

فصل ٢

الماء

Water

يعتبر الماء أكثر المواد إنتشاراً فى الأنظمة الحية حيث يمثل ٧٠٪ أو أكثر من كتلة المادة الحية، فالماء يساهم إلى جانب غيره من المواد الأخرى كمركب أساسى فى تكوين البناء الداخلى الموحد للخلية والذي يعزى إليه ذلك التنظيم الدقيق للعمليات المميزة للأنظمة الحية.

بالرغم من أن الماء مركب ثابت كيميائياً إلا أن له خواص فريدة تميزه عن السوائل الأخرى. فمن المعروف الآن أن الماء وناجح تأينه H^+ و OH^- تحدد الخواص التركيبية والبيولوجية لعدد من العناصر الخلوية والتي تشمل البروتينات والأحماض النووية والأغشية الخلوية وغيرها. ونظراً لأن الماء يمثل الطور المستمر للأنظمة الحية فإنه يشكل الوسط الذى تنتقل خلاله نواتج الأيض والأيونات، وهو أيضاً الوسط الذى تتم فيه التفاعلات البيولوجية وانتقال الطاقة الكيميائية. وبذلك يمكن تقييم وفهم الأهمية الكبيرة للماء فى عمليات النشاط الحيوى وقدرته على أن يشكل أساس الحياة.

الخواص الفيزيائية غير العادية للماء ترجع للروابط الهيدروجينية

للماء نقطة انصهار ونقطة غليان وحراره تبخير مرتفعه عن معظم السوائل الشائعة التى تشابه الماء إما فى احتوائها على نفس عدد الالكترونات isoelectronic أو لأن لها

الجزيئات البيولوجية : التركيب والوظيفة البيولوجية

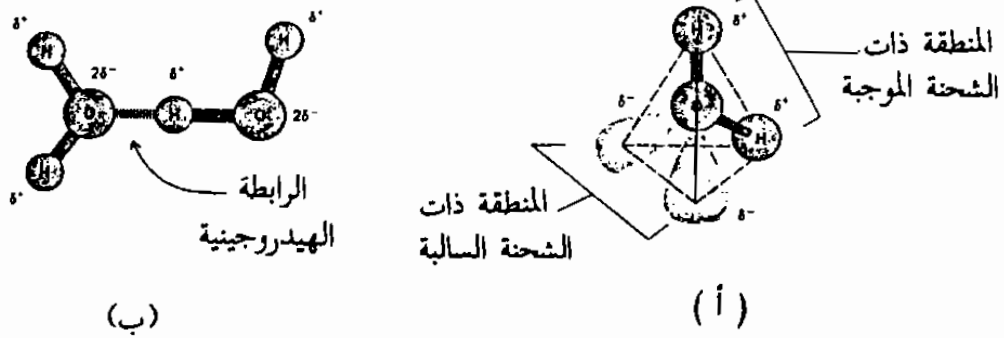
خواص إذابته جيدة (جدول ٢ - ١). هذه الحقائق تشير إلى وجود قوى تجاذب كبيرة بين جزيئات الماء والتي تعطى الماء السائل قوى تماسك كبيره. مثال ذلك أن حراره التبخير تعتبر مقياس مباشر لكمية الطاقة اللازمة للتغلب على قوى التجاذب بين الجزيئات المتجاورة في السائل وانفصالها ودخولها في الحالة الغازية.

جدول ٢ - ١

بعض الخواص الفيزيائية للماء وبعض السوائل الشائعة الأخرى

المادة	نقطة الانصهار (م)	نقطة الغليان (م)	حراره التبخير (سعر/ جرام)
الماء	صفر	١٠٠	٥٤٠
إيثانول	١١٧-	٧٨	٢٠٤
أستون	٩٥-	٥٦	١٢٥
كلوروفورم	٦٣-	٦١	٥٩
الأمونيا	٧٨-	٣٣-	٣٢٧
كبريتيد هيدروجين	٨٣-	٦٠-	١٣٢

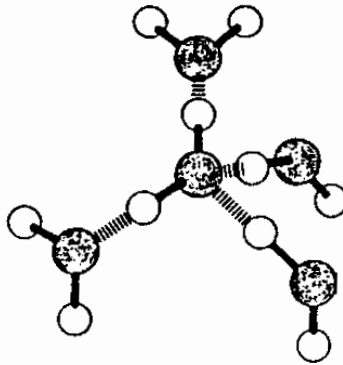
ترجع قوى التجاذب بين جزيئات الماء في الحالة السائلة إلى التوزيع الإلكتروني والبناء الفراغي لجزيء الماء. فنظرا لارتفاع كهروسالبية electronegativity ذره الاكسجين فإنها تسحب الإلكترونات بعيداً عن ذرات الهيدروجين تاركة شحنة جزئية موجبه (δ^+) على ذرات الهيدروجين (شكل ٢ - ١). ونتيجة لهذا الاستقطاب فإن جزيء الماء يصبح جزيئاً كهريئاً ثنائى القطب (جزيء قطبي). ونتيجة لفصل الشحنات الكهربية على جزيء الماء، فإن الجزيئات سوف تنجذب إلى بعضها بواسطة القوى الكهروستاتيكية بحيث تُوجّه ذرة الاكسجين السالبة في أحد الجزيئات في إتجاه ذره الهيدروجين الموجبة في جزيء آخر. وهذا النوع من التجاذب الكهروستاتيكي يطلق عليه الرابطة الهيدروجينية (شكل ٢ - ١).



شكل ١ - ٢

التركيب والخواص الكهربائية لجزئ الماء (أ) تركيب وتوزيع الشحنات الكهربائية في الجزئ (ب) الرابطة الهيدروجينية.

ونظرا للتوزيع الفراغي الخاص للالكترونات حول ذره الاكسجين والذي يأخذ شكل هرم رباعي القاعدة tetrahedral (شكل ٢ - ١) ، فإنه من الناحية النظرية يكون لكل جزئ ماء القدره على تكوين أربع روابط هيدروجينية مع أربع جزيئات مجاوره (شكل ٢ - ٢) . ولكن لأن جزيئات الماء في الحالة السائلة تكون في حركة مستمره فإن الروابط الهيدروجينية تتفكك وتتكون بصوره مستمره، ويفسر ذلك إنخفاض لزوجة الماء. ولكن في الثلج يكون كل جزئ ماء ثابتاً في الفراغ مكوناً أربع روابط هيدروجينية مع أربع جزيئات أخرى لينتج نظاماً شبكياً منتظماً.



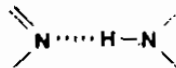
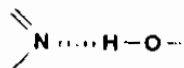
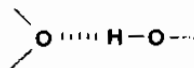
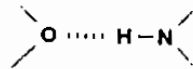
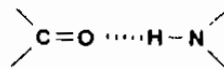
شكل ٢ - ٢

كل جزئ ماء له القدره على تكوين أربع روابط هيدروجينية مع أربع جزيئات ماء متجاوره

تعتبر الرابطة الهيدروجينية رابطة ضعيفة بالمقارنة بالربطة التساهمية، فطاقه الرابطة الهيدروجينية في الماء تقدر بحوالى ٤,٥ كيلو سعر / مول، بينما طاقة الرابطة O-H في جزئ الماء تساوى ١١٠ كيلو سعر / مول، ومع ذلك ونظرا لأن عدد الروابط الهيدروجينية كبير فإنها تمنح قوى تماسك داخلية كبيرة للماء السائل.

الروابط الهيدروجينية تنشأ أيضا داخل أو بين الجزئيات البيولوجية

لا يقتصر تكوين الروابط الهيدروجينية على الماء ولكن من السهل تكوينها بين ذرات ذات كهروسالييه مرتفعه مثل الاكسجين والنتروجين وذره هيدروجين ترتبط تساهميا مع ذره أخرى ذات كهروسالييه مرتفعه (شكل ٢ - ٣). ويمكن للرابطة الهيدروجينية أن تتكوّن بين جزئان أو بين مجموعتين كيميائيتين فى نفس الجزئ. والنوع الأول هو المسئول بالدرجة الأولى عن التجمع الذاتى للجزئيات الكبيره فى الوحدات التركيبية الاكبر فى الخلايا، أما النوع الثانى فيشارك فى ثبات البناء الجسم ثلاثى الأبعاد فى البروتينات والأحماض النووية.



شكل ٢ - ٣

بعض الروابط الهيدروجينية ذات الأهمية البيولوجية

للماء خواص إذابته أفضل من السوائل الأخرى

إن الخواص الكهربائية والرابطة الهيدروجينية للماء تُضفي على جزيئاته فاعلية كبيرة في خفض التجاذب الكهروستاتيكي وتفكيك الروابط الهيدروجينية بين الجزيئات الأخرى. وهذه الخاصية تجعل الماء أفضل مذيب لأنواع عديدة من المركبات بالمقارنة بالمذيبات الشائعة الأخرى.

فمعظم الأملاح البلورية مثل كلوريد الصوديوم تذوب بسهولة في الماء، ولكنها لا تذوب تقريباً في المذيبات غير القطبية مثل الهكسان والكلوروفورم. فالماء يضعف قوى التجاذب الكهروستاتيكي بعامل يبلغ ٨٠ (وهو ثابت الثنائي الكهربى - dielectric constant للماء)، بالمقارنة بالهكسان الذى يبلغ ثابت الثنائي الكهربى له ١,٩ (جدول ٢ - ٢). فتربط الشبكة البلورية للملح مع بعضها إرتباطاً قوياً بواسطة قوى التجاذب الكهروستاتيكي بين الأيونات الموجبة والأيونات السالبة، وعندما يتعرض الملح البلورى (مثل كلوريد الصوديوم) للماء فإن جزيئات الماء القطبية تنجذب إلى أيونات الصوديوم Na^+ وأيونات الكلوريد Cl^- فى المحلول، وبذلك تُكوّن جزيئات الماء غلاًفاً حول الأيونات

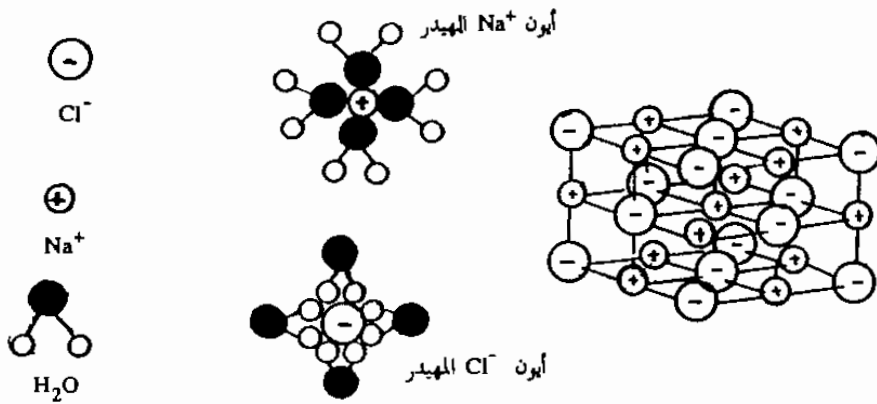
جدول ٢ - ٢

ثابت الثنائي الكهربى لبعض المذيبات

المادة	ثابت الثنائي الكهربى (م ^{٢٠})
هكسان	١,٩
بنزين	٢,٣
كلوروفورم	٥,١
أسيتون	٢١,٤
إيثانول	٢٤
الماء	٨٠

(شكل ٢ - ٤). هذا الغلاف المائي ينشأ عنه مجال كهربى والذي يضاد المجال الناتج من الأيونات، وبذلك ينخفض التجاذب الكهروستاتيكى بين الأيونات.

الشبكة البلورية لكوريد الصوديوم NaCl الماء يذيب البلوره عن طريق هيدرة الايونات Na^+ تماسك مع بعضها بواسطة التجاذب و Cl^- وبذلك يدفعهم بعيدا عن الشبكة الكهروستاتيكى بين الايونات Cl^- و Na^+



شكل ٢ - ٤

يُذيب الماء عدد كبير من الاملاح المتبلوره عن طريق تكوين غلاف مائى حول الأيونات (هيدرة الايونات ions hydration).

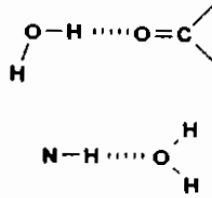
وبالإضافة إلى قدره الماء على إذابه كثير من المركبات العضوية التى تحتوى على مجموعات متأينة مشحونه مثل مجموعة الكربوكسيل ($-COO^-$) ومجموعة الأمين ($-NH_3^+$)، فإن له القدره أيضا على إذابه عدد كبير من المركبات العضويه التى تحتوى على مجموعته قطبيه أو أكثر مثل الأحماض الأمينيه والسكريات والالدهيدات والكيتونات. وترجع خاصيه الماء على إذابه المواد القطبيه إلى قدره الماء على تكوين روابط هيدروجينيه مع المجموعات القطبيه فى هذه الجزئيات مع تفكيك الروابط الهيدروجينيه الموجوده أصلا بين هذه المجموعات. فإذا نظرنا إلى تأثير جزئيات الماء على الرابطه الهيدروجينيه بين مجموعته الكربونيل ومجموعته الأميد (شكل ٢ - ٥)، نجد أن مجموعته (NH) تستبدل بذرات الهيدروجين فى الماء وبذلك تتكون رابطته هيدروجينيه

بين الماء ومجموعه الكربونيل (C=O)، كما أن مجموعة الكربونيل تُستبدل بذره الاكسجين في الماء وبذلك تتكون رابطة هيدروجينية أخرى بين الماء ومجموعه الكربونيل.

في وسط غير قطبي (لامائي)



في وسط مائي



شكل ٥ - ٢

الماء يذيب المركبات القطبية بالتنافس للرابطة الهيدروجينية. في الوسط غير القطبي (لامائي) تتكون الرابطة بين مجموعته الكربونيل والأميد في الجزيئات العضوية. في الوسط المائي تتنافس جزيئات الماء للرابطة الهيدروجينية وبذلك تتكون رابطة هيدروجينية بين ذره الاكسجين في الماء ومجموعه الأميد، ورابطة هيدروجينية أخرى بين ذره الهيدروجين في الماء ومجموعه الكربونيل في الجزيء.

نقطة الإتزان للتفاعلات الانعكاسية يعبر عنها كميًا بثابت الإتزان

نظرا لأهميه التأين الإنعكاسي للماء في وظيفه الخليه، فإننا يجب أن نتعرف على درجة هذا التأين كميًا في الظروف الخلوية المختلفة. لذلك فإننا سوف نقوم أولاً بمراجعته بعض خصائص التفاعلات الكيميائية الانعكاسية، ففي التفاعل الإنعكاسي التالي :



حيث A و B هما المواد المتفاعله و C و D هما نواتج التفاعل، يتناسب معدل التفاعل الأمامي (من اليسار إلى اليمين) طردياً مع تركيز كل من المادتين المتفاعلتين A و B .