

## خواص الماء التركيبية والفيزيائية

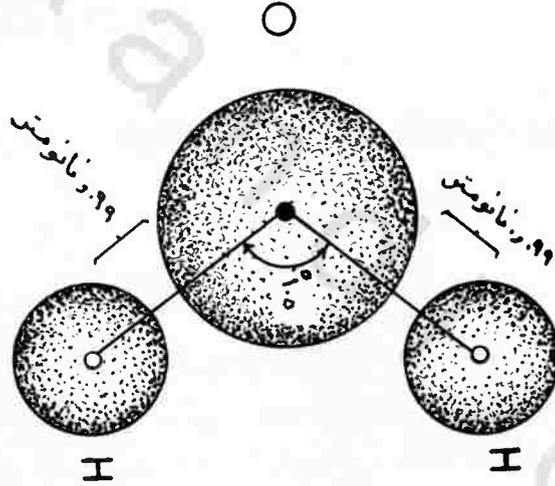
- المقدمة • تركيب الماء
- نظائر الماء • خواص الماء

### (١-٢) المقدمة

على الرغم من وفرة الماء وشيوعه إلا أنه يعد مادة غريبة في خواصها وتشذ عن جميع المركبات المشابهة لها في التركيب، فالماء هيدريد عنصر غير معدني وهو الأكسجين، وبمقارنته بهيدريدات العناصر غير المعدنية نجد أن الماء في حالة صلبة عند درجات الحرارة ما تحت الصفر المتوحي وفي حالة سائلة ما بين الصفر والمائة درجة أما ما فوق ذلك فهو في حالة غازية بينما غيره من الهيدريدات مثل كبريتيد الهيدروجين ( $H_2S$ ) والأمونيا ( $NH_3$ ) فهي في حالة غازية عند درجات الحرارة التي يكون فيها الماء سائلاً وتحتاج إلى درجات حرارة منخفضة تحت الصفر أو ضغط عال لتحويلها إلى سوائل. إن هذه الظاهرة وغيرها من الخواص الفيزيائية والتي سيرد ذكرها فيما بعد تعتمد على تركيب الماء الجزيئي.

## (٢-٢) تركيب الماء

يتكون الماء من ذرة أكسجين واحدة وذرتي هيدروجين، وكل ذرة هيدروجين ترتبط مع الأكسجين برابطة تساهمية قوية ويحتاج إلى طاقة لتفكيك مثل هذه الرابطة مقدارها ١١٠ كيلو سعرا/ جزيء. وارتباط هذه الذرات الثلاث في جزيء الماء ليس على شكل مستقيم بل وكما يتبين من الشكل رقم (١-٢) فإن ذرتي الهيدروجين تحصران فيما بينهما زاوية مقدارها  $105^\circ$ ، وطول الرابطة التساهمية نحو  $0.099$  نانومتر.

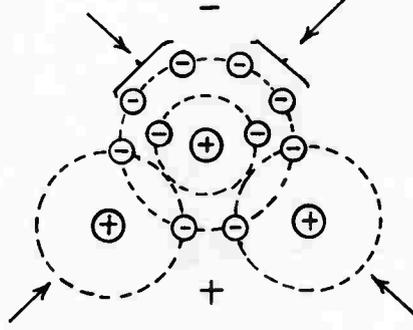


الشكل رقم (١-٢). رسم تخطيطي يصور جزيء الماء وأبعاد الروابط والزوايا بين الذرات.

والرابطة التساهمية تتم بمساهمة كل ذرة بإلكترون واحد. فذرة الهيدروجين بها إلكترون واحد وتحتاج إلى إلكترون آخر لتشبع الغلاف الخارجي لذا فإن ذرة الأكسجين تساهم بإلكترونين لذرتي الهيدروجين وبالمثل ذرة الأكسجين بها ستة إلكترونات

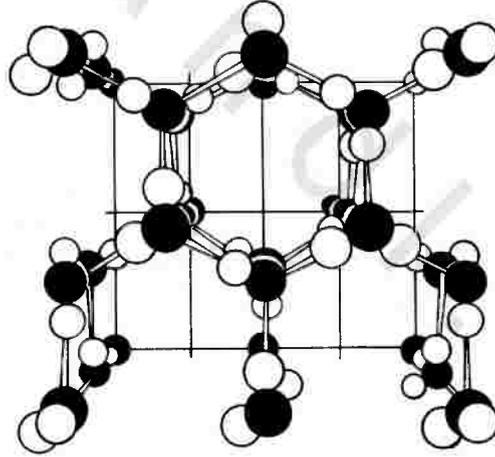
وتحتاج إلى إلكترونين لإشباع الغلاف الخارجي. لذا فذرتا الهيدروجين تشاركان ذرة الأكسجين إلكترونين. والنتيجة تشبع الغلاف الخارجي لكل من الأكسجين والهيدروجين وبقاء أربعة إلكترونات في الغلاف الخارجي لذرة الأكسجين غير مساهمة لذا فهي تكون زوجان حران (انظر الشكل رقم ٢-٢). من هنا جاءت ظاهرة أن الشحنة الكهربائية لجزيء الماء ككل غير موزعة بالتساوي، فكل ذرة هيدروجين تحمل شحنة جزئية موجبة نظرا لوجود الإلكترونات في الغلاف الخارجي بقرب ذرة الأكسجين. هذا من ناحية، ومن ناحية أخرى فذرة الأكسجين تحمل شحنة جزئية سالبة وذلك نتيجة لوجود زوجي الإلكترونات الحرة (أي غير المساهمة) في غلافها الخارجي. إن هذا التوزيع الوضعي يجعل جزيء الماء يتصف بخواص المغناطيس الصغير، فجهة من الجزيء سالبة جزئيا وجهتان موجبتان جزئيا (ولو أن الجزيء ككل متعادل كهربائيا) لذا يوصف جزيء الماء بأنه قطبي. لهذا السبب نجد أن جزيئات الماء في الحالة الغازية تكون فيما بينها ما يعرف بالروابط الهيدروجينية حيث تتجاذب المناطق المتعاكسة من كل جزيء بشكل غير اعتيادي في جزيئات المواد الأخرى التي تكون فيما بينها رابطة أضعف تعرف بروابط أو قوى تجاذب فان درفال حيث الطاقة اللازمة لتفكك الرابطة الهيدروجينية أقل من تلك اللازمة لتفكك الرابطة التساهمية وأكبر من تلك اللازمة لتفكك قوى فان درفال حيث تقارب ٤.٥ كيلو سعرا/ جزيء.

أما بالنسبة للماء النقي في الحالة الصلبة (الثلج) فإن وجود الزاوية (١٠٥°) بين ذرتي الهيدروجين وذرة الأكسجين يتطلب تكوين شكل ذي ثلاثة أبعاد يقارب الشكل السداسي ولكنه ليس في مستوى واحد نظرا لصغر الزاوية هذه عن زاوية الشكل السداسي وهي ١٢٠° لذا فإن الشكل الخماسي قد يحدث، والتركيب هذا نتيجة لتكون الرابطة الهيدروجينية بين الجزيئات بشكل منتظم. فكل جزيء من الماء به ذرتا



الشكل رقم (٢-٢). تكوين الروابط التساهمية وأزواج الإلكترونات الحرة، ومكان الروابط الهيدروجينية (الأسهم) في جزيء الماء.

المصدر: (Sutcliffe, 1968).



الشكل رقم (٣-٢). رسم تخطيطي للتركيب البلوري للثلج، الكرات السوداء ذرات أكسجين بينما البيضاء تمثل الهيدروجين.

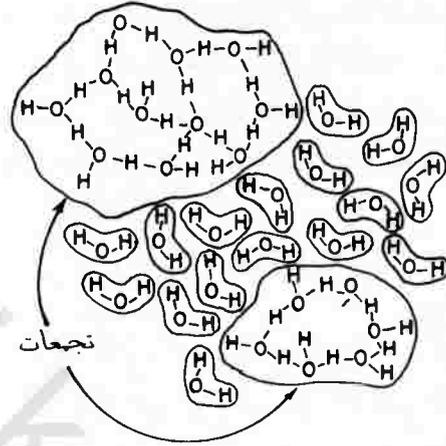
المصدر: (buswell and Rodebush, 1956a).

هيدروجين كل واحدة تكون رابطة هيدروجينية مع إحدى الأزواج الحرة على ذرة الأكسجين في الجزيء الآخر (الشكل رقم ٢-٢) لذا فإن أي جزيء من الماء يكون محاطا بأربعة جزيئات أخرى في التركيب البلوري للثلج (الشكل رقم ٢-٣) وهذا التركيب ينعكس على انخفاض كثافة الماء في الحالة الصلبة (الثلج) عنها في الحالة السائلة مما يجعل الثلج يطفو في الماء السائل.

أما حالة الماء السائلة فيعتقد أن التركيب يتشابه مع تركيبه في الحالة الصلبة نوعا ما عدا أن الرابطة الهيدروجينية تتكون وتتفكك بسرعة بين جزيئات الماء حسب درجة الحرارة، لذا فإنه عند ذوبان الثلج فإن تركيبه البلوري يتقطع جزئيا والفراغات المكونة للبلورة تمتلئ بجزيئات الماء الأخرى المتفككة ولذا تزداد كثافة الماء في الحالة السائلة وقد قدر أن مثل هذا الفراغ البلوري في الحالة الصلبة يشغل نحو ١٦٪ من عدد الجزيئات الكلية عند درجة الصفر المئوي. ومن أقدم النظريات عن تركيب جزيئات الماء في الحالة السائلة نظرية التجمعات المتقطعة (Flickering clusters) حيث هناك مجموعة من الجزيئات مرتبطة مع بعضها البعض بروابط هيدروجينية وتسبح في وسط الجزيئات غير المرتبطة نوعا ما وتتفكك هذه التجمعات ويعاد ترتيبها عشوائيا وبسرعة حسب التغيرات الحرارية في السائل (الشكل رقم ٢-٤).

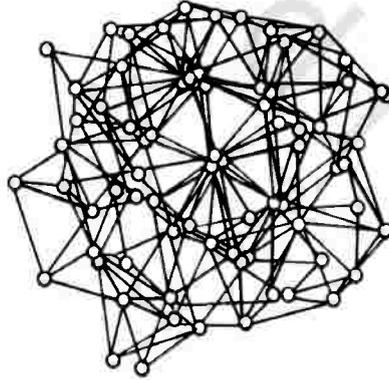
على أية حال فالزاوية بين ذرتي الهيدروجين والأكسجين مرنة نوعا ما ولكن المتوسط هو  $105^\circ$ ، لذا فإن جزيئات الماء في الحالة السائلة تترتب بصورة أقل انتظاما عنها في الحالة الصلبة وقد قام العالم برنال ١٩٦٥م (Bernal, 1965) بوضع نموذج لتركيب الماء في الحالة السائلة كما في الشكل رقم (٢-٥).

ومهما يكن فإنه كلما زادت درجة الحرارة كلما قلت الروابط الهيدروجينية سواء في الحالة السائلة أو الغازية. مما تقدم يمكن القول بأن التركيب الكيميائي للماء



الشكل رقم (٢-٤). رسم تخطيطي لنموذج التجمعات عن طرق تكوين الروابط الهيدروجينية بين بعض جزيئات الماء.

المصدر : (Némethy and Scheraga, 1962).



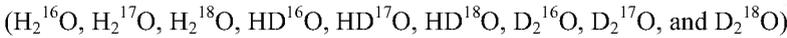
الشكل رقم (٢-٥). نموذج لتركيب الماء في الحالة السائلة مبني على تحاليل بالحاسب الآلي.

المصدر : (Bernal, 1965).

والذي يعبر عنه عادة بالرمز  $(H_2O)_1$  هو على وجه الدقة  $(H_2O)_n$  حيث الرمز (n) يدل على عدد جزيئات الماء المرتبطة مع بعضها البعض بواسطة الروابط الهيدروجينية والقيمة العددية للرمز (n) تقل مع الارتفاع في درجة الحرارة. ونظرا لأن جزيء الماء قطبي فإن الروابط الهيدروجينية لا يقتصر تكوينها على جزيئات الماء فيما بينها فحسب بل تتكون الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء والدقائق أو الأسطح المشحونة.

### (٢-٣) نظائر الماء

جرى النقاش حتى الآن بافتراض أن جزيء الماء يتكون من الهيدروجين ذي الوزن الذري واحد والأكسجين ذي الوزن الذري ١٦ وبذا فالوزن الجزيئي للماء هو ١٨ ، ولكن الحقيقة إن المياه الطبيعية تضم نظائر عنصري الهيدروجين والأكسجين ، فالهيدروجين له نظيران آخران هما الديتريوم ( $Deuterium \ ^2H$ ) ووزنه الذري ٢ والتريتيوم ( $Tritium \ ^3H$ ) ووزنه الذري ٣ ، بينما الأكسجين له أيضا نظيران آخران هما ( $^{17}O$ ) و( $^{18}O$ ) وأوزانهما الذرية ١٧ و١٨ على التوالي. وهذه النظائر يمكن أن يتكون منها ولو نظريا ثمانية عشر مركبا من الماء ذات أوزان جزيئية مختلفة ، ولكن وجود هذه النظائر في الطبيعة غير متساو ، فالتريتيوم والأكسجين ١٧ نادرة جداً ، والديتريوم يمثل نحو ٢٠٠ جزء لكل مليون جزء من الهيدروجين العادي ذي الوزن الذري واحد ، أما نظير الأكسجين ١٨ فيوجد بتركيز يقارب ١٠٠٠ جزء في المليون من الأكسجين العادي ذي الوزن الذري ١٦ المياه الطبيعية في الحقيقة تضم مزيجا من الجزيئات كالتالي :



أما النظير الثالث التريتيوم فيتكون أثناء التفكك الذري ، وقد عرف الماء المتكون كيميائيا من ( $D_2^{16}O, D_2^{17}O, \text{ and } D_2^{18}O$ ) بالماء الثقيل ويمكن الحصول عليه بطريقة

التحليل الكهربائي للماء الطبيعي نظرا لسرعة فقد الشحنة من الماء العادي بعكس الماء الثقيل. وقد استعمل الماء الثقيل في الثلاثينيات من القرن العشرين الميلادي في كثير من الدراسات الكيموحيوية ونفاذية الأغشية الخلوية ، ولكن في الآونة الأخيرة استعمل الماء المحتوي على النظير الآخر للهيدروجين وهو التريتيوم لأنه مادة مشعة ومن السهل تتبعها بطرق أسهل من استعمال جهاز طيف الكتلة الذي يكشف عن وجود الديتريوم. أما نظير الأكسجين ١٨ فقد جرى استخدامه مثلا لإثبات أن الأكسجين المتصاعد أثناء عملية البناء الضوئي كان مصدره الماء وليس ثاني أكسيد الكربون.

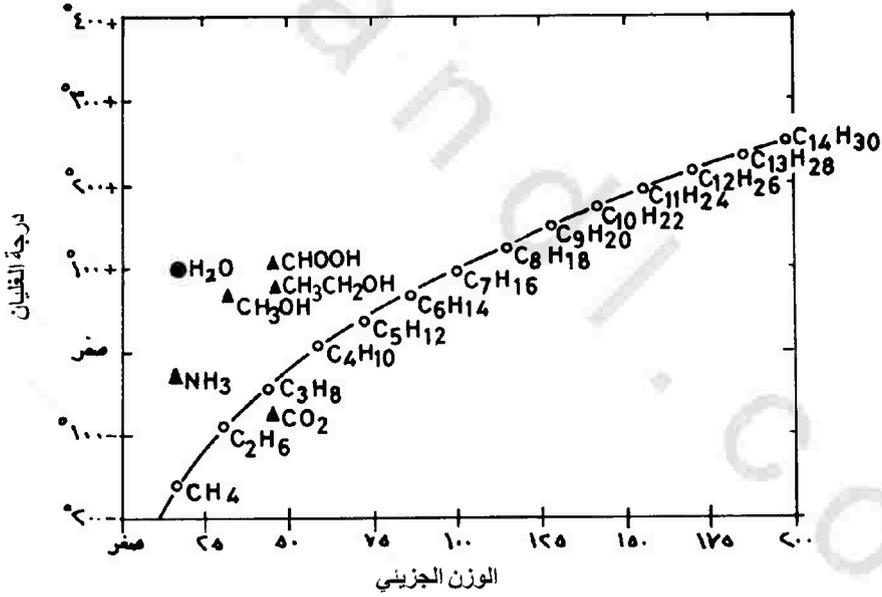
#### (٢-٤) خواص الماء

إن التركيب الكيميائي لجزيء الماء يعكس خواص الماء الفيزيائية الفريدة في حالته السائلة والتي ميزت الماء عن غيره من السوائل كوسط للأنظمة الإحيائية. وهذه الخواص يمكن إيجازها مع التركيز على أهميتها للحياة كما يلي :

#### ١- حالة السيولة وتميؤ الجزيئات الكبيرة

حسب ما لاحظته الكيميائيون من أنه كلما كان الوزن الجزيئي لعنصر أو مركب كبيرا كلما كان احتمال وجوده في الحالة الصلبة أو السائلة أكبر عند درجات الحرارة العادية ، وكلما كان الوزن الجزيئي صغيرا كلما كان احتمال وجوده في الحالة السائلة أو الغازية عند درجات الحرارة العادية كبيرا. فمثلا المركبات الهيدروكربونية (المتكونة من هيدروجين و كربون) ذات الأوزان الجزيئية الصغيرة عبارة عن غازات بينما الأكبر وزنا منها في حالة سائلة ومن ثم الأكبر في الوزن الجزيئي في حالة صلبة. يبين الشكل رقم (٦-٢) العلاقة بين الوزن الجزيئي ودرجة الغليان لتلك المركبات. وعند مقارنة الماء مع ، المركبات الأخرى مثل الأمونيا ( $NH_3$ ) (وزن جزيئي ١٧) أو الميثان ( $CH_4$ ) (وزن

جزيئي ١٦) أو حتى ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ) (وزن جزيئي ٤٤) نجد أن الماء فقط هو الذي يوجد في حالة سائلة عند درجات الحرارة العادية (من صفر إلى  $100^\circ C$ )، بينما البقية في حالة غازية فلماذا شد الماء عن هذه القاعدة شذوذا كبيرا؟ الجواب يكمن في وجود الروابط الهيدروجينية التي تعمل على تجميع جزيئات الماء مع بعضها البعض لدرجة غير مألوفة حتى في الهيدريدات الأخرى. وهنا يجب التنويه على أن الرابطة الهيدروجينية ليست وقفا على الماء بل تتكون في مركبات أخرى مثل الكحول الميثيلي (Methanol,  $CH_3OH$ ) وحمض الفورميك (Formic acid,  $CHOOH$ ) وحمض الخليك (Acetic acid,  $CH_3COOH$ ) وغيرها من المركبات التي يوجد بها ذرات هيدروجين وأكسجين أو ذرات لها خواص السالبة الكهربائية كالفلور.



الشكل رقم (٢-٦). علاقة الوزن الجزيئي للمركب بدرجة حرارة غليانه، (الدوائر الصغيرة المفتوحة للمركبات الهيدروكربونية والمثلثات والدائرة المصمتة للمركبات الأخرى).

المصدر: (Salisbury and Ross, 1978).

يكون الماء روابط هيدروجينية مع غيره من الجزيئات الكبيرة الموجودة في خلايا الكائنات الحية مثل البروتينات والمواد الكربوهيدراتية والأحماض النووية. ويرجع السبب في تكوين الروابط إلى وجود مجاميع على تلك الجزيئات مثل المجموعة الكربونيلية (Carbonyl C=O) والمجموعة الهيدروكسيلية (Hydroxyl, -OH) والمجموعة الأمينية (Amino, -NH) حيث تحيط جزيئات الماء بتلك الجزيئات الكبيرة مكونة ما يعرف بالماء المرتبط، وقد قدر العالم برنال ١٩٦٥م (Bernal, 1965) أن الماء المرتبط على أسطح بعض البروتينات قد يكون ٣٠٪ من الوزن الجزيئي للبروتين بينما أدرج العالم تانفورد ١٩٦٣م (Tanford, 1963) بعض الأدلة على أن الثبات النسبي للفيروسات وحمض DNA وبعض البروتينات يتم بمقدار ثبات الماء المرتبط بهما.

## ٢- حرارة التبخر الكامنة

وتعرف هذه الحرارة بعدد السرعات المطلوبة لتحويل واحد جرام من المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، وبالنسبة للماء فإنه يتطلب حوالي ٥٣٩ سعرا لعملية التحويل عند درجة حرارة ١٠٠° م، وكلما قلت درجة الحرارة كلما زادت السرعات المطلوبة. وقد سميت بحرارة التبخر الكامنة نظرا لأن عملية تزويد السائل بالحرارة (مثل الماء) وهو يغلي لا يرفع درجة حرارته أكثر من درجة حرارة الغليان، أي أن الحرارة الداخلة للسائل لا يرى أثرها على صورة ارتفاع في درجة الحرارة كما يحدث للسائل قبل الغليان. وتعتبر حرارة التبخر الكامنة للماء عالية جدا، حيث إن حرارة التبخر المتوقعة للماء حسب قاعدة تروتون (Trouton's rule) هي ٢١٠ سعرا/ جم عند درجة حرارة ١٠٠° م، ويعزى هذا الارتفاع إلى وجود الروابط الهيدروجينية وضرورة تكسير معظمها لحدوث التبخر.

من الناحية التطبيقية تعد خاصية حرارة التبخر العالية ذات أهمية كبرى في

عملية تبريد النبات والكائنات الحية الأخرى في عمليتي النتح والعرق على التوالي. تفقد الكائنات الحية ككل جزءا كبيرا من الحرارة التي تمتصها من بيئتها عن طريق الإشعاع عندما تفقد جزءا من محتواها المائي على هيئة بخار في العمليتين السابقتين. ويمكن ملاحظة أثر ذلك عند لمس ورقة نبات وحجر صغير معرضين للشمس وقت الظهيرة حيث تكون درجة حرارة الورقة مقاربة لدرجة حرارة الجو بسبب استهلاك جزء كبير من الحرارة الممتصة من البيئة لتبخير الماء في عملية النتح (نحو ٦٠٠ كالورى / جم ماء) بينما درجة حرارة الحجر الصغيرة تكون أعلى من درجة حرارة الجو لاقتصار فقد الحرارة الممتصة بواسطة الحجر من البيئة على عملية الفقد عن طريق الإشعاع فقط.

### ٣- حرارة الانصهار والتمدد

عند تسخين كمية من الثلج فإنه يبدأ في الذوبان ويتكون مزيج من الثلج والماء عند درجة الصفر ولا ترتفع درجة حرارة المزيج حتى يذوب الثلج بأكمله، أي أن الحرارة المكتسبة لا تظهر على صورة ارتفاع في درجة الحرارة، وهذه الحرارة أطلق عليها حرارة الانصهار ويلزم لإذابة جرام واحد من الثلج عند درجة الصفر المئوي إلى سائل عند الدرجة نفسها نحو ٨٠ سعرا، وهذه الحرارة كافية لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء السائل من صفر إلى ٨٠° م، وبالمثل تعتبر حرارة انصهار الماء هذه عالية وتعزى أيضا إلى وجود الروابط الهيدروجينية وضرورة بذل طاقة لتكسيرها.

إن عدد الروابط الهيدروجينية منسوبا إلى الوحدة في حالة الثلج أقل منها في السائل نظرا لأن الروابط الهيدروجينية في حالة الثلج تكون متناسقة ومنتظمة أكثر منها في حالة السائل ولكن عند ذوبان الثلج فإن هذا التناسق يفقد فتتجمع جزيئات الماء وتتراص أكثر، أي تشغل جزيئات الماء حيزا أقل لذا فكثافة الماء السائل أكبر من كثافة

الماء الصلب حتى تصل درجة الحرارة  $4^{\circ}\text{C}$  م عندها يبدأ تأثير درجة الحرارة في تمدد السائل كما هو الحال في المواد الأخرى حيث تقل الكثافة مع الزيادة في درجة الحرارة. وكثافة الماء أكبر من كثافة السوائل الأخرى المعروفة عدا المعادن في الحالة السائلة مثل الزئبق وأكبر كثافة للماء هي عند درجة  $4^{\circ}\text{C}$  م. عند عكس العملية السابقة (أي تحويل السائل إلى ثلج) يحدث العكس أي أن الماء يتمدد ويشغل حيزاً أكبر مما يقلل من كثافته فيطفو الثلج، وهذا ما يحدث عند تجمد البحيرات والأنهار والمحيطات القطبية، وهذه خاصية غير عادية للماء وذات ميزة كبرى للكائنات الحية التي تعيش في تلك الأصقاع حيث تبقى حية في المناطق السفلى غير المتجمدة طوال فترة الشتاء.

ومن ناحية أخرى فإن عملية تمدد الماء عند تحوله إلى الحالة الصلبة ذات تأثير مدمر في الخلايا النباتية فيما لو حدث التجمد داخل الخلايا ولذا يلاحظ أن الخضر والفواكه تبرد فقط للمحافظة على طعمها وشكلها لأطول مدة ممكنة. إن حرارة الانصهار العالية للماء تجعل حدوث التجمد أقل مما هويا حالة السوائل الأخرى لذا فإن نباتات المحاصيل ترش أحيانا بالماء لمنع حدوث التجمد داخل الخلايا، وبالطبع هذه العملية لا تصلح إذا كانت درجة حرارة الجو أقل بكثير من الصفر المئوي.

#### ٤- الحرارة النوعية

تعرف الحرارة النوعية بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من المادة درجة حرارية واحدة. وبالنسبة للماء فإنه يتطلب نحو سعر واحد لرفع درجة حرارة جرام واحد درجة واحدة، وهذه أكبر حرارة نوعية في السوائل ما عدا الأمونيا. وارتفاع الحرارة النوعية للماء عائد لترتيب الجزيئات في الحالة السائلة حيث إن ذرات الهيدروجين والأكسجين تكون في مستويات تسمح لها بالتذبذب بحرية كما لو كانت أيونات حرة وبالتالي فيإمكانها (أي الذرات) امتصاص كميات من الطاقة الحرارية دون

حدوث ارتفاع سريع في درجة حرارة السائل ، وبمعنى آخر يسخن ويبرد الماء ببطء ولذا فإن وجود الماء في الكائنات الحية يجعل استقرار درجات حرارتها ممكنا إلى حد ما ، وبالتالي تميل معدلات الأيض إلى الاستقرار.

#### ٥- تأين الماء

تتأين بعض الجزيئات في الماء بدرجة بسيطة مكونة أيون الهيدروجين (Hydrogen ion) وأيون الهيدروكسيل (Hydroxyl ion) ولكن أيون الهيدروجين ( $H^+$ ) يتحد مع جزيء ماء آخر مكونا أيون الهيدرونيوم (Hydronium ion) كالتالي :



وقد جرت العادة لغرض التبسيط أن تكتب المعادلة كما يلي :



وحسب قانون الكتلة يمكن التعبير عن ذلك رياضيا عند الاتزان بأن التراكيز الجزيئية الناتجة تساوي ثابت يعرف بثابت الاتزان :

$$[H^+][OH^-] = K$$

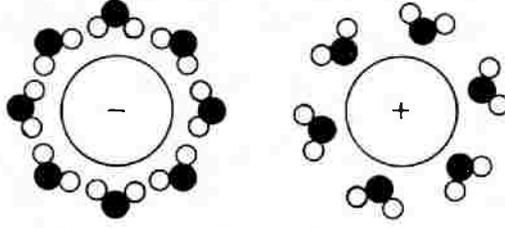
وقيمة ثابت الاتزان (K) تساوي  $10^{-14}$  جرام من الأيونات في اللتر الواحد من الماء النقي (أي أنه يوجد واحد جرام من الأيونات في كل  $10^{14}$  لتر من الماء!) وهذا يعني أن تركيز أيون الهيدروجين  $10^{-7}$  وكذلك تركيز أيون الهيدروكسيل  $10^{-7}$  ، أي أن الرقم الهيدروجيني للماء النقي  $7$  حيث إن تعريف الرقم الهيدروجيني هو اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين  $pH = -\log [H^+]$  . وتجدر الإشارة هنا أنه من الصعوبة بمكان الحصول على الماء نقيا وبالتالي الحصول على

التوزيع المتساوي بين أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيل وذلك لأن ثاني أكسيد الكربون الموجود في الجو بوفرة يذوب في الماء وبالتالي يمكن أن يغير الرقم الهيدروجيني لقيمة قد تقارب ٤.

## ٦- الماء والإذابة

لعل من أبرز وأهم خواص الماء بالنسبة للحياة، هي قدرته على إذابة الكثير من المواد القطبية أكثر من أي سائل آخر، وهذه المقدرة تعود إلى خاصية أخرى للماء وهي أن ثابت التعادل الكهربائي للماء عالي. وثابت التعادل الكهربائي لمادة ما هو مقياس لمقدرة تلك المادة على معادلة التجاذب بين الشحنات الكهربائية الموجودة على ذرات المركب وبالتالي فصل تلك الذرات عن بعضها البعض ويقال عنها في هذه الحالة أيونات والمادة ذائبة. والماء بتركيبه الخاص يعد مذيباً ممتازاً للمواد الإلكتروليتية حيث إن الجانب الموجب جزئياً لجزيء الماء (ذرات الهيدروجين) تنجذب إلى الأيون السالب من المادة المذابة، بينما الجانب السالب جزئياً من جزيء الماء (زوجي الإلكترونات الحرة على ذرة الأكسجين) تنجذب نحو الأيون الموجب من المادة المذابة (الشكل رقم ٢-٧)، وبذا تحيط جزيئات الماء بأيونات المادة المذابة معيقة اتحادها مرة أخرى عن طريق معادلة قوى التجاذب بين ذرات المركب وتكوين غشاء يحيط بالأيون من جميع الجهات. وفي نموذج فرانك و وين ١٩٥٧م (Frank and Wen, 1957) اقترح بوجود ثلاث مناطق من الماء حسب شدة ارتباطها بالأيون ولكن يبدو أن هذا النموذج ينطبق على المحاليل الإلكتروليتية المخففة.

أما بالنسبة للمواد غير القطبية فمقدرة الماء على إذابتها قليلة ويتفق هذا مع متطلبات تكوين الروابط الهيدروجينية وظاهرة معادلة الشحنات لعدم وجودها في المواد غير القطبية، ولكن تركيب الماء ككل يمكن أن يكون نوعين من الشبكات البلورية



الشكل رقم (٢-٧). رسم تخطيطي يوضح عملية إبقاء جزيئات المادة المذابة في الماء متباعدة. المصدر: (Buswell and Rodebush, 1956b).  
 (إحداها يتكون من ٤٦ جزيئا والأخرى من ١٣٦ جزيئا) تاركة فيما بينها ما يشبه الفراغات أو الثقوب ذات الأحجام والأشكال المختلفة بحيث بعضها يتناسب مع أبعاد جزيئات المادة غير القطبية مؤدية بالتالي إلى إذابتها، وهذا يفسر كون بعض المواد غير المحبة للماء (hydrophobic) تذوب فيه، وعلى أية حال إن صح هذا التفسير النظري فقد يكون ذا أهمية كبرى في معرفة تركيب ووجود مثل هذه المواد في بروتوبلازم الخلايا الحية.

#### ٧- امتصاص الماء للضوء

الماء مادة عديمة اللون والرائحة والطعم وشفافة ولكن الامتصاص الطفيف للضوء الأحمر يجعل مياه البحار والبحيرات الكبيرة تبدو خضراء مزرققة. والرابطة الهيدروجينية تمتص الضوء عند أطوال الموجات في منطقة الضوء الأحمر البعيد وخاصة. عند طول موجة ٣٠٠٠ نانومتر لدرجة أن الامتصاص عند طول هذه الموجة يدل دلالة قوية على وجود الرابطة الهيدروجينية وفوق ذلك فالماء يمتص فيما بين ١٠٠٠٠ و ٣٠٠٠٠٠ نانومتر حيث الإشعاعات الحرارية ولهذا الامتصاص أهمية كبيرة في استقرار درجة الحرارة على هذا الكون وبالتالي استمرار الحياة. حيث إن طبقة بخار الماء الموجودة في الغلاف الجوي تمتص بعض الحرارة من أشعة الشمس الساقطة على الأرض فتخفف من كمية الحرارة وعند غياب الشمس وبداية برودة طبقات الجو العليا فإن الأرض تشع بعض الحرارة التي امتصتها أثناء

النهار فتقوم هذه الطبقة بامتصاص معظم الحرارة وبالتالي تمنع برودة الأرض بسرعة وبهذا فإن هذه الطبقة تعمل كغطاء أثناء الليل وكمصفي أثناء النهار مما يمنع تسخين الأرض بسرعة إلى درجات حرارة عالية أثناء النهار وبرودتها أثناء الليل كما يحدث في بعض الكواكب الشمسية الأخرى. هذا من جهة، ومن جهة أخرى فإن الماء بجرارته النوعية العالية وكمياته الكبيرة في المحيطات يعتبر عاملاً آخر في استقرار درجات الحرارة. ويمكن أيضاً النظر في هذه الخواص على مستويات الأفراد وكمية الماء الموجودة بها بالفكرة نفسها.

#### ٨- خواص الماء الأخرى

هناك خواص طبيعية أخرى للماء مثل اللزوجة (Viscosity) والتوتر السطحي (Surface tension) والتماسك (Cohesion) والتلاصق (Adhesion) تعزى لطبيعة التركيب الجزيئي للماء أيضاً، فلزوجة الماء وتوتره السطحي عاليان ويعود ذلك إلى أن الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء نفسها قوية نوعاً ما وتقاوم إعادة ترتيبها مرة أخرى بنسب غير النسب المعتادة عند ثبوت درجة الحرارة، وهذا مما يجعل للماء قوة شد عالية كما سيرد عند مناقشة التنح في النبات. وتجاذب جزيئات الماء فيما بينها يعرف بالتماسك، بينما ظاهرة تبلل المواد الأخرى كالزجاج وحببيات التربة والمواد المكونة من السليلوز كالقطن بالماء يعرف بظاهرة التلاصق. ويلاحظ أن المواد التي تبلل بالماء يدخل في تركيبها الأكسجين ويكون معرضاً على سطح المادة حيث يكون مع الماء روابط هيدروجينية، بعكس المواد التي لا تبلل بالماء مثل البرافين والهيدروكربونات لأن جزيئات الماء لا تنجذب إلى الذرات الموجودة على أسطحها، ولكن وكما سبق قد يكون هناك فراغات بين تجمعات جزيئات الماء تناسب حجم جزيئات تلك المواد فيذوب جزء ولو قليل منها في الماء، والجداول في الملحق رقم (١) تبين بعض الثوابت لخواص الماء.