



Dr. Raad
A.
Alawajji

الفيزياء الحيوية Biophysics-PHY 110

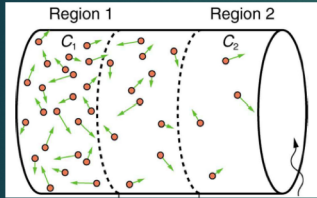
2025

Dr. Raad
A.
Alawajji

الفصل الثالث الظاهرة التناضحية Osmosity Phenomena

3.1.1 الانتشار Diffusion

الانتشار هو حركة المواد بسبب الحركة الجزيئية الحرارية العشوائية. فالانتشار هو عملية بطيئة تحدث على مسافات عيانية.



يمكن ان نعبر عن متوسط او معدل المسافة (x_{rms}) لانتقال الجزيئة والذي يتناسب مع الجذر التربيعي للزمن (t) وثابت الانتشار (D) حسب العلاقة :

$$x_{rms} = \sqrt{2Dt}$$

(مثال) احسب متوسط الزمن الذي يستغرقه جزيء الجلوكوز (*glucose*) ليتحرك مسافة (1cm) في الماء. ثابت انتشار الجلوكوز $6.7 \times 10^{-10} m^2/s$

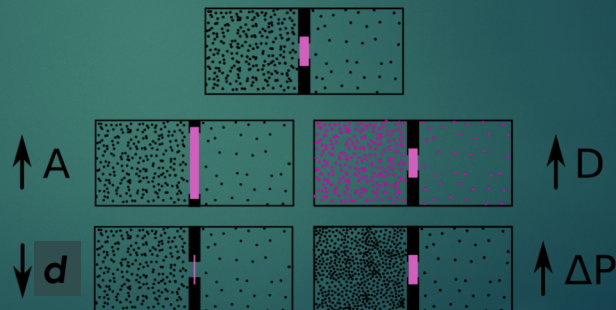
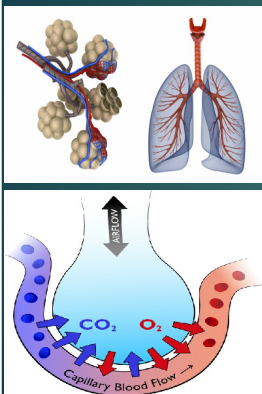
$$t = \frac{x_{rms}^2}{2D} = \frac{(0.01 m)^2}{2(6.7 \times 10^{-10} m^2/s)} = 7.5 \times 10^4 s = 21 h$$

Diffusing molecule	Medium	$D (m^2/s)$
Hydrogen (H_2)	Air	6.4×10^{-5}
Oxygen (O_2)	Air	1.8×10^{-5}
Oxygen (O_2)	Water	1.0×10^{-9}
Glucose ($C_6H_{12}O_6$)	Water	6.7×10^{-10}
Hemoglobin	Water	6.9×10^{-11}
DNA	Water	1.3×10^{-12}

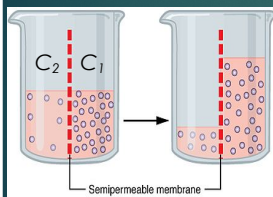
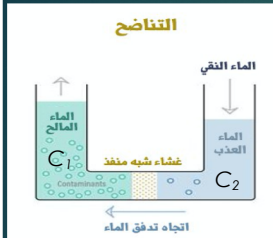
معدل الانتشار (*rate of diffusion*) يمكن حسابه باستخدام قانون فيك (*Fick's Law*) في الحالات البيولوجية لانتشار الغاز عبر الغشاء حسب العلاقة التالية :-

$$\text{rate of diffusion} = \frac{A \cdot D}{d} (P_1 - P_2)$$

(P) الضغط الجزئي للغاز في أحد طرفي الغشاء،
(d) سمك الغشاء، (A) المساحة السطحية للغشاء،
(D) ثابت الانتشار



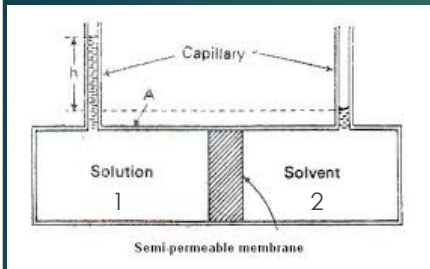
3.1.2 التناضح (التنافذ) Osmosis



- لتعتبر جزئين (1,2) سطحهما الاقعيان كبيران مفصولين بغشاء نصف نفوذ.
- نضع في الجزء الأول محلول اسمولاريتته (C_1) وفي الجزء الثاني الماء النقي
- حجم المحلول يزداد بينما حجم المذيب (الماء النقي) يتناقص.
- تتوقف الظاهرة عندما يختفي الماء كلياً من الجزء الثاني.

- في الحالة الثانية إذا اخذنا نفس الترتيب ووضعنا في الجزء (2) محلول اسمولاريتته (C_2) $(C_1 > C_2)$ فترى بان الحجم في الجزء (1) يزداد بينما يتناقص الحجم في الجزء (2) ويتم التوازن عندما تكون ($C_1 = C_2$).
- في الحالتين يحصل انتقال للماء مجتازا الغشاء من الوسط ذو (الاسمولاريتته الضعيفة) نحو الوسط ذو (الاسمولاريتته القوية) بحيث يتم تساوي الاسمولاريتته.
- يسمى انتقال المذيب فقط بالتناضح (Osmosis) وهو يعود الى فرق الجهد الكيميائي للمذيب على طرفي الغشاء. بينما يسمى انتقال الجزيئات الأخرى خلال الغشاء نصف نفوذ نتيجة الاختلاف بالتركيز ب (Dialysis)

3.2 الضغط التناضحي Osmotic Pressure



$$P_1 - P_2 = h\rho g = P$$

- إذا أعدنا التجربة الأولى بحيث يكون سطح الجزء الأول ضعيفا ومغلقاً بأنبوب شفاف عمودي نصف قطره صغير.
- عندما يبدأ المذيب بالدخول الى المحلول، بالتناضح، يرتفع المحلول في الأنبوب وبالتالي يرتفع ضغطه الخاص.
- وعندما يصل المحلول الى الارتفاع (h) يتوقف عن التحرك ويحصل التوازن. ويستمر هذا التوازن طالما ان (P_1) ضغط المحلول أكبر من (P_2) ضغط المذيب.
- عندما يتحقق التوازن يكون تدفق الماء (المذيب) معدوماً والضغط يتسبب بإحداث تدفق من الجزء (1) نحو الجزء (2) وهذا يدل على وجود ضغط يوازن (P) وله نفس القيمة.
- يسمى الضغط الذي يقوم بسحب الماء نحو المحلول بالضغط التناضحي (π) للمحلول والأجهزة التي تسمح بهذا القياس هي مقاييس التناضح الغشائية.

3.3 قانون فان توف Van't Hoff law

$$\bar{w} = RTC$$

➤ لمحاليل **مخففة** تحتوي على جسيمات صغيرة، فان الضغط التناضحي: \bar{w} الضغط التناضحي للمحلول، R ثابت الغازات المثالي ($8.3145 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$)، T درجة الحرارة المطلقة (K)، $C = i.c$ ، i عدد الايونات المتفككة من الجزيئة، c التركيز المولاري للجسيمات ويمثل عدد المولات للمذاب (n) في الحجم V من المحلول.

**3.4 الضغوط التناضحية للمحلول Suspension Osmotic Pressure**

➤ الضغط التناضحي لمحلول يتعلق ب**تركيز الجسيمات** غير القابلة للانتشار واجتياز الغشاء. فاذا أطلقنا اسم المذيب على كل ما يجتاز الغشاء سنرى انه ووفق خواص هذا المذيب فاننا نستطيع تمييز هذه ضغوط تناضحية. وعمليا يوجد ثلاثة أنواع ضغوط للسوائل البيولوجية:

3.4.1 الضغط التناضحي لسائل بايولوجي Biological Suspension Osmotic Pressure

➤ هو الضغط التناضحي الموجود بين السائل والماء المفصولين بغشاء نفوذ للماء وغير نفوذ للمذاب. ان هذا الضغط التناضحي الذي يمتلك قيمة مرتفعة (7.6 ضغط جوي او 770KPa من اجل بلازما الدم العادي عند درجة حرارة 37°C)، لا يمكن قياسه مباشرة لأنه لا يوجد قطعيا غشاء نصف نفوذ للماء.

• الضغط التناضحي متناسب مع درجة الحرارة المطلقة، بينما التناضحية الاسمولاريه مستقلة عنها.

3.4.2 الضغط التناضحي الفعال The Active Osmotic Pressure

➤ تكون الأغشية الخلوية نفوذة جدا للماء واليوريا و للسكر، وتكون غير نفوذة للجسيمات الكبيرة .

➤ الضغط التناضحي الفعال للبلازما هو الضغط التناضحي العائد لمكوناتها.

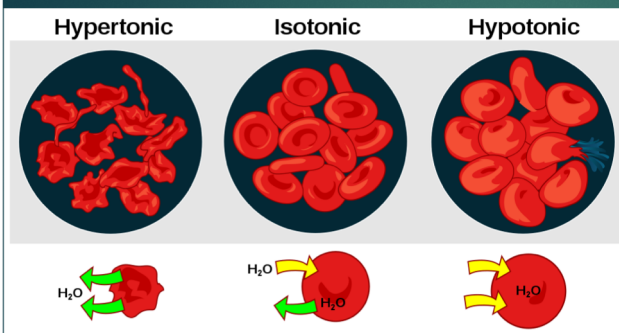
➤ ان الكائنات الحية لا يظهر فيها الضغط التناضحي الفعال ابا لأنه لا يوجد مقاطع في الكائن الحي تحتوي الماء فقط، السكر، اليوريا.

➤ اختلافاتها على طرفي الأغشية الخلوية هي المسؤولة عن تحرك الماء واجتياز هذه الأغشية .

3.4.3 الضغط شبه التناضحي *The Semi osmotic Pressure*

- هو عبارة عن الضغط التناضحي العائد الى الجسيمات الكبيرة للسائل البيولوجي ويقاس باستخدام مقياس التناضح الغشائي *Osmoscope*
- قيمته صغيرة جدا بالمقارنة مع الضغط التناضحي بحدود 28mmHg وهذا يعني 7.3KPa في بلازما دم عادي بدرجه 37C°
- يحدث عند وجود سائلين يحتويان على جسيمات كبيره مختلفة ويكونان مفصولين بغشاء (نفوذ للماء والجسيمات الصغيرة، وغير نفوذ للجسيمات والايونات الكبيرة).
- يلعب دورا أساسيا في التبادلات السائلة ضمن الكائن الحي. (مثلا في التبادلات بين الأوعية الشعرية والوسط البيني، في الترشيح الكبيبي (كتله من العروق الدموية او العصبية.. الخ)

افترض أن خلية (حيوانيه او نباتية) موضوعة في محلول من السكر أو الملح في الماء:-



1- منخفض التوتر (*Hypotonic*): محلول مخفف بتركيز ماء أعلى من الخلية؛ ستحصل الخلية على الماء من خلال التناضح.

2- متساوي التوتر (*Isotonic*): محلول له نفس تركيز الماء في الخلية؛ لن تكون هناك حركة للماء عبر غشاء الخلية.

3- مفرط التوتر (*Hypertonic*): محلول مركز بتركيز ماء أقل من الخلية؛ ستفقد الخلية الماء بالتناضح.

مثال إذا كان الضغط التناضحي في دم الإنسان 7.7 atm عند درجة حراره 37°C ، ما تركيز المادة المذابة، افترض أن $\sigma = 1$ ؟ وماذا سيكون الضغط التناضحي عند 4°C ؟
علما ان R تساوي $8314 (\text{Pa} \cdot \text{L}) \cdot \text{mole}^{-1} \text{K}^{-1}$

$$\tilde{w} = \frac{7.7 \text{ atm} \times 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} = 7.77 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$C = \frac{\tilde{w}}{RT} = \frac{7.77 \times 10^5 \text{ Pa}}{8314 (\text{Pa} \cdot \text{L}) \cdot \text{mole}^{-1} \text{K}^{-1} \times (273+37)\text{K}} = 0.302 \text{ mole} \cdot \text{L}^{-1}$$

عند درجة حراره 4°C نستبدل درجة الحرارة بالمقدار $(273 + 4)$

$$\tilde{w} = CRT = (0.302)(8314)(277) = 6.95 \times 10^5 \text{ Pa}$$

س1 احسب الضغط التناضحي ل 5% محلول من اليوريا عند درجة حراره 273K .
علما ان الوزن الجزيئي لليوريا (60g/mol)

س2 احسب الضغط التناضحي لمحلول ناتج من خلط 100ml من محلول 4.5% من اليوريا و 100ml من محلول 3.42% من محلول السكر عند درجة حراره 300K ، افترض أن $\sigma = 1$
الوزن الجزيئي للسكر (342g/mol)

س عندما يتم إعطاء الشخص سوائل في الوريد، يجب أن يتطابق تركيز المادة المذابة في السائل مع تركيز المادة المذابة في الدم لتجنب المشاكل الناتجة عن التغيير في الضغط الاسموزي في الدم. يمكن تحضير أحد هذه السوائل والمسمى "المحلول الملحي متساوي التوتر عن طريق إضافة كلوريد الصوديوم (NaCl) إلى الماء المقطر. فإذا كانت الأسمولية للدم حوالي (0.3 Os)

(a) كم غرام من كلوريد الصوديوم يجب إضافته إلى (1 L) من الماء لتحضير محلول ملحي متساوي التوتر؟ علما ان الوزن الجزيئي لكلوريد الصوديوم 58.5 g/mole

(الحل a) مول واحد من (NaCl) يكون (2 mole) من الايونات {مول من Na^+ ، مول Cl^- }. لذلك (58.5 g) من (NaCl) مضاف إلى لتر من الماء ينتج محلول (2 Osmole) . فإذا أردنا محلول (0.3 Os) فأننا نحتاج $m (\text{g})$

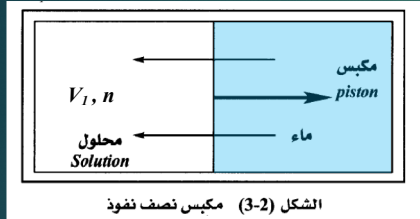
$$\frac{58.5 \text{ g}}{2 \text{ osmole}} = \frac{m}{0.3 \text{ osmole}} \Rightarrow m = 8.8 \text{ g or } 0.88\% \text{ NaCl}$$

لذلك فان النسبة الوزنية لكلوريد الصوديوم في لتر واحد ستكون 0.88%

(B) كم غرام من سكر العنب $(\text{dextrose } \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$ ، والذي لا يتفكك، علما ان الوزن الجزيئي له 180 g/mole

3.5 شغل التخفيف والتركيز Osmosis Work and Anti-osmosis Work

لنعتبر أسطوانة مغلقة من الطرفين مقسومة الى جزئين بمكبس نصف نفوذ.



نضع في أحد الجزئين محلولاً حجمه الابتدائي (V_1) يحتوي على (n) مول مذاب وبالتالي فإن الأسمولاريتة تعطى بالعلاقة التالية:

$$C_1 = \frac{n}{V_1}$$

نستنتج وبشكل تلقائي بان المكبس يتحرك نحو الماء، وبفعل التناضح يمر الماء نحو المحلول الذي يزداد حجمه بينما يتناقص حجم الماء.

وبما ان تحرك المكبس ناتج عن خضوعه لقوة، أي استهلاك للشغل، إذا فهناك تغيير للطاقة.

3.5.1 التفسير الكمي Qualitative Interpretation

تحت تأثير الضغط الذي يسببه المكبس يتغير حجم المائع بمقدار dV ويعطي طاقة مقداره dE وتعطى حسب العلاقة الرياضية التالية:

$$dE = -dw = -PdV$$

وبما ان الضغط المؤثر في هذه الحالة هو الضغط التناضحي $\tilde{w} \neq P$

$$dE = -\tilde{w}dV$$

$$\tilde{w} = CRT = \frac{nRT}{V}$$

فعندما يكون هذا التحول عند نفس درجة الحرارة **adiabatic** وعكوس **reversible** فان المكبس يتوقف عن التحرك عندما يصبح حجم المحلول (V_2) وتناضحيته ($C_2 = n/V_2$)، وهكذا فان مقدار التغير بالطاقة يساوي الى:

$$\Delta E = \int_{V_1}^{V_2} -nRT \frac{dV}{V} = nRT \log \frac{V_1}{V_2} = nRT \log \frac{C_2}{C_1}$$

عندما يمر عدد (n) مول من التناضحية C_1 الى التناضحية C_2 . فأننا نستطيع ان نميز الاتي:

1- إذا كانت $C_2 < C_1$ ، أي في حالة التخفيف (*dilution*) تكون (ΔE) سالبة والمحلول يفقد مقدارا من طاقته وتحدث الظاهرة تلقائيا والتخفيف يكون منفعا.

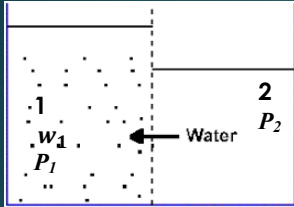
2- إذا كانت $C_2 > C_1$ ، أي في حالة التركيز (*concentration*) تكون (ΔE) موجبة والمحلول يتلقى مقدارا من الطاقة وهذا لا يمكن ان يحدث تلقائيا. وهذه الظاهرة تكون فعالة.

3.5.2 عمل كلية الانسان *Kidney Function*

وبهدف توضيح مقدار التغير في الطاقة اثناء عمل الكلية،
ابتدأ من البلازما بتناضحية (اسمولارتيه) (300mmol/l)، تنتج الكلية اليوريا (*urina*)
باسمولارتيه (600mmol/l)،
أي انه عندما تنتج الكلية لترا واحدا من اليوريا، فان (600mmol/l) تكون قد انتقلت من
التناضحية (الاسمولارتيه) ($C_1=300\text{mmol/l}$) الى الاسمولارتيه ($C_2=600\text{mmol/l}$)،
وباستخدام العلاقة الرياضية نجد ان:

$$\Delta E = (0.6)(8.31)(273 + 37)\log \frac{600}{300} = 1071 \text{ Joules}$$

حيث ان $R=8.31$ ونلاحظ بان ΔE موجب لان اليوريا أكثر تركيزا من البلازما والكلية تقدم الطاقة لليوريا، وهذه الظاهرة هي ظاهره فعالة.

3.6 تدفق السائل *The Fluid Fluxion*3.6.1 تدفق المذيب *The Solvent Fluxion*

لنفترض محلولاً نشير إليه بالرقم (1) ضغطه التناضحي (\bar{w}_1) ويخضع لضغط (P_1) مفصلاً عن المذيب النقي (2) الذي ضغطه (P_2) بغشاء نصف نفوذ.

➤ فعندما لا يكون التوازن بينهما نجد ان المذيب يجتاز الغشاء بتدفق Φ (FLUX)

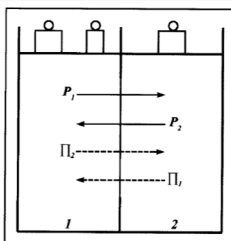
$$\Phi_{1 \rightarrow 2} = KS(P_1 - P_2 - \bar{w}_1)$$

حيث K : معامل يتعلق بطبيعة وسماكة الغشاء، S : مساحه سطح الغشاء

➤ اما في حاله احتواء الجزء (2) على محلول ضغطه التناضحي

$$\Phi_{1 \rightarrow 2} = KS(P_1 - P_2 - \bar{w}_1 + \bar{w}_2)$$

نجد ان:

3.6.2 تدفق المذيب والجسيمات الصغيرة *Solvent and Minor Molecules Fluxion*

الشكل (3-3) تدفق الجسيمات الصغيرة القابلة للانتشار

➤ عندما يفصل الغشاء الفاصل محلولين مختلفين (1, 2) ضغوطهما شبه التناضحية هي على الترتيب (π_1, π_2) وتخضع لضغوط (P_1, P_2) فان تدفق الماء والجسيمات الصغيرة القابلة للانتشار واجتياز الغشاء يعطى بالعلاقة الرياضية التالية:

$$\Phi_{1 \rightarrow 2} = KS(P_1 - P_2 - \pi_1 - \pi_2)$$

ولهذا التدفق اهميه كبيرة، فمن خلاله يخرج الماء والجسيمات الصغيرة المغذية من الوعاء الشعري الشرياني *arterial capillary vessel* لتذهب نحو الخلايا. وكذلك فمن خلاله يعود الماء والفضلات الخلوية الى الوعاء الشعري الوريدي *venous capillary vessel*.

فعندما يكون المحلول (I) الحاوي على جزيئات صغيرة وايونات قابلة للانتشار وجزيئات كبيرة على تماس بغشاء فصل (بدون محلول في الجهة الأخرى)، فان التدفق الذي يجتاز الغشاء يكون

$$\Phi_{1 \rightarrow 2} = KS(P_1 - \Pi_1)$$

- حتى يكون لهذا التدفق وجود يجب ان يكون المقدار $P_1 - \Pi_1$ والمسمى **بضغط الترشيح موجبا**.
- اما عندما يحتوي المحلول على جزيئات صغيرة وايونات قابلة للانتشار وجزيئات كبيرة مفصولة عن الماء بغشاء فصل فان الجزيئات الصغيرة والايونات الصغيرة تنتشر نحو الماء بحيث يحصل التوازن *Equilibrium*.

مثال تعطي الكلية (A) لترا واحدا من اليوريا في اليوم اسمولاريتها (500 mmol/l)، وانه خلال نفس الفترة الزمنية تعطي الكلية (B) ثلاثة لترات باسمولاريتها (320 mmol/l)، فاذا كان لاسمولاريتها البلازما نفس القيمة لكل من A، B، وتساوي (290 mmol/l) علما ان $R=8.31 \text{ joule/mol.degre}$

١- ما الكلية (A او B) التي تزيل كمية أكبر من الجسيمات المنحلة؟ ٢- ما هي الكلية التي تستهلك طاقة أكبر؟

(الحل)

١- الكلية (A) تزيل 500 mmol/l في اليوم. الكلية (B) تزيل 960 mmol/l في اليوم.

نرى بان الكلية B تزيل كمية أكبر من الجسيمات المنحلة.

٢- تعطي الكلية (A) في اليوم الواحد الى اليوريا طاقة مقدارها

$$\Delta E_A = 0.5R(273 + 37) \log \frac{500}{290} = 702 \text{ joules}$$

تعطي الكلية (B) في اليوم الواحد الى اليوريا طاقة مقدارها

$$\Delta E_B = 0.32 \cdot 3R(273 + 37) \log \frac{320}{290} = 243 \text{ joules}$$

وهكذا نرى بان الكلية A تعطي طاقة أكبر اليوريا وعليه فهي تستهلك طاقة أكبر.

