

الإسْموزِيَّة Osmosis

الإسْموزِيَّة هي إنتشار المواد (المذيب) خلال غشاء شبه منفذ نتيجة لإختلاف الضغط الإنتشاري لهذه المادة (المذيب) على جانبي الغشاء. وتحدث الإسْموزِيَّة حينما يكون هناك محلولين فيهما المذيب مشترك وضغط الإنتشار للمذيب في كلا الجانبين والمحلولين منفصلين عن بعضهما بواسطة غشاء شبه منفذ.

فمثلاً عند مليء غشاء شبه منفذ (على شكل كيس) بمحلول ملحي أو سكري ثم ربط هذا الكيس ووضعه في ماء نقي يلاحظ بعد فترة إمتلاء هذا الكيس ويحدث هذا الإنتفاخ ضغطاً على جدار الكيس من الداخل. وهذا الضغط ينشأ نتيجة لدخول الماء إلى المحلول عن طريق الإسْموزِيَّة. وفي هذه الحالة يجب مراعاة أن غشاء الكيس لا بد وأن يكون شبه منفذ أي يكون منفذاً للماء دون المادة المذابة.

وتنقسم الأغشية تبعاً لخاصية النفاذية إلى:

١ — أغشية منفذة: أي تسمح لكل من المذاب والمذاب بالنفاذ خلالها مثل ورق الترشيح.

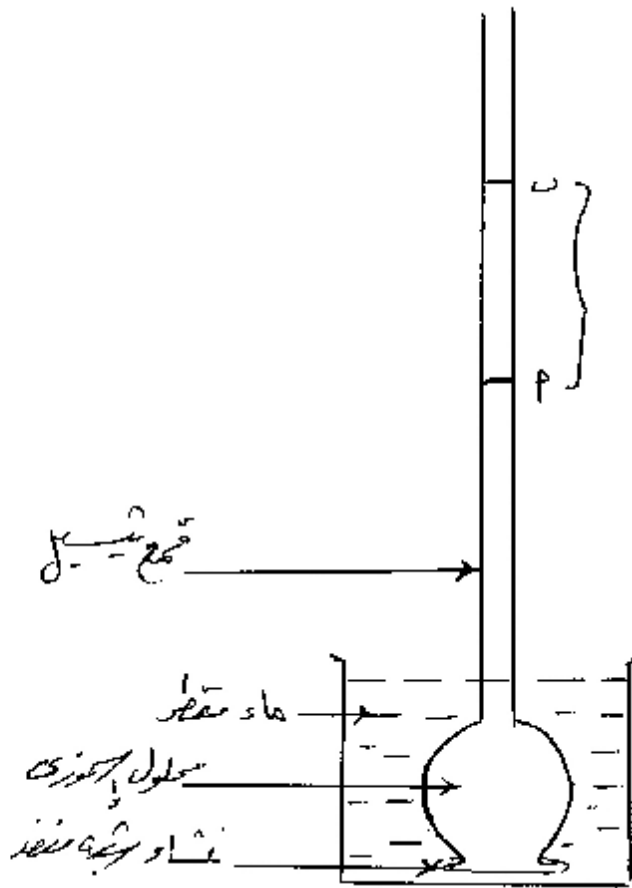
٢ — أغشية غير منفذة: لا تسمح لأي من المذاب والمذيب بالنفاذ مثل الزجاج.

٣ — أغشية شبه منفذة: تسمح للمذيب فقط دون المذاب بالنفاذ خلالها.

إذا ما وضعنا محلولاً في قمع ثيسيل المغطى بغشاء شبه منفذ ووضع القمع في كأس به ماء فإننا نلاحظ إرتفاع عمود الماء في ساق القمع ويثبت الإرتفاع بعد فترة عند حد معين (أي يرتفع عن العلامة أ ← ب). والإرتفاع عمود المحلول من أ ← ب (ثقل عمود المحلول) يساوي مقدار الضغط اللازم وضعة على جدران الغشاء الداخلي لمعادلة قوة دخول الماء إلى داخل القمع. وهذه القوة تساوي الضغط الإسْموزِي للمحلول.

ويعرف الضغط الإسْموزِي بأنه "يساوي كمية قيمة أعلى ضغط ناتج عن ثقل عمود المحلول ويلزم إستمرار حدوث الإسْموزِيَّة خلال غشاء شبه منفذ.

الاستموزية



طرق تقدير الضغط الإسموزى للمحاليل:

١ – الطريقة المانومترية: وفيها يقياس الضغط الإسموزى بقياس إرتفاع عمود السائل فى جهاز الأزموميتر Osmometer وذلك بمعلومية محلول إسموزى آخر معروف أسموزيته.

٢ – طريقة قياس الإنخفاض فى نقطة التجمد وتسمى Cryoscopy، وفى هذه الطريقة يقياس مقدار الإنخفاض فى نقطة تجمد المحاليل (المراد قياس ضغوطها الإسموزية) عن نقطة تجمد الماء. وهذا الإنخفاض يسمى Freezing point depression وباعتبار المحاليل المتساوية التركيز بالمولال ذات ضغوط إسموزية متساوية وأن المحلول المولال لأى مادة غير اليكتروليتية ذو ضغط إسموزى يساوى ٢٢.٤ ض ج على درجة الصفر المئوى ومثل هذا المحلول يحدث إنخفاضاً فى نقطة التجمد قدرها ١.٨٦ م.

$$\begin{array}{r} 22.4 \\ \hline \text{الضغط الإسموزى للمحلول المراد قياسه} \\ \text{أى} \\ \hline 1.86 \\ \hline \text{مقدار الإنخفاض فى نقطة التجمد} \\ \text{التي يحدثها هذا المحلول } (\Delta) \\ \hline \end{array} = \begin{array}{r} 1.86 \\ \hline \Delta \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 22.4 \\ \hline \text{ض} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{r} 1.86 \\ \hline \Delta \\ \hline \end{array}$$

$$\Delta \times 22.4 = 1.86 \times \text{ض}$$

$$\begin{array}{r} \Delta \times 22.4 \\ \hline 1.86 \\ \hline \end{array} = \text{ض}$$

وبمعرفة قيمة Δ (معملياً) يمكن حساب قيمة الضغط الإسموزى لأى محلول بالضغط الجوى.

ومن أحسن الأغشية الشبه منفذه غشاء حديد وسيانور البوتاسيوم وكبريتات النحاس فى إناء مسامى حيث يترسب الغشاء داخل مسام الإناء مكتسباً بذلك صلابة ودعماءة الإناء المسامى.

العوامل التى تؤثر على الضغط الإسموزى للمحاليل:

١ – التركيز:

تتوقف قيمة الضغط الإسموزى على عدد دقائق المادة المذابة بالنسبة لعدد جزيئات المذيب. وعلى ذلك فإن الضغط الإسموزى للمحاليل الغروية (الجيلاتين) تكون قليلة جداً حيث الدقائق تكون كبيرة وعددها قليل فى

(الوزن الثابت) وبالعكس في حالة المحاليل الإليكتروليزية (المتأينة) مثل كلوريد الصوديوم حيث يصبح عدد دقائق أكبر من عدد الجزيئات نتيجة لحدوث التأين وذلك عند تساوى التركيز في الحالتين. أما في المحاليل الغير متأينة مثل محلول السكر فإن قيمة الضغط الإسموزى لمحلول منها في نفس درجة التركيز يقع وسطاً بين الحالتين السابقتين.

ولما كان الوزن الجزيئى لآى مادة يحتوى على عدد ثابت من الجزيئات (رقم أفوجادرو = 6.02×10^{23} جزيئ) فإن إذابة هذه الجزيئات في لتر من الماء لتعطى محلول مولال فإنه في هذه المحاليل يكون عدد دقائق المادة المذابة ثابت وكذلك عدد دقائق المذيب ثابت (لتر من الماء في جميع الحالات) وعلى ذلك تكون الضغوط الإسموزية للمحاليل المتساوية التركيز بالمولال متساوية (طالما كانت هذه المحاليل حقيقية وغير متأينة). ولذلك يعتبر التركيز بالمولال هو المقياس الصحيح للتركيز في حالة الإسموزية وليس المولال لأن الأخير عبارة عن الوزن الجزيئى بينما يكون عدد جزيئات الماء مختلفة وتتوقف على نوع المادة المذابة (أى تكون أقل كثيراً أو قليلاً من اللتر حسب نوع المادة) وعلى ذلك لا يكون الضغط الإسموزى واحد للمحاليل المتساوية التركيز بالمولال.

وأى محلول غير اليكتروليتى ذو تركيز يساوى مولال ذو ضغط إسموزى يساوى ٢٢.٤ ض ج على درجة الصفر المئوى (قانون فانت هوف) وهذا بالنسبة للمحاليل التى لا تحتوى على ماء تأدرت وهذا الرقم (٢٢.٤) مشتق من قانون بويل **Boyles low** حيث أن الوزن الجزيئى لآى غاز يشغل حجم قدرة ٢٢.٤ لتر على درجة الصفر المئوى وضغط جوى يساوى الوحدة.

فإذا ضغط هذا الغاز ليشغل حجماً قدرة لتر واحد فإنه يصبح ذو ضغط يساوى ٢٢.٤ ض ج على درجة الصفر المئوى. وبما أن المحاليل المولال تحتوى على الوزن الجزيئى للمادة في حجم لتر من المذيب إذاً ينطبق عليها نفس القانون.

٢ — مادة التأدرت:

وماء التأدرت هو كمية الماء المرتبط حول جزيئات المادة الذائبة مثل السكر وهى قد تكون كثيرة أو قليلة حسب نوع المادة ومثل هذا الماء لا يحتسب ماء حر. وعلى ذلك تبدو محاليل هذه المواد كما لو كانت أكثر

تركيزاً عما يساويه تركيزها الظاهري بالمولال وبالتالي يكون ضغطها الإسموزي أعلى وعلى سبيل المثال فإن الضغط الإسموزي لمحلول مولال من السكروز = ٢٤.٨ بدلاً من ٢٢.٤ على درجة الصفر المئوي وهذه القيمة تصل إلى ٢٧ ض ج على درجة ٢٥ م.

٣ — درجة الحرارة:

يرتفع الضغط الإسموزي بإرتفاع درجة الحرارة المطلقة (قانون جاى لوساك).

أهمية الماء للنبات (دور الماء فى النبات)

يمكن النظر إلى أهمية الماء بالنسبة للنبات من خلال أثره البيئي **Ecological role** أو أثره الفسيولوجي **Physiological role**. وتظهر أهمية الماء من الناحية البيئية فى توزيع النباتات على سطح الأرض الذى يتأثر بالماء الميسر أكثر من أى عامل آخر منفرد. حيث توجد الغابات الإستوائية ثم المراعى ثم نصف الصحراوية فالصحراوية تبعاً لمعدل سقوط الأمطار وتوزيعها على مدار السنة. وعلاوة على ذلك يظهر جزء من أثر الحرارة من خلال تأثيرها على العلاقات المائية نتيجة لتأثير البخر والنتح وسرعة التفاعلات الكيماوية.

تظهر الأهمية الفسيولوجية للماء جلياً فى جميع العمليات الحيوية تقريباً حيث تتأثر هذه العمليات جميعها بطريق مباشر أو غير مباشر بإمداد الماء. فمثلاً تعتمد إستطالة الخلية على وجود حد أدنى من حالة الإمتلاء ونقل إستطالة السوق والأوراق بمقدار كبير بنقص الماء ويمكن إيجاز أثر نقص الماء بصفة عامة فى أنه يؤدي إلى الذبول ← توقف الإستطالة ← غلق الثغور. ونقص الماء الأرضى، علاوة على تداخل ذلك مع العديد من عمليات التحول الغذائى. ويؤدى إستمرار نقص الماء إلى تغير طبيعة البروتوبلازم وموت معظم الكائنات.

ويمكن إيجاز بعض أهميات الماء الفسيولوجية للنبات:

- أنه مكون رئيسى للبروتوبلازم وهو الوسط الرئيسى الذى ينتشر به باقى مكونات البروتوبلازم.
- يدخل الماء فى عملية البناء الضوئى كمادة أساسية.
- يدخل فى عمليات التحلل المائى الإنزيمى للمواد النشوية ، الدهنية ، البروتينية.

- عامل مهم في حفظ إمتلاء الخلايا وبذلك تحتفظ بشكلها المميز.
- هو الوسط المهم للتفاعلات الإنزيمية بالخلية.
- الماء هو الوسط الذى تذاب فيه الأملاح الممتصة التى تستخدم فى عملية البناء الضوئى.
- يتم الترابط بين أنسجة النبات المختلفة عن طريق الماء لأن البرتوبلازم وجدر الخلايا السليلوزية تكون متشربة بالماء ويؤدى إلى إتصال باشر بين جميع أجزاء النبات.

خصائص الماء:

- إرتفاع الحرارة النوعية: والسبب يرجع إلى ترتيب ذرات الهيدروجين والأكسجين فى جزيئات الماء بحيث يكون لها القابلية على إمتصاص الحرارة دون أن ترتفع درجة الحرارة كثيراً.
- إرتفاع درجة حرارة التبخير: فمثلاً وجد أن جرام واحد من الماء يحتاج إلى ٥٤٠ سعر حرارى ليتحول إلى بخار عند ١٠٠ م. وهذا الرقم (٥٤٠ سعر) يعتبر رقماً عالياً إذا ما قيس بالمواد الأخرى. وكذلك وجد أن جرام الماء يحتاج إلى ٨٠ سعر ليتحول من الجليد (الصلب) إلى الماء (السائل) وهى أيضاً عالية عند مقارنتها بالمواد الأخرى.
- موصل جيد للحرارة إذا ما قورن بغيره من السوائل والأجسام الصلبة غير المعدنية.
- الماء شفاف يسمح بمرور الضوء المرئى إلى أعماق كبيرة وبذلك يمكن للطحالب أن تقوم بالبناء الضوئى.
- إرتفاع التوتر السطحى نتيجة لإرتفاع قوة التماسك بين الجزيئات مما يؤدى إلى سهولة إرتفاع الماء فى أوعية الخشب للجذر والساق فى النبات.
- يتمدد الماء ويزيد فى الحجم بحوالى ١٠% عند التجمد.
- قليل التآين وبذلك يمتاز بأنه يصبح مذيباً جيداً للمواد العضوية غير الإلكتروليتية بتكوين روابط هيدروجينية.

○ يعتبر الماء مذيباً جيداً أيضاً للإلكتروليتات (حيث يتأين جزئياً) حيث يتجاذب فى شحنات جزئية الماء.

○ يدمص جيداً على أسطح السليلوز والطين الغروي والبروتين وغيرها وذلك بسبب الطبيعة القطبية لجزيئات الماء.

تفسير الصفات الفريدة للماء

لقد وضعت نظريات عديدة تناولت شكل وتركيب جزئ الماء وسوف نتطرق إلى بعضها فيما يلي:

العالم راؤولت Raolt: أفترض أن الماء يتكون من مجموعات من ٤ جزيئات.

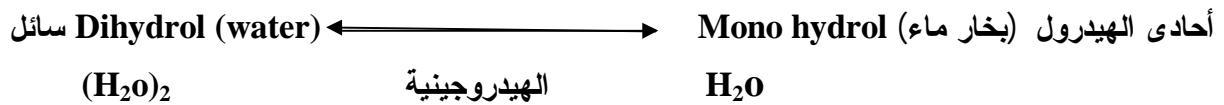
العالم فيرنون Vernon: أفترض أنه فوق ٤ م يكون تجمع الجزيئات على صورة $(H_2O)_2$ وعند أقل من ٤ م يكون تجمع الجزيئات على صورة $(H_2O)_4$.

العالم رونتجن Rontgen: أفترض أن الماء السائل عبارة عن محلول مشبع من الثلج فى صورة أخرى من الماء وأعتبر أن الثلج مركب أقل كثافة من الماء وينقص الحجم بإنصهار الثلج. ويزداد حجم الماء برفع درجة الحرارة وبذلك أستطاع تفسير ظهور أقصى كثافة للماء عند ٤ م كنتيجة لتجمعها.

العالم سوزرلات Sutherlat: أفترض أن يكون بخار الماء عبارة عن H_2O هيدروكسول Dihydroxol فى حين يكون الماء الثلجى النقى $(H_2O)_3$ Trihydroxol. أما السائل فيكون خليطاً من $(H_2O)_2$ & $(H_2O)_3$ بنسب تتوقف على درجة الحرارة وأستنتج من ذلك أن الحرارة الكامنة لإنصهار الثلج وهى فى الغالب حرارة ناتجة عن إنحلال ثلاثى الهيدروكسول Trihydroxol إلى ثنائى الهيدروكسول Dihydroxol.

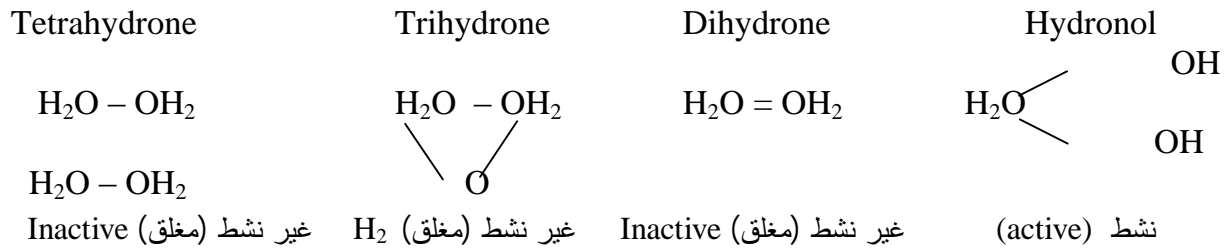


حرارة لتكسير الروابط

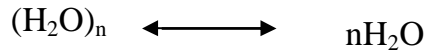


وكذلك فحرارة التبخير تتضمن حرارة إنحلال ثنائى وثلاثى الهيدروكسول إلى أحادى الهيدروكسول المكون لبخار الماء بمعنى أن حرارة النوعية للماء تتضمن حرارة الإنحلال.

العالم أرمسترونج Armstrong: أقترح وجود المشابهات لجزئ الماء وبتركيبات مختلفة هى الهيدرونات Hydrones فتكون الصور لجزئيات الماء النشطة على صورة هيدرون HOH أو هيدرونول H₂O HOH وبذلك تشارك الجزئيات فى التفاعلات الكيماوية. أما فى الجزئيات غير النشطة فتكون نتيجة إتحاد الجزئيات مع بعضها وبذلك تصبح مغلقة فى صورة حلقة مثل:

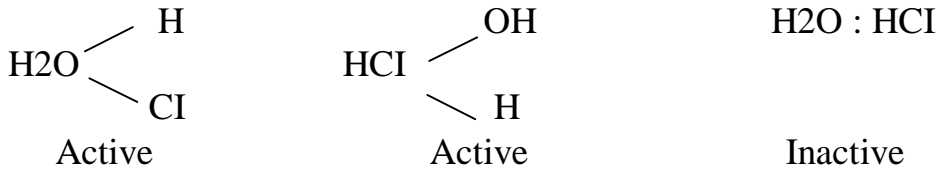


ويتم الإنحلال بدرجات تختلف باختلاف درجات الحرارة ووجود الذائبات وطبقاً للمعادلة



وقياساً على ذلك يمكن لمحلول HCl فى الماء أن ينتج الجزئيات الآتية.

وبناء عليه

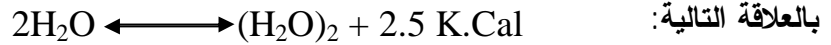


وقد يزيد التخفيف بالماء من الصور النشطة فى المحلول.

العالم جوييا Guya: أفترض أن إتحاد الجزئيات يتم فى الماء السائل والبخار وقام بحساب معامل الإتحاد تحت الظروف المختلفة ووجد أنه عند ٨٠ م يكون المعامل ١.٩ وعند ١٠٠ م يكون المعامل ١,٨٦ وعند ١٢٠ م يكون ١,٨٢.

العالم سثلانت **Suthlant**: حيث أوضح أن حرارة الإنصهار ١,٨ سعر كبير وحرارة التبخير ٥ سعر كبير وبذلك يكون المجموع ٦,٨ سعر كبير ليتحول من ثلج إلى بخار أو العكس وهو اللازم لتحويل الهيدروبون إلى الحالة الصلبة.

العالم نيرست **Nerst**: أوضح أن إختلافات الحرارة النوعية للبخار السائل والثلج يمكن أن توضحها



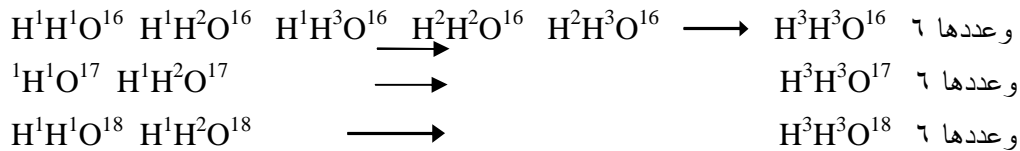
العالم وركر **Warker**: أعتقد أن الثلج عبارة عن ثلاثى الهيدرون **Trihydrone** والبخار أحادى الهيدرون **Monohydeone** فى حين يكون الماء السائل عبارة عن ثنائى الهيدرون **Dihydrone** مع بعض ثلاثى الهيدرون قرب نقطة التجمد وقليل من أحادى الهيدرون قرب نقطة الغليان.

بعد ذلك توالى الأبحاث الحديثة التى أوضحت أن جزئ الماء يأخذ شكل رباعى إلا أن ذلك لا يوضح زيادة الجزيء غير العادى. وتلى ذلك إقتراح تكون سلاسل قطبية وعلاوة على ذلك قد تتكون حلقة سداسية مغلقة. وبناء على ذلك عند إنصهار الثلج يحدث تفكك للسلاسل وتكسير للحلقات مما يسبب حدوث نقص فى الحجم وبالتالي زيادة كثافة السائل. ومن جهة أخرى فإن زيادة الضغط الجزيئى ورفع الحرارة تحدث اتساع فى المراكز التى يتم عندها التجاذب وبذلك يرى أقل حجم عند ٤ م نتيجة لتداخل كل هذه العوامل.

وبالرغم من أن جزئ الماء البسيط عبارة عن H_2O إلا أنه توجد ثلاث نظائر للهيدروجين وكذلك ثلاث

نظائر للأكسوجين وهى $\text{H}^1, \text{H}^2, \text{H}^3, \text{O}^{16}, \text{O}^{17}, \text{O}^{18}$.

ويمكن أن يتم الإتحاد فى جزئ الماء فى ١٨ صورة مختلفة كالتالى:



وبذلك يختلف الوزن الجزيئي للماء من ١٨ – ٢٤ تبعاً لهذه النظائر إلا أنه في الواقع تكون H^3 & O^{17} نادراً جداً. ولوحظ أن H^2 يوجد بتركيز حوالى ٢٠٠ جزء في المليون في الماء العادى. فى حين يكون معظم الماء فى صورة O^{17} & H^1 .

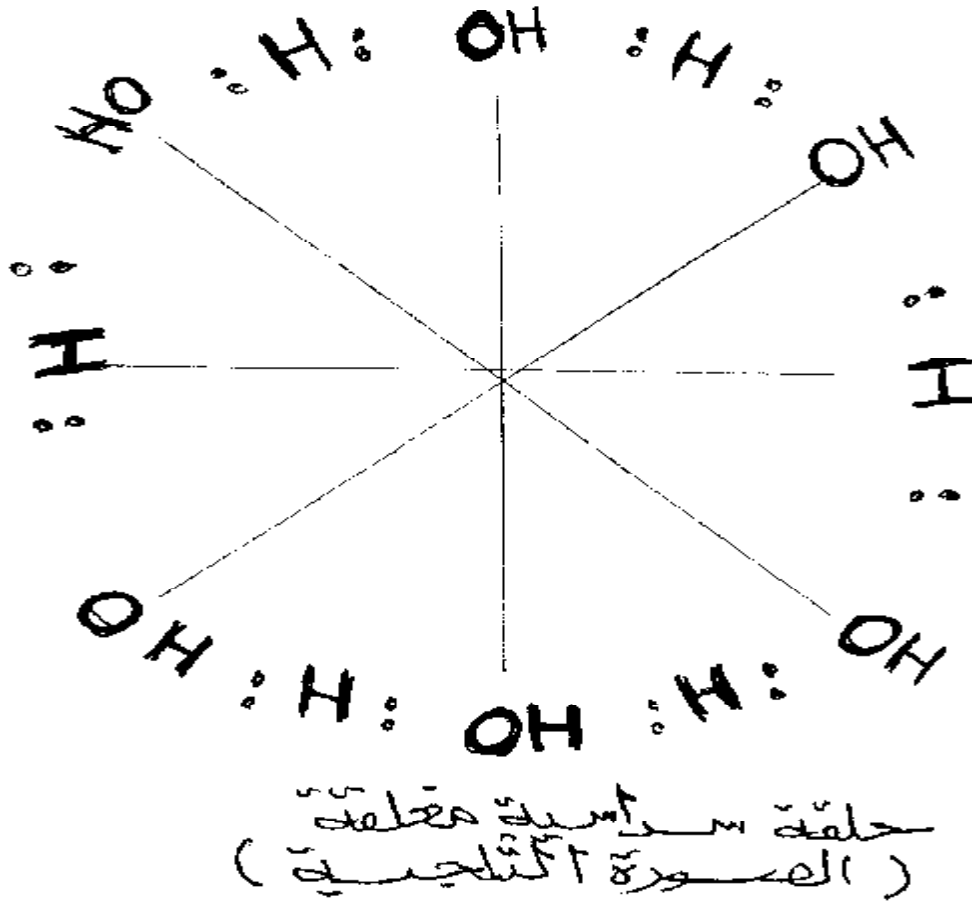
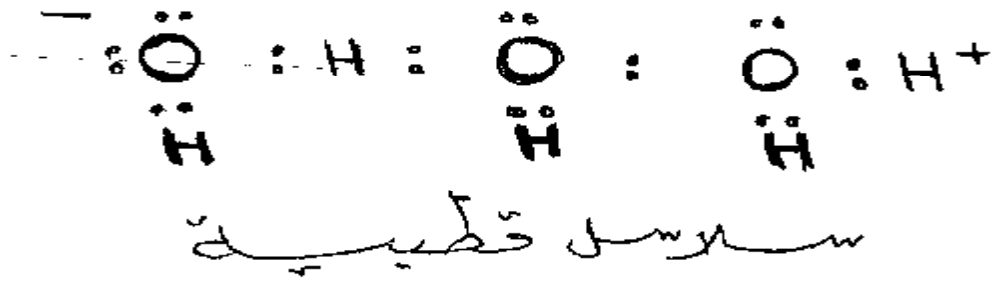
الماء الثقيل $H^3H^3O^{18}$ نادراً $H^3H^3O^{17}$ سائد $H^1H^1O^{17}$

وبناء على ذلك يرجع تفصيل جزيئات الماء إلى افتراض أن جزيئات الماء ترتبط مع بعضها بروابط هيدروجينية وتعتمد الخواص الطبيعية مثل نقطة الغليان – حرارة التبخير – اللزوجة – الجذب السطحى – على قوة الربط بين الجزيئات، ويمتاز الماء بزيادة قوة الربط بين الجزيئات نتيجة لقوة الجذب الناتجة عن الروابط الهيدروجينية بين ذرات الهيدروجين وذرات الأكسجين فى الجزيء المجاور.

ويتم ربط جزيئات الماء فى شكل شبكى كما فى حالة الثلج وبذلك تقل كثافة الثلج عن الماء العادى وعند ذوبان الثلج تتكسر حوالى ١٥% من الروابط الهيدروجينية ويحتل خروج حوالى ٨% من الجزيئات من الشكل الشبكى ويؤدى ذلك إلى تفكك جزئى نتيجة زيادة الكثافة عند ٤ م. وبزيادة درجة الحرارة عن ٤ م يزداد الحجم نتيجة زيادة طاقة الجزيئات.

كما يلاحظ أن قوة التوتر السطحى واللزوجة للماء عالية جداً وذلك لوجود الروابط الهيدروجينية فيمكن للماء أن يبيل الزجاج ، الطمى ، السليلوز وغيرها من المواد التى بها ذرات O^2 على السطح والتى يمكنها تكوين روابط هيدروجينية مع ذرات الهيدروجين فى الماء. فى حين لا يمكن للماء أن يبيل الشموع وغيرها من الهيدروكربونات حيث لا تتمكن من تكوين مثل هذه الروابط.

كما يعزى إرتفاع نقطة الغليان إلى وجود الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء حيث يتم كسر رابطة هيدروجينية لكل جزئ ماء يتبخر.



الخلية النباتية وعلاقتها بالماء:

تمتاز الخلية النباتية عن الخلية الحيوانية بوجود جدار خلوي يحيط بالغشاء البلازمي شبه المنفذ من

الخارج. وبذلك تنفرد الخلية النباتية عن الخلية الحيوانية بمميزات أهمها:

١ – يمكن للخلية النباتية أن تحتفظ بحياتها إذا وضعت في مجال واسع من التركيزات بعكس الخلية الحيوانية التي يجب أن توضع في محاليل فسيولوجية لكي تحتفظ بحياتها.

٢ – إذا وضعت الخلية النباتية في ماء مقطر فإنها تنتفخ نتيجة لدخول الماء ونادراً جداً ما تتعرض للانفجار.

٣ – يتولد في الخلية النباتية عند الإمتلاء ضغط يسمى ضغط الإمتلاء أو ضغط الإنتفاخ Turgor pressure وهو يساوي في القيمة ويضاد في الإتجاه ضغط الجدار Wall pressure.

وعموماً تنقسم المحاليل بالنسبة لتركيز العصارة الخلوية إلى:

§ محاليل ناقصة التركيز Hypotonic solutions: أي أنها محاليل ذات ضغط إسموزي أقل من الضغط الإسموزي في العصير الخلوي وعند وضع الخلية النباتية في مثل هذه المحاليل فإنها تنتفخ وتسمى في هذه الحالة خلية منتفخة أو ممتلئة Turgid cell نظراً لدخول الماء إلى داخل بمعدل أكبر من خروجه.

§ محاليل زائدة التركيز أو زائدة الإسموزية Hypertonic solutions: وهي محاليل ذات ضغط إسموزي أعلى من الضغط الإسموزي للعصير الخلوي وعند وضع خلية نباتية في مثل هذه المحاليل فإنها تتبلزم نتيجة خروج الماء منها ونقص حجمها. وتسمى في هذه الحالة خلية متبلزمة Plasmolyzed cell.

§ محاليل سوية التركيز أو سوية الإسموزية Isotonic solutions: وهي محاليل متساوية في ضغطها الإسموزي مع العصارة الخلوية. وعند غمر خلية نباتية في مثل هذه المحاليل فإنه لا يعترها أي تغيير أي تصبح في حالة إلتزان ديناميكي مع المحلول منذ لحظة وضعها فيه ولذا تكون سرعة دخول الخلية تساوي تماماً سرعة خروجه فلو تصورنا أن هناك خلية حيه (ذات غشاء بروتوبلازمي شبه منفذ) وموضوعة في ماء وأن هذه الخلية تحتوى على عصارة خلوية بها محلول ملحي وسكري. فلو افترضنا أن تركيز العصارة الخلوية يساوي ٥% والماء الخارجي = ١٠٠.

إذا يكون للماء الخارجى ضغط إنتشارى للداخل قيمته تساوى ١٠٠ وللماء الداخلى ضغط إنتشارى للخارج قيمته تساوى ٩٥ وعلى ذلك تحدث إسموزية وينتشر الماء من الخارج إلى الداخل بقوة إنتشارية تساوى ٥ ويترتب على ذلك زيادة حجم الخلية من الداخل يسمى ضغط الإنتفاخ Turgor pressure ويقاوم هذا الضغط ضغط آخر مساوى له فى القيمة ومعاكس له فى الإتجاه (من الخارج إلى الداخل) ويسمى ضغط الجدار Wall pressure وعند ترك الخلية فى الماء فترة طويلة لتصل إلى حالة الإتزان فإنها تصبح منتفخة Turgid وقوة الإمتصاص النهائية للخلية عادة تساوى الضغط الإسموزى لمحلول هذه الخلية – ضغط الإنتفاخ المتولد داخلها. وهذه الحالة تمثل بالمعادلات التالية:

$$\text{ص} = \text{ض} - \text{ت} \quad \text{D.P.D. (S.F.)} = \text{O.P.} - \text{T.P.}$$

حيث ص (D.P.D. or S.F.) = قوة الإمتصاص الإسموزية.

ض (O.P.) = الضغط الإسموزى للعصير الخلوى.

ت (T.P.) = ضغط الإنتفاخ.

مثال: خلية ذات ضغط أسموزى يساوى ١٢ ض ج وضعت فى ماء فتكون قيمة ص لها فى بداية التجربة ص = ض - ت إذا ص = ١٢ - صفر = ١٢ ض ج. وبدخول الماء إلى الخلية تنتفخ ويتولد داخلها ضغط لإنتفاخ يتزايد تدريجياً بإستمرار الإسموزية، بينما قيمة ص تتناقص بإستمرار حتى تصل إلى الصفر وذلك عند حالة الإتزان فى نهاية التجربة وبعد أن تصل الخلية إلى أقصى إنتفاخ لها وهنا يقف دخول الماء إليها وتتساوى قيمة ض & ت (كل منها تساوى ١٢ ض ج).

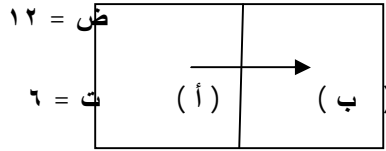
$$\text{إذا ص} = \text{ض} - \text{ت} \quad \text{إذا ص} = ١٢ - ١٢ \quad \text{صفر ض ج}$$

وفعلاً تكون قوة الإمتصاص فى هذا الوقت تساوى صفر حيث أن الإمتصاص يقف تماماً. والشكل البيانى التالى يبين العلاقة بين قيمة كل من ص ، ض ، ت قبل وبعد التجربة وواضح من هذا المثال أن دخول الماء إلى الخلية يتوقف على قوة الإمتصاص وليس على قيمة الضغط الإسموزى للعصارة بها والمثال التالى يوضح ذلك.

الخلية (أ) لها القيم الإسموزية التالية: ض = ١٢ ت = ٦ ص = ١٠

الخلية (ب) لها القيم الإسموزية التالية: ض = ١٠ ت = ٢ ص = ٨

فبالرغم من أن الضغط الإسموزي في الخلية (أ) أعلى منه في (ب) إلا أن الماء ينتقل من (أ) إلى (ب) متوقفاً



على قيمة ص لكل من الخليتين ض = ١٠

ت = ٢

ص = ٨

وفي الأسجة النباتية تكون ص = ض – ت ناقص ضغط الخلايا المجاورة حيث يؤدي الضغط الأخير إلى الحد من تمدد الخلية نتيجة لدخول الماء إليها وبالتالي فإنه يقلل من قيمة ص.

وكثيراً ما تكون جدر الخلايا النباتية مرنة وقابلة للمطاطية بدرجة معينة وفي هذه الحالة تتمدد جدر الخلية

نتيجة لإمتصاصها للماء وتزداد في الحجم وبالتالي يقل تركيز العصير الخلوي داخلها كما في المثال التالي:

خلية تسمح جدرها بالتمدد بنسبة ٢٥% من الحجم الأصلي وضغطها الإسموزي قبل بدء التجربة = ٢٠ ض

ج وضعت في محلول خارجي ذو ضغط أسموزي = ١٢ ض ج وبذلك يصبح التركيز بعد التمدد: الحجم

الأصلي × التركيز في بداية التجربة = الحجم النهائي × التركيز في نهاية التجربة

$$\text{إذن: } ١٠٠ \times ٢٠ = ١٢٥ \times \text{س}$$

$$٢٠ \times ١٠٠$$

$$\text{إذن: س} = \frac{٢٠ \times ١٠٠}{١٢٥} = ١٦ \text{ ض ج}$$

وعند حالة الإتزان يقف دخول الماء إلى الخلية وتصبح قيمة ص لها مساوية لقيمة الضغط الإسموزي

للمحلول (١٢) وحيث ص = ض – ت

$$\text{إذن: } ١٢ = ١٦ - \text{ت}$$

ت = ٤ ، ص = ١٢ ، ض + ١٦ عند الإتزان.

وعند افتراض عدم سماح جدر الخلية للتمدد فإن المعادلة الإسموزية عند الإتزان تصبح ص = ض – ت.

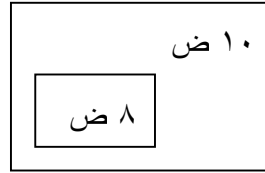
$$١٢ = ٢٠ - ت \quad \text{إذاً } ت = ٨ ، \text{ ص} = ١٢ = ٢٠$$

أى يمكن القول بأن قيمة ضغط الإنتفاخ (ت) ، الضغط الإسموزى (ض) تصبح أقل عندما تكون جدر الخلية مرنة.

وفى حالة وضع الخلية فى محلول زائد التركيز كما فى الرسم فإن القيم الإسموزية تصبح ص = ض - ت

$$١٠ = ٨ - ت$$

$$\text{إذاً } ت = -٢$$



أى أن ضغط الإنتفاخ يصبح بالسالب (-٢) وهذا يعنى أن الخلية فى حالة بلزمة وذلك حتى يخرج الماء من الخلية بدلاً من أن ينفذ إليها، والخلية المتبلزمة إذا لم يحدث لها ضرر ميكانيكى نتيجة للبلزمة (مثل تقطع الأغشية البلازمية) ووضعت بعد ذلك فى ماء نقى فإنها تستمد حالتها الأولى وتأخذ فى إمتصاص الماء تدريجياً وتنتفخ مرة أخرى وتسمى هذه الحالة بالشفاء من البلزمة.

تقدير قوة الإمتصاص الإسموزية

هناك عدة طرق لتقدير قوة الإمتصاص الإسموزية نلخصها فى الآتى:

- عند وضع قطع أو شرائح معينة من نسيج نباتى معلومة الوزن (أو الحجم) فى محاليل مختلفة التركيز (معلومة الإسموزية) مثل محاليل السكروز وتركها مده فإنه يمكن تحديد المحلول الذى لا يتغير فيه وزن (أو حجم) هذه القطع النباتية. ويكون تركيز هذا المحلول مقدراً على صورة ضغط إسموزى يساوى متوسط قوة الإمتصاص الإسموزية لخلايا النسيج (أى المحلول الذى يكون فيه النسيج فى حالة أوازن دون أن يطرأ عليه أى تغيير) أى أن ص تتغير عندما تكون قيمة ت ثابتة لم يطرأ عليها أى تغير، ص تساوى قيمة الضغط الإسموزى للمحلول الخارجى الذى يتعادل فيه النسيج.

- وتتلخص كالسابقة فى تحديد المحلول الذى لا يتغير فيه طوال شرائح نباتية معلومة أو طول خيط من الطحلب وتجرى بطريقة القياس تحت الميكروسكوب بدلاً من الوزن وتجب ملاحظة أن عملية القياس تتم والشريحة النباتية مغمورة فى زيت برفاين لمنع حدوث تغير فى الطول أثناء القياس الأمر الذى يحدث عند غمر العينة النباتية فى الماء.
- طريقة الإحناء (يرجع للعملى) أن تقدير قوة الإمتصاص الإسموزية يتم على النسيج وخلاياه فى حالة إمتلاء كما هى وذلك عندما يتعادل خروج ودخول الماء من وإلى النسيج.
- طريقة شارداكوف: يتم تحضير محاليل سكروز متدرجة التركيز من 0,15 ← 0,40 مولال كما فى الشكل التوضيحي. ثم يوضع كل تركيز فى أنبوتى إختبار يوضع النسيج النباتى المتجانس فى أنبوبة من كل تركيز وتترك الأنبوبة الأخرى من كل تركيز للمقارنة. توضع نقطة من صبغة أزرق المثلين فى كل أنبوبة من أنابيب المقارنة ثم ترج لمزج الصبغة بمحتوياتها.
- تترك التجربة لمدة ٣٠ ق ثم تنزع الأنسجة النباتية من الأنابيب ثم توضع نقطة من أنبوبة المقارنة بهدوء شديد فى الأنبوبة المقابلة لها والمساوية لها فى التركيز ويكرر ذلك مع باقى الأنابيب. فإذا صعدت النقطة الملونة لأعلى فهذا يعنى أن النقطة أخف والمحلول المختبر أكثر تركيزاً. أى أن ماء هذا المحلول قد دخل الأنسجة النباتية تاركاً السكروز الذى يزداد تركيزه بالطبع.
- وبالعكس لو أن النقطة سقطت إلى أسفل فى قاع الأنبوبة أى أن المحلول أصبح مخففاً لخروج الماء من الأنسجة إلى المحلول الخارجى. أما إذا كانت كثافة المحلول مشابهة لكثافة النقطة المضافة فإنها لا تصعد ولا تهبط وهذا يدل على أن الجهد المائى للنسيج والمحلول الذى وضعت فيه متساويان.
- ومن الممكن إستخدام جهاز الرفراكتوميتر بدلاً من نقطة السقوط وعدم التغير فى التركيز يدل على أن المحلول له نفس الجهد المائى لذلك الذى يوجد فى النسيج النباتى وهذه الطريقة أدق فى النتائج.

العوامل التي تؤثر في الضغط الإسموزي لخلايا النبات

من الطبيعي أن أى عامل من شأنه أن يؤثر في المحتوى المائى أو تركيز الأملاح فى عصارة النبات فإن هذا العامل يلعب دورا مباشرا فى التأثير على الضغط الإسموزي للخلايا النباتية ومثل ذلك عملية النتج (فقد النبات للماء) أو إمتصاص النبات للماء وعموما ما يمكن إضافة العوامل التالية إلى العوامل السابقة.

○ الضغط الإسموزي لمحلول التربة: حيث وجد أن هناك علاقة طردية بين تركيز محلول التربة وبين الضغط الإسموزي لخلايا النبات النامي فى هذه التربة.

فالنبتات التى تتحمل درجة عالية من الملوحة Halophytes ذات ضغوط إسموزية عالية فى عصارتها الخلوية قد تصل أحيانا إلى ٢٠٠ ض ج كما فى نباتات Atriplex وكذلك النبتات التى تعيش فى المناطق الجافة Xorophytes بينما تتراوح قيمة الضغط الإسموزي لمعظم نباتات البيئة المتوسطة بين ٥ - ٣٠ ض ج.

○ نوع النبات: فمثلا الأشجار تحتوى عصارتها على ضغوط إسموزية أعلى من النبتات العشبية.
○ موضع الخلية فى النبات: فمثلاً عصارة أنسجة الأوراق العليا ذات ضغوط إسموزيه أكبر من عصارة الأنسجة السفلى للنبات ويتبين ذلك من الجدول التالى:-

تأثير محتويات مختلفة من الرطوبة فى التربة على الضغط الإسموزي فى نبات الذرة

نسبة الرطوبة فى التربة	الضغط الإسموزي لخلايا قمة النبات	الضغط الإسموزي لخلايا الجذر
٣٠%	٢٢.٠٦	٥.٩١
١٦%	٢٤.٣٦	٧.٧٩
١٣%	٢٥.٤٧	١١.٣٤

○ عمر الخلية: فمن المعلوم أن الضغط الإسموزي للخلية يزداد بتقدمها فى العمر.
○ يتوقف الضغط الإسموزي للعصير الخلوي فى النبات على وقت أخذ العينة. ففي الصباح الباكر يكون منخفضا نظرا لنقص نسبة السكر الذائب فى النسيج بينما فى المساء (قبل غروب الشمس) حيث تكون

نسبة السكريات الذائبة في العصارة الخلوية عالية نتيجة لعملية البناء الضوئي فإن الضغط الإسموزي للعصارة الخلوية في النبات يكون عالياً.

تقدير الضغط الإسموزي للأنسجة النباتية

عادة ما يقدر الضغط الإسموزي لعصارة الأنسجة النباتية بطرق عديدة سنكتفى بذكر الطريقتين التاليتين منها:

q طريقة البلازما Plasmolytic method

وهذه الطريقة تتلخص في وضع شرائح من النسيج النباتي في عدد من محاليل قياسية مختلفة التركيز (السكروز مثلاً) وتترك مدة كافية لحدوث حالة الإتزان الديناميكي بين العصارة الخلوية والمحلول الخارجي (أى إلى أن تقف عملية الإسموزية) ثم تفحص هذه الأنسجة ميكروسكوبياً ويحدد المحلول الذى تكون فيه نصف خلاياه تقريباً في حالة بلزمة بينما النصف الآخر من الخلايا لم يتبلزم بعد. ويكون متوسط الضغوط الإسموزية للعصارة الخلوية فى النسيج تساوى الضغط الإسموزي للمحلول الخارجي المغمورة فيه ويسمى الضغط الإسموزي التحصل عليه بواسطة هذه الطريقة "الضغط الإسموزي عند البلازما"

Osmotic Pressure at incipient plasmolysis

وقيمتها عادة تكون أكبر قليلاً من الحقيقة لأن الخلية قبل أن تبدى حالة البلازما يعترها إنكماش قليل فى الحجم. ومثل هذا الإنكماش يمكن معه تقدير الضغط الإسموزي بدقة أكثر وذلك بتطبيق المعادلة التالية:—

$$ح \times ت = ح' \times ت'$$

أى أن الحجم \times التركيز عند بدء البلازما = الحجم \times التركيز فى حالة إمتلاء الخلية.

$$ت' = \frac{ح \times ت}{ح'}$$

وبإختصار فإنه لتقدير الضغط الإسموزي بهذه الطريقة تقدر قوة الإمتصاص للنسيج عندما تكون قيمة ت له تساوى صفر (وهى حاله بدء البلازما).

طريقة تقدير الإنخفاض في نقطة التجمد Cryoscopic method

ويتم ذلك بتقدير مقدار الإنخفاض في درجة التجمد للعصير النباتي ثم تطبيق المعادلة:-

$$\frac{\Delta \times 22.4}{1.86} = \text{الضغط الإسموزي}$$

وهذه الطريقة سبق شرحها عند تقدير الضغط الإسموزي للمحاليل.