

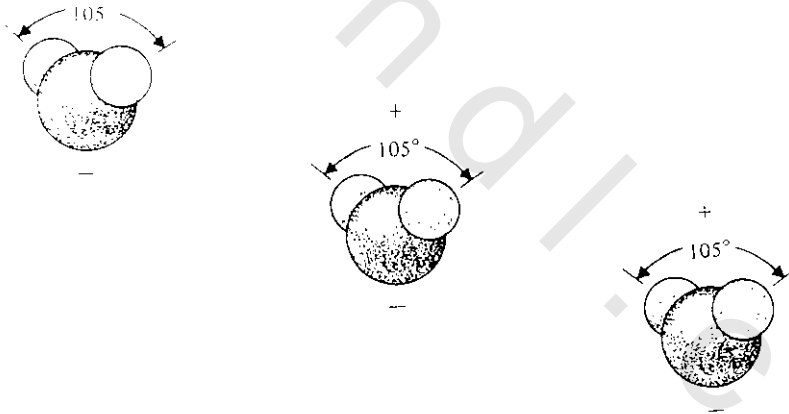
## الباب الثانى

# أساسيات الطبيعة الحيوية

### Principles of Biophysics

#### التركيب الجزيئى للماء

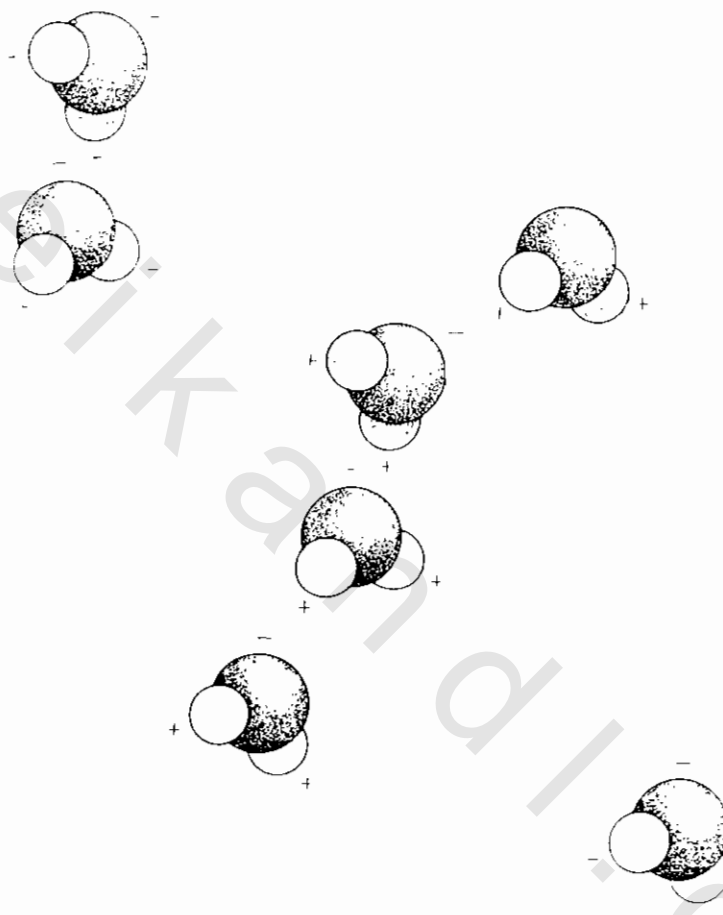
يتكون جزئى الماء من ذرة أكسجين وذرتين هيدروجين وهى ترتبط بروابط تعاونية ولذلك يعتبر جزئى الماء عبارة عن جزئى يرتبط تعاونيا covalently bonded molecule. ونتيجة للتجاذب القوى بين نواة ذرة الأكسجين والهيدروجين فإن إلكترونات ذرتى الهيدروجين يختلف وضعها نسبيا عن وضعها الطبيعى فى الذرة. تكون الزاوية بين ذرتى الهيدروجين هى ١٠٥ درجة ولكن إذا كانت متماثلة تكون الزاوية بين ذرتى الهيدروجين ١٨٠ درجة نتيجة لعدم التماثل بين موضع ذرتى الهيدروجين على ذرة الأكسجين يصبح جزئى الماء ذو قطبين dipole. ويصبح الجزئى على درجة كبيرة من الاستقطاب highly polarized مع فصل قوى للشحنة الموجبة والشحنة السالبة (شكل ٢١) وتتميز ذرتى الهيدروجين بالطرف الموجب وتتميز ذرة الأكسجين بالطرف السالب.



(شكل ٢١) : التركيب الجزيئى للماء

يوضح التركيب عدم الانتظام فى تركيب الجزئى ولذلك فله قطبين dipolar nature .  
والزاوية بين ذرتى الهيدروجين هى ١٠٥ درجة.

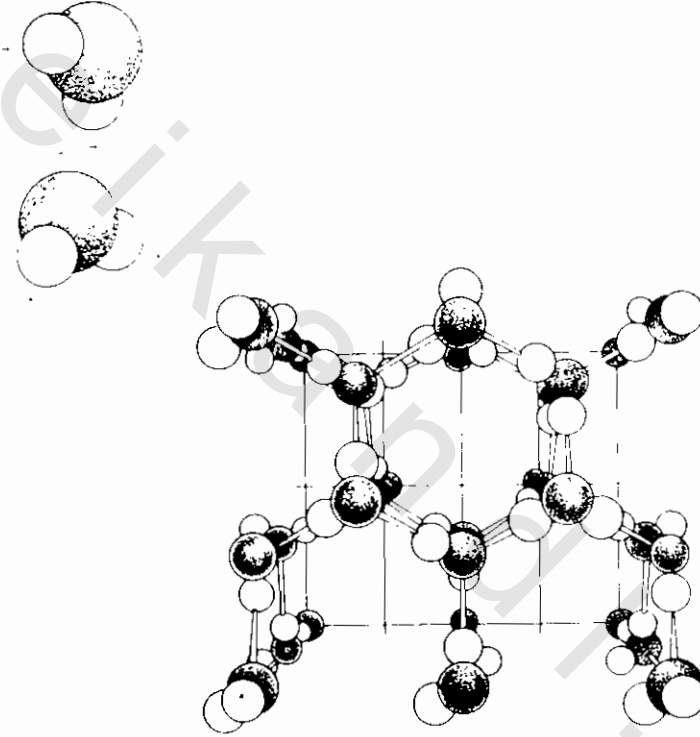
ولذلك يرتبط جزيء الماء بشدة بجزيء الماء وتتصل الجزيئات ببعضها بشدة كما أن جزيئات الماء تتصل بشدة بالجزيئات الأخرى التي تحتوى أكسجين. عند اتحاد جزيئات الماء تتحد مع بعضها بترتيب ونظام معين السالب مع الموجب كما فى الشكل (شكل ٢٢) ويطلق على هذا النوع من



(شكل ٢٢) : الرابطة الإيدروجينية فى جزيء الماء

يوجد جذب أيونى بين القطب الموجب للماء والقطب السالب وذلك مصدره ذرة الأوكسجين. يحدث تكوين رابطة إيدروجينية بين الماء والمركبات التى تحتوى أوكسجين مثل السكريات وغيرها من الجزيئات أو الأيونات التى لها شحنة سالبة أو بها مواقع ذات شحنات سالبة.

الألتحام بين جزيئات الماء أسم *cohesiveness*. وعندما يتجمد الماء يحدث ترتيب لجزيئات الماء فى طبقات (شكل ٢٣). عند أنصهار الثلج يحدث كسر الروابط الأيدروجينية وتزداد كثافة الماء حتى درجة ٤ مئوية حيث يحدث تكسير لطبقات الثلج وتصبح أكثر كثافة. عندما تزداد درجة الحرارة عن ٤ مئوية ينكسر عدد أكبر من الروابط نتيجة للحرارة والأهتزاز الحرارى *thermal agitation* ويصبح الماء أقل كثافة وعندما ترتفع درجة الحرارة إلى ١٠٠م تنكسر الروابط الأيدروجينية تماما وكلية وتكون النتيجة هروب جزيئات الماء على هيئة بخار. يتضح مما سبق أن الروابط الأيدروجينية لها دور فريد مؤثر على خواص الماء.



(شكل ٢٣): التركيب الطبقي lattice structure للماء  
ينتج هذا التركيب أيضا نتيجة لوجود الروابط الأيدروجينية

تعتبر درجة الكثافة العظمى maximum density للماء هي ٤ مئوية (شكل ٢٤) وليست أقل من ذلك كما في المواد الأخرى ولهذه الخاصية تأثير واضح وكبير على الأحياء المائية. كثافة الثلج عند درجة صفر مئوي هي ٠,٩١٧ جم / سم<sup>٣</sup> بينما كثافة الماء عند هذه الدرجة أى صفر مئوي هي ٠,٩٩٩ جم / سم<sup>٣</sup> وعند درجة ٤ مئوية تكون الكثافة ١ جم / سم<sup>٣</sup>. يحدث تجمد للماء من أعلى إلى أسفل وليست العكس ولذلك فإن الماء المتجمد يقوم بعزل الماء أسفله وبذلك يمنع تجمد الماء أسفله وبذلك لا يحدث موت للحيوانات المائية.

وخاصية التصاق الماء بالأسطح adhesion هي نتيجة لوجود الروابط الأيدروجينية وحيث ترتبط هذه الروابط الأيدروجينية الخاصة بالماء على سطوح أخرى قطبية polar ومنها السطوح التي تحتوي على جزيئات أو كسجين. وحيث أن جزيئات الماء قطبية بدرجة كبيرة وهي ذات قطبين dipole ويكون نتيجة لذلك أن تظهر جزيئات الماء قوى ألكترولستاتيكية وقوى جاذبية أرضية electrostatic and gravitational forces على مركبات مشحونة إلكترولستاتيكية charged electrovalent compounds وأيضاً على القطبين لمركبات قطبية تعاونية dipolar of polar covalent compounds. ولذلك فإن الماء يدمص على بعض المواد مثل سيليلوز شعره القطن ويكون ذلك بدرجة كبيرة وذلك لوجود الأوكسجين ولكن العكس صحيح في حالة بولي أستر polyester حيث لا يدمص الماء على سطوح البولي أستر لقلّة وجود ذرات الأوكسجين القادرة على الارتباط وعمل روابط إيدروجينية مع الماء.

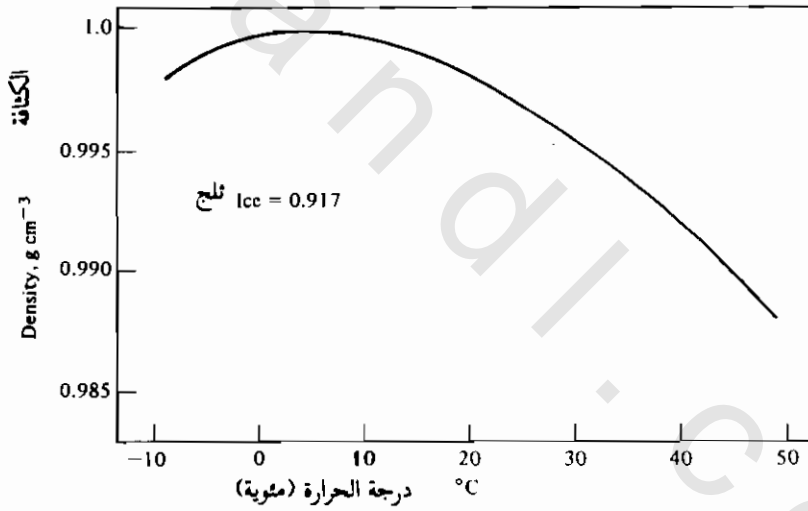
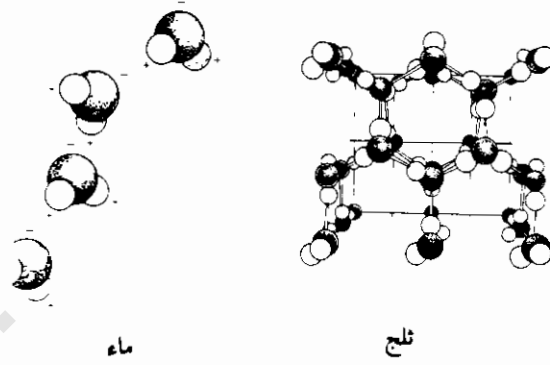
عامة جميع الخواص الهامة والفريدة للماء والتي تميزها عن المركبات الأخرى نتيجة لأن جزيء الماء ذو قطبين dipolar. هذا التركيب الغير متماثل لجزيء الماء ينتج عنه جذب إلكترولستاتيكي electrostatic attraction لأقطاب أخرى وأيونات أخرى وأيضاً ينتج عنه حدوث ارتباط إيدروجيني hydrogen bonding مع جزيئات أخرى تحتوي أكسجين. ومن الجدير بالذكر أن كسر الرابطة الإيدروجينية أسهل بكثير عند المقارنة بكسر الروابط التعاونية حيث أن طاقة الرابطة الإيدروجينية تتراوح بين ١٠ - ٣٠ كيلو جول kilogoules لكل جزيء.

## الخواص الطبيعية للماء:

تعتبر الخواص الطبيعية للماء ذات أهمية كبيرة لفهم العلاقات المائية للنبات plant water relations.

١- الحرارة اللازمة للبخار heat of vaporization

تعتبر الحرارة اللازمة للبخار latent heat of vaporization هي كمية الحرارة اللازمة



(شكل ٢٤): العلاقة بين كثافة الماء ودرجة حرارته  
 يلاحظ أن كثافة الماء العظمى عند ٤ درجة مئوية. يلاحظ أن كثافة الثلج أقل من كثافة الماء السائل المادي.

لتحويل وحده من السائل إلى بخار. وتعتبر هذه الكمية كبيرة في حالة الماء عنه في السوائل الأخرى وهي تقدر بحوالي ٢٤٣٥ جول لكل جرام عند درجة حرارة ٢٥ مئوية (٥٨٢ كالورى لكل جرام) وهذه الكمية من الحرارة هي اللازمة لكسر الأرتباط والألتحام بين جزيئات الماء cohesiveness. عند مقارنة غاز الميثان  $CH_4$  بالماء فنجد أن حرارة البخر هي ٥٧٧ جول لكل جرام عند - ١٥٩ مئوية وفي حالة كحول الأيثيل فأن حرارة البخر هي ٨٥٤ جول لكل جرام عند ٧٨,٣ مئوية. ومن أهم نتائج وتوابع بخر الماء هو تبريد السطح المتبخر منه الماء. سواء في الكائنات الحية أو الجوامد الأخرى ومنها تبريد الماء في القلل والزيرو ويسمى ذلك cooling effect. وفي حالة النبات فأن كل جرام من الماء يفقد من الأوراق يحتاج إلى ٢٢٥٨ جول وحيث يفقد كمية كبيرة من الحرارة لكل جرام ماء تتح.

### ٢- حرارة الأمتزاج Heat of fusion

حرارة الأمتزاج هي عبارة عن كمية الحرارة اللازمة لتحويل صلب إلى سائل وهي أيضا كميتها كبيرة في حالة تحويل الثلج إلى ماء بالمقارنة بالسوائل الأخرى ومن أمثلة ذلك أن حرارة الأمتزاج للماء هي ٣٣٣,٥ جول لكل جرام وفي حالة الميثان هي ٦٠,٧ جول لكل جرام عند درجة حرارة - ١١٤,٤ مئوية. تستخدم هذه الظاهرة في حدائق البرتقال لتلافى ضرر الصقيع. حيث يتم غمر التربة بالماء flooding وعندما يتجمد الماء يحدث تحرر للحرارة أثناء تجمد جزيئات الماء لتكوين ثلج وبذلك فأن هذه الحرارة تستعمل في تدفئة الأشجار وتقيها ضرر الصقيع.

### ٣- اللزوجة Viscosity

اللزوجة أى مقاومة الأنسياب resistance to flow هي كبيرة في الماء أيضا لبعض السوائل الأخرى وذلك راجع أيضا لوجود الروابط الأيدروجينية. لزوجة الماء هي ١ سنتى بواز centi poise عند درجة حرارة ٢٠ درجة مئوية ولزوجة كحول الأيثيل هي ١,٢ سنتى بواز ولزوجة إيثيل أثير هي ٠,٢ سنتى بواز عند درجة ٢٠ مئوية. تقل اللزوجة بزيادة درجة الحرارة ويعمل ذلك بأنه كلما زادت درجة الحرارة كلما زاد عدد الروابط الأيدروجينية المكسورة. ولذلك فأن درجة الحرارة لها أحد الأدوار فى أنتقال الماء فى داخل النبات نتيجة لتأثيرها على لزوجة الماء والمحاليل أى أن درجة الحرارة لها دور جزئى فى حركة الماء داخل النبات.

### ٤- الحجم والكثافة Volume and density

تكون كثافة الماء أكبر ما يمكن عند ٤ مئوية ولذلك عند هذه الدرجة يكون وزن ١ جرام من الماء حجمه ١ سم مكعب. عندما تزيد درجة الحرارة عن ٤ مئوية أو تقل عن ذلك فأن حجم المكعب يزيد لنفس الوزن من الماء. عند درجة صفر مئوية للماء فأن حجم الماء يكون ١,٠٠٠١٢

سم مكعب لكل جرام ويكون حجم الثلج ١,٠٩ سم مكعب لكل جرام. يكون حجم الماء عند ٢٠ درجة مئوية هو ١,٠٠١٧٧ سم<sup>٣</sup> لكل جرام.

#### ٥- التوتر السطحي Surface tension

يعرف التوتر السطحي للماء بأنه ميل الماء لتكوين قطرات كروية الشكل تقريبا. ينتج عن ذلك عن طاقة أقل لكل وحدة مساحة بالنسبة للحجم. الطاقة المرتبطة بالسطح عبارة عن توتر سطحي ويمكن أن يعبر عنها بالداين لكل سم (dyn / cm).

أحد نتائج التوتر السطحي هو ارتفاع السائل في الأنبوبة الشعرية أى الخاصة الشعرية. درجة إرتفاع السائل يعتبر نتيجة مباشرة للتوتر السطحي وكلما زاد التوتر السطحي كلما زاد إرتفاع السائل في الأنبوبة. تعتبر الخاصة الشعرية أحد العوامل فى صعود العصارة فى النبات. إرتفاع الماء فى الأنبوبة الشعرية يمكن التعبير عنه بالمعادلة الآتية

$$h = \frac{2 \gamma \cos \theta}{\rho \cdot g \cdot r}$$

حيث أن  $\gamma$  لها طاقة التوتر السطحي (وهذه الطاقة للماء هي ٧٢ داين لكل سم عند درجة ٢٠ مئوية) و  $\cos \theta$  هي cosine جتا زاوية التلامس بين الماء والأنبوبة الشعرية و  $\rho$  هي كثافة الماء أى ١ جم / سم<sup>٣</sup> و  $g$  هي السرعة نتيجة للجاذبية ٩٨١ داين لكل جرام و  $r$  نصف قطر الأنبوبة الشعرية.

#### ٦- الحرارة النوعية Specific heat

للماء درجة حرارة نوعية كبيرة وذلك بالمقارنة بأغلب السوائل ويستعمل الماء كمسائل قياسى للكالورى calorie. حيث أن الكالورى عبارة عن كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة حجم ١ سم مكعب من الماء درجة واحدة هي درجة الحرارة من ١٥,٥ إلى ١٦,٥. ولذلك فإن الماء له درجة حرارة نوعية هي ١ كالورى لكل جم لكل درجة (١ كالورى = ٤,١٨٤ جول) والعكس صحيح فإن كحول الأيثيل له حرارة نوعية ٠,٨٥ كالورى لكل جرام لكل درجة عند درجة ٢٥ مئوية. يعتبر للحرارة النوعية المرتفعة أهمية فى تسخين وتبريد الأجسام الموجودة فى الماء أو القريبة من الماء. ففي حالة وجود كميات كبيرة من الماء مثل البحيرات والمحيطات فإنها تلتطف درجة الحرارة القريبة منها ولذلك فإن درجة الحرارة تكون متوسطة حول المحيطات. ولذلك فإن الجو الجاف يميل أن تكون درجة حرارته مرتفعة عن الجو الرطب. ولذلك أيضا فإن سرعة التسخين

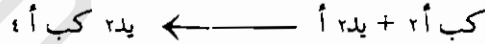
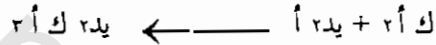
والتبريد فى أنسجة النباتات يتحكم فيها جزئيا السعة الحرارية للماء heat capacity of water .  
ولذلك أيضا فأن الكائنات الحية التى تحتوى على كمية كبيرة من الماء فأنها تقى نفسها إلى حد  
ما من التغيرات الكبيرة فى درجة الحرارة وذلك نتيجة للتغير الضئيل فى حرارتها أى التغير الضئيل  
فى heat load .

#### ٧- الخواص الضوئية Optical properties

يعتبر الماء عديم اللون شفاف وعديم الطعم والرائحة وهو سائل فى درجات الحرارة العادية.  
وحيث أن جزيئات الماء المتحركة تحول transmit اللون الأحمر وتمتص absorb اللون الأحمر  
البعيد وتشتت scatter اللون الأزرق فأن المحيطات والبحار يصبح لونها أزرق عادة. أما الأشعة الفوق  
بنفسجية فأن تخترق الماء بدرجة كبيرة.

#### ٨- الخواص الكيماوية Chemical properties

يتفاعل الماء مع كثير من المركبات الغير عضوية ولكنه يحتاج إلى طاقة لعمل هذه  
التفاعلات. يتفاعل الماء مع المغنيسيوم والزنك فى النباتات كثيرا لتكوين أوكسيداتها ولكن تحتاج  
هذه التفاعلات إلى درجة حرارة عالية. يكون الماء فى النبات إيدروكسيدات من أكاسيد الكالسيوم  
والبوتاسيوم. يمكن أن يكون الماء مع الأكاسيد اللامعدنية أحماض كما يلي:



يعتبر التفاعل الأول أكثر أهمية للأهمية القصوى لثانى أكسيد الكربون فى النبات كما أن  
حامض الكربونيك يمكن أن يعمل كمنظم للبروتوبلازم buffer. تعتبر تفاعلات  
التحلل hydrolyses التى تدخل فيها الماء من أهم التفاعلات الكيموحيوية ومنها كسر الرابطة  
الببتيدية وكسر الرابطة الجلوكوسيدية والأستيرية وغيرها.



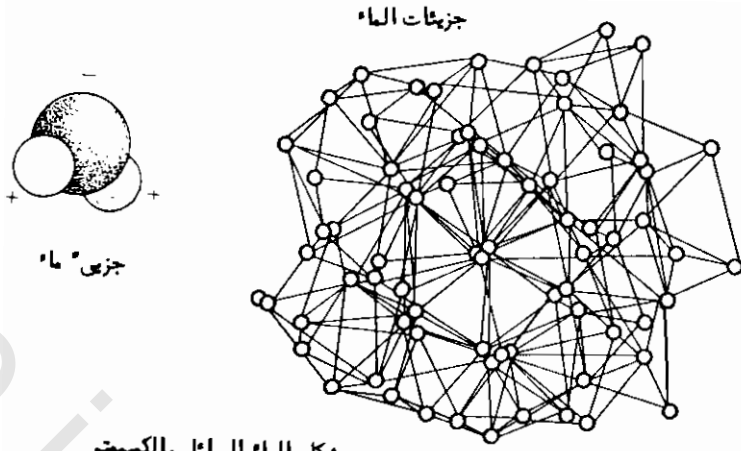
## خواص المحاليل الحقيقية

كثير من التفاعلات التي تحدث في الخلية النباتية عبارة تفاعلات محاليل حقيقية حيث أنها مركبات ذائبة تماما في الماء. وسيتم شرح كثير من الخواص للمحاليل الحقيقية في الجزء التالي حيث يكون لها دور هام في العلاقات المائية للنبات والخلايا.

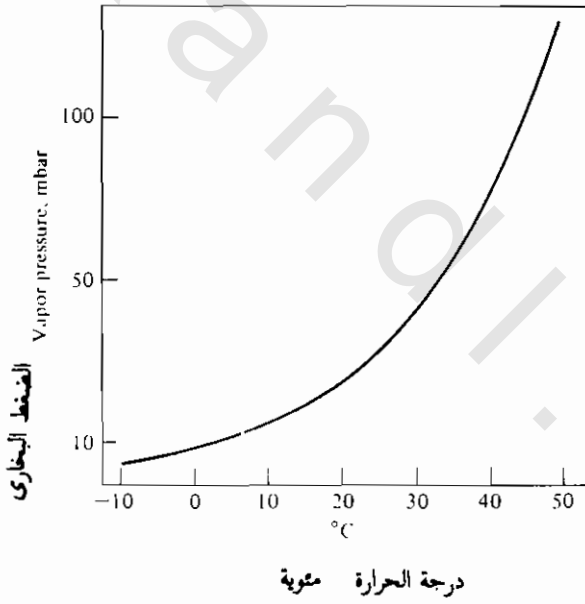
تعتبر المحاليل الحقيقية خليط متجانس من مواد توجد في طورين على الأقل at least two phases وهما المذيب solvent أى الطور المستمر continuous phase وعادة يكون المذيب في النبات والحيوان أى فى الأنسجة الحية عبارة عن الماء أما الطور الثانى وهو discontinuous phase أى الطور الغير مستمر ويسمى أيضا المذاب solute particles فعادة تكون متغيرة حيث أن المواد المذابة كثيرة جدا فى الخلية بعكس الطور المستمر فهو دائما الماء. يمكن فى المحاليل أن يكون الغاز أو المواد الصلبة ذائبة فى الماء . وعادة تكون المحاليل عبارة عن أملاح أو سكريات أو مواد عضوية أو أحماض أمينية أو جزيئات بروتين صغيرة ذائبة فى الماء. وفيما يلى بعض الخواص المتعلقة بعدد جزيئات المذاب فى المحلول والتي تسمى colligative properties وهذه الخواص تتوقف على عدد جزيئات المذاب أساسا وليس نوع جزيئات المذاب. وفيما يلى بعض الخواص الهامة للمحاليل:

### أ- الضغط البخارى Vapor pressure :

وهو عبارة عن درجة ميل السائل liquid للتبخير أى درجة ميل لجزيئات للهرب من المحلول. تتناسب درجة الضغط البخارى مع درجة الحرارة تناسب طردى (شكل ٢٥) . يمكن أن يعرف الضغط البخارى أنه الضغط المتسبب عن البخار أعلى السائل وهو فى حالة أوزان مع نفسه in equilibrium with itself. تحدث درجة الغليان عندما يكون الضغط البخارى للسائل مساو للضغط على السائل. ولذلك فى الظروف القياسية المثالية standard من درجة الحرارة والضغط فإن الماء يغلى عندما يكون الضغط البخارى ١ ضغط جوى أى يساوى ضغط ٧٦٠ ملليمتر زئبق . ولكن عادة تكون وحدة الضغط البخارى هى بار bar أو ملليبار millibar . ١ بار يساوى ٠,٩٨٧ ضغط جوى atmosphere . يستعمل البار بكثرة عن الضغط الجوى حيث أن البار وحده طاقة energy unit بينما الضغط الجوى atmosphere وملليمتر زئبق mm of Hg عبارة عن وحدات ضغط . ١ بار يساوى ١٠<sup>٦</sup> داين لكل سم<sup>٢</sup> .



شكل الماء السائل بالكمبيوتر



(شكل ٢٥) : العلاقة بين الضغط البخاري ودرجة الحرارة

يمكن التعبير بين العلاقة بين الضغط البخارى (p) ودرجة الحرارة كالاتى

$$\log p = \frac{k}{T} + C$$

حيث أن k و T ثابت constants و T درجة الحرارة المطلقة.

عند إضافة محلول إلى سائل نقي فإن المحلول يصبح مخفف. ينتج عن تخفيف المحلول خفض الضغط البخارى للماء حيث تصبح كمية الماء أقل في حيز معين ثابت. والحقيقة أن خفض الضغط البخارى للماء نتيجة لوجود الذائبات في المحلول يكون نتيجة للتفاعل بين المذيب والمذاب والذي ينتج عنه خفض الطاقة الحرة free energy للمذيب والذي ينتج عنه خفض الضغط البخارى.. يمكن قياس الانخفاض في الضغط البخارى نتيجة إضافة ذائب solute إلى مذيب نقي ويمكن تقديره بالمعادلة الآتية وهي عبارة عن قانون راولت Raoult's law

$$p = \left( \frac{m}{m_s + m} \right) p^0$$

حيث أن  $p^0$  هي عبارة عن الضغط البخارى لمذيب نقي.  $m_s$  الوزن الجزيئى للمذاب. m الوزن الجزيئى للمذيب.

ولذلك ١ جزيئى محلول السكر يسبب خفض الضغط البخارى للماء عند درجة ٢٠ مئوية من ٢٣,٣٨ ملليبار إلى ٢٢,٩٧ ملليبار ويكون الحساب والتعويض في المعادلة السابقة كما يلي:

$$p = \left[ \frac{55,6}{1 + 55,6} \right] 23,38$$

$$= 22,97 \text{ ملليبار}$$

حيث أن  $m = 55,6$  أى أن جزيئات الماء في ١٠٠٠ جرام من الماء (١٠٠٠ جرام لكل ١٨ جرام لكل جزيئى) وحيث أن  $m_s$  عبارة عن ١ جزيئى محلول سكر.

$$\text{mole fraction of solvent} = \frac{m}{m_s + m}$$

$$\text{mole fraction of solute} = \frac{m_s}{m_s + m}$$

### ب - درجة الغليان Boiling point :

تسبب المواد المذابة رفع درجة الغليان للسوائل النقية حيث أن المواد المذابة تسبب خفض الضغط البخارى. وحيث أن تعريف درجة الغليان هي الدرجة التي يتساوى عندها الضغط البخارى للسائل مع الضغط الكلى العادى على السائل. وفي الظروف القياسية من درجة الحرارة والضغط (STP) فإن الماء يغلى عندما يكون الضغط البخارى له يساوى واحد بار. ولذلك فإن المحاليل يكون لها ضغط بخارى أقل من الماء النقى ولذلك فإنها تحتاج إلى درجة أعلى لحدوث الغليان.

يتضح مما سبق أيضا أن واحد جزيئى من المحلول المائى له درجة غليان 0,52 مئوية أعلى من درجة غليان الماء النقى أى درجة غليان المحلول واحد جزيئى هي 100,52 مئوية. ولذلك فإن الأرتفاع في درجة الغليان  $\Delta P_B$  لأى محلول يمكن تقديرها من المعادلة الآتية

$$\Delta P_B = 0.52 \text{ m}$$

حيث أن  $m$  هي عبارة عن الوزن الجزيئى للمحلول (أى وزن المذاب لكل 1000 جرام ماء).

يتضح من المعادلة السابقة أن درجة الغليان معتمدة تماما على الضغط البخارى وأن الأخير معتمد تماما على عدد جزيئات المذاب ولا يعتمد على نوع جزيئات المذاب ولذلك تعتبر هذه من الخواص أو الصفات colligative أى colligative properties.

### ج - درجة التجمد Freezing point :

تنخفض درجة التجمد للمحاليل بالمقارنة بدرجة التجمد للماء النقى حيث يقل الضغط البخارى للمحاليل بالمقارنة بالماء النقى. وجد أن واحد جزيئى للمحاليل يسبب خفض درجة التجمد بمقدار 1,86 مئوية. ولذلك فإنه يمكن قياس درجة التجمد لأى محلول تبعا للمعادلة الآتية

$$\Delta P_f = - 1.86 \text{ m}$$

حيث أن  $m$  عبارة عن الوزن الجزيئى للمحلول.

ولذلك فإن المستخلصات النباتية تتجمد تحت درجة الصفر بدرجات قليلة. ومما هو جدير بالذكر أن السيولبلازم فى خلايا النبات الحى لا يتجمد حتى فى درجات حرارة أقل من ٤٠ من الصفر المئوى. حيث أن فى هذه الحالة لا تتكون نويات الثلج ice nucleation ولا يتجمد السيولبلازم ويصبح فى حالة درجة برودة زائدة super cooling. ولكن يتجمد الماء ويكون ثلج فى المسافات البينية أى بين الخلايا وينتج عن هذا الثلج ضرر للخلايا المجاورة. يسبب أيضا وجود الثلج بين الخلايا سحب الماء من الخلايا وحدوث جفاف للخلايا.

### د- الضغط الأسموزى Osmotic pressure :

يعتبر الضغط الأسموزى من الصفات colligative للمحاليل حيث أن الضغط الأسموزى معتمد تماما على الضغط البخارى. يمكن تعريف الضغط الأسموزى بأنه الضغط اللازم لمنع أنسياب المذيب من المذيب النقى إلى المحلول بشرط أن يفصل بينهما غشاء شبه منفذ أى غشاء ينفذ المذيب ولا ينفذ الذائب. يمكن تقدير وحساب الضغط الأسموزى تبعاً للمعادلة الآتية

$$\pi = C.R.T$$

$\pi$  هى عبارة الضغط الأسموزى مقدرًا بالبار

C هى الوزن الجزيئى

$$R \text{ ثابت الغازات} = 0,08 \times \frac{\text{L. bar}}{\text{mol. deg}}$$

T درجة الحرارة المطلقة وهى تساوى درجة الحرارة المئوية + ٢٧٣ مئوية.

ولذلك بالتعويض فى المعادلة فى حالة محلول واحد جزيئى فى درجة صفر مئوى سينتج عنه ضغط أسموزى ٢٢ بار .

$$\begin{aligned} \pi &= 1 \times 0.08 \times \frac{\text{L. bar}}{\text{mol. deg}} \times 273 \\ &= 22 \text{ bar} \end{aligned}$$

يقلل تفاعل الذائب مع المذيب من كمية المذيب الفعالة وينتج عن ذلك ضغط أسموزى أعلى . تفاعل الذائب مع الذائبات الأخرى فى المحلول ينتج عنه خفض فى نشاط الذائبات عن المتوقع وأيضاً خفض الضغط الأسموزى عن المتوقع. وتختلف الخلية النباتية عن هذه الحالة حيث أنها تحتوى على ذائبات إلكتروليتيّة electrolytes أى ذائبات متأينة مثل كلوريد الصوديوم حيث

يتأين إلى أيون كلور وأيون صوديوم. أما محلول السكروز يعتبر ذائبات غير إلكتروليتيّة non electrolytes أى ذائبات غير متأينة.

## هـ- الألكتروليتات Electrolytes :

الألكتروليتات هى عبارة عن المواد التى عند ذوبانها فى المحلول تسبب توصيل وسريان وأستمرارية conduct التيار الكهربائى. أى أن المركبات التى تتأين تعتبر إلكتروليتات. توجد إلكتروليتات قوية فى خلايا النبات مثل الأيونات الغير عضوية مثل البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم والمغنسيوم والمنجنيز والزنك والكلور والكبريتات والفوسفات.

تعرف الألكتروليتات القوية بأنها المركبات ذات التأين الكامل. توجد أيضا ألكتروليتات ضعيفة complete ionization فى خلايا النبات مثل الكاتيونات والأيونات العضوية مثل الأحماض الأمينية والأحماض العضوية والبلمرات المشحونة charged polymers مثل البروتينات والأحماض النووية. تعرف الألكتروليتات الضعيفة بأنها المركبات ذات التأين الضعيف أى غير الكامل incomplete ionization .

هذه المركبات المختلفة تغير من صفات الماء السابق ذكرها أى colligative properties .

تم أكتشاف خواص الألكتروليتات بواسطة Arrhenius عام ١٨٨٠. حيث أفترض حدوث التأين فى بعض المواد مثل كلوريد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم وكبريتات الكالسيوم. وحيث أن جزيء الألكتروليت ينتج عنه نتيجة لتأينه أكثر من وحدة أى أكثر من أيون لكل جزيئى. وفى حالة التأين الكامل لواحد جزيئى من محلول كلوريد الصوديوم ينتج عنه خفض فى الضغط البخارى للماء الضعف عنه فى حالة وجود جزيئى غير متأين. وأيضا يحدث أنخفاض فى درجة التجمد قدره ٣,٧٢ درجة مئوية وأيضا يحدث ارتفاع فى درجة الغليان ١,٠٤ درجة مئوية ويصبح الضغط الأسموزى ٤٣,٧ بار. يحدث ذلك فى حالة الألكتروليتات القوية وحيث يكون التأين كامل وأيضا فى حالة المحاليل المخففة جدا وحيث لا يوجد تفاعل أو تأثير بين وحدات الذائبات. ولذلك فإن محلول واحد جزيئى من كلوريد الصوديوم يكون له ضغط أسموزى فعلى حقيقى هو ٤٣,٢ بار بينما الضغط الأسموزى المتوقع ٤٣,٧ بار.

تميل الذائبات أى الألكترولونات ونتيجة لدخولها فى تفاعلات (solute) electron interactions إلى خفض عدد الوحدات الفعالة فى المحلول. تعرف هذه التفاعلات interactions بأسم تأثيرات ديبى هيكل Debye- Huckel effects ويمكن أن يعبر عنها بالمعادلة الآتية فى المحاليل المخففة

$$\log \gamma = -0.51 Z^2 \sqrt{\mu}$$

وحيث أن

$\gamma$  = معامل النشاط activity coefficient أو هو عبارة عن التركيز الفعال للأيون.

$Z$  = صافي شحنة الأيون.

$\mu$  = قوة الأيون وتعرف كالاتي

$$\mu = 1/2 \sum C_i Z_i^2$$

وهي عبارة عن نصف مجموع تركيزات الأيونات أي  $C_i$

$Z_i^2$  = تربيع الشحنة.

يحدث أيضا تغيير وانحراف في النتائج نتيجة للتفاعلات بين المذيب والمذاب كما يحدث أيضا تغيير في حالة وجود تركيزات كبيرة من الذائب.

والعكس صحيح في حالة السكروز حيث أن جزيئات السكروز ترتبط بالماء بواسطة روابط إيدروجينية ويكون لها ضغط أسموزي أعلى من المتوقع، حيث أن واحد جزيئي محلول سكروز له ضغط أسموزي ٢٥,١ بار بينما المتوقع ٢١,٨ بار.

obeikandi.com



## الباب الثالث

# أساسيات الديناميكا الحرارية للخلية

## Cellular Energetics

تم التفاعلات الكيموحيوية في الخلية نتيجة التغيرات في الطاقة الحرة free-energy changes. ولذلك فإن التفاعلات الخلوية يمكن تقييمها تبعاً للأثر  $\Delta G$  وتبعاً للطاقة الحرة الخاصة بكل تفاعل free energies of reaction

ومثال ذلك في حالة التفاعل



فأنه يحدث خفض في الطاقة الحرة أى بعبارة أخرى خفض في طاقة العمل energy available for work كما أن هذا التفاعل يحدث تلقائياً. يسمى هذا التفاعل exergonic. والعكس صحيح عندما يحدث التفاعل من y إلى x فإنه يحتاج إلى طاقة أى يحتاج إلى زيادة في الطاقة الحرة ولذلك لا يحدث هذا التفاعل تلقائياً بعكس الحالة السابقة حيث أن يحتاج إلى طاقة خارجية أى energy input لكي يحدث ويسمى هذا التفاعل endergonic. كمية الطاقة الحرة الموجودة أو الطاقة المتوفرة للأستعمال available energy تتبع قانون الديناميكا الحرارية ويمكن التعبير عنها بالمعادلة الآتية

$$G = H - T \cdot S,$$

حيث أن

G الطاقة الحرة أى الطاقة القابلة للأستعمال available for work

H كمية الحرارة الموجودة heat content or enthalpy

S عبارة عن entropy

T درجة الحرارة المطلقة

وحيث أنه من الصعب تقدير قيم هذه المعادلة بدقة أو حتى لا يمكن تقديرها. ولذلك فإنه الأكثر شيوعاً تقدير التغيرات التى تحدث أثناء التفاعل تبعاً للمعادلة الآتية

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S.$$

حيث أن

$\Delta G$  عبارة عن درجة أو كمية التغير في الطاقة الحرة أثناء التفاعل

$\Delta H$  كمية التغير في الحرارة أثناء التفاعل

$\Delta S$  كمية أو درجة التغير في entropy .

عندما يكون ناتج هذه المعادلة قيم بالسالب أى  $\Delta G$  بالسالب فإن التفاعل يسمى exergonic ويحدث تلقائياً spontaneously وحيث أنه يحدث خفض في الطاقة الحرة أثناء التفاعل . والعكس صحيح عندما تكون قيم المعادلة بالموجب أى  $\Delta G$  بالموجب فإن التفاعل يسمى endergonic ولا يحدث تلقائياً ويحتاج إلى طاقة خارجية لكي يحدث التفاعل .

لكل تفاعل يوجد تغير قياسي فى الطاقة الحرة  $\Delta G^{\circ}$  a standard free energy change أى يمكن تقدير وحساب هذا التغير كما فى المعادلة التالية

$$\Delta G^{\circ} = - R \cdot T \cdot \ln K ,$$

حيث أن

K هو عبارة عن ثابت أوزان التفاعل عندما تكون مواد التفاعل ونواتج التفاعل فى وحدة النشاط عند pH صفر .

يمكن التعبير عن التغير فى الطاقة الحرة  $\Delta G$  لأى تفاعل والذي يكون له صلة related بالمنحنى القياسي للتغير فى الطاقة الحرة  $\Delta G^{\circ}$  تبعاً للمعادلة التالية وحيث يمكن التعويض عن K بـ  $\frac{X}{Y}$

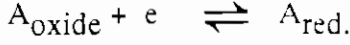
$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + R \cdot T \cdot \ln \frac{X}{Y}$$

يمكن أيضاً التعبير عن التغير القياسي فى الطاقة الحرة للتفاعل عند  $pH = 7$  وذلك بحساب قيمة  $\Delta G^{\circ}$  حيث أن هذه القيمة أكثر فائدة من القيمة السابقة فى فسيولوجيا النبات حيث أن كثير من التفاعلات الحيوية يحدث عند pH متعادل أو قريب من المتعادل .

عند استعمال الغازات وهو عبارة عن ٨,٣١ جول لكل درجة جزيئى joules per mole degree عند درجة حرارة ٢٥ درجة مئوية ويحول إلى الأساس  $10 \logarithms$  - فإنه يمكن استعمال المعادلة السابقة لتقدير التغير القياسي فى الطاقة الحرة  $G^{\circ}$  عند pH يساوى ٧ كما يلي

$$\Delta G^{\circ} = -5.7 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1} \cdot \log k$$

تفاعلات الأكسدة والأختزال عادة يكون تقديرها وتقييمها عن طريق جهد الأكسدة والأختزال (redox) oxidation reduction potential . تعرف الأكسدة بأنها فقد إلكترونات ويعرف الأختزال بأنه اكتساب إلكترونات تبعاً للمعادلة



حيث أن A مركب قابل لأستقبال إلكترون وأيضاً قابل لأعطاء إلكترون. وتبعاً لما سبق فإن المركبات الأكبر سالبة أى بالسالب تعتبر مركبات جيدة لأعطاء الألكترونات electron donors وأن المركبات الأكبر بالموجب أى بالموجب تعتبر مركبات جيدة لأستقبال الألكترون electron acceptors . ولذلك فإن المركبات المختزلة أى لها تفاعل أختزالي أى تكون ذات جهد سالب negative potential سوف تختزل المركبات التى لها جهد موجب positive potential . النسبة بين المركبات المؤكسدة oxidized component إلى المركبات المختزلة reduced component فى أى تفاعل به هذين النوعين من المركبات redox couple سوف تؤثر على التفاعل بالأشتراك مع درجة pH ودرجة الحرارة . أى أن التفاعل يتأثر بالنسبة بين المركبات المؤكسدة إلى المركبات المختزلة ودرجة الحرارة ودرجة pH . ومن المعتاد التعبير عن جهد الأكسدة والأختزال redox potentials كجهد قياسي standard potentials عند pH صفر وتركيزات جزئية أى التركيز بالجزئى . يقدر الجهد الأختزالي التأكسدى القياسى standard redox potential عند  $E^{\circ}$  عند درجة pH  $\gamma$  بأنه  $E^{\circ}$  يمكن تقدير  $E^{\circ}$  من  $E^{\circ}$  عن طريق المعادلة الآتية

$$E = E^{\circ} + \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \ln \frac{\text{oxidized component}}{\text{reduced component}}$$

حيث أن

R = ثابت الغازات (٨,٣١٤) جول درجة مكافىء (jdegree equivalent)

T = درجة الحرارة المطلقة (°k)

n = عدد المكافئات number of equivalents

F = ثابت فارادى Farady constant

وهو عبارة عن ٩٦,٤٠٠ جول مكافىء فولت

أى 96.400 J equivalent volt

عند درجة حرارة ٢٠ مئوية وتركيزات بالجزيئي والتحويل إلى القاعدة  $10 \log$  - فإن التعبير عن ذلك كما في المعادلة الآتية بوحدات ملليفولت.

$$E = E^{\circ} + 60 \text{ m V. } \log \frac{\text{oxidized component}}{\text{reduced component}}$$

إذا كان التغيير في جهد الأكسدة والأختزال القياسي Standard redox potential  $\Delta E^{\circ}$  والذي يحدث أثناء تفاعل الأكسدة والأختزال مدروس ومعروف قيمته ومقدره تماما فإنه يمكن إيجاد العلاقة بينها وبين التغيير القياسي في الطاقة الحرة  $\Delta G^{\circ}$  بأستعمال المعادلة الآتية

$$\Delta G^{\circ} = - n . F . \Delta E^{\circ}$$

## الباب الرابع الانتشار

### Diffusion

يعتبر الانتشار ظاهرة هامة للكائنات الحية حيث أن البناء الضوئي يعتمد على انتشار ثاني أكسيد الكربون من الهواء الجوى إلى خلايا النبات عبر الثغور كما يعتبر أيضا فقد الماء من النبات عبارة عن عملية إنتشار كما أن أخذ العناصر من التربة بواسطة الجذر تعتمد جزئيا على الانتشار. تعتبر جميع العمليات الكيموحيوية التى تحدث فى النبات وأيضا التى يتم عملها بواسطة الأنزيمات تحدث نتيجة لانتشار الجزيئات وأصطدامها ببعضها.

### ظاهرة الانتشار:

أبسط وأوضح مثال الانتشار هو انتشار جزيئات العطور عند فتح زجاجة العطر حيث تنتشر الرائحة من الزجاجاة إلى جو الحجرة وذلك نتيجة لانتشار جزيئات العطر من الزجاجاة إلى الجو الخارجى ولذلك دائما نشم ونشعر بوجود رائحة العطور. ومثال آخر واضح للانتشار هو أنه عندما نسكب حبر فى كأس به ماء فإن الحبر ينتشر فى الكأس أى أن جزيئات الحبر تنتشر فى الكأس ويصبح الماء ملون بلون الحبر.

يمكن أن يعرف الانتشار بأنه انتشار جزيئات المركب من الموضع الذى يكون به تركيز الجزيئات مرتفع إلى الموضع الذى يكون خال من الجزيئات أو تركيز الجزيئات به أقل وذلك نتيجة لوجود طاقة حركية كامنة فى الجزيئات.

يمكن تعريف الانتشار بعبارة أخرى هو عبارة عن صافى حركة الجزيئات من منطقة ذات طاقة حرة مرتفعة إلى منطقة ذات طاقة حرة منخفضة.

net movement of molecules from a region of high free energy to a region of low free energy.

تعرف الطاقة الحرة بأنها الطاقة القادرة على عمل شغل energy to do work ويتحكم فيها تركيز الجزيئات المنتشرة.

يحدث الانتشار في الغازات والسوائل والجزيئات والأيونات الصلبة. جميع الجزيئات في درجة حرارة أعلى من صفر مطلق أى - ٢٧٣ درجة مئوية تكون في حركة مستمرة نتيجة لوجود طاقة حركية كامنة بها kinetic energy يتحرك الجزيء في خط مستقيم حتى يصطدم بجزيء آخر ولذلك يتغير اتجاه الحركة ويتغير اتجاه ومسار الجزيء دون أن يفقد طاقة إطلاقاً. يستمر حدوث ذلك عند وجود فرق في التركيز في الجزيئات في منطقتين متقاربتين أو متباعدتين. ولكن عند وجود حيز محدود مغلق وبه حدوث الانتشار التام في هذا الحيز وبحيث يصبح تركيز الجزيئات متماثل في جميع أجزاء الحيز فإن الجزيئات تتحرك أيضاً وتصطدم ببعضها أيضاً وتغير مسارها أيضاً ولكن حيث أن المسافة بين الجزيئات متساوية في جميع أجزاء الحيز فإن الجزيئات تنتشر أو تتحرك في حيز معين ومسافات ثابتة ولكن لا يوجد انتشار عادى net diffusion حيث أن الجزيئات توجد في حالة أتران في توزيعها في الحيز المغلق.

### القوى المحركة للانتشار : The driving force of diffusion

يمكن فهم القوى المحركة للانتشار باستخدام قوانين الديناميكا الحرارية. حيث يحدث تغير في الطاقة الحرة free energy ويعبر عنها  $\Delta G$  حيث يحدث حركة للجزيئات من مكان إلى آخر ويعبر عنها بالمعادلة

$$G_2 - G_1 = - \Delta G$$

وعندما يكون التغير في الطاقة الحرة موجب أى  $\Delta G +$  فإن العملية تحتاج طاقة. وفي حالة الانتشار فإن التركيز المرتفع من الجزيئات وأن يكون لها درجة من الترتيب ومن التوزيع الغير أعتباطى بدرجة كبيرة with certain amount of order or nonrandomness ( أى يكون ذلك له درجة معينة من entropy ويرمز له بالحرف S) ونتيجة للانتشار فإن الجزيئات تصبح أقل أستجابة للترتيب less ordered كما تصبح ذات درجة من التوزيع الأعتباطى more random ونتيجة لذلك فإنه entropy يزيد. توجد علاقة بين خفض الطاقة الحرة وزيادة entropy حيث أن زيادة entropy ناتجة عن خفض الطاقة الحرة للجزيئات. ولذلك يوجد ميل كبير للتوزيع الأعتباطى للجزيئات أثناء الانتشار وهذا الميل هو القوة الدافعة للانتشار driving force.

### قانون فك للانتشار : Fick's law for Diffusion

يعتبر قانون فك للانتشار قانون رئيسى لشرح الانتشار وهو يشرح العلاقة بين سرعة الأنا نار وحركة الجزيئات بعد زمن معين وفيما يلي المعادلة الخاصة بذلك

$$\frac{dQ}{dt} = - D \cdot \frac{dc}{dx}$$

حيث أن

$$Q = \text{كمية الانتشار}$$

$$t = \text{الزمن}$$

$$D = \text{معامل الانتشار}$$

$$\text{gradient أو التدرج} = \frac{dc}{dt}$$

$$\text{flux أو سرعة الانتشار rate of diffusion أو سرعة الأنسياب} = \frac{dQ}{dt}$$

والوحدة في حساب هذه المعادلة هي

جم / دقيقة

أو جزيئات / دقيقة

يعرف الانتشار على أنه الانتشار الذي يحدث خلال وحدة المساحة في وحدة الزمن.

**تفسير معنى الأنحدار أو التدرج Gradient :**

تفسير معنى الأنحدار هام لفهم الانتشار. يعتبر الأنحدار هو الفرق في التركيز بين نقطتين أو منطقتين. يمكن أيضا أن يكون الأنحدار أو التدرج هو اصطلاح أعم وأشمل من ذلك حيث يكون هو الفرق في التركيز بين أى نقطتين أو منطقتين لحالات أخرى مثل الفرق في الضغط في حالة الغازات أو أى حالات أخرى تتبع قانون الطاقة الحرة.

ولتفسير الأنحدار فإذا بدأنا بـ  $C_1$  وهي وزن الماء ٢٠ جم للماء ويعبر عنها  $g L^{-1}$  أى جم لتر وتعتبر  $C_1$  وزن الماء في نقطة البداية كما يوجد مكان آخر به كمية من الماء أقل من الكمية الأولى وتعتبر  $C_2$  وفيها وزن الماء ٦ جم أى  $g L^{-1}$  جم لتر ولذلك يكون فرق التركيز بين المنطقتين أى  $\Delta C$  هو ما يأتى

$$\Delta c = c_1 - c_2 = 20 - 6 = 14$$

لتعريف الأنحدار أو التدرج بالضبط يجب تحديد المسافة بين المنطقتين. ولو كانت المسافة مثلا ١٠ سم وبذلك يمكن حساب الأنحدار أو التدرج بقسمة الفرق بين التركيزين على المسافة

$$\frac{c_1 - c_2}{x} = \frac{20 - 6}{10} = 1.4 \text{ g L}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

ولذلك في حالة قانون فـك فإن الأنحدار gradient هو عبارة عن  $dc/dx$  حيث أن  $c$  التركيز و  $x$

هى المسافة. ولذلك فإنه ليس من الضرورى أن يكون الأنحدار خط مستقيم . ولكنه قد يكون خط مستقيم. وفى حالة الأنحدار الشديد تكون سرعة الانتشار كبيرة . يتضح من الشكل أن الأنحدار فى أحد الخطين أكبر من الثانى (شكل ٢٦ ) ولذلك تكون سرعة الانتشار مختلفة فى كلا الحالتين وهى بالطبع أكبر فى حالة الأنحدار الشديد.

معامل الانتشار The diffusion coefficient :

توضح المعادلة الآتية العوامل التى تؤثر فى معامل الانتشار وبالتالي تؤثر على الانتشار ولذلك

يمكن تعريف D كما يأتى

$$D = \frac{K \cdot T}{\sqrt{m \cdot \eta}}$$

حيث أن

K = ثابت

T = درجة الحرارة المطلقة

m = الوزن الجزيئى للمادة المنتشرة

$\eta$  = لزوجة الوسط الذى يحدث فيه الانتشار أى لزوجة وسط الانتشار.

ومما هو جدير بالذكر فإن k هى عبارة عن مجموعة ثوابت طبيعية of a combination physical constants غير معتمدة على المادة المنتشرة. وكما يتضح من المعادلة فإن درجة الانتشار تزداد بزيادة درجة الحرارة أى D . حيث أن درجة الحرارة تؤثر مباشرة على حركة الجزيئات وبالتالي تؤثر على طاقة حركة الجزيئ kinetic energy .

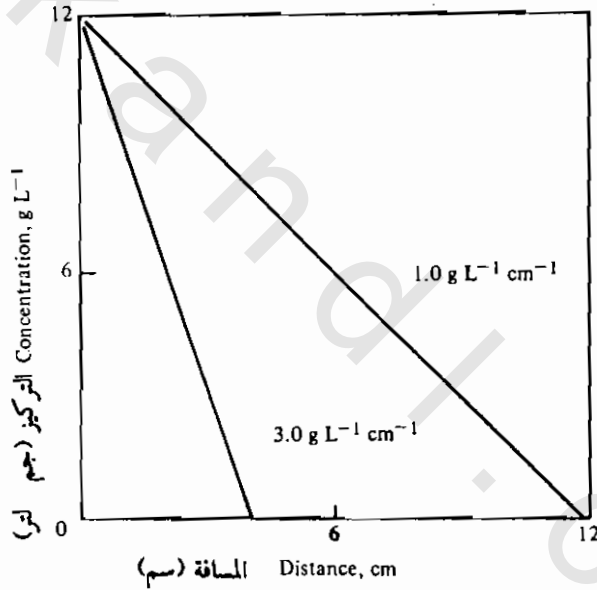
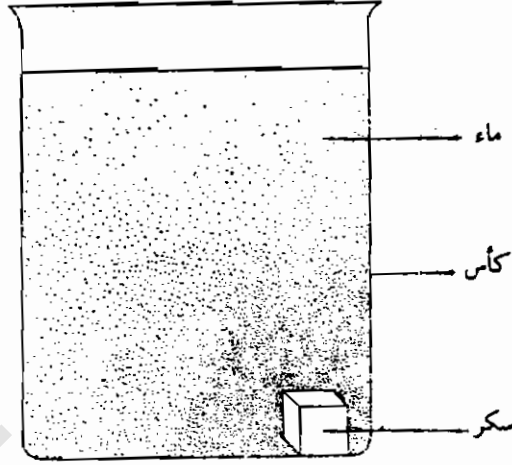
تناسب D عكسيا مع لزوجة البيئة. وكلما زادت لزوجة البيئة كلما قلت سرعة الانتشار حيث أن لزوجة الوسط تتداخل وتؤثر على إنتشار الجزيئات. ومما هو جدير بالذكر أن درجة اللزوجة تقل بزيادة درجة الحرارة.

يجب ملاحظة أن اللزوجة هى وصف لحالة وسط الانتشار وليس لها علاقة مباشرة بالانتشار أو الدقائق المنتشرة ويلاحظ أن زيادة اللزوجة تضاد سرعة الأنسياب ولا تعتبر عامل مساعد فى الانتشار.

تزيد درجة لزوجة الماء ٥٥ مرة عن لزوجة الهواء ومعنى ذلك أن الدقائق المنتشرة particles (أيونات ions أو جزيئات molecules) تنتشر بسرعة فى الهواء عنه فى الماء بسرعة مقدارها ٥٥ ضعف. تعتبر هذه القاعدة هامة لفهم انتشار الغازات داخل أوراق وسيقان



انتشار السكر في الماء



(شكل ٢٦) : درجة الأنحدار steepness of gradient أو التدرج في التركيز مع المسافة في الانتشار.  
 تأثير تدرج الأنحدار. التدرج عبارة عن تغيير في التركيز (أو مقياس آخر مناسب) لمسافة معينة  $dc/dx$   
 المنحني السفلي درجة أنحداره ٣ جم لتر سم  $3.0 \text{ g L}^{-1} \text{ cm}^{-1}$   
 وهي أكبر من درجة أنحدار المنحني العلوي ١ جم لتر سم  $1.0 \text{ g L}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

وجذور وأزهار وثمار النبات. وحالة الأوراق كمثال فإن الغازات تنتشر بسهولة في المسافات البينية بين خلايا النسيج الوسطى حيث أن هذه المسافات مملوءة بالهواء ولذلك فإن الغالبية العظمى من خلايا النسيج الوسطى تكون على اتصال مباشر بالمسافات البينية ذات الهواء. ولذلك فإن هذه المسافات البينية تسهل وتزيد من سرعة انتشار الغازات داخل الورقة. وحيث أن المسافات البينية في الورقة كبيرة وذلك بالمقارنة بالساق والجذور وبالتالي فإن سرعة انتشار الغازات داخل الورقة تكون كبيرة بالمقارنة بسرعتها داخل الساق والجذور.

تناسب  $D$  عكسيا مع كثافة الدقائق المنتشرة أى أنه كلما زادت كثافة الدقائق كلما قلت سرعة انتشارها. تقدر الكثافة النسبية بواسطة الجذر التربيعى للوزن الجزيئى للمادة المنتشرة. ينتشر بخار الماء (الوزن الجزيئى  $m = 18$  جرام أى  $18 \text{ g mol}^{-1}$ ) بسرعة أكبر من انتشار ثانى أكسيد الكربون (الوزن الجزيئى  $44$  أى  $44 \text{ g mol}^{-1}$ ) ولذلك فإن السرعة النسبية للأنتشار relative rate of diffusion للماء بالمقارنة بغاز ثانى أكسيد الكربون هي  $1,06$ .

$$1,06 = \frac{\sqrt{44}}{\sqrt{18}}$$

## الباب الخامس الحجم الجزيئي للدقائق

### Molecular Size of Particles

جميع الدقائق وأيضاً أجزاء الخلية الأكبر حجماً مثل الفيروسات والكروموسومات والريبوسومات والأحماض النووية والبروتينات يمكن وصفها على أساس حجمها . وللاكثر دقة يمكن وصفها على أساس كتلتها mass . وتبعاً لقواعد الأتحاد الدولي للكيمياء والأكاديميون والتطبيقاتيون (IUPAC) International Union of Pure and Applied Chemists فإن وحدة الكتلة هي دالتون dalton تعريف الدالتون هو بالنسبة للنظير المشع كربون ١٢ أى ك ١٢ أى C12 . حيث أن الدالتون يساوى  $\frac{1}{12}$  من كتلة النظير الكربوني ك ١٢ . تبعاً لذلك فإن وزن النظير للكربون هو ١٢ دالتون . يمكن تحويل الدالتون إلى جرام وذلك بضربه فى  $1.66 \times 10^{-24}$  جرامات.

ولكن المعتاد وصف الجزيئات على أساس وزنها الجزيئي ولذلك فإن IUPAC تصف المركبات على أساس وزنها الجزيئي ويكون الوزن منسوب إلى وزن  $\frac{1}{12}$  من النظير للكربون ١٢ . وحيث كما فى أعلى أن الوزن الجزيئي هو عبارة عن نسبة ولذلك فإنه رقم ليس له أبعاد dimensionless number .

عندما يستعمل علماء علوم الحياة الوزن الجزيئي molecular weight فإنه يكون عادة للتعبير عن molar mass (M) حيث أن molar mass هو عبارة عن المساوى العددي -numerical equivalent للوزن الجزيئي ولكن بالوحدات جرام لكل جزيء gram per mole . مثال لما سبق فإن جزيء الجلوكوز له كتلة ١٨٠ دالتون وله وزن جزيئي ١٨٠ ولـ molar mass ١٨٠ جرام جزيئي  $g \text{ mol}^{-1}$  . وأثناء الشرح فى هذا الكتاب فإن الكتلة الحقيقية سوف يعبر عنها بوحدات دالتون بينما الوزن الجزيئي ورمزه M معناه molar mass ووحداته جرام جزيئي  $g \text{ mol}^{-1}$  .

ويلزم لتوضيح ما سبق متى يتم استعمال دالتون ومتى يتم استعمال الوزن الجزيئي . كثير من المواد أو الأجزاء فى علوم الحياة يتم وصفها بالكتلة mass وليست بالوزن الجزيئي حيث أنها ليست جزيئات حقيقية . ومثال لذلك فإن الفيروسات تتكون من بروتين وأحماض نووية وأيضاً البروتينات المركبة ومركبات أخرى مثل البوليمرات polymers مثل الأحماض النووية والتي يكون مرتبط بها عادة الماء والأيونات . يمكن أيضاً عزل الكروموسومات والريبوسومات صحيحة من الخلية ويتم دراستها . وعندما يتم تحديد كتلتها فإنه يعبر عنها بوحدات دالتون لأنها ليست جزيئات حقيقية . ومن الجدير بالذكر أن الوزن الجزيئي لا يستعمل إلا فى التعبير عن الجزيئات

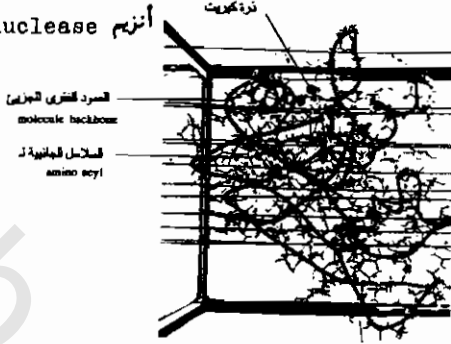
الحقيقية actual molecules. ولتوضيح ما سبق فإن «مادة معينة X مثلا لها وزن جزيئي Y دالتون» لا تعتبر هذه العبارة صحيحة ولتصحيح هذه العبارة يقال أن مادة X لها كتلة mass مقدارها Y دالتون ولها وزن جزيئي قدره Y جرام جزيئي  $g \text{ mol}^{-1}$ . وبمعنى آخر فإن الوزن الجزيئي يستعمل فقط لوصف المركبات التي لها تركيب جزيئي معروف ومحدد- actual molecular formula. يمكن أستعمال دالتون لوصف أى مادة حيث أنها عبارة عن تعبير للكتلة mass.

توجد طرق عديدة لتقدير الكتلة والوزن الجزيئي للمواد البيولوجية. وقد أمكن تقدير ذلك بواسطة قياس colligative properties وتقدير مدى انحراف أو أنكسار أو تبعثر أشعة-X ray difraction studies وتقدير حساب سرعة الترسيب فى جهاز ultra centrifuge القوة الطاردة المركزية الفائقة السرعة sedimentation rate وطرق الفصل الكهربائى فى وسط غروى electrophoretic gel وطرق الفصل الكروماتوجرافى والتي تستعمل الغرويات الغربالية chromatographic techniques using sieving gels وطرق انحراف أو تبعثر الأشعة light scattering methods وأيضا التحليل الكيماوى المباشر direct chemical analysis. أحيانا تعطى الطرق المختلفة نتائج مختلفة وذلك لسببين رئيسيين. أولا السبب الأول لأنه قد يوجد أختلاف بين الوزن الجزيئي molecular weight وبين formula weight الفورمة الجزيئية. يمكن حساب الفورمة الجزيئية وذلك بجمع الوزن الجزيئي لجميع الدقائق (جزيئات أو أيونات) التى تدخل فى تكوين المركب. وفى حالة تساوى قيمة الفورمة الجزيئية formula weight مع الفورمة الجزيئية الحقيقية true molecular formula ولذلك فإن وزن الفورمة الجزيئية يساوى الوزن الجزيئي. وفى حالة الجزيئات التى تكون روابطها تعاونية يتساوى فيها وزن الفورمة الجزيئية مع الوزن الجزيئي عادة وذلك فى حالة الغازات والسوائل والجوامد. أما فى حالة كثير من المواد مثل الأملاح ليس لها وزن فورمة جزيئية ثابتة ولكنها تختلف تبعا للحالة الطبيعية للمحلول أو الوسط. وأيضا فى حالة كثير من البلمرات الطبيعية مثل البروتين والدهون والأحماض النووية حيث أن لكل منها تركيب بسيط ولكنها توجد على هيئة أملاح أو بلمرات أو تجمعات من هذه المركبات ولذلك فى هذه الحالة لا يكون الوزن الجزيئي مساو للفورمة الجزيئية الحقيقية. ثانيا السبب الثانى هو الأختلاف بين متوسط عدد number average وبين متوسط وزن weight average الوزن الجزيئي ويتوقف ذلك على الطريقة المستعملة فى التقدير ومثال لذلك تقدير الوزن الجزيئي على أساس الصفات المجمعة colligative properties فأنها تعطى تقدير متوسط العدد number-averages ويكون هذا صحيح وسليم لأن الصفات المجمعة-colligative proper ties تعتمد على عدد الجزيئات وهى الأساس فى تعريف البخاصة المجمعة-colligative property. ولذلك فإنه عند تقدير الوزن الجزيئي لمادة بواسطة colligative property ثم بواسطة بعثرة

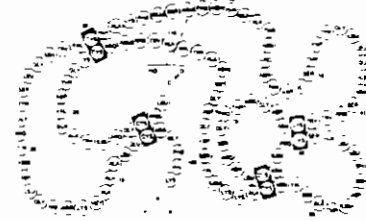
الضوء light scattering فإن التقديرات تكون مختلفة بالطريقتين وحيث أن التقدير بواسطة بعثرة الضوء يعتمد على وزن المادة فإنه يكون تقدير لمتوسط الوزن a weight average وفى غالبية تقديرات أحجام أغلب البوليمرات البيولوجية فإن الفرق بين الوزن الجزيئى والكتلة يكون هام جدا difference between molecular weight and mass becomes very important ومثال لذلك أن يمكن تقدير حجم أى عديد البيبتيدات polypeptide بواسطة سرعة نفاذيته فى غروى غربالى sieving gel. يتم تصنيع حبيبات beads الغروى الغربالى بواسطة بلمرة مواد كربوايدراتية معقدة polymerization of a carbohydrate material. وكلما زادت درجة البلمرة كلما صغر حجم المسام الموجودة بين حبيبات أو دقائق الغروى. ولذلك نجد أن لجزيئات البروتين الصغيرة تتخلل الجل الغروى ذو المسام الصغيرة وأن جزيئات البروتين الكبيرة لا تتخلل الجل الغروى بل تبقى حوله. وهكذا فإن مخلوط من جزيئات البروتين الكبيرة والصغيرة يمكن فصلهما وذلك بأمرار المخلوط على عمود يحتوى غروى غربالى. وتبعاً لذلك أيضاً فإن غسيل وأزالة elution البروتين ذو الجزيئات الكبيرة يكون أسرع بكثير من جزيئات البروتين الصغيرة. وهذه الأعمدة columns يمكن معايرتها بواسطة جزيئات بروتين أخرى أو مواد أخرى ذات جزيئات معروفة الحجم. عند مرور البروتين فى العمود فإنه يحدث له تميأ hydration كما يرتبط به أيونات ولذلك فإنه لا يمكن تقدير الوزن الجزيئى للبروتين ولكن يمكن تقدير الكتلة mass ولذلك فإن وحدات التقدير تكون دالتون. عند تحليل البروتين إلى الأحماض الأمينية التى يتكون منها فإنه يمكن تقدير الوزن الجزيئى وذلك بمعرفة التركيب الجزيئى للأحماض الأمينية الداخلة فى البروتين أو بأفترض أن متوسط الوزن الجزيئى للحامض الأمينى هو ١٠٠ ثم يتم ضرب ١٠٠ فى عدد الأحماض الأمينية الداخلة فى البروتين. تعطى الطريقة السابقة تقدير للوزن الجزيئى للبروتين. يمكن بنفس الطريقة حساب وتقدير الوزن الجزيئى للأحماض النووية. وفى حالة استخدام gel filtration أو الطرد المركزى فإن النتيجة تكون تقدير الكتلة mass وليست الوزن الجزيئى للبروتين أو الأحماض النووية أو غيرها وبالتالي فإن الوحدة تكون دالتون وليست جرام لكل جزيء grams per mole .

وفى حالة أجزاء أو عضيات الخلية الكبيرة مثل الريبوسومات ومكونات الغشاء الخلوى الأكتوبلاست فإنه يمكن تقدير حجمها ولكن لا تستعمل وحدات دالتون. وعندما تستخدم القوة الطاردة المركزية فى ذلك فإن الوحدة تكون Svedberg unit وهو وحدة مقارنة comparative unit. يوضح شكل رقم (شكل ٢٧) غسيل وأزالة البروتين من عمود به غروى غربالى a sieving gel column - يتضح من الشكل أن فصل أنزيم الكاتاليز وأنزيم لاكتيك ديهيدروجينيز lactate dehydrogenase وأنزيم كحول ديهيدروجينيز alcohol dehydrogenase وماليك

أنزيم ribonuclease



أنزيم Lysozyme

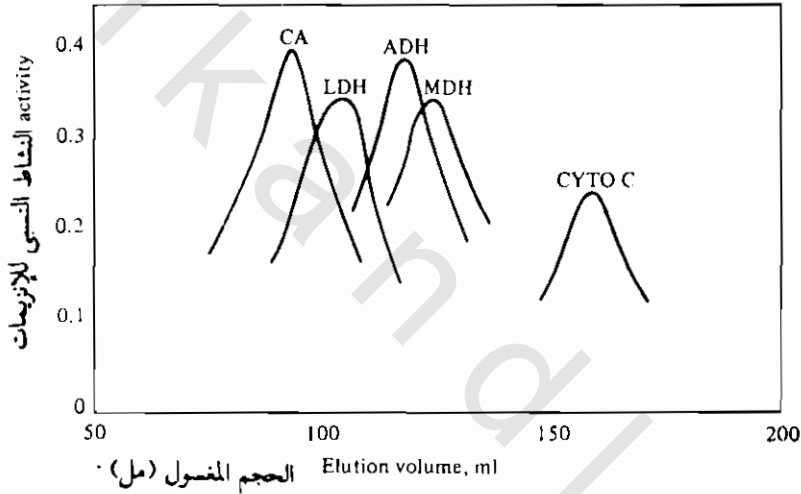


التركيب الإبتدائي البروتيني لإنزيم Lysozyme يتناسق بعض الحاجج بوضوح لربطة روابط disulfide bridges بين السلسلتين cysteine . أسماء الأحماض الأمينية مختصرة بالمعروف الأولى من كل صامس.

جزئين بروتينين ذو ثلاث ألسان وهو عبارة عن أنزيم ribonuclease . العمود الفقري الجزيئي

وهو سلسلة عديد الببتيدات polypeptide عبارة عن خط الأسود للقطر، ولما عن السلاسل الجانبية لـ amino acyl

عبارة عن الخطوط الرفيعة ونقاط الكبريت عبارة عن شكل كروي تكون لربطة disulfide bridges .



(شكل ٢٧) : فصل البروتينين بإستعمال الغروى الغربالي

يوضح الشكل elution profile لخمسة بروتينات تختلف فى أحجامها وهي

CA = كاتاليز وهو ٢٥٠ ألف دالتون

LDH = لاكتيك ديهيدروجينيز وهو ١٣٦ ألف دالتون

ADH = كحول ديهيدروجينيز وهو ٨٤ ألف دالتون

MDH = ماليك ديهيدروجينيز وهو ٦٦ ألف دالتون

CYTO c = سيتوكروم C وهو ١٢ ألف وخمسمائة دالتون

ديهيدروجينيز malate dehydrogenase وسيتوكروم c على أساس حجم جزيئاتهم. يوضح الشكل نشاط كل أنزيم على حدة وكل أنزيم موجود في حجم معين من محلول elution وذلك نتيجة لغسيل البروتين من العمود بواسطة محلول منظم buffer. وجد أن غسيل وأزالة الكاتاليز من العمود أسرع من أنزيم لاكتيك ديهيدروجينيز حيث أن حجمه أكبر. حيث أن كتلة الأول ربع مليون دالتون وكتلة الثاني ١٣٦ ألف دالتون. وجد أن الكحول ديهيدروجينيز كتلته ٨٤ ألف دالتون ويتم إزالته بعد أنزيم لاكتيك ديهيدروجينيز ولكن قبل ماليك ديهيدروجينيز والذي له كتلة ٦٦ ألف دالتون. يعتبر سيتوكروم c الأصفر في الكتلة حيث أن كتلته ١٢ ألف وخمسمائة دالتون.

يمكن أيضا باستعمال elution profile لمجموعة من البروتينات a set of proteins لها كتلة معلومة أو وزن جزيئي معلوم فبمعايرة عمود فصل column والذي يكون قد أستعمل في معايرة بروتين غير معروف حجم أو كتلة جزيئاته يمكن من ذلك رسم منحنى حيث يكون المحور الصادى حجم محلول الغسيل والأزالة النسبى relative elution volume والمحور السينى يكون لوغاريتم الكتلة والوحدة دالتون logarithm of mass in daltons. حجم محلول الأزالة النسبى هو عبارة عن نسبة المحلول الحقيقى للأزالة عند النقطة الوسطية فى قمة المنحنى ويرمز لها بالرمز  $V_e$  إلى حجم المحلول الكلى للأزالة فى العمود ويرمز له بالرمز  $V_0$ .

the relative elution volume is expressed as the ratio of the actual elution volume (taken as the midpoint of the peak)  $V_e$  to the void volume of the column  $V_0$ .

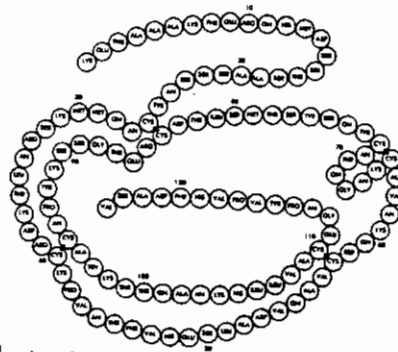
يعتبر  $V_0$  أى حجم المحلول الكلى اللازم للأزالة ولغسيل المادة خلال العمود والذي يتم أستقباله والخارج من العمود بعد مروره على حبيبات الغروى الجل فى العمود gel beads. وهو يساوى حجم العمود الخال من gel beads. وحيث أن جزيئات البروتين تقريبا كروية فأن المنحنى يكون خط مستقيم. حيث أن المحور الصادى  $V_e/V_0$  والمحور السينى لوغاريتم الكتلة بالدالتون log of mass (daltons) (شكل ٢٨).

عند معايرة عمود الغروى الغربالى sieving-gel column ومعرفة سعة ثقوبه أو مسامه فإنه يمكن أن يستعمل فى تقدير كتلة البروتين المجهولة والمارة خلال العمود وحيث يمكن التعرف على حجم محلول الغسيل والأزالة النسبى لهذا البروتين أى  $V_e/V_0$  للبروتين المجهول يمكن التعرف على حجم الجزيئات بالدالتون من المنحنى وذلك بطريقة المنحنى القياسى standard curve. يمكن الحصول تجاريا على الجل الغربالى Sieving gel والذي يكون له درجات مختلفة بدرجة كبيرة من المسامية وبذلك يمكن فصل المواد تبعا لوزنها الجزيئى بواسطة هذا الجل الغربالى

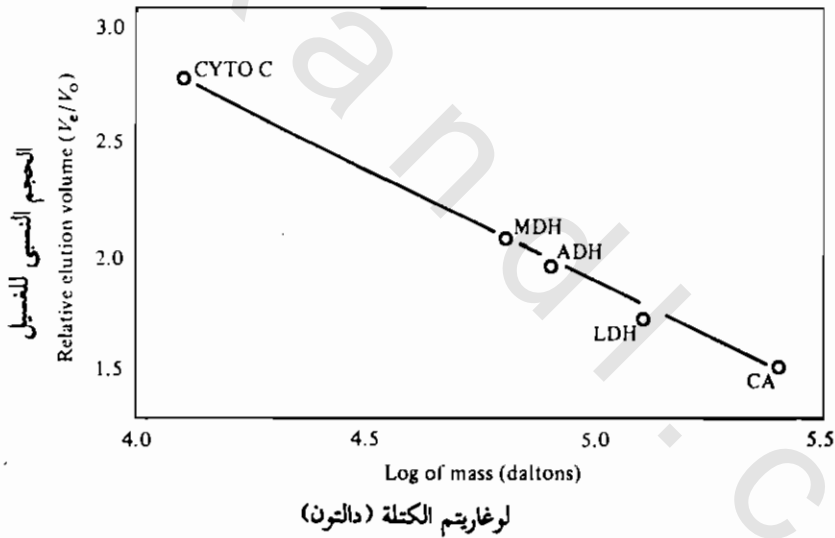
منظر عام لجزيء البروتين



انزيم ribonuclease



الدوائر احماض امينية مختلفة

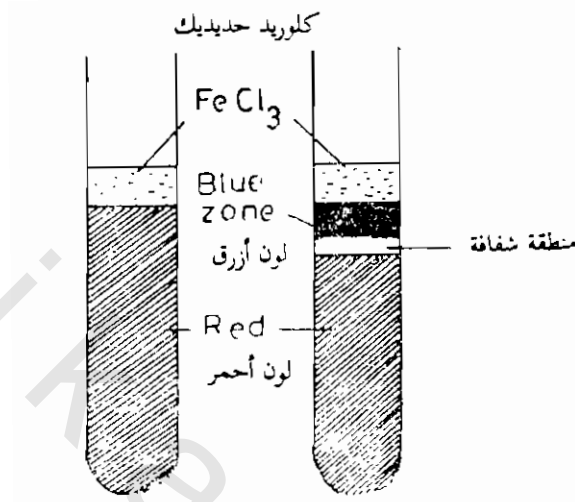


(شكل ٢٨): تقدير الأحجام المجهولة لجزيئات البروتين  
العلاقة بين لوغاريتم كتلة البروتينات مع حجم السرعة النسبية للتسيل في العمود  
relative elution volume ( $V_e / V_o$ ).



وذلك فى مدى وزن جزئى يتراوح بين أقل من ١٠٠ إلى أعلى من نصف مليون.

توجد تجربة يمكن أجراءها فى المعمل بسهولة فائقة ولا تحتاج إلى أى أجهزة إطلاقا أو حتى أدوات وهذه التجربة توضح أن الغروى الجل يمكن أن يميز ويفصل أيونات كلوريد الحديدك إلى أيونات كلور ( $Cl^-$ ) وأيونات حديد ( $Fe^{+++}$ ) تبعاً إلى أحجامها وحيث أن أيونات الكلور أصغر فى حجمها من أيونات الحديد فإن أنتشارها فى الغروى يكون أسرع من أنتشار أيونات الحديد. وفى هذه التجربة يتم تحضير محلول غروى من الجيلاتين فى أنبوبة الأختبار ويضاف إليه قطرات من محلول حديدو سيانور البوتاسيوم وقطره واحدة من محلول أيدروكسيد الصوديوم وقطره من محلول الفينولفثالين فيصير لون المحلول أحمر لقلوبته ثم يترك حتى يتجمد . يضاف قليل من محلول كلوريد الحديدك ويترك مدة حوالى ساعة يلاحظ تكون طبقة زرقاء فى أعلا الجيلاتين وطبقة عديمة اللون أسفلها. نستنتج من هذه التجربة تحول لون دليل الفينولفثالين تبعاً لدرجة حموضة الوسط الموجودة فيه ففى الوسط الحامضى يصبح شفافاً وفى الوسط القلوى يصبح أحمر اللون. يتأين كلوريد الحديدك إلى أيونات كلور وأيونات حديد وهذه الأخيرة أكبر نسبياً فى الحجم ونظراً لأن أيونات الكلور أصغر فى حجمها من أيونات الحديد فإنها تنتشر فى الجيلاتين الغروى بسرعة أكبر من أنتشار أيونات الحديد وبما أن وجود الكلور فى أى وسط يحوله إلى وسط حامضى فإن الفينولفثالين سيصبح شفافاً وتتكون الطبقة الشفافة التى تدل على مكان وجود الكلور. وأما أيونات الحديد فإنها تنتشر بسرعة أقل نسبياً عن الكلور نظراً لكبير حجم أيوناته وبالتالي فإنه يتفاعل مع حديدو سيانور البوتاسيوم مكوناً حديدو سيانور الحديدك (أزرق بروسى) ولذلك تتكون طبقة زرقاء تدل على وجود الحديد . وبدل ذلك على أن أيون الكلور أسرع فى إنتشاره من أيون الحديد ويستنتج من ذلك أن سرعة إنتشار الأيونات تتناسب عكسياً مع حجمها (شكل ٢٩). وذلك باستخدام الجل الغروى. وكلما زادت مدة التجربة كلما زاد اتساع المنطقة الشفافة والمنطقة الزرقاء.



(شكل ٢٩): سرعة إنتشار الكلور والحديد في الغروي gel

## الباب السادس المحاليل Solutions

دراسة خواص وأنواع المحاليل المختلفة، من الموضوعات الهامة لدراسة علم فسيولوجيا النبات، حتى يتسنى فهم كثير من العمليات الفسيولوجية، وذلك لأن محتويات الخلية النباتية، توجد في وسط مائي على هيئة محاليل مختلفة الأنواع.

### أنواع المحاليل Types of solutions

تنقسم المحاليل بالنسبة إلى حالة وجود المادة الذائبة في المادة المذيبة، وعلاقة كل منهما بالآخر إلى ما يأتي: -

#### ١- المحاليل الحقيقية True Solutions

فيها تتجزأ المادة الذائبة في السائل إلى جزيئات، أو إلى أيونات في أغلب الأحيان. وتتكون الوحدات التي تتجزأ إليها المادة من الدقة بحيث لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة ولا بأية وسيلة أخرى، لأن قطر هذه الوحدات (أيونات أو جزيئات) أصغر من واحد مليون من المليمتر أى واحد ميلميكرون أى واحد نانومتر. وتعطى محلولاً متجانساً، حيث تظل المادة منتشرة بين جزيئات المذيب. ومن أمثلتها محلول سكر القصب (جزيئات) في الماء ومحلول كلوريد الصوديوم (أيونات) في الماء.

#### ٢- المعلقات Suspensions

وهنا لا تتأثر المادة بالسائل عند خلطها، مثلما يحدث عند وضع الرمل في الماء. فإن الرمل سرعان ما يرسب، وتكون الوحدات التي تتجزأ إليها المادة من الكبر بحيث يمكن رؤيتها بالمجهر. ويقدر قطر الوحدات بأكثر من ٢٠٠ ميلميكرون.

#### ٣- المحاليل الغروية (الغرويات) Colloids=Colloidal Solutions

تتجزأ المادة إلى وحدات تقع وسطاً بين حجم دقائق المحاليل الحقيقية والمعلقات، أى أن

أقطارها تتراوح بين واحد إلى ٢٠٠ نانومتر والبعض يعتبر مداها هو ١-١٠٠ نانومتر كما في Meyer, Anderson وتظل وحداتها منتشرة في محاليلها ولا ترسب أبداً من تلقاء نفسها، كما أنها من الصغر بحيث لا يمكن رؤيتها بالميكروسكوب، إلا أنه يمكن مشاهدة قطراتها الضوئية بطرق خاصة. ومن أمثلة المحاليل الغروية محلول الجيلاتين في الماء ومحلول النشا في الماء وبعض حالات التربة الطينية.

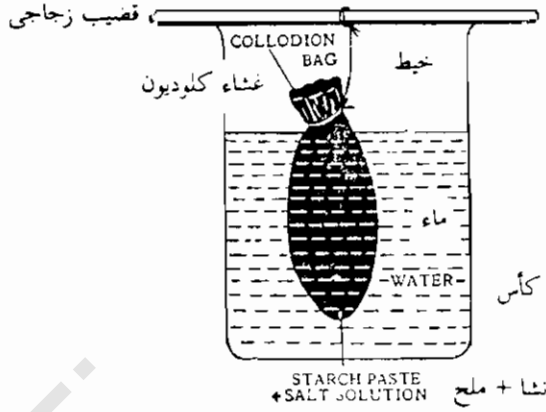
#### ٤- المستحلبات Emulsions :

المستحلبات هي نظم تفتقد الثبات stability عادة. أى تفتقد القدرة الكاملة على الأمتزاج ومن أفضل الأمثلة على ذلك مخلوط الزيت والماء حيث لا يمتزجان إطلاقاً وعند رج المخلوط أى المستحلب بشدة يمتزجان لفترة قصيرة ثم تنفصل قطرات الزيت وتتجمع على سطح الماء. يكون قطر الدقائق المنتشرة أى الزيت فى هذه الحالة هو أكثر من ١,٠ ميكرون. لا تعتبر المستحلبات بصفة عامة غرويات حقيقية ولكنها تقارب الغرويات فى بعض الصفات. توجد المستحلبات فى خلايا الحيوان والنبات وهى جزء أساسى من مكونات البروتوبلازم. وعند فحص البروتوبلازم بالمجهر الضوئى بقوة تكبير كبيرة يلاحظ وجود مستحلب من الدهون أو شبه الدهون منتشرة فى البروتوبلازم. وهى بذلك موجودة فى جميع الخلايا.

والطريقة الوحيدة لثبات المستحلبات أى عدم انفصالها إضافة مواد مستحلبة emulsifiers ومنها الصابون و saponins والصوغ والجيلاتين. أما ثبات المستحلبات الموجودة فى الخلايا الحية يكون بواسطة البروتين.

#### خاصية الفرز الانتشارى Dialyses :

فى هذه الحالة يمكن استعمال أغشية مسامية ذات سعة ثقب معينة وبحيث أن هذه الثقوب تسمح بنفاذية الأيونات أو الجزيئات الصغيرة ولا تسمح بنفاذية الدقائق الأكبر حجماً ومن أمثلة هذه الأغشية الكلوديون collodion والسلفون. يمكن إثبات ذلك بعمل التجربة الآتية. حيث يتم عمل خليط من حجمين متساويين من محلول كلوريد الصوديوم والنشا ثم يوضع الخليط فى كيس من الكوللويدون أو السلفون. يقفل الكيس جيداً بخيط ثم يعلق فى حامل بحيث يغمر فى كأس به ماء مقطر (شكل ٣٠) وبعد فترة طويلة نسبياً حوالى يوم يتم الكشف عن كلوريد الصوديوم والنشا فى ماء الكأس، يتضح أن الماء يحتوى على كلوريد صوديوم ولا يحتوى نشا. وتفسير ذلك أن المحاليل الغروية مثل النشا قطر دقائقها كبير نسبياً بين ١-٢٠٠ ملليمكرون



(شكل ٣٠): تجربة الفرز الأنتشاري

ولذلك لا تنفذ خلال غشاء الكوللويدون ولذلك لا يتكون لون أزرق عند الكشف على النشا في ماء الكأس بواسطة اليود. أما المحاليل الحقيقية مثل كلوريد الصوديوم قطر دقائقها صغير أقل من ١ ملليميكرون ولذلك فإنها تنفذ خلال غشاء الكوللويدون ولذلك يتكون راسب أبيض من كلوريد الفضة عند الكشف في ماء الكأس عن ملح الطعام بواسطة محلول نترات فضة. أى أن المحاليل الحقيقية أصغر في حجم دقائقها أيونات أو جزيئات من دقائق المحلول الغروي.

تستخدم هذه الطريقة لتنقية الأنزيمات المستخلصة من الأنسجة الحية حيث أن الأنزيمات أساسا بروتينات ولا تنفذ الأنزيمات إلى خارج الغشاء بل تنفذ المحاليل الحقيقية المختلطة مع الأنزيمات أثناء أستخلاصها من أنسجة النبات. وبذلك يحدث تركيز للأنزيمات داخل الغشاء.

### أشكال وحالات الغرويات:

توجد المادة في ثلاثة حالات وهي صلب solid وسائل liquid وغاز gas. وعندما يتم تجزئة جزيئات أحد الحالات السابقة إلى جزيئات أو أيونات صغيرة تتراوح أقطارها بين ١-٢٠٠ ملليميكرون أى نانومتر ويتم أنتشارها طبيعيا أو صناعيا في حالة أخرى من الحالات الثلاثة السابقة

ينتج عن ذلك تسعة حالات للغرويات colloids . جميع هذه الحالات موجودة في الطبيعة إلا حالة الغاز المنتشر في الغاز والتي لا تكون أحجامها مناسبة لكي تصبح من حالات الغروى أى أنه توجد في الطبيعة ثمانية حالات من الغروى تسمى الجزيئات أو الأيونات المنتشرة والتي يتراوح أقطارها بين ١ - ٢٠٠ ملليمكرون بأسم الطور المنتشر dispersed phase وأما الطور الذى يوجد فيه هذه المادة المنتشرة يسمى بالطور المستمر continuous phase . عندما يوجد غروى صلب أو سائل فى غاز يسمى إرسول aerosol . وعندما يوجد غروى سائل فى سائل يسمى مستحلب emulsion .

نوع الغروى	الطور المستمر	الطور المنتشر
charcoal الفحم الحيوانى	صلب	غاز
foams	سائل	غاز
fogs ضباب وسحاب	غاز	سائل
emulsion مستحلب مثل اللبن	سائل	سائل
جيلاتين وأجار	صلب	سائل
smoke and dust الدخان والغبار	غاز	صلب
suspensions معلقات	سائل	صلب
الماس الأسود هى عبارة عن بلورات ماس دقيقة مفصولة على جرافيت أو كربون غير بلورى.	صلب	صلب

يهمنا فى دراسة فسيولوجى النبات الطور المنتشر صلب والطور المستمر سائل وعلى وجه الخصوص الماء. حيث أن الماء عامل هام مؤثر فى حياة الخلية كما أنه يوجد بتركيز عال فى الخلايا النباتية ويختلف تركيزه باختلاف النسيج أو العضو النباتى فتركيزه كبير جدا فى الأجزاء العصارية من النبات قد يصل ٩٠٪ وتركيزه أقل فى الخلايا العادية للنبات وتركيزه فى البذور والحبوب أقل من ١٢٪ عادة. عندما يكون الغروى فى الطور المنتشر صلب والطور المستمر سائل يسمى صول sol . وعندما يكون الطور المستمر ماء يسمى صول مائى hydro sol . وعندما يكون العكس يسمى جل . يمكن تصنيف الصولات المائية hydro sols إلى صول معلق suspensoid sol وإلى صول مستحلب emulsoid sol . تسمى الحالة الأولى بالغروى الكاره للمذيب lyophobic وحيث أن الطور المنتشر أو المذيب ماء فيسمى غروى كاره للماء hydrophobic والحالة الثانية تسمى بالغروى المحب للمذيب lyophilic وحيث أن الطور المنتشر أو المذيب ماء فيسمى غروى كاره للماء hydrophilic وحيث أن الطور المنتشر فى الخلية النباتية يكون فى كثير

من الحالات هو الماء ولذلك فسيتم تصنيفها إلى غرويات كارهة للماء وغرويات محبة للماء.

### تصنيف الغرويات تبعاً لوسط الانتشار:

يمكن تصنيف الغرويات تبعاً لذلك إلى ما يأتي:

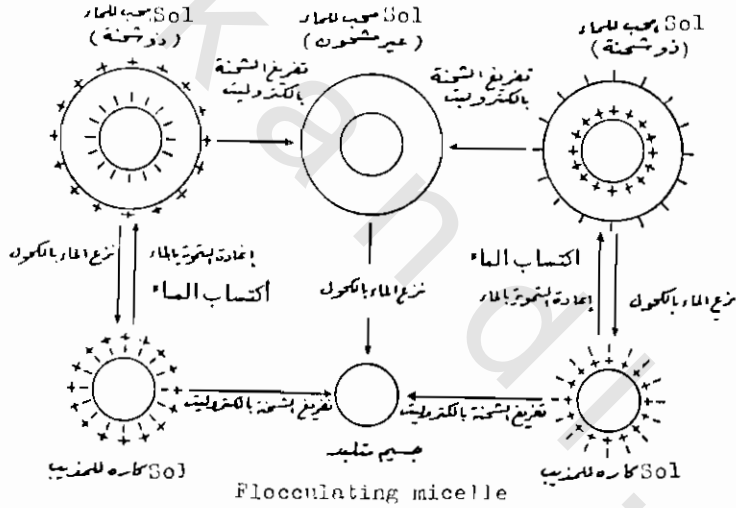
#### ١- غرويات كارهة لوسط الانتشار Lyophobic colloids:

حيث يرجع ثبات الغروى نتيجة لوجود الشحنة charge على جزيئات الطور المنتشر حيث يسبب ذلك أن تصطدم الجزيئات مع بعضها فى المحلول ولذلك تظل ثابتة ولا ترسب. ولا يوجد غلاف مائى حول أيون الطور المنتشر حيث أن الطور المنتشر فى هذه الحالة كاره لوسط الانتشار أى كاره للطور المستمر. وفى حالة أن يكون وسط الانتشار أى الطور المستمر هو الماء فيسمى غروى كاره للماء hydrophobic (suspensoid sols) مثال محلول أزرق بروسى وهو يتكون من محلول حديد وسيانور الحديدىك. يكون لهذا المحلول لزوجة مختلفة قليلاً عن لزوجة viscosity المذيب. يتميز هذا النوع من الغروى بأنه يمكن ترسيبه أو تجميعه coagulated بسهولة ليرسب وذلك بواسطة محاليل إلكتروليات مخففة. حيث أن هذا الألكتروليات يسبب معادلة الشحنة أو تقليلها وبذلك يحدث الترسب. وعندما يتم ترسيب هذا النوع من الغروى يكون ترسيب نهائى ولا يمكن تغييره إلى محلول غروى مرة أخرى أى إعادة نثر الراسب بأنظام فى الطور المستمر ولذلك يسمى هذا النوع بالغرويات الغير عكسية irreversible colloids. يجب أن يكون الألكتروليات المستعمل شحنته مخالفة لشحنة الدقائق أى الأيونات المنتشرة لكى يحدث الترسب. كما وجد أيضاً أنه كلما زاد تكافؤ الشحنة على الألكتروليات المستعمل كلما كانت كفاءته فى الترسب أعلى وبالتالي يقل تركيزه اللازم لترسيب الغروى ومثال ذلك أن تركيز كلوريد الصوديوم إلى تركيز كلوريد الباريوم إلى تركيز كلوريد الألومونيوم اللازم لترسيب غروى كبريتيد الزرنيخوز هى النسبة ٥١ : ٦٧ : ٠,٠٩٣ : ٠٠,٠٩٣ دقائق أحمر الكونجو ذات شحنة سالبة ودقائق أزرق الميثيلين موجبة وكلاهما غروى كاره للمذيب.

#### ٢- غرويات محبة لوسط الانتشار Lyophilic colloids:

حيث يرجع ثبات الغروى أى عدم ترسيبه إلى عاملين وهما وجود شحنة على دقائق الطور المنتشر وأيضاً غلاف مائى hydration حول هذه الدقائق. وهو يعتبر أكبر ثباتاً من الغروى السابق. تحتاج هذه الغرويات إلى كميات وتركيزات كبيرة من محاليل الألكتروليات لترسيبها ويمكن أعادتها إلى حالتها الأولى بإضافة مذيب مرة أخرى ولذلك يعرف هذا النوع من الغرويات بأسم الغرويات العكسية reversible colloids. يمكن أن يكون هذا الغروى فى درجات حرارة معينة pH و معينة حالة من الغروى جيلاتينية القوام تشبه الجيلي gelly تسمى semi-rigid gels

تعتبر هذه الحالة من الجل gel حالة عكسية حيث يصبح فيها الطور المنتشر هي عبارة عن وسط الأنتشار ويصبح وسط الإنتثار هو الطور المنتشر (شكل ٣١). توجد صفة مميزة لجميع أنواع الجل هي قدرتها على تشرب الماء وهي تسمى أيضا emulsoid sols . يعتبر الجيلاتين من أمثلة هذا النوع من الغروي والذي له قدرة كبيرة على تشرب الماء. تعتبر جزيئات الجيلاتين وغيرها ذات حالة الجل gel مثل جزيئات الآجار والنشا لها قدرة كبيرة على جذب جزيئات الماء بقوة وبسدة ولذلك يتم سحبها من الوسط المحيط ضد قوى شد كبيرة وتختلف قوى الشد تبعاً لنوع المادة المتشربة وكمية المياه الموجودة بها. وبعد سحب جزيئات الماء من الوسط المحيط فإن الماء الذي تم تشربه يكون غشاء رقيق film حول جزيئات الجل وكلما زاد سمك الغشاء المائي حول جزيئات



(شكل ٣١) : خواص الغروي الكاره للغروي والمحب للمذيب



الجل فأن جزيئات الجل تتباعد عن بعضها. أما درجة تباعد هذه الجزيئات عن بعضها نتيجة لسلك الغشاء المائي يتوقف على قوة جذب هذه الجزيئات للماء cohesive force of these particles. في حالة الخشب الجاف الميت يمكن أن يتشرب الماء بدرجة معينة ولكن في حالة الجيلاتين والآجار فأن تشرب الماء يستمر ويزداد سلك الغشاء المائي حول جزيئات الجيلاتين أو الآجار ويحدث ذلك بدرجة كبيرة جدا حتى يصبح الجيلاتين أو الآجار محلول غروي محب للمذيب ويحتاج حدوث ذلك في حالة الآجار والجيلاتين إلى التسخين. ويسمى محلول الغروي السائل في هذه الحالة colloidal emulsoid solution. تجربة عملية للتمييز بين الغروي الكاره للمذيب والغروي المحب للمذيب:

يعتبر محلول أزرق بروسى (حديد وسيانور الحديدىك) غروي مثالى كاره للمذيب بينما محلول النشا غروي محب للمذيب. ولذلك عن إضافة كلوريد كالىسيوم تركيزه ١٠٪ فى أنبوبة بها أزرق بروسى يحدث ترسيب ولكن عند إضافة محلول كلوريد الكالىسيوم ١٠٪ لأنبوبة النشا لا يحدث ترسيب ولكن إضافة محلول كلوريد كالىسيوم مشبع للنشا يحدث ترسيب. من ذلك يتضح أن ثبات الغروي الكاره للمذيب أضعف بكثير من ثبات الغروي المحب للمذيب حيث أنه فى حالة كلوريد الكالىسيوم ١٠٪ حدث تعادل بين شحنات أيون الكالىسيوم الموجبة مع الشحنات السالبة الموجودة على دقائق أزرق بروسى فحدث الترسيب وبدل ذلك على أن ثبات أزرق بروسى هو نتيجة لوجود الشحنة فقط ولذلك فهو غروي كاره للمذيب. أما فى حالة محلول النشا فلم يرسب إلا بتركيز كبير من كلوريد الكالىسيوم أى المشبع وذلك لأنه لا بد أولا من سحب جزيئات الماء من حول جزيئات أو دقائق النشا ولا يتم ذلك بواسطة كلوريد كالىسيوم ١٠٪ بل يتم بواسطة كلوريد كالىسيوم مشبع ولذلك فأن النشا غروي محب للمذيب حيث أن ثباته راجع أساسا نتيجة للتميو أى لوجود غلاف من الماء حول جزيئات أو دقائق الغروي.

### خواص الغرويات:

تعتمد خواص الغرويات على ظاهرة هامة فى الغرويات وهى تميز الغرويات بكبر سطحها النوعى large surface area يعتبر هذا السطح الكبير interfaces مهد للفاعلات الكيماوية والطبيعية. وفيما يلى الخواص الهامة للغرويات.

### ١- مساحة السطح Surface area :

يوجد سطح كبير للغرويات وعلى هذا السطح الهائل الكبير تحدث التفاعلات الفسيولوجية

للبروتوبلازم فى النبات. عند قطع ١ سم ٣ إلى مكعبات صغيرة حجمها يماثل حجم جزئيات الغرويات وفى هذه الحالة من السهل حساب مساحة السطح الكبيرة لجزئيات الغروى. وقد زاد عدد المكعبات من واحد إلى ١٠ نتيجة لتقسيم المكعب الكبير إلى مكعبات صغيرة يدخل حجمها فى نطاق حجم الغرويات أى قطرها  $10^{-6}$  ميكرومتر كما أن مساحة السطح ستزداد من ٦ سم ٢ إلى ٦٠٠ متر مربع أى أن الزيادة مليون مرة. ولذلك فأن المساحة بالنسبة للحجم فى البروتوبلازم هائلة. وبذلك يكون هذا السطح مهد لحدوث كثير من التفاعلات.

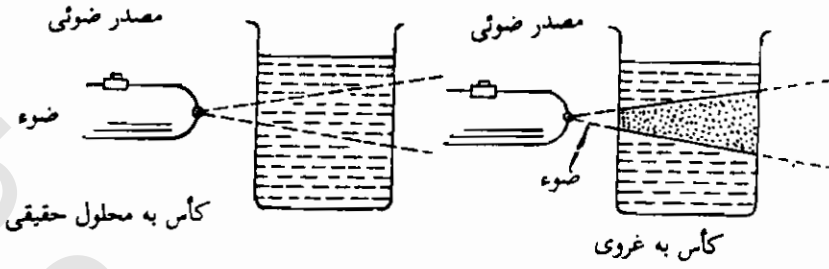
## ٢- القابلية للترشيح Filterability :

تعتبر الغرويات قابلة للترشيح لأنها تمر خلال المرشحات العادية. وجد أن ورق الترشيح الذى يكون فيه أقطار مسامه ١-٥ ميكرون يمرر الغرويات بسهولة. يمكن أستعمال مرشحات أكثر دقة ultrafilters لها مسام ضيقة جدا وبذلك يمكن أستعمالها فى فصل جزئيات الغرويات من المحلول أو من المحلول الحقيقى . يمكن ترسيب وأزالة الغرويات بواسطة القوة الطاردة المركزية الكبيرة. وجد أن قوة طاردة قدرها مائة ألف مرة جاذبية أرضية كافية لأزالة البروتين من الماء. يوجد البروتين فى الخلية فى صورة غروية. تبقى المحاليل الحقيقية ثابتة فى هذه القوة الطاردة المركزية ولا تتأثر بها..

## ٣- تأثير ظاهرة تندال The tyndall effect :

عندما يثار الغبار فى حجرة يدخلها ضوء الشمس من إحدى نوافذها فأن مسار أشعة الشمس فى الغرفة يبدو ظاهرا لأن حبيبات الغبار من الكبير بحيث تعكس أشعة الشمس الساقطة عليها من النافذة ولما كانت الأطوال الموجية للألوان المختلفة تختلف فى درجة أنحنائها عند أنحناء الضوء فأن الطيف الضوئى ينفصل جزئيا وتظهر مجموعة من ألوان الطيف. أما إذا كان جو الغرفة نقياً من جميع الشوائب أستحالت رؤية مسار الضوء وذلك لأن حجم جزئيات الهواء من الصغر بحيث لا يمكن أن تنعكس عليها الأشعة الساقطة. والمحاليل الغروية تظهر خاصية ظاهرة تندال وهى عند مرور شعاع من الضوء فى محلول غروانى (شكل ٣٢) والنظر فى اتجاه عمودى على هذا الشعاع فأن يحدث أنعطاف وتشتت للضوء من أسطح الدقائق المعلقة كما يحدث عند مرور الشعاع فى غرفة يكتنف جوها الغبار.

وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة تندال، وهى تعزى إلى تشتيت الضوء أو أنعطافه. ومن العوامل التى تحدد شدة التأثير التندالى الفرق فى درجة الانكسار للضوء بين طورى النظام الغروى، فكلما زاد هذا الفرق، كان هذا التأثير التندالى أقوى. ولما كانت الأطوال الموجية القصيرة للضوء (الطرف



(شكل ٣٢): ظاهرة تبدال

الأزرق من الطيف) تنحني عند انعطاف الضوء أكثر من الأطوال الموجية الطويلة، فإن الطيف ينفصل انفصالا جزئياً، ولذلك فإن الغروي الذي يكون طوره المنتشر عديم اللون كثيراً ما يبدو لونه أزرق باهتاً حينما يشاهد عمودى على مسار حزمة قوية من الضوء. وهذه الظاهرة لا تحدث فى المحاليل الحقيقية لصغر حجم دقائقها وبالتالي لا تعكس الضوء فلا يظهر مساره. ومن ذلك يتضح أن ظاهره تبدال يمكن بها التمييز بين المحاليل الغروية والحقيقية.

#### ٤- اللزوجة Viscosity :

تقل لزوجة الغرويات بزيادة درجة الحرارة. تزداد لزوجة الغرويات المحبة للمذيب كلما زاد عدد الدقائق المنتشرة ولذلك فإن الأصماغ النباتية والمواد الهلامية والنشا والبروتين تصبغ رائدة اللزوجة عند تركيزها. أما فى حالة الغرويات الكارهة للمذيب فإن هذه الظاهرة غير واضحة لأنها كارهة للماء ولا تتفاعل معه.

#### ٥- الخواص الكهربائية Electrical properties :

تحمل الدقائق المنتشرة للغرويات شحنات سالبة أو موجبة وفى حالة الغرويات الغير عضوية تكون الدقائق موجبة أو سالبة الشحنة بينما الغرويات العضوية الموجودة طبيعياً فى النبات عادة تكون

سالبة الشحنة ولذلك فإن جزئيات البروتين تكون عادة سالبة الشحنة. تنجذب لهذه الشحنات السالبة كاتيونات وينتج عن ذلك طبقة أيونية مزدوجة ionic double layer. تسبب الطبقة الأيونية المزدوجة ثبات الغروي.

أما في حالة الغرويات المحبة للمذيب فالبرغم من وجود هذه الطبقة الأيونية المزدوجة فإن الدقائق المنتشرة تخاط أيضا بغشاء مائي film ولذلك فإنها تكون أكثر ثباتا حيث أن الغلاف المائي يسبب زيادة في ثبات الغروي. ولذلك فإن البروتينات في الخلية تكون ذات طبقة أيونية مزدوجة وأيضا محاطة بغشاء مائي.

## ٦- التجمع أو التجلط Coagulation :

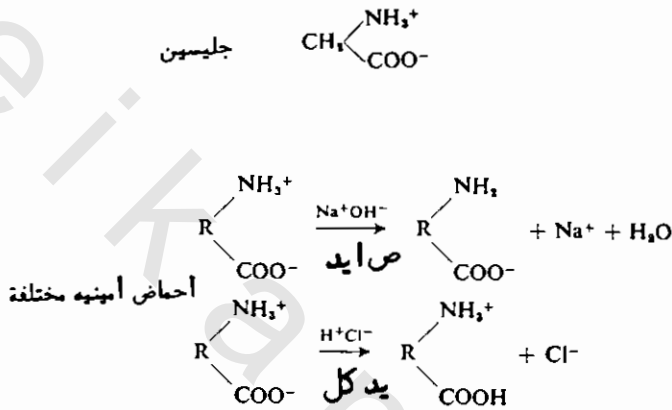
حيث أن ثبات الغروي الكاره للمذيب يتوقف على الشحنة فإن معادلة الشحنة بالكتروليت مناسب تسبب تجمع وترسيب دقائق الغروي المنتشرة أما في الغروي المحب للمذيب فإنه لا بد من سحب الغلاف المائي من حول الدقائق المنتشرة بواسطة كحول ثم إضافة ألكتروليت لمعادلة الشحنة. من الجدير بالذكر أن البروتينات تتجمع عندما تكون عند نقطة الأيزان isoelectric point أى عندما تكون شحنتها صفر أو يحدث تجمع لها أيضا عند إزالة الغشاء المائي حول الدقائق المنتشرة بمعامله مناسبة. تتبع هذه المعاملات عند تنقية البروتينات. تعتبر عملية التملح salting out للبروتين إحدى طرق تنقية البروتين تزداد القوة الأيونية للبروتين وذلك بأضافة كربونات أمونيوم. وعندما تصل البروتينات المختلفة لنقطة الأيزان الخاصة بها حيث أن لكل بروتين نقطة أيزان خاصة به فإن البروتينات تصبح قابلة للتجمع ويمكن بعد ذلك ترسيبه بسهولة بواسطة قوة الطرد المركزية وبذلك يمكن فصله من الخلية أو من أنسجة النبات. يمكن أيضا حدوث تجمع للبروتين وذلك بإزالة الغشاء من حول الدقائق المنتشرة للبروتين ويحدث ذلك بأضافة بعض المذيبات مثل الكحول والأسيتون. تختلف أيونات الذائبات الكهربائية في مقدرتها على التملح. في الكاتيونات

لى < + ص < + بو < + ريد + < سز < + مغ ++  
وفي الأنيونات كب أ ٢ < يد فو أ ٤ < كل < بر < ن أ ٣ < ي < ك ن كب

## ٧- الأمفوتيري Amphoterism :

يحدث في كثير من حالات الجل الحيوية أى حالة الجل للبوليمرات الموجودة في خلايا النبات polymeric biological gels أنها يمكن أن تتفاعل كأحماض أو كقواعد حيث تحمل

شحنات موجبة أو شحنات سالبة ويتوقف ذلك على درجة pH . وهذه القاعدة صحيحة تماما في حالة الصول البروتيني protein sol ويحدث ذلك نتيجة لوجود مجاميع فعالة في الأحماض الأمينية أى فعالة من الناحية الوظيفية أى تحمل شحنات سالبة أو موجبة حيث أن الأحماض الأمينية لها مجاميع كربوكسيل أو مجاميع أمين وقد تكون فى حالة أيونية أى مشحونة. وفى حالة pH عال أى تركيز قليل من البروتونات low concentration of protons يصبح البروتين الصول سالب الشحنة وفى حالة pH منخفض أى تركيز عال من البروتونات يصبح البروتين الصول موجب الشحنة. وهذه الصفة أى الأمفوتيرية هى من خصائص الأحماض الأمينية (شكل ٣٣).



(شكل ٣٣): الأمفوتيرية فى الأحماض الأمينية (جليسوم)

عندما يتأين جزيء الحمض الأميني أو جزيء البروتين فى الماء المقطر نجد أن الجزيء يحمل شحنات موجبة وأخرى سالبة ويسمى مثل هذا الأيون Zwitterion ( شكل ٣٣ ).

## ٨- انعكاس الحالة Thixotrophy :

كثير من حالات الجل gels ومنها بروتوبلازم الخلايا لها خواص انعكاس الحالة حيث أن الرج أو الأهتزاز العنيف يسبب تحول الجل إلى صول وعند الأمتناع عن الرج فأن الصول يصبح جل مرة أخرى وهذه الحالة تسمى بانعكاس الحالة.

## ٩- الاحتكام Hysteresis :

تتميز الجل بأن لها ذاكرة memory خاصة من نوع معين حيث أنها عند جفافها أو تغيير حالتها فإنه تفقد ماء ولكن عن تحولها مرة أخرى إلى جل تكتسب نفس القدر من الماء مرة أخرى أى أن عندها قدرة لقياس كمية الماء اللازمة لها وذاكرة خاصة بذلك وأفتراض الذاكرة هي تشبيه فقط للتوضيح حيث أنها ليست ذاكرة بالمعنى المفهوم .

## ١٠- الضغط الأسموزى Osmotic pressure :

الضغط الأسموزى للغرويات ضعيف جداً أو معدوم لكبير حجم دقائقه بالنسبة للمحلول الحقيقى . حيث أنه كلما قل عدد الجزيئات فى حجم معين كلما قل الضغط الأسموزى .

## ١١ - الحركة البراونية Brownian movement :

فى سنة ١٨٢٨ شاهد العالم النباتى روبرت براون خلال المجهر أن حبوب اللقاح التى كانت معلقة فى الماء تبنى حركة تذبذبية سريعة. وكان براون يميل أول الأمر إلى ينسب هذه الحركة إلى حياة حبوب اللقاح. ولكن فحص بعض المستحضرات من حبوب اللقاح والجراثيم الميتة دل على أنها تبنى مثل هذه الحركة أيضاً، فاتضح له أن هذه الحركة لا صلة لها ألبته بالعمليات الحية. ونحن نعرف الآن أن أية دقيقة يبلغ قطرها ٤ أو ٥ ميكرونات تبنى هذه الحركة متى علقت فى أحد السوائل. ونسمى هذه الظاهرة باسم الحركة البراونية نسبة إلى مكتشفها.

وتشاهد هذه الحركة البراونية فى كثير من المعلقات التى تكون فيها الدقائق فى مدى الرؤية المجهرية، كما تشاهد بوضوح فى كثير من الأنواع الصغيرة من البكتريا متى علقت فى الماء. وفى غرويات الصلب فى الغاز مثل دخان السجائر تشاهد الدقائق المنتشرة فى حركة براونية قوية جداً. وكثيرا ما تشاهد الدقائق الموجودة فى بروتوبلازم الفطريات اللزجة وبعض أنواع أخرى فى حركة براونية يمكن رؤيتها بوضوح تحت المجهر وقد شاهد المؤلف ذلك فى هيفات الفطر *Rhizoctonia solani*. أما بالنسبة لدقائق كتلة معينة فإنه كلما صغر حجم هذه الدقائق عظمت سعة حركتها البراونية. وعلى العموم فإن هذه الظاهرة تبدو فى دقائق الغرويات الكارهة للماء أكثر وضوحا منها فى الغرويات المحبة للماء، ومن العوامل الهامة التى تتحكم كذلك فى السرعة التى تتحرك بها الدقائق المنتشرة لزوجة الطور السائل، إذ أنه كلما كان السائل أكثر لزوجة كانت حركة الدقائق

أكثر بطأً .

وتنشأ الحركة البراونية نتيجة النشاط الحركي لجزيئات المذيب. بل إن أصغر الدقائق التي يمكن مشاهدة الحركة البراونية فيها تكون كبيرة جداً بالنسبة لحجم جزيئات المذيب التي ترتطم بها. وتعرض كل دقيقة معلقة فى سائل كالماء لضربات مستمرة تنهال عليها من جزيئات الماء. وإذا كانت الدقيقة كبيرة نسبياً تعرضت فى أية لحظة من كل جانب لضربات جزيئات عديدة تتحرك فى جميع الاتجاهات الممكنة وبمختلف أنواع السرعة. ولذلك فأن هذه الاصطدامات العديدة تضاد بعضها إلى حد كبير فلا تتحرك الدقيقة إلا قليلاً أو لا تتحرك على الإطلاق. أما إذا كانت الدقيقة أصغر حجماً فالنتائج تختلف كل الاختلاف، إذ يهاجمها فى أى لحظة عدد أكبر كثيراً من جزيئات الماء فى أحد الجهات، وبذلك لا تصبح القوى الناتجة متوازنة. ويكون المجموع الكلى لتأثير الضربات التي تتعرض لها الدقيقة على أحد الجوانب أكبر من تأثير الضربات على أى جانب آخر. ومن ثم تتحرك الدقيقة. وفى اللحظة التالية قد تتعرض الدقيقة لقوة دفع أكبر من اتجاه آخر، فيتغير مجرى حركتها. وبهذه الطريقة تنشأ حركات الدقائق المعلقة الصادرة على غير هدى، وهى المعروفة بالحركة البراونية. وتؤدى زيادة درجة الحرارة إلى زيادة معدل الحركة البراونية بسبب ازدياد الطاقة الحركية لجزيئات المذيب. وهذه الظاهرة هى أقرب الوسائل التي أتاحت لنا الدليل الفعلى المشاهد على صحة نظرية حركة المادة، وهى تكاد تعرض أمام أعيننا «رقص الجزيئات» على حقيقته.

### طرق تخضير الغرويات :

يمكن تخضير كل المواد تقريباً فى صورة غروية ما دام من الممكن الوصول بحجم دقائق المادة إلى حجم يتراوح بين ١ ملليمكرون - ٢٠٠ ملليمكرون. ويوجد تبعاً لذلك طريقتان لتخضير المواد بصورة غروية:

١- طريقة التجزئ dispersion method : وهى أن نبدأ بالمادة الصلبة ونجزئها حتى نصل إلى الحالة الغروية.

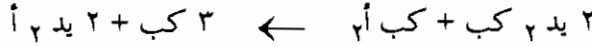
٢- طريقة التجميع condensation method : وهى أن نبدأ بدقائق المادة فى صورة أيونات أو جزيئات محاليل حقيقية مثلاً، ونرتفع بحجمها إلى نطاق حجم دقائق الغرويات. ويستعان فى هاتين الطريقتين بوسائل عديدة كالحرارة أو الضوء أو الكهرباء أو التفاعلات الكيماوية أو العمليات الميكانيكية.

ومن أمثلة طريقة التجزئ ما يستخدم فيها طواحين خاصة لسحق المادة الصلبة إلى دقائق لها

الحجم المطلوب. وقد يكون الطحن ميكانيكى بآلات الطحن الميكانيكية أو يتم فيها الطحن بواسطة الهواء المضغوط الذى يدخل من فتحات خاصة بضغط ١٠٠ رطل على البوصة المربعة.

ومن أمثلة طريقة التجميع تخضير غروى أزرق بروسيا (حديدوز سيانور الحديدىك) وذلك بخلط محلول كلوريد الحديدىك مع محلول من حديدو سيانور البوتاسيوم. تستخدم طريقة التجميع أيضاً فى عمل الكبريت الغروى والذى يوجد منه صورتين أو حالتين.

توجد صورتين من الكبريت الغروى أحدهما محبة للماء hydrophilic وتخضر بتمرير كبريتيد الأيدروجين فى محلول مشبع من ثانى أكسيد الكبريت فى الماء:



ويكون الجزء الأكبر من الكبريت فيه على هيئة معلق عروى. والصورة الأخرى من الكبريت الغروى هى غير محبة للماء hydrophobic وتخضر بتحميض محلول الجير بواسطة حمض الكبريتيك أو الأيدروكلوريك، وتميل هذه المعلقات غير المحبة للماء للتجميع والترسيب وهذه الخاصية غير مرغوب فيها. ظهرت فى الأسواق مستحضرات تجارية من الكبريت الغروى تستعمل فى مقاومة الأمراض الفطرية مثل كولوفوج kolofog الذى يصلح تطبيقه رشاً وهو عبارة عن غروى الكبريت والبنتونيت colloidal - bentonite sulphur ، كما يوجد أيضاً مستحضرات أخرى مثل كولوفورم koloform وكولوتكس kolotex وكولودست kolodust وهذه جميعاً تصلح لتطبيقها سواء بطريقة الرش أو التعفير.



## الباب السابع الادمصاص (الامتزاز)

### Adsorption

يعرف ميل الجزيئات أو الأيونات إلى الإلتصاق على أسطح المواد الصلبة أو السائلة بالادمصاص adsorption ولذلك يمكن أن تسمى بالتجمع السطحي. ولما كانت هذه هي ظاهرة أسطح surface phenomenon لذلك فإن السعة الإدمصاصية adsorptive capacity تتوقف على كمية الأسطح المعرضة وأيضا على الطبيعة الكيميائية للمكونات المشتركة.

وهي إحدى الظواهر الطبيعية التي تتميز بها المحاليل الغروية تحدث نتيجة للمساحة السطحية الشاسعة لمكونات المحلول الغروي. ويمكننا أن نتصور ذلك إذا اعتبرنا المساحة السطحية لمكعب طول ضلعه ١ سم وهي تبلغ ٦ سم<sup>٢</sup>. فإذا جزأنا هذا المكعب إلى مكعبات طول ضلع كل منها ١ ملليمتر لحصلنا على ١٠٠٠ مكعب مساحتها السطحية ١٠ أمثال المساحة السطحية للستيمتر المكعب، ولما كانت أقطار الدقائق الغروية تتراوح بين ١ - ٢٠٠ نانومتر فيمكن أن نتصور مقدار المساحة السطحية لهذه الدقائق والسعة الأدمصاصية في المحلول الغروي ودقائقه (شكل ٣٣ ب).

وتفسير ذلك بالنسبة للطاقة فأن الجزيئات السابقة عند تجزيها تحتاج إلى طاقة لتكسيروها وحيث أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث بل تتحول من صورة إلى أخرى وهو من القوانين الهامة في الديناميكا الحرارية لذلك فأن الجزيئات الناتجة تأخذ جزء من الطاقة المستعملة في تكسيروها وتصبح هذه الطاقة كامنة في الجزيئات.

تسمى سطوح التلامس بين صلب وسائل سطوح بينية وتسمى كذلك أيضا في حالة سائلين لا يمتزجان ويطلق هذا الاصطلاح أيضا على سطوح الأتصال بين الدقائق الغروية والسائل الذي تنتشر فيه. المساحة السطحية البينية في النظم الغروية هائلة بالنسبة للكتلة الفعلية للمادة المنتشرة. ترجع بعض خواص النظم الغروية التي هي على جانب عظيم من الأهمية إلى مساحتها السطحية البينية. تعتبر لفظ السطوح البينية interfaces لفظ دقيق لهذه الحالة ولكن للسهولة في هذا الجزء وفي المراجع المختلفة يطلق عليها السطح وعندما نذكر مساحة السطوح يعني ذلك مساحة السطوح البينية. وفيما يلي شرح لتجربة توضح حدوث الأدمصاص. نذيب مقدارا مناسباً من صبغة أزرق الميثيلين في الماء لنحصل على محلول تركيزه ٠,٥ في المائة تقريبا. يرشح قليل من هذا المحلول خلال ورقة الترشيح الموجودة في القمع ويستقبل الراشح في أنبوبة إختبار. يلاحظ مرور

ونفاذية دقائق أزرق الميثيلين مع الماء خلال ورق الترشيح لأن دقائق أزرق الميثيلين أصغر في حجمها من مسام ورق الترشيح. يضاف بعض من مسحوق الفحم الحيواني إلى محلول أزرق الميثيلين المتبقى في أنبوبة الاختبار ثم ترج وتترك لمدة خمسة دقائق بعدها ترشح المحتويات ويستقبل الراشح في أنبوبة اختبار أخرى. نجد أن الراشح في أنبوبة الاختبار سائل شفاف عديم اللون هو عبارة عن الماء المذاب فيه أزرق الميثيلين. وفي هذه الحالة عند إضافة حبيبات الفحم الحيواني إلى محلول أزرق الميثيلين والرج فإن دقائق أزرق الميثيلين تدمص أى تتجمع سطحياً على حبيبات الفحم الحيواني وذلك نظراً لكبير السطح النوعي له أى مساحة السطح. وعند الترشيح تحتجز حبيبات الفحم الحيواني بما عليها من دقائق أزرق الميثيلين المدمصة عليها على سطح ورق الترشيح نظراً لكبير حجم حبيبات الفحم الحيواني ويكون الراشح الناتج هو الماء الذى أذيب فيه أزرق الميثيلين. يحدث الأدمصاص لأنه قوى الجذب بين حبيبات الفحم الحيواني وأزرق الميثيلين أكبر من قوى التجاذب بين دقائق أزرق الميثيلين والماء وأيضاً لأن جزيئات الماء تتجاذب مع بعضها البعض بقوة تزيد على قوة تجاذبها مع دقائق أزرق الميثيلين. يمكن عند صب كحول الإيثيل على الفحم على ورق الترشيح فنجد أن جزء كبير من جزيئات أزرق الميثيلين أو أغلبها يذوب من جديد في الكحول ويصبح الكحول الراشح أزرق اللون ومن ذلك يتضح أنه قوى الجذب بين جزيئات الكحول وجزيئات أزرق الميثيلين أكبر من قوى الجذب بين جزيئات الفحم وأزرق الميثيلين.

أما عن قوى الجذب في حالة الأدمصاص فهي كثيرة فقد تكون لوجود الشحنة والتجاذب بين الشحنات المختلفة أو نتيجة لوجود فراغات صغيرة ودقيقة جداً على السطح البينى تسمح بدخول الجزيئات المدمصة إلى هذه الفراغات. والتجمع السطحي أى الأدمصاص عبارة عن تركيز للجزيئات عند سطح بينى كذلك الذى يحدث لجزيئات أزرق الميثيلين عند السطح البينى للكربون والماء. وهى ظاهرة شائعة الحدوث جداً عند كل أنواع السطوح البينية. والتجمع السطحي للجزيئات الغازية على سطوح المواد الصلبة والغازات ظاهرة مألوفة. وقد تتجمع الذائبات عند السطوح البينية لصلب وسائل، أو لسائل وسائل، أو لسائل وغاز. وكذلك تتجمع سطحياً جزيئات المذيب، مثل جزيئات الماء، عند أنواع معينة من السطوح البينية. ومن المرجح حدوث التجمع السطحي على نطاق شامل عند السطوح البينية للنظم الغروية. وتجذب جزيئات السطح المجمع فى العادة مجموعات ذرية معينة فى الجزيئات المتجمعة بقوة تفوق جذبها لغيرها من المجموعات، الأمر الذى يؤدي إلى ترتيب الجزيئات المتجمعة ترتيباً منتظماً إلى حد ما عند الحدود السطحية البينية. وهذا الترتيب للجزيئات المتجمعة يسفر عادة عن زيادة إحكام تراصها وهو عامل هام فى التعليل لزيادة تركيزها فى السطح البينى عن تركيزها فى الوسط المحيط. وليست الجزيئات المتجمعة سطحياً ساكنة ولكنها ذات نشاط حركى دائم على قلته. وتكون الجزيئات المتجمعة عند السطوح البينية اثناناً حركياً مع جزيئات

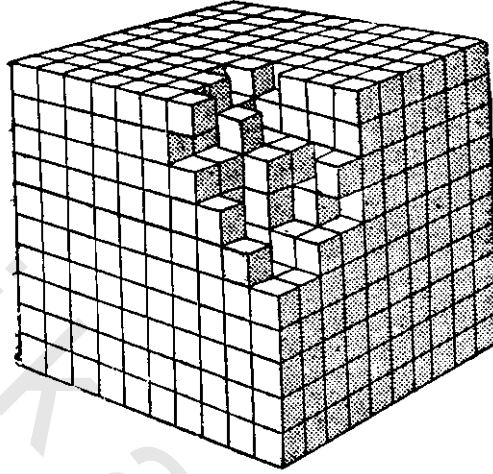
النوع نفسه الموجود فى جرم النظام. ويتحقق الاتزان التجمعى عندما يتعادل عدد الجزئيات المتجمعة التى تغادر السطح البينى فى وحدة من الزمن مع عدد ما يدخله من جزئيات. وعندما يحدث التجمع السطحى من سائل يحتوى على كثير من الذائبات، كما هى الحال بالنسبة لمعظم السوائل الأحيائية، فإن جميع الذائبات تتجمع بدرجة تتفاوت قلة وكثرة حسب خواصها النوعية بالنسبة للسطح المجمع لها. على أنه بوجه عام لا يتجمع أى ذائب فى مثل هذه الظروف تجمعا سطحياً كاملاً كما لو كان موجوداً وحده.

ويجوز، تحت ظروف معينة، إدراك حالات من الاتزان يكون فيها تركيز واحد أو أكثر من مكونات نظام ما عند سطح بينى أقل من تركيزها فى الوسط المحيط. وتعتبر مثل هذه الاتزانات بمثابة لتجمع سطحى سالب. والتجمع السطحى السالب ظاهرة تقل فى شيوعها كثيرا عن التجمع السطحى الموجب.

والأدمصاص من العمليات الهامة فى التفاعلات الكيميائية الحيوية التى تحدث فى النبات وخاصة فيما يتعلق بالمواد الغروية مثل البروتوبلازم حيث أن البروتوبلازم محلول غروى مثالى وأيضاً الأنزيمات وجدر الخلايا ودقائق التربة التى يعيش فيها النبات. ومن أمثلة ذلك عند صبغ الكروموسومات فإنها تظهر ملونة تبعاً لنوع الصبغة ولونها وهذه الحالة عبارة عن أدمصاص الصبغة على الكروموسومات ومنها أشتق أسم الكروموسومات chromo أى ملون somes أى أجسام أى الأقسام الملونة chromosomes أى الكروموسومات. يوجد كثير من حبيبات التربة فى حالة غروية ولذلك فإن قدرتها على الأمتزاز أى الأدمصاص كبيرة. هذا وتمتاز الدقائق الغروانية فى التربة عدة أيونات مثل أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والصوديوم على الأسطح التى تفصل بين هذه الدقائق ومحلول التربة. ويتوقف تركيز ونوع هذه الأيونات على كيمياء التربة ذاتها. وهذه الأيونات القاعدية الممتازة يمكن أن تحل محلها أيونات الأيدروجين التى تنتج عن العمليات الحيوية كالنفس فى الجذور الذى ينتج عنه حامض الكربونيك، أو الأحماض التى تنتجها كائنات التربة الدقيقة. وعند حلول الأيدروجين محل تلك الأيونات القاعدية تنطلق فى التربة وتصبح ميسورة لتغذية النبات، وعملية الأحلال هذه تعرف بعملية «التبادل القاعدى» base exchange التى تلعب دوراً ملحوظاً فى التغذية المعدنية للنبات وفى خصوبة التربة.

ومن الجدير بالذكر أيضاً أن أول خطوة لعملية الأمتصاص التى يقوم بها النبات وهى أمتصاص الماء والعناصر الذائبة هى الأدمصاص على سطح جذور النبات ثم تحدث عملية الأمتصاص.

تستخدم أيضاً ظاهرة الأدمصاص فى فصل المركبات عن بعضها فى بعض طرق التحليل الدقيق وذلك فى بعض أنواع خاصة من الفصل الكروماتوجرافى chromatography.



(شكل ٣٣ ب) مكعب تم تجزيته إلى ألف مكعب صغير.

## الباب الثامن

### التشرب Imbibition

قد تشرب المواد الماء، سواء كان في حالة سائل أو بخار. ومن الأمثلة المألوفة لهذه الظاهرة انتفاخ الأبواب وأشغال التجارة أثناء الطقس الرطب وأيضا الأجزاء النباتية، إذا قل محتواها المائي بدرجة كبيرة، فإنها تشرب بخار الماء. وفي العادة يختلف المحتوى المائي للبذور الجافة باختلاف تركيز البخار في الهواء الجوى، فيرتفع بزيادة البخار، والعكس صحيح. يحدث التشرب فى الأنسجة الحية والأنسجة الميتة والمركبات المختلفة وغيرها من أوراق الترشيع والنشاف والخشب وغيرها..

#### ديناميكية التشرب

يعتبر التشرب عادة عملية أساسها الانتشار، ولكن ربما تشترك فى هذه العملية أيضا الخاصية الشعرية. فعالبا ما تتخلل المواد التى تشرب الماء أنابيب شعرية مجهرية، ومن المستحيل تقدير ما يدخل من السائل عن طريق الانتشار، وما يدخل منه فى هذه الثقوب غير المرئية عن طريق الحركة أو الخاصية الشعرية. والسبب الأساسى فى حدوث عملية التشرب هو الفرق فى الضغط الانتشارى للسائل فى الوسط الخارجى وفى المادة المتشربة. فما دام الثانى أقل من الأول، فإن الماء يستمر فى حركته نحو المادة المتشربة. ولا تتم حالة الأتزان، كما فى الانتشار والظواهر الأسموزية، إلا إذا تساوت قيمتا الضغط الانتشارى للماء فى الوسط الخارجى والمادة المتشربة.

ولذلك يمكن أن يقال أن التشرب هو إحدى صور أنتشار الماء فى النبات وأن محصلة تحرك الماء أى اتجاه حركة الماء تتبع منحدر الانتشار وتكون على طول تدرج الانتشار أى من حيث الماء أكثر تركيز إلى المكان الذى به الماء أقل تركيز. ولكن يختلف الانتشار عن الأسموزية فى أنه يحدث فى حالة التشرب تجتمع سطحى للماء أى أدمصاص للماء على سطح المادة المتشربة.

ولكى يحدث التشرب لا بد من توفر ما يأتى:

- 1- تدرج فى الجهد المائى بين سطح المادة المتشربة والسائل القابل للتشرب .
- 2- لا بد من وجود قابلية للأمتزاج أو التلامس بدرجة معينة وبشكل معين certain affinity بين سطح المادة المتشربة أو مكونات المادة المتشربة والسائل القابل للتشرب وقد تكون الجاذبية هى تجاذب بين شحنات موجبة وسالبة. ويمكن توضيح ذلك بأن المواد التى تشرب سائل معين قد لا تشرب سوائل أخرى ويمكن أن يكون العكس صحيح أيضا ومثال ذلك أحد الطحالب البحرية وهى طحلب الكلب kelp . وجد أن الساق الجافة (السويقة) لهذا الطحلب تنتفخ بشدة عندما تغمس فى الماء ولكنه لا ينتفخ إذا غمس فى الأثير أو السوائل العضوية الأخرى. وبالعكس، لا

تشرب قطعة من المطاط الماء ، ولكنها تشرب كمية لا بأس بها من الأثير والمركبات العضوية الأخرى إذا لامستها، سواء كانت هذه المركبات فى حالة سائلة أو فى حالة غازية. يتضح من ذلك أن عملية التشرب لا تتطلب فقط وجود فرق فى الضغوط الانتشارية للسائل فى المادة المتشربة وفى الوسط المحيط بها أى تدرج فى الجهد المائى، بل يلزم أيضاً وجود قوى تجاذب ثابتة بين جزيئات المادة المتشربة وبين السائل الذى تشربه هذه المادة. فإذا لم توجد مثل هذه القوى، فإن عملية التشرب لا تحدث حتى ولو توافرت كل الشروط الضرورية الأخرى لها. وحيث إنه فى الكائنات الحية يعتبر الماء هو السائل الوحيد الذى تشربه هذه الكائنات ولذلك فإن الشرح كله يتناول التشرب بالماء.

### تغيرات الحجم فى عملية التشرب دليل على حدوث الأدمصاص:

يزيد دائماً حجم المادة المتشربة أثناء عملية التشرب. والحجم النهائى لكل النظام ( السائل + المادة المتشربة) يقل، دائماً، عن مجموع حجم السائل والمادة المتشربة فى البداية. أو بعبارة أخرى، فإن انكماشاً يحدث فى حجم النظام المكون من السائل +المادة المتشربة أثناء عملية التشرب. وهذا الانكماش فى الحجم لا يرجع أساساً، كما قد يظن، إلى شغل السائل للفجوات الدقيقة التى توجد داخل كتلة المادة المتشربة، بالرغم من أنه فى بعض النظم ، قد يفسر جزء من انكماش الحجم بهذه الوسيلة. والتفسير الذى لا يتطرق إليه الشك هو أن هذه الحقيقة تعزى إلى أن جزيئات الماء التى تتجمع تجمعاً سطحياً تتجه اتجاهها معينة بالنسبة للسطوح التى تتجمع عليها، وعلى ذلك فهذه الجزيئات تشغل حيزاً أقل مما لو كانت فى حالة حرة طليقة. وذلك دليل على حدوث الأدمصاص على الأقل فى بعض حالات التشرب. يزداد الحجم النهائى للمادة المتشربة فقد تشرب السويقة الجافة لطحلب الكلب الماء خمسة عشر ضعف وزنها الجاف. وأيضاً جميع البذور عند الأنبات تشرب الماء وتتفخ بدرجة كبيرة وملحوظة ويمكننا بسهولة ملاحظة هذه الحقيقة بوضع بذور جافة هوائياً فى مخبر مدرج محتوى على ماء، ثم يقرأ الحجم الإبتدائى، ثم تقارنه بحجم النظام بعد إنتهاء التشرب والسبب فى هذا الإختلاف فى الحجم يرجع إلى أن جزيئات الماء تدمص على أسطح المادة الغروية الموجودة فى المادة الإدمصاصية وتلتصق بها بشدة. وبالتالي فإنهما يلتصقان مع بعضهما بشدة والنتيجة تكون نقص فى حجم الماء فى المخبار. ويمكن أن ينشأ ضغط هائل لو أن المادة المتشربة تحبس داخل حيز ضيق ثم يسمح لها بتشرب الماء. فعلى سبيل المثال خابور الخشب الجاف الذى يوضع فى حفر صغيرة الحجم بين الصخور فى الجبال ثم يسقى بالماء فينتج عن ذلك ضغط هائل يؤدي إلى تكسيرالصخور. هذه الصورة لتقطيع الأحجار كانت تستخدم فى الماضى حيث استخدمها قدماء المصريين فى كسر وشرخ الصخور ويعتبر قدماء المصريين أول الشعوب التى أكتشفت هذه الخاصية.

## التشرب وإنبات البذور:

تظهر مواد النبات الجافة سالبية شديدة جدا للجهود المائية. على سبيل المثال بعض البذور الجافة قد أظهرت جهد مائي يساوى - ٩٠٠ بارز، وبالتالي عند وضع هذه المادة فى ماء نقى فينشأ إنحدار شديد فى تدرج الجهد المائى ويتحرك الماء على أسطح المادة الإدمصاصية. وعند استمرار إدمصاص الماء يصبح الجهد المائى أقل سالبية حتى يتساوى ذلك فى النهاية مع الماء الخارجى نظرياً، وعند هذه النقطة ينشأ الاتزان ويتوقف التشرب وتحرك الماء من وإلى المادة الإدمصاصية يكون متساوياً فى الكمية.

توجد كميات ملحوظة من المواد الغروية فى كلا من الخلايا الحية والميتة النباتية، فالبروتينات والبيبتيدات العديدة غرويات محبة للماء - وهذا يعنى أن لها جذب شديد قوى للماء، بالإضافة إلى احتواء الخلايا النباتية لكمية كبيرة من الكربوهيدرات فى صورة سليلولوز ونشا والتي إليها ينجذب الماء بشدة. إدمصاص الماء على أسطح تلك الغرويات المحبة للماء لها أهميتها الكبيرة لعملية التشرب. فالبذور التى تحتوى على مواد غروية عالية تكون مثلاً جيداً للمادة القادرة على عمل الأدمصاص. وفى الحقيقة فإن الماء اللازم لإنبات البذور يتم خلال عملية التشرب. والجهد للنظم الحيوية يكون أكثر سالبية بوجود تلك المواد القادرة على الأدمصاص أو مواد الارتباط بالماء-water binding materials إلى تلك المواد أو إلى القوى التى تولدها فقد أقترح جهد الأدمصاص  $(\psi/m)$  matric . وكما هو متوقع فإن الجهد المائى لمكونات النبات الجاف مثل البذور يكون سالبا تماماً .

## جهد الأدمصاص Matric potential

جهد الأدمصاص هو نظير للجهد الأزموذى من حيث أنه يعطى أقصى ضغط والذى تظهره المادة الإدمصاصية لو غمست فى الماء النقى . والضغط الفعلى الذى يتولد عند تشرب الماء ربما يعتقد أنه مماثل لضغط الإمتلاء (جهد الضغط pressure potential) . ومع هذه الحقائق التى يجب أن تؤخذ فى الاعتبار يمكننا إستنتاج المعادلة التالية:

هذه المعادلة بالطبع مشابهة لتلك المستخدمة فى النظم الأزموذية، حيث أن جهد الماء يساوى الجهد الأزموذى زائد (+) ضغط الإمتلاء. نذكر أن جهد الأدمصاص دائماً سالب. ولا ينشأ ضغط إمتلاء عندما تكون المادة الإدمصاصية حرة والمعادلة السابقة تحت هذه الظروف يمكن تبسيطها إلى:

وجهد الأدمصاص للبذور الجافة هوائياً مثل الشبيط cocklebur ربما تقترب من - 1000 بارز وبعد إنتهاء التشرب فإن الجهد المائى الخارجى والداخلى يكون صفراً. إلا أننا إذا غمسنا بذور محتوية على ماء له جهد مائى = - 500 بارز فى محلول ص كل له جهد أزموزى = - 50 بارز (الجهد المائى يساوى - 50 بارز) فإن الجهد المائى لماء البذور عند الإتران سوف يكون - 50 بارز، وكما هو الحال فى النظم الأزموزية، فإن الجهود المائية تميل للإتران.

### علاقة الطاقة بعملية التشرب:

ينتج عن عملية التشرب أنطلاق للطاقة فى صورة حرارة. ويمكن بسهولة الكشف عن هذه الطاقة الحرارية المنطلقة وذلك بالسماح للنشا الجاف أو لبعض المواد الأخرى التى لها قدرة كبيرة على التشرب بتشرب الماء بعد وضعها فى مسعر حرارى calorimeter وملاحظة التغير فى درجة الحرارة (جدول ١).

(جدول ١): كمية الحرارة الناتجة من عملية تشرب النشا الجاف للماء

كمية الحرارة المنطلقة جرام - سعر لكل جرام نشا	النسبة المئوية للماء المتشرب
٢٨,١١	٠,٢٣
٢٢,٦٠	٢,٣٩
١٥,١٧	٦,٢٧
٨,٤٣	١١,٦٥
٥,٢١	١٥,٦٨
٢,٩١	١٩,٥٢

وينجم عن تجمع جزيئات الماء تجمع سطحى أى أدمصاص فى عملية التشرب أن تفقد جزءاً كبيراً من طاقتها الحركية، التى تظهر على هيئة طاقة حرارية. وفى عملية التشرب يحدث تغير جوهري فى الطاقة، فالجزيئات التى تدمص أى تتجمع تجمعا سطحياً تفقد بعض من طاقتها الحركية، وهذا الفقد فى الطاقة فى صورة حرارة هى التى تسبب ارتفاعاً ملحوظاً فى درجة الحرارة. وكما هو مبين فى الجدول. يصحب الأطوار الأولى من عملية التشرب انطلاق الجانب الأكبر من الطاقة الحرارية حيث أن درجة أنصاق جزيئات الماء بالمادة القابلة للتشرب وهى النشا فى هذه



الحالة تقل تدريجياً كلما زادت كمية الماء المتشربة. ففي البداية تكون جزئيات الماء ملتصقة بشدة كبيرة بجزئيات النشا وهكذا تقل شدة الألتصاق تدريجياً كلما زادت كمية الماء وبالتالي تقل وحدة الطاقة الحرارية المنطلقة بالنسبة للماء لكل وحدة من المادة القابلة للتشرب أى النشا.

### العوامل المؤثرة على سرعة التشرب ودرجة التشرب:

تأثر سرعة ودرجة التشرب بالحرارة والجهد الأسموزى للمادة المتشربة. لا تؤثر الحرارة على كمية الماء فى التشرب ولكن لها تأثير واضح على سرعة التشرب فكلما زادت درجة الحرارة كلما زادت سرعة التشرب حتى حد معين بالطبع فسرعة التشرب فى بذور الشبيط بالماء تزداد بزيادة درجة الحرارة فهى تزداد من خمسة إلى عشرون إلى خمسة وثلاثون درجة مئوية أى فى الدرجة الأخيرة يكون التشرب أكبر ما يمكن بالمقارنة فى التشرب فى درجتى الحرارة السابقتين. ويكون التشرب فى هذه الحالة أقل ما يمكن فى درجة ٥ مئوية.

تأثر كل من كمية الماء المتشرب ومعدل التشرب بالجهد الأزموزى للمادة المتشربة وإضافة المذاب للماء النقى يسبب سلبية أكثر للجهد المائى. هذه الإضافة لها تأثير مغير للتدرج فى الجهد المائى بين ماء المحلول والبذور. تدرج الجهد المائى أقل إنحداراً عما إذا غمست المادة الإدمصاصية فى ماء نقى. وبالمثل النقص فى تدرج الجهد المائى سوف ينسب نقص فى المعدل الذى فيه يتشرب الماء، وبالتالي الكمية المأخوذة من الماء. توضح البيانات فى (جدول ٢) تأثير الجهد الأزموزى على التشرب فى بذور الشبيط الجافة هوائياً.

(جدول ٢): تشرب بذور نبات الشبيط للماء عند غمرها في محاليل

تختلف في ضغوطها الأسموزية

كمية الماء التي تشربها الذور عند حالة الإتزان (٢٤ ساعة) كنسبة مئوية لوزنها الجاف في الهواء	الضغط الأسموزي للمحاليل بالضغوط الجوية	تركيز المحاليل بالجزئيات الجرامية الحجمية
٥١,٥٨	٠,٠	ماء
٤٦,٣٣	٣,٨	٠,١ ج ص كل
٤٥,٥٢	٧,٦	٠,٢
٤٢,٠٥	١١,٤	٠,٣
٤٠,٢٧	١٥,٢	٠,٤
٣٨,٩٨	١٩,٠	٠,٥
٣٥,١٨	٢٢,٨	٠,٦
٣٢,٨٥	٢٦,٦	٠,٧
٣١,١٢	٣٠,٤	٠,٨
٢٩,٧٩	٣٤,٢	٠,٩
٢٦,٧٣	٣٨,٠	١
١٨,٥٥	٧٢,٠	٢
١١,٧٦	١٣٠,٠	٤
٦,٣٥	٣٧٥,٠	(لث كل) مشبع
٠,٢٩ -	٩٦٥,٠	(ص كل) مشبع

والقاعدة العامة التي يمكن استخلاصها من نتائج هذه التجارب أنه بأنخفاض الجهد المائي للمحلول الذي تغمس فيه البذور، تنقص كمية الماء التي تشربها وحدة وزنية من هذه البذور إذا ما بلغت حالة الاتزان.