

Plant Physiology

الفيزيولوجيا النباتية
الماء

د. ربيعة توفيق زحلان

الماء

بدأت الحياة على سطح الكرة الأرضية في الماء وتطورت فيه عبر ملايين السنين قبل أن تنتشر على اليابسة، الماء جعل من الحياة ممكنة على سطح الأرض وأصبحت على الصورة التي هي عليها الآن.

كل الكائنات تتركب بمعظمها من الماء كما أن توزعها على سطح الكرة الأرضية يعتمد على توزع الماء.

ثلاثة أرباع سطح الكرة الأرضية مغطى بالماء وبمعظمه بصورة سائلة كما يمكن أن يكون بحالة صلبة كالجليد وحالة غازية مثل بخار الماء. يكاد يكون الماء المادة الوحيدة التي تتواجد بحالاتها الفيزيائية الثلاثة في الطبيعة.

أي أن الماء يتمتع بخواص سحرية متفردة تجعل من الأرض مكانا مناسباً للحياة.

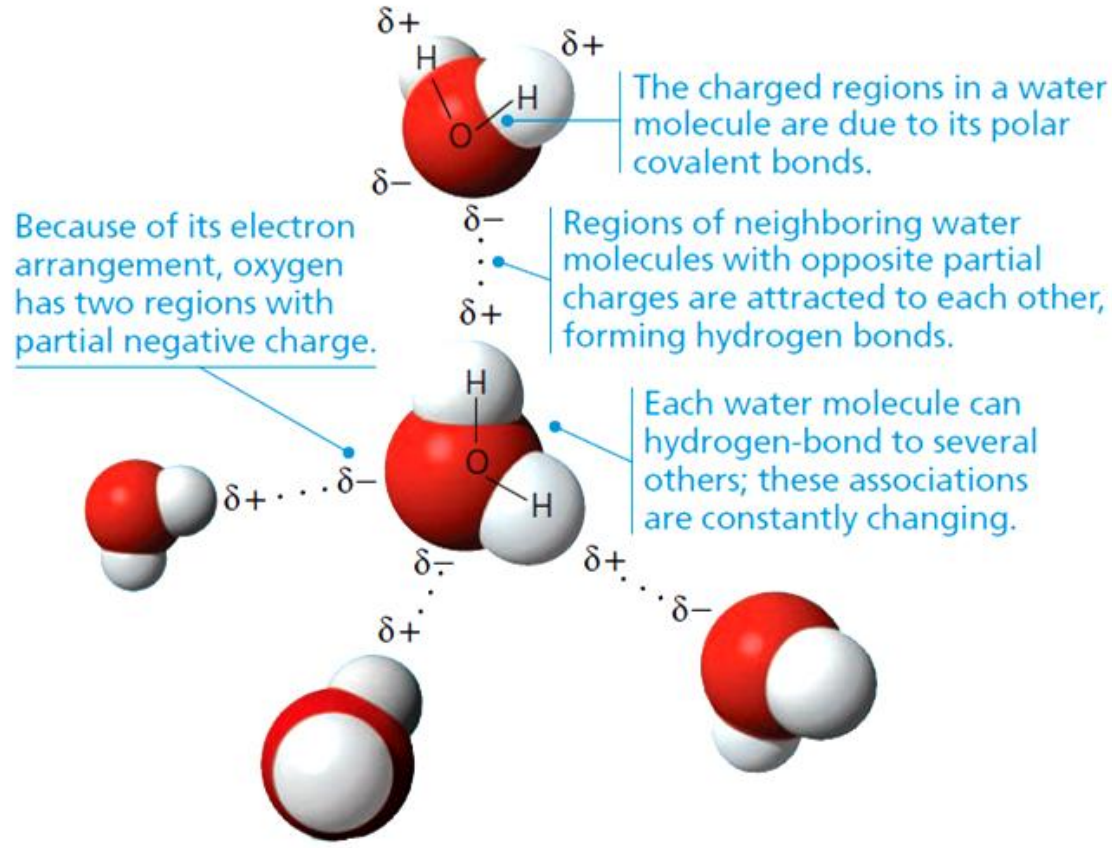
• قطبية الماء:

يتميز جزيء الماء بخاصية قطبية حيث يتكون من ذرة أكسجين وذرتين هيدروجين يرتبطان بشكل حرف V وبما أن ذرة الأكسجين أكثر الكترونات من ذرة الهيدروجين فإن الكترونات الرابطة بين الهيدروجين والأكسجين تميل أن تبقى أقرب لذرة الأكسجين مبتعدة عن ذرة الهيدروجين ، مما يمنح شحنة سالبة لذرة الأكسجين بموقعين وشحنة موجبة لذرة الهيدروجين بموقع واحد.

وبسبب هذه الخاصية الفريدة وبسبب شكل الارتباط مثل حرف V يكتسب جزيء الماء الخاصية القطبية.

الرابطة الهيدروجينية: الموقع الموجب في ذرة الهيدروجين في جزيء يجذب للموقع السالب لذرة الاوكسجين في جزيء ماء مجاور وتتشكل الرابطة الهيدروجينية .

▼ Figure 3.2 Hydrogen bonds between water molecules.



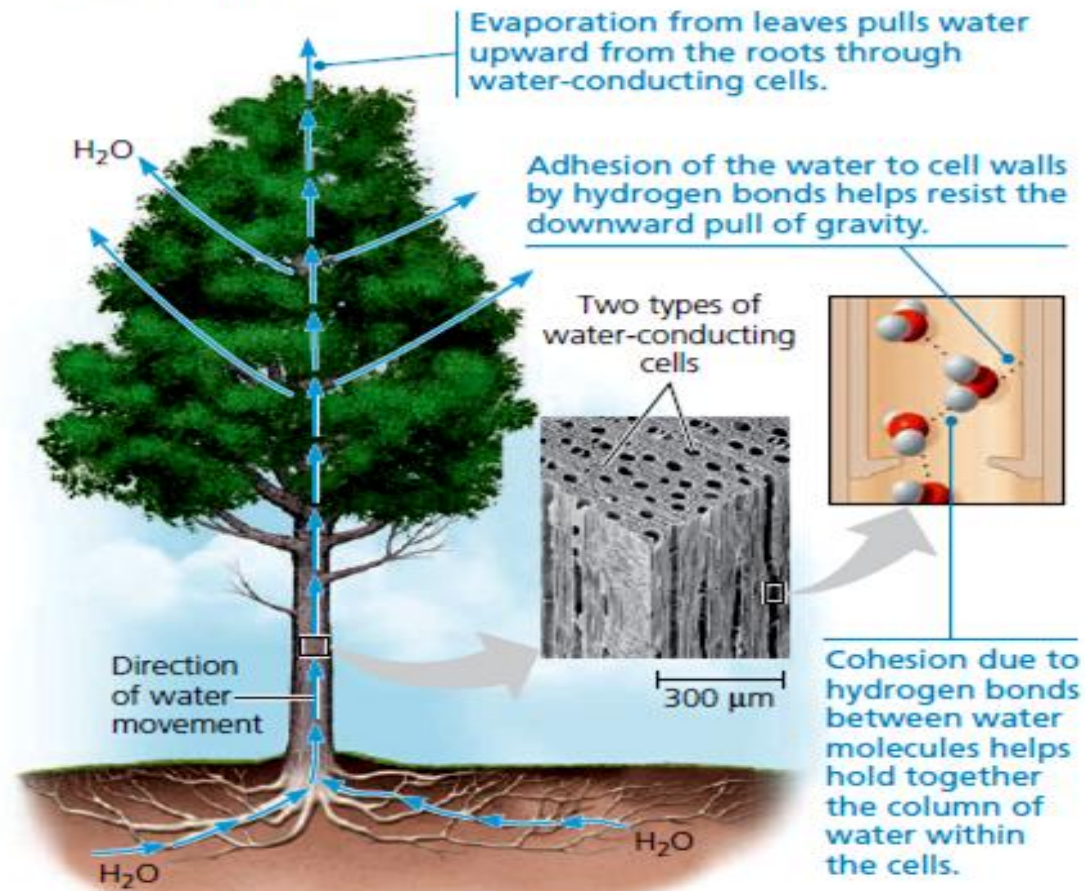
تماسك جزيئات الماء: Cohesion of water molecules

- تبقى جزيئات الماء بالقرب من بعضها نتيجة للروابط الهيدروجينية بين الجزيئات، بالرغم من أن ترتيب الجزيئات في عينة الماء يتغير في كل لحظة حيث تتشكل روابط هيدروجينية وتنفك أخرى ، إلا أن الجزيئات تبقى مرتبطة بالرابط الهيدروجينية المضاعفة ضمن الجزيء الواحد، وهذا ما يجعل الماء السائل الأكثر تنظيما بين جميع السوائل.
- الروابط الهيدروجينية تحمل جزيئات الماء بظاهرة تسمى التماسك وهذا ما يجعل الماء يصعد من الجذور إلى أعلى قمم النبات حاملا معه العناصر المنحلة بعكس الجاذبية الأرضية.
- الرابطة الهيدروجينية بين جزيئات الماء وجدر الخلايا تجعل الماء يغادر الأوعية الناقلة ساحبة بذلك جزيئات الماء الأبعد وهذا السحب التصاعدي ينتشر على طول الأوعية الناقلة حتى الجذر.

• الالتصاق Adhesion

- وهو تشبث مادة بمادة أخرى عند تلامس سطوح المادتين.
- إن الالتصاق جزيئات الماء مع جزيئات جدار الخلية بواسطة الروابط الهيدروجينية يساعد أيضا بعملية انتقال النسغ من الجذور إلى الاوراق مقاوما الجاذبية الأرضية.

▼ **Figure 3.3 Water transport in plants.** Because of the properties of cohesion and adhesion, the tallest trees can transport water more than 100 m upward—approximately one-quarter the height of the Empire State Building in New York City.



- التوتر السطحي **Tension surface**:
- قياس مدى صعوبة كسر أو اختراق سطح السائل.
- للماء توتر سطحي مرتفع وكأنه مغطى بطبقة رقيقة غير مرئية، وهذا ما نلاحظه عند مرور عنكبوت فوق بحيرة ماء.



◀ **Figure 3.4 Walking on water.** The high surface tension of water, resulting from the collective strength of its hydrogen bonds, allows this raft spider to walk on the surface of a pond.

• تعديل درجة الحرارة بواسطة الماء : Moderation of Temperature by water

• يعدل الماء من درجة حرارة الهواء بامتصاص الحرارة منه إذا كان حاراً، وإطلاق حرارة إليه إذا كان بارداً، حيث تعمل المسطحات المائية كبنك للحرارة لأنها تستطيع أن تمتص أو تحرر كمية كبيرة من الحرارة دون حدوث تغير كبير على درجة حرارة الماء.

• هنا لأبد من توضيح بعض المفاهيم (الطاقة الحرارية، الطاقة الحركية، درجة الحرارة ، الحرارة)

- كل جسم يتحرك يملك طاقة حركية Kinetic energy تنتج عن الحركة ، لذلك للذرات والجزيئات طاقة حركية لأنها تتحرك بشكل دائم، وكلما كانت الحركة أسرع كانت الطاقة الحركية أكبر.
- الطاقة الحركية المرتبطة بالحركة العشوائية للذرات والجزيئات تسمى الطاقة الحرارية Thermal energy

- والطاقة الحرارية تتعلق بدرجة الحرارة ولكن يختلف المفهوم عن بعضها فدرجة الحرارة تسجل معدل الطاقة الحركية للجزيئات في المادة بغض النظر عن حجم المادة.
- بينما الطاقة الحرارية لمادة ما هي مجموع الطاقة الحركية الكلية لجزيئاتها وهذا يتعلق بحجم المادة.
- مثال توضيحي: عندما نسخن الماء في إبريق الشاي فإن معدل سرعة جزيئات الماء يزيد، ويسجل مقياس الحرارة ارتفاع درجة الحرارة، كما أن الطاقة الحرارية الكلية تزيد أيضا.
- بالرغم من أن درجة حرارة الماء في إبريق الشاي الساخن أعلى من درجة حرارة ماء حوض السباحة، إلا أن الطاقة الحرارية لماء حوض السباحة أعلى من الطاقة الحرارية لإبريق الشاي لأن حجم حوض السباحة أكبر من حجم إبريق الشاي.

- في حال تم وضع مادتين مختلفتين بدرجة الحرارة فإن الطاقة الحرارية ستنتقل من الأدفأ إلى الأبرد حتى يصبح لهما نفس درجة الحرارة، حيث أن الجزيئات في المادة الباردة أسرع في استهلاك الطاقة الحرارية من الجزيئات في المادة الدافئة.
- فالجليد يبرد كأس الماء ليس بإضافة البرودة إلى الماء بل بامتصاص الجليد للطاقة الحرارية الموجودة في ماء الكأس ويبدأ الجليد بالذوبان.
- انتقال الطاقة الحرارية من جسم مادة لآخر يعرف بأنه الحرارة Heat .

- وحدة قياس الحرارة هي كالوري Calorie (Cal) وهي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة ١ غرام من الماء درجة مئوية واحدة.
- وهي تماثل كمية الحرارة التي يحررها ١ غ من الماء ليبرد درجة مئوية واحدة.
- 1 كيلو كالوري = 1000 كالوري. هناك واحدة أخرى لقياس الطاقة تسمى الجول Joule
- $1 \text{ cal} = 4.184 \text{ j}$ $1 \text{ j} = 0.239 \text{ cal}$

الحرارة النوعية المرتفعة للماء:

- إن قدرة الماء على الحفاظ على درجة حرارته يعود للارتفاع النسبي لحرارة الماء النوعية .
- وتعرف الحرارة النوعية بأنها كمية الحرارة الممتصة أو المحررة من ا غ من هذه المادة لتتغير درجة حرارتها درجة مئوية واحدة. (ارتفاع أو انخفاض).
- وكما لاحظنا أن الحرارة النوعية للماء هي ١ كالوري لكل ا غ من الماء
- $1 \text{ cal/ } 1(\text{g.c}^\circ)$
- بالمقارنة مع مواد أخرى فإن الحرارة النوعية للماء مرتفعة فمثلا الحرارة النوعية للكحول الايتيلي هي $0.6 \text{ cal /}(\text{g.c}^\circ)$.

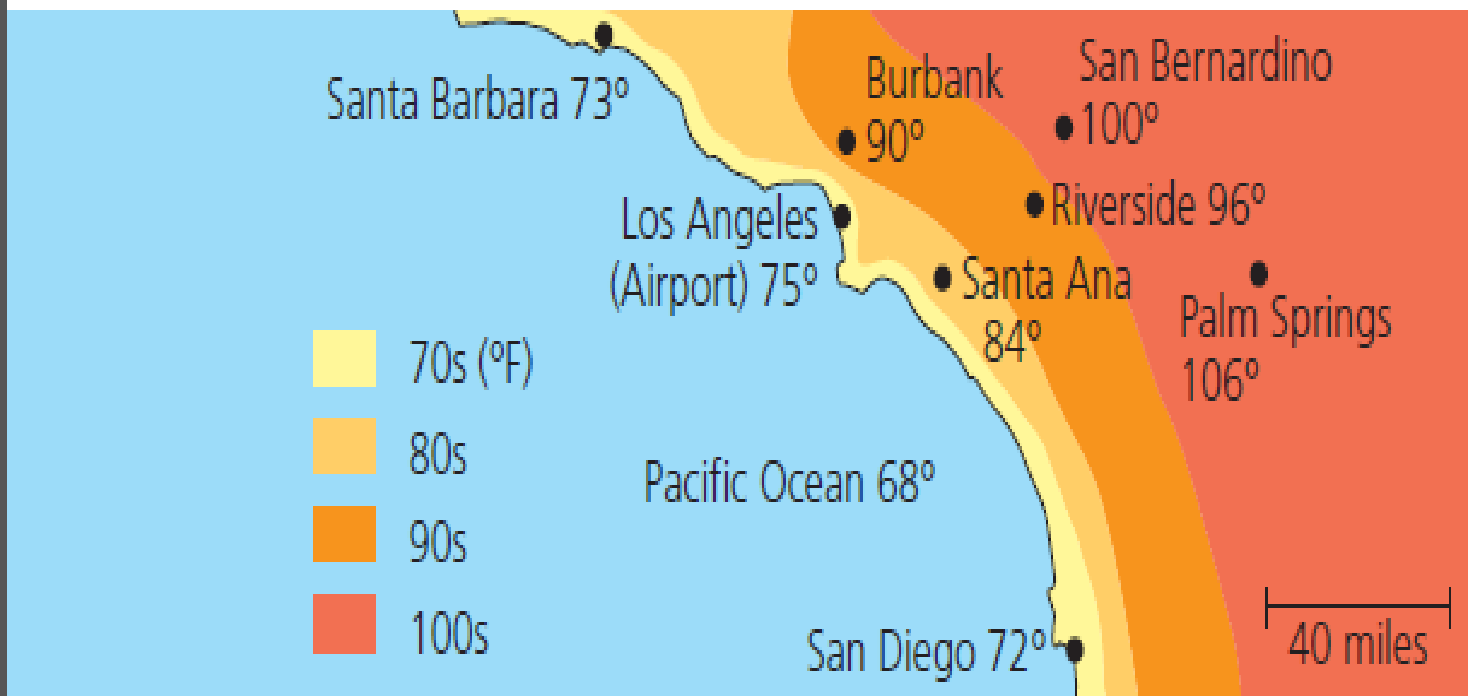
- ولأن حرارة الماء النوعية مرتفعة مقارنة مع العديد من المواد فإن التغيرات التي تطرأ على درجة حرارته أقل من التغيرات التي تطرأ على باقي السوائل في حال أعطوا أو فقدوا نفس كمية الحرارة.
- مثال: السبب بحرق إصبعك عند ملامسة قدر من الحديد على النار يحوي ماء فاترا هو أن الحرارة النوعية للماء أكبر بعشرات المرات من الحرارة النوعية للحديد، بمعنى آخر إن نفس كمية الحرارة ترفع درجة ١ غ من الحديد بشكل أسرع من رفع درجة حرارة ١ غ من الماء .

- ويمكن التعبير عن الحرارة النوعية بقدرة المادة على مقاومة التغيرات في درجة الحرارة عندما تمتص أو تفرر الحرارة، وبذلك فإن الماء يعد مقاوما لتغيرات درجة الحرارة .
- يعزى ارتفاع الحرارة النوعية للماء كما باقي خصائصه للروابط الهيدروجينية ، حيث أنه يلزم كمية زائدة من الحرارة لفك الروابط الهيدروجينية قبل أن تبدأ الحرارة بتسريع حركة جزيئات الماء ورفع درجة حرارته.
- وعندما تبدأ درجة حرارة الماء بالانخفاض تدريجيا ستتشكل من جديد الروابط الهيدروجينية محررة طاقة على شكل حرارة.

كيف تؤثر الحرارة النوعية للماء في الحياة على سطح الأرض؟

- إن كمية الماء الكبيرة في المسطحات المائية قادرة على امتصاص وتخزين كمية كبيرة من الحرارة أثناء النهار والصيف ولا ترتفع درجة حرارة الماء سوى بضع درجات بينما في الليل والشتاء فإن الماء يمدفئ الهواء المحيط بتحريره كمية كبيرة من الحرارة ولا تنخفض درجة حرارة الماء سوى بضع درجات ، هذه الخاصية للماء تجعله قادرا على تعديل حرارة المناطق الساحلية.وبما أن الماء يغطي مساحات واسعة من سطح الأرض فإنه يحافظ على حدود لدرجة حرارة الأرض مناسبة للحياة.
- كما أن الحرارة النوعية المرتفعة للماء تحافظ على درجة حرارة المحيطات محققة بيئة مناسبة للحياة المائية.
- وبما أن الماء يدخل في تركيب جسم الكائنات الحية بنسبة عالية فإنه من المناسب أن تكون الحرارة النوعية للماء مرتفعة على أن تكون منخفضة، حيث تكتسب الكائنات الحية القدرة على مقاومة التغيرات في درجة الحرارة.

▼ **Figure 3.5** Temperatures for the Pacific Ocean and Southern California on an August day.



التبخر Evaporation

- تبقى جزيئات أي سائل متقاربة لأنها تتجذب لبعضها البعض، تحرك الجزيئات بسرعة كافية يجعلها تتغلب على قوى الجذب وتغادر السائل وتدخل الهواء المحيط على شكل غاز (بخار)
- تحول السائل إلى غاز يسمى التبخر Evaporation وذلك يتطلب أن تكون سرعة جزيئات المادة مختلفة (الطاقة الحركية) حيث أن الجزيئات الأسرع هي التي تتحرر للهواء أولاً.
- بعض عمليات التبخر تحدث في أي درجة حرارة مثلاً كأس من الماء في درجة حرارة الغرفة سوف يتبخر ماؤها تدريجياً وبشكل كامل، لكن إذا تم تسخين السائل فإن معدل الطاقة الحركية للجزيئات سيزداد وبالتالي عملية التبخر ستحدث بشكل أسرع.

- **حرارة التبخر :** كمية الحرارة التي يجب أن يمتصها ١ غ من السائل ليتحول إلى غاز.
- وبسبب أن الحرارة النوعية للماء عالية فإن حرارة تبخره عالية أيضا مقارنة مع باقي السوائل.
- ليتبخر ١ غ من الماء بدرجة ٢٥ درجة مئوية يحتاج إلى ٥٨٠ كالوري أي ضعف كمية الحرارة اللازمة لتبخير ١ غ من الكحول أو الامونيا، يعزى ذلك أيضا لوجود الروابط الهيدروجينية في الماء والتي يجب أن تتفكك أولا قبل أن تتمكن جزيئات الماء أن تغادر السائل إلى الهواء على شكل بخار .
- حرارة التبخر العالية لها دور كبير في تلطيف وتعديل المناخ على سطح الكرة الأرضية

- كما أن الكمية الثابتة من الحرارة الشمسية التي تمتص من قبل البحار الاستوائية تستهلك بعملية تبخر سطح الماء. بعد ذلك يندفع الهواء الاستوائي الرطب المحمل ببخار الماء باتجاه القطب ويحرر الحرارة عندما يتكاثف ويشكل المطر.
- **على مستوى الأحياء :** عند حدوث تبخر الماء تحدث ظاهرة تسمى **Evaporative cooling** التبريد بالتبخر ، عندما يبدأ السائل بالتبخر فإن السائل المتبقي تنخفض درجة حرارته وسبب ذلك أن الجزيئات ذات الطاقة الحركية الأكبر هي التي تتحرر من السائل إلى الهواء وتبقى الجزيئات ذات الطاقة الحركية الأقل.

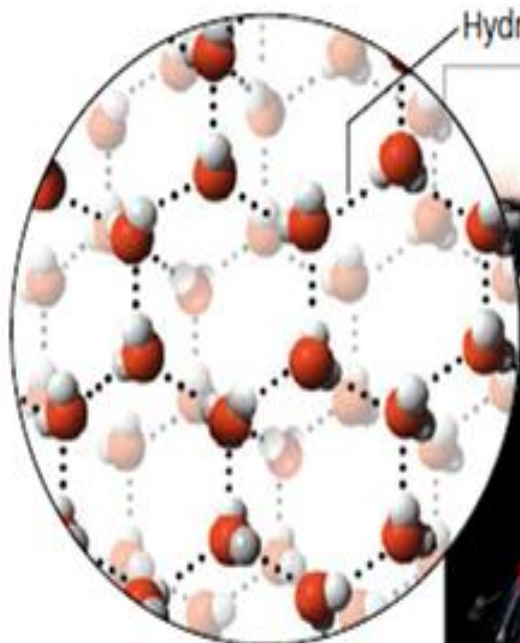
- التبريد بالتبخر يساهم باستقرار حرارة البحيرات ويقدم آلية لكائنات اليابسة للحماية من ارتفاع درجة الحرارة . مثال:
- تبخر الماء من أوراق النبات يحمي أنسجة النبات من ارتفاع درجة الحرارة أثناء النهار حيث تتبخر الجزيئات ذات الطاقة الحركية المرتفعة مخلفة الجزيئات ذات الطاقة الحركية المنخفضة.
- كما أن تبخر العرق من مسام جلد الإنسان يحمي الجسم من ارتفاع درجات الحرارة في الأيام الحارة.
- ارتفاع الرطوبة الجوية في يوم حار يزيد الشعور بعدم الارتياح لأن التركيز العالي لبخار الماء في الهواء يعرقل تبخر العرق من جسم الإنسان ويبقى بحالة سائلة على الجسم .

طفو الجليد فوق الماء : Floating of Ice on liquid water

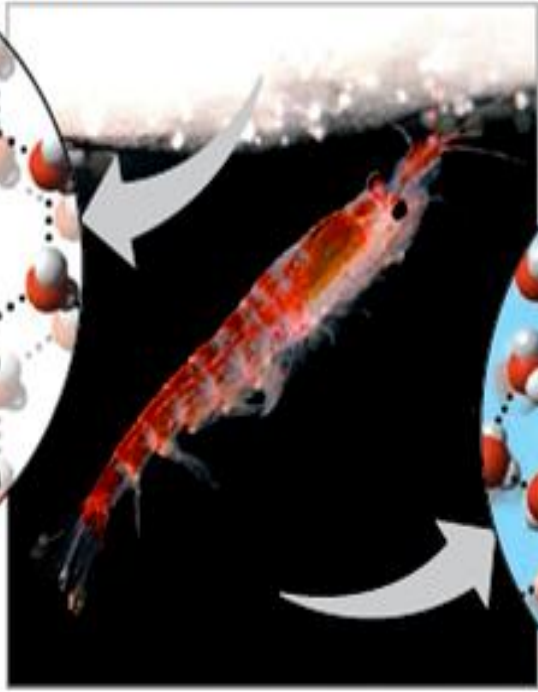
- الماء من المواد القليلة التي تصبح أقل كثافة عندما تتحول من الحالة السائلة للحالة الصلبة، بينما باقي المواد تصبح أكثر كثافة عندما تتحول للحالة الصلبة. السبب في ذلك مرة أخرى يعود للروابط الهيدروجينية.
- ففي درجة الحرارة ٤ مئوية وما فوق يتصرف الماء مثل باقي السوائل يتمدد بالحرارة ويتقلص بالبرودة وعندما تنخفض الحرارة من ٤ إلى صفر يبدأ الماء بالتجمد بسبب بطء حركة جزيئاته أكثر فأكثر ويصبح تحطيم الروابط الهيدروجينية أكثر صعوبة وفي الدرجة صفر مئوية تحبس جزيئات الماء في بنية بلورية .
- كل جزيء ماء يتشارك بأربع روابط هيدروجينية مع أربع جزيئات ماء أخرى بمسافات ثابتة أطول وأبعد ما يمكن لتشكيل الرابطة، ليتشكل الجليد بكثافة تقل عن كثافة الماء بمقدار ١٠% (في حال أخذنا الحجم نفسه من الماء والجليد)

- عندما يمتص الجليد بعض الحرارة وتبدأ درجة حرارته بالارتفاع فوق الصفر تبدأ الروابط الهيدروجينية بالتحطم وتتهدم البنية البلورية ويزوب الجليد وتصبح الجزيئات تملك عدد أقل من الروابط الهيدروجينية مما يسمح لجزيئات الماء بالتقارب أكثر وتبلغ أعلى كثافة للماء في الدرجة 4 مئوية، حيث يبدأ الماء بعدها بالتمدد نتيجة زيادة سرعة جزيئاته.
- ملاحظة : في الماء السائل توجد الروابط الهيدروجينية وهي في حالة تفكك وتشكل بشكل دائم بينما في الجليد الروابط الهيدروجينية ثابتة.
- وبالتالي قابلية الجليد للطفو تعود إلى أن كثافة الجليد أقل من كثافة الماء البارد الذي يقع أسفله وهذا الأمر مهم في البيئة لاستمرار الحياة .

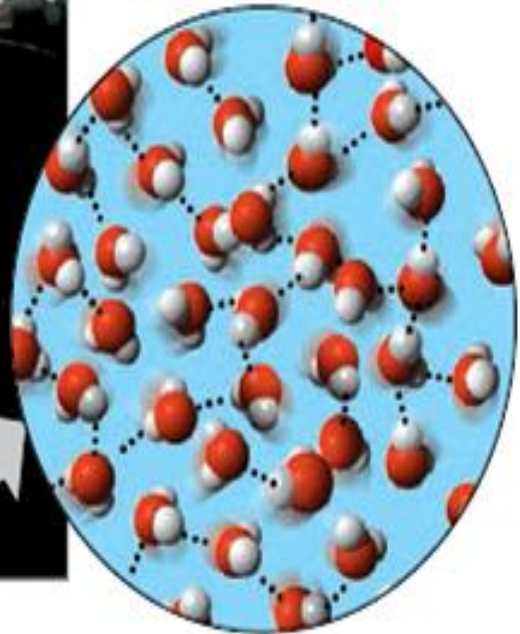
re
ule



Ice:
Hydrogen bonds
are stable



Liquid water:
Hydrogen bonds
break and re-form



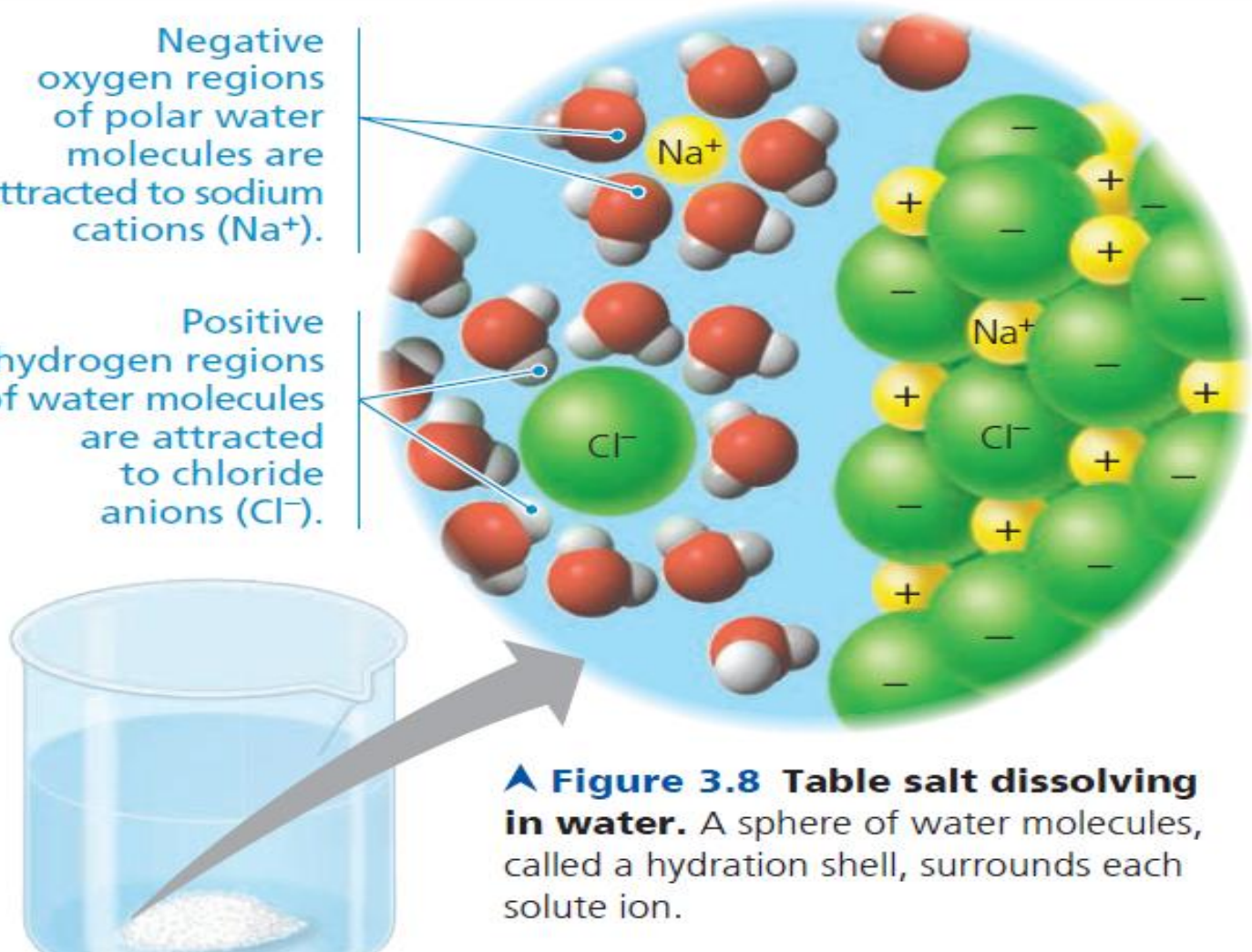
- ماذا لو أن الجليد يغوص إلى قاع المسطحات المائية؟
- إنه لن يذوب ثانية سيما أن حرارة الشمس تخرق مسافة قليلة من سطوح المجمعات المائية، ولكن الذي يحدث أن الجليد يطفو ويبقى الماء سائلا تحته محافظا على الحياة المائية ، كما أن الجليد الطافي يؤمن موئلا صلب للكائنات مثل الدببة القطبية والفقمات .
- يتخوف العلماء الآن من أن الكتل الجليدية مهددة بخطر الزوال بسبب ارتفاع درجة حرارة الارض الناتج عن زيادة غاز ثنائي أكسيد الكربون وغازات الدفيئة، حيث أن حرارة الارض ارتفعت ٢,٢ درجة مئوية منذ عام ١٩٦١ .

• الماء كمنذب

- عندما تؤضع ملعقة سكر في الماء فإنه وبقليل من التحريك سوف تتحل فيه ويتشكل محلول متجانس في كل أرجائه ويسمى الماء منذب بينما السكر مادة مذابة فنحصل على محلول مائي، انحلال المواد يعود للخاصة القطبية لجزئيات الماء.
- مثلا عند وضع ملح الطعام (كلور الصوديوم) في الماء فإنه سينحل ويتحول إلى شوارد الصوديوم والكلور ، ففي جزيء الماء الاكسجين يملك موقعين مشحونين جزئيا بشحنة سالبة سوف ينجذبان للشوارد الموجبة من المادة المنحلة أي كاتيون الصوديوم، بينما الهيدروجين ذي الموقع المشحون جزئيا بشحنة موجبة سوف ينجذب للشوارد السالبة من المادة المنحلة أي ايون الكلور.
- وبالتالي جزئيات الماء ستحيط بشوارد الصوديوم وشوارد الكلور فاصلة أياها عن بعضها البعض وبالتالي سيصبح ملح كلور الصوديوم منحلا في الماء ويدعى الماء المحيط بالشوارد غلاف الإماهة Hydration shell

Negative oxygen regions of polar water molecules are attracted to sodium cations (Na^+).

Positive hydrogen regions of water molecules are attracted to chloride anions (Cl^-).



▲ **Figure 3.8 Table salt dissolving in water.** A sphere of water molecules, called a hydration shell, surrounds each solute ion.

- ليس بالضرورة أن تتشرد المركبات حتى تنحل بالماء يكفي أن تتكون من جزيئات قطبية مثل محلول السكر حيث تحيط جزيئات الماء بجزيئات السكر مكونة معها روابط هيدروجينية ،
- أيضا بعض الجزيئات الكبيرة من البروتين يمكن أن تنحل بالماء إذا كانت تحوي مواقع شاردية وقطبية على سطحها فالكثير من المركبات القطبية تنحل في السوائل الحيوية داخل الكائنات الحية مثل الدم والنسغ والسائل داخل جميع الخلايا.
- فالماء هو المذيب الحيوي الاساسي