التي تحتوي على ثلاث مجموعات وظيفية متفاعلة أن تكون سلاسل مبلمرة. ويمكن أن تكون هذه السلاسل مغلقة، ومكونة شبكة صلبة في ثلاثة أبعاد تعطي قوة كبيرة ومرونة عالية للمبلمر. وعندما تتشكّل هذه المبلمرات الكثيفة، عندئذٍ لا يمكن إعادة إذابتها أو تشكيلها، والذي يجعلها مجموعة قاسية، أو مبلمرة صلبة. تصنع الأواني البلاستيكية الصلبة (ملماك)، والفورمايكا من هذه المواد. كما أنّ هناك مبلمرًا مشابهًا هو البكاليت، المصنوع من الفورمالدهايد والفينولات التي تحتوي على ذرات أكسجين متعددة. وهو يستخدم لإصاق الخشب الرقائقي والخشب الرقيق. وقد صنعت الباللايت في أوائل عام 1900م، وهو أول مبلمر يستخدم بشكل واسع.

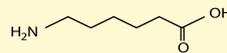


## الشكل 34.19

يتبلمر حمض تيرفتاليك وإيثلين جلايكول ليشكلا بلمراً مكثفاً هو متعدد إيثلين تيرفتاليت.

## نقطة فحص

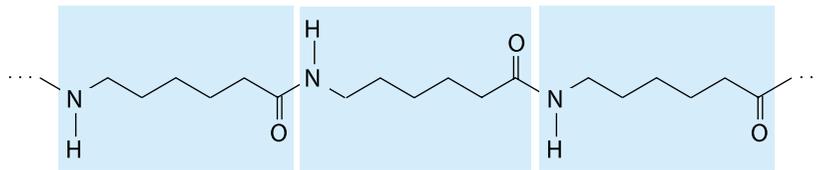
إنّ تركيب حمض 6 - أمينو حمض الهكسانويك هو:



هل هذا المركب مناسب لتشكيل بلمر كثيف؟  
إذا كان كذلك فما تركيب البلمر الناتج؟ وما الجزيء الصغير الذي ينفصل خلال هذه العملية؟

هل كانت هذه إجابتك؟

نعم: لأنّ لهذا المركب نهايتين متفاعلتين. وأنت تعلم أنّ النهايتين متفاعلتان لأنهما النهايتان المبيّتان في الشكل 33.19. الفرق الوحيد هنا هو أنّ كلتا النهايتين المتفاعلتين للجزيء نفسه. يتحد المونومر بفضل جزيء الماء لتكوين البلمر المعروف بالنايلون - 6.



لقد نمت صناعة المبلمرات الصناعية بشكل كبير جداً خلال نصف القرن الماضي. وازداد إنتاجها في الولايات المتحدة وحدها من 3 بلايين رطل عام 1925م إلى أكثر من 100 بليون رطل عام 2003. إنّ وجود صنف مستهلك لا يحتوي على بلاستيك بطريقة أو أخرى اليوم بعدّ حدياً. جرب أن تجد صنفاً ما. في المستقبل. كن على استعداد لأنواع جديدة من المبلمرات ذات المجال الواسع من الخصائص الرائعة. إنّ أحد هذه التطبيقات المثيرة هو ما تشاهده في الشكل 35.19. لدينا الآن مبلمرات موصلة للكهرباء، وأخرى تبتّ الصّوء، وأخرى تستبدل بأجزاء الجسم، وأخرى أكثر قوة وأخف من الفولاذ كثيراً.

## لمعلوماتك

يمكن جعل المبلمرات الصلبة مثل الـ PVC لينة. وذلك بدمج جسيمات صغيرة تسمى اللدائن. مثلاً الـ PVC النقي مادة صلبة متازة لصنع الأنابيب. وإذا مُزجت باللدائن فإنّ الـ PVC تصبح لينة ومرنة ومفيدة في صناعة ستائر الحمامات، والألعاب، والعديد من المنتجات الموجودة في الأدوات المنزلية. إحدى اللدائن كثيرة الاستخدام هي المسماة اللافثاللات، والتي تبين أنّ بعضها يمنع تطور الأعضاء التناسلية، وخصوصاً عند الجنين والطفل النامي. تعمل الحكومات والصناعيون على وقف هذه اللدائن. ولكن تبين أنّ بعض هذه اللافثاللات مثل DINP أنها آمنة. ويبقى سؤال رهن الإجابة وهو: هل يجب وقف اللافثاللات جميعها لأسباب سياسية واجتماعية، أم فقط تلك التي تسبب الأذى؟

الشكل 35.19

يمكن الآن صناعة شاشات عرض فيديو مسطحة وأخرى مرنة من المبلمرات



تخيل مبلمرًا صناعيًا يحاكي التمثيل الضوئي بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية. أو تلك التي لها كفاءة لفصل الماء العذب عن ماء البحر. هذه ليست أحلامًا. بل هي حقائق برهنها الكيميائيون في المختبر؛ المبلمرات تحمل الخير للمستقبل.

### ملخص المصطلحات

**الأمين *Amine***: جزيء عضويّ يحتوي على ذرة نيتروجين مرتبطة بوحدة أو أكثر من ذرات الكربون المشبعة.

**مجموعة الكربونيل *Carbonyl group***: ذرة كربون مرتبطة ثنائيًا مع ذرة أكسجين. موجودة في الكيتونات، والألدهايدات، والأميدات، وحوامض الكربوكسيليك، والإيسترات.

**الكيتون *Ketone***: جزيء عضويّ يحتوي على مجموعة الكربونيل. الكربون فيها مرتبط مع ذرتي كربون.

**الألدهايد *Aldehyde***: جزيء عضويّ يحتوي على مجموعة الكربونيل. وترتبط ذرة الكربون فيه إما بذرة كربون واحدة وذرة هيدروجين واحدة أو بذرتي هيدروجين.

**الأميد *Amide***: جزيء عضويّ يحتوي على مجموعة الكربونيل. ويرتبط الكربون فيه بذرة نيتروجين.

**حمض الكربوكسيليك *Carboxylic acid***: جزيء عضويّ يحتوي على مجموعة الكربونيل. ويحتوي الكربون فيه على مجموعة الهيدروكسيل.

**الإيستر *Ester***: جزيء عضويّ يحتوي على مجموعة الكربونيل. وترتبط ذرة الكربون فيه بذرة كربون واحدة وذرة أكسجين واحدة مرتبطة بذرة كربون أخرى.

**المبلمر *Polymer***: جزيء عضويّ طويل مصنوع من العديد من الوحدات المتكررة.

**المونومرات *Monomers***: وحدات جزيئية صغيرة. تتكون المبلمرات منها.

**المبلمر المضاف *Addition polymer***: المبلمر المكون من وصل وحدات المونومر. بحيث لا تفقد ذرات عند تشكيل المبلمر.

**مبلمر التكثيف *Condensation polymer***: المبلمر المكوّن من وصل وحدات المونومر مصحوبًا بفقدان جزيئات صغيرة. مثل الماء.

**الكيمياء العضوية *Organic chemistry***: دراسة المركبات التي تحتوي على الكربون.

**الهيدروكربون *Hydrocarbon***: مركب كيميائي يحتوي على الكربون والهيدروجين فقط.

**الهيئات *Configurations***: مصطلح يستخدم لوصف كيفية اتصال الذرات ضمن الجزيء. مثلًا. يتكون التركيب الأيزوميري من العدد نفسه والنوع نفسه من الذرات. ولكن لهما هيئات مختلفة.

**التركيب الأيزوميري *Structural isomers***: جزيئات لها الصيغة الجزيئية نفسها، ولكنها تختلف في الهيئة.

**الامتثال *Conformation***: واحد من مجال واسع من الاتجاهات الفضائية المحتملة لهيئة معينة.

**الهيدروكربون المشبع *Saturated hydrocarbon***: الهيدروكربون الذي لا يتضمن روابط تساهمية متعددة، وتكون ذرة كربون مرتبطة بأربع ذرات أخرى.

**الهيدروكربون غير المشبع *Unsaturated hydrocarbon***: الهيدروكربون الذي يتضمن رابطة تساهمية متعددة واحدة على الأقل.

**المركب العطريّ *Aromatic compound***: أيّ جزيء عضوي يحتوي على حلقة بنزين.

**الذرة المغايرة *Heteroatom***: أيّ ذرة غير الكربون والهيدروجين في الجزيء العضوي.

**المجموعة الوظيفيّة *Functional group***: اتحاد معين من الذرات التي تسلك سلوك وحدة في الجزيء العضوي.

**الكحول *Alcohol***: جزيء عضويّ يحتوي على مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بذرة كربون مشبعة.

**الفينول *Phenol***: جزيء عضويّ يحتوي على مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بحلقة بنزين.

**الإيثر *Ether***: جزيء عضويّ يحتوي على ذرة أكسجين مرتبطة بذرتي كربون.

## أسئلة مراجعة

## 1.19 مركبات كربون الهيدروجين (الهيدروكربونات)

1. اذكر بعض الأمثلة على الكربوهيدرات.
2. ما بعض استعمالات الكربوهيدرات؟
3. كيف تختلف الأيزومرات التركيبية بعضها عن بعض؟
4. فيم يتشابه تركيباً امتثالين؟
5. ما الخاصية الفيزيائية للهيدروكربونات المستخدمة في التقطير الجزيئي؟
6. ما نوع الهيدروكربون الأكثر وفرة في الغازولين ذي الأوكتان العالي؟
7. ما عدد الذرات المرتبطة بذرة الكربون المشبع؟

## 2.19 الهيدروكربونات غير المشبعة

8. ما الفرق بين الهيدروكربون المشبع وغير المشبع؟
9. كم يجب أن يكون عدد الروابط المتعددة في الهيدروكربون حتى يصنّف على أنه غير مشبع؟
10. ما نوع الحلقة التي تحتويها المركبات العطرية؟

## 3.19 المجموعات الوظيفية

11. ما الذرة المغايرة؟
12. لماذا تصنع الذرة المغايرة كل هذه الفروق في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للجزيء العضوي؟

## 4.19 الكحولات، الفينولات والإثيرات

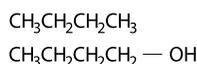
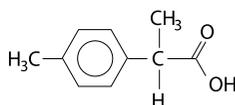
13. أيّ هذه المركبات له درجة غليان أعلى، ولماذا؟  
 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$   
 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2 - \text{OH}$
14. لماذا يذوب الكحول ذو الصيغة الكتلية المنخفضة في الماء؟
15. ما الذي يميز الكحول عن الفينول؟
16. ما الذي يميز الكحول عن الإثير؟

## 5.19 الأمينات وأشباه القلويات

17. ما الذرة المغايرة المميزة للأمين؟
18. هل يميل الأمين إلى أن يكون حمضيًا، أم متعادلاً، أم قاعديًا؟
19. هل توجد أشباه قلويات في الطبيعة؟
20. هات بعض الأمثلة على أشباه القلويات.

## 6.19 مركبات الكربونيل

21. ما العناصر التي تصنع منها مجموعة الكربونيل؟
22. فيم تتشابه الكينونات والألدهايدات، وفيم تختلف؟
23. ما الخاصية المفيدة جَارًّا للألدهايدات؟
24. فيم تتشابه الحموض الكربوكسيلية والأميدات، وفيم تختلف؟
25. من أيّ مركب موجود في الطبيعة يحضر الأسبرين؟
26. صنّف المركبات الآتية إلى هيدروكربون، أو كحول، أو حمض الكربوكسيليك:



## 7.19 المبلمرات

27. ماذا يحدث للرابطة الثنائية للمونومر المشترك في تكوين مبلمر إضافي؟
28. ماذا يطلق في تشكيل مبلمر مكثف؟
29. لماذا تكون الأغلفة البلاستيكية للغذاء من البلاستيك اللاصق بدلاً من الإيثيلين المتعدد؟
30. ما المبلمر المشترك؟

## تمارين

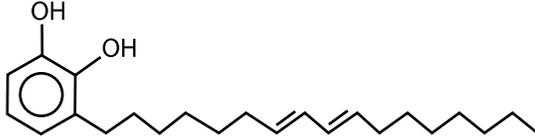
● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ◆ خبير

1. ما خاصية الكربون التي تسمح بتكوين العديد من الجزيئات العضوية المختلفة؟
2. ارسم التراكيب جميعها لامتنالات الهيدروكربونات التي صيغتها الجزيئية  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ .
3. ما عدد التراكيب الامتنالية المبينة هنا؟
4. وفق الشكل 3.91، أيهما درجة غليانه أعلى؛ الغازولين أم الكيروسين؟
5. تكون درجات الحرارة في برج التقطير الجزيئي لمصفاة الزيت مهمة، كذلك الضغط. في أيّ مكان يكون الضغط في برج التقطير الجزيئي أعظم؛ في أسفل البرج أم في قمته؟ علّل إجابتك.
6. هناك خمس ذرات في جزيء الميثان  $\text{CH}_4$ . واحدة منها هي ذرة كربون، والتي تشكل  $\frac{1}{5} \times 100\% = 20\%$ . ما نسبة الكربون في كل من الإيثان،  $\text{C}_2\text{H}_6$ ، والبروبان،  $\text{C}_3\text{H}_8$ ، والبيوتان،  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ؟
7. أيّهما يميل إلى إنتاج ثاني أكسيد الكربون عند الاحتراق: الهيدروكربونات الثقيلة أم الخفيفة؟ ولماذا؟

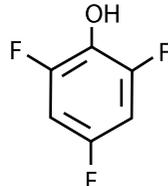
1. ما خاصية الكربون التي تسمح بتكوين العديد من الجزيئات العضوية المختلفة؟
2. ارسم التراكيب جميعها لامتنالات الهيدروكربونات التي صيغتها الجزيئية  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ .
3. ما عدد التراكيب الامتنالية المبينة هنا؟
4. وفق الشكل 3.91، أيهما درجة غليانه أعلى؛ الغازولين أم الكيروسين؟

499 الفصل 19 المركبات العضوية

18. ■ أيّ التراكييب المبينة في التمرين 17 هي 3 - ميثيل 2 - بنتين. حيث يشير العدد "2" إلى مكان الرابطة الثنائية؟ ضع دائرة حولها.  
19. ◆ ما عدد الأيزومرات الموجودة في 3 - ميثيل - 2 - بنتين؟  
20. ● لماذا تكون درجة غليان الإيثرات أقلّ من درجة غليان الكحولات عادة؟  
21. ■ ما النسبة المئوية لحجم الماء في شهادة 80- فودكا؟  
22. ■ إنّ سلسلة الهيدروكربون الطويلة القطبية إحدى مكونات سمّ البلوط الذي يهيج الجلد. وهي تربط نفسها بالجلد المرزيت:

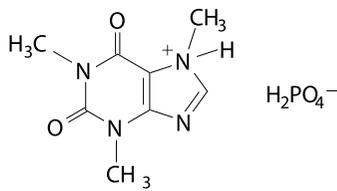


- يحتوي الذيل الطويل الهيدروكربوني غير القطبي نفسه في زيت جلد الشخص. حيث ينشئ الجزئي استجابة حساسة وينشر الحك جزئيات tetrahydrothiol على مساحة سطح أكبر مما يوسع منطقة التهيج ويجعلها تنمو. هل هذا المركب كحول أم فينول؟ علّل إجابتك.  
23. ◆ لماذا 2، 4، 5 - ثلاثي فلوروفينول أكثر حمضية من الفينول كثيرًا؟



2، 4، 5 - ثلاثي فلوروفينول

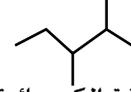
24. ■ كحول السيتيل  $C_{16}H_{33}OH$ . مكون مشترك للصابون والشامبو. كان يستخلص عادة من زيت الحوت. ومن هنا حصل على اسمه (اشتق السيتيل من الحيتان). ارسم التركيب الكيميائي لهذا المركب.  
25. ■ أحد المكونات المشتركة لواقى الشمس والشامبو هو ثلاثي إيثيل الأمين. والذي يعرف بـ TEA أيضًا. ما التركيب الكيميائي لهذا المركب؟  
26. ■ مركب مشترك آخر في مكونات المنتجات مثل واقى الشمس والشامبو هو ثلاثي إيثانول الأمين. ما التركيب الكيميائي لهذا المركب؟  
27. ■ التركيب الكيميائي التالي لكافيين ملح حمض الفوسفوريك. يسلك هذا الجزيء سلوك حمض. إي أنه يعطي أيون الهيدروجين. ومصدره من ذرة الهيدروجين المرتبطة مع ذرة النيتروجين الموجبة الشحنة. ما جميع المركبات الناتجة عن تفاعلات مول واحد من هذه الأملاح مع مول واحد من هيدروكسيد الصوديوم.  $NaOH$ . القاعدة القوية؟



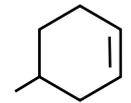
كافيين - ملح حمض الفوسفوريك

28. ◆ ارسم الأيزوميرات جميعها للأمينات التي صيغتها الجزيئية  $C_3H_9N$ .

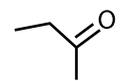
8. ● ما الصيغة الكيميائية للتركيب الآتي؟



9. ● ما الصيغة الكيميائية للتركيب الآتي؟



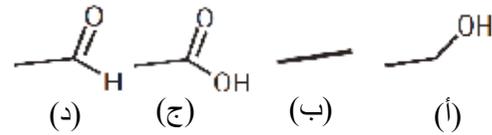
10. ● ما الصيغة الكيميائية للتركيب الآتي؟



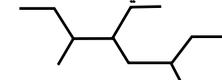
11. ■ ترى أسفل تركيب 2 - ميثيل بنتان. ما تركيب 3 - ميثيل بنتان؟



12. ■ رتبّ المركبات الآتية من الأقل أكسدة إلى الأكثر أكسدة؟



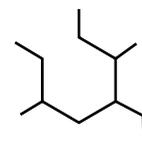
13. ● ضع دائرة حول أطول سلسلة من ذرات كربون في التركيب الآتي. ما عدد ذرات الكربون في هذه السلسلة؟



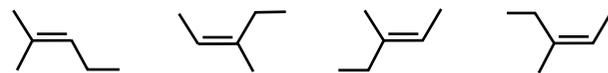
14. ● عد ذرات الكربون ضمن أطول سلسلة ذرات كربون في التركيب المبين في التمرين 13. ما عدد التفرعات التي يمكن مدها من هذه السلسلة؟

15. ■ يعرف فرع الكربون المفرد ضمن الهيدروكربون كمجموعة *الميثيل*. ويعرف نوع ثنائي-التفرع على أنه مجموعة *الإيثيل*. إذن، ما هو الاسم الرسمي للتركيب المبين في التمرين 13؟  
أ- 3 - ميثيل - 4 - إيثيل - 6 - ميثيل الأوكتان.  
ب- 6، 3 ثنائي - ميثيل - 4 - إيثيل - أوكتان.  
ج- 2 - إيثيل - 4 - إيثيل - 5 - ميثيل - هيبتان.  
د- 4، 2 - ثنائي إيثيل - 5 - ميثيل - هيبتان.

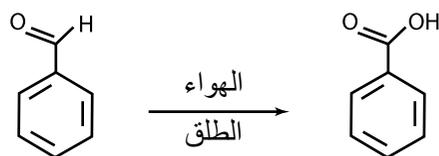
16. ■ ما اسم التركيب الآتي؟



17. ◆ يمكن أن تدور روابط الكربون-الكربون المفردة. ولكن روابط الكربون-الكربون الثنائية. لا يمكن أن تدور. انظر النشاط المعنون "حلولي الفاصوليا لي" في نهاية هذا الفصل. ما عدد التراكييب المبينة أدناه؟



34. • البنزالدهايد هو زيت عطري. إذا حُفظ في زجاجة دون غطاء فإنّ هذا المركب يتحوّل ببطء إلى حمض البنزويك حول السطح. ماذا تسمّى هذه العملية: أكسدة أم اختزالاً؟

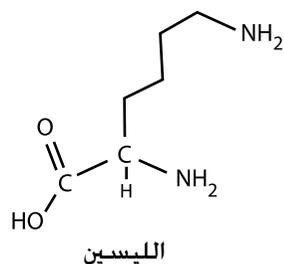


البنزالدهايد

البنزويك

35. • أيّ المركبات تتكوّن عند تفاعل حمض البنزويك مع هيدوكسيد الصوديوم، NaOH؟ أحد هذه المركبات هو حمض الطعام المألوف. هل تستطيع ذكر اسمه؟

36. • في الحمض الأميني الليسين المبين أدناه. ما المجموعة الوظيفية التي يجب إزالتها حتى ينتج كادافرين. المبين في الشكل 16.19؟

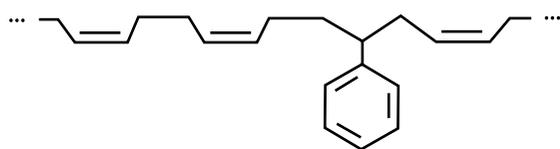


37. ♦ هل تتوقع أن يكون متعدد البرولين أكثر كثافة من متعدد الإيثيلين أم أقل؟ لماذا؟

38. ■ تطلق العديد من المبلمرات أبخرة سامة عند احتراقها. أيّ مبلمر في الجدول 5.19 ينتج سيانيد الهيدروجين HCN؟ أيّ اثنين ينتجان غاز حمض الكلوريك السام؟

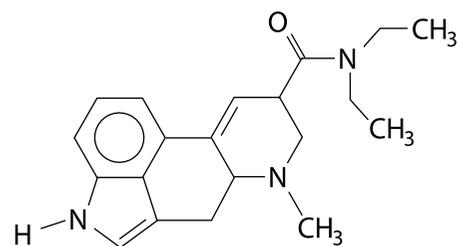
39. ■ من أين تأتي الطاقة الكبيرة التي تطلقها الهيدروكربونات عندما تشتعل؟

40. ■ يستخدم المبلمر المتحد المطاط ستايرين-بيوتادين (SBR) المبين أدناه لصنع الإطارات. والعلكة الفقاعية. هل هذا المبلمر مضاف أم مكثف؟



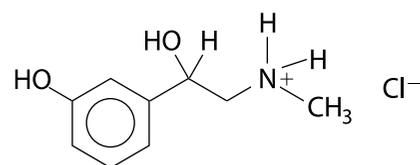
ستايرين-بيوتادين

29. ♦ هل يسلك الجزيء التالي في الماء سلوك حمض أم قاعدة. أم أنّه ليس حمضاً ولا قاعدة. أم أنّه كلاهما؟



ثنائي إيثيل أميد حمض اللايسرجك

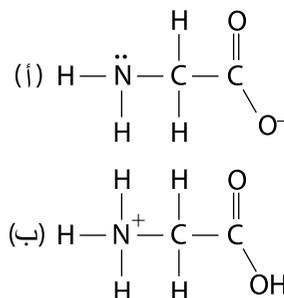
30. ♦ إذا رأيت رقعة HCl على مزيل الاحتقان فينيل فرين. فهل تقلق من أنّ ابتلاعه سوف يعرضك إلى حمض الكلوريك القوي؟ فسّر.



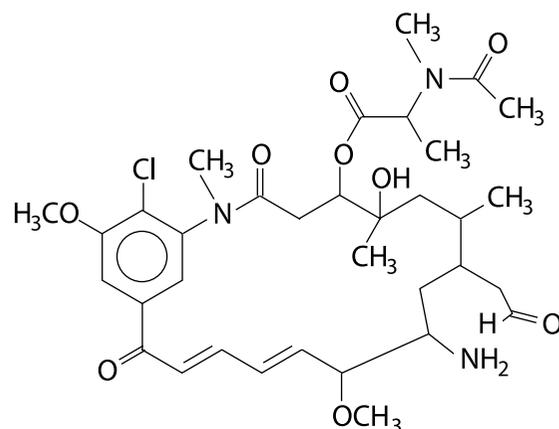
مزيل الاحتقان. ملح فينيل - حمض الكلوريك

31. ■ فسّر سبب حموضة طعم الأسبرين.

32. ■ الحمض الأميني هو جزيء عضويّ يحتوي على مجموعتي الأمين والكربوكسيل. عند pH حمضية، أيّ التراكيب التالية احتماليته أكبر؟ علّل اجابتك.



33. ■ حدّد المجموعات الوظيفية الآتية في الجزيء العضوي: الأמיד، الإيستر، الكيتون، الإثير، الكحول، ألدهايد، الأمين.



## أنشطة استكشافية

### حلوى الفاصوليا لي

يمكن لذرات الكربون المتصلة معًا برابطة مفردة أن تدور بعضها بالنسبة إلى بعض. كما ناقشنا في الجزء 1.19، تؤدي هذه المقدرة على الدوران إلى امتثالات عديدة (أجاءات فضائية) للجزيء العضوي. ومن المحتمل أيضًا أن تدور ذرتا كربون متصلتان برابطة ثنائية إحداهما بالنسبة إلى الأخرى. قم بهذا النشاط السريع لتتأكد بنفسك.

### الإم تحتاج؟

حبتي فاصوليا، عود أسنان.



### طريقة العمل

1. صل حبة فاصوليا مع أخرى بعود أسنان. ثبت حبة فاصوليا بيد وأدر الحبة الثانية باليد الأخرى. لاحظ عدم وجود قيود على الاتجاهات المختلفة لحبتي الفاصوليا إحداهما بالنسبة إلى الأخرى.
2. أمسك عودي أسنان جنبًا إلى جنب. وضع حبة فاصوليا عند كل طرف. بحيث تكون كل حبة فاصوليا ملتصقة بعودين. كما في الخطوة السابقة، ثبت حبة فاصوليا بيد، وأدر الحبة الثانية.

ما الدوران المسموح به الآن؟ اربط ما تلاحظه مع الرابطة الثنائية للكربون - الكربون. أي تركيب من الشكل 7.19 له امتثالات أكثر: ن-بيوتين؟ ترى، ما الصحيح حول مقدرة ذرات الكربون - الكربون المتصلة برابطة ثلاثية للانحناء بعضها بالنسبة إلى بعض؟

### صقل البيض

إنّ الكحول أيزوبروبيل الذي يعرف أيضًا بكحول الصقل سام إذا ابتلع؛ لأنه يدمر بروتينات الهضم وغيرها من الجزيئات الحيوية المهمة في معدتك. اعمل هذا النشاط لتتأكد بنفسك من الأثر التدميري لكحول الأيزوبروبيل على البروتينات. اكسر بيضة وضع الصفار في وعاء والبيض في وعاء آخر. اسكب ملعقة كاملة من كحول الأيزوبروبيل على البيض، ولاحظ ما يحدث. أخفق الصفار بشوكة في الوعاء الثاني. ثم أضف كمية كحول الأيزوبروبيل نفسها للوعاء الخفوق. ولاحظ ما يحدث. النوع نفسه من التدمير يحدث للبروتينات في معدتك. بالإضافة إلى الأنسجة الأخرى عند ابتلاع كحول الأيزوبروبيل. هذا ليس جيدًا! ولكن جلدنا، مقاوم للأثر التدميري لكحول الأيزوبروبيل، والذي يستخدم مطهرًا موضعيًا جيدًا.

## اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدًا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 إجابة صحيحة. وإن لم تستطع ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر أفضل إجابة لكل سؤال مما يلي:

1. تزداد درجة الغليان للهيدروكربون بزيادة عدد ذرات الكربون لكل جزيء لأن:
  - أ. زيادة عدد ذرات الكربون لكل جزيء يعني أيضًا زيادة كثافة الهيدروكربون.
  - ب. العديد من الجذب الجزيئي للثنائيات المستحث- ثنائيات مستحث يمسك الجزيئات معًا.
  - ج. سلاسل هيدروكربونات الكربون الكبيرة تميل إلى التفرع.
  - د. الكتلة الجزيئية تزداد أيضًا.
2. عدد الأيزوميرات التركيبية الموجودة في الهيدروكربونات التي لها الصيغة الجزيئية  $C_4H_{10}$  هي:
  - أ. 0
  - ب. 1
  - ج. 2
  - د. 3
3. أيهما يتضمن ذرات هيدروجين أكثر: جزيء هيدروكربون مشبع له خمس ذرات كربون، أم جزيء هيدروكربوني غير مشبع له خمس ذرات كربون.
  - أ. يحتوي الهيدروكربون غير المشبع على ذرات هيدروجين أكثر.
  - ب. يحتوي الهيدروكربون المشبع على ذرات هيدروجين أكثر.
  - ج. كلاهما يحتويان على عدد الذرات نفسه.
  - د. يعتمد على ما إذا كان غير المشبع هو رابطة ثنائية أم ثلاثية.

4. تصنع الذرات المغايرة فرقًا في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للجزيء العضوي لأنها:
  - أ. تضيف كتلة إضافية لتركيب الهيدروكربون.
  - ب. لكل ذرة مغايرة خصائصها الكيميائية.
  - ج. تعزز قطبية الجزيء العضوي.
  - د. جميع ما ذكر.
5. يمكن أن يكون الكحول ذو الصيغة الكتلية العالية غير ذائب في الماء لأنه:
  - أ. أكثر جذبًا لنفسه بحيث لا يذوب في الماء.
  - ب. يتكون من هيدروكربونات غير قطبية غالبًا.
  - ج. يمكن أن يكون في طور الصلابة.
  - د. يجب أن تكون كتلتنا المادتين متقاربتين حتى تذوب إحداهما في الأخرى.
6. لا تذوب أملاح أشباه القلوبات في المذيب العضوي ثنائي إيثيل الإيثر. إن ما يحدث للكافيين ذي الشكل الخالي - من القاعدة (شبه قلوي) الذائب ثنائي إيثيل الإيثر إذا ضحّ فقايع غاز كلوريد الهيدروجين،  $HCl$ ، في المحلول هو:
  - أ. تكوّن طبقة ثنائية من الماء.
  - ب. لا يحدث شيء؛ تخرج فقايع غاز  $HCl$  من المحلول.
  - ج. يكوّن ملح الكافيين غير الذائب في ثنائي إيثيل الإيثر مادة رسوبية بيضاء.
  - د. يطلق تفاعل الحمض - قاعدة حرارة، وهذا يسبب بدء تبخير ثنائي إيثيل الإيثر.

9. أحد الحلول لمشكلة اتساع أراضي المكاب هو حرق الأجسام البلاستيكية بدلاً من دفنها. من فوائد هذه العملية ومساوئها:  
 أ. مساوئ: ملوثات هوائية سامة. فوائد: تقليل حجم المكاب.  
 ب. مساوئ: فقدان مصدر أساسي للبترول. فوائد: توليد الكهرباء.  
 ج. مساوئ: عدم تشجيع التدوير. فوائد: الحصول على وظائف جديدة.  
 د. جميع ما ذكر.
10. أيهما تتوقع أن يكون أكثر لزوجة: بلمر مصنوع من جداول جزئية طويلة أم بلمر مصنوع من جداول جزئية قصيرة؟ ولماذا؟  
 أ. الجداول الجزئية الطويلة؛ لأنها تنثني على نفسها.  
 ب. الجداول الجزئية القصيرة؛ بسبب الكثافة العالية.  
 ج. الجداول الجزئية الطويلة؛ بسبب كبر الكتلة الجزئية.  
 د. الجداول الجزئية القصيرة؛ لأن نهايتها تكون قطبية عادة.

7. إن تفسير سبب ذوبان حمض الكابرليك،  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$  في محلول مائي 5% هيدروكسيد الصوديوم، وعدم ذوبان كابرلي أدهايد،  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CHO}$  هو:  
 أ. بوجود ذرتي أكسجين تكون قطبية حمض الكابرليك ضعف قطبية الكابرلي أدهايد.  
 ب. يكون الكابرلي أدهايد غازاً عند درجة حرارة الغرفة.  
 ج. يسلك الكابرلي أدهايد سلوك عامل اختزال يعادل هيدروكسيد الصوديوم.  
 د. يتفاعل حمض الكابرليك لتشكيل ملح ذائب في الماء.
8. عدد ذرات الأكسجين التي ترتبط مع كربون الكربونيل في المجموعة الوظيفية الإيستر هي:  
 أ. 0 ب. 1 ج. 2 د. 3

#### إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100

### اكتشف المزيد

تقليل انبعاثاته بطريقة ستساهم في بقاء موارد للطاقة صديقة للبيئة وأسعارها مناسبة للجميع حول العالم.

<http://www.bayeraspirin.com>

قم بزيارة الصفحة الرئيسية لأسبرين بابر لتعلم كل شيء ترغب في تعلمه موافقه حول الاسبرين ومعجزاته.

<http://www.dinp-facts.com>

تعلم المزيد حول مخاطر ومنافع البلاستيك المصنع (DINP) من على هذا الموقع التي تقوم برعايته الشركات المصنعة للمواد البلاستيكية في دول مجلس الاحاد الأوربي.

<http://www.icco.org>

تستطيع من خلال الصفحة الرئيسية لمنظمة الكاكاو العالمية أن تجد إجابات للعديد من الأسئلة المتعلقة بكيماويات الشكولاتة، ورحلتها من شجرة الكاكاو وحتى تصل الى فمك.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Oil\\_refinery](http://en.wikipedia.org/wiki/Oil_refinery)

يوجد في ويكيبيديا صفحة رئيسية موضحة بصورة جيدة تصف جميع المكونات الأساسية والعمليات في مصاف الزيت. كما ستجد رابط تشعبي مع المصطلحات المرتبطة بمواضيع هذا الفصل.

<http://www.CO2captureproject.org>

يعتبر مشروع التخلص من غاز  $\text{CO}_2$  جهد عالي يتعامل مع قضية

### الفصل 19 مصادر على الشبكة

#### دروس تعليمية

- مقدمة للجزيئات العضوية
- الجزيئات العضوية والامتثالات
- المجموعات الوظيفية
- البلمرات
- البلمرات والمنيمرات

#### اختبار قصير

#### بطاقات تعليمية

#### روابط