

الفصل الحادي عشر

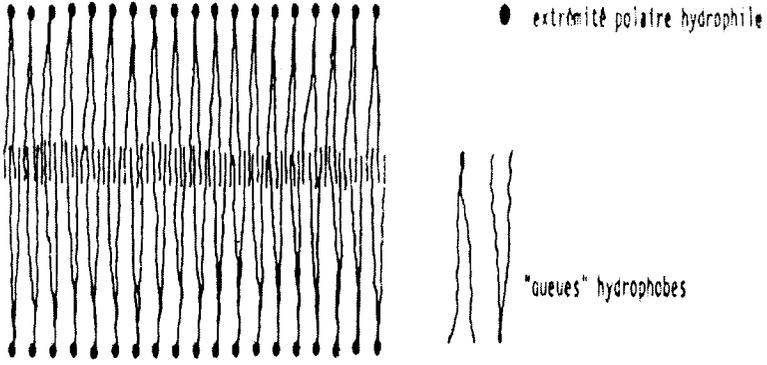
الانتقالات الغشائية

لدراسة الأغشية فائدة كبيرة سواء في مجال البحث العلمي أو في مجال التطبيقات الطبية: فيزيولوجيا، علم الأمراض، علم الأدوية.

I - بنية الأغشية:

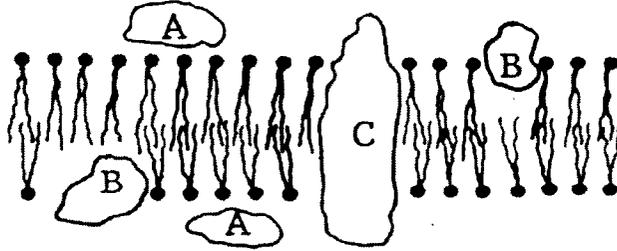
يظهر التحليل الكيميائي أن الأغشية مكونة بشكل أساسي من ليبيدات مختلفة وبروتينات أيضاً مختلفة وسكريات مرتبطة بالبروتينات أو بالليبيدات وإن الطبيعة الدقيقة لهذه المكونات المختلفة تتغير مع طبيعة الخلية.

تشكل الليبيدات الكمية الكبرى وهي تلعب دوراً أساسياً؛ لأنها المسؤولة عن البنية الغشائية، وأنها غير قابلة للإذابة في الماء وتظهر طرفاً قطبياً محباً للماء (الرأس) ممتد بطولين (أذنان) غير قطبيين كارهة للماء؛ ولهذا تكون موجهة عندما تكون على تماس مع الماء؛ لذلك منذ عدة سنوات تم وضع الفرضية التي تعتبر جزئيات الليبيدات الموجهة في الغشاء مكونة من طبقتين وحيدة الجزئيات بحيث كل جزئ من شاقولي على الغشاء يظهر رأساً نحو خارج الغشاء؛ ولهذا يكون الغشاء مكوناً من طبقة ليبيدية مزدوجة (الشكل 1).



الشكل ١

أما فيما يتعلق بالبروتينات فإن مواقعها في الغشاء تكون مختلفة حسب طبيعتها وطبيعة الغشاء (الشكل ٢).



الشكل ٢

تكون بعض البروتينات المحبة للماء (A) ملتصقة بالسطوح الخارجية لليبيدات المزدوجة الطبقة، أي إما توجد ما بين الأقطاب الليبيدية المحبة للماء وماء المحاليل الداخلية أو الخارجية للغشاء.

أما البروتينات الأخرى (B) من السطوح الكارهة للماء فتدخل إلى أعماق الغشاء منتظمة في طبقات ليبيدية ومتبادلة التأثير مع الليبيدات في مستوي الذبول الليبيدية الكارهة للماء.

بينما البروتينات (C) فتعبر الطبقتين الليبيديتين بحيث إن أحد أطرافها يتجاوز أحد جوانب الغشاء بينما الطرف الآخر فيتجاوز الجانب الآخر للغشاء.

ينتج مما سبق أن للأغشية بنية منتظمة وهي وجهة النظر الفيزيائية تذكير لبنية بلورية صلبة، لكن هناك عدة خواص تظهر أن الطبقة الليبيدية المزدوجة متحركة جداً وأن الليبيدات التي تكونها هي عند درجة حرارة الكائن الحي في الحالة المذابة أي السائلة.

إن هذه الخواص السائلية والبلورية تجعل الأغشية تسلك سلوك البلورات السائلية (المعروفة بشكل جيد في الفيزياء والصناعة) مكونة ما ندعوه بالفسيفساء المائع (تسبح البروتينات في بحر ليبيدي) وإن الجزيئات المختلفة ولا سيما الطبية تؤثر في المستوي الخلوي مغيرة الأشكال وخاصة ليبيدات الأغشية.

في بعض الحالات فإن جزيئة واحدة كافية لتسبب بتغيرات خلوية هامة مما يجعلنا نستنتج أن الغشاء الخلوي الحساس يملك خواصاً تضخيمية.

II - الانتقالات الانفعالية:

تبين التجربة أن الأغشية الحية تسلك سلوك أغشية حاملة وهذا يعني أنها نفوذة لبعض الجسيمات وغير نفوذة لجسيمات أخرى بالنسبة لجزيئات (معتدلة كهربائياً) مذاب قابل للانتشار، يحدث الانتقال داخل المذيب بفرق الكمون الكيميائي أي باختلاف تركيز المذاب المعني على طرفي الغشاء. وإن المذاب ينتقل من المحلول ذي التركيز المرتفع إلى المحلول ذي التركيز المنخفض، وإن سرعة الانتشار تزداد بازدياد فرق التركيز. ويتم انتشار كل مذاب حسب تدرج تركيزه الخاص مستقلاً عن وجود أي مذاب آخر.

أما من أجل الشوارد (المشحونة كهربائياً) القابلة للانتشار، يحدث الانتقال داخل المذيب بفرق الكمون الكهربائي للشاردة المعنية على طرفي الغشاء.

وللحفاظ على التعادل الكهربائي لكل محلول يجب أن يترافق انتشار الشوارد بإشارة محددة، بانتشار شوارد بإشارة معاكسة في نفس الاتجاه، أو بشوارد لها نفس الإشارة ولكن باتجاه معاكس. وإن انتشار الشوارد بحركات مختلفة يتسبب بوجود كمونات كهربائية انتشارية.

أما فيما يتعلق بالمذيب وهذا يعني السائل القابل للانتشار واجتياز الغشاء كما يعني أيضاً الماء والجسيمات القابلة للانتشار والمنحلة فيه. نرى بأن الانتقال الغشائي يحدث:

باختلاف الضغوط التنافذية العائدة إلى الجسيمات اللامنتشرة (أو التي تسلك سلوكاً وكأنها غير قابلة للانتشار) من طرفي الغشاء وإن التدفق السائلي يحدث من المحلول الحاوي على جسيمات غير قابلة للانتشار وذات اسمولاليتيه (Smolalite) ضعيفة إلى المحلول الذي يحوي على جسيمات غير قابلة للانتشار وذات اسمولاليتيه قوية.

ومن جهة أخرى فإن اختلاف ضغط المحاليل على طرفي الغشاء يتسبب بانتقال (حمل) الماء والمذابات القابلة للانتشار من المحلول ذي الضغط المرتفع إلى المحلول ذي الضغط المنخفض.

• ويجب الملاحظة أن:

- انتقال الجزيئات أو الشوارد القابلة للانتشار يمكن أن يتم داخل المذيب أو يقوم بنقلها أو بالاثنين معاً.

- عند تطبيق القوانين الفيزيائية لا نهتم بطريقة انتقال الجسيمات داخل البنية الغشائية.

- حدوث عدة ظواهر معاً بسرعات مختلفة.

لنأخذ مثلاً تجريبياً باستخدام غشاء حامل:

نضع في مقياس الانتشار عبر الأغشية ومن طرفي الغشاء النفوذ جِداً للماء والنفوذ قليلاً للسكر. من الطرف A محلول السكر ومن الطرف B الماء النقي. نلاحظ إنه إذا مر الماء من B نحو A فإنه سيتبع ذلك انتقال للمحلول من A نحو B وهذا ما ندعوه أحياناً (بالتنافذ الداخلي والتنافذ الخارجي). وأن هذه التجربة ما هي إلا نتيجة لثلاث ظواهر عنصرية:

- تنافذ وبالتالي انتقال الماء النقي من المحلول B الضعيف الاسمولاليتيه إلى المحلول A الكبير الاسمولاليتيه.

- انتشار السكر من المحلول A ذي التركيز العالي إلى المحلول B ذي التركيز الضعيف.

- حمل (انتقال) من المحلول (ماء وسكر) تحت تأثير اختلاف الضغط.

١- في البداية: تكون الضغوط الميكانيكية التي يخضع لها المحلولان متساوية: والحمل معدوم. وبالتالي فالتنافذ من B نحو A كبير لأن الماء ذو قابلية انتشارية كبيرة وإن اختلاف الاسمولاليتة للمحلولين كبير وإن الحمل لا يتعاكس مع التنافذ. أما انتشار السكر من A نحو B فصغير جداً لأن السكر قليل الانتشار واجتياز هذا الغشاء، وأن الظاهرة المرجحة والوحيدة المرئية بالعين المجردة هي التنافذ، لهذا نلاحظ مرور الماء من B نحو A.

٢- لاحقاً: يرتفع السائل في أنبوب مقياس الانتشار عبر الأغشية فيزداد ضغط المحلول مقوياً بذلك الحمل المعاكس للتنافذ مما يؤدي إلى انخفاض تدفق الماء من B نحو A، أما السكر فيتابع انتشاره البطيء بشكل غير ملحوظ.

٣- يستمر الحمل بالتزايد معاكساً التنافذ الذي يميل للتناقص حتى يحصل التوازن الظاهري، وعندها يمكننا تعيين الضغط التنافذي للمحلول بقياس فرق الضغط الميكانيكي. أما انتشار السكر فيستمر ببطء دون أن يحدث ظواهر يمكن إدراكها.

٤- يستمر انتشار السكر دائماً ببطء، لكنه لا يكون محجوباً بالتنافذ السريع، ويكون مرئياً. وبما أن اسمولاليتة A تنخفض وبالتالي ينخفض ضغطه التنافذي مما يجعل الحمل أكبر من التنافذ وبالتالي يتحرك السائل ببطء من A إلى B.

III - الانتقالات السهلة:

تبين التجربة أن الجسيمات تتحرك داخل الأغشية الحية وفق اتجاه متوقع بقوانين الانتشار المنفعل. فهو وفق اتجاه الكمونات الكيميائية المتناقصة بالنسبة للجزيئات أو كمونات كهرا كيميائية متناقصة بالنسبة للشوارد بصفات لا توافق الانتشار المنفعل خاصة وإن:

سرعة انتشار المذاب أكبر من السرعة المحسوبة آخذين بعين الاعتبار شكله الهندسي وشحنته الكهربائية وانحلاليته داخل الغشاء.

عندما يزداد فرق التركيز ما بين طرفي الغشاء فإن تدفق الانتشار لا يزداد خطياً بل يميل إلى التسطح.

وإن انتشار نوع من الجسيمات يمكن أن يكون متغيراً وغالباً ما يكون معدوماً بوجود جسيمات أخرى أو بتغيرات الحقل الكهربائي الموجود داخل الغشاء، وإن نوعية الانتشار لا تعود إلى تأثير المرشح وهذا يعني أن الجسيمات التي حجمها صغير وقابلية انحلالها الكبيرة في الغشاء لا تنتشر دائماً بشكل أفضل من الجسيمات الأكبر حجماً والأقل انحلالاً. وإنه توجد تأثيرات متبادلة ما بين جسيمات المذاب وجسيمات الغشاء تحدث بفضل وجود نواقل أو أفضية في الغشاء؛ لهذا تسمى ظاهرة الانتشار بالانتشار السهل. وإنه مهما كان نوع الانتشار السهل فإنه يحدث دائماً وفق نفس اتجاه الانتشار البسيط ومن ثم ينعدم عندما يكون تدرج الكمون الكيميائي (إذاً التركيز) للجزيئات أو الكمون الكهربائي للشوارد معدوماً. وهو ذاتي أي إنه يحدث دون إسهام طاقة خارجية، حيث إن الطاقة المقدمة بفرق الكمون الكيميائي أو الكهربائي تسمح بالتغلب على معوقات الانتشار.

1 - الانتشار السهل بالنواقل

والمبدأ العام هو التالي: غالباً ما يكون البروتين الغشائي هو الناقل فهو يتعرف على المذاب في أحد أوجه الغشاء، ثم يقوم بتثبيته في أحد مواقعه وبعد ذلك يقوم بنقله إلى الوجه الآخر للغشاء ثم يحرره.

لقد تم وضع عدة فرضيات حول طريقة تنفيذ هذا النقل.

- تحرك الناقل من طرف الغشاء إلى طرفه الآخر يشبه ناقلة متحركة بالمسافرين تجعلهم يجتازون نهراً (في اتجاه وحيد).

- دوران جزيء الناقل حول نفسه كما هو الحال بالنسبة لباب الدخول الدوار في بعض الفنادق.

وأخيراً نشير إلى الفرضية الأكثر احتمالاً حالياً وهي: أن جزيء الناقل هو عبارة عن غشاء ناقل ونسبياً ساكناً، فهو يلتقط المذاب في أحد أطرافه (أي في أحد أطراف الغشاء) ثم يتركه في الطرف الآخر (أي في الطرف الآخر للغشاء) وبمعنى آخر فإن الجزيء الكبير الناقل يسلك سلوك محفظة عبور يتم نقل المذاب بها.

٢ - الانتشار السهل بالأقنية:

لا تسمح النواقل بشرح بعض ظواهر الانتشار وخاصة الشاردية. لأنها تبدي مواقع للتثبيت في طرف واحد من الغشاء، ومن جهة أخرى فإن تغيراتها البنيوية عند انتشار جسيم يحد من تدفقه وبالتالي لا يسمح ذلك بشرح بعض التدفقات التجريبية؛ ولهذا تم وضع فرضية وجود أقنية في الأغشية وبدقة أكثر بروتينات أقنية تتدخل بشكل أساسي في الانتشار الشاردي (أقنية شاردية).

إن هذه الأقنية التي لا نعرف تماماً بنيتها (نوع أنزيم متجه يلعب دور وسيط في نقل الشاردة) والتي يجب عدم اعتبارها حجوماً بسيطة غير مشغولة بالبروتينات، وليبيدات الغشاء تمتلك الخواص التالية:

لكل قناة موقع تثبيت على كل طرف من الغشاء وإنه توجد أقنية للشوارد K^+ واقنية للشوارد Na^+ وأقنية لشوارد H^+ وأقنية لشوارد Ca^{++} نفوذيتها متغيرة

بتغيرات الحقل الكهربائي الخاضعة له، أي بتغيرات d.d.P الكهربائي للغشاء أو بوجود شوارد أخرى أو جزيئات، وإنه بموجب الشروط الخاصة بقيمة الكمون الكهربائي للغشاء يمكن أن تكون مفتوحة (نفوذة للشوارد) أو مغلقة (لا تسمح بمرور الشوارد).

IV – الانتقالات الفعالة:

١ – مكان المشكلة:

من المعروف أنه في كل خلية يوجد توزيع شاردي غير متساو ما بين داخل وخارج الخلية.

فتركيز الشاردة K^+ داخل الخلية أكبر مما هو عليه خارجها، مثلاً بالنسبة للكريات الحمراء في المصل يكون:

$$[K^+]_{int} \approx 150m \quad mol/l$$

$$[K^+]_{ext} \approx 4,5m \quad mol/l$$

وبالعكس فإن الشاردة Na^+ تكون بشكل أساسي خارج الخلية (وسط بيني أو مصل)، مثلاً بالنسبة للكريات الحمراء في المصل يكون:

$$[Na^+]_{int} \approx 12m \quad mol/l$$

$$[Na^+]_{ext} \approx 140m \quad mol/l$$

كما أن تركيز Cl^- خارج الخلية يكون أكبر من تركيزها داخل الخلية؛ ولهذا يوجد فرق في الكمون الكهربائي ما بين وجهي الغشاء:

فمن أجل الخلايا غير المهيجة والخلايا المهيجة الساكنة يعتبر داخل الخلية قطباً سالباً لفرق الكمون الكهربائي هذا:

$$V_{int} - V_{ext} < 0$$

تكون القيمة المطلقة لفرق الكمون هذا $d.d.P$ صغيرة بالنسبة للعناصر غير المهيجة ($-10mv$ تقريباً للكريات الحمراء) وكبيرة بالنسبة للعناصر المهيجة (من مرتبة $-90mv$ للخلايا العصبية، $-50mv$ للخلايا العضلية) أي أن الغشاء الخلوي مستقطب كهربائياً.

ولحظة التهيج (للعناصر القابلة للتهيج) ينعكس استقطاب الغشاء، وهذا يعني أن الداخل يصبح موجباً بالنسبة للخارج:

$$V_{int} - V_{ext} > 0$$

نقول خلافاً للأصول أنه أثناء التهيج أو التنشيط، يوجد إزالة لاستقطاب الغشاء (لكن في الحقيقة يوجد استقطاب في اتجاه معاكس). وإن العودة إلى حالة السكون يسمى إعادة استقطاب أو إزالة التهيج أو إزالة التنشيط.

٢ - تفسير عدم المساواة للتوزيع الشاردي.

خلال سنوات عديدة، تمت المحاولة لشرح اختلاف تركيز K^+ , Cl^- (التي تعرف بأنها قابلة للانتشار) بالاستناد إلى الظاهرة الفيزيائية الوحيدة المعروفة بإحداث عدم مساواة للتركيز بين طرفي الغشاء الحامل (توازن دونان) وبالفعل فإن تركيز K^+ هو الأكبر وتركيز Cl^- هو الأقل. وذلك داخل الخلية التي يكون فيها تركيز الشوارد الكبيرة البروتينية الغير قابلة للانتشار أكبر من تركيزها في الخارج، من جهة أخرى

فإن الاختلافات ما بين كمون الغشاء المقاس وكمونات التوازن لكل من K^+ و Cl^- يمكن أن تنسب إلى أخطاء القياس.

فيما يخص الصوديوم فالمشكلة محلولة راضين بأنه غير قابل للانتشار عبر الأغشية الخلوية.

حالياً وبفضل مؤشرات إشعاعية تم التوصل إلى أن الأغشية الخلوية نفوذة لشاردة Na^+ (بطريقة ضعيفة ولكن غير معدومة) لقد اُهمرت فرضية دونان لأنه من المستحيل شرح عدم مساواة التراكيز الشاردية بالقوانين التقليدية للظواهر المنفصلة.

وبالفعل كون الغشاء نفوذ للشاردة Na^+ تحت التأثيرات المترافقة لتدرج الكمون الكيميائي ($[Na^+]_{ext} > [Na^+]_{int}$) وتدرج الكمون الكهربائي ($V_{int} < V_{ext}$) فإن Na^+ سوف تتحرك عنوة انفعالياً من الخارج إلى داخل الخلية، أي إن Na^+ تدخل انفعالياً إلى الخلية.

ولكن بما أن هذا التدفق الداخل هو مستمر وأن تركيز Na^+ يبقى ثابتاً بتابعية الزمن داخل الخلية، فهذا يدل على وجود تدفق خارج من Na^+ الذي يحدث معاكساً لتدرجات الكمون الكهربائي والكمون الكيميائي وهي ظاهرة فعالة تتطلب الطاقة التي يؤمنها A.T.P. وإنه بالرغم من نقص المعرفة بآليته، نطلق عليه اسم مضخة الصوديوم. ونفس الشيء بالنسبة لشاردة K^+ فإن الظاهرة الفعالة (مضخة البوتاسيوم) تدخل بفعالية K^+ إلى داخل الخلية ويخرج منها باستمرار منفصلاً.

والنتيجة النهائية للتوازن ما بين الظواهر الفعالة والمنفصلة هو أن تراكيز Na^+ و K^+ داخل الخلية يبقى ثابتاً وأن ما يحدث هو كما لو كان الغشاء غير نفوذ للشوارد.

من الواضح أن كلمة مضخة ما هي إلا تصور مجازي لمُدلول طاقي وحيد، المضخة الميكانيكية هي بالفعل جهاز يحمل الطاقة إلى السائل الذي يجتازه، حيث تظهر هذه الزيادة في الطاقة إما بارتفاع السائل في الخزان، أو بزيادة ضغط السائل (دور القلب بالنسبة للدم مثلاً) وبالتالي فالسائل الذي ازدادت طاقته يستطيع الانسياب الانفعالي في الأوعية (دم في الأوعية الدموية مثلاً) ونفس الشيء بالنسبة للشوارد التي تجتاز الأغشية حيث إن التفاعلات الكيميائية المسماة مضخات تزيد طاقة الشوارد فتجعلها تتحرك وفق اتجاه يحدث زيادة في كمونها الكيميائي وبالتالي زيادة في كمونها. وإن الشوارد تنتشر انفعالياً تحت تأثير تدرج الكمون الكيميائي المتولد فتجتاز الغشاء وفق اتجاه التراكيز المتناقصة، أي وفق اتجاه معاكس للاتجاه الذي أحدثته المضخة.

فالمضخات تحدث عدم المساواة في تراكيز Na^+ و K^+ بالرغم من الانتشارات الانفعالية التي تسعى لإحداث المساواة في التراكيز.

في حالة Na^+ و K^+ فإن حلمة A.T.P داخل الخلايا يؤمن الطاقة الضرورية لإدخال K^+ في الخلية وإخراج Na^+ منها، وإن هذين الانتقالين يحدثان معاً بشكل إجباري، لهذا نقول بأن مضخات Na^+ و K^+ متزاوجة وإن أنزيم الغشاء الذي يسمح بحلمة A.T.P يسمى في هذه الحالة (Na^+/K^+ ase A.T.P) وهو عبارة عن بروتين بنيتة غير معروفة بشكل كامل وإنه دائماً في حالة المضخات المزوجة Na^+/K^+ ، تتيح

قيمة الازدواج بأعمال عديدة، حيث نشير بهذا الحد إلى نسبة الشوارد Na^+ التي تخرج بفعالية إلى شوارد K^+ الداخلة بفعالية خلال نفس الزمن وإنه خلال مدة طويلة تم الاعتقاد بأن هذا التزاوج هو 1/1 (1K^+ يدخل مقابل 1Na^+ يخرج) أما حالياً فقيمة هذا التزاوج هي 3/2 (3Na^+ من أجل 2K^+).

كما يوجد في الأغشية الحية انتقالات فعالة من Ca^{++} (A.T.P. ase Ca^{++}) مسؤولة عن عدم مساواة تركيز Ca^{++} (تقريباً 0,1 m mol/l داخل الخلايا وتقريباً 1m mol/l في الخارج)، وانتقالات فعالة للبروتينات (A.T.P. ase H^+) وانتقالات فعالة مزدوجة من H^+ و K^+ (A.T.P. ase H^+/K^+) أما بالنسبة للشوارد (Cl^- , HCO_3^-) فلا يوجد انتقالات فعالة وأن عدم مساواة تراكيزها ينسب إلى فرق الكمون الكهربائي الغشائي.

هذا ويمكن أن تنخفض الانتقالات الفعالة وأحياناً تنعدم بتأثير عوامل مختلفة كإخفاض درجة الحرارة أقل من 37°C (إلى 4°C درجة حرارة البراد) ووجود بعض الجزئيات خارج الخلية.

ففي جميع هذه الحالات تتابع الانتقالات الانفعالية التي يتبعها في حالة الدم تغلغل Na^+ داخل الخلايا الحمراء وخروج K^+ من الخلايا الحمراء نحو المصل مما يؤدي ذلك إلى زيادة تركيز K^+ في المصل (زيادة في بوتاسيوم الدم).

يظهر الدم المتروك عدة ساعات في براد دون فصل مسبق لكريات المصل (نبذ) زيادة خاطئة للكالسيوم مصدرها خطأ في تشخيص المرض.

في بعض الاضطرابات المرضية النادرة تنخفض مضخات Na^+/K^+ التي تكون في الشروط المثالية، وهذا يعني داخل الكائن الحي، كافية لتعديل تدفقات الانتشار وبالتالي فإن بوتاسيوم الدم داخل الكائن الحي طبيعياً، لكن إذا بقي دم هذه الأفراد في درجة حرارة الوسط (من مرتبة 20°C) خلال عدة ساعات دون فصل كريات المصل (يحدث ما بين لحظة أخذ الدم ولحظة التحليل لدم طبيعي) فإن انتشار K^+ من الكريات الحمراء نحو المصل يتسبب بزيادة خاصة للبوتاسيوم (خطأ لأنها لا توجد في الكائن الحي).

مسائل غير محلولة

- يوجد على طرفي غشاء فصل حجرتين A و B خاضعتين لنفس الضغط الثابت، وعند لحظة ما كانت ميزات الحجرتين كما يلي:

	حجم (ل)	Cl ⁻ (m mol/l)	Na ⁺ (m mol/l)	دكستران (m mol/l)
A	1	100	100	1
B	1	100	100	2

اشرح كيف ستكون الميزات عندما يتحقق التوازن.
- نفس السؤال السابق لكن بالميزات الأولية التالية:

	حجم (ل)	Cl ⁻ (m mol/l)	Na ⁺ (m mol/l)	دكستران (m mol/l)
A	1	100	100	2
B	2	25	25	2

- نفس السؤال السابق لكن بالميزات الأولية التالية:

	حجم (ل)	Cl ⁻ (m mol/l)	Na ⁺ (m mol/l)	دكستران (m mol/l)
A	١	٥٠	٥٠	١
B	١	١٠٠	١٥٠	٢

— نفس السؤال السابق لكن بالميزات الأولية التالية:

	حجم (ل)	Cl ⁻ (m mol/l)	Na ⁺ (m mol/l)	دكستران (m mol/l)
A	1	٢٥	٢٥	١
B	١	١٢٥	١٢٥	٢

المراجع العربية

- د. الحلبي محمد بسام، 1993 — أمراض القلب والأوعية، دمشق.
- د. الحامض منير، د. زعروري طارق، د. قرم عبد الغني، 1991 الفيزياء الطبية (2)، جامعة حلب.
- د. أبو حامد حسين، 1982 — الفيزياء الحيوية، جامعة دمشق.
- د. بدور علي، 1989 — الفيزياء الطبية، جامعة تشرين.
- د. بازرباشي محمد بديع، 1986 — الوجيه في أمراض الدم، جامعة حلب.
- د. حريري عبد القادر، د. كردية أحمد، د. قرم عبد الغني، د. مهروسة أحمد، 1991 — الفيزياء العامة (1)، جامعة حلب.
- د. شريف ابراهيم ابراهيم، 1972 — خواص المادة والصوت، جامعة الإسكندرية.
- د. طرايشي سهام، 1995 — الفيزياء الطبية، جامعة دمشق.
- د. قرم عبد الغني، د. أباطة سهيل، د. حسين فياض، 1992 — الفيزياء الطبية (1)، جامعة حلب.
- 10 - مجموعة من أعضاء الهيئة التدريسية، 1991 — الأعراض والتشخيص، جامعة دمشق.
- 11 - د. مصطفى عدنان، 1988 — الفيزياء العامة (1)، جامعة دمشق.

المراجع الأجنبية

- 1- ATLANI. R, 1988, ce qu' il faut Savoir en physique, Boulogne.
- 2- BEISER. A, 1985, Physique applique'e, Paris.
- 3- BRUHAT. M, 1942, Optique, Paris
- 4- CAMERON. J.R, Skofronick. J. G, 1978, Medical physics, New York.
- 5- DEGURSE. A.M, GOZARD. F, soulie'. L, 1989, Physique terminale D, Paris.
- 6- DAMASK. A.C, SWENBERG. C. E, 1984, Medical physics, Volume III, New York
- 7- DAMASK. A. C, 1981, Medical physics, Volume II, New York.
- 8- DAVID. R, HENRY. F, 1981, Biophysique 2, Paris.
- 9- DAVID. R, 1979, Biophysique 1, Paris.
- 10- DAMASK. A. C, 1978, Medical physics, Volume I, New York.
- 11- DUTREIX. J, DESGREZ. A, BOK. B, CHEVALIER. C, 1973, Physique et Bio Physique, Paris.
- 12- HECHT. E, 1985, optique, Paris.
- 13- LLORY. J, CALLIS. A, MATHIEU. J. C, 1987, Biophysique Medicale, Tome II, MONTPELLIER.
- 14- LLORY. J, 1986, Biophysique Medicale, Tome I, MONTPELLIER.
- 15- MAURY. J. p, 1970, Phe'nome'nes Vibratoires, Paris.

المصطلحات العلمية

فرنسي — عربي

- A -

Azotobacterie	بكتريا آزوتية
Actif	فعال
Agitation	تهيج
Amorphe	عدم الشكل
Apposition	تقابل
Asymetrie	غير متناظر
Axes	محاور
Abdomen	بطن
Abdominal	باطني
Apex	ذروة
Analyseur	محلل
Amplitude	سعة
Accommodation	مطابقة
Air	هواء
Ascension capillaire	صعود شعري
Adsorption	ادمصاص
Alveoles pulmonaires	حويصلات رئوية

- B -

Bacteries	بكتريا
Biconvexe	محدبة الوجهين
Biconcave	مقعرة الوجهين

- C -

Cochle'e	قوقعة
Cable	حبل
Centre	مركز
Cholesterol	كوليسترول
Couche	طبقة
Cosmique	كوني
Cohe'rente	ترابط
Coefficient	معامل
Capillaire	شعري
Condensation	تكثيف
Conge'lacion	تجمد

- D -

Diffraction	انعراج
Diopetrie	كسيرة
Diffusion	انتشار
Diopre plan	كاسر مستوى

-spherique	كاسر كروي
Distance focal	البعد المحرقى
Divergence	تباعد
Dilatation	تمدد، اتساع
Debit	تدفق
Dimension	بعد
Densite'	كثافة

- E -

Epais	سميك
Etrier	ركاب
Encephale	مخ
Escargot	حلزون
Endolymph	لمف باطنى
Elastique	مرن
Ebullition	غليان
Energie superficielle	طاقة سطحية
Equilibre	توازن
Emulsion	استحلاب
Etalement	بسط
Embolie gazeuse	سدادة غازية
Erythrocytes	كريات حمراء

- F -

Fente	شق
Fibre	ليف
Facteur	عامل
Fluide	مائع
Fusion des gouttes	اندماج القطرات
- desbulles	اندماج الفقاعات
Film	طبقة
Fenetre ronde	نافذة مدورة
Fusion	انصهار

- G -

Gel	هلام
Grandeur	مقدار
Gastro in testinale	الجوف المعوي
Glucose	سكر

- H -

Hydrophile	محب للماء
Hydrophobe	كاره للماء
Helicotre'me	ثقب القوقعة
Hydratation	إمالة
Hypertonique	مفرط التوتر

Hypotonique	منخفض التوتر
Hyper metropie	بعد النظر
Hydrostatique	سكوبي

- I -

Isotonique	مزيج متوازن
Incompressible	غير قابل للانضغاط
Incoagulable	غير متخثر
Interpretation	تفسير
Inspiration	شهيق
Incus	سندان
Infra rouge	تحت الحمراء
Image	صورة
Interference	تداخل

- L -

Lamillaire	صفائحي
Lencocytes	كريات بيضاء
Longeure	طول
Liquide	سائل
Lumiere	ضوء
Lentille	عدسة
Libre	حر

- M -

Microparticule	جسيم مجهري
Mode'le	نموذج
Micelles	فتيات
Macromolecule	جزء كبير
Mouillabilite'	تبلل
Miscible	قابل للمزج
Manome'rte	مانومتر
Masse volumique	كتلة حجمية
Menbrane	غشاء
Marteau	مطرقة
Mecanisme	آلية
Microscope electronique	مجهر الكتروني
Mobilite'	حركية
Mosaique	فسيفساء
Milieu	وسط
Me'nisque	(هلالى) مقعر — محدب
Mince	رقيق
Mirage	سراب
Myope	قصر النظر
Miroire	مرآة

Proteine	بروتين
pre'paration	تحضير
Proprie'te's	خواص
Passif	منفعل (عفوي)
Phase	طور
Phenomene superficielle	ظاهرة سطحية
Pression	ضغط
Perilympa	اللمف المحيطي
Percutane'	خلال الجلد
Permeabilite'	نفوذية
Piezo-electrique	الكهر انضغاطية
Pole	قطب
Poreuse	مسامي
Polarisation	استقطاب
Polaroide	مستقطب
Polariseur	مقطب
Prisme	موشور
Punctum remotum	نقطة المدى
Punctum proximum	نقطة الكتب
Pouvoir separation de l'oeil	القوة الفاصلة للعين
Presbytie	قدح

- R -

Relation	علاقة
Regime permanent	نظام مستمر
Rayon X	أشعة X
Reflection	انعكاس
Refraction	انكسار

- S -

Suspension	معلق
Solvent	مذيب
Solution	محلول
Symetrique	متناظر
Section	مقطع
Surface	سطح
Solute'	مذاب
Se'dimentation	تثفل
Surfactant	خافض للتوتر السطحي
Symptomatique desdyspepsies	عسر الهضم
Surpression	ضغط زائد
Solide	صلب
Saturation	إشباع
Structure	بنية

Stigmatisme	نقطية
Source	منبع

- T -

The'ore'me	نظرية
Turbulent	مضطرب
Tension interfaciale	توتر بيني
Teinture	صباغ
Toxique	سام
Temps	زمن
Tempe'rature	درجة حرارة
Tympan	طبلة الأذن
Tromped'Eustache	نفير أوستاش
The'rapie	معالجة
Tube	أنبوب
Transducteur	محول الطاقة

- U -

Unite'	واحدة
Ure'e	بولة
Uniforme	منتظم
Ultra-Filtration	ترشيح دقيق
Ultra-violet	فوق البنفسجي

- V -

Viscosité	لزوجة
Vitesse de phase	السرعة الطورية
Vitesse de groupe	السرعة المجموعية
Vide	فراغ
Valeur	قيمة