فسيولوجى نبات

المحاضرة الرابعة

إعداد

الأستاذ الدكتور/ أحمد لطفى ونس

أستاذ النبات وعميد الكلية

علاقة النبات بالذائبات

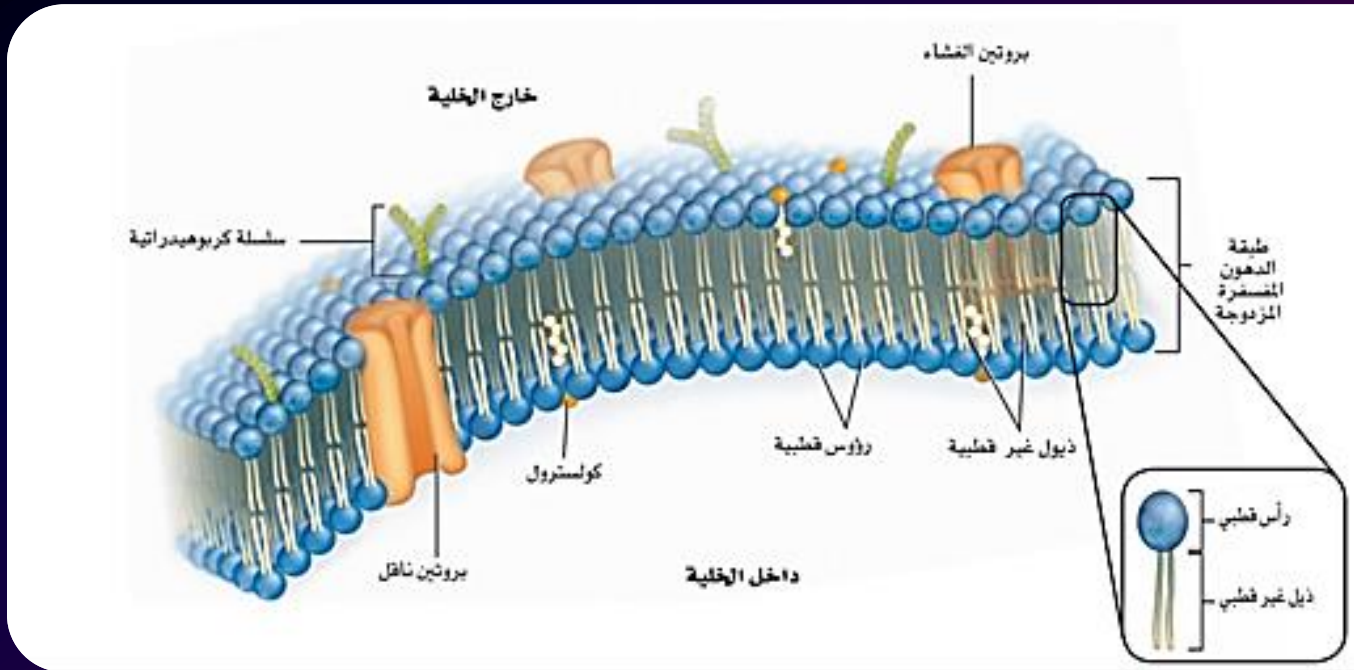
نفاذية الغشاء البلازمى Permeability of plasma membrane

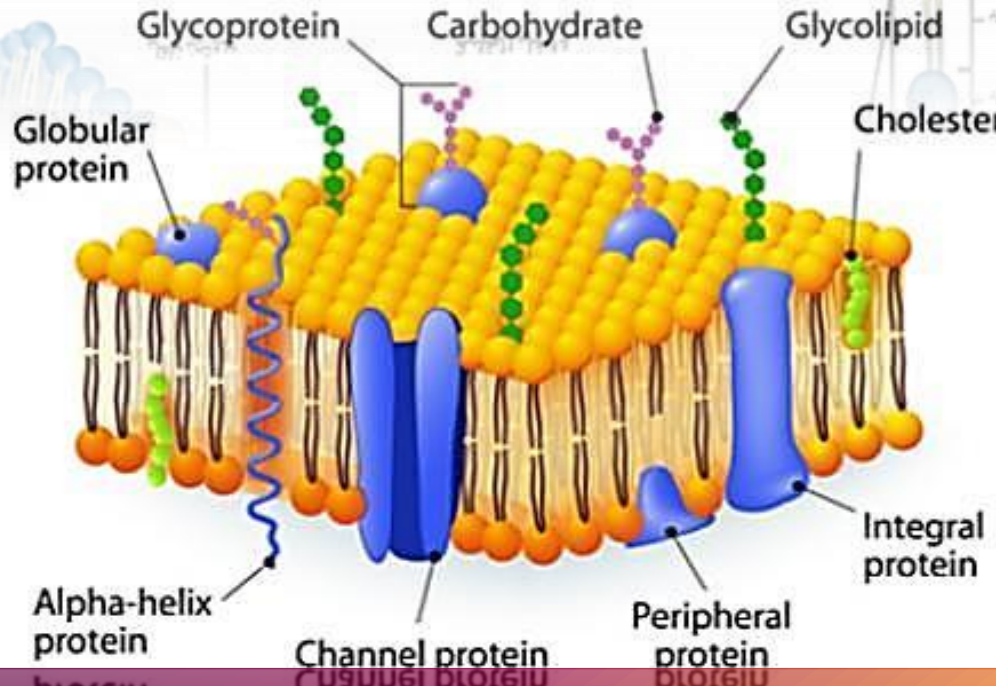
تحاط الخلية النباتية من الخارج بغلافين هما:

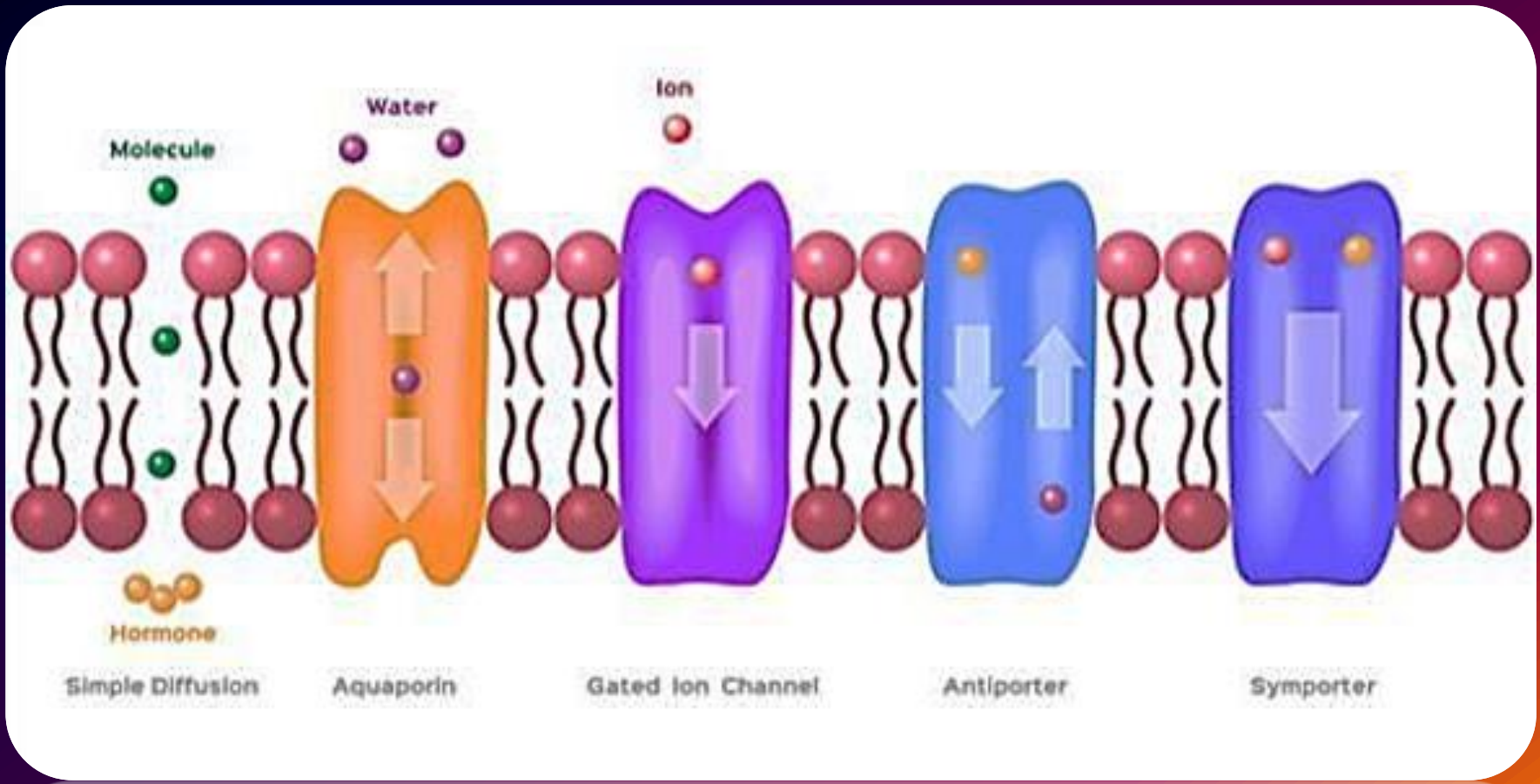
١- الجدار الخلوى Cell wall: يحيط ببروتوبلازم الخلية النباتية من الخارج وهو جدار ميت يتكون أساساً من السليولوز.

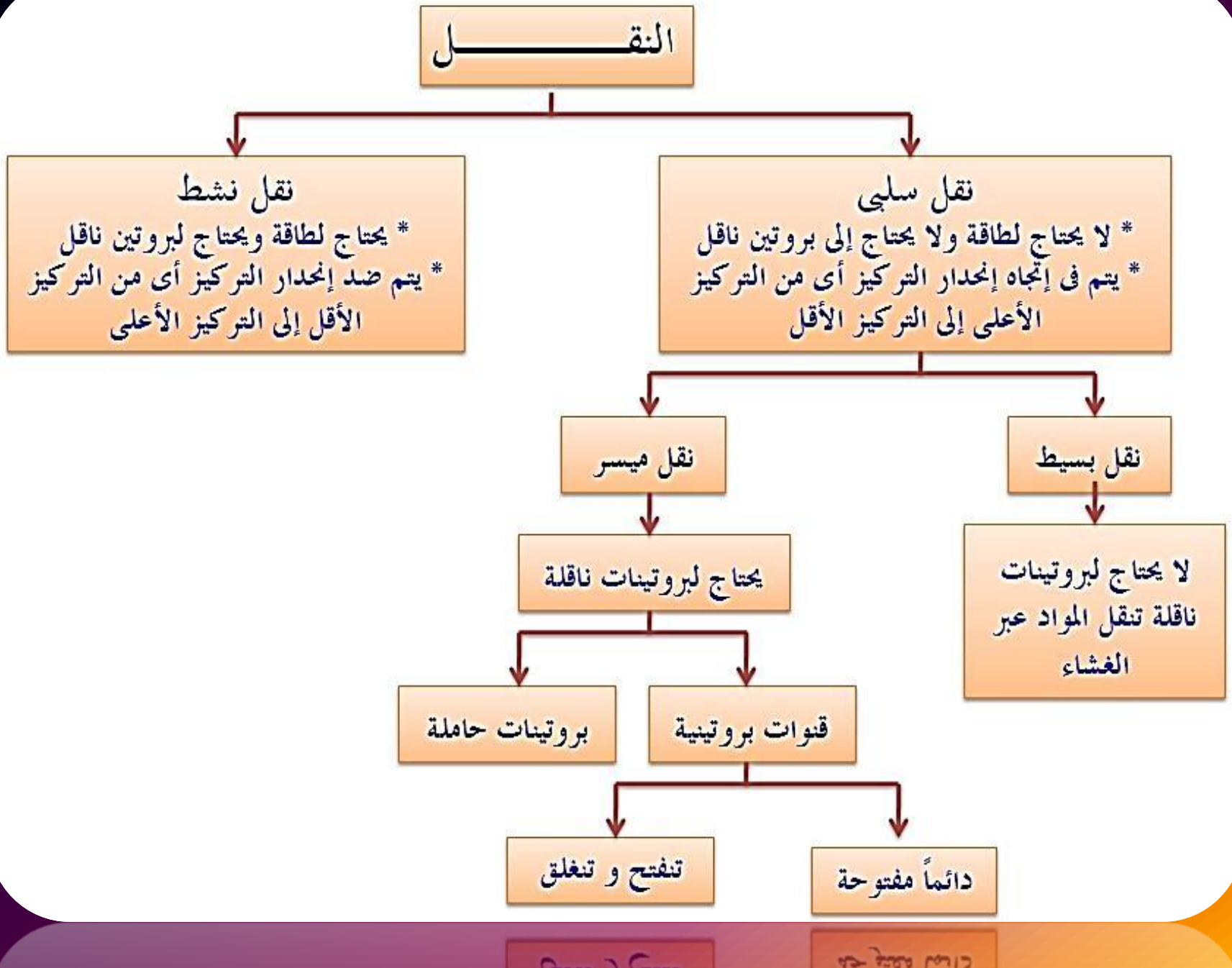
٢- الغشاء البلازمى Plasma membrane: هو الطبقة الخارجية من البروتوبلازم وهو عبارة عن غشاء رقيق حى يتكون من الفوسفوليبيدات وبروتينات وكربوهيدرات.

والجدار الخلوى يسمح بمرور المواد المختلفة من وإلى الخلية بحرية تامة حيث يعتبر غشاء منفذ إنفاذاً تاماً للماء والأملاح ما لم يدخل فى تركيبه مواد تقلل من نفاذيته مثل السوبرين الذى يدخل فى تركيب جدر خلايا الإندوديرمس وخلايا الإكسوديرمس بالجذور وجدر خلايا الفلين، وكذلك الكيوتين الذى يكون الجدر الثانوية لخلايا بشرة الأوراق والسيقان الهوائية الحديثة. أما الغشاء البلازمى فهو غشاء إختيارى النفاذية Selecctive permeability حيث يتحكم فى تنظيم مرور المواد المختلفة من وإلى الخلية تبعاً لإحتياجات الخلية كما تتغير نفاذيته من وقت إلى أخر تبعاً للتغير فى النشاط الحيوى بالخلية ووتبعاً للتغير فى ظروف البيئة المحيطة.


بروتين الغشاء
خارج الخلية
سلسلة كربوهيدراتية
طبقة الدهون المفسفرة المزدوجة
رؤوس قطبية
ذيول غير قطبية
كولسترول
بروتين ناقل
داخل الخلية
رأس قطبي
ذيل غير قطبي


Glycoprotein
Carbohydrate
Glycolipid
Globular protein
Cholesterol
Integral protein
Alpha-helix protein
Channel protein
Peripheral protein


Molecule
Water
Ion
Hormone
Simple Diffusion
Aquaporin
Gated Ion Channel
Antiporter
Symporter

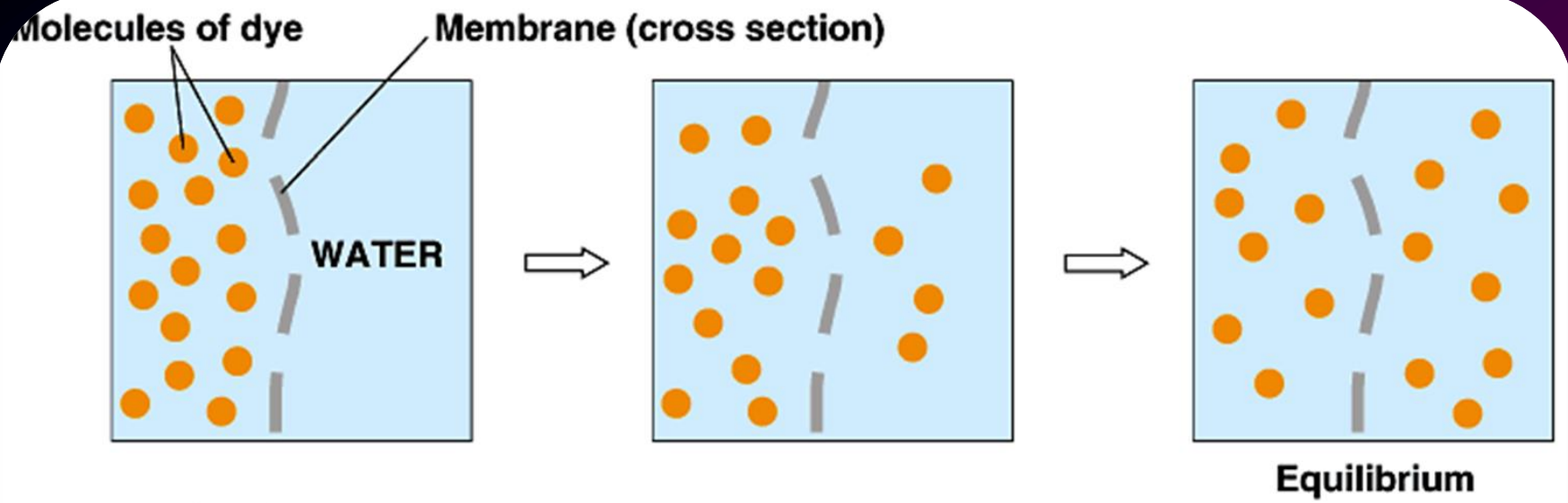

النقـــــــل
نقل نشط
* يحتاج لطاقة ويحتاج لبروتين ناقل
* يتم ضد إنحدار التركيز أى من التركيز الأقل إلى التركيز الأعلى
نقل سلبى
* لا يحتاج لطاقة ولا يحتاج إلى بروتين ناقل
* يتم فى إتجاه إنحدار التركيز أى من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل
نقل بسيط
نقل ميسر
لا يحتاج لبروتينات ناقلة تنقل المواد عبر الغشاء
يحتاج لبروتينات ناقلة
بروتينات حاملة
قنوات بروتينية
تنفتح و تنغلق
دائماً مفتوحة

أولاً: النقل السلبى Passive transport

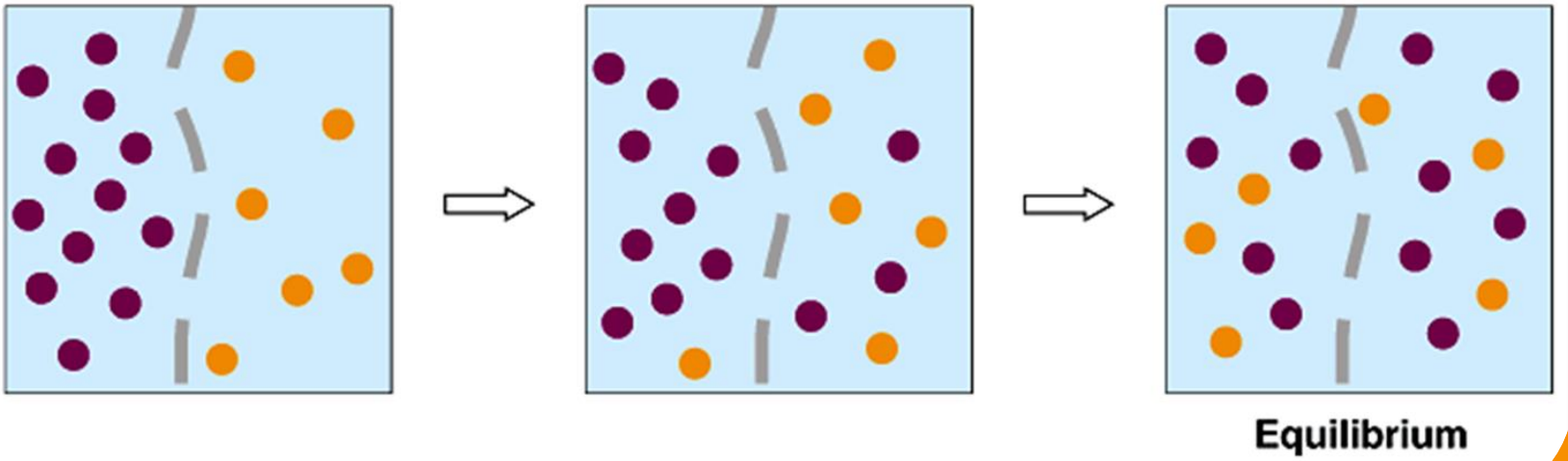
وفيه يتم إنتقال أو مرور الذائبات عبر الغشاء من حيث هى عالية التركيز إلى حيث هى منخفضة التركيز أى تنتقل الذائبات عبر الغشاء فى إتجاه إنحدار التركيز، وهى عملية تلقائية تخضع للقوانين الطبيعية ولا تحتاج إلى طاقة كما لا يكون للغشاء أى تحكم فيها لذا تسمى بالنقل السلبى Passive transport ويتم هذا النقل بطريقتين هما:

١- الإنتشار البسيط Simple diffusion

وفيه يتم إنتقال أيونات أو جزيئات الذائبات عبر الغشاء من حيث هى عالية التركيز إلى حيث هى منخفضة التركيز أى تنتشر فى إتجاه انحدار التركيز دون الحاجة إلى بذل طاقة. وفى الخلية النباتية تتوقف سرعة الإنتشار أو سرعة مرور الجزيئات خلال الغشاء البلازمى على مقدار الفرق فى التركيز على جانبى الغشاء حيث أن العلاقة طردية بين إنتشار الجزيئات خلال الغشاء والفرق فى تركيزها على جانبى الغشاء، ومع ذلك فإن درجة أو سرعة نفاذية الذائبات عبر الغشاء تعتمد على عدة عوامل هى:



(a) Diffusion of one solute



(b) Diffusion of two solutes

إنتشار المواد الغير إليكتروليتية Neutral diffusion

تسمى هذه المواد أيضا بالمواد غير المتأنية وهى مواد لا تتأين فى محاليلها، لذلك فإن نفاذيتها عبر الغشاء الخلوى أقل تعقيداً من نفاذية المواد المتأينة حيث يعتقد أن هذه المواد تنفذ بطبيعتها أى بصورتها الطبيعية دون حدوث أى تغيير فى تركيبها خاضعة فى ذلك لنظرية النقل السلبى أى أنها تنتقل تبعاً لإتجاه منحدر التركيز الكمياوى أى أنها تنتقل خلال الغشاء من الجانب الأكثر تركيز إلى الجانب الأقل تركيز حتى يتساوى التركيز على جانبى الغشاء. ويتوقف معدل إنتشارها عموماً على طبيعية تركيب جزئياتها وحجم الجزئيات ومعامل توزيعها.

إنتشار المواد الإليكتروليتية (الأيونات) Ionic diffusion

تسمى المواد المتأنية حيث تتأين المواد الإلكتروليتية إلى أيونات سالبة الشحنة (أنيونات) وأيونات موجبة الشحنة (كاتيونات) عند إذابتها فى الماء وتنتقل الأنيونات والكاتيونات الناتجة من وإلى الخلية مستقلة عن بعضها تمام الإستقلال فقد تدخل الخلية الأيونات الموجبة وتبقى الأيونات السالبة جميعها أو بعضها خارج الخلية والعكس صحيح. ويتوقف إنتشار الأيونات خلال الغشاء البلازمى متشابهة فى ذلك مع جزيئات المواد غير المتأنية عديمة الشحنة على منحدر تركيزها الكمياوى أى الفرق بين تركيزها داخل الخلية وخارجها حتى يتساوى تركيزها داخل وخارج الخلية ولكن عند الإتزان لا يكفى أن يكون تركيز الأيونات متساوى على جانبى الغشاء ولكن هناك عامل أخر محدد هو منحدر الجهد الكهربى فيجب أن تكون مجموع الشحنات السالبة والموجبة متساوية أيضاً على جانبى الغشاء للمحافظة على الحالة التعادل. أى أن منحدر التركيز الكيماوى وحده لا يكفى لدفع عملية الإنتشار فى حالة الأيونات ولكن يلزم أيضاً أن يكون هناك منحدر للجهد الكهربى حيث يعمل الفرق بين الشحنات المتشابهة على جانبى الغشاء على دفع عملية الإنتشار فى إتجاه معين من حيث الشحنة أعلى تركيزاً إلى حيث الشحنة نفسها أقل تركيزاً.

مثال: إذا وضعنا خلية عادية تحتوى بطبعية الحال على جزيئات بروتينية سالبة الشحنة فى محلول كلوريد بوتاسيوم KCl فإن الأيونات سوف تمر خلال الغشاء إلى داخل الخلية تحت تأثير الفرق فى التركيز (منحدر التركيز). وحيث أن جزيئات البروتين السالبة لا يمكنها ترك الخلية فإن المحصلة تكون نفاذية أيونات البوتاسيوم K بعدد أكبر ما يسبب منحدر فى الجهد الكهربى أو الفرق بين تركيز الشحنات المتماثلة على جانبى الغشاء. وقد وجد إنتشار الإلكتروليتات الضعيفة أسرع من إنتشار الإلكتروليتات قوية التأين وأن الكاتيونات والأنيونات وحيدة الشحنة (أحادية التكافؤ) مثل Na، K، Cl تدخل الخلية أسرع من ثنائية التكافؤ مثل Ca، Mg وهذه تدخل أسرع من ثلاثية التكافؤ مثل Fe ويتضح من ذلك أن وجود الشحنات يقلل أو يضعف من عملية الإنتشار عبر الغشاء البلازمى.

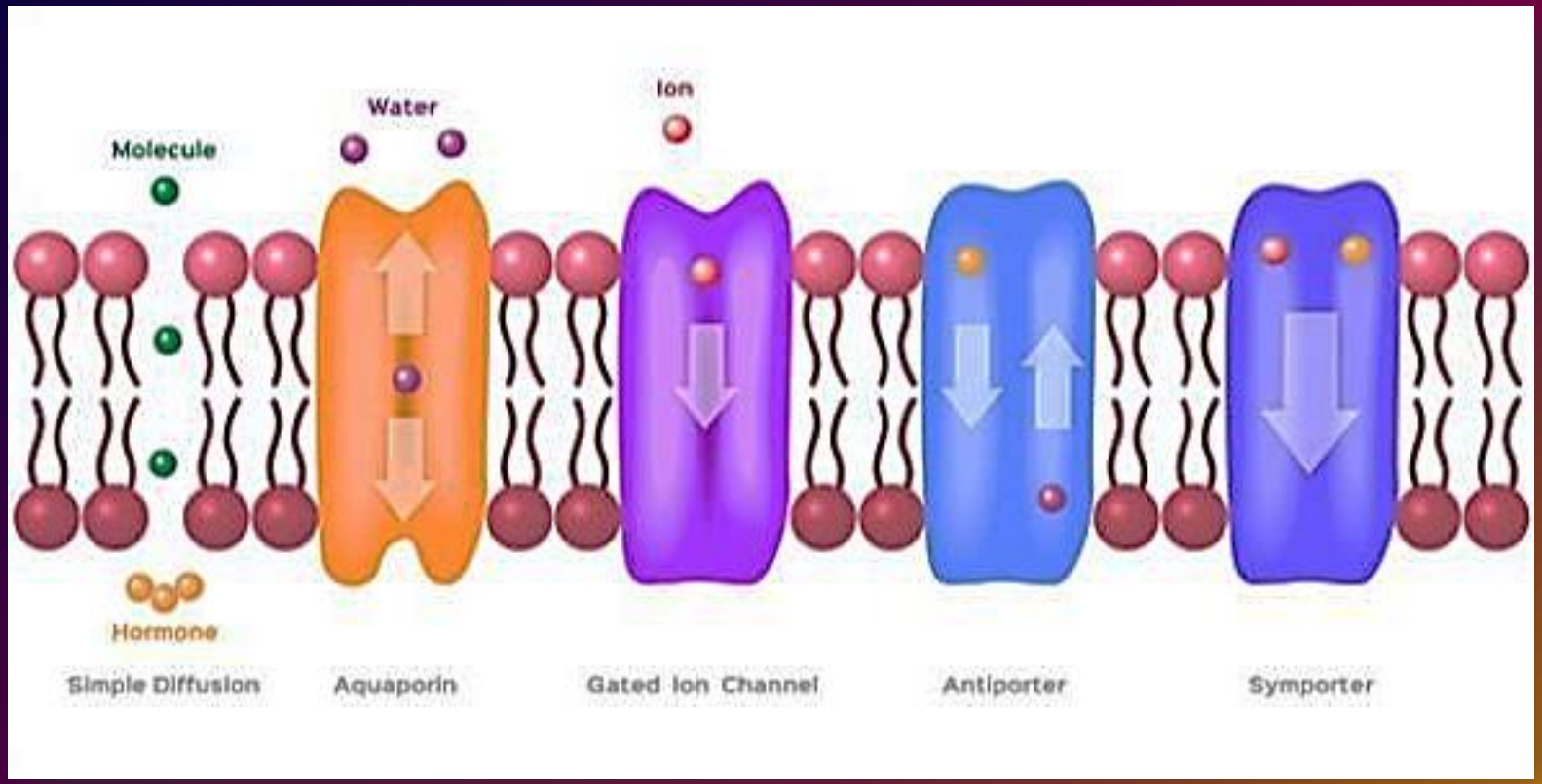
ولكى يصبح الإتزان الكهربى صحيحاً فلابد أن يحل محل الأيونات الزائدة التى دخلت الخلية أيونات أخرى مساوية لها فى الكم ونوع الشحنة تخرج من الخلية، توجد ثلاثة إحتمالات لحدوث مثل هذا التوازن الكهربى:

- خروج أيونات تحمل نفس الشحنة الكهربية من الخلية إلى الوسط الخارجى بنفس العدد لتعوض الشحنات الزائدة التى دخلت الخلية فمثلاً قد تمتص الخلية عدد زائد من أيونات البوتاسيوم K فيخرج عدد مكافئ لها من أيونات الصوديوم Na.
- قد تتأين جزيئات الماء نفسها إلى أيونات هيدروجين H^+ ومجموعات هيدروكسيل OH^- حيث يصاحب إحداها الأيونات الزائدة إلى داخل الخلية تبعاً للفرق بين عدد الأيونات الموجبة والسالبة التى تدخل الخلية فمثلاً إذا كان الأيون الممتص من الملح ذو شحنة موجبة فإنه يكون مصحوباً بأيونات هيدروكسيل والعكس إذا كان أنيوناً فإنه يكون مصحوباً بأيونات هيدروجين وذلك يعلل تحول بعض المحاليل الغذائية فى المزارع المائية إلى الحموضة أو القلوية أثناء نمو النبات فيها.
- تأين الأحماض العضوية داخل الخلية حيث تبقى أنيونات الأحماض العضوية داخل الخلية لتوازن الكاتيونات الممتصة وتخرج أيونات الهيدروجين الموجبة إلى الوسط الخارجى لتوازن الأنيونات الزائدة التى تركت بالخارج.
- وقد تخرج من الخلية أيونات البيكربونات HCO_3^- الناتجة من التنفس بكمية مساوية لكمية الأنيونات الممتصة فعلاً لتحقيق التوازن الكهربى مع الوسط الخارجى.

الإنتشار الميسر (النقل الميسر) Facilitated diffusion

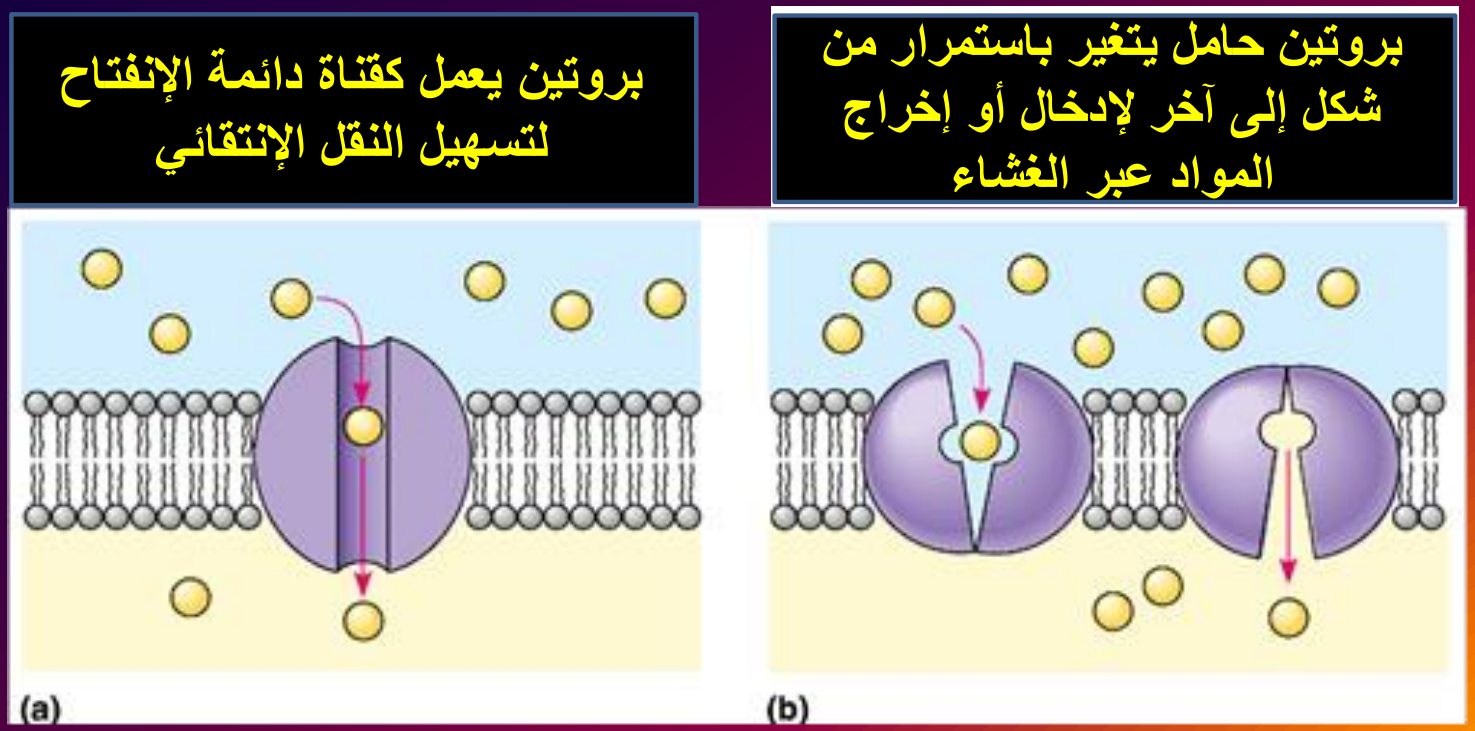
يختص هذا الإنتشار بنقل مواد يصعب إنتقالها خلال الغشاء البلازمى بطريقة الإنتشار البسيط مثل بعض الكاتيونات والأنيونات وجزيئات السكر وبعض الأحماض الأمينية، ويعتبر صورة من صور النقل السلبى لأن جزيئات المواد تنتقل من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل طبقاً لقوانين الإنتشار الطبيعية ودون الحاجة إلى بذل طاقة أيضية لكنها تحتاج إلى بروتينات ناقلة. والبروتينات الناقلة الموجودة في الغشاء الخلوى نوعين:

أ- القنوات البروتينية. ب- بروتينات حاملة.



ب- بروتينات حاملة: هى بروتينات مندمجة توجد مغموسة فى تركيب الغشاء البلازمى وتخترق سطحيه تسمى بالبروتين الناقل أو الحامل Carrier protein وتقوم بالإتحاد مع جزئ أو أيون المادة المطلوب نقلها عند أحد سطحى الغشاء فيحدث تغير فى تركيبها يؤدى إلى دوران البروتين الحامل ومعه المادة المنقولة بزاوية ١٨٠° فتصبح المادة فى مواجهة السيتوبلازم فينفصل الحامل عن المادة المنقولة ليشارك فى عملية نقل أخرى، المواد الحاملة تقوم بنقل جزيئات المواد من وإلى الخلية فهى تعمل بين كلا سطحى الغشاء بدون تمييز والعامل الوحيد الذى يحدد إتجاه نقل الجزيئات هو الفرق فى تركيزها على جانبى الغشاء الخلوى.

وعملية النقل الميسر بمساعدة القنوات البروتينية والبروتينات الحاملة، تعتبر نوع من أنواع النقل السلبى مثلها فى ذلك مثل عمليات الإنتشار البسيط ويرجع ذلك إلى أن القوة المحركة وراء كلا النوعين من النقل هو منحدر التركيز Concentration gradient



عملية الإنتشار الميسر بمساعدة القنوات البروتينية والبروتينات الحاملة، تعتبر نوع من أنواع النقل السلبى مثلها فى ذلك مثل عمليات الإنتشار البسيط ويرجع ذلك إلى أن القوة المحركة وراء كلا النوعين من النقل هو منحدر التركيز Concentration gradient. ويمتاز هذا النوع من النفاذية بالأتى:

١) هناك مواد حاملة متخصصة لكل نوع من الجزيئات أو الأيونات حيث تم إكتشاف حوامل متخصصة لنقل عدد كبير من الجزئيات مثل الجلوكوز واللاكتوز وبعض الأحماض الأمينية والنيوكليوتيدات والجليسرول وغيرها، كل مادة حاملة يوجد عليها مواقع نشطة تناسب الإرتباط بجزيئات ذات تركيب كيميائى معين وليس جميع أنواع الجزيئات المتوفرة على مقربة منها.

٢) تتنافس المواد المتقاربة فى التركيب الكيميائى فيما بينها لإستخدام نفس الحامل ويعتمد التنافس هنا على تركيز كل مادة، أى أن المادة ذات التركيز الأعلى تثبط نقل المواد الأقل تركيزاً لهذا يسمى هذا التثبيط تثبيطاً تنافسياً.

٣) تنفذ الذائبات بهذه الطريقة أسرع من حالة الإنتشار البسيط.

٤) يمكن أن تتعرض المادة الحاملة لحالة تشبع والسبب فى ذلك هو تخصص المواد الحاملة ووجود عدد محدود من جزيئات المادة الحاملة لكل نوع من المواد التى يتم نقلها، وهذا يعنى أن معدل النقل يزداد كلما إزداد تركيز جزيئات المادة المنقولة حتى حد معين بعده لا يزداد معدل النقل حتى لو زاد تركيز جزيئات المادة المنقولة نظراً لتشبع جزيئات المادة الحاملة لها.

٥) يمكن أن يثبط النقل بواسطة مركبات ذات تركيب مختلف وذلك بأن ترتبط هذه المركبات بموقع آخر من البروتين مما يؤدى إلى تقليل الألفة بين الناقل والمادة المنقولة.

وتجدر الإشارة إلى أن البروتينات الحاملة أو البروتينات القنوية يمكن أن يتم خلالها نقل الجزيئات أو الأيونات عبر الغشاء دون إستخدام طاقة وذلك عندما يكون تركيز هذه الأيونات أو الجزيئات على أحد جوانب الغشاء أعلى من الجانب الأخر أى أن الحركة فى هذه الحالة تكون مع التدرج في التركيز .Down Concentration، لكن فى حالة حدوث العكس أى نقل الأيونات ضد تدرج التركيز Up Concentration فإن هذه العملية تستلزم تنشيط البروتينات الحاملة أو القنوات البروتينية بواسطة جزيئات ATP ووجود إنزيمات معينة مثل أنزيم الكاينيز Kinase أو الفسفوكاينيز phosphokinase بالإضافة إلى أنزيم "phosphatase".

ثانياً: النقل النشط Active transport

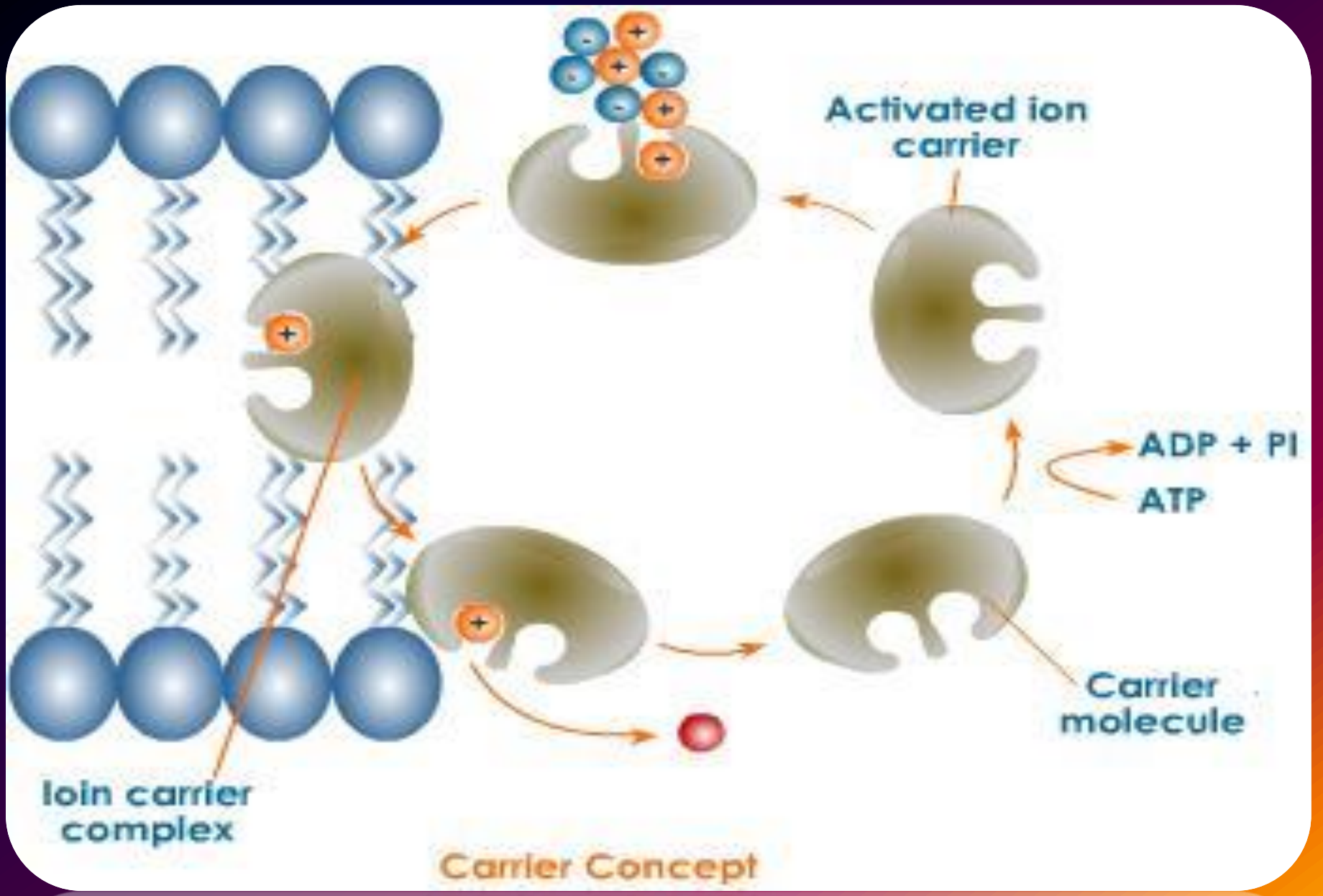
كما ذكرنا سابقاً تتوقف نفاذية الغشاء البلازمى على: منحدر التركيز ، معامل التوزيع ، منحدر الجهد الكهربى ، حجم الجزيئات وغيرها. وفى كل هذه الحالات لم يتدخل الغشاء البلازمى تدخلاً فعلياً فى نقل الدقائق (بإستثناء حالة القنوات البوابة) بل كانت هذه الدقائق تنتقل حسب قوانين الإنتشار الطبيعية ويسمى هذا النوع من النقل بالنقل السلبى Passive transport أما فى حالة النقل النشط فإن الغشاء يتخذ موقفاً إيحابياً نشطاً فى عملية النقل، حيث يتحكم فى نوعية وكمية المواد التى يتم نقلها خلال الغشاء، وفى حالة النقل النشط يتم مرور دقائق المواد ضد منحدرات التركيز والجهد الكهربى المألوفة فهى تنتقل من حيث هى أقل تركيزاً إلى حيث هى أعلى تركيزاً وهذا ما يجبر الخلية على صرف طاقة لدفع عملية النقل. وتختلف التفسيرات فى شرح ظاهرة النقل النشط للذائيات:

يوجد حالياً إحتمالين أساسيين غير مستقلين تماماً يتعلقان بعملية النقل النشط الذى يحتاج لطاقة، يختص أحد هذين الإحتمالين بنظرية الحوامل Carriers بينما يركز الآخر على أهمية مضخة الأيونات Ions pumpمن خلال الغشاء.

١- نظرية الحوامل Carrier theory:

إفترضت هذه النظرية أن الأغشية الحيوية تحتوى على جزئيات معينة غالباً بروتينية تسمى بالحوامل أو Carrier Protein لكونها قادرة على حمل الأيونات خلال الغشاء ويعتقد أنها تمتلك مواقع ربط خاصة Receptors لأنواع معينة من الأيونات تمكنها من نقل الأيونات بصورة إختيارية خلال الغشاء.

- البروتينات الحاملة أو البروتينات القنوية ممكن أن يتم خلالها دخول الجزيئات أو الأيونات المنقولة دون إستخدام الطاقة وذلك عندما يكون تركيز هذه الجزيئات والأيونات فى الخارج أعلى منه فى الداخل أى أن الحركة فى هذه الحالة تكون مع التدرج فى التركيز .Down Concentration، لكن فى حالة حدوث العكس أى أن حركة النقل تتم ضد تدرج التركيز Up Concentration فإن هذه العملية تحتاج إلى طاقة فى صورة ATP ووجود بعض الإنزيمات كأنزيم الكاينيز Kinase أو الفسفوكاينيز phosphokinase بالإضافة إلى أنزيم "phosphatase".
- تتم عملية تنشيط الحامل الأيونى على السطح الداخلى للغشاء بواسطة الطاقة الناتجة من تحليل ATP إلى ADP + Pi ويرتبط الحامل بالفسفور فيصبح حامل مفسفر، ثم ينتقل خلال الغشاء نحو السطح الخارجى ليرتبط بأيون معين مكونا "مُعقد الحامل والأيون "Carrier–ion complex" ثم يمر عبر الغشاء حاملاً معه الأيون اللازم إدخاله حتى يصل إلى السطح الداخلى فيتم فصل وفك مجموعة الفوسفات من الحامل فيتحرر الأيون وينطلق داخل السيتوبلازم.

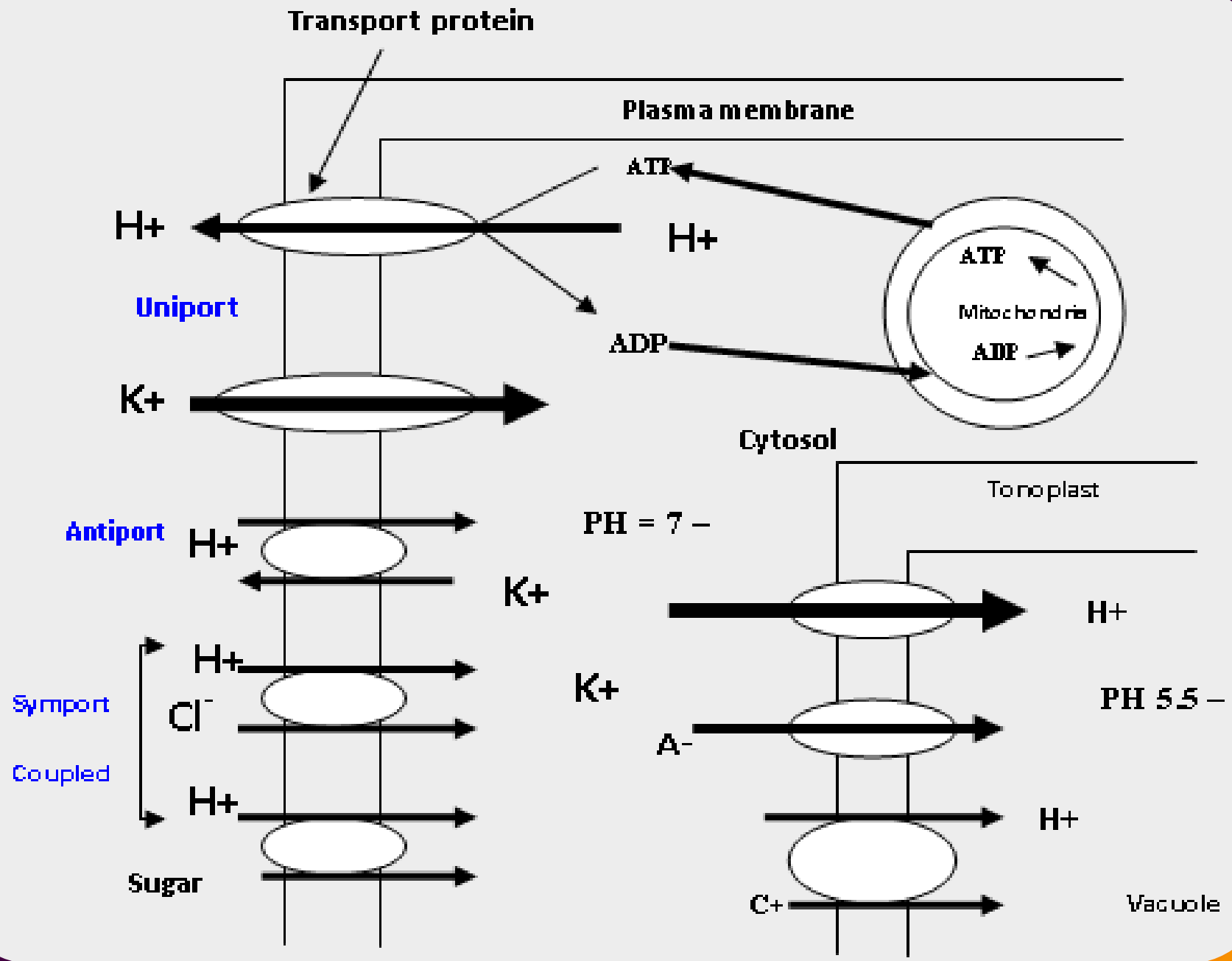


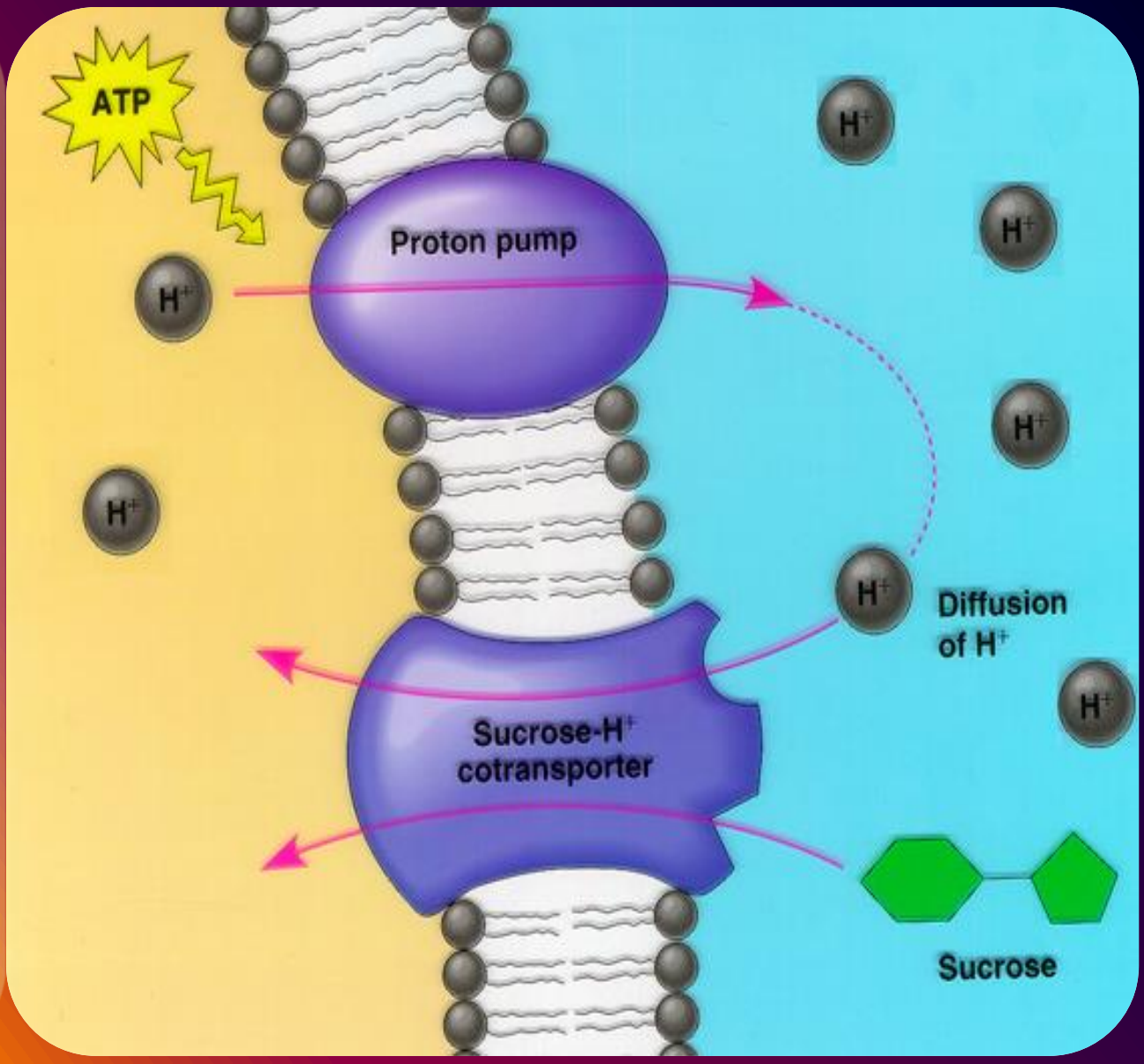
Carrier Concept

٢- مضخة الآيونات Ion pumps:

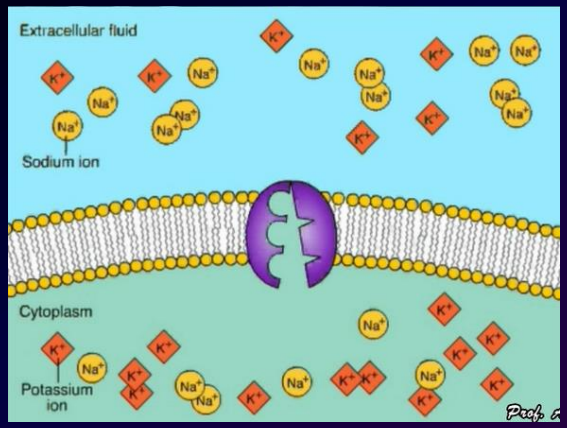
البروتينات الحاملة أو البروتينات القنوية يمكن أن يتم خلالها نقل الجزيئات أو الأيونات عبر الغشاء دون إستخدام طاقة وذلك عندما يكون تركيز هذه الأيونات أو الجزيئات على أحد جوانب الغشاء أعلى من الجانب الأخر أى أن الحركة فى هذه الحالة تكون مع التدرج في التركيز Down Concentration. لكن فى حالة حدوث العكس أى نقل الأيونات ضد تدرج التركيز Up Concentration فإن هذه العملية تستلزم تنشيط البروتينات الحاملة أو القنوات البروتينية بواسطة جزيئات ATP ووجود إنزيمات معينة مثل أنزيم الكاينيز Kinase أو الفسفوكاينيز phosphokinase بالإضافة إلى أنزيم "phosphatase".

ومضخات الأيونات (مضخات البروتون) عبارة عن بروتينات غشائية عابرة Transmembrane proteins والتى تتصرف كقنوات يتم عبرها إنتقال الأيونات المختلفة، ومعظم القنوات البروتينية تكون متخصصة جدا لواحد أو لعدد محدد من الأيونات وبالتالى فإن عملية الإمتصاص تكون غالباً محددة جداً وهذا ما يفسر عدم إمتصاص النبات لكلوريد الصوديوم رغم تواجده الكثيف في التربة بل أن النبات يطرد هذه الأيونات للخارج. وبعض القنوات البروتينية هى قنوات إختيارية أى تفتح وتغلق كاستجابة لمؤثر ما أو حسب الإحتياج الخلوى ولذلك تسمى بالقنوات البوابة أو المسيطرة على العبور Gated channels، وهناك العديد من العوامل التي تؤثر سلبياً أو إيجابياً على عملية الفتح والغلق ومن هذه العوامل الضوء والشحنات الكهربائية التى تحملها الأيونات وكذلك بعض الهرمونات.

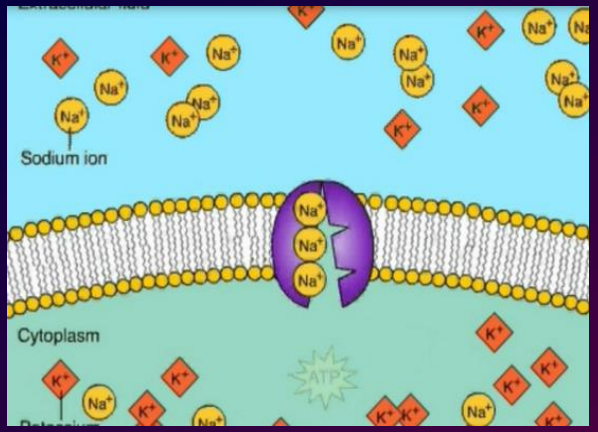

Transport protein
Plasma membrane
ATP
H+
H+
Uniport
ATP
Mitochondria
ADP
ADP
K+
Cytosol
Tonoplast
Antiport
H+
PH = 7 –
K+
H+
H+
K+
PH 5.5 –
Symport
Cl-
A-
Coupled
H+
H+
Sugar
C+
Vacuole


ATP
Proton pump
H+
H+
H+
H+
H+
H+
H+
Diffusion of H+
Sucrose-H+ cotransporter
Sucrose

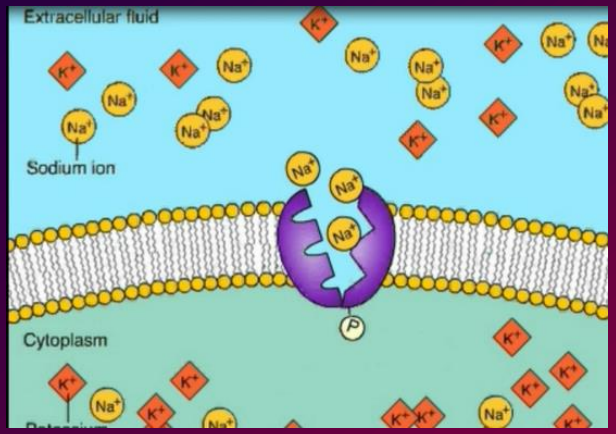
مضخة الصوديوم/ البوتاسيوم



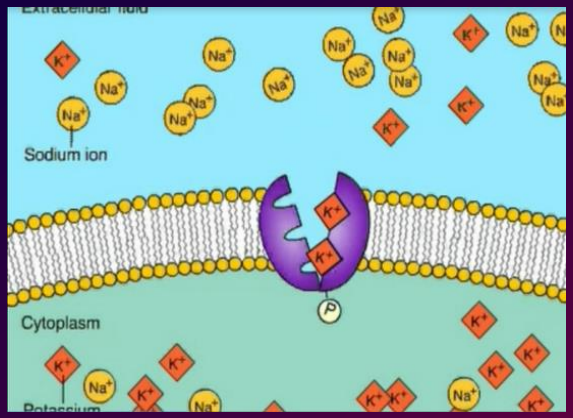
١



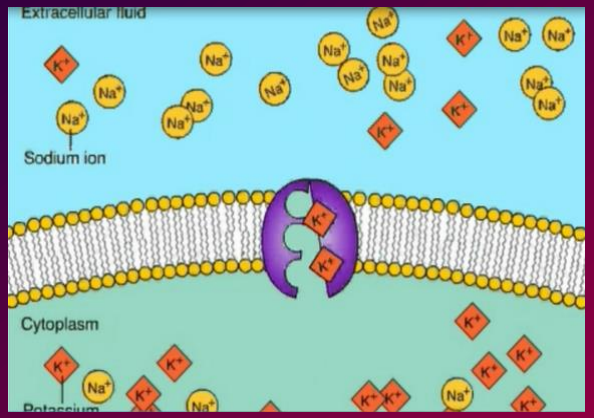
٢



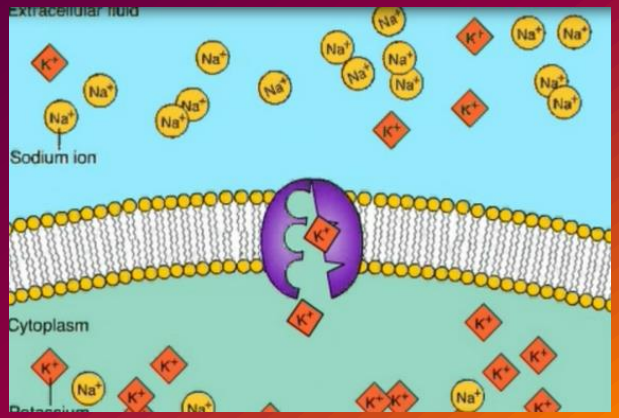
٣



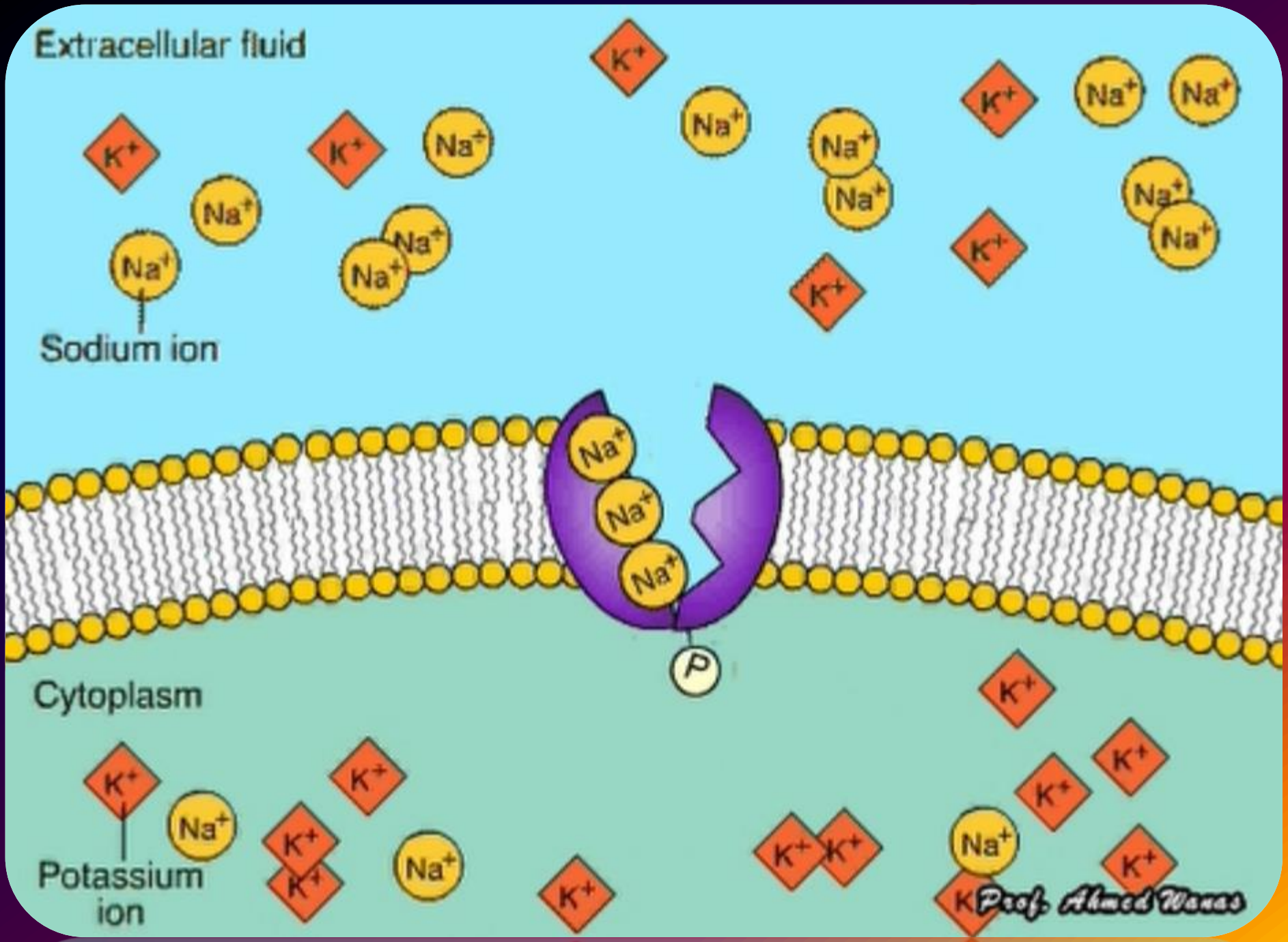
٤



٥



٦


Extracellular fluid
Sodium ion
Cytoplasm
Potassium ion
P
Prof. Ahmed Wanas