قسم علوم الحياة- كلية العلوم – جامعة البصره

فسلجة النبات Plant Physiology
ب 412 المرحلة الرابعه

أعداد:أ.د. عبد المنعم حسين علي
أ.م.د. ساجده ياسين سويد

1442هـ-2021م

فسلجة النبات Plant Physiology / المرحلة الرابعه ب 412

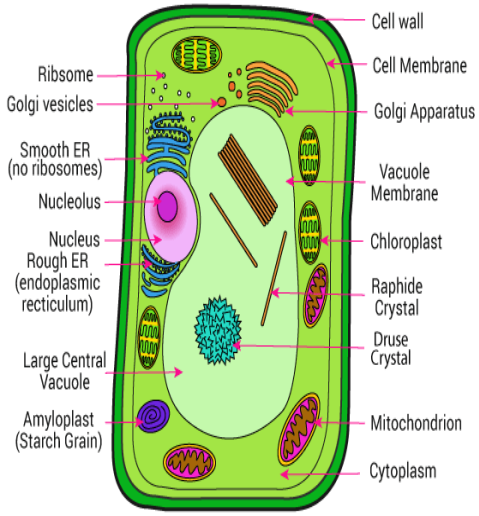
العلاقات المائية Water Relations

الماء والخلية النباتية

ماهي الخلية النباتية ؟؟؟

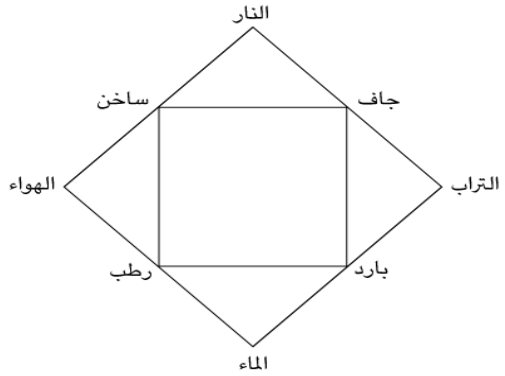
الخلية النباتية هي عبارة عن خلايا حقيقية النواة لها نواة حقيقية جنبًا إلى جنب مع تراكيب متخصصة تسمى العضيات التي تؤدي وظائف محددة " لكن اهم مايميزها عن الخلايا الاخرى هو وجود جدار خلوي خارج غشاء الخلية. والخلايا النباتية سواء كانت بالغه او شبه بالغه فانها تتكون مما يلي:

- جدار الخلية Cell Wall وهو عباره عن غلاف صلب يحيط بالخلية ويحمي مكوناتها الداخلية . ويتكون جدار الخلية من الياف السيليلوز والذي يكون بنسبة عالية وهو قابل للتمدد والتوسع والنمو ولكن تقل قابليته للتمدد كلما زاد عمر الخلية . ويسمح جدار الخلية بمرور المواد وخروجها الا انه لايتحكم بها وتكون وظيفته الاساسية وظيفة ميكانيكية
- غشاء الخلية Cell membrane أو (Ectoplast) هوغشاء حي معقد التركيب مرن يبطن جدار الخلية من الداخل و يسمى غشاء الخلية ايضا بالـــ Plasmalemma وهو مصطلح مكون من كلمتين plasma وتعني بلازما والـlemma وتعني قشرة او Husk يحيط الغشاء الخلوي بالسايتوبلازم ويسيطر على نفاذية الخلية فيسمح بمرور بعض المواد ويمنع الاخرى لذلك فهو غشاء نفاذ اختياري Differentially Permeable يتمدد هذا الغشاء المحيط بالخلية بسهولة عند تشرب الخلية بالماء ولكن جدار الخلية الصلب يحدد تمدده
- السايتوبلازم Cytoplasm يوجد الى داخل غشاء الخلية مادة هلامية غروية تعرف بالسايتوبلازم وتطفو فيه جسيمات كثيرة منها المايتوكوندريا Mitochondria والبلاستيدات Plastids واجسام كولجي Golgi apparatus والنواة Nucleus والرايبوسومات Ribosomes والفجوات Vacuoles وتشغل الفجوات الجزء الاكبر من حجم الخلية البالغه يحيط بالفجوه غشاء يشابه الغشاء الخلوي يسمى بالـ Tonoplast.



أهمية الماء للنبات The importance of water for plant:

يعتبر الماء احد العناصر الاربعة الاساسية التي خلقت منها الأشياء حسب نظر الفيلسوف اليوناني أرسطو طاليس والتي هي: الارض والهواء والنار والماء.



يشكل الماء نسبة كبيرة من وزن النبات الطري فنسبة الماء تختلف من نسيج الى اخر وتختلف من نبات الى آخر الا انه على العموم يشكل 80-90% من وزن النبات النامي ويقل في البذور ليصل الى 5-12%. يفقد النبات كميات كبيرة من الماء بصورة يومية بعملية النتح ففي نبات الذره يقدر كمية الماء المفقوده خلال فترة نمو النبات بحوالي 54 غالون اي مايقدر بـــ 204.41 لتر.

يحتاج النبات الماء خلال جميع اطوار نموه ابتداءا بالبذره التي لاتنبت الابوجوده وانتهاءا بالنبات الكامل الذي يحتاج الماء في عملية البناء الضوئي كمصدر لالكترونات اللازمه في اختزال ثاني اوكسيد الكاربون بالاضافه الى كونه محيط لكل الفعاليات الحيوية التي تحدث في الخلية هذا وبالماء يبقى النبات منتصبا والاوراق غضه معرضه لضوء الشمس

اما اهمية الماء في حياة النبات فيمكن ان تلخص بما ياتي:

- يكون الماء جزءا كبيرا من بروتوبلازم الخلية النباتية وتقف معظم الفعاليات الحيوية عندما يقل في الخلية
- مذيب عام لاغلب المواد الموجوده في الخلية وبدون ذلك يصعب الدخول في اي تفاعل حيوي
- يستخدم الهيدروجين الناتج من تحلل الماء مصدرا لاختزال ثاني اوكسيد الكاربون بعملية التمثيل الضوئي Photosynthesis
- بدون الماء يصعب توزيع الكربوهيدرات والهرمونات وغيرها من المواد في النبات
- يمثل الماء سلسلة متصلة تبدا بالتربة وتنتهي في الاوراق ثم الهواء وبهذه السلسلة يحصل النبات على الايونات المهمة في التغذية
- يعتبر الماء ماده هيدروليكية تحافظ على انتفاخ الخلية واتساعها واعطاء الشكل العام للنبات
- يعتبر الماء عاملا مهما في تبريد النبات والمحافظة عليه من ارتفاع درجات الحرارة

خواص الماء الفيزياوية والكيمايويه

أ- الخواص الفيزياوية

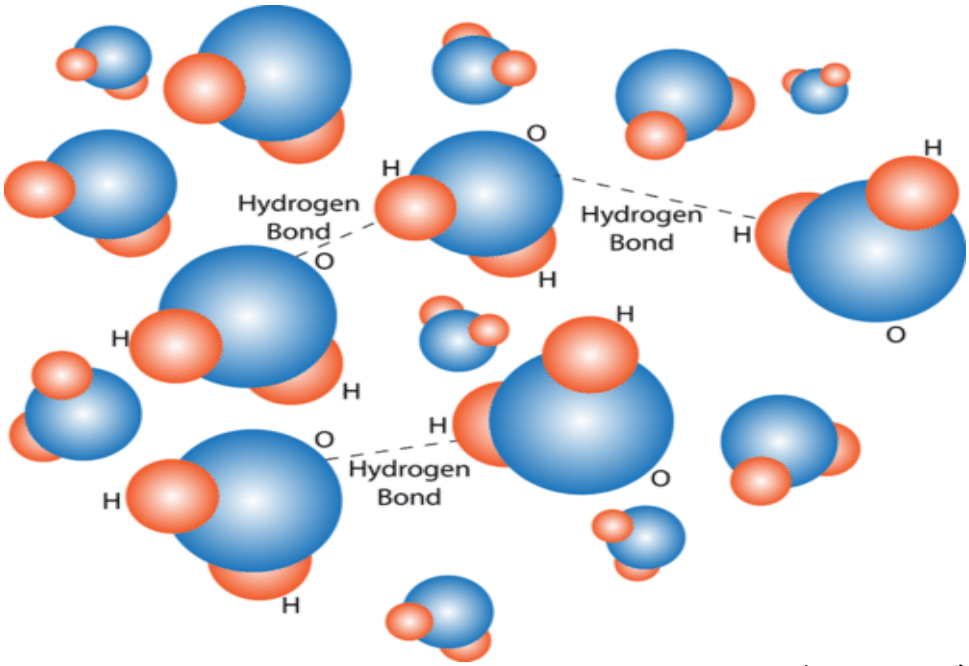
للماء خواص فيزياوية فريدة وله دور شبيه بدور الدم في اجسام الحيوانات وينطبق هذا الدور على جميع الكائنات الحية وليس في النبات فقط ولذا يعد العلماء او يسمي العلماء الماء بسائل الحياة ويتحرى علماء الفضاء دائما عن وجود الماء للاستدلال على وجود الحياة في اي كوكب ويمتاز الماء بالخصائص الفيزياوية التالية:

1- سائل في درجات الحرارة المختلفة :

ينفرد الماء عن باقي السوائل الاخرى كونه يكون سائل في معظم درجات الحرارة التي يكون فيها حياة ويمتاز عن باقي السوائل الاخرى بالرغم من صغر وزنه الجزيئي الذي يكون 18 بان درجة انجماده هي صفر درجه مئوية ودرجة غليانه هي 100 درجه مئوية.

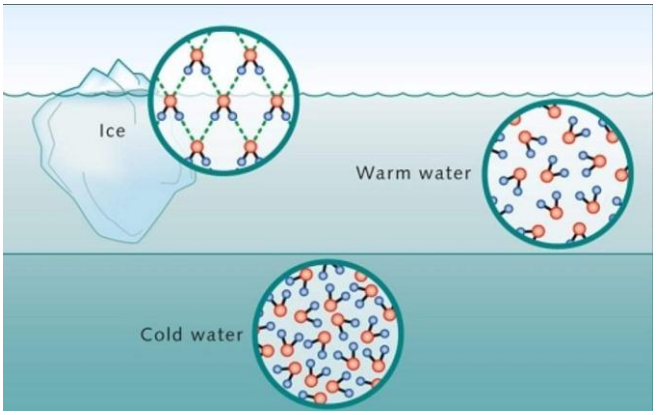
للماده ثلاث حالات هي **الحاله السائلة والصلبة والغازية** وهذه الحالات تتحدد بعاملين هما درجة الحرارة والوزن الجزيئي فاذا كان الوزن الجزيئي عالي فالماده اما تكون سائلة او صلبة وبعكسه فان الماده تكون اما بحالة السيولة او الغازية .

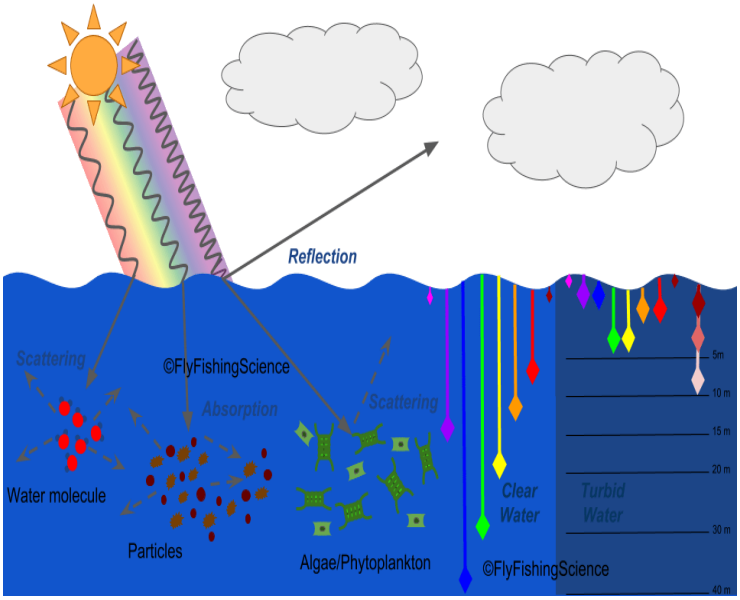
ومقارنة الماء مع باقي المواد يتبين ان للماء درجة ذوبان ودرجة غليان اعلى مما يتوقع من وزنه الجزيئي وهذا يعود الى ترابط جزيئات الماء مع بعضها البعض باصره هيدروجينية. فدرجة الغليان المرتفعه تعني ان طاقة كبيرة يجب صرفها لكسر الاصرة الهيدروجينية.



2- كثافة الماء وشفافيته

تصل معظم المواد الى اعلى كثافة لها عند درجة الانجماد، لكن يشذ الماء عن هذه القاعده فتصل اعلى كثافة له عند درجة 4 درجه مئوية ولهذه الخاصية اهمية بالغه للنباتات المائية والاحياء المائية الاخرى حيث يطفو الماء على السطح عند الانجماد تاركا الماء الاعمق بحالته السائلة.اما من حيث الشفافية فيعتبر الماء شفاف وقابل لنفاذ الموجات الضوئية وبذلك يسمح لنفاذ الضوء الى اعماق كبيره في المياه البحريه كما ان هذه الخاصيه مهمه بالنسبة للنباتات الارضية فلولا هذه الخاصية لما استطاع الضوء النفوذ الى خلايا النسيج المتوسط في الورقة.





3- الشد السطحي

الشد السطحي : هو مقدار الشغل الازم لزيادة المساحة السطحية للسائل بوحدة المساحة

التوتر السطحي هو التأثير الذي يجعل الطبقة السطحيّة لأي سائل تتصرف كورقة مرنة. والأشياء المعدنية الصغيرة كالإبر، أو أجزاء ورق القصدير من الطفو على الماء، ذلك التأثير الذي يسمح للحشرات بالسير على الماء وهوالمسبب أيضا للخاصيّة الشعريّة. وهو يتوقف على طبيعة المادة التي تشترك مع السائل بنفس السطح الهواء(ووحداته نيوتن لكل متر أو داين لكل سنتمتر).إن ظاهرة الشد السطحي هي التي تفسر لنا لماذا تطفو الأبرة المصنوعة من الحديد ولماذا يمكن لبعض الحشرات إن تمشي على سطح الماء.

من المعروف إن هنالك نوعين من القوى الجزيئية قوى التماسك و قوى التلاصق التماسك : هي قوة تجاذب بين جزيئات من نفس المادة اي جزيئات من نفس النوع . ومقدارها يعتمد على طبيعة الجزيئات والمسافة الفاصلة بينهما .إن قوى التماسك بين جزيئات السائل اقل بكثير مما هي في المواد الصلبة إما في الغازات تكاد أن تهمل تحت الظروف االعتيادية- 2 . قوى التالصق : وهي قوة تجاذب بين جزيئات مختلفة ويختلف مقدارها باختالف المواد فمثال قوة تالصق الصمغ مع الورق اكبر من قوة تالصق الماء مع الورق .

الشد السطحي أو التوتر السطحي كما ذكرنا هو خاصية سطح السائل إن يعمل كغشاء مشدود تقف عليه الحشرات وتطفو عليه الإبرة أو الشفرة الفلزية أو حتى قطعة نقدية مع أن كثافتها أكبر من كثافة السائل .

ويعرّف التوتر السطحي ايضا بأنه القوة المؤثرة عموديّا على طول خط عمل وحدة القوى عندما تكون هذه القوة موازية للسطح. ويقاس التوتر السطحي بوحدات نيوتن لكل متر($N \cdot m^{-1}$)، أو داين لكل سنتيميتر .وبالنسبة للديناميكا الحرارية يعرف التوتر السطحي على أنه الشغل المبذول لوحدة المساحه .

يعتمد التوتر السطحي على عاملين:

1. نوع السائل:
2. درجة الحرارة: إذا كان السائل في درجة غليانه فذلك سيؤدي إلى انعدام قوة التوتر السطحي. وبشكل عام كلما ارتفعت درجة حرارة السائل قل الشد السطحي للسائل.

ويمكن فهم سبب حدوث ظاهرة الشد السطحي إذا لاحظنا أن أي جزيء *داخل* السائل يتعرض لقوى متساوية من قبل الجزيئات المحيطة به وفي جميع الاتجاهات. ولكن على النقيض من ذلك فإن جزيئات السائل التي *تقع على السطح* تتعرض لقوى جذب (تعرف بقوة التماسك) فقط في اتجاه السائل، تربط بين جزيئات المادة المتجانسة قوى تسمى قوى الجذب الجزيئية (قوى التماسك) تعمل على تماسك جزيئات هذه المادة بعضها ببعض، إن قيمة هذه القوى في السوائل تكون أقل مما عليه في الأجسام الصلبة وهذا ما يفسر تغير شكل السائل بتغير الإناء الموجود فيه، بالإضافة إلى تلك القوى

توجد قوى تؤثر بين جزيئات السائل وجزيئات الأوساط الأخرى التي تلامسها سواء أكانت حالة تلك الأوساط صلبة أو سائلة أو غازية تدعى هذه القوى ب (قوى التلاصق). الآن واعتمادا على ما سبق سوف نوضح الفرق بين محصلة قوى الجذب الجزيئية لجزيئات السائل في أوضاعها المختلفة سواء عند السطح أو داخل السائل.

بالنسبة للجزيئات الواقعة في داخل السائل أي على بعد عدة أقطار جزيئية إلى الأسفل من سطحه، فإن كل جزيء مثل (Aسوف يتأثر بقوى تماسك مع جزيئات السائل الأخرى من جميع الجهات وبنفس القدر تقريباً مما يعني أن جزيء مثل (Aسيكون متأثر بمجموعة متزنة من القوى محصلتها معدومة. أما بالنسبة لجزيئات السائل عند السطح فإن كل جزيء مثل (Bسوف يكون متأثر بقوى تماسك مع جزيئات السائل من الجهة السفلى ومتأثر بقوى التلاصق مع جزيئات الهواء من الجهة العليا وحيث أن كثافة السوائل أكبر بكثير من كثافة الغازات لذلك فإن محصلة هذه القوى تكون في اتجاه قوى التماسك.

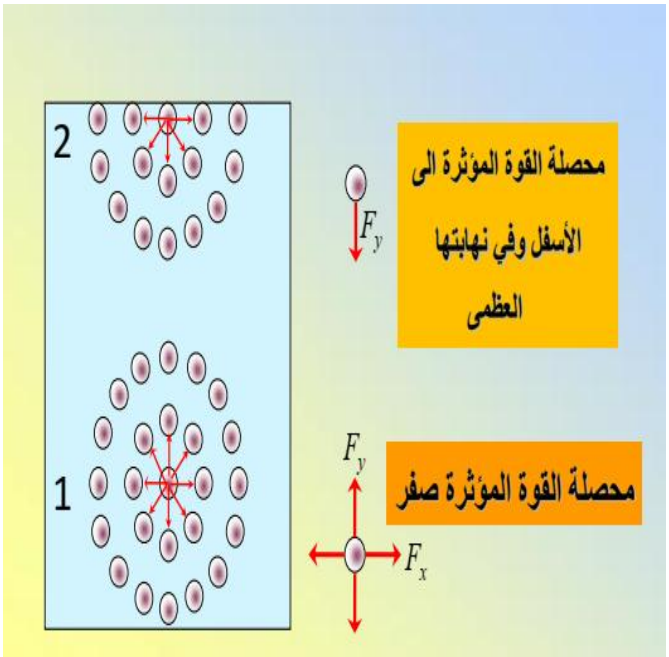
أي أن كل جزيء عند السطح يكون متأثراً بقوى جذب إلى الداخل (مما يقلل من فرصة شغله موقع سطحي) تؤدي إلى تقلص سطح السائل ليشغل أصغر مساحة ممكنة له. وهذا يفسر الشكل الشبه الكروي لقطرات السائل ويكون عندئذ سطحها أصغرياً بالنسبة لحجم معين.

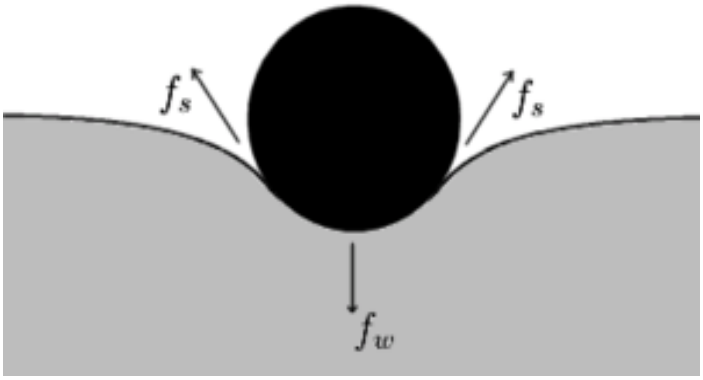
وبالتالي عدد الجزيئات الموجودة على السطح أقل من جزيئات السائل، ولذلك فإن البعد المتوسط بين الجزيئات على السطح أكبر قليلاً من البعد المتوسط داخل السائل وهذا يؤدي وسطياً إلى وجود قوى تجاذبية بين جزيئات السطح وهذا يفسر وجود التوتر السطحي.

س 1 كيف يمكننا تفسير ظاهرة الشد السطحي ؟

يمكن ان نفسر ظاهرة الشد السطحي أو التوتر السطحي على ضوء نظرية القوى الجزيئية:

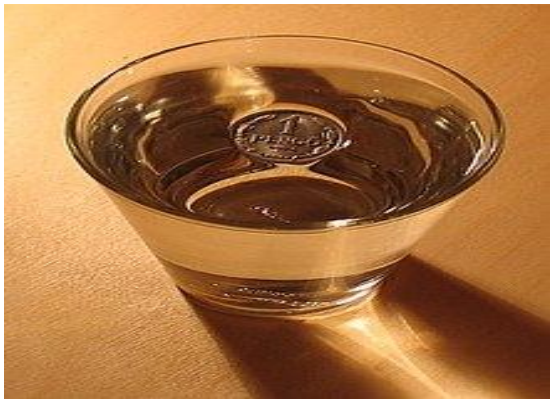
- لنفرض لدينا كمية من أي سائل نختار فيه جزيئيين. الجزيء 1و2 كما مبين في الشكل. الأول يقع داخل السائل وكرة تأثيره تقع كليا داخل السائل. عدد الجزيئات المحيطة به ضمن كرة تأثيره متساوية في جميع الجهات فيتعرض الجزيء إلى قوى تجاذب متماثلة من جميع الجهات فمحصلة القوى المؤثرة عليه تساوي صفر. فيتحرك الجزئي بحرية بفعل الطاقة الحرارية.
- أما الجزيء رقم 2 فيقع على السطح الحر للسائل وكرة تأثيره نصفها يقع إلى الخارج والنصف الآخر إلى الداخل ، نصفها الأعلى يحتوي على عدد قليل جدا من جزيئات بخار السائل والنصف الآخر يحتوي على عدد كبير من جزيئات السائل نفسه ، وعليه ستكون محصلة القوى المؤثرة على الجزيء في غايتها العظمى نحو الأسفل كما مبين بالشكل .





صورة تبين مقطع رأسي لإبرة عائمة فوق سطح سائل. من الرسم نرى القوى المؤثرة على الإبرة حيث توجد القوة fwوالتي تضغط على سطح السائل وهي تمثل وزن الإبرة، في حين أن القوى fs تمثل قوى التوتر السطحي على كلا الجانبين. قوى التوتر السطحي fsتوازي سطح السائل عند نقطة تلامسه مع الإبرة. المركبة الأفقية للقوتين fsفي اتجاهين متعاكسين وبالتالي تلغي أحدهما الأخرى، في حين أن محصلة المركبة الرأسية للقوتين تساوي وزن الإبرة fwوتضاده في الاتجاه، وبذلك تستقر الإبرة على سطح السائل.

حشرة طافية على سطح سائل
تنشأ خاصية التوتر السطحي لسائل ما بسبب وجود قوة تماسك بين جزيئاته، ويعمل سطح السائل وكأنه غشاء مشدود. أي أن عندما نضع شفرة برفق على ماء في إناء، فإن جزيئات الماء سوف تتماسك وكأنها غشاء مشدود يحمل الشفرة. حتى ولو كانت كثافة الشفرة أكبر من كثافة الماء.



قطعة نقدية طافية فوق سطح الماء، وكون كثافة معدن القطعة النقدية أكبر من كثافة السائل فإنه لايمكننا تفسير طفو القطعة النقدية إلا بوجود ظاهرة التوتر السطحي

تطبيقات عل الشد السطحي :

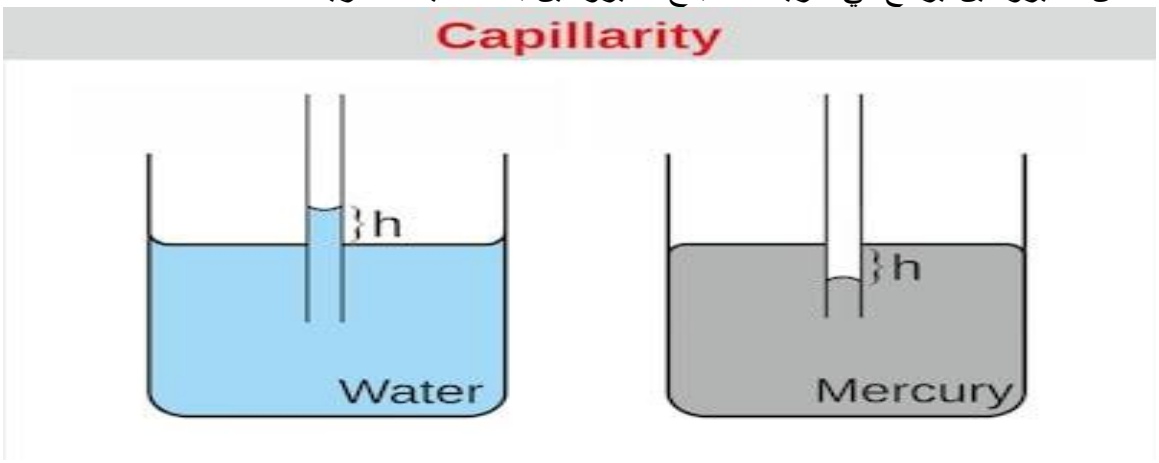
- تقدم ظاهرة الشد السطحي تفسيراً لكثير من الظواهر الشائعة في حياتنا. فعلى سبيل المثال تاخذ قطرات السوائل أشكال شبه كروية بسبب ظاهرة الشد السطحي، وذلك لأن الكرة هي الشكل الهندسي ذو مساحة السطح الأقل.كما أن تباين مدى قوة الألتصاق بالماده المحيطه بالسائل يفسر لنا لماذا يبلل سائل معين بعض المواد في حين أنه لايبلل مواد اخرى . فعلى

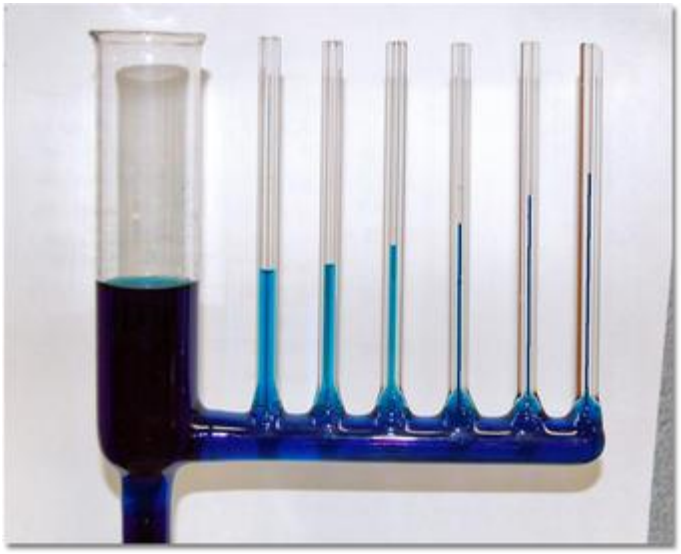
سبيل المثال فان الماء لاينتشر على الاسطح النايلونية أو الأسطح المغطاة بالشمع وذلك لان جزيئات الماء مع بعضها البعض أكبر من قوى التصاق الماء بالسطح المشمع، وبالتالي تتجمع قطرات الماء فوق ذلك السطح على شكل قطرات يمكن أن تسقط بسهولة دون أن تبلل السطح. وقد تم استغلال هذه الملاحظات في صناعة معاطف والمظلات.

- وتقدم ظاهرة التوتر السطحي تفسيرا لامكانية عمل فقاعات الصابون بينما لا يمكن القيام بعمل فقاعات باستخدام الماء النقي وحده، وذلك لأن الماء النقي لديه قوى توتر سطحي كبيره، ولكن باضافة منشطات السطوح (كالصابون) اليه تقل تلك القوى باكثر من عشرة أضعاف، وبذلك يصبح من الممكن عمل فقاعات ذات سطوح كبيرة بكتلة قليلية من السائل.
- قتل يرقات البعوض:
- يلقى الزيت أو الكيروسين فوق سطح الماء ليعمل على قتل يرقات البعوض. فالزيت والكيروسين لهما كثافة أقل من كثافة الماء ولذلك فهي تطفو فوق سطح الماء بالاضافة الى ذلك فكل من الزيت والكيروسين له شد سطحي أقل من الشد السطحي للماء لذلك لايمكن ليرقات لن تعلق به فتغوص وتغرق بينما تتعلق يرقات البعوض بسطح الماء لكبر الشد السطحي له بالنسبة للزيت او الكيروسين.
- من المشاهد المالوفه التي تعزى للشد السطحي هي ظاهرة أرتفاع الماء في الأنابيب الزجاجية الدقيقة والتي تدعى بالخاصية الشعرية.

3- الشد السطحي

هي خاصية فيزيائية يتم بواسطتها ارتفاع أو انخفاض السائل داخل الانابيب الشعرية دون التأثير عليه بقوة خارجية كارتفاع السائل عن طريق أنبوب من الاسفل إلى الاعلى. وتلعب الخاصية الشعرية دورها في سريان الماء في النباتات الحية. فهي التي تمكن جذور النبات من امتصاص الماء بما فيه من موادغذائية ذائبة في التربة. كما أن الخاصية الشعرية هي التي تجعل الماء يسرى إلى سطح التربة خلال الفتحات الشعرية بين حبيبات التربة. و في المناطق الجافة يحاول المزارعون الاقلال من فقد التربة للرطوبة و ذلك بأن يجعلوا التربة السطحية أقل تماسكا و بالتالي تتسع الفتحات الشعرية على السطح و يقل سريان الماء إلى أعلى أي تحتفظ الارض بالماء فترة أطول.ومن الامثلة الاخرى على الخاصية الشعرية هي أنك إذا غمرت طرف فوطة في الماء و تركتها فترة ستجد أن الماء يرتفع ببطء إلى أعلى الفوطة. كما أن الكيروسين يرتفع في شريط مصباح الكيروسين بالخاصية الشعرية

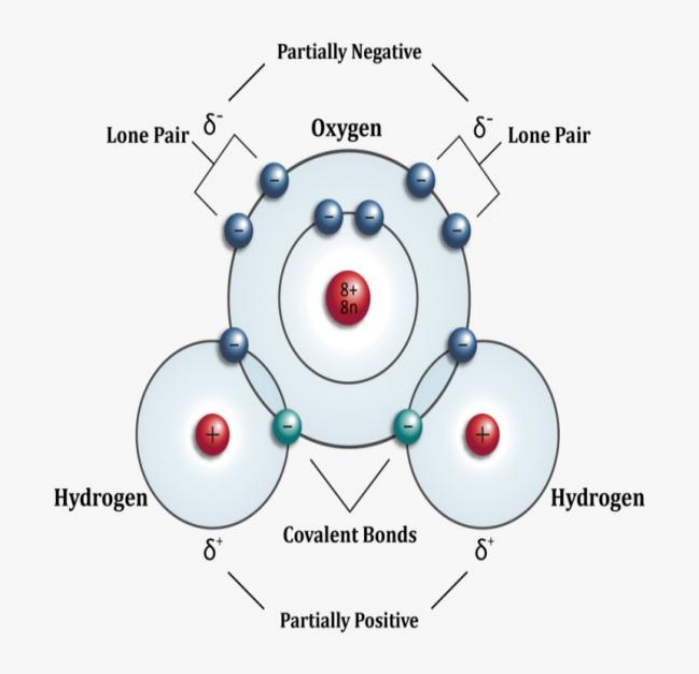


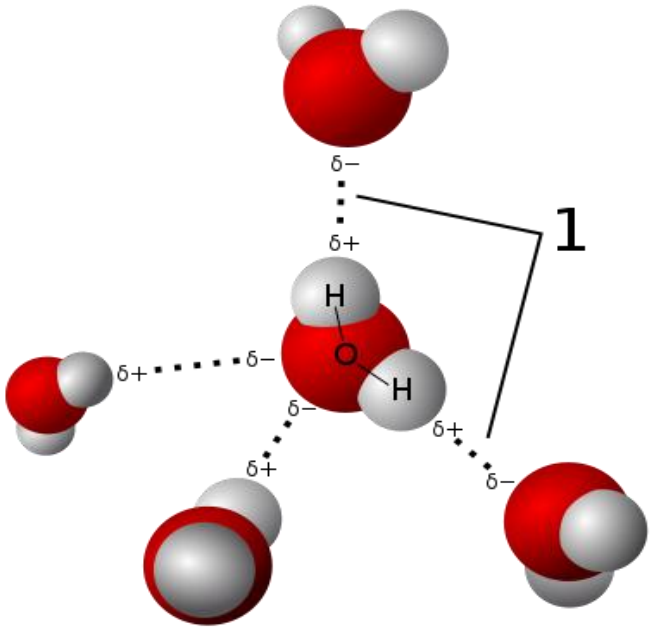


ب- الخواص الكيمياوية

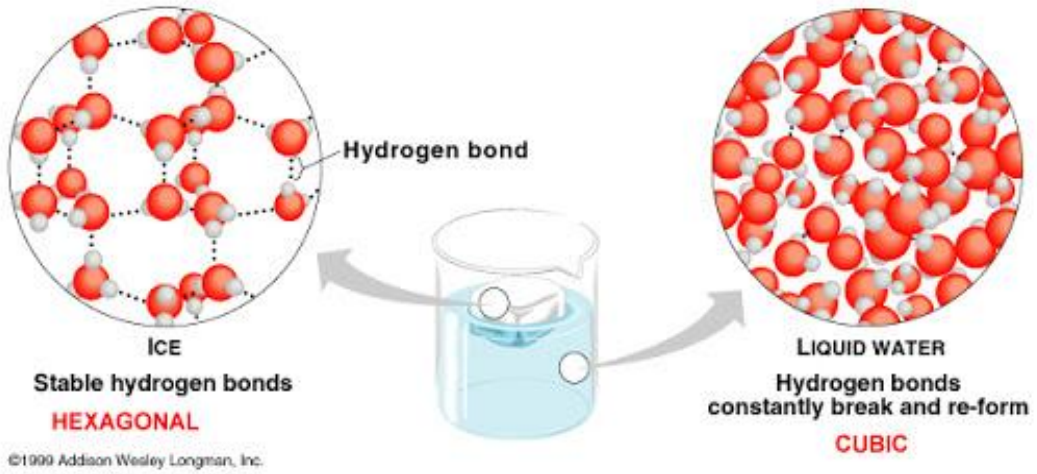
1- <u>التركيب الجزيئي للماء:</u> تتركب جزيئة الماء من ذرة اوكسجين واحده وذرتين هيدروجين. وتتكون ذرة الهيدروجين من نواة موجبة الشحنة يحيط بها الكترون سالب الشحنة أما ذرة الأوكسجين فلها نواة يحيط بها ثمانية الكترونات ستة منها في الغلاف الخارجي واثنان في الغلاف الداخلي

ولان ذرة الهيدروجين لديها القابلية لضم الكترون، وذرة الاوكسجين فيها مجال لضم الكترونين في غلافها الخارجي. كان هناك قابلية جذب الذرتين لبعضهما البعض ونتيجة لذلك ارتبطت هذه الذرات لبعضها البعض في اصرة تساهمية Covalent Bondsوتكونت منها جزيئة الماء وتعد هذا النوع من الجزيئات غير متعادله اذ تميل جزيئة الماء لتكوين قطب موجب من جهتي ذرتي الهيدروجين وقطب سالب من جهة ذرة الاوكسجين ولذا تعتبر جزيئة الماء قطبية او ثنائية القطب dipoles وسبب قطبيتها يعود الى عدم انتظام توزيع الالكترونات حيث تدور حول نواة الهيدروجين وتتداخل الى جهة ذرة الاوكسجين ولان جزيئة الماء قطبية فان ترتيبها حول القطب السالب يختلف عن ترتيبها حول القطب الموجب ولهذه الخاصية اهمية عظمى في ذوبان الايونات . كما تلعب قطبية الماء دورا هاما لجميع الكائنات الحية وذلك لان جزيئات تكون سلسلة مترابطه من الجزيئات فالقطب الموجب لجزيئة ماء ينجذب بقوة الى القطب السالب لجزيئة ماء اخرى وهذا يسمى بالاصرة الهيدروجينية Hydrogen bond وفي الواقع يمكن لجزيئة الماء من الارتباط مع اربعة جزيئات وهذه الاخرى ترتبط مع جزيئات اخرى ولهذا فأن جزيئات الماء في الاناء او في البحر ترتبط مع بعضها جميعا





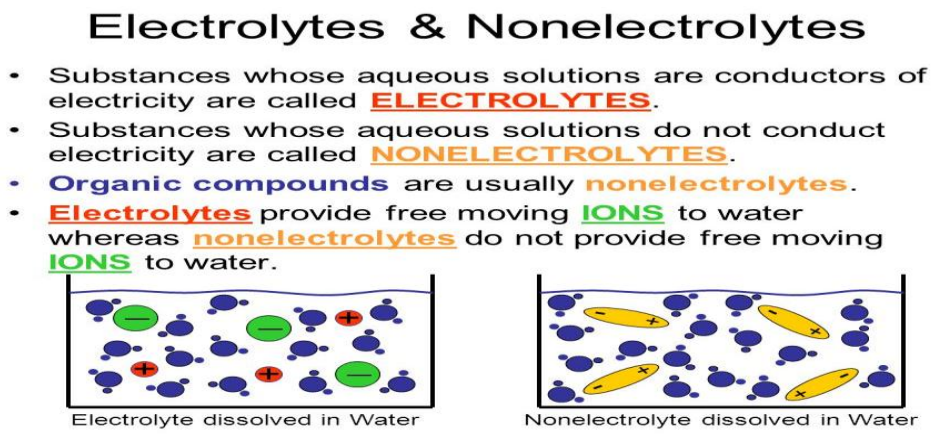
اما عند الانجماد فتنتظم جزيئات الماء بشكل هندسي رباعي عند الانجماد وفي هذه الحالة تكون المسافه بين ذرة الاوكسجين والهيدروجين حوالي 0.96 انكستروما والمسافة بين ذرة اوكسجين واخرى 2.75 انكستروما تبتعد عند الذوبان لتصل 2.9 انكستروما وعندها تقل الرابطه بين جزيئات الماء فيصبح سائلا.



2 - الماء كمذيب

تذوب في الماء العديد من المواد اكثر من ذوبانها باي سائل اخر وهذه الخاصية تعود الى قابلية جزيئات الماء في احاطة الجزيئات المشحونه وفصلها عن بعضها البعض فتتكون حول الايونات

طبقة من الماء تمنع انجذابها الى بعضها البعض . وفي هذا الغلاف تتشكل جزيئات الماء بحيث تنجذب الجهة السالبة من جزيئات الماء نحو الايونات الموجبة Cations وتنجذب الجهة الموجبة لجزيئات الماء نحو الايونات السالبة Anions فتكون ايونات المواد محاطة بسياج من جزيئات الماء فيصعب على هذه الايونات الالتحام والترسب.
اما المواد غير المتاينه فالعديد منها يذوب بالماء وتعزى قابليته لاذابة هذه المواد هو تحطم الاصرة الهيدروجينية لبعض جزيئات الماء وتشكل غلافا متماسكا بشده حول المواد المذابة وتمنعها من الترسب



المحلول

المحلول عبارة عن خليط متجانس من مادتين أو أكثر لا يحدث بينهما تفاعل كيميائي ، وهو عبارة عن نظام ذي طور أو صنف واحد . ذوبانية مادة في أخرى لتكوين محلول متجانس يعتمد على طبيعة المواد المتضمنة في عملية الذوبان ، وتتأثر الذوبانية بالتغيرات في درجة الحرارة وبطبيعة المواد المكونة للمحلول والضغط ، بالرغم من أن المؤثر الأخير ذو أهمية بالنسبة للغازات فقط.

وبما ان المحلول مكون من مذاب ومذيب فيمكن تعريف المحلول:

- **المحلول:** أنتشار جزيئات المذاب في جزيئات المذيب وقد تكون جزيئات المذاب ماده صلبه او غازية
- **المذاب :** هو عباره عن جزيئات الماده المنتشره داخل الوسط
- **المذيب:** هو عباره عن وسط الانتشار الذي يسمح بانتشار جزيئات المذاب

وتبعا للحالة الفيزيائية لكل من المذاب والمذيب يوجد تسعة انواع من المحاليل كما في الجدول التالي:

ت	نوع المحلول	الحالة الفيزيائية للمذاب	الحالة الفيزيائيه للمذيب	أمثله
1	غاز في غاز	غاز	غاز	غازي الاوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون في الهواء

2	غاز في سائل	غاز	سائل	المشروبات الغازية
3	غاز في صلب	غاز	صلب	امتصاص الهيدروجين في البلاديوم في تفاعل الهدرجه
4	سائل في غاز	سائل	غاز	بخار الماء في الهواء
5	سائل في سائل	سائل	سائل	الكحول في الماء
6	سائل في صلب	سائل	صلب	البنزين في اليود الصلب
7	صلب في غاز	صلب	غاز	النفثالين في الهواء
8	صلب في سائل	صلب	سائل	الملح في الماء
9	صلب في صلب	صلب	صلب	السبائك(النحاس والذهب)

هناك عدة طرق لحساب تركيز المحاليل نذكرها فيما يلي :-

طريقة النسبة المئوية: وهي عبارة عن حساب عدد جرامات المذاب في 100 ملي من المادة المذيبة، فمثلا ذوبان 2 جرام من الملح في 100 ملليمتر من الماء يعني أن تركيز المحلول =2%.

ثانيًا: المولارية (م) ((Molarity(M):

تعلم أنّ هناك كثيرًا من التفاعلات لا تتم إلا في وسط مائي، وحيث إنّ المعادلة الكيميائية تحدث بنسب مولية ثابتة، لذا كان لابد من إيجاد تعبير للتركيز يرتبط بعدد المولات، فلجأ الكيميائيون إلى مصطلح **التركيز المولاري (م)**، والذي يساوي عدد مولات المذاب في لتر من المحلول.

المولارية (مول/لتر) = عدد مولات المادة المذابة ÷ حجم المحلول (لتر)

مثال: يُستخدم هيدروكسيد الصوديوم NaOH في صناعة الصابون، فعند تحضير محلول بإذابة 10 غم من هيدروكسيد الصوديوم في 630 مل من محلوله المائي. جد تركيز المحلول بالمولارية(م)، علمًا أنّ الكتلة المولية لهيدروكسيد الصوديوم = 40 غم/مول.

الحل:

المولارية(مول/لتر) = عدد مولات المادة المذابة ÷ حجم المحلول (لتر)

عدد المولات = الكتلة ÷ الكتلة المولية

= 10 غم NaOH ÷ 40 غم/مول.

= 0.25 مول

المحاليل الحقيقية True Solutions: وهي محاليل متجانسة تتكون من مادتين أو أكثر في طور واحد وفيه تكون الذرات أو الجزيئات أو الأيونات منحلة بشكل كامل وينتج عن ذلك محلول له التركيب نفسه والخصائص نفسها في كل أجزائه. مكونات المحلول (المذيب وهو الوسط الذي تنحل فيه المادة المذابة ويوجد بنسبة اكبر أما المذاب فهو المادة الذائبة في المحلول وتكون بنسبة أقل) متجانسة ومن الصعب التمييز بين المادة المذابة والمذيب ولا يمكن رؤيتها ولا يمكن فصلها بالترشيح ويتراوح قطر الجسيم حوالي $10A^{\circ}$ وتتميز هذه الأنواع من المواد بقدرتها على المرور خلال الأغشية شبه المنفذة.

مثال ذلك عند وضع كمية من السكر في قليل من الماء ورج المخلوط فإن السكر يذوب، ولا يمكن فصله بالترشيح، ولا بترك المحلول ساكناً تحت تأثير الجاذبية الأرضية. وعليه يكون حجم الدقائق (الجزئيات أو الأيونات) متناهية في الصغر ولا يمكن فصلها ولا رؤيتها بالعين المجردة أو الميكروسكوب. يسمى مثل هذا النوع من المحاليل بالمحاليل الحقيقية (True Solution).

محاليل المعلقات Suspension Solutions وهي محاليل غير متجانسة حجم دقائقه أكبر من $1000A^{\circ}$ ، إذ يمكن ملاحظة تلك الدقائق بالعين المجردة، كما يمكن ملاحظة ترسبها في الأسفل بفعل الجاذبية الأرضية.

مثال ذلك إذا وضع مسحوق الطباشير في كمية من الماء ورج المحلول فإننا نحصل على معلق من الطباشير في الماء، يمكن رؤية دقائقه إما بالعين المجردة أو الميكروسكوب. وإذا ترك المحلول ساكناً فإن دقائق الجسم الصلب المعلقة تتجمع بمرور الوقت في قاع الإناء تحت تأثير الجاذبية الأرضية وعليه يكون هذا المحلول مختلفاً من الحالة الأولى ويسمى هذا النوع من المحاليل بالعوالق أو المعلقات (المحاليل المعلقة) (suspensions).

تصنيف المحاليل بناءاً على حجم دقائق المادة المذابة:

- امثلة على المحاليل الغروية
- محلول البروتين بالماء او النشا بالماء
- وعلى العموم يطلق على المادة المجزأة اسم **الطور المنتشر** **Dispensed phase** او **الطور غير المستمر** **Discontinuous phase** ويطلق على السائل **بوسط الانتشار** **Dispersion medium** او **الطور المستمر** **Continuous phase**
- **وتقسم المحاليل الغروية الى نوعين**
- **غرويات كارهه للماء** **Hydrophopic Colloids**

في هذا النظام يوجد ألفة بين الجزيئات المذابة وجزيئات الماء حيث تشكل المواد المنحلة طبقة إلماهة وبالتالي يختلف بعضها عن بعض في التركيب باختلاف المواد المنحلة، وتعتبر هذه **المحاليل الغروية** :**Colloids Solutions** وهي محاليل غير متجانسة تتميز دقائقها بأنها أكبر من جسيمات المحاليل الحقيقية وأصغر من المحاليل المعلقة، فحجم دقائقها بين $10 - 1000A^{\circ}$، صغيرة الحجم الى حد يسمح لها بأن تبقى معلقة في المذيب وذلك بسبب الحركة المستمرة للجزيئات المحيطة بها. وتكون منتشرة داخل وسط انتشار؛ فنحصل على الغرويات بعملية نشر ـــ وليس إذابة ـــ أي أنها غير ذائبة أو مترسبة في وسط الانتشار. لايمكن فصل مكوناتها بالترشيح. وبشكل عام تشكل الجسيمات الغروية الطور المشتت بينما الماء يشكل الوسط المشتت.

منعاً للالتباس يفضل تسمية الأول (الجسيمات الغروية) الطور المتشتت وتسمية الثاني (الماء) الطور المشتت.

المحاليل غير مستقرة من وجهة النظر الثرموديناميكية ويعود ثباتها النسبي إلى شحنة الدقائق فيها والتي تكون متماثلة مما يسبب تنافرها وبالتالي ثباتها النسبي

- **غرويات محبه لوسط الماء او الانتشار** **Hydrophilic Colloids**

ويكون الطور المنتثر ووسط الأنتثاراو الانتشار ذات تجاذب كبير فيما بينها، فمثالً عندما تضاف بعض المواد الصلبة مثل النشاء، ألاكر، أو البروتينات إلى الماء فإن بعض جزيئات الماء تترتب حول دقائق المادة المنحلة مشكلة طبقة إماهة حيث ترتبط جزيئات الماء بواسطة الهيدروجين إلى الجذور المحبة للماء لهذه المواد.

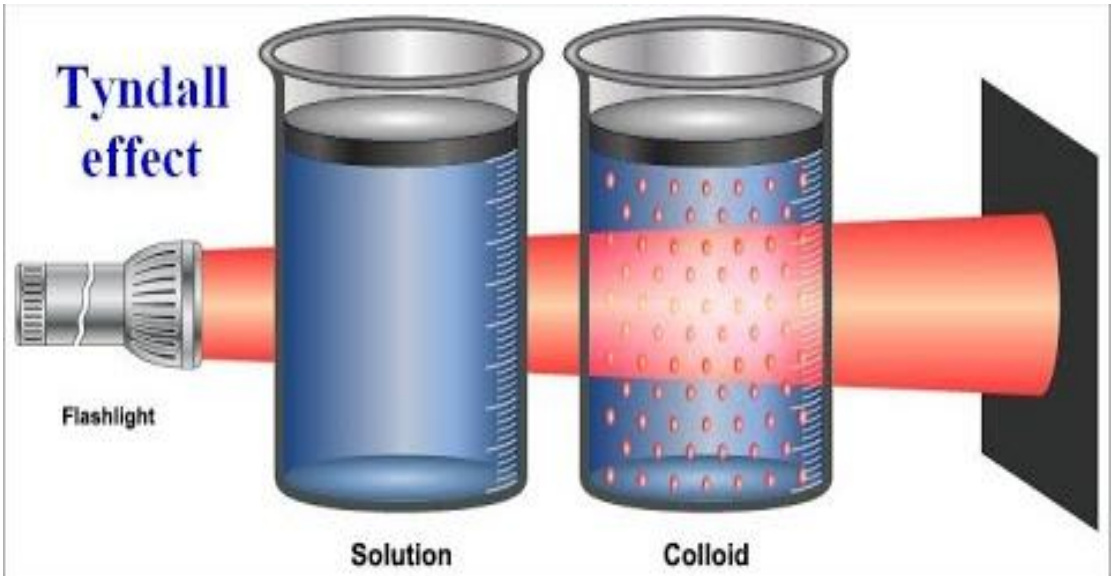
الصفات العامة للمحاليل الغروية:

- تمثل المحاليل الغروية الحالة الفيزيائية التي تتصف بها المادة الحية في السيتوبلازم وكذلك في التربة.
- يتكون الوسط البروتوبلازمي في الخليه من مواد غروية تتكون من80-85 %ماء تنحل فيه مواد متعددة ذات أوزان جزيئية عالية تختلف في أوزانها وفي بنيتها الجزيئية مكونة بذلك وسطاً غروياً لزجاً
- تتكون هذه الجزيئات الكبيرة المحبة للماء والسابحة في وسط الأنتشار من البروتينات، الأحماض النووية، الأحماض الأمينية، سكريات، أيونات مختلفة مثل Mg, Ca, K،ونتيجة

شراهة هذه الجزيئات للماء تكون مغطاة بطبقة أحادية من جزيئات الماء التي ترتبط مع هذه الجزيئات بقوى التحام مائية، يسمى هذا الماء بالماء المرتبط بالغرويات.

1- **ظاهرة تندل Tyndell Phenomenon:**

هي احد الظواهر التي يستعان بها للتفرقه بين المحاليل الحقيقية والغرويات . حيث تقوم الدقائق الغروية على بعثرة الضوء الساقط عليها حيث تكون الدقائق الغروية أكبر من دقائق وسط الأنتشار. فإذا سلطنا شعاعاً ضوئياً على إناء متوازي الجدارن يحوي سائلاً كارهاً للماء ثم نظرنا إلى جانب الوعاء، بحيث يكون مستوى النظر عمودياً على مسار الشعاع نرى مسار الضوء في المحلول على شكل حزمة ضوئية على هيئة طريق غائمة قد تكون متلالئة أحياناً وهذا ما يسمى بظاهرة تندال .



2- الحركه البروانية Brownian movement

سميت هذه الحركة نسبة إلى مكتشفها عالم النبات روبرت براونRobert Brown،والذي شاهد حركة حبوب اللقاح في الماء في حركة عشوائية نتيجة للحركة غير المتوازنه بين الدقائق وبعض جزيئات الماء وذلك لمنع ترسيبها.وعند فحص محلول كاره لوسط الانتشار بالمجهر الدقيق فان الدقائق تشاهد في حركة اهتزازية مستمره غير منتظمه. ومن العوامل المؤثرة على على الحركة البراونية مايلي:

أ- حجم الدقائق الغرويه: وتتناسب الحركة البراونية تتناسب عكسيا مع حجم الدقائق الغروية.

ب- درجة الحرارة : تتناسب الحركة البراونية طرديا مع زيادة درجة الحرارة تعمل على زيادة الطاقة الحركية لجزيئات وسط الأنتشار.

3- **اللزوجه Viscosity**

تعرف اللزوجة بأنها مقاومة السائل للسيلان، فهي تزداد طردياً مع تركيز الدقائق في السائل وعكسياً مع درجة الحرارة فكلما كانت اللزوجة كبيرة كانت سرعة السيلان أقل، ولا تختلف لزوجة الغرويات السائلة الكارهة للماء عن لزوجةالماء نفسه أما الغرويات المحبة للماء فتكون لزوجتها عادة أكبر من لزوجة الماء فمثلاً انتشار السائل الغروي لألبومين البيض بسرعة قدرها 1/1888من سرعة سائل السكروز.

4- **قابليتها للترشيح:**

تستطيع الغرويات السائلة المحبة للماء المرور بسهولة عبر الأغلفة والجدر دون أن ينفصل الطور المنتشر عن طور الانتشار، كذلك يمكنها اختراق ورق الترشيح، أما الغرويات المحبة للماء الجيلاتينية لا تستطيع المرور عبر ورق الترشيح على الرغم أن أبعادها أصغر من ابعاد ورق الترشيح وذلك بسبب قوى الالتحام الموجودة بين الجزيئات والتي تمنعها من الحركة

5- **الخواص الكهربائية:**

تحمل الدقائق الغروية شحنات يمكن أن تكون سالبة ويمكن أن تكون موجبة وتكون الشحنة واحدة في النظام الغروي على كل الجزيئات مما يجعل الدقائق متنافرة ويمنعها من الترسب، من خواص الغرويات أن دقائقها تحتفظ حولها بشحنات كهربائية من نوع واحد وهذه الشحنات قد تكون موجبة كما فى حالة محلول هيدروكسيد الحديديك الغروى(أو سالبة)كما فى محلول الجيلاتين الغروى وأحمر الكونجو والبروتوبلازم الخلوى(ووجود هذه الشحنات من نوع واحد حول كل دقيقة غروية يعمل على تنافر هذه الدقائق من بعضها وهذا يعمل على عدم تجمعها وترسيبها. ولو تمكنا من معادلة هذه الشحنات بأى وسيلة فإن النظام الغروى لا يلبث أن يرسب حيث تتجمع الدقائق الصغيرة فى دقائق أكبر فأكبر كما يحدث فى حالة إضافة محلول مخفف من كبريتات الأمونيوم إلى محلول هيدروكسيد الحديديكالغروى. وكلما زاد تكافؤ الأيون المستخدم فى الترسيب أى زادت الشحنات المضادة عليه كلما زادت كفاءته فى الترسيب بالنسبة للنظام الغروى

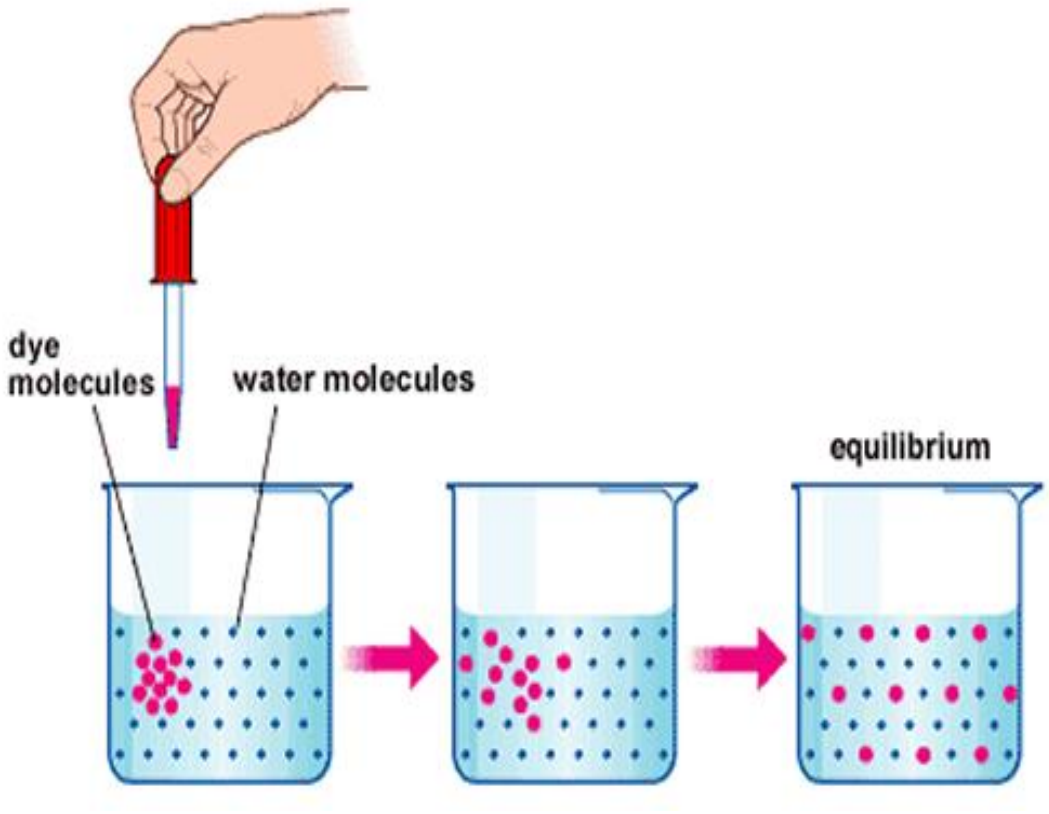
الماء والخلية النباتية Water and Plant Cell

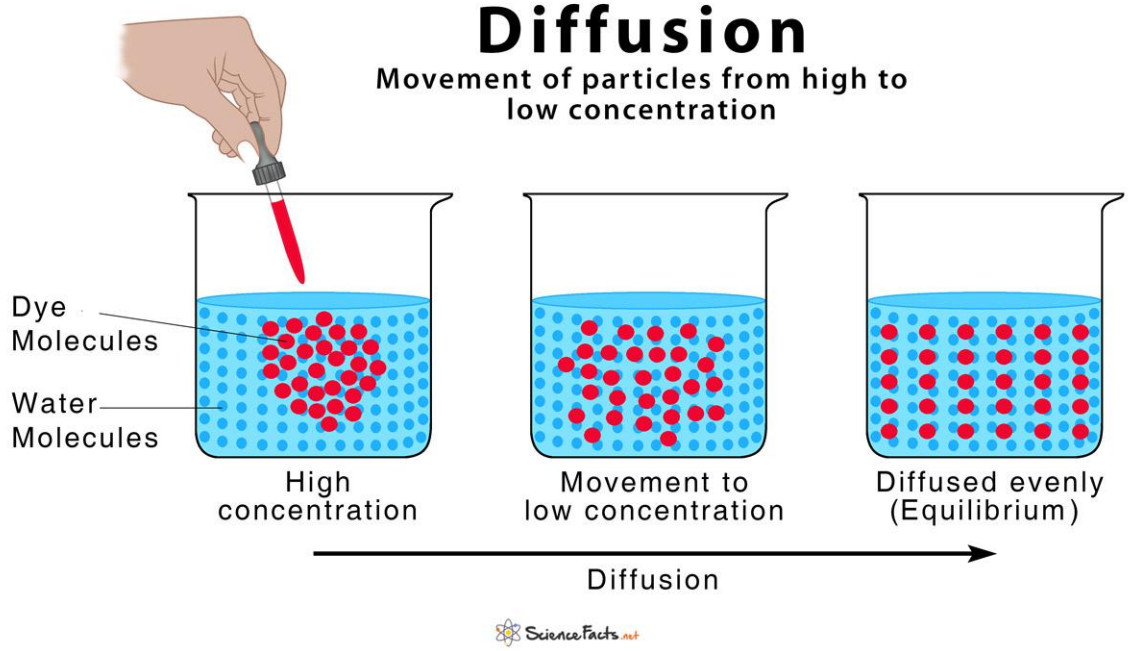
يمكن ان نلخص العمليات الهامه للمحافظه على حياة النبات وتكاثره وبقائه الى ثلاث عمليات هي الانتشار والازموزية والتشرب

اولا- الأنتشار Diffusion

يعرف الانتشار على انه حركة جزيئات الماده بفعل طاقتها الحركية محاولة ان تتوزع توزعا منتظما في الحيز الذي تشغله بحيث يصبح عدد الجزيئات بوحدة الحجوم ثابتا في جميع أنحاء الحيز وتوصف هذه الحاله بالنسبة للمادة المنتشرة بالاتزان. ويمكن مشاهدة الانتشار وذلك بوضع بلورة من كبريتات النحاس $CuSo_4$ او اي مركب اخر يلون المحلول في قاع دورق زجاجي ممتلىء بالماء ويمكن ان ننتبع انتشار الجزيئات بملاحظة التغيير البطيء في لون الماء حتى ينتظم توزيع اللون في جميع طبقات الماء الموضوع في الدورق.ويمكن ضرب مثال اخر على انتشار الغازات ففي داخل حجرة اذا فتحت زجاجة تحتوي على سائل الأمونيا او الأيثر او زيت القرنفل اوأي مادة سهلة التطاير ولها رائحة خاصه فانه بعد مضي وقت قصير يمكن شم رائحتها المميزه في كل جوانب الحجرة، وهذا يوضح انتشار او تحرك جزيئات الغاز المنتشر بين جزيئات الهواء. ويطلق على هذا النوع من الانتشار المتوقف على الطاقه الحركية لجزيئات الماده

والناتج من اختلاف التركيز فقط اسم الانتشار البسيط تمييزا له عن انواع اخرى معقدة من ظواهر الانتشار تؤثر فيها انواع اخرى من القوى. ففي حالة المحاليل تنتشر جزيئات الذائب انتشارا ممثلا عن انتشار جزيئات المذيب ويتوقف الاتجاه الذي تنتشر في جزيئات الذائب على فرق التركيز .





يتاثر معدل الانتشار للمواد بالعوامل التالية:

1- طبيعة المحلول Nature of solute

تنتشر جزيئات او ايونات المحاليل الحقيقية دون المحاليل الغروية، فمثلا تنتشر أيونات محلول اليود ولاتنتشر دقائق محلول النشا ويمكن اثبات ذلك بتجربة بسيطة عند اضافة محلول اليود الى انبوبتين الاولى تحتوي على جلاتين او اكار والثانية بها محلول النشا مع الجلاتين او الاكر . توضعان في الثلاجة حتى تتجمدا .ثم يضاف للانبوبة الاولى التي تحتوي على اليو[محلول النشا والثانية التي تحتوي على النشا محلول اليود نرى تكون طبقة زرقاء في الانبوبة الثانية ولا تتكون في الاولى نتيجة التقاء المحلول الحقيقي من اليود مع النشا في الانبوبة الثانية ونستدل من ذلك على ان الانتشار يقتصر على المحاليل الحقيقية دون الغروية ويستفاد من هذه الظاهره في الفصل الغشائي للمحاليل الحقيقية عن المحلول الغروي.

2- درجة الحرارة Temperature

يزداد معدل النتشار بارتفاع درجة الحرارة ويرجع ذلك لزيادة الطاقة الحركية لجزيئات المادة المنتشرة،

3- تركيز المادة Substrate Concentrations

يتوقف معدل الانتشار المادة على الفرفق بين تركيز المادة في منطقتين مختلفيتين حيث تنتشر دقائق المادة من المنطقة التي يكون فيها تركيز المادة عاليا الى منطقة اخرى يكون بيها تركيز المادة بها اقل بمعدل اسرع من العكس وكلما زاد الفرق بين التركيز زاد معدل الانتشار . كما يتأثر معد الانتشار بالمسافه التي تنقلها الدقائق المنتشرة من منطقة الى اخرى اي ان معدل الانتشار يتناسب مع الفرق في التركيز بين منطقة الارسال واستقبال الايونات المنتشرة مقسوما على طول المسافة بينهما ويمكن التعبير عنها بالمعادل التالية:

$$D=(C_1-C_2)/d$$

D= diffusion gradients معدل الانتشار

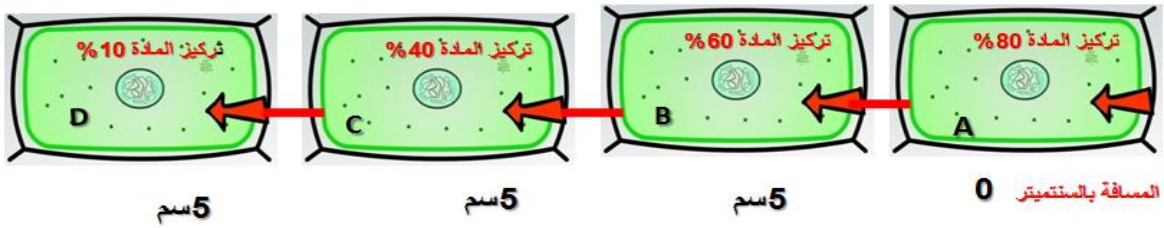
C_1= higher concentration تركيز مرتفع

C_2= lower concentration تركيز منخفض

d= distance between the regions المسافه بين الموقعين

مثال:

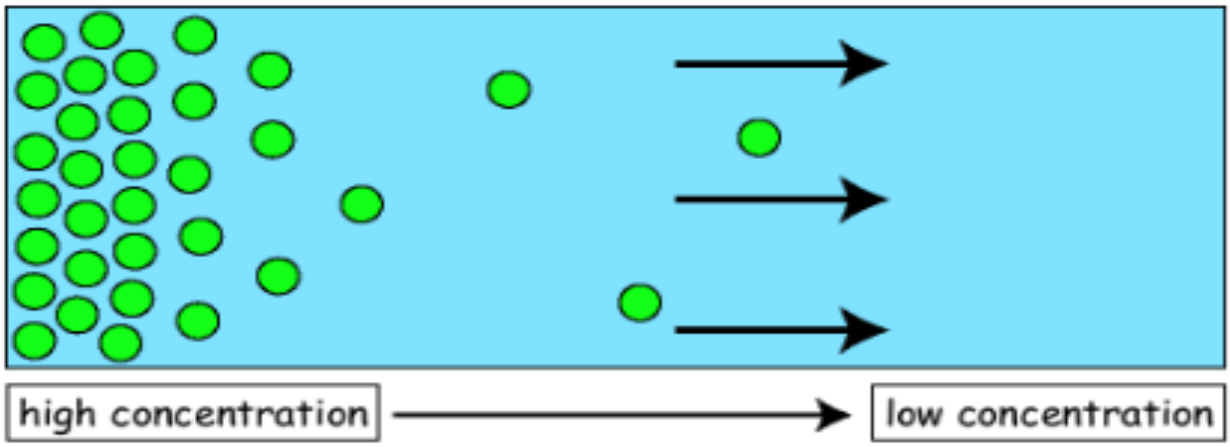
أذا علمت ان المسافة بين كل خلية من الخلايا التالية وتركيز المادة والخلايل متصله مع بعضها البعض كما يلي:



احسب معدل الانتشار من الخلية C الى D ومعدل الانتشار من الخلية A الى B

$$6 = \frac{10-40}{5} = D \longleftarrow C$$

$$4 = \frac{60-80}{5} = B \longleftarrow A$$



4- حجم وكتلة الدقائق Volume and Mass Particles

تنتشر دقائق او الايونات الصغيرة بمعدل اسرع من الكبيرة فمثلا تنتشر ايونات الهيدروجين بمعدل اربع اضعاف انتشار الاوكسجين وخمسة اضعاف انتشار ثاني اوكسيد الكاربون

5- زيادة تركيز الوسط يقلل من سرعة الانتشار

أهمية ظاهرة الانتشار بالنسبة للنبات :

أ- تبادل الغازات من الهواء عبر فتحات الثغور الى داخل النبات

ب- انتشار المغذيات من التربة الى النبات

ت- انتقال العناصر الغذائية عبر الاوعية الخشبية في الجذور ثم السوق ثم الاوراق

خواص المحاليل :

تحدث المواد المذابة تغييرا في طاقة جزيئات المذيب كما تحدث بعض التغيرات الفيزياوية ويعتمد مقدارالتغيير على نسبة عدد جزيئات المذاب الى عدد جزيئات المذيب وفيما يلي بعض التغيرات الهامة التي تحدثها جزيئات المذاب على الخواص الفيزياوية للمذيب.

أ- **الضغط البخاري Vapor pressure**

في حالة ثبات درجة الحرارة فان عدد جزيئات المذيب الموضوع في اناء مغلق يعتمد على الطاقة الحرة للمذيب. كلما زادت الطاقة للمذيب كلمازاد الضغط البخاري (عدد الجزيئات في حجم مغلق فوق السطح الحر للمذيب)ولما كانت المادة المذابة تقلل من الطاقة الحرة للمذيب فانها تقلل من الضغط البخاري. ولقد وجد اوجد راؤولت سنة 1887 قانون لحساب الضغط البخاري لاي محلول سمي بقانون راؤلت وينص القانون على ان الضغط البخاري للمادة المذيبه في حالة توازن مع المحلول ويتناسب مع النسبة بين جزيئات المذاب الى جزيئات المذيب

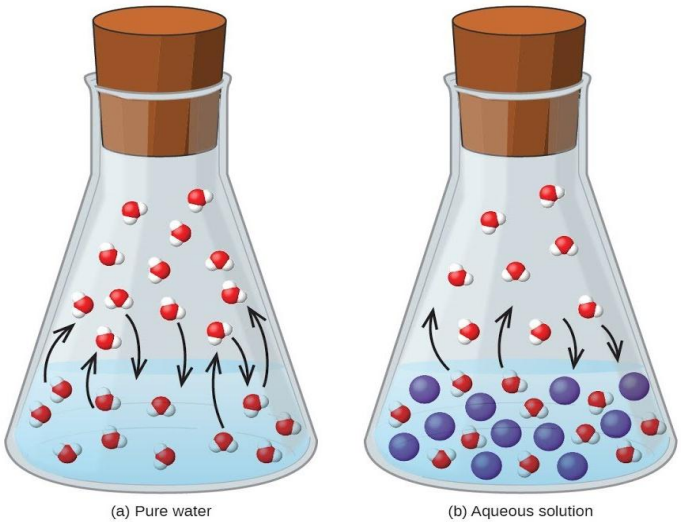
$$e = \frac{e^{o}\, nw}{nw+ns}$$

الضغط البخاري =e

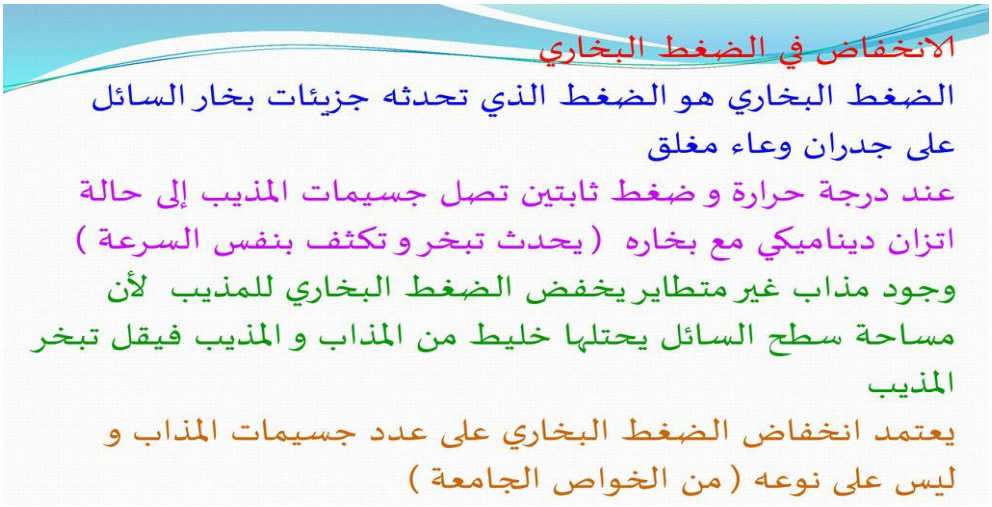
الضغط البخاري للمذيب في حالته النقية= e^{o}

عدد جزيئات المذيب =nw

عددجزيئات المذاب =ns



(a) Pure water (b) Aqueous solution



ب- تغيير درجة الغليان والانجماد:

يسبب وجود مواد مذابة في الماء انخفاض درجة انجماد وارتفاع درجة غليانه وذلك بسبب تغيير الضغط البخاري.. كما ان درجة الحرارة التي يجمد فيها مول واحد من محلول غير متايين تقل بمقدار 1,86م عند درجة انجماد الماء النقي.

ج- تغيير الضغط والجهد الأزموزي

يعتبر الجهد الكيميائي (الجهد الازموزي Osmotic pressure) للماء النقي وهو اعلى طاقة للماء والتي تكون فيه جزيئاته حرة الحركة وغير معاقة بجزيئات المواد المذابة فيه.

وعند اضافة جزيئات مذاب الى الماء فان الجهد الازموزي او الكيمياوي لجزيئات الماء تصبح أقل من صفر (سالب) ولذا لو وضع محلول فيه ماده مذابة وماء نقي في انا ياكثر من جزيئات الماء التي تنفذ خلال الغشاء الى جهة الماء النقي فصل بينهما غشاء يسمح بمرورجزيئات الماء ولكنه لايسمح بمرور جزيئات الماده المذابه فسوف تتحرك جزيئات الماء في الاتجاهين ولكن عدد جزيئات الماده التي تعبر الغشاء بأتجاه المحلول تكون اكبر مما يؤدي الى ارتفاع مستوى المحلول . ولمنع ارتفاع المحلول لابد من استعمال ضغط مقداره يتناسب مع كمية المادة المذابة وعندها يلاحظ ان جزيئات الماء تبقى متنقلة بكلا الاتجاهيين بصورة متساوية وكلما كانت جزيئات الماده المذابه اكثر وجب استعمال ضغط اكثر. مقدار هذا الضغط هو ما يطلق عليه بالضغط الازموزي .

والجهد الازموزي مساوي للضغط الازموزي الا انه يكون معاكس له بالاشاره ويمكن حساب الجهد الازموزي لاي محلول اذا عرفنا مقدار الماده المضافه وذلك حسب قانون فانت هوف Vant Hoff

$$\psi_\pi = -\frac{n}{v} RT$$

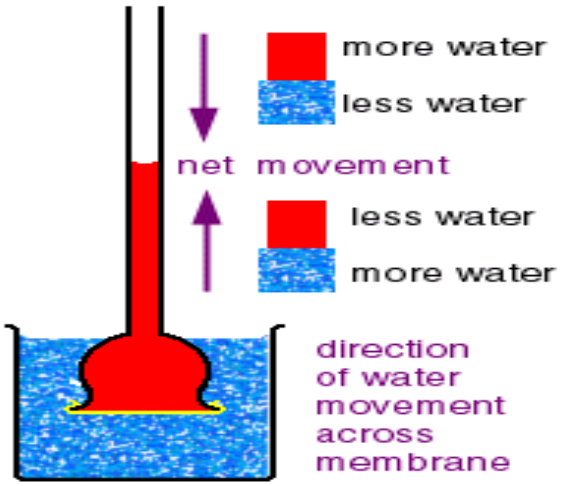
ψ_π= الجهد الازموزي

n= عدد جزيئات المذاب

v= حجم المحلول باللتر

R= ثابت الغاز (0.082لتر-ضغط جوي/درجة-مول)

T= درجة الحرارة المطلقة (273+درجة حرارة الغرفة)



د. تغيير الجهد الكيمياوي او الجهد المائي Chemical or Water Potential

يطلق على الجهد الكيمياي للماء بالجهد المائي . والجهد الكيمياوي او الجهد المائي يتاثر بالمواد الذائبة والضغط المسلط عليه ودرجة الحرة . فالجهد المائي اذن هو المحصله النهائية لاكثر من قوة واحدة مؤثرة في الطاقة الكيمياوية او الطاقة الحرارة للماء وهذه المحصله – الجهد المائي- هي التي تحدد اتجاه حركة الماء سواء بين خلية واخرى او بين التربة والجذور او الجذور والاوراق ويتحرك الماء نتيجة الفرق بين المنطقة ذات الجهد المرتفع والمنطقة ذات الجهد الكمنخفض ويرمز لجهد الماء بالرمز بساي بالاتينية ψ واعتبر على جهد للماء عندما يكون نقيا يساوي صفرا ويقل تركيزه عن الصفر بزيادة الماده المذابة فية فمثلا اذا اذيب الملح في الماء ينتج عنه محلول يساوي الجهد الازموزي اذا كان المحلول محضر تحت الضغط الجوي الاعتيادي . اما اذا تسلط ضغط من مصدر خارجي على المحلول فان الجهد المائي لايساوي الجهد الازمزي بل محصلتهما وكما يلي :

$$\psi = \psi_{\pi} + \psi_{p}$$

ψ = الجهد المائي

ψ_{π} = الجهد الازموزي

ψ_{p} = الجهد الضغطي

اذا كان المحلول المحضر واقعا تحت الضغط الجوي فان الضغط عليه يساوي صفرا ولهذا فان جهده الازموزي يتساوى مع جهده المائي

$$\psi_{\pi} = \psi_{p}$$

ثانيا- الخاصية الازموزية

هي نوع من انواع الانتشار هو انتقال جزيئات الماء عبر غشاء نصف ناضح من المنطقة ذات التركيز العالي للماء (تركيز اقل للذائبات) الى المنطقة التي يكون فيه تركيز الماء اقل (ذائبات اعلى) . وقد لوحظت هذه الظاهرة لاول مره من قبل العالم Abbenollot سنة 1748 وذلك عندما ملأ مثانة خنزير بالكحول ثم غمرها في الماء فلاحظ ان الماء نفذ الى داخل المثانة اكثر من انتشار الكحول للخارج ونتيجة لذلك انتفخت مثانة الخنزير وحينما ملئت المثانة بالماء وغمرت بالكحول حصل العكس بدء الماء بالخروج من المثانة الى الخارج وانكمشت المثانة.

فمثلاً عند مليء غشاء شبه منفذ)على شكل كيس(بمحلول ملحى أو سكرى ثم ربط هذا الكيس ووضعه فىماء نقى يلاحظ بعد فترة إمتلاء هذا الكيس ويحدث هذا الإنتفاخ ضغطاً على جدار الكيس من الداخل. وهذاالضغط ينشأ نتيجة لدخول الماء إلى المحلول عن طريق الإسموزية. وفى هذه الحالة يجب مراعاة أن غشاءالكيس لابد وأن يكون شبه منفذ أى يكون منفذاً للماء دون المادة المذابه . وتنقسم الأغشية تبعاً لخاصية النفاذية إلى:

١ـ أغشية منفذه: أى تسمح لكل من المذيب والمذاب بالنفاذ خلالها مثل ورق الترشيح.
٢ـ أغشية غير منفذه: لا تسمح لأى من المذاب والمذيب بالنفاذ مثل الزجاج.
٣ـ أغشية شبه منفذه: تسمح للمذيب فقط دون المذاب بالنفاذ خلالها.

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

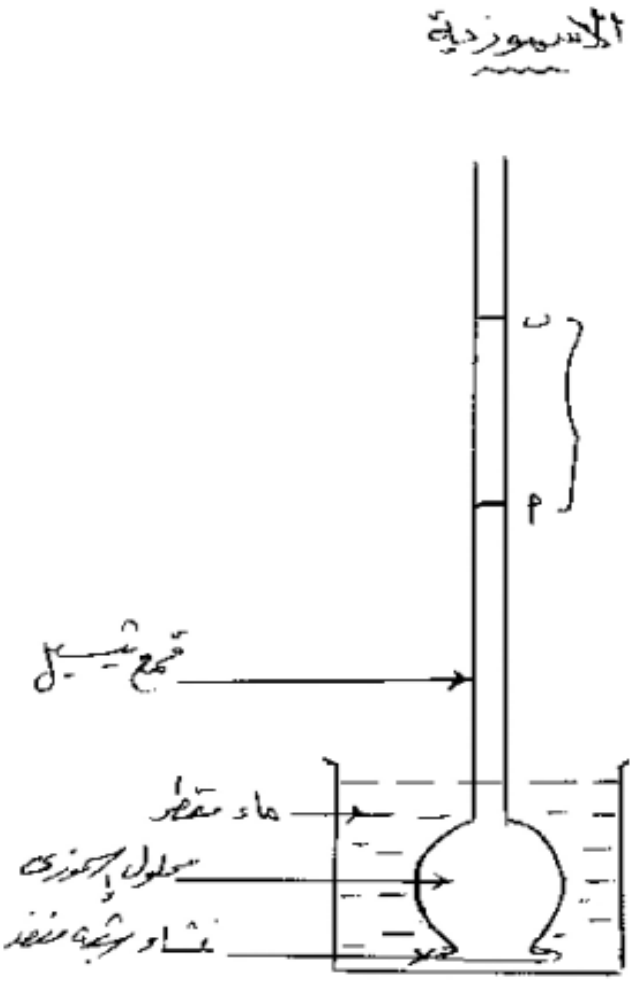
ويعرف الضغط الإسموزى بأنه "يساوى كمية قيمة أعلى ضغط ناتج عن ثقل عمود المحلول ويلزم إستمرار حدوث الإسموزية خلال غشاء شبه منفذ

وحدات قياس الجهد المائي

يعبر عن الطاقة الحرة للماء (الجهد المائي) بوحدات طاقة او ضغط . وتستعمل وحدات الطاقه جول/كغم (Joules/Kg)

ارك /كغم (ergs/kg)

سعرة/وزن جزيئي واحد (Cal. Moles)



لاقة الماء بالخلية والانسجة النباتية :

بدات دراسة العلاقة بين الخلية والماء في النصف الثاني من القرن التاسع عشر عندما درست الخلية ونفاذية الخلية ونفاذيتها من قبل Traubr (1867) وهو اول من استعمل اصطلاح الغشاء الاختياري الناضح Differentially permeable membrane والغشاء شبه الناضح وهو الغشاء الذي يسمح بنفاذ مواد ولكنه يمنع مرور مواد اخرى .

على العموم لو اعتبرنا ان غشاء او مادة ها الكيس غير قابل للتمدد على الاطلاق ووضع الكيس المملوء بالمحلول في الماء سوف تدخل جزيئات من الماء الى داخل الكيس وتخرج منه اخرى نتيجة حركة الجزيئات الماء الازلية. ولكن بضع جزيئات من الماء ستدخل اكثر من الجزيئات الخارجة وهذا العدد المحدود من الجزيئات سوف يسبب ضغطا على جدار الكيس ولولا مقاومة الجدار وعدم تمدده لاستمر دخول الجزيئات ولكان عدد الجزيئات الداخلة اكثر بكثير من الخارجه حال وضع الكيس بالماء . الواقع ان الذي منع دخول جزيئات كثيرة من الماء هو الضغط المعاكس الذي ولده الكيس على المحلول الذي في داخله. اذن الضغط عامل مهم ويجب

اخذه بنظر الاعتبار في دراسة الخلايا بما ان تمدد جدار الخلية محدود ولايسمح بمزيد من التوسع في الغشاء البلازمي الذي يضم محتويات الخلية وهو الذي يتحكم في دخول المواد الى الخلية .

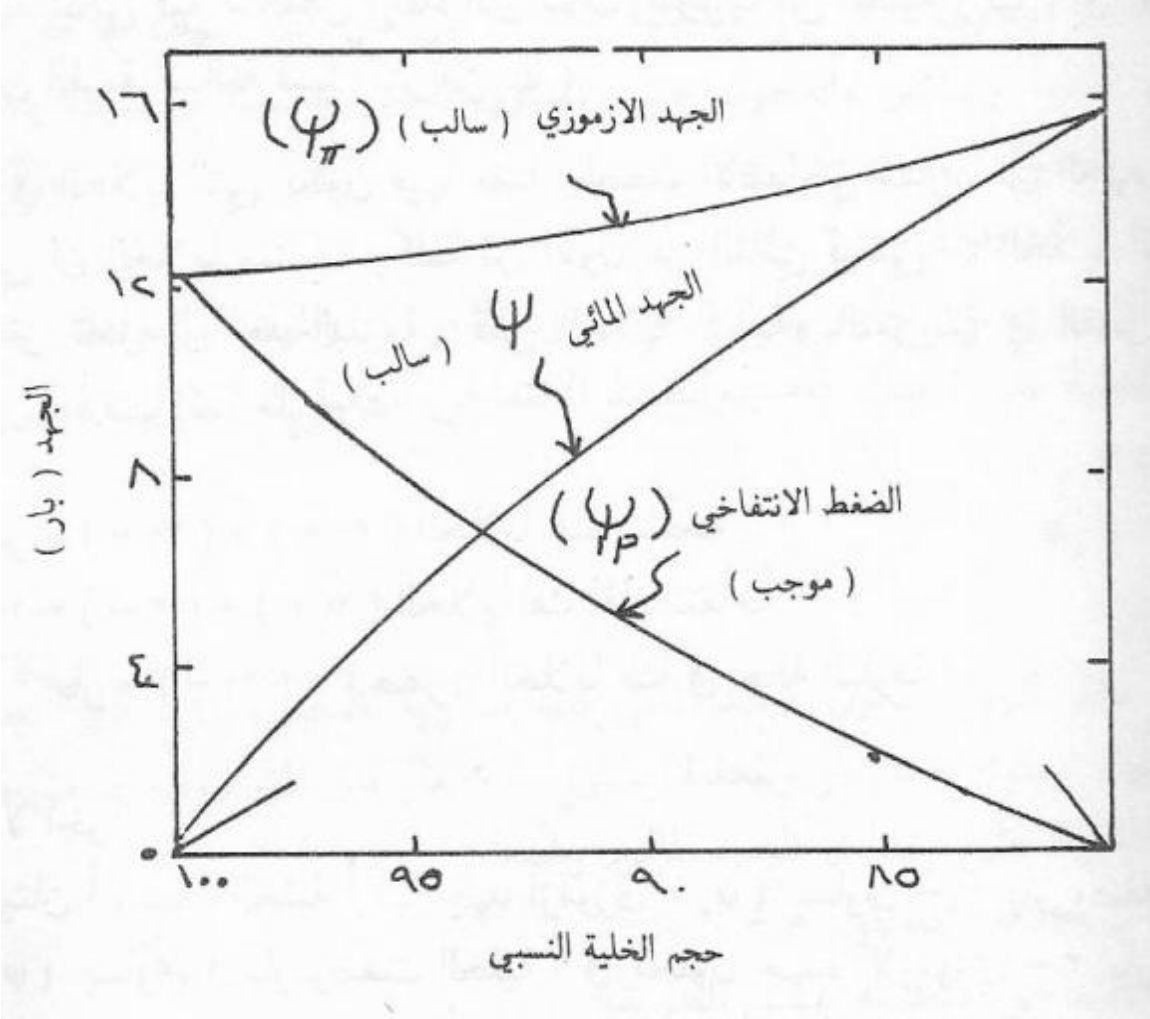
اذن الجهد المائي في الخلية هو محصلة قوى اهمها في الخلية هو الجهد الازموزي والضغط الذي سببه انتفاخ الخلايا والذي يسمى بالضغط الانتفاخي Turgor pressure والمعادلة التي تجمع الاثنين هي:

$$\psi = \psi_{\pi} + \psi_{p}$$

قد يضاف الى الجهد الازموزي والضغط الانتفاخي الجهد الحبيبي ψ_m لتبح المعادله

$$\Psi_w = \psi_s + \psi_p + \psi_m$$

ولما كان الجهد الحبيبي في الخلية قليلا جدا وذلك لان الخلية وذلك لان الخلية تحتوي على الماء وتكون جميع المواد الغروية محاطة فيه فيمكن اهماله .



العلاقة بين الجهد المائي والجهد الازموزي والجهد الضغطي (الضغط الانتفاخي) في الخلايا النباتية الجهد المائي في الخلية هو عباره من محصلة قوتين رئيستين متعاكستين في الاتجاه الاولى هي الجهد الازموزي الناتج ψ_sمن من وجود المحاليل المختلفه وقيمته السالبة والثانية هي الضغط الانتفاخي ψ_pوالتي تكون قيمته موجبة في الخلايا المنتفخة ولدراسة العلاقة بين هذه القوى سوف نستعين بالشكل التالي

نلاحظ في الشكل في الشكل انه يبدأ بالبلزمه وهو مايدعى بالبلزمه الابتدائية Incipient Plasomlysis وعندها يكون الضغط الانتفاخي للخلية يساوي صفرا اي ان الخلية غير منتفخة وانما بدأت باللزمه وعندما يكون الضغط الانتفاخي يساوي صفرا يتساوى الجهد الازموزي مع الجهد المائي كما في المعادلة التالية

فاذا كان الجهد الضغطيψ_p = صفر

وبالعكس فعندما يتساوى الجهد الازموزي مع الضغط الانتفاخي فان الجهد المائي المحلصله للخلية سيكون صفرا وفي هذه الحالة يتوقف دخول الماء الى الخلية حتى لوضعت الخلية في الماء المقطر وفي هذه الحالة يكون الجهد الازموزي مساويا للغط الانتفاخي من حيث القيمه ومعاكسا من حيث الاشارة

$$\Psi_w = \psi_s + \psi_p$$

$$\Psi_w = 0$$

$$\psi_p = \psi_s$$

فاذا لم يكن الجهد المائي يساوي صفرا فان الجهد المائي للخلية سيكون محصلة القوتين المتعاكستين والفرق بينهما هو الذي يحدد حركة الماء.

ثالثا: التشرب Imbibition

عند وضع بذور جافة أو قطعة من الخشب فى ماء لبضع ساعات يلاحظ إنتفاخ هذه البذور أو قطعة الخشب بدرجة ملحوظة وهذه الظاهرة تسمى عملية التشرب وكمية الماء التى تمتصها المادة المتشربة (Imbibant) تسمى ماء التشرب وهى عادة تكون كمية كبيرة جداً إذا ماقورنت بالوزن الجاف للمادة المتشربة حيث تصل إلى عشرات أمثالها. ويمكن أن تتشرب مادة ما أبخرة الماء (على الصورة الغازية) ويلاحظ ذلك فى الأجواء الرطبة مثل تمدد الأبواب الخشبية فى الأجواء الرطبة فى فصل الشتاء. والتشرب فى الواقع هو عملية إنتشار مثل الإسموزية. يتداخل معها الخاصية الشعرية حيث تكون المادة المتشربة عادة ذات تركيب مسامى يتميز بهذه الخاصية. ويصبح من الصعب تحديد كمية الماء التى تدخل بواسطة قوة الإنتشار أو بواسطة الخاصية الشعرية كل على حدة.

وتعزى هذه الخاصية عادة إلى الفرق بين ضغطى الإنتشار للسائل فى الوسطين الخارجى والداخلى للمادة المتشربة. وطالما كانت قيمة الأول كبيرة فإن عملية التشرب تستمر وتصل إلى حالة الإتزان (كما فى حالة الإسموزية) عندما تتساوى قيمة الضغط الإنتشارى للسائل فى الوسطين الخارجى والداخلى. ومن أمثلة المواد المتشربة النشا والجيلاتين والسليلوز والآجار والخشب والبذور الجافة وبذور النباتات ... الخ ومن خصائص عملية التشرب أن حجم المادة المتشربة يزداد نتيجة لعملية التشرب يرجع ذلك إلى سببين

- · شغل الفراغات الضيقة (المسافات البينية) فى المادة بماء التشرب.
- · توزيع جزيئات ماء التشرب على الأسطح المدمصة للمادة بطريقة تجعلها أكثر إندماجاً لها وبالتـالى تأخذ حجماً أقل. أى يمكن القول بأن جزيئات ماء التشرب تنضغط أكثر إلى بعضها وبالتالى تأخذ حجماً أقل.

- **طرق قياس الجهد الازموزي للمحاليل** :

المواد المذابة في الماء تؤدي الى تقليل الطاقة الكيميائية الحره له وبذلك وكما ذكرنا فانها تغيير من درجة الانجماد والغليان والضغط البخاري. وهذه الخصائص الثلاثة تتناسب مع كمية المادة المضافه للماء. لذلك يمكن قياس الطاقة الحره للماء وذلك بايجاد درجة الغليان او درجة الانجماد او التغيير في الضغط البخاري . وقد اعتمدت درجة الانجماد أكثر من درجة الغليان وذلك لان درجة الغليان تسبب فقدان الماء وتغيير خواصه الكيميائية.

1- طريقة الانجماد (Cryoscopy)

وهي من الطرق الدقيقة لقياس الجهد الازموزي فاذا ماقيست هذه الدرجة بدقة فان الدرجة الواحده تعادل فرق في الجهد مقداره 12 بارا . وتعتمد هذه الطريقة على قانون راولت Raoult والذي وجد بان درجة انجماد المحلول اقل من درجة انجماد المذيب (الماء النقي) وهذا يعود الى قلة ضغط بخار المذيب حيث ان .

p^o-p/p^o

p^o= الضغط البخاري للمذيب في حالته النقيه

p = الضغط البخاري للمحلول

ويتناسب الانخفاض في درجة انجماد المحلول $\boldsymbol{\Delta_f}$ مع تركيز الماده المضافه ولقد وجد ان الجهد الازموزي لمحلول مادة ما غير متاينية بتركيز امول يساوي 22.7- بار ودرجة انجماده 1.86- ويمكن بذلك حساب الجهد الازموزي اذا علمنا درجة انجمادها وذلك بالتعويض بالمعادلة التالية:

$$\frac{\psi s}{-22.7} = \frac{\boldsymbol{\Delta f}}{-1.86}$$

Ψs= 12.2 $\boldsymbol{\Delta f}$

2- تطبيق قانون فانت هوف Van't Huff Law

لقد نص هذا القانون على ان الجهد الازموزي (الضغط الازموزي) يكافيء ضغط الغاز تحت الظروف القياسية.عن طريق تطبيق المعادلة التالية :

ψ_s = -miRT

حيث ان :

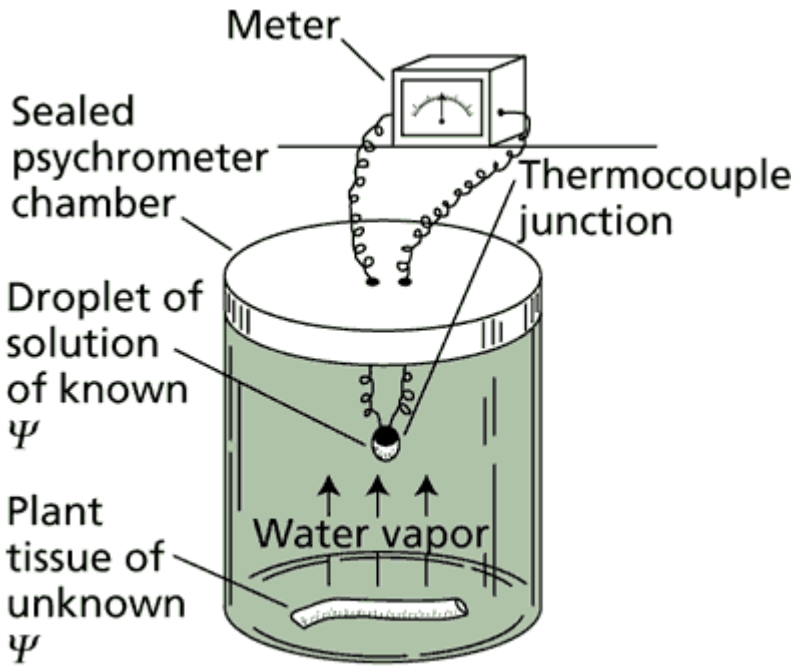
ψ_s= الجهد الازموزي

m= تركيز الماده في المحلول (التركيز الجزيئي)

i= تاين المحلول (ثابت التاين)
R= ثابت الغاز والذي يعادل 0.083لت جو/مول
T= درجة الحرارة المطلقة

3- استعمال الريفراكتوميتر :
يعتمد معامل الانحراف التي يسجلها جهاز قياس الرايفركتوميتر التي يسجلها الانحراف على نوع المادة وتركيزها في المحلول. فاذا كانت هناك علاقة بين زاوية او درجة الانحراف وتركيز المادة وبالتالي جهدها الازموزي. وتستعمل هذه الطريقة في قياس الجهد الازموزي لمحاليل المواد التي تكون خطا بيانيا متدرج الانحراف مثل السكروز والكلكوز بينما يصعب لمحلول مادة كلوريد البوتاسيوم.

4- استعمال المجس الحراري المزدوج Thermocouple Psychrometer
يستعمل المجس الحراري المزدوج المذكور سابقا بصورة رئيسية في قياس الجهد الازموزي للمحاليل.ويمكن ذلك بغمر قرص من ورق النشاف في المحلول ثم يوضع في المكان المخصص له ويقرأ الجهاز لايجاد الجهد الأزموزي



يستخدم مقياس psycometer (الشكل 1) لقياس الجهد المائي (ψw) للتربة. تكون إمكانات محلول التربة في حالة توازن ديناميكي حراري مع بخار الماء المحيط بها. ويكون جهد لمحلول التربة في حالة توازن ديناميكي مع بخار الماء المحيط بها لذلك عند اخذ ضغط البخارفوق الماء النقي في الحالة المرجعية يكون ($\psi w = 0$) مثل e^o ، في حين يكون ضغط البخار (e) فوق محلول ملحي أو ماء التربة المحتفظ به في مسام التربة والممسوك بواسطة قوى matric يكون اقل بالنسبة للحالة المرجعية ، أي ، $e < e_o$. المقياس المناسب الذي تم الحصول عليه بواسطة مقياس psycometer وهو ضغط البخار النسبي لجو التربة المحيط ، والذي يرتبط بإمكانية الماء (ψw) لمياه التربة من خلال معادلة كلفن المعروفة.

$$\mathrm{RH} = \frac{e}{e_o} = \exp\left[\frac{M_w \psi_w}{\rho_w RT}\right]$$

حيث e هو ضغط بخار الماء (كيلوباسكال) ، e_o هو ضغط البخار المشبع عند نفس درجة الحرارة ، Mw هو الوزن الجزيئي للماء ($0.018\ kg\ mol^{-1}$) ، R هو ثابت الغاز المثالي($8.31\ J\ K^{-1}\ mol^{-1}$ or $0.008314\ Pa\ m^3\ mol^{-1}\ K^{-1}$) T هي درجة الحرارة المطلقة (Kelvin) ، و P_w هي كثافة الماء ($1000\ kg\ m^{-3}$) عند درجة حرارة 20°C. ينتج عن إعادة ترتيب وأخذ تحويل لوغاريتمي لـ eqn تعبيرًا عن الجهد المائي ψw:

$$\psi_w = \frac{RT_{\rho w}}{M_w} \ln\left(\frac{e}{e_o}\right)$$

ويكون بذلك الجهد المائي للتربه الأكثر جفافاً أقل بحيث "يتسرب" عدد أقل من جزيئات الماء إلى الغلاف المحيط ، مما يؤدي إلى انخفاض الرطوبة النسبية (ضغط بخار نسبي أقل). إن محاليل التربة المركزة ذات الإمكانات التناضحية المنخفضة لها تأثير مماثل على تقليل ضغط البخار ، حيث يرتبط المزيد من جزيئات الماء بجزيئات الملح المائي وتكون أقل حرية في "الهروب" من الحالة السائلة. عدم القدرة على التمييز بين التأثيرات الضغط الحبيبي والتناضحي يحد من امكانية القياسات باستخدام هذا النوع من الاجهزه.

- **طرق قياس الجهد المائي والازموزي والضغط الانتفاخي للانسجة النباتية**

أ- طرق قياس الجهد المائي في النسيج النباتي:

لمعرفة مسار الماء من مكان الى اخر سواء من التربة الى الى النبات او من النبات الى الهواء او بين جزء معين في النبات او من خلية الى اخرى لابد من معرفة الجهد المائي والتي يعتبر من القوى التي يمكن قياسها ببساطة عند التعادل(والتي تساوي صفراً).

وعلى العموم هناك ثلاث طرق رئيسية لقياس الجهد المائي:

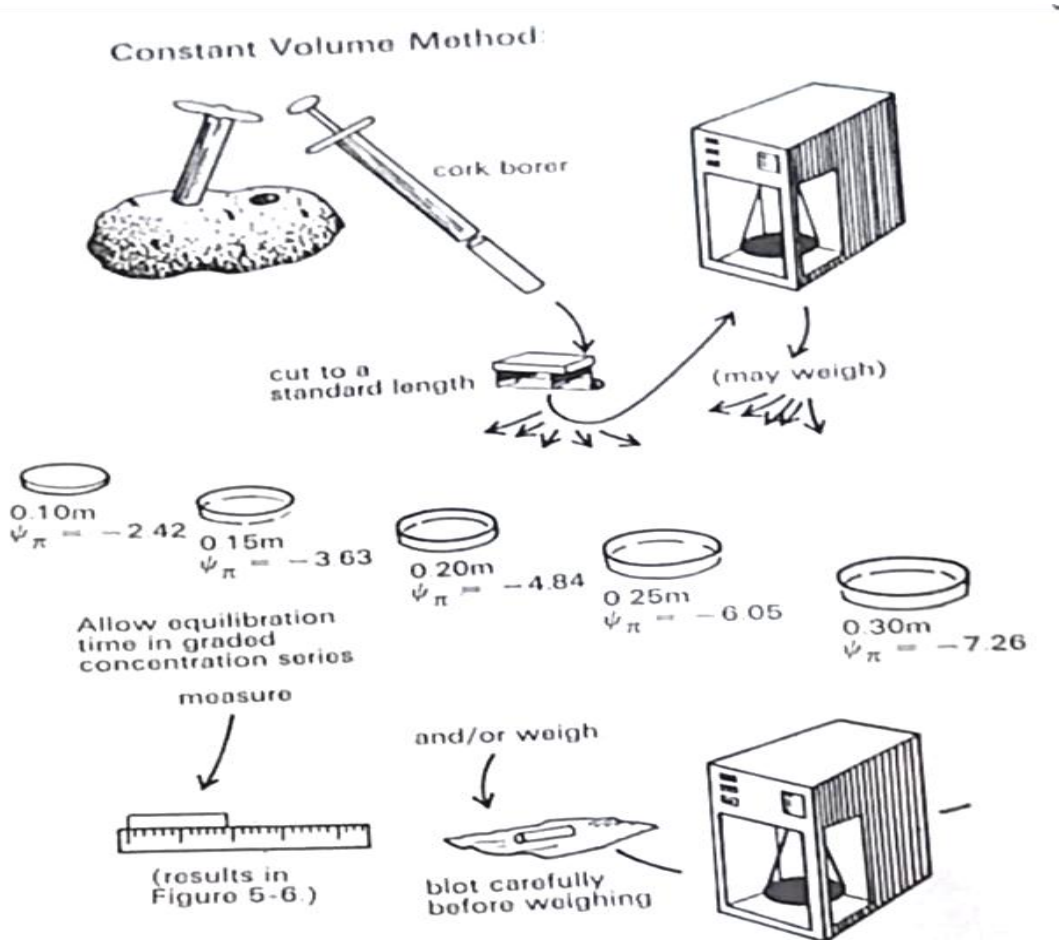
1- طريقة التعادل أو التوازن Compensation methods

أ- التغيير في النسيج

وتعتمد هذه الطريقة على التعادل بين قطعة من النسيج النباتي والمحلول الخارجي والذي يحضر لهذا الغرض. ولاجراء هذه الطريقة تحضر عدة تراكيز من مادة خاملة بحيث يمكن تحديد الجهد المائي (الجهد الأزموزي) لهذه المحاليل.تغمر في هذه المحاليل قطع متجانسة من النسيج تحت الأختبار. ويعين المحلول الذي لايسبب تغييرا في حجم او طول النسيج أو الخلايا فيكون الجهد المائي للنسيج مساويا للجهد المائي للمحلول الخارجي. ففي هذا المحلول لايفقد النسيج او يكتسب ماء من المحلول الخارجي. والمواد المستعمله في تحضير المحاليل يجب ان تكون خامله لا تدخل خلايا الانسجة كما انها تعطي محاليل معلومة الجهد. ومن المواد المستعمله هو Polyethelen glycol والمانيتول Manitol.

ومن المشاكل التي يواجهها الباحث عند اجراء القياس هو تحديد التغيير بالحجم او الطول للنسيج. وللتغلب على ذلك يقطع من النسيج حجم قياسي بأستعمال اداة قطع . وقد يحدد الباحث التغيرات بالطريقة الوزنية بدلا من الحجم وفي هذه الحالة يجب التأكد من ازالة الماء او المحلول حول النسيج قبل الوزن.

وقد تستعمل خلية واحدة او مجموعة من الخلايا وفي هذه الحالة يلاحظ التغير في حجم الخلايا تحت المجهر وذلك بعد تثبيت الخلايا بالبرافين فوق لوح زجاجي. كما قد يعتمد على نوع النسيج وسهولة القياس وتوفر الادوات.



ب- التغيير في تركيز المحلول:

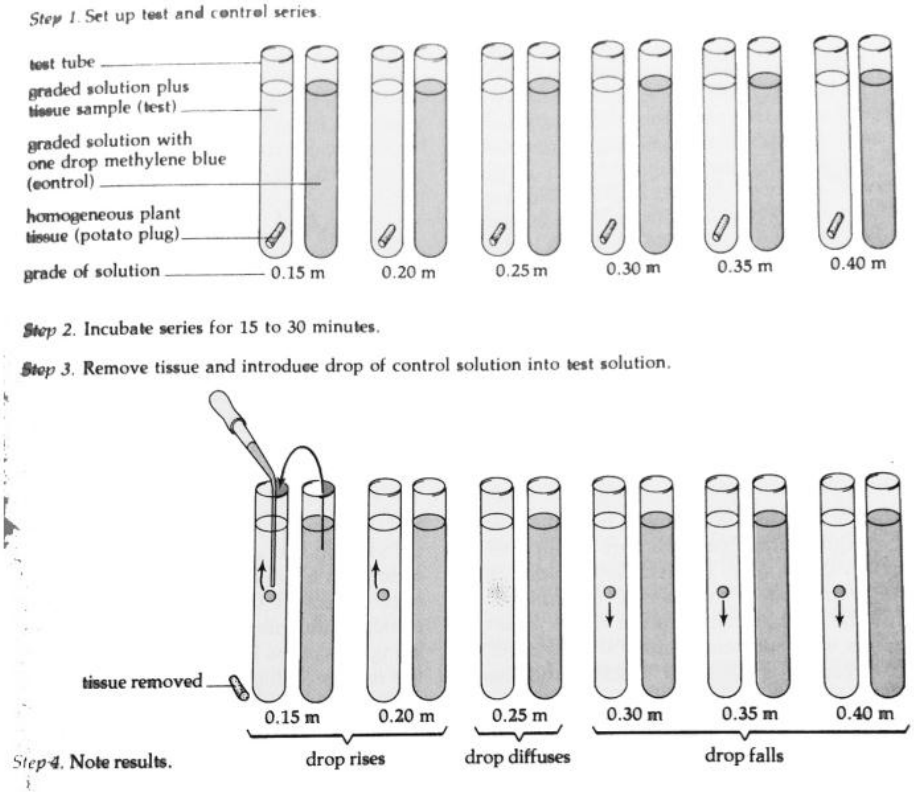
أن دخول وخروج الماء من النسيج في عملية التعادل تغيير من المحلول الخارجي بالاضافة الى تأثيرها على النسيج نفسه. يمكن قياس حركة الماء او التغيير في الجهد المائي بدلا من قياس الحجم والطول للنسيج . فاذا زاد تركيز المحلول الخارجي دل ذلك على حركة الماء من المحلول الى النسيج، اما اذا قل تركيزه فان ذلك دليل على حركة الماء من النسيج الى المحلول. أما اذا تساوى الجهد المائي للمحلول مع الجهد المائي للنسيج فبذلك لايتغيير تركيز المحلول الخارجي لان محصلة حركة الماء تساوي صفرا.

يغطيس النسيج في المحاليل كما ذكر في أ ويقاس الجهد المائي للمحلول الخارجي بدلا من النسيج ويمكن اتباع الطرق التالية:

1-1- طريقة جاردكوف Chardakov's method او تسمى بطريقة القطرة الساقطه

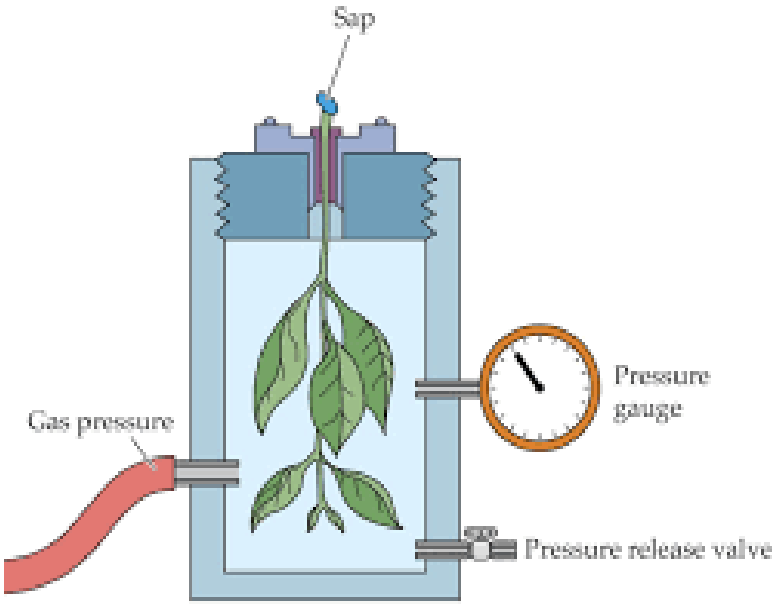
اقترحت هذه الطريقة من قبل العالم الروسي جاردكوف في سنة 1953 وهي طريقة سهلة وبسيطه لحساب الجهد المائي للنسيج النباتي. ويتم ذلك بتحضير محاليل مختلفة التراكيز ومعلومة الجهد يضاف لها بضعة بلورات من صبغة المثلين الزرقاء في انابيب اختبار. ويحضر نفس العدد من التراكيز في انابيب اخرى تترك دون اضافة الصبغة لها . تغطس الانسجة في المحاليل العديمة الصبغة مدة تتراوح بين 5-15 دقيقة تزال بعدها الانسجة وتختبر فيها المحاليل وذلك باخذ قطرة من المحاليل الملونه واضافتها الى الانبوب غير الملون والمشابه له من حيث التركيز . فاذا ظلت القطره الملونه طافية فوق السطح دل ذلك على ان االمحلول قد زاد تركيزه اما اذا غطست

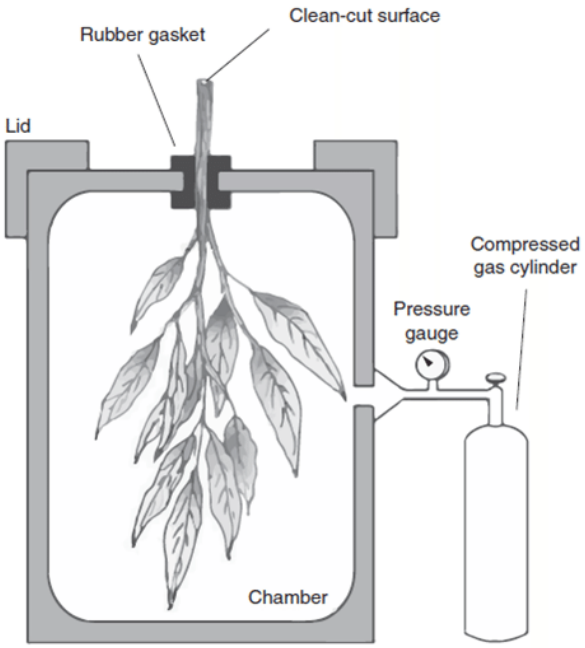
القطرة دل ذلك على ان المحلول قد قل تركيزه اما اذا انتشرت القطره الملونه بانتظام دل ذلك على بقاء المحلول كما هو عند تحضيره فلم يفقد ولم يكتسب ماء من النسيج ويكون جهده الازموزي مساوي للجهد المائي للنسيج. كما في الشكل



2-1 استخدام غرف الضغط Pressure chamber method

يسمى الجهاز المستخدم احيانا بـــPressure –bomb ويقاس في هذا الجهاز الجهد المائي لورقة اوغصن نباتي. اذ توضع الورقه او الغصن النباتي في اسطونة حديدية سميكة الجدران تبرز منها النهاية المقطوعه خلال ثقب في الغطاء، ويحكم سد الغطاء والثقب بحيث لاينفذ الهواء في الضغوط العالية وذلك لتوليد ضغط داخل الاسطوانه بحيث يزداد تدريجيا وتراقب نهاية الورقة او الغصن المقطوع باستعمال عدسة مكبرة وعندما يلاحظ ظهور قطرة ماء من الجهة المقطوعة يسجل هذا الضغط وهذا الضغط يساوي الجهد المائي للورقة او الغصن.





طرق قياس الجهد الازموزي للخلايا Osmotic potential

يقدر الجهد الازموزي للخلايا بصورة مباشرة وذلك باستعمال نسيج حي او بصورة غير مباشرة وذلك باجراء القياس على العصير الخلوي بعد استخلاصه من النسيج وقياس الجهد الازموزي باحد الطرق سابقة اذكر والتي تم ذكرها.

الطريقة الاولى المباشرة باستعمال نسيج حي ويمكن اتباع الطرق التالية:

1- البلزمة الابتدائية Incipient or limiting plasmolysis

تتمتد هذه الطريقة على تحديد البلزمه الابتدائية التي من خلالها انسحاب الغشاء الخلوي وانفصاله عن جدار الخلايا اي اللحظة التي يقل فيها الضغط الانتفاخي للخلايا الى الصفر وعندئذ يكون الجهد الازموزي مساويا للجهد المائي للخلايا كما في المعادلة التالية :

$$\Psi_w = \psi_s + \psi_p$$

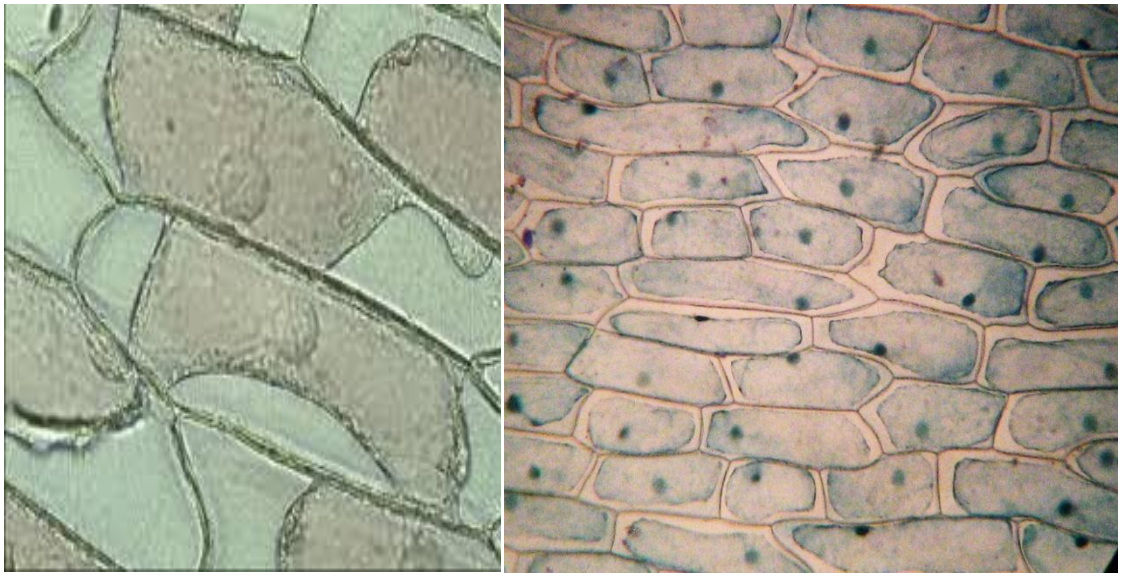
$$\Psi_p = 0$$

$$\Psi_w = \psi_s$$

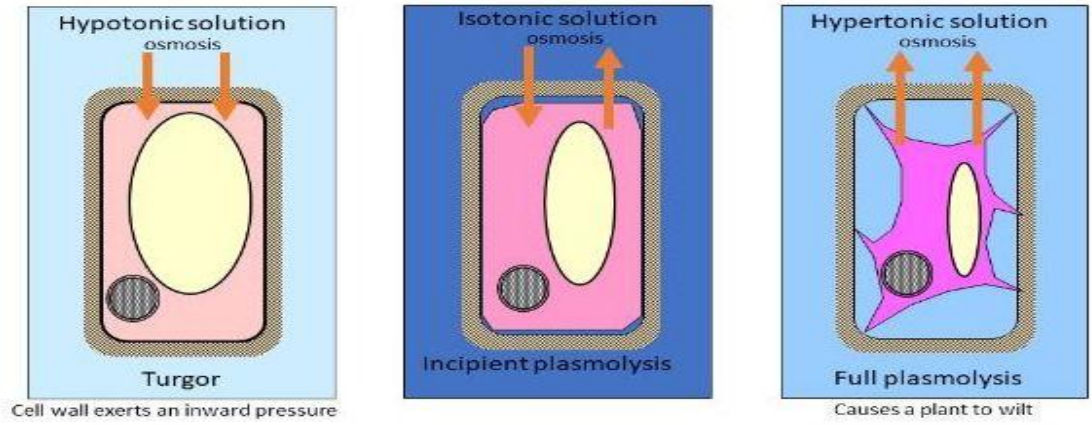
وللحصول على البلزمه الابتدائية المحددة تغطس نماذج من الانسجة في محاليل مختلفة من الجهد ويعين المحلول الذي تتم به بداية انسحاب الغشاء من الجدار الخلوي وبعد حصول التعادل في

الجهد المائي للخلية والمحلول عندئذ يكون الجهد الازموزي للخلية مساويا للجهد الازموزي للمحلول الخارجي

عند التعادل يكون $\Psi_{w \text{ for cell}} = \psi_{s \text{ for solution}}$



mosis in red onion cells



2-2 – قياس حجم الخلية والبروتوبلاست Plasmometric method

تستعمل هذه الطريقة لانسجة ذات الخلايا المنتظمه الشكل التي يمكن ملاحظة وقياس حجم الخلايا والبروتوبلاست بالمجهر ذي العدسة العينية وتمتاز هذه الطريقة بعدم الحاجه الى تحضير عدة محاليل ويكتفي بتحضير محلول واحد فقط كما تستعمل قطعة واحدة من النسيج. ويجري القياس بغمر قطعة النسيج في محلول معلوم الجهد الازموزي كان يكون محلول السكروز ويترك النسيج لحين حصول التعادل ومن ثم يفحص النسيج ويفحص تحت المجهر بعد تغطيته بقطرات من البارافين ونختار خلية واحدة ذات شكل هندسي منتظم لاجراء القياسات عليها يقاس طول الخلية الكلي وقطرها وطول البروتوبلاست وقطره بواسطة العدسة العينية للمجهر

ويمكن حساب الجهد الازموزي للخلية بالمعادلة التالية :

$$\psi s \text{ للخلية} = \psi s \text{ للمحلول} \frac{Vp}{Vc}$$

حيث ان :

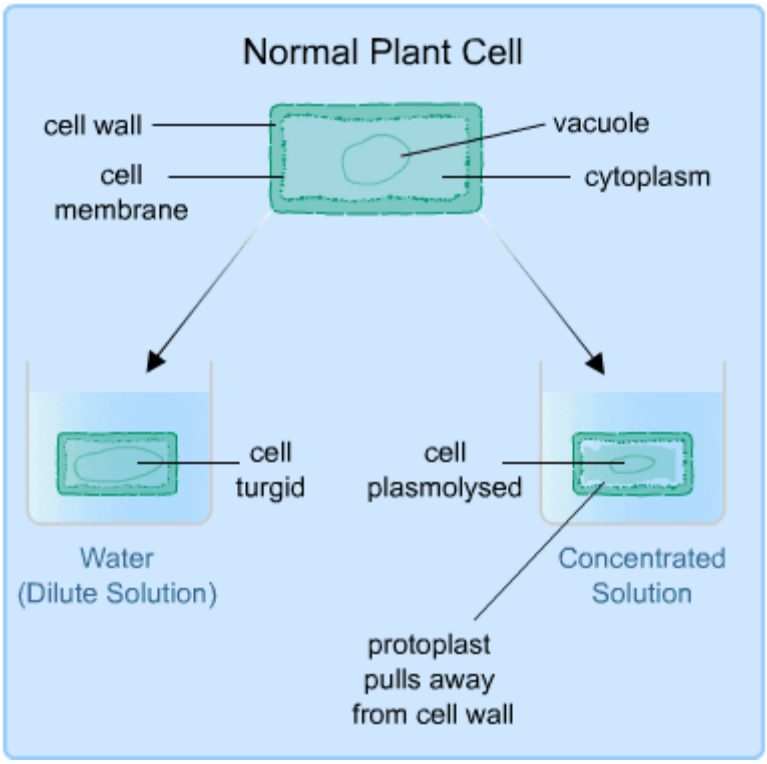
ψs للخلية= الجهد الازموزي للخليه

ψs للمحلول= الجهد الازموزي للمحلول

V_p= حجم البروتوبلاست

V_c= حجم الخلية الكلي

تعتمد هذه الطريقة على اختيار خلية مناسبة من خلايا النسيج وحساب ابعادها بصورة صحيحة



حركة الماء بين الخلايا Movement of water between cells

اذا كان لدينا خليتين A و B لها جهد أزموزي يساوي =10- بار وضغط انتفاخي =4 بار، بينما في الخلية B جهدها الازموزي = 6- بار وضغط انتفاخي = 3 بار. اذا وضعت هذه الخليتين بتماس مع احداهما الاخرى بحيث يسمح للماء بالنفاذ بين الخليتين. احسب الجهد المائي للخليتين قبل التوازن وبعد التوازن.

$$\Psi_w = \psi_s + \psi_p$$

للخلية A $\Psi_w = -10+4 = -6$

للخلية B $\Psi_w = -6 +3 = -3$

$$\Delta \Psi_w = \Psi_w A - \Psi_w B$$

بعد التوازن $= -6-(-3)=-3$

اذا وضعت الخلية A في محلول جهده الازموزي =2- والخلية B وضعت في محلول جهده الأزموزي مقداره= 5- ماهو مقدار الجهد الضغطي والمائي للخليتين بعد حالة الاتزان عند وضع الخليه A في المحلول الذي جهده الازموزي = 2- فان الخلية ستتعادل ويصبح الجهد المائي لها يساوي= 2- وعند التعويض بالمعادله مره ثانية

$$\Psi_w = \psi_s + \psi_p$$

$$-2 = -10 + \psi_p$$

$$\psi_p = 8$$

الخلية B عند التوازن يكون مساويا للجهد المائي للمحلول ولما كان الجهد المائي للمحلول = 5- بار وللخلية B= 3- فان الماء سيخرج من الخلية الى المحلول حتى يتساوى الجهد المائي بينهما. 5-

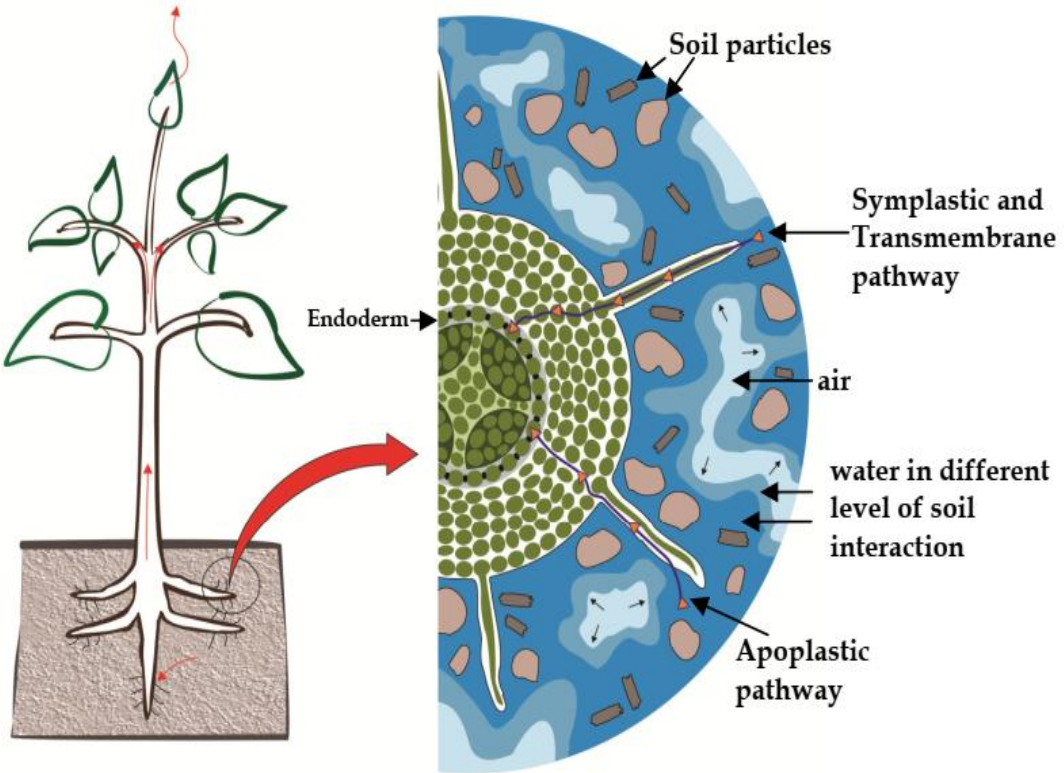
$$\Psi_w = \psi_s + \psi_p$$

$$-5 = -6 + \psi_p$$

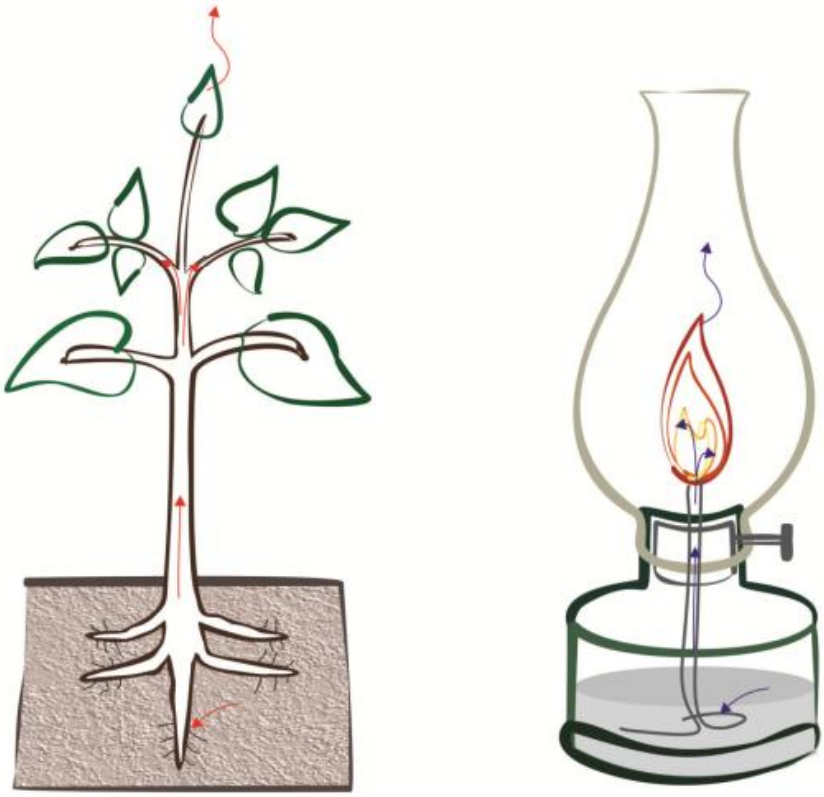
$$\psi_p = 1$$

امتصاص الماء Water absorption

يحصل النبات على الماء اللازم لاحتياجاته عن طريق جذوره المتغلغله في التربة. ولكي يمتص النبات الماء بكفاءة يجب ان يكون للنبات مجموع جذري مناسب يتلائم مع الظروف البيئية المختلفه التي يتعرض لها النبات ، ومنطقة الامتصاص تقع عادة بالقرب من قمم الجذور حديثة التكوين هذا بالاضافة الى الامتصاص الذي يحدث عن طريق الشعيرات الجذرية . ةتلعب الخاصية الازموزية عاملا رئيسيا في نقل الماء الى الجذور . فالشعيرات الجذرية تسلك سلوك الازمزميتر ذات الغشاء الشبه منفذ " الغشاء البلازمي" وهذا الازموميتر منغمس في محلول التربة فيمر الماء خلال الغشاء شبه منفذ من محلول مخفف التركيز الى العصير الخلوي الأكثر تركيزا. ثم يمر الماء الى الطبقات الخارجية من القشرة ثم الى الطبقات الخارجية من القشرة ثم الى الطبقات الداخلية طبقا لمعدل الضغط الازموزي الى ان تصل الى الاوعية الخشبية خلال خلايا قنوات المرور passage cells وتعمل قوى غير ازموزية في امتصاص الماء والتي تسمى قوى سحب النتح في انتقال الماء من الناحية التصويرية ، ، يمكننا مقارنة تدفق مياه النبات بمبادئ تدفق الزيت في فتيل مصباح الأنارة القديم كما هو واضح في الشكل ادناه



تدفق الماء من التربة الى الجذور



يوضح الشكل- عملية سحب النتح التي تحث في النبات والتي تكون متشابه مع عملية تدفق الزيت في فتيل مصباح الانارة القديم

وهناك قوتان تعملان على جذب الماء من التربة الى النبات وهما:

1- قوة تشرب الجدران السيللوزية بالماء

وهي القوة التي تعمل على تشرب الشعيرات الجذرية بماء التربة ومنه الى جذر النبات ثم الى طبقات الجذر ولكن كمية الماء التي تدخل عن طريق التشرب قليلية جدا ولاتكفي لاحتياج النبات من الماء.

2- قوة الامتصاص

يتوقف انتقال الماء من خلية الى اخرى مجاورة لها عن طريق قوة الامتصاص اذ ان الماء ينتقل من التربة الى الخلية ذات قوة الامتصاص الاكبر (خلايا الجذر)والذي يبدء من البشرة ثم الى القشرة ثم الى الاندوديرمز والبرسيكل عبر قنوات المرور واخيرا الى الاوعية الخشبية ويوجد نوعان من الامتصاص:

أ- الامتصاص النشط Active absorption

وهذا يعني ان امتصاص الماء يحدث نتيجة بذل طاقة ناتجة من تنفس الجذور

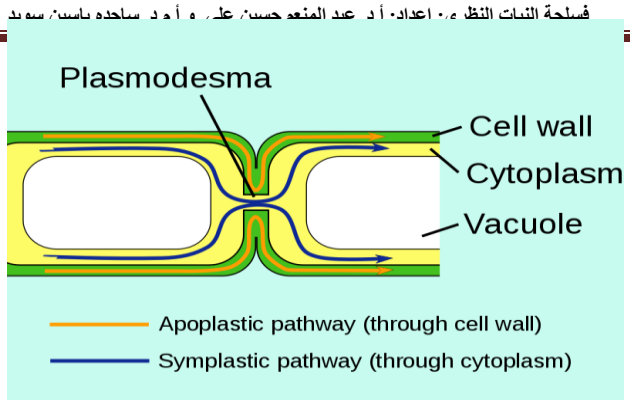
ب- الأمتصاص السلبيPassive absorption

ان الماء يمتص فقط نتيجة لقوانين الأنتشار ولا يحتاج الى طاقة وينتقل الماء من المكان الذي يكون فية التركيز واطيء الى المكان الذي يكون فيه التركيز عاليا ويتحكم في ذلك المجموع الخضري وعملية النتح. مع وصول الماء إلى الجذور ، تعتمد عملية

الامتصاص بشكل مباشر على التدرج المحتمل للماء بين منطقة الجذورRhizospher وخشب الجذر. هناك طريقتان لإنشاء هذا التدرج ، يتميزان بعمليتي امتصاص:
1) الامتصاص التناضحي ، وهذا النوع شائع في النباتات ذات نشاط النتح المنخفض ؛ و 2) الامتصاص السلبي الذي يسود في النباتات ذات نشاط النتح العالي. يحدث الامتصاص الذي يحركه التناضحي في النباتات في ظل ظروف الحرارة وتوافر المياه غير المحدوده في التربة ، ولكن مع قدرة محدودة على النتح (على سبيل المثال ، بدون أوراق أو مع عجز محدود في ضغط البخار). في هذه الحالات ، هناك تراكم للمواد المذابة في أوعية نسيج الخشب (على سبيل المثال ، السكروز عن طريق تحلل احتياطيات النشا في الجذور) ، مما يقلل من إمكانات المياه في نسيج الخشب فيما يتعلق بإمكانيات مياه التربة ، ينتج عن هذه الحالة امتصاص الماء وزيادة ضغط الجذر ، وهو المسؤول بحد ذاته عن الإمساك الذي يعني إخراج ماء الورقة من خلال الهيدثودات Hydathodes (المسام الموجودة في اطراف الأوراق) علاوة على ذلك ، فإن زيادة ضغط الجذور تعزز أيضًا نضح الماء في نهايات الفروع المقطوعه ، والتي يمكن ملاحظتها بسهولة في بعض الأنواع (مثل النضح على فروع نباتات العنب وفاكهة الكيوي بعد التقليم في أوائل الربيع

يمكن ان يتبع دخول الماء في انسجة الجذور النقل المائي الشعاعي radial water transport ويتم فيه نقل الماء شعاعيا من البشرة الخارجيةepidermis الى طبقة البشرة الداخلية endodermis ثلاث طرق رئيسية كما في الشكل اعلاه

1- Apoplastic transport نقل الماء خلال الجدار الخلوي للخلايا عن طريق المسافات البينية والتي تشكل حصريا شبكة بين الجدر الخلوية ولايمر عبر اي اغشية .

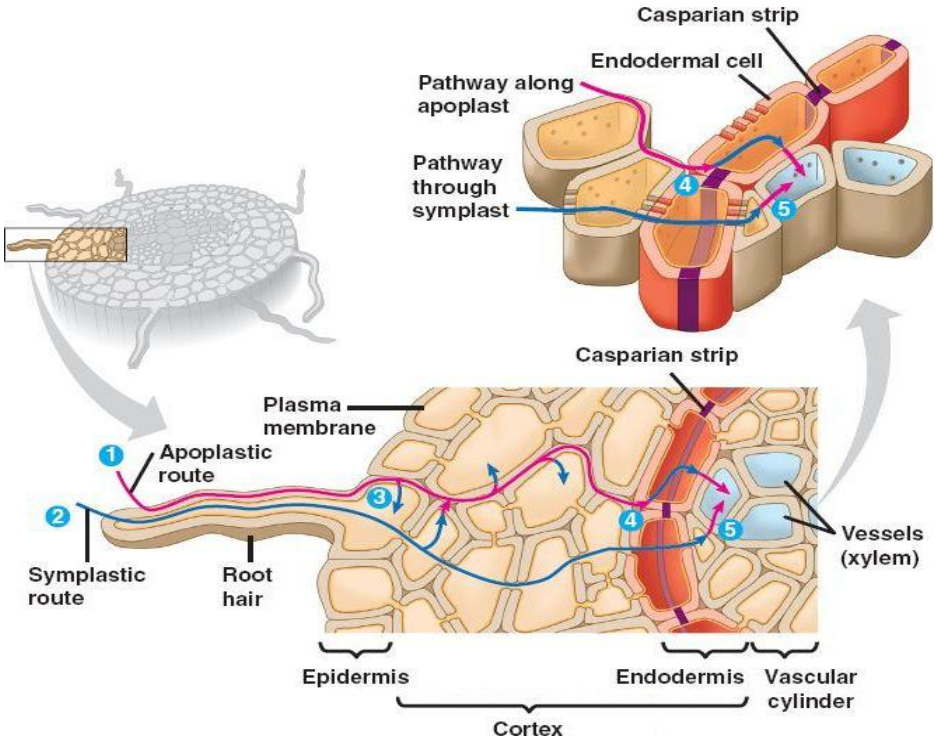


2- الانتقال السايتوبلازمي للماء Symplastic water transport
وينتقل في هذا النوع من الانتقال المائي بين الخلايا المتجاورة عبر الروابط البروتوبلازمية Plasmodesmata

3- Trans-membrane water transport
وفي هذا النوع يندمج بين النوعين الاول والثاني. حيث يدخل الماء من طريق واحد الى انسجة الجذر من خلال السايتوبلازم apoplastic ويخرج منها عن طريق الجدار الخلوي apoplastic

ولازال الجدال حول انواع هذا النقل في النبات لازالت قائمة ويعتقد ان النباتات التي تظهر نشاطا قليلا للنتح تستخدم النوع الثاني من النقل Symplastic بينما النباتات التي تظهر نشاطا عاليا من النتح تستخدم النوع الاول من النقل Apoplastic transport

ويحدث هذا النوع من النقل في طبقة البشرة الخارجيه . اما عند وصول الماء الى طبقة البشرة الداخلية endodermis تكون عملية نقل الماء عن طريق الجدار الخلوي Apoplastic معدومة بسبب وجود شريط كسبار Casparian strip



ملائمة نسيج الخشب تشريحا لأمتصاص الماء

يتركب نسيج الخشب من الاوعية الخشبية Vessels والقصيبات Tracheids وهما الأكثر انتشار واشتراكا في نقل الماء وكلاهما مستطيلان لهما جدر ثانويو ملكننة ، وهما عبارة عن خلايا ميتة عند اتمام النضج مما يساعد على نقل كميات كبيرة من الماء، ومن مميزات الأوعية ان اطرافها مثقبة ولها نقر تسمى بالنقر المضفوفه Bordered pits، وتاخذالشكل الأنبوبي ويطلق عليها العمود الوعائي او عمود الخشب والذي يتصل بخشب الساق ثم الأوراق. وتعد الياف الخشب Xylem fibers من التراكيب الرئيسية في الخشب وهي عبارة عن خلايا طويلة رقيقة مستدقة لها جدر سميكة جدا وملكننة تموت عند النضج ووظيفتها الأساسية هي الدعامة ومن المحتمل ان يمر بعض الماء منها. كما توجد خلايا حية تعرف ببرنكيما الخشب Xylem parenchyma ووظيفتها الاساسية اختزان الغذاء اذ يتراكم النشا فيها وربما يكون لها دور حيوي في نقل الماء.

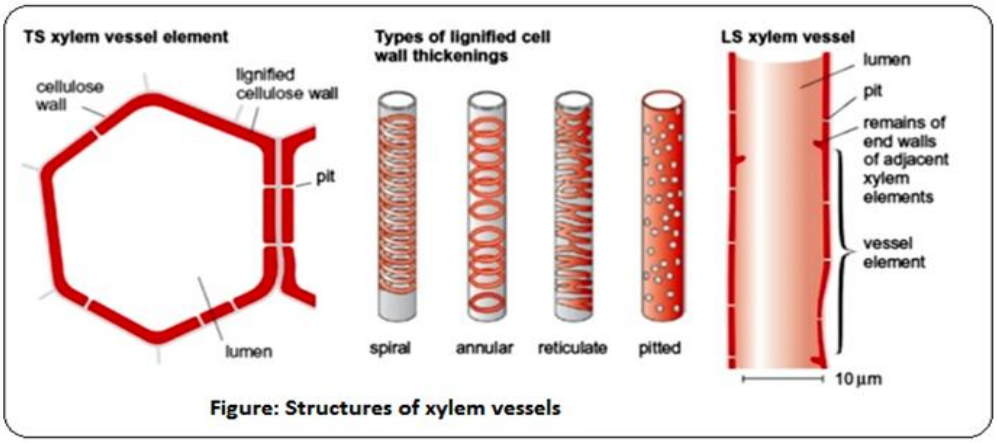
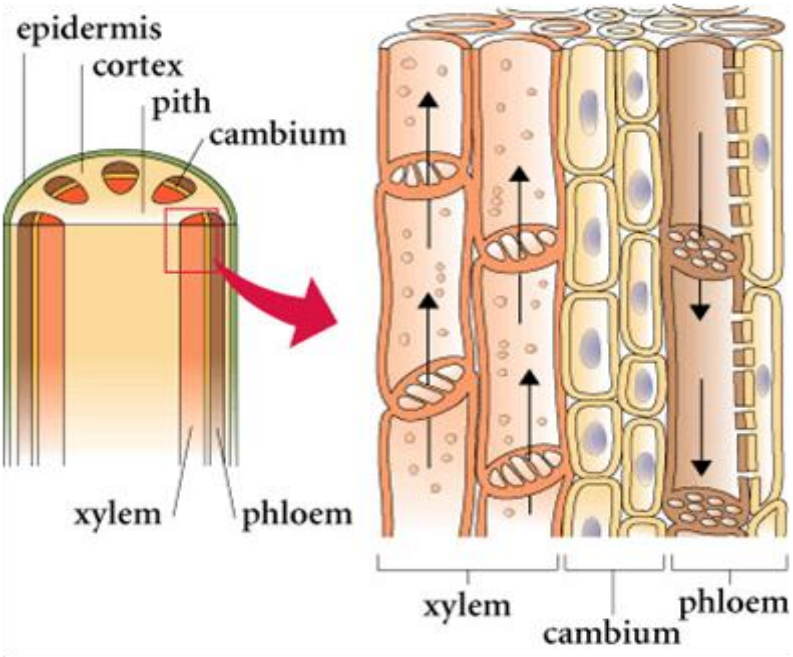
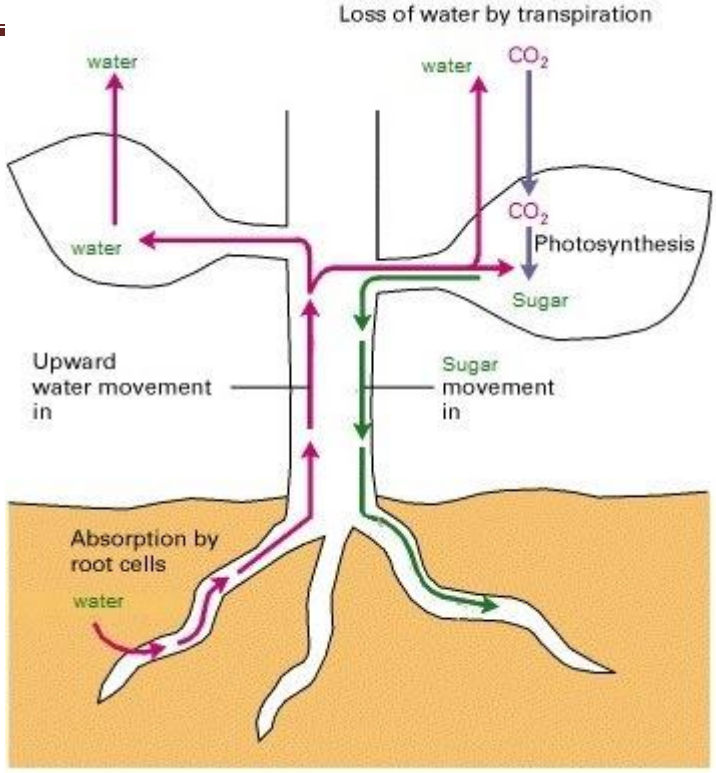


Figure: Structures of xylem vessels





-صعود الماء في النبات_نظام الاوعية

ارتبط وجود النباتات خارج البيئة المائية بتطوير نظام نقل الماء عبر الاوعية الخشبية مما يسمح بالحركة السريعه له الى الاعلى متحديا قانون الجاذبية الارضية . لذا ان امداد الماء عبر قانون الانتشار (الاختلاف في التدرج الكيميائي) لايعد كافيا لامداد الماء للحفاظ على ترطيب نباتات الظله . لذا يحتاج النبات الى نظام اوعية كفوء خصوصا عندما نرى الديناميكية الهيدروليكية للنباتات في الايام الحارة والتي تتطلب تدفقا كبيرا من الماء على سبيل المثال تحتاج شجرة *Sequoiadendron giganteum* من 200-400 لتر في اليوم لتناسب النتح الحاصل في الاشجار التي يبلغ طولها اكثر من 100متر. وهناك عدة نظريات لتفسير طريقة صعود العصارة في النبات وهي كالاتي:

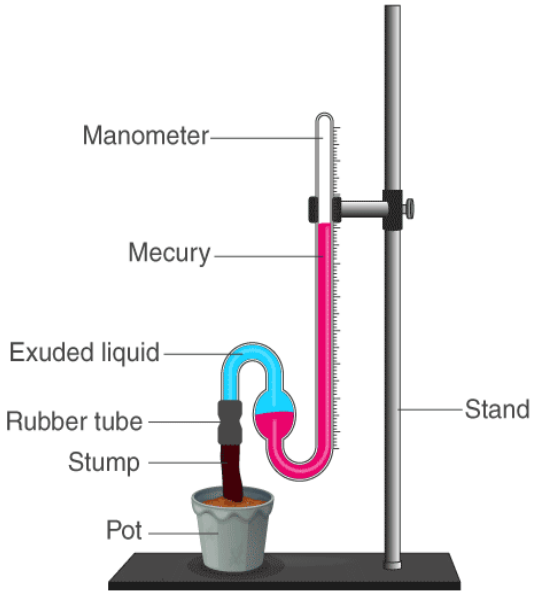
1- النظرية الحيوية Vital theory

تؤكد هذه النظرية على ان الخلايا في الساق تلعب دورا مهما في عملية صعود العصارة بالرغم من الاوعية والقصيبات التي يتم انتقال الماء من خلالها غير حية لكن دائما على اتصال بالخلايا الحية لذلك هناك شك في هذه النظرية نظرا لان موت الخلايا لايمنع صعود العصارة الى الاعلى في النبات

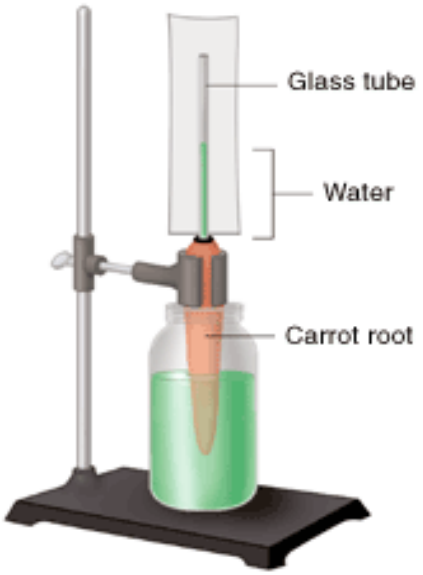
2- الضغط الجذري Root pressure

أذا قطعت ساق نبات بالقرب من سطح الارض فانها ترشح من سطح القطع كذلك من الجروح والثقوب التي تعمل في النبات ويعزى هذا الرشح الى ضغط يوجد في العصارة التي تملأ تجاويف القنوات الخشبية وينشأ عن آلية غير واضحة في الجذر لذلك يسمى بالضغط الجذري ويمكن قياس الضغط الجذري بجهاز المانومتر Manometer والمتصله بالساق المقطوعه. ةتختلف قيمة الضغط الجذري باختلاف النباتات ولكنها على العموم لاتتجاوز 2 ضغطا جويا الا في حالات نادرة يقل فيها الضغط الجذري في النباتات اقل من 2 ضغط جوي. ويكفي هذا الضغط المتولد عن الجذر برفع العصارة النباتية الى 30 مترا. ولكن مع ذلك هناك اعتراض على هذه النظرية ففي منتصف الصيف عندما تكون حركة الماء في الساق سريعة يصعب التمييز بين الضغط الجذري بل على العكس

اذا قطعت ساق نبات في هذه الظروف وصب الماء فوق سطح القطعه مباشرة بعض الماء يسحب الماء الى داخل الجذور وهذا يدل على ان عمود الماء يعاني شدا لا ضغطا. ونتيجة لذلك لايمكن اعتبار هذا الالية الاساسية في انتقال العصارة خلال النبات.



Demonstration of root pressure

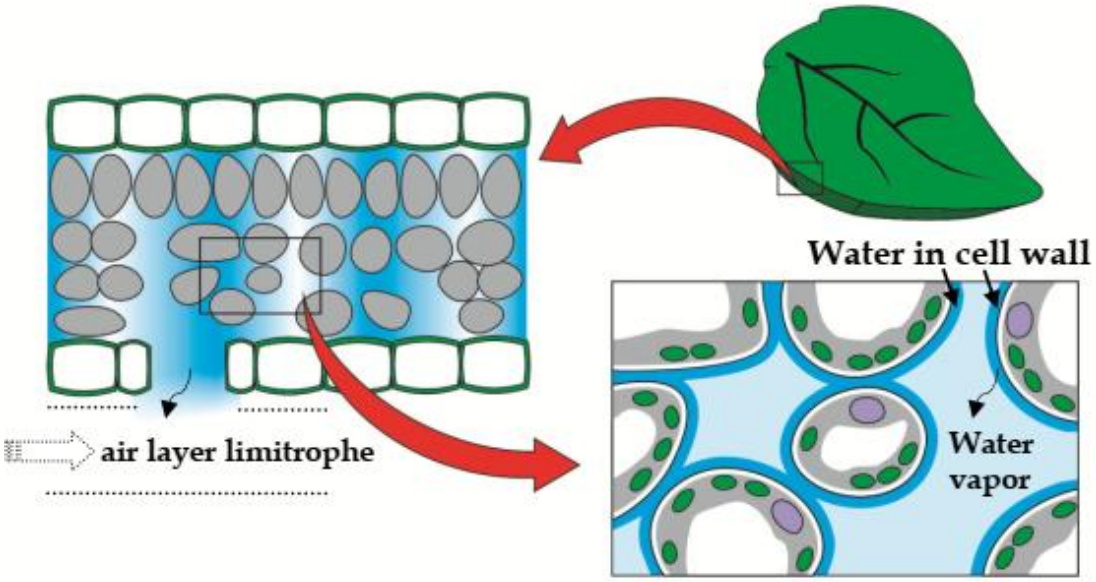


نظرية الضغط الجذري

3- نظرية التماسك والتلاصق Cohesion and Adhesion theory

تفسر هذه النظرية ارتفاع الماء في النباتات ضد الجاذبية الارضية والى مسافات قد تصل الى 100 متر عندما تكون القوة تعمل على صعود العصارة ناشئة من الورقة وتنص على

- تفقد خلايا النسيج الوسطي في الورقة بعض مائها خلال عملية النتح
- ترتفع قوة امتصاصها الازموزية فتسحب الماء من الخلايا المجاورة لها.
- وهذه بدورها ترتفع قوة امتصاصها الازموزية ثم تسحب الماء من جوارها وهكذا حتى يصل السحب الى الاوعية الخشبية في الورقة
- وعلى ذلك يتعرض الماء في هذه الورقة الى شد من الاعلى ولما كان الماء في الاوعية الخشبية يكون عمودا متصلا من لبجذور الى الى الورقة فان قوة الشد هذه تنتقل من الاسفل خلال عمود الماء كله واذا كانت قوة التماسك بين جزيئات الماء كبيرة فان اي فقد لاي كمية من الماء عن طريق عمود العصارة في الاوعية الخشبية للورقة يتبعه سحب بقية عمود العصارة الى اعلى كوحدة متصلة من التربة ويمكن تصور الماء في النبات كخيط متصل من جذور الخلايا في النسيج الوسطي الى الشعيرة الجذرية فاذا جذب هذا الخيط من نهايته في الثغر بفعل النتح فانه يسحب من التربة ويرتفع الى الاوراق وهكذا يجلب الماء من مسافات بعيدة في التربة ويصل الى قمم النباتات بفعل قوة الشد الناتجة من النتح.



ويمكن توضيح عمل القوة الناشئة عن البخر بتوصيل ساق مورقة بالطرف الأعلى لانبوبة زجاجية مملؤة بالماء وغمس الطرف الاسفل لتلك الانبوبة في وعاء به زئبق وملاحظة ارتفاع الزئبق الى أعلى ويمكن تقديره بعدة ضغوط جوية.

4- الخاصية الشعرية capillarity

تساعد الخاصية الشعرية على رفع العصارة الخشبية في الاوعية الا ان هذه الخاصية لاتساعد على رفع الماء الى مسافات عالية او ارتفاعات عالية فعلى سبيل المثال يرتفع الماء في القصيبات الضيقه التي يبلغ قطرها 0.2 ملم مسافة 150 سم . اما في الاوعية الاكبر قطرا (0.5 ملم) فان الماء يرتفع فيها الى 60 سم . وعلى العموم يتناسب ارتفاع الماء عكسيا مع قطر الوعاء

العوامل المؤثرة في معدل امتصاص الماء

يتاثر امتصاص الماء بعدد من العوامل الداخلية والخارجية يمكن تقسيمها الى عوامل بيئية وعوامل النبات نفسه.

أولا: العوامل البيئية Ecological factors

1- درجة حرارة التربة Soil temperature

يمتاز امتصاص الماء مع ارتفاع درجة الحرارة اذ تزداد نفاذية الخلية مع ارتفاع حرارة التربة مع قلة لزوجة الماء مما يساعد في سلاعة حركة الجزيئات وهذه تزيد من سرعة مرور جزيئات الماء خلال الاغشية البلازمية بينما في درجات الحرارة المنخفضه فيقل امتصاص الماء وتزداد لزوجة البروتوبلازم وتنخفض نفاذية الخليه

2- المحتوى المائي للتربة

يقسم المحتوى المائي في التربة تبعا لسهولة حصول النبات علية الى عدة انواع

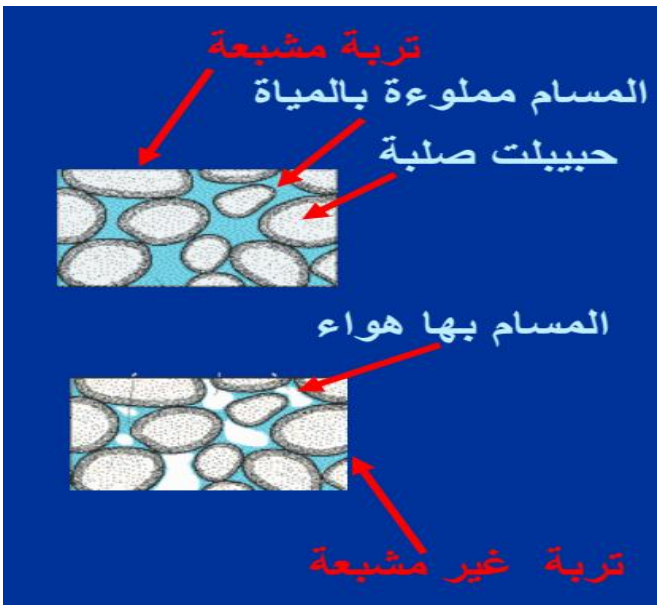
أ- ماء الجاذبية الارضية Gravitational water وهو الماء المتسرب بفعل الجاذبية الارضية فبعد الري او سقوط امطار غزية يتسرب جانب كبير من الماء بفعل الجاذبية الارضية:ويمتاز بـــ

- يكون في مسام التربة الكبيرة التي تزيد قطرها عن 10 مايكروميتر

- غير ممسوك بحبيبات التربة وهو ماء زائد عن ماء السعه الحقلية
- لاتستطيع التربة الاحتفاظ به ضد قوى الجاذبية
- غير متاح للنبات

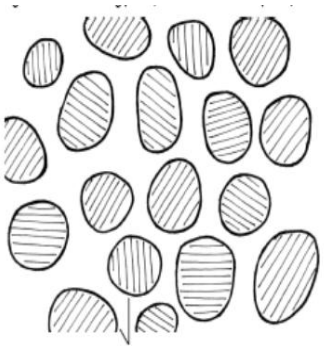
ب- ماء السعة الحقلية Water holding capacity

وهو الماء الموجود في المسامات الدقيقة للتربة بينما تكون معظم المسامات الكبيرة مملوءة بالهواء .ترجع اهميه السعه الحقليه الى انها تمثل الحد الأعلى للماء المتيسر للنبات الماء الجاهز (ويكون الشد الرطوبي عند هذه النقطه بين 1\11- 1\3(11 كيلو باسكال - 33كيلوباسكال وحسب نسجه التربة)

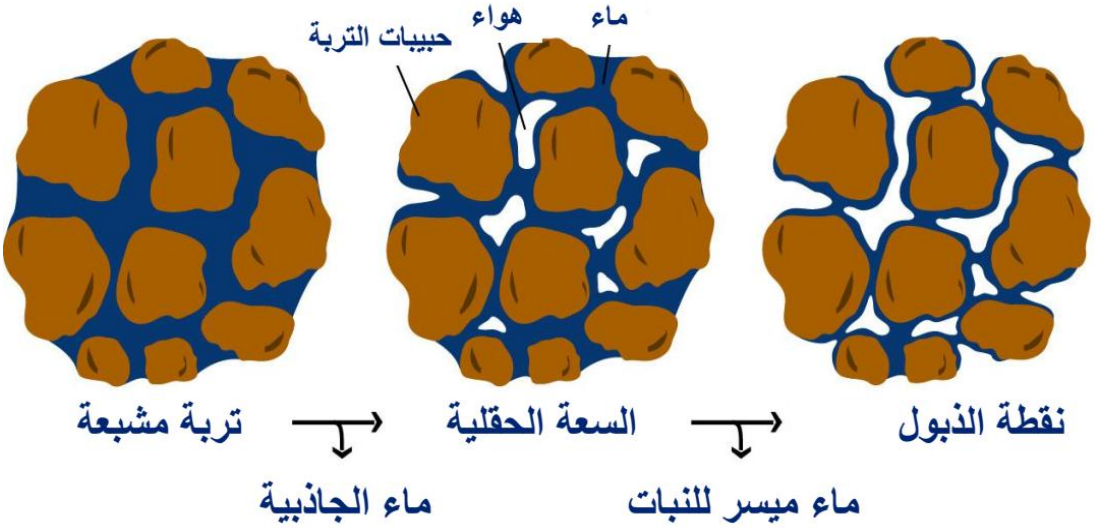


ج- نقطة الذبول الدائم Permanent wilting point

هي نسبة الرطوبة التي عندها لايمكن لمعظم النباتات الاستفاده منها او ان يحافظ النبات على حياته حيث يكون الماء ممسوكا في المسام الدقيقة للتربة وحول حبيباتها المفردة بقوة شد اكبر من استطاعة النبات امتصاصة ويكون الشد الرطوبي عند هذه النقطة -15 وهناك فرق بين نقطة الذبول الدائم ونقطة الذبول المؤقت حيث يكون فيها معدل النتح اكبر من معدل الامتصاص كما ويمكن للنبات استعادة حالته الطبيعية في نقطة الذبول المؤقت عند اضافة الماء او تحسن الظروف



Available water الماء الميسر



3- تركيز محلول التربة Concentration of soil solution

التركيب الكيمياوي لمحلول التربة وكذلك تركيز هذا المحلول له تأثير كبير على امتصاص الماء عن طريق الجذور ولكن أي زيادة في تركيز هذا المحلول المحيط بالجذور تقلل من نفاذية الخلايا وبالتالي من امتصاص الماء وعلى اي حال فان النبات يستطيع التغلب على هذه العقبة وذلك بزيادة العصير الخلوي.

4- تهوية التربة Aeration of soil

لاتستطيع خلايا الجذور من امتصاص الماء تحت الظروف اللاهوائية للتربة اذ ينتج عن هذا انخفاض في نفاذية الخلايا للماء وهذا يؤدي في النهاية الى موتها.

ثانيا- العوامل النباتية Plant factors

حينما تكون عوامل التربة جميعها ملائمة لامتصاص النبات للماء هناك عوامل اخرى تخص النبات نفسه ومن اهم هذه العوامل هي

أ- معدل النتح

ب- كفاءة المجموع الجذري

ت- قيمة معدل ضغط الانتشار من التربة للجذر

عملية النتح في النبات Transpiration

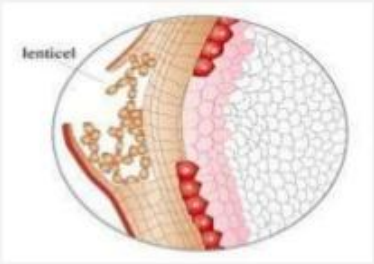
يفقد النبات الماء على هيئة بخار الماءمن من الورقة وتسمى هذه العملية بالنتح الثغري وعلى العموم هناك ثلاثة انواع من النتح في النبات

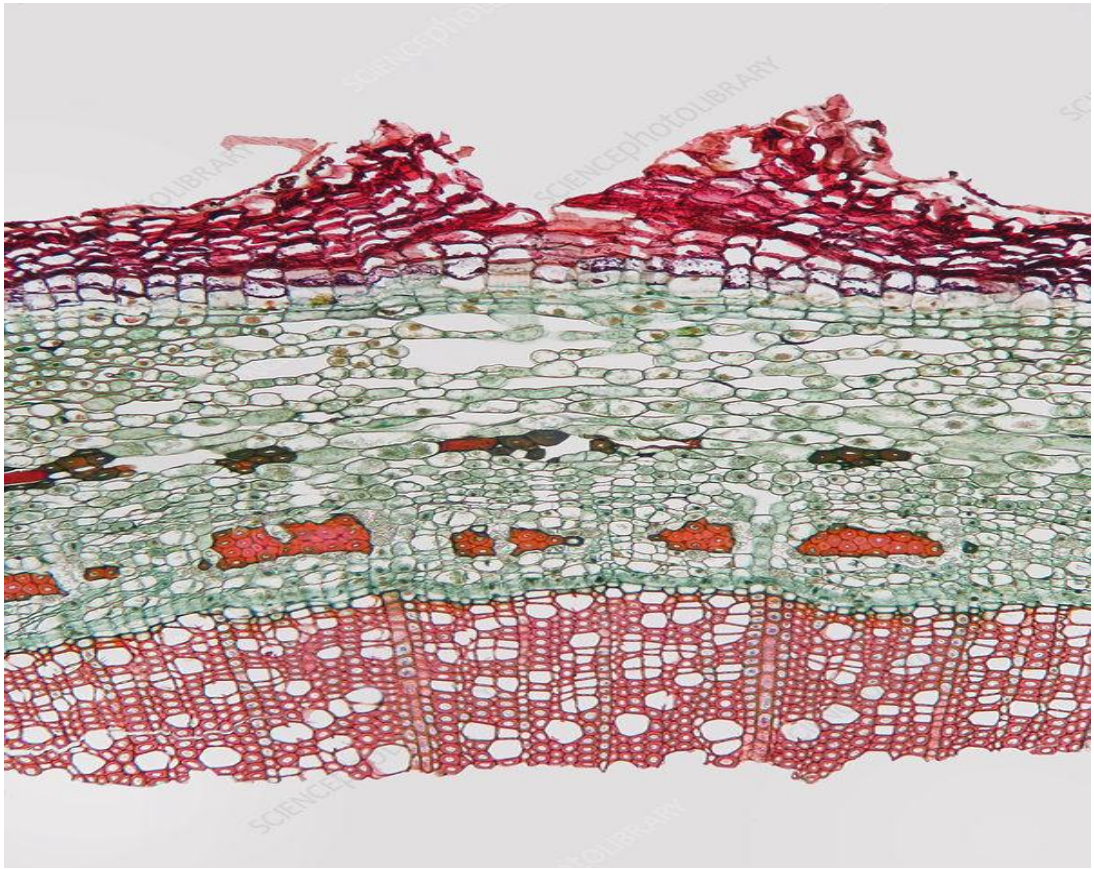
1- النتح العديسي Lenticular transpiration

تفقد بعض الأشجار الخشبية كمية من مائها عن طريق العديسات المنتشرة في جدرها والتي تمثل فتحات تقفل وتفتح حسب الحاجة وفي الفصول المختلفة وتقدر كمية الماء التي تفقد بهذه الطريقة بما يعادل 0.1% من مجموع الماء الذي يفقده النبات.

Types of transpiration

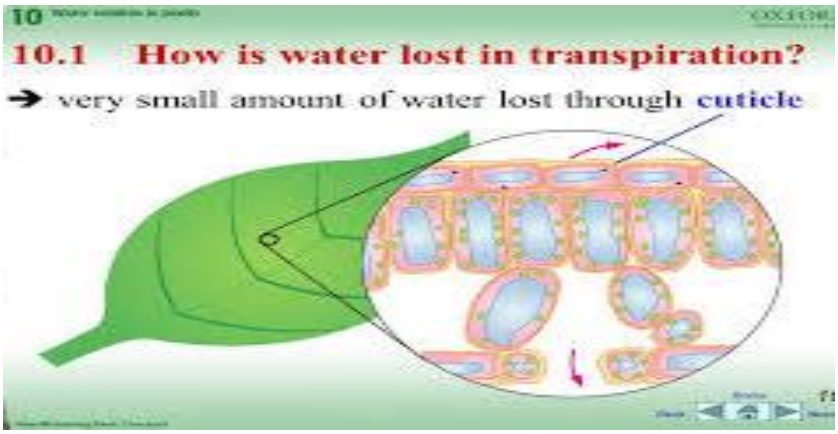
- **Lenticular transpiration:** Sometimes transpiration occurs through lenticels, the small opening in the corky tissue covering stems and twigs, and this type of transpiration is said to be the lenticular transpiration. In this process, only 0.1% water is given off of the forms of vapor.





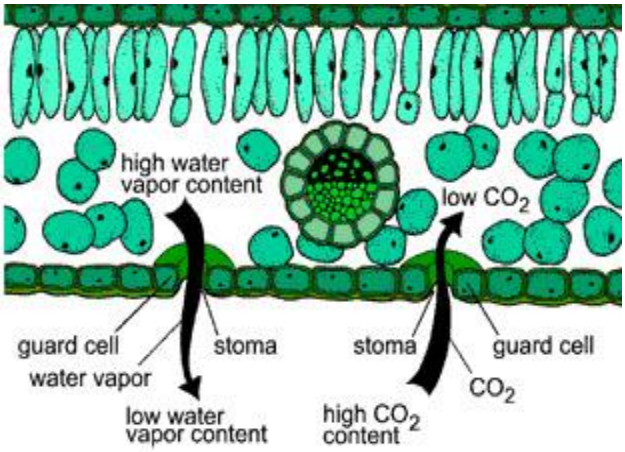
2- النتح الكايتيني Cuticular Transpiration

هو نوع من انواع النتح الورقي والذي يحث عن طريق طبقة الكيوتكل التي تغطي طبقة البشرة في خلايا الورقة وبالرغم من ان هذه الطبقة الشمعية غير محبة للماء الا انها قابلة لاختراق من قبل بخار الماء الذي يخرج بالرغم من سماكة هذه الطبقة في النباتات التي لاتحتوي على عدد كبير من الثغور



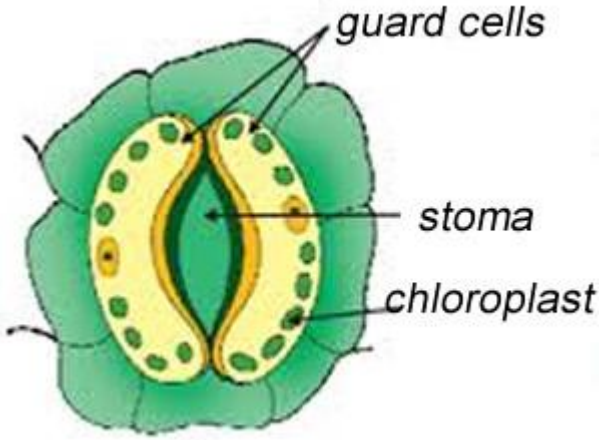
3- النتح الثغري Stomatal Transpiration

تمثل الثغور الفتحات الدقيقة جدا والموجودة على سطح الاوراق ويحيط بكل فتحة ثغر خلايا متخصصة تسمى بالخلايا الحارسة وهي التي تكون مسؤولة عن فتح وغلق الثغور ويختلف عدد الثغور من نبات الى آخر وكذلك على جانبي سطح الورقة فيوجد في المليمللتر المربع الواحد 1000-2000 فتحة ثغر في النباتات النجيلية وقد يصل الى اكثر من هذا العدد تصل الى 10000 ثغر في المليمتر المربع الواحد فقط . من خلال هذه الفتحات يتم الاتصال بين المحيط الخارجي وكذلك المسافات البينية (بين الخلايا) حيث يتم من خلالها تبادل الغازات مثل Co_2 والأوكسجين هذا بالاضافة الى بخار الماء . وتقدر كمية الماء التي تنفذ من الثغر ما يعادل ضعف كمية الماء المبخرة من نفس المساحة المفتوحة من الجو المباشر. وكذلك تقدر كمية الـــCo_2 التي تنفذ من خارج الورقة عن طريق مايعادل ضعف ما تمتصه النبات.



ميكانيكية فتح وغلق الثغور

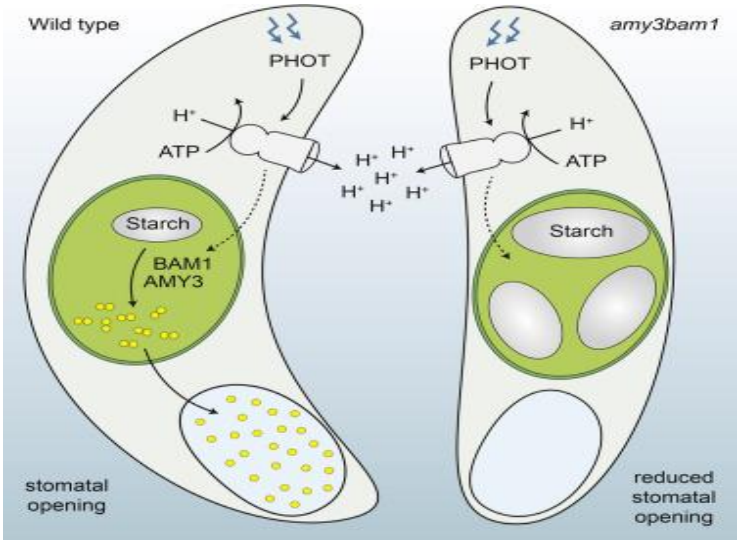
الثغر عبارة عن فتحات توجد في الاجزاء الخضراء وخصوصا الاوراق في عملية تبادل الغازات بين أنسجة النبات والهواء الخارجي وفقد الماء من النبات على هيئة بخار بما يعرف النتح. يحيط بكل ثغر خليتان كلويتي الشكل تسمى بالخليتين الحارستين Guard Cells وتؤدي الى فراغ بيني كبير يعرف بالغرفة الثغرية



وهناك ثلاثة نظريات لتفسير ميكانيكية فتح وغلق الثغور

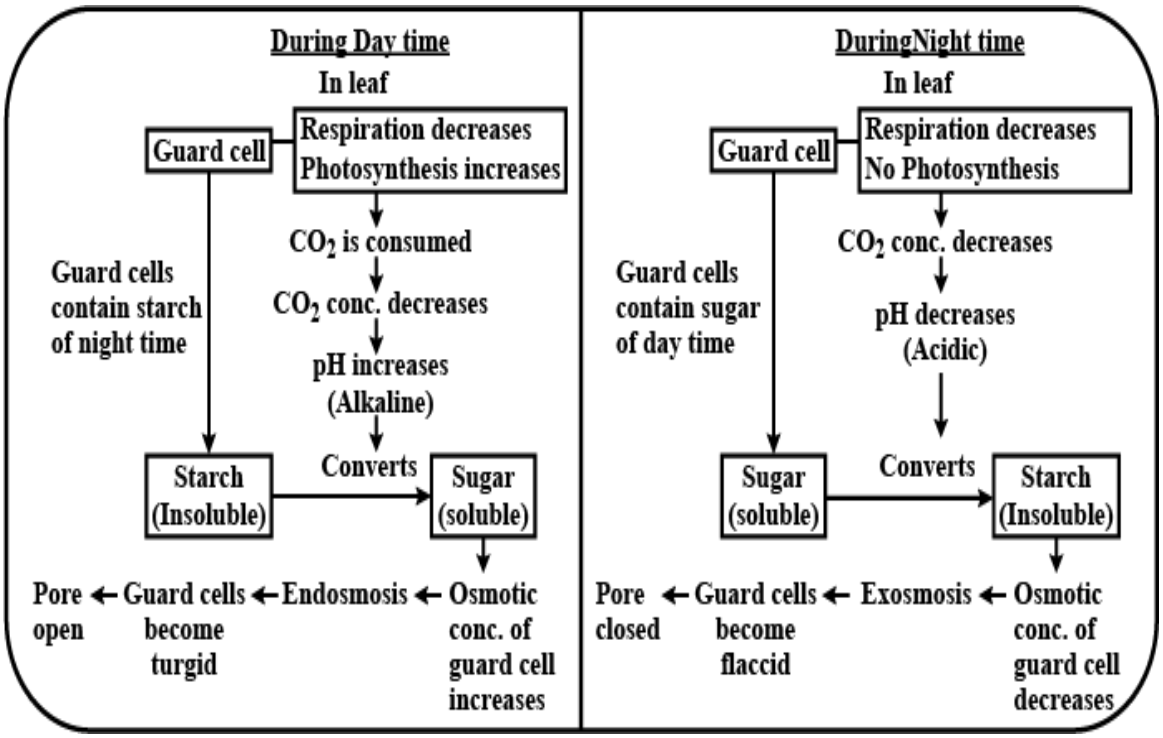
- النظرية الأولى

تعتمد هذه النظرية على ان الثغور بصفة عامة تفتح في الضوء وتغلق في الظلام، ففي الضوء تمتص ورقة النبات ثاني اوكسيد الكاربون من خلال فتحة الثغر ويقوم بعملية التركيب الضوئي وينتج عن هذه العملية سكر الكلكوز والتي تؤدي الى رفع تركيز محلول وزيادة الجهد الازموزي للخلايا الحارسة والتي بدورها تمتص الماء من خلايا البشرة الملاصقة لها فيزداد امتلاءها بالماء وتنتفخ فيفتح الثغر . وفي الظلام يحدث العكس فتفقد الخلايا الحارسة الماء وتنكمش فينغلق الثغر.



- النظرية الثانية

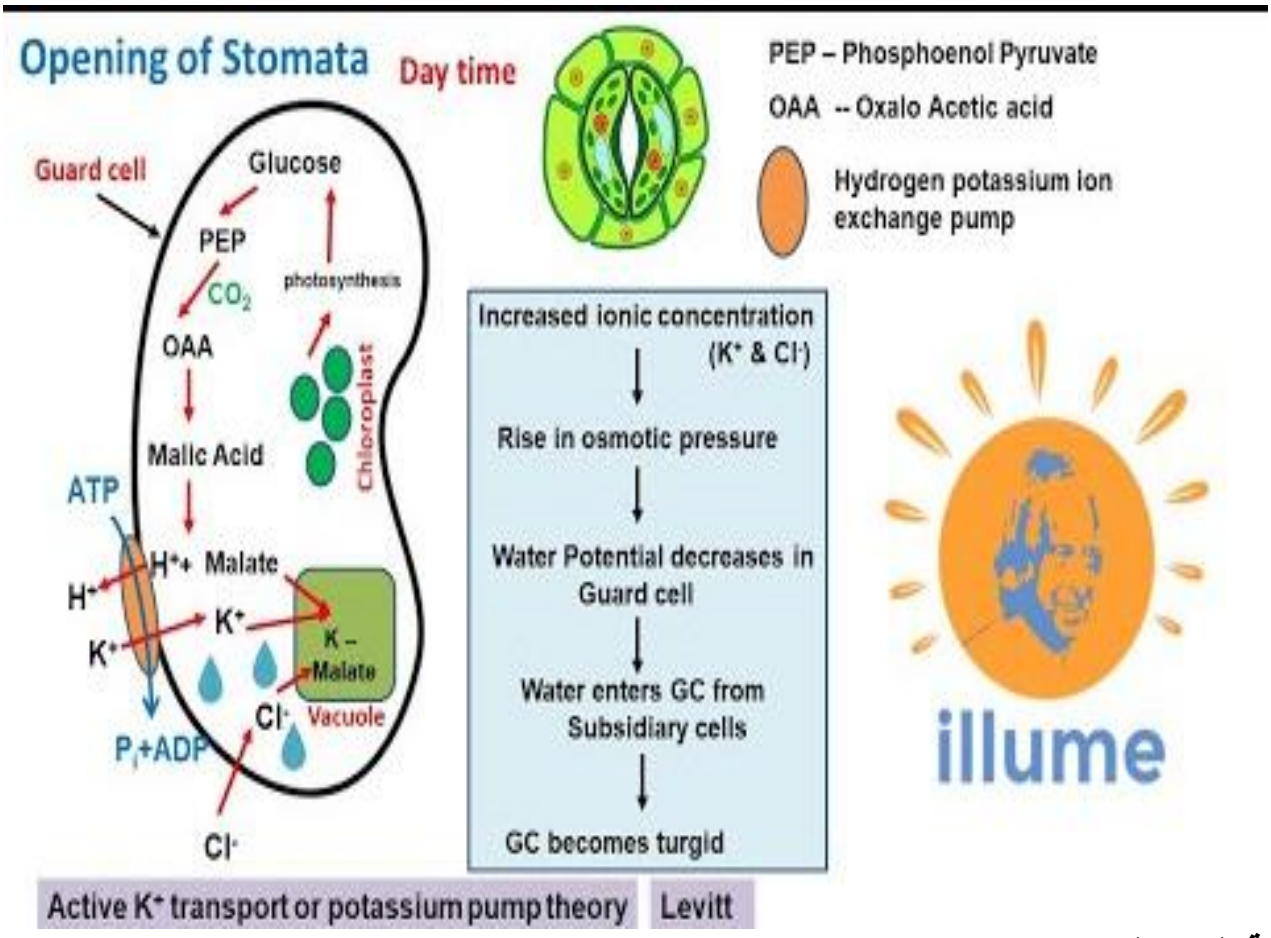
تعتمد هذه النظرية على التغير في الرقم الهيدروجيني للخلية، فعند زيادة تركيز ثاني اوكسيد الكاربون في الضوء داخل الخلايا الحارسة اذ يتغير الوسط في هذه الخلايا الى الوسط الحامضي نتيجة تكوين حامض الكاربونيكHCO_3 والذي بدوره يساعد في تنشيط انزيم الفسفورليزPhosphorylase والذي يعمل على تحلل النشا الى سكريات ذائبه والتي بدورها تزيد من الجهد الازموزي للخلية الحارسة فتمتلأ بالماء وتنتفخ ويفتح الثغر، اما في الظلام فيستهلك حامض الكاربونيك ويتحول الوسط الى قاعدي فيثبط عمل الانزيم ويقل المحلول السكري فتفقد الخلايا الحارسة الماء فتنكمش ويغلق الثغر



النظرية الثالثة

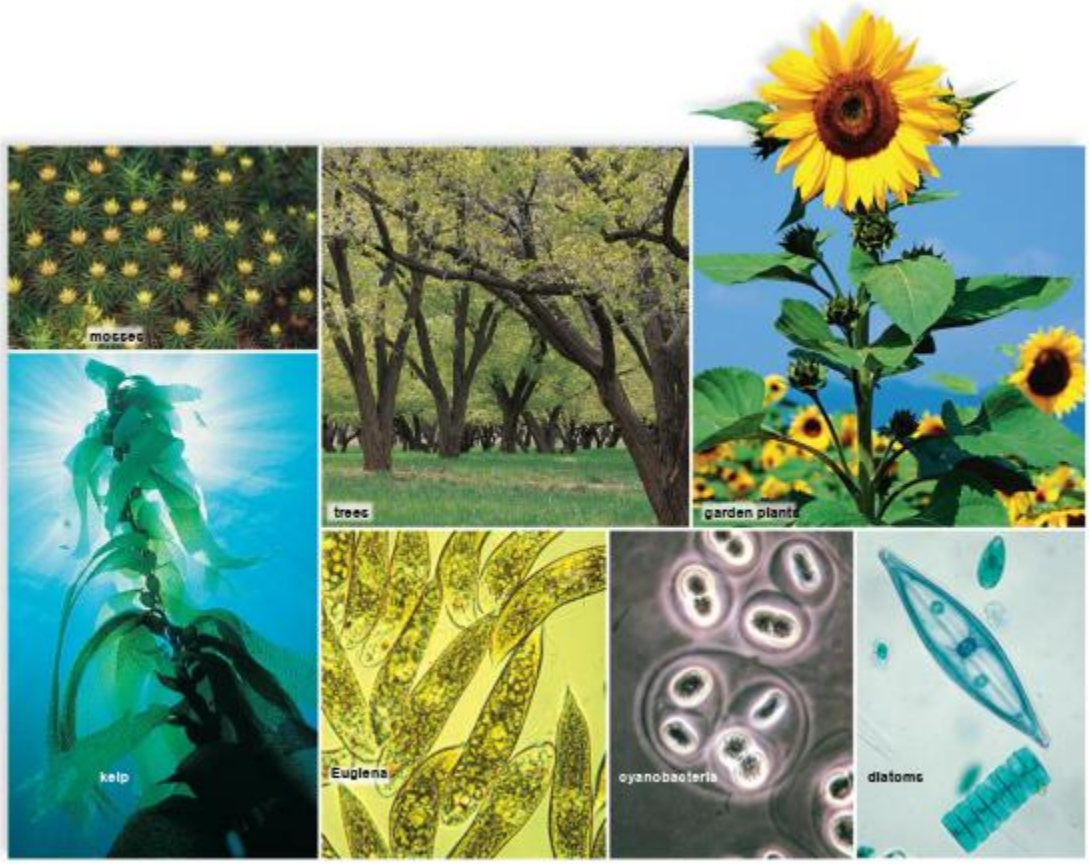
- تعتمد هذه النظرية على تدفق ايون البوتاسيوم K^+من خلايا البشرة الى الخلايا الحارسة
- تحت تأثير الضوء ، تنتقل البروتونات المتكونة من تفكك حمض الماليك من السيتوبلازم إلى البلاستيدات الخضراء للخلايا االحارسة .
- لمواجهة خروج البروتونات ، تدخل أيونات K^+ الى الخلايا الحارسه من الخلايا الوسطية المحيطة .تتفاعل أيونات K^+ مع أيونات المالات الموجودة في الخلايا الحارسة لتكوين مالات البوتاسيوم .

- يسبب مالات البوتاسيوم زيادة في الضغط الازموزي للخلايا الحارسة مما يتسبب في دخول الماء إلى الخلايا الحارسة ونتيجة لذلك تفتح الثغره
- في الليل يحدث تفكك مالات البوتاسيوم و خروج ايونات البوتاسيوم + K من الخلايا الحارسة مما يؤدي الى خروج الماء منها وغلق الثغور



عملية البناء الضوئي Photosynthesis

يمكن تعريف عملية البناء الضوئي على انها التقاط ضوء الشمس بواسطة الكائنات الحية التي تمتلك قدرة وقابلية على اقتناص هذه الطاقه كونها تحمل اجهزه خاصة لهذا الغرض، اذ تقوم هذه الاجهزه بتحويل هذه الكاقة المقتنصه الى طاقة كيمائية ينتهي بهت الامر بتخزينها على شكل مواد كاربوهيدراتية



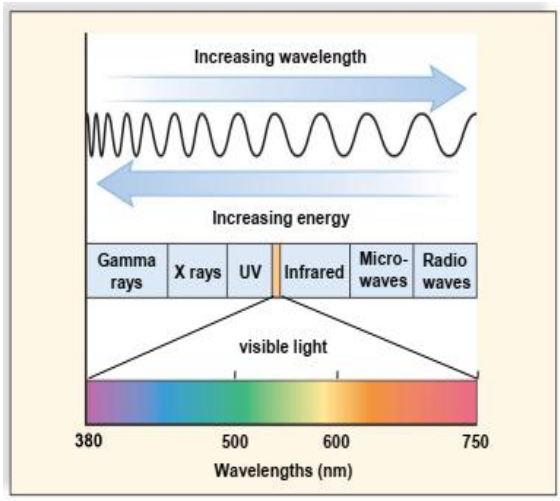
طبيعة الضوء

الاشعاع الشمسي Solar radiation هو عبارة عن موجات كهرومغناطيسية تسير بسرعة 3000,000 كم في الثانية وله طول موجي وطاقة تنتقل بشكل وحدات منفصلة يطلق عليها الفوتونات. يتكون الاشعاع الشمسي من مجموعة لاحصرلها من الاشعة ذات الاطوال الموجية المختلفة تعرف بطيف الاشعاع الشمسي يصنف الاشعاع الشمسي الى صنفين:

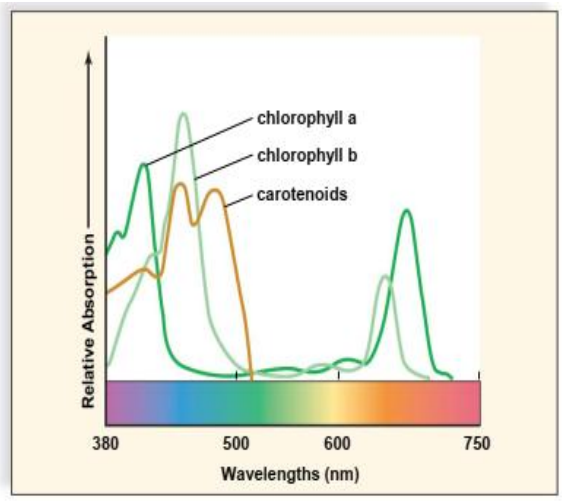
1- الاشعة المؤينة وهي اشعة ذات طول موجي اقل من 100نانوميتروتشمل الاشعة السينية واشعة كاما . و سميت بالأشعة المؤينة لقدرتها على فصل الالكترونات عن ذراتها لما تحمله من طاقة عالية فهي تنتج الجذور الحرة في الخلية عندما تتفاعل مع الذرات أو الجزيئات.
2- الاشعة الغير مؤينة وهي اشعة كهرومغناطيسية ذات طول موجي اعلى من 100 نانوميتر وهي تصنف الى :

I. الاشعة تحت الحمراء infrared radiation ذات طول موجي 700-3000 نانومتر(نم) وهي تشكل 50%من الاشعاع الشمسي.

II. الضوء المرئي visible light ويقع بين طول موجي 400-700 نم ويمثل 42% من الاشعاع الشمسي وهذا الجزء من الطيف يكون فعال في عملية البناء الضوئي ويطلق عليه Photosynthetic Active Radiation(PAR).وهو يتكون من امتزاج الاشعة الحمراء والبرتقالية والصفراء والخضراء والزرقاء والبنفسجية .



a. The electromagnetic spectrum includes visible light.



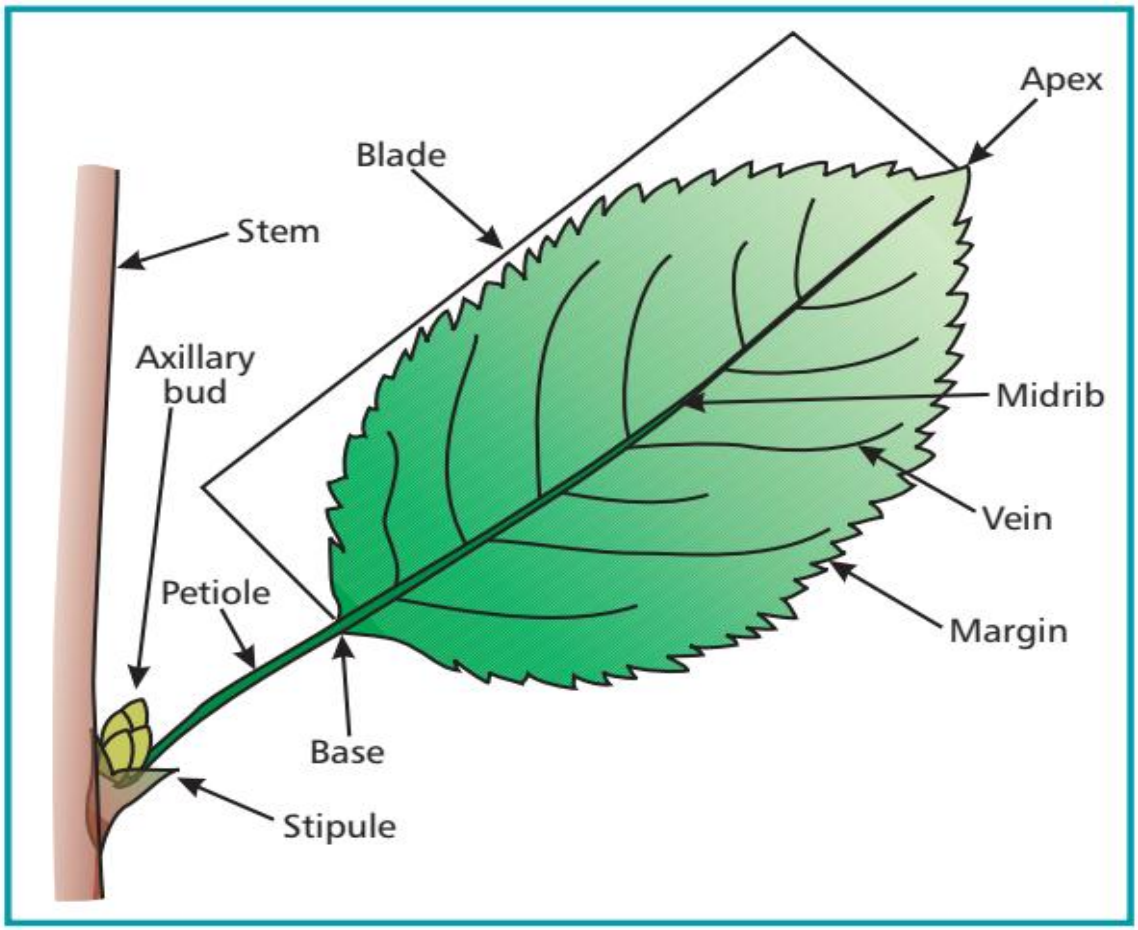
b. Absorption spectrum of photosynthetic pigments.

<u>جهاز البناء الضوئي في النبات</u>

أن معظم عملية التمثيل الضوئي تتم في الأوراق الخضراء ويساعد تركيبها التشريحي للقيام بهذه العملية بكفاءة تامة .ولكي نفهم هذه العملية يجب علينا في البدء معرفة تركيب الورقة تركيب البلاستيدة نفسها. اذ تحتوي كل بلاستيدة جهازا كاملا يمكنه من القيام بعملية التمثيل الضوئي.

<u>اجزاء الورقة Parts of leaf</u>

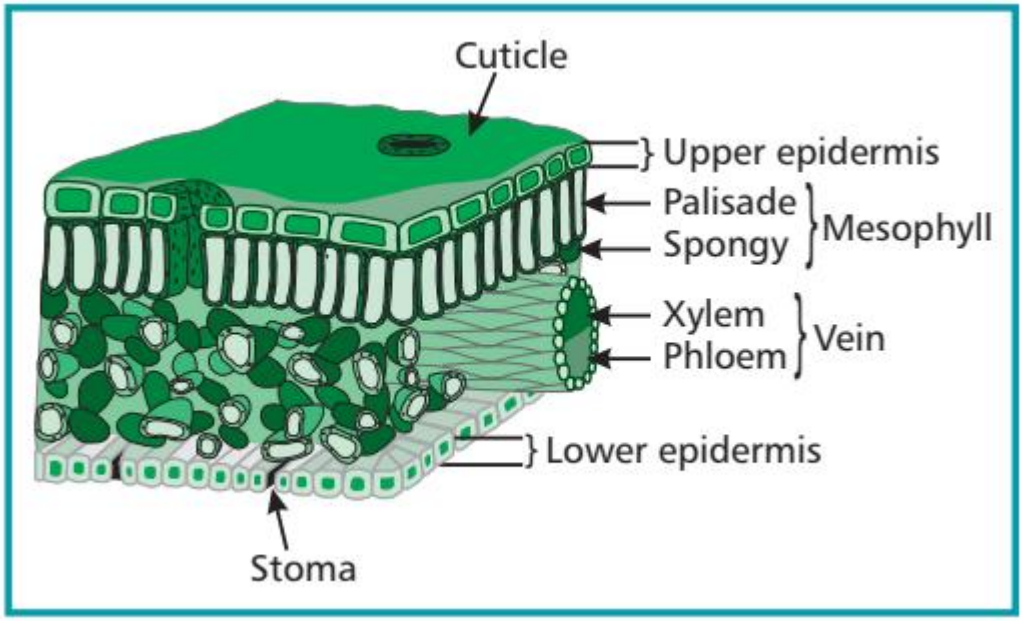
يسمى الهيكل الرئيسي الذي يقوم بتجميع الضوء على الورقة بنصل الورقة Leaf blade وهو عبارة عن سطح كبير وواسع ومستوٍ. يحتوي نصل الورقة على العديد من الطبقات التي تساعد النبات على القيام بعملية التمثيل الضوئي فقطً ، بل تساعد أيضًا في تخزين المواد والمنتجات الثانوية لعملية التمثيل الضوئي. يكون موقع نصل الورقة بعيد عن الساق ويثبت بالساق بواسطة دعامة تسمى بواسطة مايعرف بعنق الورقه Petiole وهي سويقة قيرة جزءها الفيع يتصل بنصل الورقة والاخر يتصل بالساق . و يحتوي عنق الورقة على نسيج خشبي ولحاء ينقل الماء والسكر. يكون نصل الورقة مدعوم بنظام من الأوعية التي تحتوي أيضًا على نسيج الخشب واللحاء. تمنع هذه الاوعية النصل من الانهيار تحت ثقله. غالبًا ما تنتظم الورقه مع وعاء رئيسي واحد يمتد إلى منتصف النصل. هذا الوعاء يسمى midrib. تساعد جميع الاوعية والسويق والوعاء الوسطي في وضع النصل بحيث يواجه مصدر الضوء



تشريح الورقة Leaf Anatomy

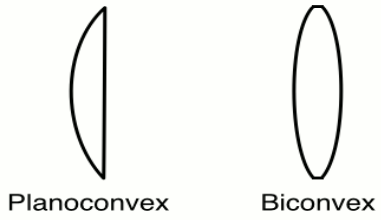
يتم تنظيم الورقة لجمع ضوء الشمس. تتكون نصل الورقة من عدة طبقات تؤدي إلى حدوث ذلك ، ويوجد فوق الورقة طبقة شمعية غير خلوية تسمى الكيوتكل، وتساعد هذه الطبقة
بمنع تسرب الماء او فقده. بشكل عام ، النباتات التي تعيش في ظروف قاحلة ومشرقة لها طبقات بشرة سميكة جدًا ، والطبقة التالية على الورقة موجودة أيضًا للحماية. البشرة هي طبقة الخلايا الشبيهة بالجلد الموجودة على السطح العلوي والسفلي للورقة. قد يكون سمك البشرة طبقة واحدة أو عدة

طبقات أسفل الجزء العلوي. مباشرة بعد طبقة البشرة تأتي خلايا واقفه Standing cells ومتراصه، وهذه الخلايا مسؤوله عن عملية التمثيل اضوئي التي تحدث في الورقة.ويطلق على هذه الخلايا بالـــ Palisade mesophyll تحت هذه الطبقة تقع طبقة اخرى تتكون من خلايا غير متراصة وذات مسافات بينية كبيرة يطلق عليها بالطبقة الأسفنجية. تشكل الطبقة المتوسطة الإسفنجية spongy layer مساحات هوائية تحتوي على المواد الخام لاستخدامها وكذلك منتجات التمثيل الضوئي.تحتوي البشرة السفلية الموجودة أسفل الورقة او في الجزء العلوي على فتحات لتبادل الغازات. تسمى الفتحات بالثغورStomata (المفرد: الثغور) ، ويمكن فتحها وإغلاقها. يتم التحكم في الفتح والإغلاق بواسطة زوج من الخلايا الحارسة والتي تحيط بكل ثغرة.



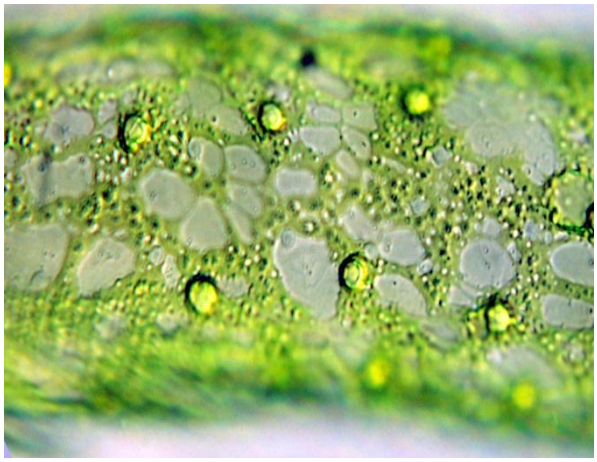
التركيب الدقيق للبلاستيده الخضراء

تكون البلاستيدات الخضراء الموجودة في النباتات العليا ذات شكل محدب ثنائي Biconvex أو محدبPlanconvex.



في النباتات المختلفة ، تتميز البلاستيدات الخضراء بأشكال مختلفة ، فهي تختلف من شكل كروي ، أو على شكل صحن خيطي ، أو قرصي أو بيضاوي الشكل.

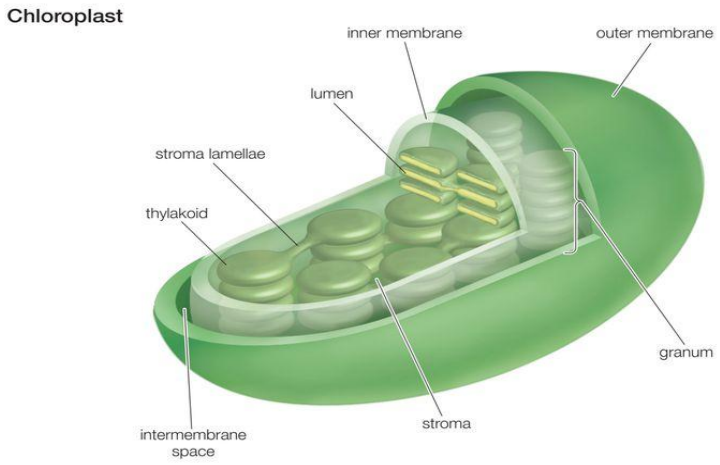
وهي حويصلية ولها مركز عديم اللون.بعض البلاستيدات الخضراء تكون على شكل هراوة ، ولها منطقة وسط رقيقة ونهاياتها مليئة بالكلوروفيل.في الطحالب تكون البلاستيدات الخضراء ضخمة واحدة تظهر كشبكة أو شريط لولبي أو صفيحة نجمية. يختلف حجم البلاستيدات الخضراء أيضًا من نوع إلى نوع وهو ثابت لنوع خلية معين.



تتكون البلاستيدة الخضراء من الاجزاء التالية:

- الغشاء الخارجي Outer membrane- وهو غشاء شبه مسامي ومنفذ للجزيئات والأيونات الصغيرة التي تنتشر بسهولة. الغشاء الخارجي غير منفذ للبروتينات الكبيرة.
- الفضاء بين الغشاء Intermembrane space - عادة ما يكون فضاء رقيق بين الغشاء حوالي 10-20 نانومتر وهو موجود بين الغشاء الخارجي والداخلي للبلاستيدات الخضراء.
- الغشاء الداخلي Inner membrane - يشكل الغشاء الداخلي للبلاستيدات الخضراء حدودًا للسدىStroma. ينظم مرور المواد داخل وخارج البلاستيدات الخضراء. بالإضافة تنظيم الفعاليات،اذ يتم تصنيع الأحماض الدهنية والدهون والكاروتينات في غشاء البلاستيدات الخضراء الداخلي.
- السدى- Stroma هو سائل مائي قلوي غني بالبروتين وموجود داخل الغشاء الداخلي للبلاستيدات الخضراء. تسمى المساحة الموجودة خارج فضاء الثايلاكويد بالسدى. وقد تم العثور على ريبوسومات البلاستيدات الخضراء للكلوروبلاست والجهاز الثايلاكويد وحبيبات النشا والعديد من البروتينات عائمة في السدى.
- نظام الثايلاكويد- Thylakoid system يوجد هذا النظام معلق في السدى. وهو عبارة عن مجموعة من الأكياس الغشائية تسمى الثايلاكويدات. وهو مشهد لعملية تفاعلات الضوء لعملية التمثيل الضوئي اذ انه يحتوي على الكلوروفيل. يتم ترتيب الثايلاكويدات في أكوام تُعرف باسم جرانا. يحتوي كل جرانوم على حوالي 10-20 ثيلاكويد.
- صفائح السدى Stroma Lamellae وهي عبارة عن اغشية بسيطة تربط أكوام الثلاكويد مع بعضها داخل السدى.

- تجويف الثايلاكويد Thylakoid lumenهو طور مائي مستمر محاط بغشاء الثايلاكويد. يلعب دورًا مهمًا في عملية الفسفرة الضوئية أثناء عملية التمثيل الضوئي. أثناء التفاعل المعتمد على الضوء



صبغات البناء الضوئي Photosynthesis Pigments

هي الصبغات التي لها القابلية على امتصاص طاقة الضوء وهناك انواع مختلفة من هذه الصبغات :

1- صبغات الكلورفيل Chlorophyll pigments

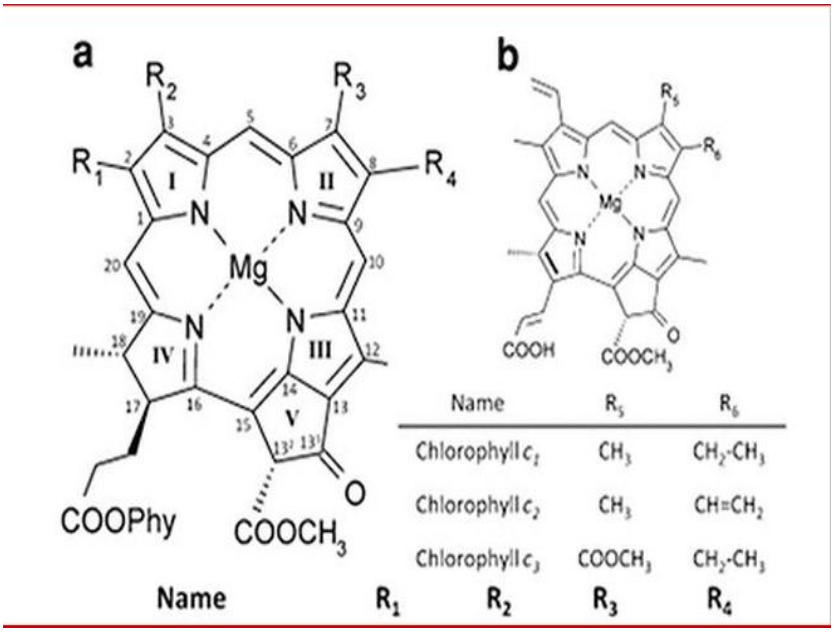
وهذه اهم صبغات عملية البناء او التمثيل الضوئي ولحد اليوم تم اكتشاف ثمانية انواع من صبغات الكلورفيل وهي:

- كلورفيل a لونه اخضر مزرق Bluish green موجود في خلايا النباتات الراقية
- كلورفيل b لونه اخضر مصفر Yellowish green وهو ايضا موجود في خلايا النباتات الراقية
- كلورفيل c وهو موجود في بعض الطالب والدايتومات وثنائية الاسواط
- كلورفيل d موجود في بعض الطالب الحمراء
- كلورفيل e هو نوع نادر من الكلورفيل تم اكتشافه في الطحالب الصفراء الذهبية المسماة *Vaucheria hamata* و Tribonema bombycinum and وآلية عملها لم يتم الكشف عنها بوضوح لحد الان
- كلورفيل F اكتشف هذا النوع من الكلورفيل في نوع من انواع الطحالب الخضر المزرقة او كما تسمى بالـcyanobacteria من طبقة الستروماتوليت العميقة(هي عبارة عن صخور رسوبية موجوده في المياه الضحلة) في المنطقة الغربية من أستراليا بواسطة العالم Min Chen وزملائة. وهذا النوع من الكلوروفيل يمكن الكائن الحي من أن يستخدم أقل ما يمكن من ضوء الشمس من الطرف الأقصى لطيف الأشعة تحت الحمراء من أجل التمثيل الضوئي
- الكلورفيل البكتيري Bacteriochlorophyll وهو موجود في البكتريا البنفسجية والخضراء

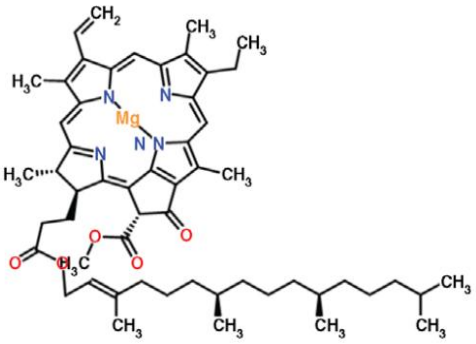
- كلوروفيل الكلوروبيوم Chlorobium chlorophyll موجود في البكتريا الخضراء (بكتريا الكبريت)

التركيب الكيمايئي لجزيئة الكلورفيل chlorophyll molecular structure

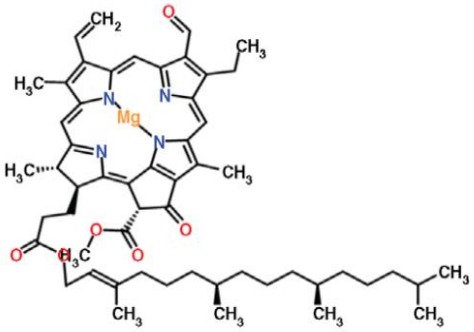
هي عبارة عن جزيئات عضوية معقدة تتكون من مشتقات البورفيرين ، وهي بنية حلقية كبيرة ، غير متماثلة وغير مشبعة تمامًا. في الأساس ، جزيئات الكلوروفيل عبارة عن رباعيات مترافقةconjugated tetrapyrroles تترافق مع حلقة سيكلوبنتانونcyclopentanone ring مع الحلقة الثالثة المرتبطة ببعضها البعض بواسطة جسور الميثيلين ، مع الذرة المركزية ، والمغنيسيوم



يختلف الكلوروفيل b عن الكلوروفيل a من خلال وجود الألدهيد بدلاً من مجموعة الميثيل في الموضع 7. يُعطى تركيب هذا المركب عن طريق أكسدة مجموعة الميثيل إلى الألدهيد من خلال إنزيم أوكسيجيناز ، والذي يحفز هذا التحويل



Chlorophyll *a*



Chlorophyll *b*

ميكانيكية عملية البناء الضوئي

يمكن تقسيم ميكانيكية عملية البناء الضوئي الى اربعة مجاميع اربعة مجاميع او معقدات بروتينية منغمسة او مندسة في اغشية الثيلاكويد وهذه المعقدات البروتينية هي:

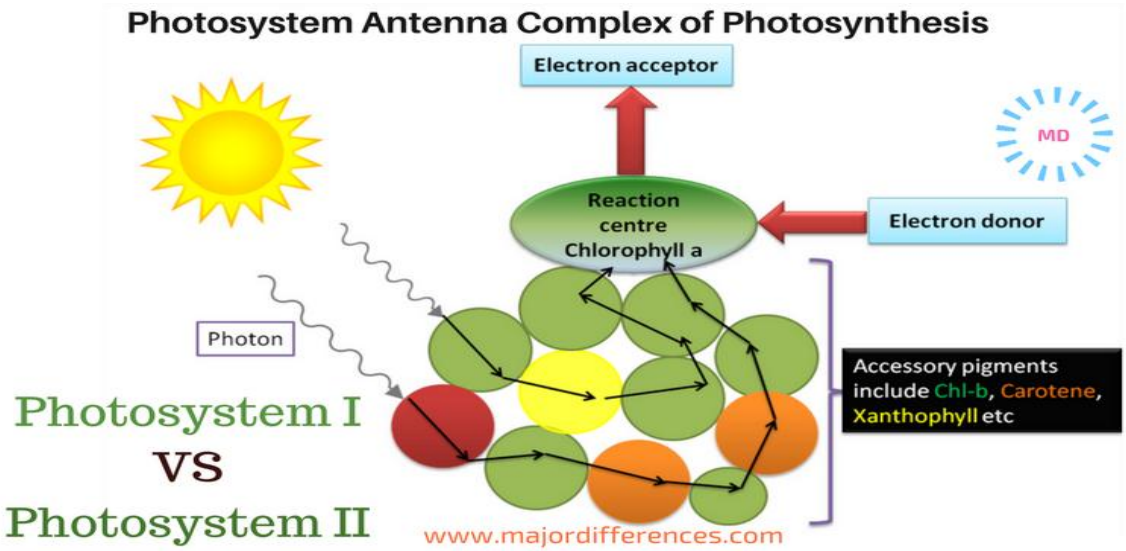
1- النظام الضوئي الاول Photo system I

وهو يشمل جزيئات الكلوروفيل الكارتينويدات

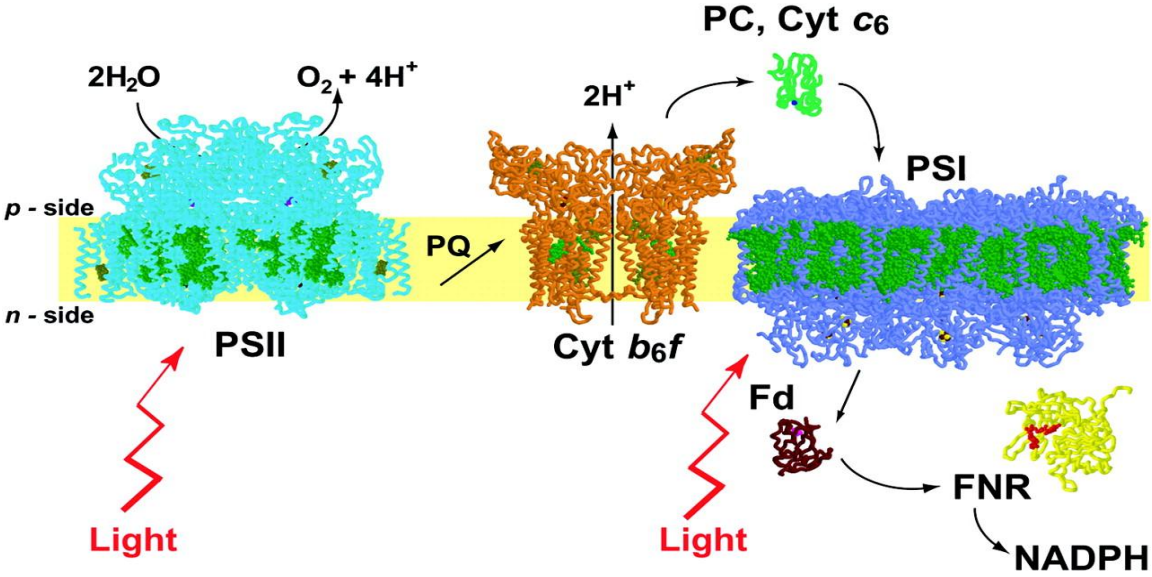
chlorophyll and carotenid Molecules

2- النظام الضوء الثاني Photo system II

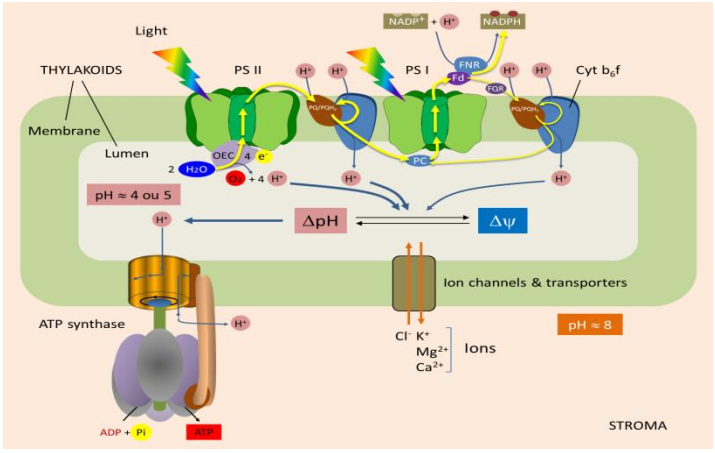
وهو يحتوي على جزيئات الكلوروفيل والكارتينويدات ايضاً.



3- سايتوكروم b و f Cytochrom b and f



4- انزيم تخليق ATP ATP synthase

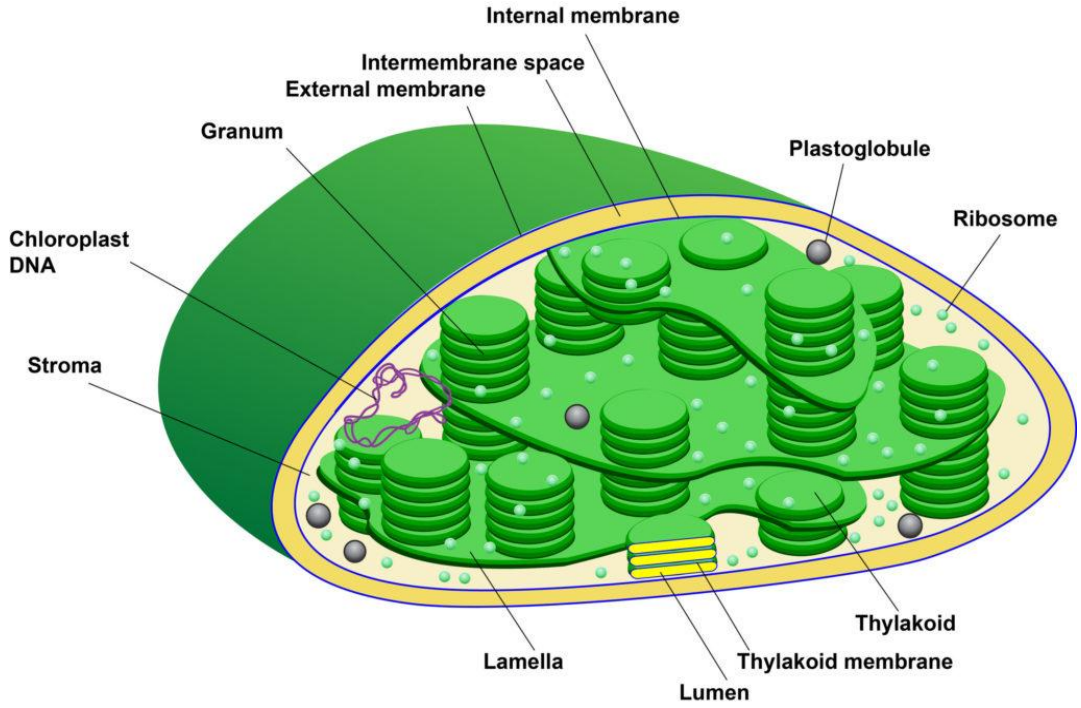


هذه المعقدات الاربعة تقوم بما يطلق عليه تفاعلات الضوء لعملية البناء الضوئي Light reaction of photo synthesis ان اغشية الثيلاكويد تكون محاطه بارضية سائلة يطلق عليها الستروما (Stroma) و تحتوي على:

1-جميع الانزيمات على سبيل المثال انزيم الرابسكو Rubscio الذي هو ضروري للقيام بتفاعلات الظلام للبناء الضوئي اي تحويل co_2 الى جزيئات عضوية مثل الكلوكوز.

2-عدد من جزيئات DNA المتماثلة (المتشابهه) كل منها يحتوي على هيئة جينية كاملة للبلاستيده ،وهذه الجينات تقوم بالشفر لبعض الجزيئات التي تحتاجها

البلاستيده الخضراء للقيام بوظيفتها اما بالنسبه للجزيئات الاخرى التي تحتاجها البلاستيده فهذه يتم الشفر لها بواسطة الجينات الموجودة في نواة الخلية و تحدث لها عملية ترجمة في السايتوبلازم ثم تنقل هذه الجزيئات الى البلاستيده الخضراء.



عملية البناء الضوئي

هي عملية الامتصاص الطاقة الضوئية و استخدامها لتحويل ثنائي اوكسيد الكربون والماء الى سكريات اي خزن تلك الطاقة (طاقة الضوء) في الاواصر الكيميائية للسكريات المعادلة العامة للبناء الضوئي هي

$$6Co_2 + 6H_2o + light \xrightarrow{\text{chloroplast}} C_6H_{12}o6 + 6o_2$$

ثابت التوازن Keq = 10-500

هذا التفاعل لا يمكن ان يحدث بصورة مباشرة كما هو مكتوب. ان عملية البناء الضوئي هي عبارة عن تفاعل اكسدة واختزال تسير بواسطة الضوء ويسمى اكسدة واختزال redox reaction وبصورة عامة تتضمن الانتقال المستمر للالكترونات بين الذرات. فالاختزال reaction –again of electrons هو

اكتساب الالكترون او الالكترونات والاكسدة oxidation =loss of electrons هي عباره عن فقد الكترون او الالكترونات.

شطر الماء الى $4e +4H^{+}+o_2$ $2H_2o$

يختزل بواسطة (e4)و(4بروتون)

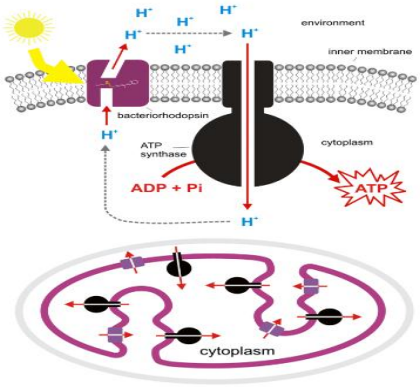
$Co_2+4e+4H^{+}$ Ch_2o+H_2o

هذه المعادلة $CH_2o+ o_2+ H_2o$ Co_2+2H_2o

معلوماتنا عن ميكانيكية البناء الضوئي جاءت لاول مرة من التجارب التي قام باجرائها الباحث (van neil)في 1920's في العشرينيات استخدم هذا الباحث البكتيريا البنائية الضوئية غير المحرره او المطلقة للاوكسجين مثل بكتيريا الكبريت المركزية.

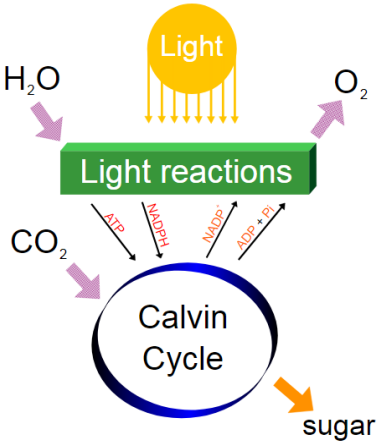
البكتريا الأرجوانية purple bacteria والبكتريا الخضراء - Green Bacteria تستطيع النمو مستخدمة تفاعل واحد هو تفاعل الفسفرة الضوئية وهو النظام الضوئي الاول ومن خلال تفاعلات هذا النظام تتحول الطاقة الضوئية الى طاقة تمثيلية في صورة Adenosin triphosphate او كما يختصر (ATP) ولايوجد النظام الضوئي الثاني وبهذا لاينتج الاوكسجين مطلقا. وتحتاج مانح لالكترون غير الماء ويمكن ان يكون الكبريت وعملية التركيب الضوئي في هذه البكتريا عملية لاهوائية يختزل فيها ثاني اوكسيد الكربون لهذه البكتيريا هو (تفاعل التركيب الضوئي). وجميع بكتريا التمثيل الضوئي تستطيع ان تختزل كبريتيد الهيدروجين كما في المعادله:

$Co_2+2H_2s+light$ $CH_2o+ 2s+ H_2o$

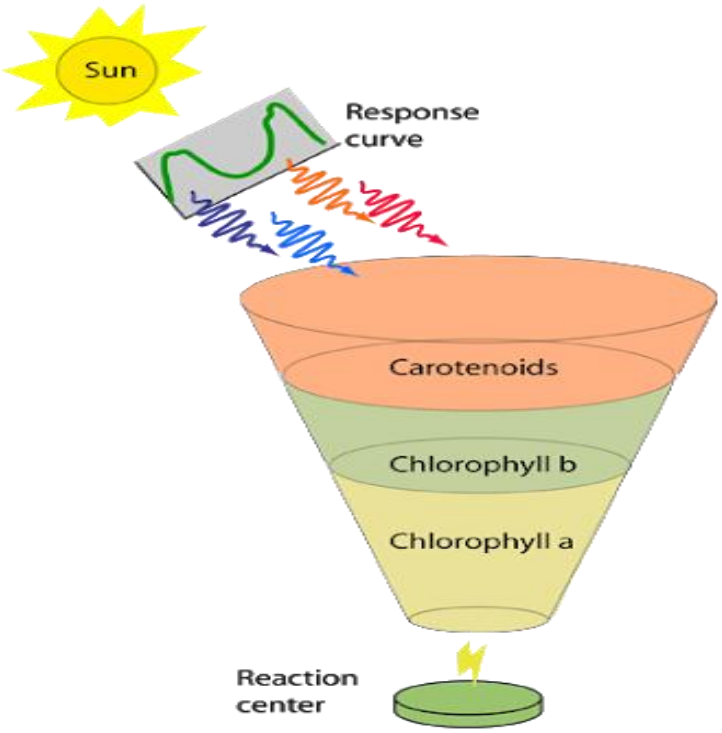


نلاحظ هذه المعادلة عندما تقارن مع تلك التي تحدث في النباتات الخضراء بعدم انطلاق الاوكسجين مما يعني ان الماء هو مصدر الاكسجين المطلق في عملية

البناء الضوئي كما انه ايضاً مصدر الالكترونات التي تستخدم في اختزال CO_2 وبعبارة اخرى ان الماء يتاكسد و المعادلة العامة للبناء الضوئي التي تحت الاشارة اليها تحدث في عدة خطوات يؤثر عليها العديد من الانزيمات وهذه العملية يمكن تقسيمها الى ثلاثة اجزاء التي هي:



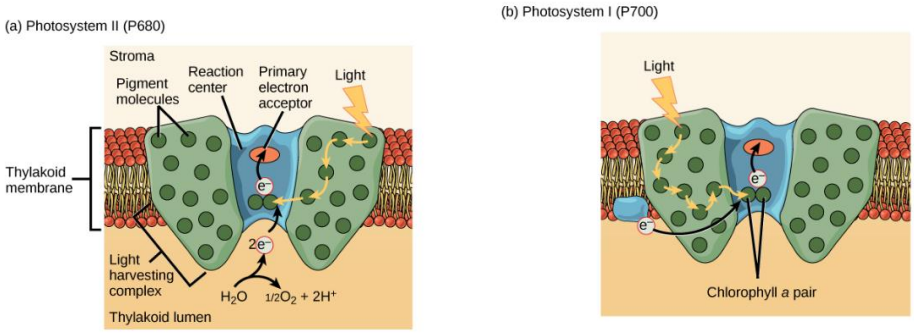
- أقتناص الطاقه او حصاد الضوء Light harvesting



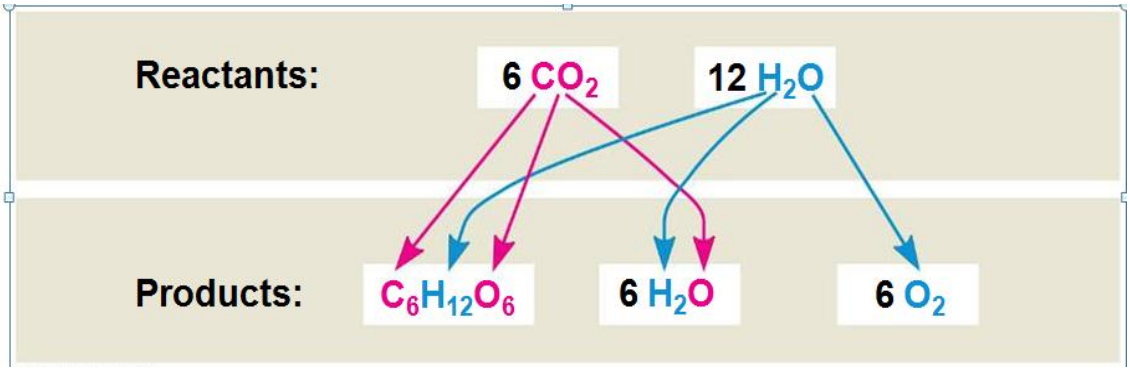
- اكسدة الماء واختزال المركب $NADP^+$ الى المركب NADPH والذي بدوره يمنحها الى المركب ADP ليكون المركب ATP

- اختزال الـــــCO_2 لتكوين المركبات الهيدروكاربونية

التفاعلين الاول والثاني تسمى تفاعلات الضوء او التفاعلات المختزلة على الضوء



اما التفاعل الثالث يسمى تفاعلات الظلام وهي عبارة عن تفاعلات بايو- كيميائية تعتمد مسالك يتم فيها اختزال Co_2 و سنشير لها لاحقا.



تفاعلات الضوء:- (الطيف المرئي هو المستخدم في التفاعل)

light reactions of photosynthesis

تفاعلات الضوء تحدث في اغشية الثايلاكويد الموجودة في البلاستيدة الخضراء وهي تفاعلات كيمو ضوئية photo chemical reaction سريعة جداً.(اجزاء من الثانية)(10^{-12}s) (بيكوسكند) نظراً لاحتوائها على الصبغات النباتية التي تقوم بامتصاص الطاقة الضوئية وتحويلها الى طاقة ميكانيكية و كذلك احتوائها على جهاز النقل الالكتروني ومعقد تخليق ATP الذي يسمى(ATP synthase) تفاعلات الضوء او المعتمدة على الضوء وظيفتها هي تكوين ATP وكذلك المرافق الانزيمي المختزل وهي ضرورية للتفاعلات Co_2 الاحقة و تفاعلات الضوء تتضمن ما يلي:-

1- اقتناص او اصطياد الفوتون الضوئي (الجسيم الضوئي)photon بواسطة النظام الضوئي الموجود في الكلوروفيل

مجموعة الصبغات تجمع الضوء photo system وهو عبارة عن مجموعة من الصبغات

2- تحول طاقة الفوتون الضوئي الى طاقة مخزونة بواسطة الالكترونات (طاقة كيميائية)

3- اقتناص او اصطياد هذه الطاقة الكيميائية بواسطة الكلوروفيل مركز التفاعل الموجود في النظام الضوئي

4- اكسدة كلوروفيل مركز التفاعل بواسطة مستقبل الالكترون اولي

5- التدفق اللا دوري للالكترونات.

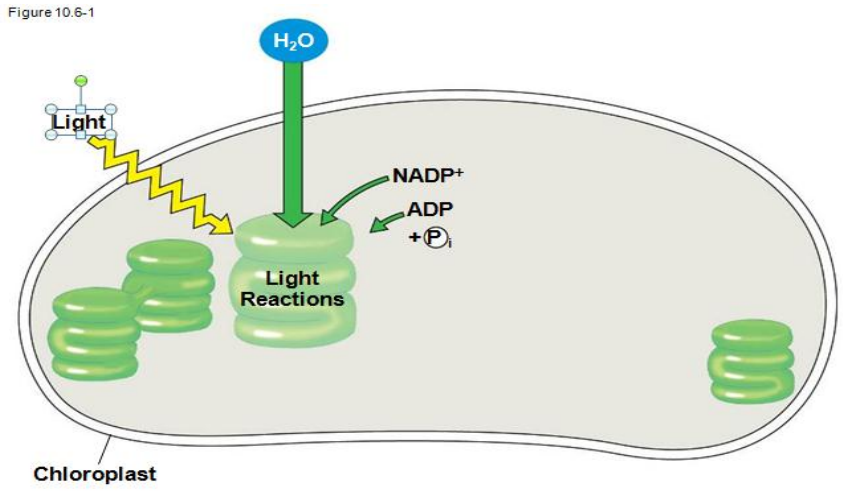
طيف الامتصاص Absorption spectrum

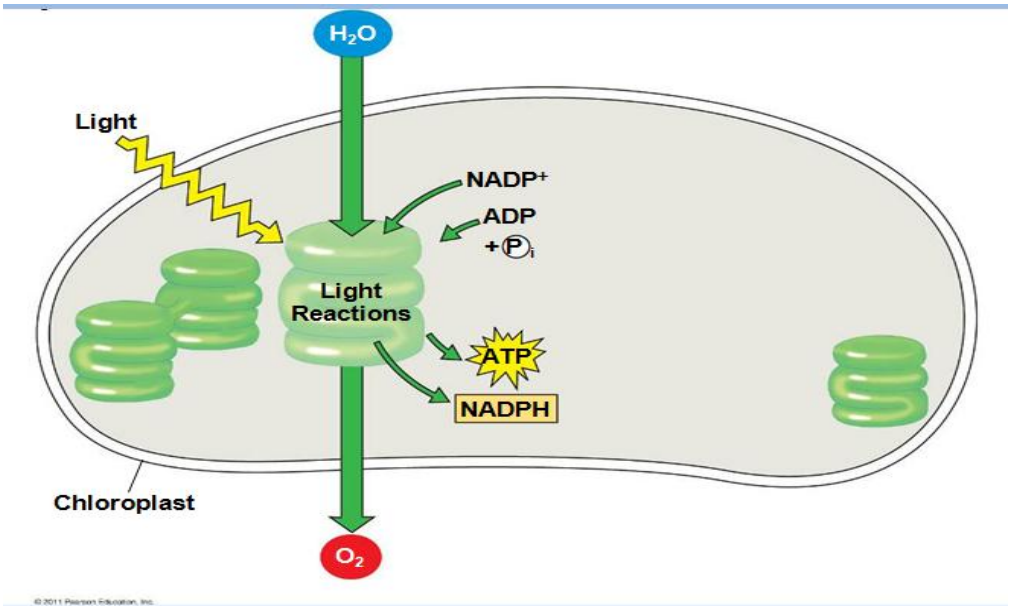
6- اكسدة الماء

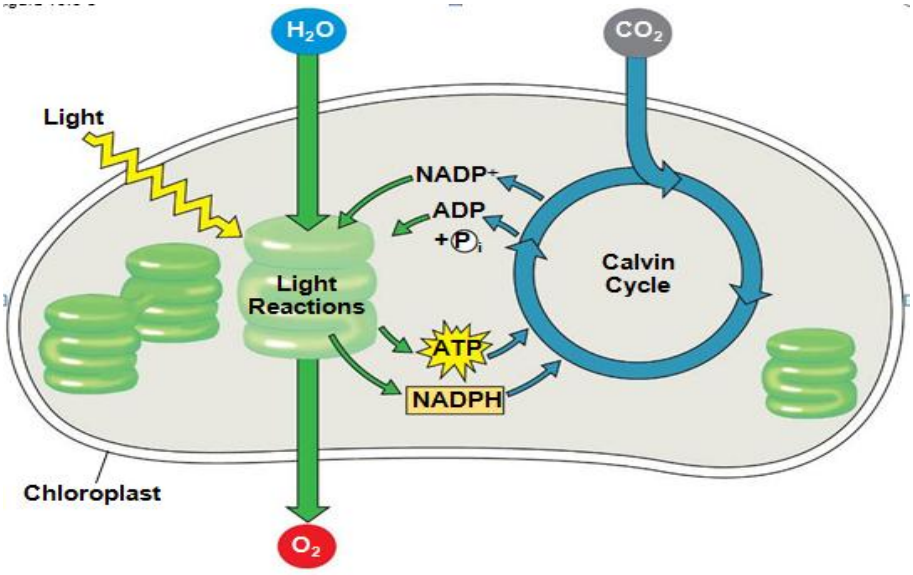
7- النقل الالكتروني الدوري

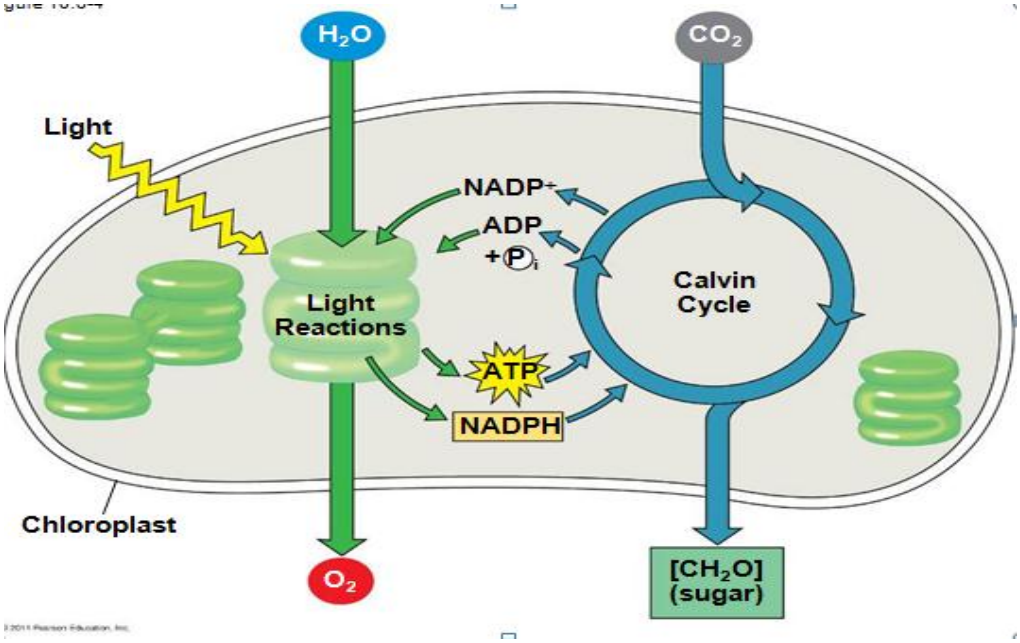
هذه العمليات السبعة السابقة تؤدي الى انتاج الاوكسجين و تكوين (ATP) والمرافق الانزيمي المختزل.

ان جهاز النقل الالكتروني الذي يوجد في اغشية الثايلوكويد يتكون من نظامين ضوئيين هما




H_2O
Light
$NADP^+$
ADP
$+ P_i$
Light Reactions
ATP
NADPH
Chloroplast
O_2


H_2O
CO_2
Light
$NADP^+$
ADP
$+ P_i$
Calvin Cycle
Light Reactions
ATP
NADPH
Chloroplast
O_2



ام الضوئي الأول Photo system I

2- النظام الضوئي الثاني Photosystem II

3- معقد السايتكروم Cytochrome Complex

هذه المعقدات الثلاثة مربوطة بواسطة البلاستوسيانين.

plastocynin(PC)

plastquinone(PQ)

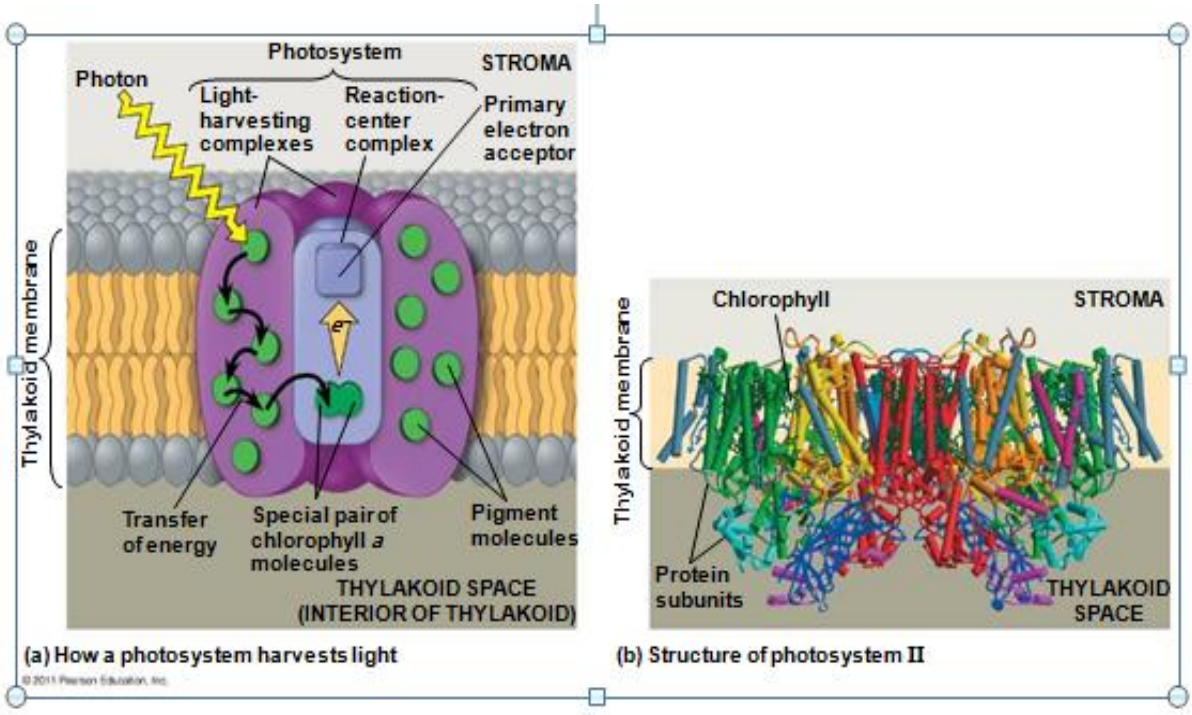
وهذين المعقدين هو عبارة عن ناقلات الكترونية متحركة وتسمى

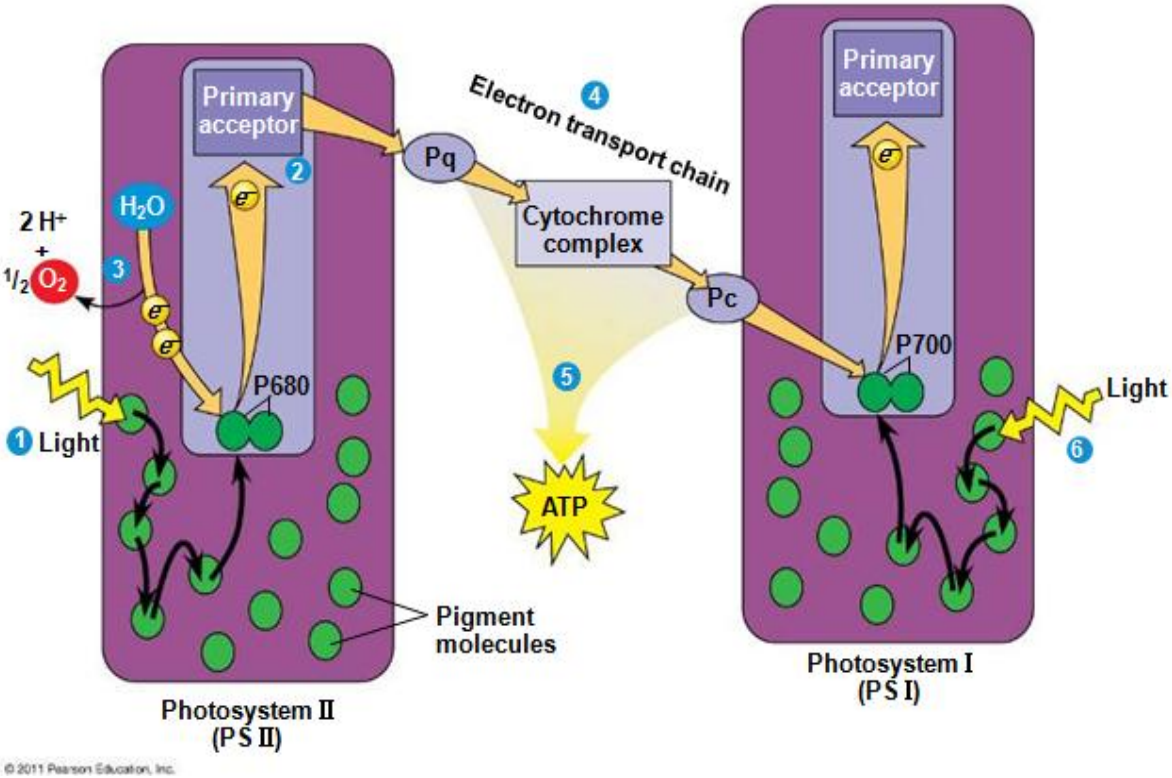
mobile electron carriers

وهي تتحرك بحرية ضمن نظام غشاء الثايلوكويد ان كل نظام ضوء (c61) يتكون من مركز تفاعل الذي يسمى (Reaction centrye) وكذلك معقد الحصاد الضوئي (مجموعة من الصبغات تسمى بالهوائي وظيفتها سحب الطاقة الضوئية) يوجد هناك مركز تفاعل في النظام الضوئي الاول يسمى الصبغة(P700) وعادة هذا الرقم يشير الى ان ذروة امتصاص تكون هذا الطول الموجي كما يوجد ايضا مركز تفاعل في النظام الضوئي(c) يسمى(P680) (الطول الموجي ل نانوميتر)

nanometer =nm 10^{-9}M

الطاقة الضوئية تم جمعها بواسطة اطهواني (مجموعة صبغات اومعقد الحصاد الضوئي ثم تمريرالى مركز التفاعل(اما صبغة 680او700) وفي مركز التفاعل فانه يتدفق الالكترونات يبدأ بواسطة انفصال الشحنة(photo oxidation) وكنتيجة، لذلك فان الالكترونات التي يتم الحصول عليها في





اكسده الماء تمر خلال النظام الضوئي الثاني ثم معقد السايتوكروم ثم النظام الضوئي الاول، وبعد ذلك الى المرافق الانزيمي($NADP^+$) للبروتونات التي يتم ضخها خلال اوعبر الغشاء بين النظامين الاول والثاني تؤدي الى حدوث فسفرة الضوئية

$$NADPH+H^+$$

$$H_2o \longrightarrow \frac{1}{2}O_2+2H^++e$$

ه

و بالاصل $(2e)+(2H^+)$ احد الالكترونات تذهب الى $NADP^+$ لتزيل الاشارة الموجبة

$$NADP^+ \longleftarrow e$$

$$H_2o \longrightarrow \frac{1}{2}O_2+2H^++2e$$

$$\text{ينتج}H_2o \xrightarrow{NADPH} \frac{1}{2}O_2+2H^++e$$

والالكترون الاخر يتحد مع البروتون ليعطي Hيضاف الى NADP ويصبح NADPH او ينتج (H^+) ويكون الناتج (NADPH+H)

يمكن تلخيص عملية النقل الالكتروني بالخطوات التالية (اللادوري) والذي هو يبدأ بالماء وينتهي بالمرافق الانزيمي ويسمى non cyclic electron flow

1- اقتناص الفوتون بواسطة النظام الضوئي الثاني
2- اكسدة النظام الضوئي الثاني
3-انتقال الالكترون من النظام الضوئي الثاني المستقبل للالكتروني الاول
4- اكسدة الماء
5- انتقال الالكترونات
6- الفسفرة الضوئية(انتاج ADP)

وهي تعني انتاج ATP باستخدام الطاقة الضوئية $ADP+iP+E \Longleftrightarrow ATP$

7- اختزال النظام الضوء الاول
8- اقتناص الجسيم الضوء بواسطة النظام الضوئي الاول
9- اكسدة النظام الضوئي الاول
10- انتقال الالكترون الى المستقبل الالكتروني(Fd)
11- اختزال المرافق الانزيمي

لاحظ ان كل النظامين الاول والثاني يمتصان الفوتونات الضوئية في اطوال موجية مختلفة قليلاً حيث يمتص النظام الضوئي الاول على طول موجي(700nm)، في حين يمتص النظام الضوئي الثاني على طول موجي ثاني (nm680).

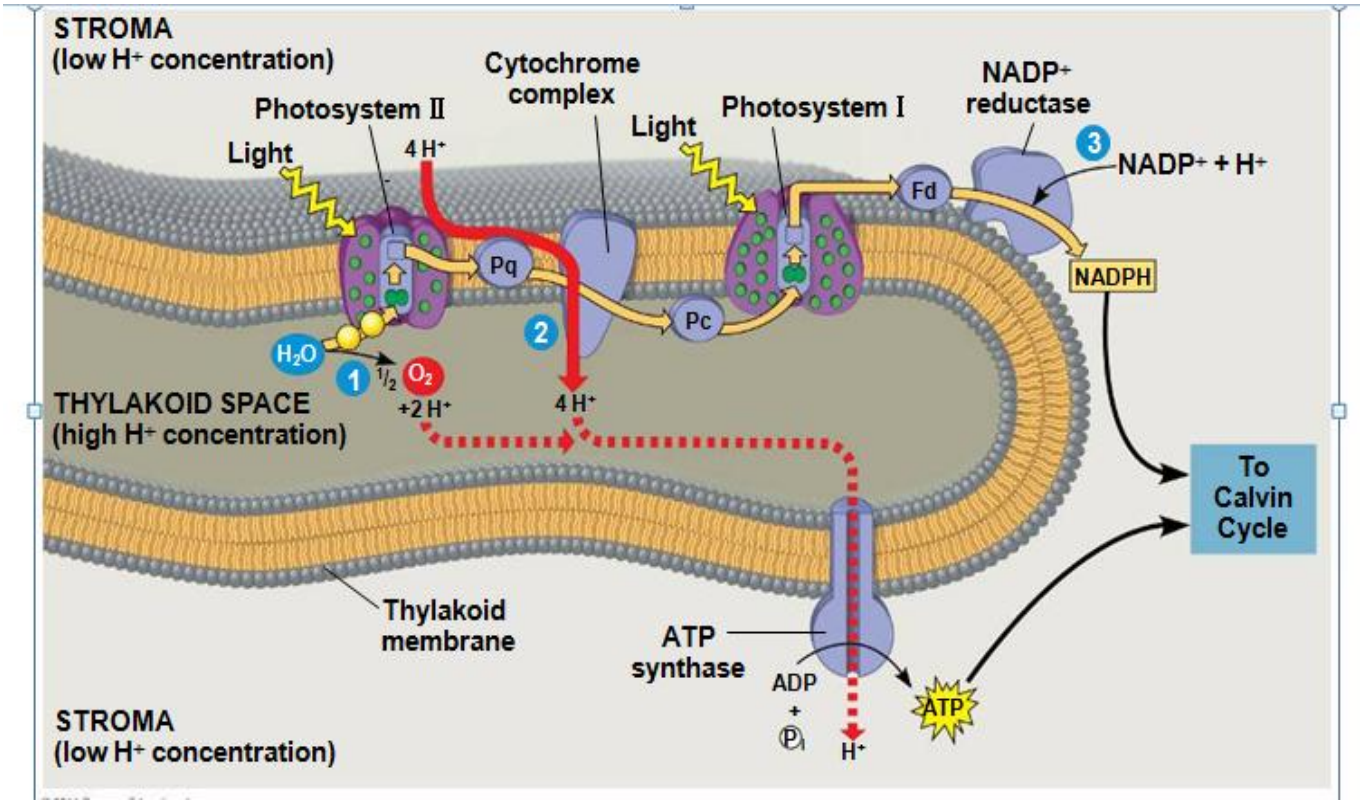
اما بالنسبة للنقل الالكتروني الدوري او الدائري فانه يتضمن مايلي:-

1- يشمل النظام الضوئي الاول فقط.

2-الالكترونات لا تصل الى المرافق الانزيمي وانما الى مستقبل وسطي

3- نفس الالكترونات تقوم النظام الضوئي الاول.

الفسفرة الضوئية الدورية تنتجATP فقط حيث لا يتاكسد الماء و لا يتم اختزال المرافق الانزيمي وهذا الشيء يحدث عند تعريض النبات مثلا الى اطوال موجيه اعلى من (nm680) وبذلك لا يستطيع مركز الامتصاص امتصاصه وكذلك يحدث عند تعريض النباتات لبعض المركبات الكيميائيه مثل مبيدات الادغال مثل (Monuron Diaron) وهذا تثبط عملية الاكسدة الضوئية للماء حركة الالكترونات اللادورية مما يؤدي الى موت النباتات



التنفس الضوئي Photo respiration

وهو عملية فقدان او تحرر ثائي اوكسيد الكربون بعد عملية تثبيته في دورة كالفن (نباتات C3) بوجود الضوء والاكسجين . وتُسمى بالتنفس الضوئي لتميزها عن عمليةٌ التنفس الاعتياديُّ التي تحُدث في جميع الخلايا (C3 و C4)

هذا النوع من التنفس ليس له علاقة بعملية التنفس الاعتيادي الذي يحدث في الميتوكندريا و يحتاج الى ضوء وعادة لا يرافقه تخليق ATP ويعتبر فقد في الطاقة

سبب حدوث عملية التنفس الضوئي هو ان انزيم الرابسكو Rubisco يعتبر غير متخصص بالنسبة لمادة التفاعل أي بامكانه استخدام كلا من الاوكسجين وثاني اوكسد الكاربون كمادة تفاعل و عندما يرتبط انزيم الرابسكو بالاوكسجين فان السكر الخماسي رايبلوز ثنائي الفوسفات RUBP سوف ينشطر الى جزئين الجزء الاول يتكون من ثلاث ذرات كربون والجزء الثاني يتكون من ذرتين كربون كما موضح.

$$\text{RUBP } C5 + \text{Oxygen} + \text{rubisco} \longrightarrow \text{PGA } C_3 + \text{Phospho glycolate } C_2$$

في حين ينتج من التفاعل الاعتيادي جزيئتين من المركب العضوي PGA ثلاثي الكربون.

$$\text{RUBP} + CO_2 + \text{rubisco} \longrightarrow 2\ \text{PGA } C_3$$

اذن نستنتج ان انزيم الرابسكو له قابلية اضافة CO_2 وكذلك اضافة اوكسجين

س/ما هو الشيء الذي يحدد اي من هذين التفاعلين يحدث

ج/ ان نسبة CO_2 الى الاوكسجين هي التي تحدد نوع التنفس فعملية التنفس الضوئي تحدث عندما :

1- مستويات ثنائي اكسيد الكربون قليلة اي خلال الفترات التي تكون فيها عملية البناء الضوئي على اشدها.

2- مستويات الاوكسجين عالية اي في الفترات التي تكون فيها شدة الاضاءة عالية.

ان نسبة CO_2 الى الاوكسجين هي التي تحدد في النهاية نوع التفاعل فالنسبة الطبيعية هي $\frac{CO2}{O2} = \frac{4}{1}$

فاذا كانت نسبة ثنائي اوكسيد الكربون الى الاكسجين عالية فان ذلك يلائم حدوث عملية البناء الضوئي اما اذا كانت نسبة ثنائي اكسيد الكربون قليلة بالنسبة للاكسجين فان هذا يلائم عملية التنفس الضوئي

الخطوات العامة لعملية التنفس الضوئي:-

1- ان نتيجة الفعالية الاكسجينية لانزيم الرابسكو (انظر للمعادله السابقة) هي جزيئة واحدة من PGA وجزيئة واحدة من حامض (Phosphoglycolate).

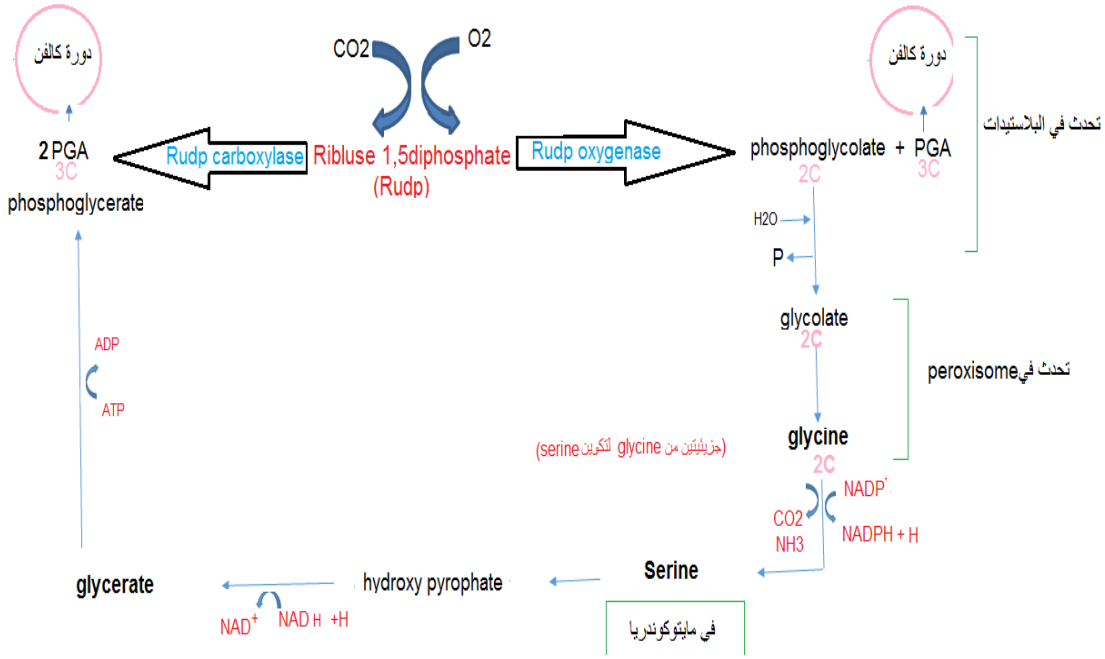
2- حامض PGA سوف يدخل في دورة كالفن كالمعتاد

2- الفسفوكلايكوليت Phosphoglycolate وهو مركب ثنائي الكربون تحدث له ازالة لمجموعة الفوسفات ويتحول الى الكلايكوليت وحامض الكلايكوليت (glycolate) يترك البلاستيدة الخضراء ثم يدخل في عضيات Peroxisome وهي احد الاجسام الدقيقةالموجودة في الخلية وهي عبارة عن عضيات احادية الغشاء تحتوي على العديد من الانزيمات مثل انزيم الكاتليز وفي هذه العضيات تتم اكسدة الكلايكوليت:-

glycolate ⟶ glyoxylate ⟶ glycine ⟶ serine

بعد ذلك يتحول هذا المركب الاخير الى الحامض الاميني الكلايسين.

وهذا الكلايسين يترك Peroxisome و يتحرك نحو الميتوكندريا وعندما يصل الى الميتوكندريا فان جزيئتين من (حامض الكلايسين) سوف تتكاثف مكونة جزيئة واحدة من الحامض الاميني السيرين(Serine). ويتم اطلاق ثنائي اوكسيد الكربون في هذه المرحلة.



مخطط يوضح التنفس الضوئي في نباتات C3

الايض الخلوي :- Metabolism

تعرف جميع التحولات الكيميائية التي تتم داخل الخلايا بمساعدة الانزيمات بالايض Metabolism ويتضمن كلا من عمليتي الهدم (Catabolism) التي يتم فيها تحويل المواد المعقدة الى مواد أولية اصغر والبناء (amabolism)التي يتم فيها بناء مواد معقدة من مواد أولية . والتفاعلات الهدمية مؤكدة للطاقة exergonic reactions اما تفاعلات البناء فهي متطلبة للطاقة Endergonic reactions. وتطلق كلمة ايضيات (Metabolites) على المركبات الكيميائية التي تتضمنها التفاعلات الايضية

ايض الكاربوهيدرات:-Carbohydrate Metabolish .

تعد الكربوهيدرات الوقود الرئيسي الذي يزود النظم الاحيائية بالطاقة في صورة تستطيع الخلايا الحية استعمالها والكربوهيدرات كغيرها من كل انواع الوقود لابد من حرقها اواكسدتها اذا اريد للطاقة ان تنطلق منها. وتستقر عملية التاكسد عند تحول الكربوهيدرات في النهاية الى ثنائي اوكسيد الكربون وماء مع انطلاق ما اخذ في جزيئاتها من طاقة اثناء البناء الضوئي كما هو موضح بالمعادلة الاتية:-

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \Delta G = -686$$

التغيير في الطاقة الحرة

$$\Delta G = -686 \text{ Kcal /mole}^{-1}$$

وتمثل هذه المعادلة عملية حرق احيائي لجزيئ السكر عن طريق الخلية وهي كما تبدو صورة عكسية للمعادلة العامة للبناء الضوئي. وربما يظهر جزء من الطاقة المنطلقة كحرارة يتبدد بعضها ويستغل بعضها الاخر في اداء عمل احيائي يفيد الا ان الخلية تستطيع عن طريق اليات خاصة الامساك والاحتفاظ نحو 50% او اكثر مما ينطلق من طاقة حرة تستغل فيما بعد لتيسير الكثير من التفاعلات المتطلبة للطاقة ولاداء اغراض احيائية شتى.

اذ ربما تستغل الطاقة التنفسية في اداء عمل كيميائي بهدف تخليق مواد غنية بالطاقة الحرة كالدهون والبروتينات او عمل ازموزي لامتصاص الاملاح وتراكمها داخل الخلية ضمن منحنيات تراكيزها او عمل كالحركات التي تصاحب عمليات النمو في النبات

وجدير بالذكر ان ماده التنفس الى جانب تزويدها الخلية بالطاقة عند هدمها فان بعض نواتج الهدم تستخدم كمصدر كربون للخلية. فمثلاً عند تغذية خلية حية بكلوكوز موسوم بالكربون المشع (labelied ب[C^{-14}]) فسرعان ما يظهر النشاط الاشعاعي في العديد من المركبات الخلوية مما يدل على استغلال الكلوكوز كمصدر كاربون خلوي فضلاً على استخدامه كمصدر للطاقة.

وتنطوي عملية تنفس الخلايا النباتية بصفة اساسية على اكسدة الكربوهيدرات واحياناً الدهون او اي مادة عضوية اخرى بالاوكسجين الجزيئي وعادة يتم تاكسد المركب العضوي بصورة كاملة بحيث تكون النواتج النهائية هي Co_2 والماء مع انطلاق كمية كبيرة من الطاقة ففي حالة الهكسوى (سكر سداسي) نجد ان تغير الطاقة الحرة = - 686Kcal. ويطلق على هذا النوع من التنفس اسم تنفس هوائي او اكسجيني(Aerobic respiratic) و عنده حرمان بعض الانسجة النباتية من الاوكسجين تهدم مركباتها العضوية انهداماً جزئياً فقط بحيث تكون النواتج هي عادة ثنائي اوكسيد الكربون و كحول الاثيل ففي حالة الهكسوس (سكر سداسي) مثلاً يكون التفاعل

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CO_2 + 2C_2H_5OH + \Delta G = -56 \text{ kcal/mole}$$

ومن المعروف ان الخميرة و بعض انواع البكتيريات تستطيع ان تهدم بعض المركبات العضوية هدم جزئي تحت ظروف لاهوائية ففي حالة عمل الخميرة على الكلوكوز تكون النواتج هي ايضا CO_2 والكحول ويطلق بعض علماء فسلجة النبات على هذا النوع من الهدم الجزئي للمركبات العضوية تنفس لاهوائي او لا اوكسجيني:- (Ana aerobic respiration)

في حين يفضل البعض الاخر تسمية هذه النوع من الايض تخمر fermentation و جدير بالملاحظة ان يفيد الطاقة الحرة في مثل هذا الايض اللاهوائية يقل كثيراً عما هو الحال في الاكسدة الكامل فذلك جزء كبير من الطاقة الكلية للمادة الاصلية يظل مخزون في النواتج الوسطية حيث لا سبيل للحصول علية الا باكمال عملية الهدم وهكذا يتضح لان الخلايا الحية من ان تهدم تحت الظروف اللاهوائية عدة اضعاف ماتوكسده من مادة التنفس لكي تحصل على الكمية نفسها من الطاقة و كفاءة الايض الهوائي تفوق كثيراً كفاءة الايض اللاهوائي .

وعلى الرغم من قدرة اجزاء نباتية كثيرة على ممارسة التخمر الكحولي في بيئة لاهوائية فان هذه العملية ليست عامة فهي اكثر وضوح في البذور النباتية و في البادرات واعضاء التخزينية والانسجة الجنينية هذا وتعتبر بعض الاوراق النباتية عند القيام بالتخمر تحت الظروف اللاهوائية ولاتستطيع الانسجة النباتية وخاصة تلك التي تنمو بنشاط ان تحتمل فترة لاهوائية لفترة طويلة وذلك فيما يبدو لسببين وهما

1-احدهما ان الطاقة التي تنطلق تحت ظروف لاهوائية غير كافية لتيسير العمليات الخلوية فالكثير من العمليات الفيسولوجية الاساس كلانقسام الخلوي والتخلق الاحيائي وامتصاص الاملاح وتناقلها تتم ببطئ شديد او تتوقف كلياً تحت مثل هذه الظروف

2-اما السبب الاخر فهو تراكم بعض نواتج التنفس اللاهوائي مثل الكحول والاستلديهايد ذات التاثير الضار للبروتوبلازم

مراحل عملية التنفس الهوائي:-

يمكن تقسيم عملية التنفس الهوائي في الانسجة النباتية الى اربعة مراحل هي

التحلل السكري او الانشطار الكلايكولي 1-Glycolysis

المرحلة الانتقالية 2-Transition stage

دوره كربس 3-krebs cycle

4-electron transport oxidation phosphorylations

النقل الالكتروني و الفسفرة التاكسدية

1- الانشطار الكلايكولي Glycolysis

وهي سلسلة من التفاعلات يتم فيها تحويل جزيء الكلوكوز الى جزيئتين من مركب يعرف بالحامض البايروفي

ويطلق هذا التحلل ايضاً **بالمسار** اللاهوائي لاكسدة الكلوكوز وذلك لان تفاعلاتة يمكن ان تتم باكملها في غياب اوكسجين الهواء ويحفز تفاعلات هذا المسارعدة انزيمات توجد جميعها في السيتوبلازم والخطوة الاولى في المسار الكلايكولي عند هدم الكلوكوز الذي تستخدمة كائنات حية كثيرة هي

1- استرة جزيئاتة بالفوسفات لتكوين فوسفات 6-كلوكوز اذ لا توجد في الخلايا الحية انزيمات قادرة على هدم جزيء السكر الا بعد تحوله الى استر فوسفات وهكذا يتضح ان فسفرة السكر انماهي وسيلة لجعل جزيئاتة قابلة لتحولات ايضية ولا يمكن تكوين استرفوسفات للسكر عن طريق تفاعل بسيط بين جزيئ السكر و ايون الفوسفات لان موضع اتزان هذا التفاعل يجعل حدوثه غير ممكن من الناحية الديناميكية

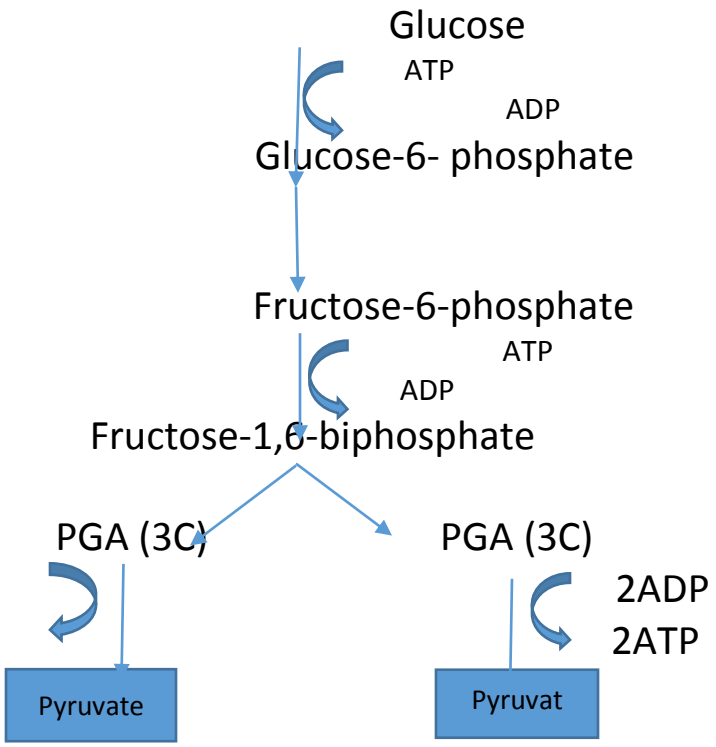
2- تحويل الكلوكوز احادي الفوسفات بفعل انزيم معين الى فركتوز احادي الفوسفات C6))

3- فسفرة الفركتوز احادي الفوسفات الى فركتوز ثنائي الفوسفات ((C6 باستهلاك جزيئة أخرى من ATP

4- انشطار جزيئة الفركتوز ثنائي الفوسفات التي هي جزيئة سداسية الكاربون الى جزيئتين من مركب ثلاثي الكاربون هو فوسفو كليسرك الديهايد 3C) PGA)

5- تحول جزيئتا فوسفو كليسرك الديهايد الى جزيئتين من الحامض البايروفي ((C3 خلال سلسلة من التحولات

ينتج عنها اربع جزيئات من ATP واربع ذرات من الهيدروجين.



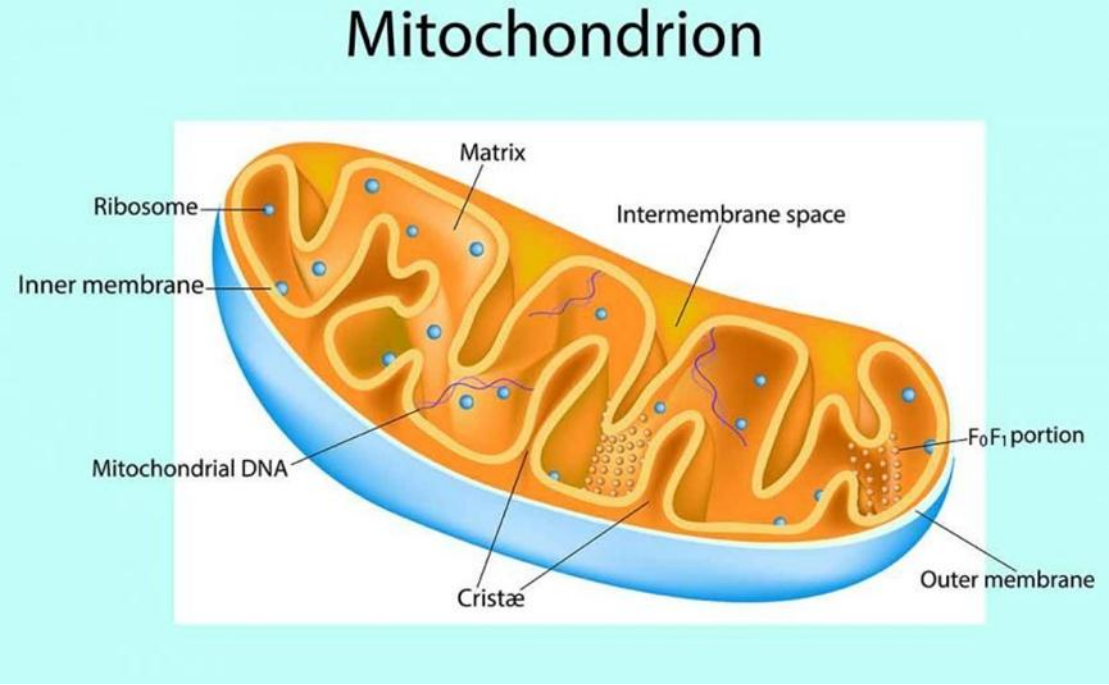
مخطط يوضح التحلل السكري

المراحل التالية لعملية التنفس الهوائي وتحدث داخل المايتوكندريا و المايتوكندريا:- هي عبارة عن عضيات محاطة بغشاء مزدوج. وهي واسعة الانتشار في السايتوبلازم ولمعظم الخلايا حقيقية النواة.

وظيفه المايتوكندريا هي تحويل الطاقة الكامنة لجزيئات المواد الغذائية الى ATP (Power houses of the cell) (بيوت الطاقة) و تتكون المايتوكندريا من الاجزاء الاتية:-

1- غلاف خارجي يسمى Outer membrane

2- الغلاف الداخلي ويحيط بالماتريكس (matrex) التي تكون مملوء بسائل



الغشاء الداخلي ايضاً يحتوي على بروزات تشبه الاصابع تسمى بالكريستي(cristae) وهي موجودة داخل matrix لزيادة المساحة السطحية كما تحتوي المايتوكندريا على عدد قليل من جزيئات DNA الدائرية حوالي 5_10وتسمى circular DNA

الغشاء الخارجي يحتوي على العديد من المعقدات التي هي البروتينات الاساسية للغشاء وهذه المعقدات تكون قنوات والتي خلالها تدخل وتخرج العديد من الجزيئات والايونات في المايتوكندريا.
اما الغشاء الداخلي فهو يحتوى على خمس معقدات من بروتينات الغشاء الاساسي وهي:-

1-NADH dehydrogenase (complex I)
2- Succinate dehydrogenase (complex II)
3-Cytochome c reductase (complex III)
4-Cytochrome c oxidase (complex Iv)
5-ATP synthase (complex v) انزيم تخليق ATP

الارضية السائلة Matrix:-
تحتوي على مزيج معقد من الانزيمات الذائبة وهذه الانزيمات تحفز التفاعلات المسؤولة عن اكسدة حامض البيروفيك والمركبات العضوية الاخرى.

المرحلة الانتقالية Transition stage:

$$2\text{Pyruvic acid} \longrightarrow \text{AcetylCoA}$$

$$2C_3H_4O_3 + 2CoA \xrightarrow[2NAD+]{2NADH+H^+} 2C_2H_3O\text{-}CoA + 2Co_2$$

وحامض البرو فيك ضعيف يمنع دخوله مباشرة بالتفاعل (ظاهرة التنشيط) والجدير بالذكر ان المرحلة تحول حامض البيروفيك الى استيل المرافق الانزيمي (Acety CoA) فائدة مزدوجة فهذه المرحلة بوصفها عملية تاكسد مرتبطة بجهاز النقل الالكتروني تؤدي الى انتاج ثلاثة جزيئات من ATP لكل جزيء يتاكسد من حامض البيروفيك ومن جهه اخرى فان هذه المرحلة تستقر عن جعل مجموعة الاستيل في صورة منشطة(activated) يمكن ان تنتقل بسهولة الى جزيئات اخرى

دورة كربس:- Krebs cycle
وتسمى ايضاً دورة حامض الستريك (citric acid cycle) تمثل المرحلة السابقة (المرحلة الانتقالية) حلقة اتصال بين الانشطار الكلايكولي وآلية خاصه تشتمل على تفاعلات دورية هامة تعرف بدورة كربس او دورة حامض الستريك الذي هو احد المركبات الوسطية في هذه الدورة وظيفتها الاساسية هي اكسدة استيل المرافق الانزيمي (Acetyl CoA) سواء كان ناتجاً عن المرحلة السابقة في مسار ايضي الكاربوهيدرات او عند مسار ايض الدهون.

او عن اي مسار ارضي اخر الى ثنائي اوكسيد الكاربون ومسار مع انتاج عدة جزيئات من ATP وتوجد الانزيمات الحافزة للتفاعلات هذه الدورة بصورة ذائبة في المايتوكندريا او متصلة بغشاءها الداخلي خلاصة هذه الدورة

1-استيل المرافق الانزيمي AcetyCoA مركب ثنائي الكربون يتحد مع جزيئة من حامض اوكزا الخليك وهو حامض رباعي يتكون لدينا حامض سداسي الكربون هو حامض الستريك.

2-جزيئة حامض الستريك الناتجة والتي اعطت الدورة اسمها يحصل لها سلسلة من تفاعلات انزيمية

3-اخر خطوة هي اعادة تكوين جزيئة حامض اوكزاولوالخليك لاعادة الدورة من جديد.

خلاصة هذه الدور ان

أ- كل من الثلاث ذرات الكربونية الموجودة في جزيئة حامض البيروفيك التي دخلت المايتوكندريا سوف تترك المايتوكندريا على شكل جزيئة Co_2

ب-في اربع خطوات الدورة فان زوج زوج من الالكترونات سوف يتم انتزاعها وانتقالها الى المرافق الانزيمي(+NAD) و الذي يختزل الى المرافق الانزيمي ($NADH+H^+$) وفي خطوة واحدة من خطوات الدورة فان زوج من الالكترونات تم انتزاعها من حامض السكسونيك ثم تنتقل الى المرافق الانزيمي(FAD) الذي يتحول الى ($FADH_2$) .

الا ان الالكترونات الموجودة في المرافقات الانزيمية المختزلة($NADH+H^+$)($FADH_2$) سوف تنتقل الى السلسلة التنفسية.

المرحلة الرابعة مرحلة النقل الالكتروني و الفسفرة التاكسدية:-

electron transport system & oxidation phosphorylion

او السلسلة التنفسية respiratory chain ان جهاز النقل الالكتروني هو موجود في الكريستي (الاعراف) للمايتوكوندريا وجهاز النقل الالكتروني عبارة عن سلسلة من النواقل او الحوامل التي تمر الالكترونات من مركب الى اخر ان الالكترونات التي تدخل جهاز النقل الالكتروني محمولة من قبل المرافقين الانزيميين ال(NADH) ($FADH_2$)فيوضح المخطط كيفية انتقال الالكترونات ضمن جهاز النقل الالكتروني حيث لاحظ انه عندما يعطي المرافق الانزيمي المختزل $NADH+H^+$ الكترونات فانه يصبح صورة مؤكسدة اي (NAD^+) والناقل الالكتروني اللاحق يكتسب الالكترونات ومن ثم يختزل وعملية الاكسدة والاختزال هذه هي التي تبدأ عملية النقل الالكتروني وكل من النواقل او الحوامل الالكترونية يحدث لها عملية اكسدة واختزال بالتعاقب وذلك مع حركة الالكترونات خلال جهاز النقل الالكتروني ومع مرور زوج من الالكترونات من ناقل الى اخر فان الطاقة المنطلقة سوف يتم اختزالها واستخدامها في

تكوين الATP اما بالنسبة للاوكسجين فانه يستقبل الالكترونات فتكون مثل اخر ناقل الالكتروني وبعد ان يستلم الالكترونات فأن الاوكسجين يتحد مع الهيدروجين ايون و يتكون لدينا الماء كما في المعادلة البسيطة الاتية :-

$$H_2o \longrightarrow \frac{1}{2} O_2+2e+2H^+$$

ان العبارة اوالاصطلاح الفسفرة التاكسدية تطلق على انتاج الATP كنتيجة للطاقة المنطلقة في جهاز النقل الالكتروني في عملية التنفس.