

Biology



Chapter 1



BY: S.M.S.M



Water and life

الماء والحياة

- Water is the molecule that **supports all of life**

الماء هو الجزيء الذي يدعم كل أشكال الحياة.

- Water is the **most abundant** substance in living systems, making up **70% or more** of the weight of most organisms.

الماء هو أكثر المواد وفرة في الأنظمة الحية، فهو يشكل 70% أو أكثر من وزن معظم الكائنات الحية.

- The **attractive forces (cohesion)** between water molecules and the **slight tendency of water to ionize** are of crucial importance to the structure and function of biomolecules and hence biological systems.

إن القوى الجاذبة (التماسك) بين جزيئات الماء، والميل الطفيف للماء إلى التأين، لهما أهمية حاسمة في بنية ووظيفة الجزيئات الحيوية، وبالتالي في الأنظمة البيولوجية.

أهمية الماء بترجع لخاصيتين يمتاز بهما

١/ التماسك cohesion

٢/ الميل البسيط للتأين

slight tendency of water to ionize

الرابطة التساهمية هي الأساس في إعطاء الماء الصفات والميزات الخاصة به أهمها تكوين الروابط الهيدروجينية

Structure of water molecule

بنية جزيء الماء

- The water molecule is not as simple as its structure looks like.

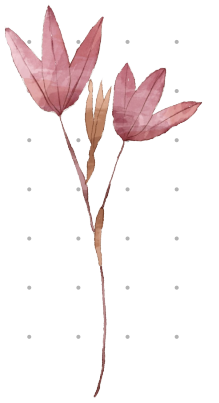
جزيء الماء ليس بسيطاً كما يبدو منه بنيته

- It is shaped like a **wide V**, with its two hydrogen atoms joined to the oxygen atom by single **covalent bonds**.

شكله يبدو مثل حرف V عريض مع ذرتين هيدروجين ترتبطان مع ذرة أكسجين واحدة برابطة تساهمية

- Oxygen is **more electronegative** than hydrogen, so the electrons of the covalent bonds spend **more time closer** (unequal sharing) to oxygen than to hydrogen; these are **polar covalent bonds**.

الأكسجين لديه كهروسالبية أعلى من الهيدروجين لذلك يقضي زوج الإلكترونات وقتاً أطول حول الأكسجين (تشارك غير متساوي) وهذه رابطة قطبية (رابطة تساهمية)





- This **unequal sharing** of electrons and water's V-like shape make water a **polar molecule**.

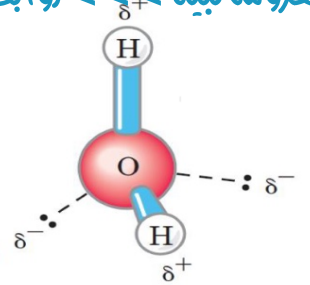
إن هذا التشارك غير المتساوي للإلكترونات، مع الشكل المنحني (على شكل V) لجزيء الماء، يجعل الماء جزيئاً قطبياً (polar).



- Unequal sharing** of electrons results in the oxygen region of the water molecule has a **partial negative charge (δ^-)**, and each hydrogen has a **partial positive charge (δ^+)**.

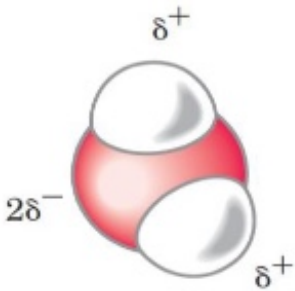
التشارك غير المتساوي للإلكترونات يؤدي إلى أن منطقة الأكسجين في جزيء الماء تحمل شحنة سالبة جزئية (δ^-)، بينما يحمل كل من ذرتي الهيدروجين شحنة موجبة جزئية (δ^+).

فرق كهروستاتيكية <<< روابط تساهمية قطبية <<< تظهر شحنة - على الأكسجين و شحنة + على الهيدروجين



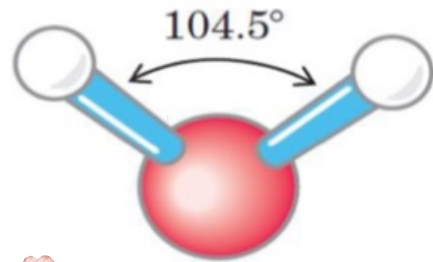
- The H-O-H bond angle is **104.5°**, slightly less than the 109.5° of a **typical tetrahedron** because of **crowding** by the unshared pairs of electrons of the oxygen atom

زاوية الرابطة H-O-H هي 104.5°، وهي أقل قليلاً من 109.5° الموجودة في الشكل رباعي الوجوه (tetrahedron)، وذلك بسبب ازدحام الزوجين غير المرتبطين مع الإلكترونات حول ذرة الأكسجين.



شكل الماء ليس خطياً، بل على شكل V
وزاوية الرابطة 104.5°. بسبب الـ crowding

هذه الزاوية أصغر من زاوية رباعي السطوح (109.5°) لأن الأزواج غير المباشرة على الأكسجين تدفع ذرات الهيدروجين بعيداً.



خصائص الماء وتأثيره على النظام البيولوجي

cohesion التماسك

Ioniz التأين

polar الماء قطبي

unequal sharing التشارك غير المتساوي

It is shaped like wide V شكله يشبه حرف عريض

الزاوية. 104.5 بدلاً من 109.5

بسبب ال crowding أي التزاحم الذي يسببه زوج الإلكترونات غير الرابطة على الأكسجين

Hydrogen Bonds between water molecule

- As result of the partial negative charges (δ^-), and the partial positive charges (δ^+), of each water molecule there is an **electrostatic attraction** between the (δ^-) of oxygen atom of one water molecule and (δ^+) of the hydrogen of another water molecule which is called a **hydrogen bond** (Hydrogen bonds are relatively weak bond).

الأكسجين في الماء يحمل شحنة سالبة جزئية.

الهيدروجين يحمل شحنة موجبة جزئية.

لذلك يتجاذب هيدروجين جزيء ماء مع أكسجين جزيء ماء آخر.

هذا التجاذب اسمه رابطة هيدروجينية.

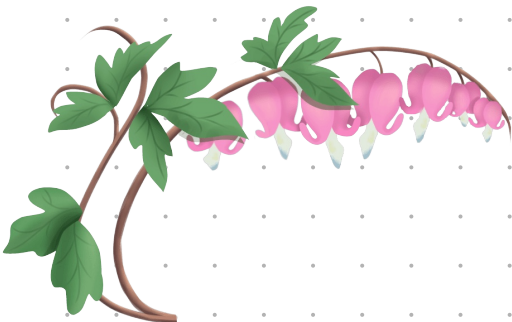
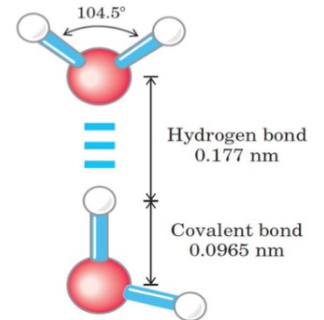
هي رابطة ضعيفة، لكنه وجود ملايين منها يجعل الماء مستقرًا جدًا.

نتيجة الشحنات السالبة الجزئية (δ^-) والشحنات الموجبة الجزئية (δ^+) الموجودة في كل جزيء ماء، يحدث تجاذب كهربي بين ذرة الأكسجين المشحونة سالبًا جزئيًا (δ^-) في جزيء ماء، وذرة الهيدروجين المشحونة موجبًا جزئيًا (δ^+) في جزيء ماء آخر. هذا التجاذب يُسمى الرابطة الهيدروجينية (Hydrogen bond). والروابط الهيدروجينية روابط ضعيفة نسبيًا.

- Hydrogen bonding is a special type of **dipole-dipole attraction** between molecules.

الرابطة الهيدروجينية هي نوع خاص من التجاذب ثنائي القطب-ثنائي القطب (dipole-dipole) بين الجزيئات.

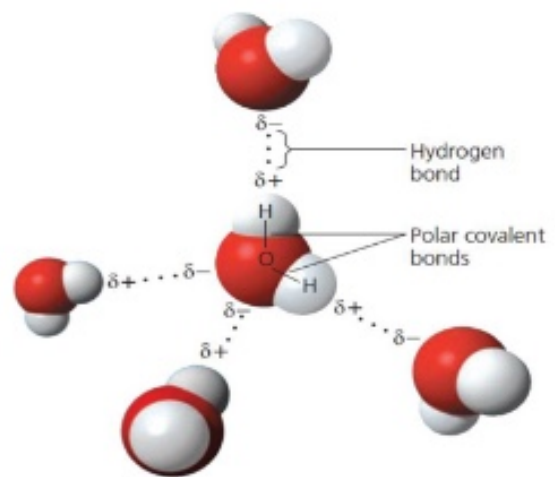
الرابطة الهيدروجينية = تجاذب قوي جدًا بين شحنة موجبة جزئية على الهيدروجين وشحنة سالبة جزئية على ذرة أخرى.
وهي أفضل مثال على قوة dipole-dipole.



- Hydrogen bond **results** from the attractive force between a **hydrogen atom covalently** bonded to a very electronegative atom such as a N, O, or F atom and **another very electronegative atom**.

تنشأ الرابطة الهيدروجينية نتيجة القوة التجاذبية بين ذرة هيدروجين مرتبطة تساهمياً بذرة ذات كهروسالبية عالية مثل النيتروجين (N) أو الأكسجين (O) أو الفلور (F)، وبين ذرة أخرى عالية الكهروسالبية في جزيء مختلف (أو في نفس الجزيء أحياناً).

الهيدروجين مربوط بذرة قوية (O, N, F)
الذرة القوية تسحب الإلكترونات → الهيدروجين يصبح موجب
الهيدروجين الموجب يجذب إلى ذرة أخرى سالبة
هذا اسمه Hydrogen bond



- Bond strength and bond length ?

قوة الرابطة و طول الرابطة

العلاقة عكسية بين قوة الرابطة و طولها فكلما كانت الرابطة اطل كانت اضعف و العكس لأن الذرات تكون متباعدة فيسهل كسرها لذلك الرابطة التساهمية اقوى من الهيدروجينية لأن التساهمية أقصر.

كهروسالبية <<< رابطة تساهمية <<< شحنات جزيئية <<< رابطة هيدروجينية

Cohesion of Water Molecules

التماسك بين جزيئات الماء.

- Water molecules stay **close to each other** as a result of hydrogen bonding.

تبقى جزيئات الماء قريبة من بعضها نتيجة لتكوين الروابط الهيدروجينية بينها.



- Hydrogen bonds** between water molecules provide the **cohesive forces** that make water a liquid at room temperature and that **favor the extreme ordering** of molecules that is typical of crystalline water (**ice**).

الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء توفر قوى التماسك (cohesive forces) التي تجعل الماء يبقى في الحالة السائلة عند درجة حرارة الغرفة، وهي أيضاً القوى التي تساعد على ترتيب الجزيئات ترتيباً شديداً الانتظام كما يحدث في الماء المتجمد (الثلج).

الماء في الحالة الثلجية يكون في حالة ترتيب شديدة و بالتالي يستطيع تكوين الحد الأقصى من الروابط الهيدروجينية وهو أربع روابط

- the arrangement of molecules in a sample of liquid water is constantly changing (**flickering clusters**), however at any given moment many of the molecules are **linked by multiple hydrogen bonds**. These linkages make water more structured than most other liquids .

إن ترتيب الجزيئات في عينة من الماء السائل يتغير باستمرار (يُسمى هذا العنقيد المتذبذبة أو flickering clusters)، ولكنه في أي لحظة معينة تكون العديد من الجزيئات مرتبطة معاً بعدة روابط هيدروجينية.



- Collectively, the **hydrogen bonds hold the substance together** in a strong molecular interactions, a phenomenon **called cohesion**.

بشكل عام تقوم الروابط الهيدروجينية بجعل جزيئات المادة مترابطة بقوة مع خلال تفاعلات جزيئية قوية، وتُسمى هذه الظاهرة "التماسك" (cohesion).

- One result of cohesion of water** molecules due to hydrogen bonding is **high surface tension**, a measure of how difficult it is to stretch or break the surface of a liquid.

أحدى نتائج تماسك جزيئات الماء بسبب الروابط الهيدروجينية هي الشد السطحي العالي، وهو مقياس مدى صعوبة شد أو كسر سطح السائل.

- At the air-water interface is an ordered arrangement of water molecules, hydrogen-bonded to one another and to the water below, but not to the air above, which gives water an unusually high surface tension, making it behave as though it were coated with an invisible film.

عند واجهة الهواء-الماء (السطح الفاصل بين الهواء والماء) تكون هناك طبقة مرتبة من جزيئات الماء مترابطة معاً بروابط هيدروجينية ومع الماء الموجود تحته، ولكنها غير مترابطة بالهواء فوقها. هذا يعطي الماء شداً سطحياً عالياً بشكل غير معتاد، مما يجعله يتصرف كأنه مغطى بغشاء غير مرئي.

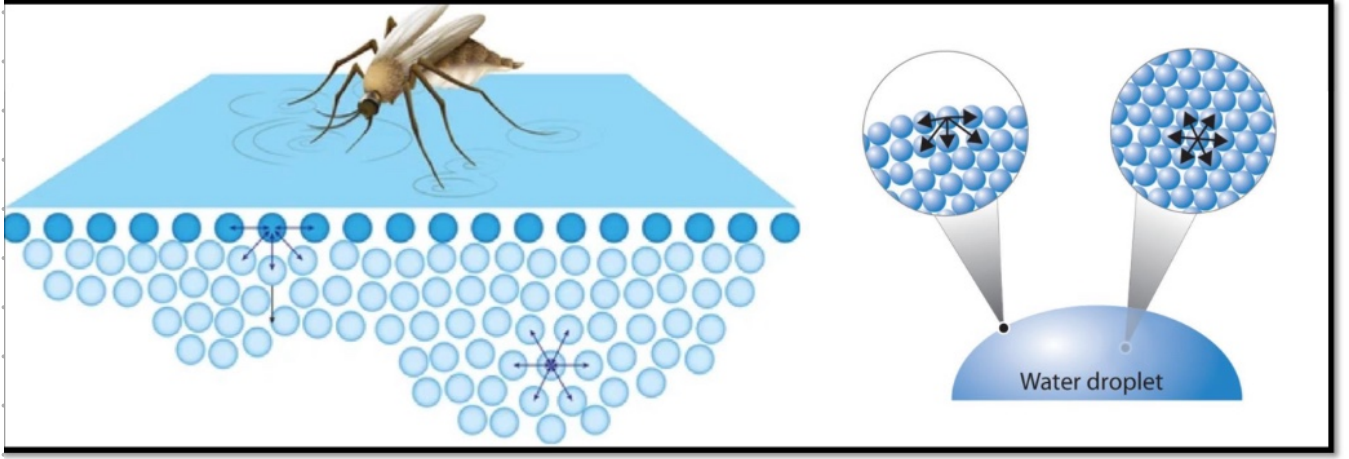
- Cohesion** also contributes to the **transport of water** and dissolved nutrients against gravity in **plants**

تُساهم خاصية التماسك (Cohesion) أيضاً في نقل الماء والمواد المذابة ضد الجاذبية داخل النباتات.

- Cohesion** attraction forces between molecules of the **same substance**
التجاذب بين الجزيئات التي تنتمي إلى نفس المادة: cohesion

- Adhesion** is attraction forces between molecules of **different substances**
هي قوى التجاذب بين الجزيئات التي تنتمي إلى مواد مختلفة: Adhesion





1. جزيئات الماء تتماسك معاً بسبب الروابط الهيدروجينية، جزيئات الماء تبقى قريبة من بعضها وتنجذب بقوة.

2. هذه الروابط تجعل الماء مميّزاً تجعل الماء سائلاً عند درجة حرارة الغرفة. تجعل الماء أكثر تنظيماً من سوائل أخرى. تجعل الثلج له تركيب بلوري منتظم.

3. التماسك يسبب التوتر السطحي التماسك بين جزيئات الماء في السطح يجعله صعب الكسر، وكأنه مغطى بطبقة رقيقة غير مرئية.

4. التماسك يساعد النباتات يساعد الماء على الصعود داخل النباتات من الجذور للأوراق ضد الجاذبية.

5. تعريفات مهمة

جذب بين جزيئات نفس المادة (مثل ماء + ماء): (التماسك) Cohesion
جذب بين جزيئات مواد مختلفة (مثل ماء + زجاج): (التلاصق) Adhesion



Hydrogen bonds



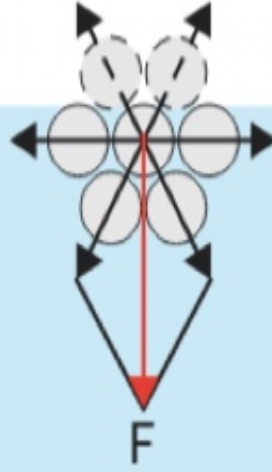
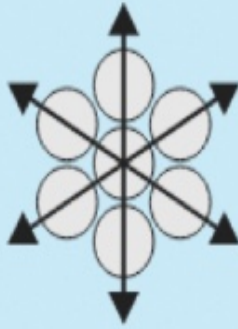
Cohesion



- **Make water liquid at room temperature**
- **Favor the extreme ordering of molecules (Ice)**
 - **High surface tension**
- **Transport of water and dissolved nutrients against gravity in plants**

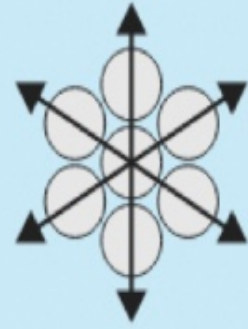
AIR
LIQUID

SURFACE



Force F directed at the interior of the medium

القوة الناتجة التي توجه الجزيء نحو داخل السائل



○ Water molecule

○ Missing water molecule

جزيء ماء مفقود (غير موجود فوق السطح لأن فوقه هواء وليس ماء)

→ Cohesive forces to neighbouring molecules

سك بين جزيئات الماء المجاورة

→ Missing cohesive forces to neighbouring molecules

قوى تماسك مفقودة (لأنه لا يوجد ماء فوق السطح ليتماسك معه)

جزيء الماء في الداخل مُحاط بجزيئات ماء من كل الجهات → لذلك قوى التماسك متساوية.

أما جزيء الماء عند السطح:

تحت الماء → توجد قوة تماسك.

فوقه هواء → لا توجد قوة تماسك لأنها ليست ماء.

لذلك القوى تكون غير متوازنة → تسحب الجزيء نحو داخل الماء.

هذا السحب نحو الداخل هو السبب في:

التوتر السطحي العالي للماء

أن سطح الماء يبدو كأنه مغطى بطبقة مشدودة

Evaporation from leaves pulls water upward from the roots through water-conducting cells.

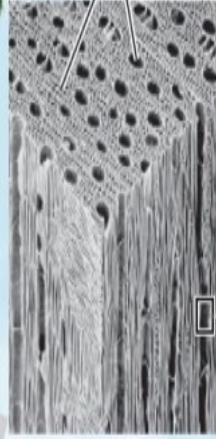
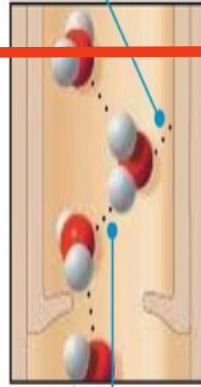
تبخّر الماء من الأوراق يقوم بسحب الماء للأعلى من الجذور عبر الخلايا الناقلة للماء.

Adhesion of the water to cell walls by hydrogen bonds helps resist the downward pull of gravity.

التلاصق بين الماء وجدران الخلايا (عنه طريق الروابط الهيدروجينية) يساعد الماء على مقاومة سحب

من الخلايا الناقلة للماء.

Two types of water-conducting cells



300 μm

Cohesion due to hydrogen bonds between water molecules helps hold together the column of water within the cells.

التماسك الناتج عن الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء يجعل الماء يتحرك كعمود واحد داخل

اتجاه الحركة

Direction of water movement

1 الماء يتبخر من أوراق النبات عندما يتبخر الماء من سطح الورقة، يحدث سحب (شد) للماء الموجود تحتها.
يشبه الأمر عندما تشد نهاية خيط طويل فيتحرك باقي الخيط.

2 الماء يرتفع من الجذور للأوراق التبخريخلق قوة تسمى Tension = شد → هذه القوة تسحب الماء للأعلى داخل الأنابيب الناقلة (xylem).

3 التماسك (Cohesion) يمسك جزئيات الماء معاً
جزئيات الماء مرتبطة ببعض بواسطة روابط هيدروجينية
→ لذلك تتحرك مثل عمود واحد من الماء وليس قطرات منفصلة.
جزءي ماء يجذب جزئي ماء آخر = Cohesion

4 التلاصق (Adhesion) يمتص الماء من السقوط
جزئيات الماء تلتصق بجدران الأنابيب داخل النبات
→ هذا يساعد في منع الماء من النزول بسبب الجاذبية.
ماء + جدار الخلية = Adhesion

5 النتيجة النهائية

✓ الماء يدخل من الجذور

✓ يصعد لأعلى الساق

✓ يصل إلى الأوراق

✓ بسبب: التبخر + التماسك + التلاصق

● الخلاصة

الماء يصعد في النبات لأن تبخره من الأوراق يخلق قوة سحب تشد عمود الماء للأعلى،
والتماسك بين جزئيات الماء والتلاصق مع جدران الخلايا يمنعانه من الانقطاع
والسقوط.



الروابط الهيدروجينية تمنح الماء خصائصه غير الاعتيادية

Hydrogen Bonding Gives Water Its Unusual Properties

Melting Point, Boiling Point, and Heat of Vaporization of Some Common Solvents

	Melting point (°C) درجة الانصهار	Boiling point (°C) درجة الغليان	Heat of vaporization (J/g)* حرارة التبخر
Water	0	100	2,260
Methanol (CH ₃ OH)	-98	65	1,100
Ethanol (CH ₃ CH ₂ OH)	-117	78	854
Propanol (CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH)	-127	97	687
Butanol (CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₂ OH)	-90	117	590
Acetone (CH ₃ COCH ₃)	-95	56	523
Hexane (CH ₃ (CH ₂) ₄ CH ₃)	-98	69	423
Benzene (C ₆ H ₆)	6	80	394
Butane (CH ₃ (CH ₂) ₂ CH ₃)	-135	-0.5	381
Chloroform (CHCl ₃)	-63	61	247

Water has a **higher melting point**, **boiling point**, and **heat of vaporization** than most other common solvents.

→ للماء درجة انصهار ودرجة غليان وحرارة تبخر أعلى من معظم المذيبات الشائعة.

These **unusual properties** are a consequence of attractions between adjacent water molecules that give liquid water great **internal cohesion**.

هذه الخصائص غير العادية ناتجة عن قوى التجاذب بين جزيئات الماء المتجاورة، والتي تعطي الماء السائل ترابطاً داخلياً عالياً.

Hydrogen bonds are relatively weak. Those in liquid water have a bond dissociation energy (the energy required to break a bond) of about **23 kJ/mol**, compared with **470 kJ/mol** for the covalent —OH bond in water or **348 kJ/mol** for a covalent C—C bond.

الروابط الهيدروجينية ضعيفة نسبياً.

طاقة تفكك الرابطة الهيدروجينية في الماء السائل حوالي 23 كيلو جول/مول، مقارنة بـ 470 كيلو جول/مول للرابطة التساهمية O—H في الماء، أو 348 كيلو جول/مول للرابطة التساهمية C—C.

*The heat energy required to convert 1.0 g of a liquid at its boiling point, at atmospheric pressure, into its gaseous state at the same temperature. It is a direct measure of the energy required to overcome attractive forces (cohesion) between molecules in the liquid phase.

الطاقة الحرارية المطلوبة لتحويل 1 غرام من سائل عند درجة غليانه وتحت الضغط الجوي إلى الحالة الغازية عند نفس درجة الحرارة. وهي مقياس مباشر للطاقة اللازمة للتغلب على قوى الجذب (التماسك) بين الجزيئات في الحالة السائلة.

1. الماء يمتلك خصائص غير اعتيادية مقارنة بالمذيبات الأخرى
الماء لديه :

درجة انصهار أعلى

درجة غليان أعلى

حرارة تبخر أعلى

وهذا غير طبيعي بالنسبة لمادة وزنها الجزيئي صغير مثل الماء
→ السبب الرئيسي : الروابط الهيدروجينية.

2. لماذا الماء مختلف؟ (Internal Cohesion)

جزيئات الماء تتجاذب بقوة بسبب الروابط الهيدروجينية.

هذه الروابط :

تربط الجزيئات ببعضها

تجعل الماء "متماسكاً"

تمنعه من التبخر بسهولة

وترفع نقطة غليانه بشكل كبير

3. قوة الروابط الهيدروجينية

أرقام مهمة :

نوع الرابطة طاقة التفتك

الهيدروجينية 23 kJ/mol

التساهمية O-H 470 kJ/mol

التساهمية C-C 348 kJ/mol

معنى هذا :

الرابطة الهيدروجينية أضعف بكثير من الرابطة التساهمية، لكنها تظهر بأعداد هائلة بين جزيئات الماء، وهذا يجعل تأثيرها كبيراً جداً.

4. ما معنى Heat of Vaporization؟

هي كمية الطاقة اللازمة لتحويل :

أغرام من الماء عند درجة غليانه → إلى بخار عند نفس الحرارة.

لا ترتفع حرارة الماء أثناء التبخر

لأن كل الطاقة تُستخدم في :

كسر الروابط الهيدروجينية

تحرير الجزيئات من التماسك بينها

لهذا ماء له Heat of vaporization هائلة (2260 J/g).

5. أهمية هذا في جسم الإنسان

التعرف يعتمد على هذه الخاصية

عندما يتبخر العرق، يستهلك كمية كبيرة من الحرارة → الجسم يفقد حرارة → يتم التبريد ببقاء عالية.

الماء السائل، الثلج، والعناقيد المتذبذبة Liquid water, ice, and the flickering cluster

- **Hydrogen bonds** between water molecules provide the **cohesive forces** that make water a liquid at room temperature and that **favor the extreme ordering** of molecules that is typical of crystalline water (**ice**).

الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء توفر قوى التماسك التي تجعل الماء سائلاً عند درجة حرارة الغرفة، وتسمح بترتيب جزيئي منظم جداً كما في الثلج.

- In **ice**, each water molecule forms the maximum of **four hydrogen bonds**, creating a regular crystal lattice. This crystal lattice makes **ice less dense than liquid water**, and thus ice floats on liquid water

في الثلج، كل جزيء ماء يكون أربع روابط هيدروجينية، مما يخلق شبكة بلورية منتظمة. هذه الشبكة البلورية تجعل كثافة الثلج أقل من الماء السائل، ولذلك يطفو الثلج.

- However, **at any given time**, most of the molecules in liquid water are engaged in hydrogen bonding (an average of **3.4** with other water molecules), but the **lifetime** of each hydrogen bond is just 1 to 20 **picoseconds** ($1 \text{ ps } 10^{-12} \text{ s}$)

لكه في أي لحظة، أغلب جزيئات الماء السائل تكون في روابط هيدروجينية (بمعدل 3.4 رابطة)، لكنه عمر كل رابطة هو فقط من 1 إلى 20 بيكوثانية.

- Upon breakage of one hydrogen bond, another hydrogen bond forms, with the same partner or a new one, **within ~0.1 ps**.

عندما تنكسر رابطة هيدروجينية، تتكون رابطة جديدة في غضون 0.1 بيكوثانية.

- The "**flickering clusters**" is the phrase that has been applied to the **short-lived groups of water molecules** interlinked by hydrogen bonds in liquid water.

مصطلح العناقيد المتذبذبة يشير إلى مجموعات صغيرة قصيرة العمر من جزيئات الماء ترتبط بروابط هيدروجينية وتتغير باستمرار.

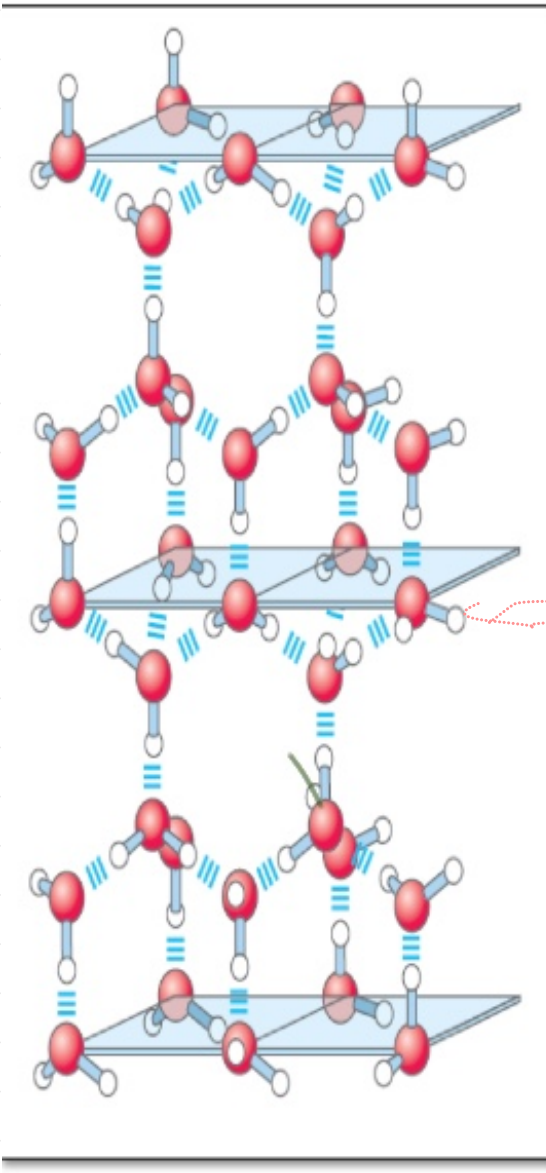
- The sum of all the hydrogen bonds between H_2O molecules gives great internal cohesion on liquid water.

مجموع جميع الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء (H_2O) يمنح الماء السائل تماسكاً داخلياً كبيراً

الثلج منظم جداً → كثافة قليلة → يطفو.

الماء السائل غير ثابت: الروابط الهيدروجينية تتكون وتنكسر مليارات المرات بالثانية.

هذه الديناميكية مهمة لعمليات الجسم (مثل التفاعلات الكيميائية، إذابة المواد، حركة البروتينات).



1 الروابط الهيدروجينية مسؤولة عن جعل الماء :

- سائلاً عند درجة الغرفة
- ذات تماسك قوي
- وتلجاً "خفيفاً" يطفو

2 في الثلج :

- كل جزيء ماء يشكل 4 روابط هيدروجينية ثابتة
- شبكة منتظمة تشبه البلورة
- يزداد حجمها
- فتصبح أقل كثافة من ماء سائل
- لذلك الثلج يطفو.

3 في الماء السائل :

- الروابط غير ثابتة
- كل رابطة تعيش 1-20 بيكو ثانية فقط
- تتكون وتتفكك باستمرار

هذه التجمعات القصيرة تسمى فليكنغ كلسترز flickering clusters.

4 النتيجة :

مجموع كل الروابط الهيدروجينية المتكونة والمتكسرة يعطي الماء تماسكاً داخلياً كبيراً.

وهذا التماسك هو سبب :

- التوتر السطحي العالي
- تكون القطرات
- صعود الماء في النبات
- أن الماء سائل وليس غازاً عند 25°

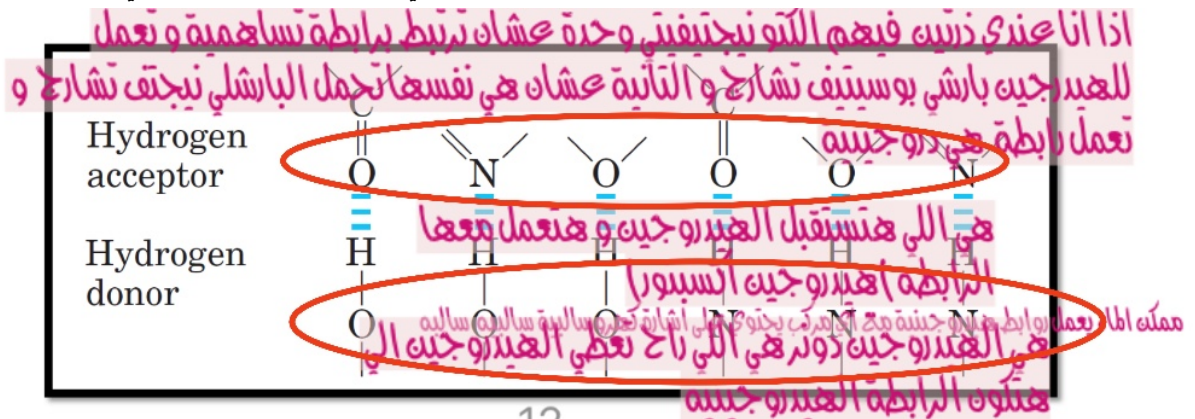


Water Forms Hydrogen Bonds with Polar Solutes

الماء يشكل روابط هيدروجينية مع المذيبات القطبية

- Hydrogen bonds **are not exclusive** to water. الروابط الهيدروجينية ليست خاصة بالماء فقط
- Hydrogen bonds readily **form between** an electronegative atom (**the hydrogen acceptor**, usually oxygen or nitrogen with a lone pair of electrons) and a hydrogen atom covalently bonded to another electronegative atom (**the hydrogen donor**) in the same or another molecule الروابط الهيدروجينية تتكون بسهولة بين ذرة كهروسالبة (مستقبل الهيدروجين)، مثل الأكسجين أو النيتروجين، وبين ذرة هيدروجين مرتبطة تساهمياً بذرة كهروسالبة أخرى (مانح الهيدروجين)
- Hydrogen atoms **covalently bonded to carbon atoms do not participate** in hydrogen bonding, because carbon is only slightly more electronegative than hydrogen and thus the C-H bond is only very weakly polar. الهيدروجين المرتبط تساهمياً بالكربون لا يشارك في الروابط الهيدروجينية لأن: • فرق السالبية بين H و C صغير → الرابطة غير قطبية تقريباً

- Why butanol ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{OH}$) has a relatively high boiling point of 117°C than butane ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$) which has a boiling point of only 0.5°C . “لماذا يملك البيوتانول ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{OH}$) نقطة غليان مرتفعة نسبياً تبلغ 117°C بينما يحتوي البيوتان ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$) على نقطة غليان منخفضة جداً تبلغ فقط 0.5°C ؟
كلما وجدت روابط هيدروجينية → احتجنا طاقة أكبر لتسرها → ترتفع نقطة الغليان.
البيوتانول: فيه OH → روابط هيدروجينية قوية → يغلي عند 117°C .
البيوتان: غير قطبي → لا روابط هيدروجينية → يغلي عند 0.5°C .”



1 Hydrogen bonds are not exclusive to water

الرابطة الهيدروجينية ليست خاصة بالماء فقط.
بمعنى: أي جزيء يحتوي على ذرة هيدروجين مرتبطة بذرة كهروسالبة (N أو O أو F) يمكنه تكوين روابط هيدروجينية.

2 كيف تتكون الروابط الهيدروجينية؟

تتكون بين:

✓ ذرة كهروسالبة (Hydrogen acceptor)

عادة:

• الأكسجين O

• النيتروجين N

بسبب امتلاكهما زوج إلكتروني حر قادر على جذب الهيدروجين.

✓ ذرة هيدروجين مرتبطة بذرة كهروسالبة (Hydrogen donor)

الهيدروجين يجب أن يكون مرتبطاً بـ:

• O

• N

لأن الرابطة تكون قطبية جداً.

إذن:

donor = H—O أو H—N

ذات زوج إلكتروني حر N أو O = acceptor

3 الهيدروجين المرتبط بالكربون لا يصنع روابط هيدروجينية

السبب؟

• الكربون قليل السالبية (electronegativity)

• رابطة C—H غير قطبية تقريباً

⇒ بالتالي الهيدروجين غير قادر على تكوين رابطة هيدروجينية.
هذه معلومة مهمة جداً في الامتحانات!

4 تطبيق مهم: لماذا يغلي البوتانول بدرجة عالية بينما يغلي البوتان بدرجة منخفضة؟

✓ البوتانول $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{OH}$

يحتوي على مجموعة OH

→ يمكنه تكوين روابط هيدروجينية كثيرة

→ يحتاج طاقة كبيرة لكسرها

→ نقطة غليانه 117°C

✓ البوتان $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$

لا يحتوي على OH

→ لا روابط هيدروجينية

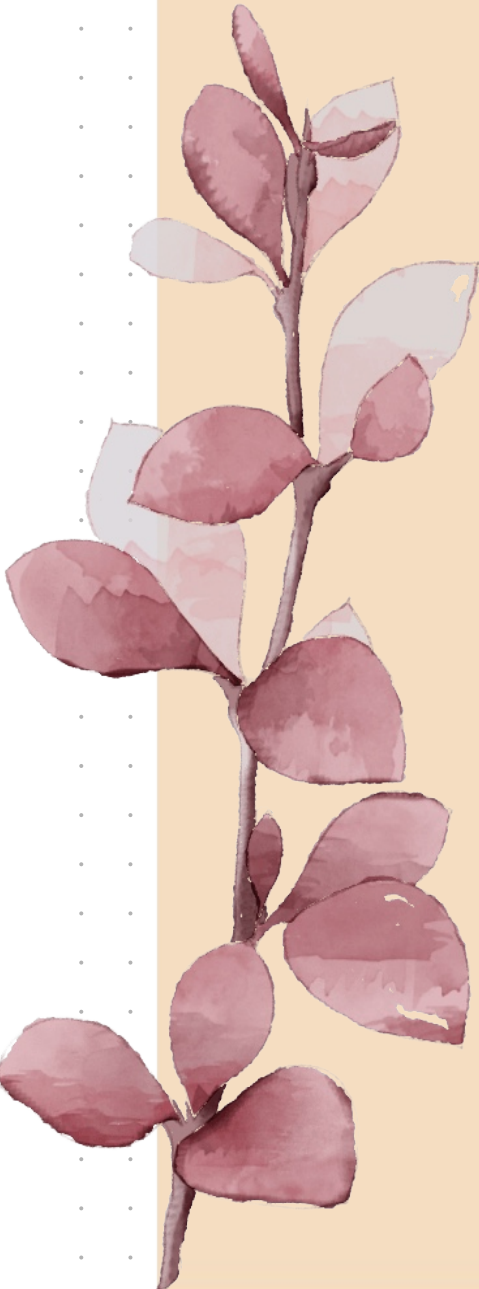
→ فقط قوى فان دير فال ضعيفة

→ يغلي بسهولة

→ نقطة غليانه 0.5°C

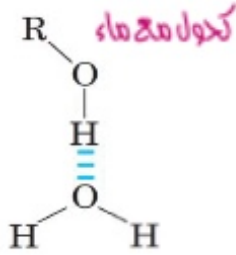
الاستنتاج:

وجود مجموعة OH يرفع نقطة الغليان بشكل كبير جداً

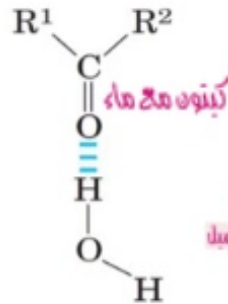


ليست بينو بمسهولة لانو استبدلنا الروابط بينه اذئاب و اطاء و اطاء بروابط
جينية بينه اذئاب و الطاء في حياة هذه روابط هيدروجينية فستساعدننا اضعفها
و عودها الكبير علي الذوبان و سيكون هناك طاقة مفصلة

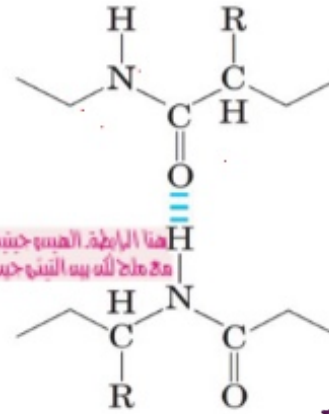
Between the
hydroxyl group
of an alcohol
and water



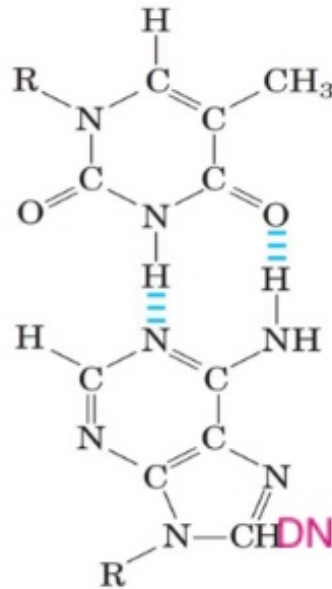
Between the
carbonyl group
of a ketone
and water



Between peptide
groups in
polypeptides



Between
complementary
bases of DNA



Thymine

Adenine

الرابطة الهيدروجينية في جزيء DNA

اي مركب بيقرر يعمل روابط هيدروجينية اذا وجد الهيدروجين و تحققت الكهروسالبية

- **Polar biomolecules dissolve readily** in water because they can replace water-water interactions with **more energetically favorable water-solute** interactions.

الجزئيات الحيوية القطبية تذوب بسهولة في الماء لأنها تستطيع استبدال تفاعلات الماء-الماء بتفاعلات ماء-مذاب تكون مفضلة طاقياً

- In contrast, **nonpolar biomolecules** interfere with water-water interactions but are unable to form water-solute interactions—consequently, nonpolar molecules are **poorly soluble in water**.

هو مستقر فلماء اجي اضيف عليه غير قطبي و هو شيء غريب في هذه الحالة. له يقلل التفاعل

وبالمقابل، الجزئيات الحيوية غير القطبية تعيق تفاعلات الماء-الماء ولكنها غير قادرة على تكوين تفاعلات ماء-مذاب، وبالتالي فإن الجزئيات غير القطبية قليلة الذوبان في الماء

- Uncharged but polar biomolecules such as **sugars dissolve readily** in water because of the stabilizing effect of **hydrogen bonds between the hydroxyl groups or carbonyl oxygen** of the sugar and the polar water molecules.

الجزئيات الحيوية غير المشحونة ولكن القطبية — مثل السكريات — تذوب بسهولة في الماء بسبب التأثير المثبت للروابط الهيدروجينية بين مجموعات الهيدروكسيل أو أكسجين الكربونيل في السكر وجزئيات الماء القطبية

- Alcohols, aldehydes, ketones, and compounds containing N-H bonds all form hydrogen bonds with water molecules and tend to be **soluble in water**.

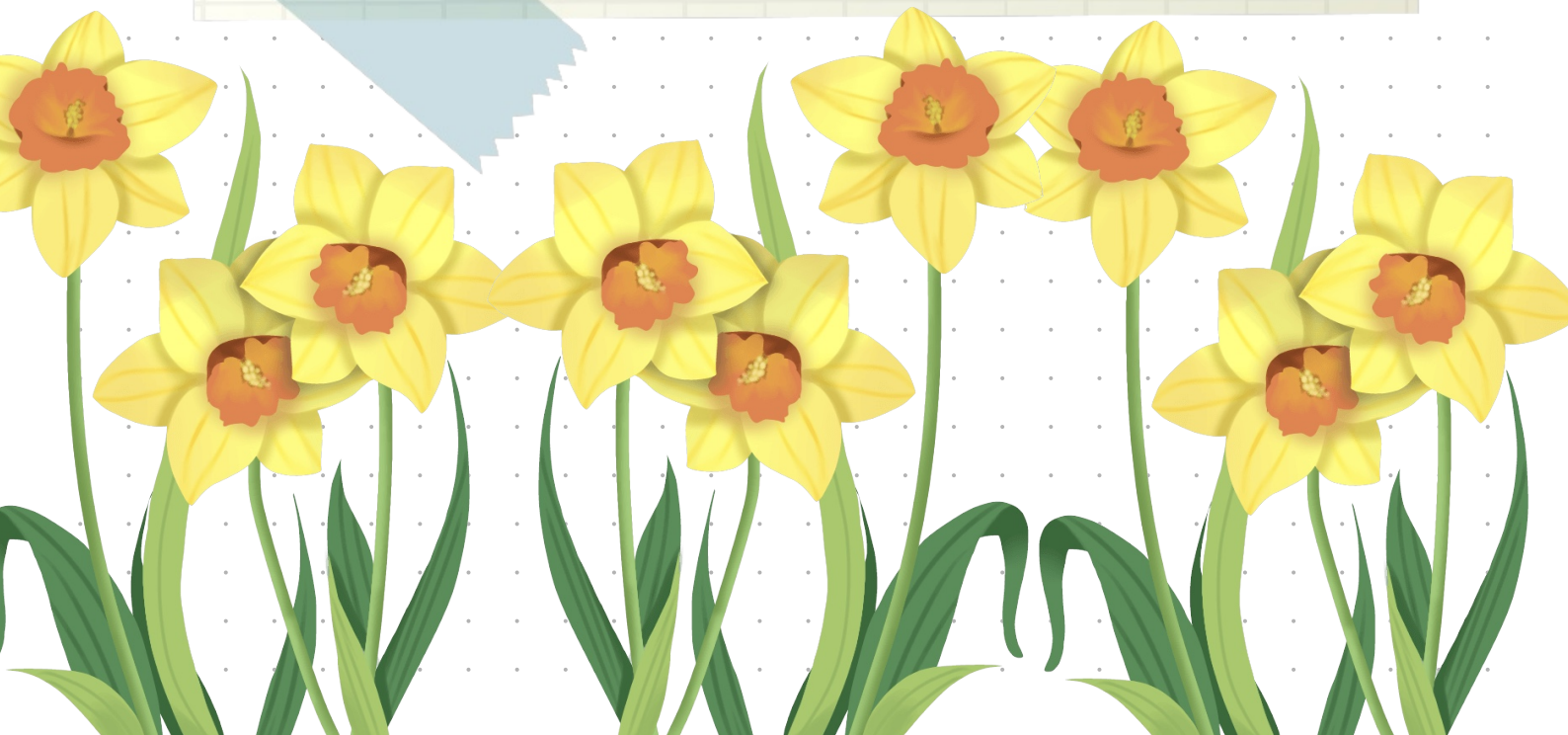
الكحولات، الألدهيدات، الكيتونات، والمركبات التي تحتوي على روابط N-H جميعها تكون روابط هيدروجينية مع جزئيات الماء وتميل إلى أن تكون قابلة للذوبان في الماء

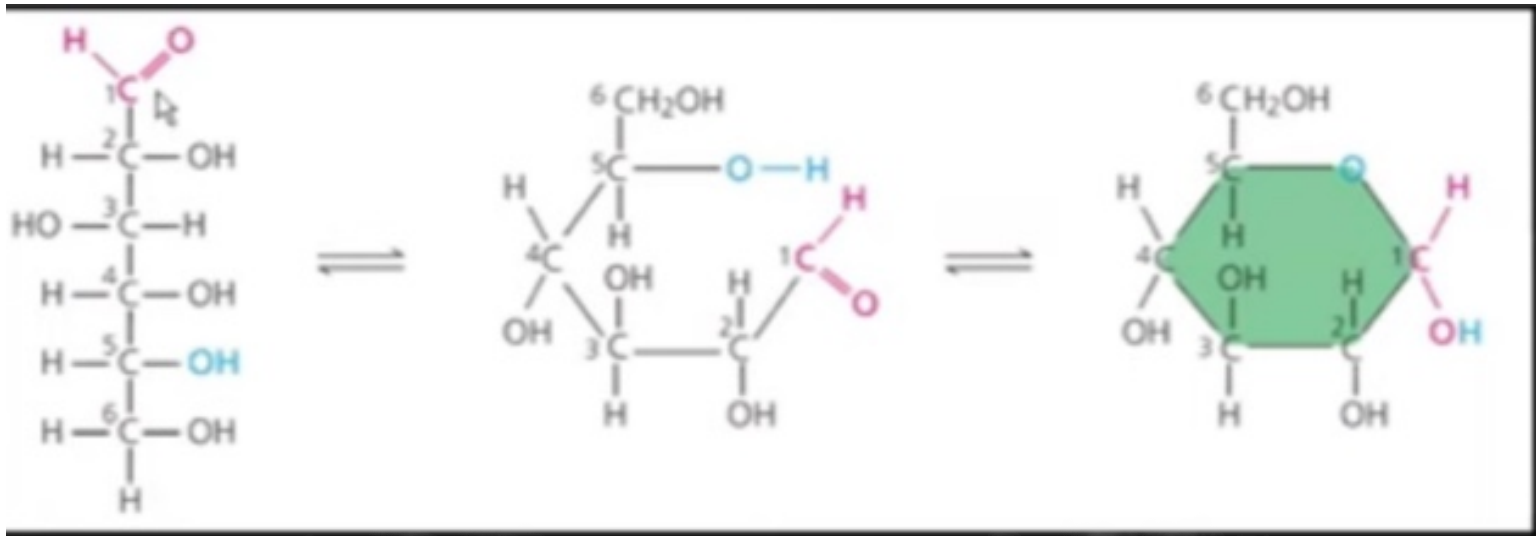


• الماء يذيب المواد القطبية لأنه يستطيع تكوين روابط هيدروجينية معها.

• الجزيئات غير القطبية مثل الدهون والشمع لا تذوب لأن الماء لا يستطيع تكوين روابط معها.

• السكريات تذوب بقوة لأنها مليئة بمجموعة
OH.



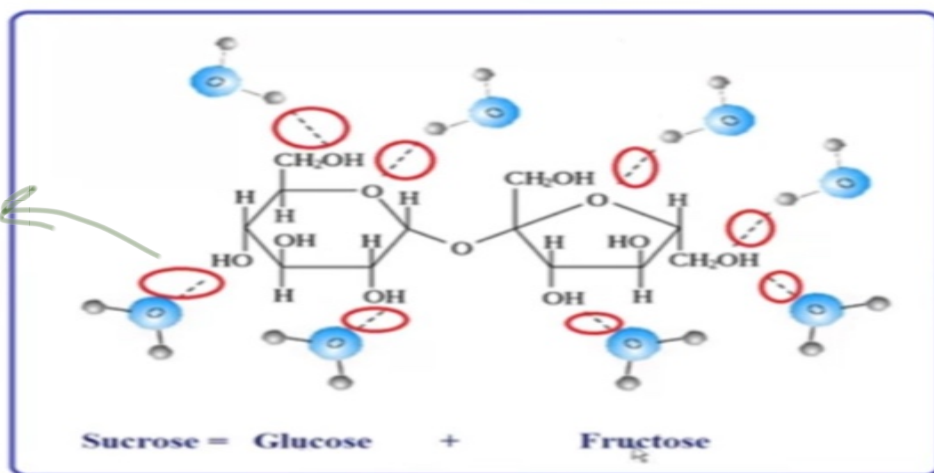


هذا جزئي، جلوكوز و هو عبارة عن ست ذرات كربون و هناك نوعين
من المجموعات الوظيفية
مجموعة الكربونيل
مجموعات الهيدروكسيل

مجموعة الكربونيل هي مجموعة الكهيدية فالأكسجين
مرتبط برابطة تساهمية مع الكربون في هائي الحالة
هيكون على الأكسجين شحنة جزئية سالبة و
الهيدروكسيل نفس الشيء

طبعاً السكريات دائماً التي تمتلك ٥، ٦، ٧ ذرات كربون تميل انها تكون
حلقة عشوائية تكون أكثر استقراراً

Some hydrogen bonds between sucrose and water



مثلاً هائي بتقدر تعمل
رابطة هيدروجينية بين
الأكسجين الي عند الماء

هذا السكروز عبارة عن جلوكوز و فركتوز يرتبطو بينهم بالرابعة الغليكوسيدية (Glycosidic bond)

كل مكان في السكروز عندو امكانية انه يعمل روابط هيدروجينية

لذلك هذه جزيئات السكره السهل جدا ذوبانها في الماء

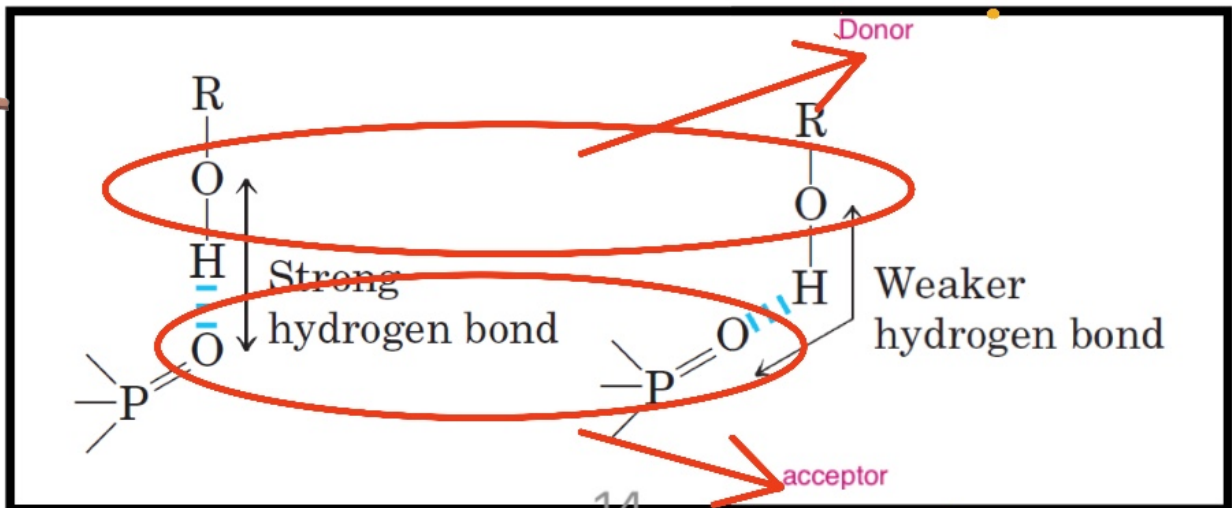
Relatively strong and weak Hydrogen bonds

- Hydrogen bonds are **strongest when** the bonded molecules are oriented to **maximize electrostatic interaction** and **minimize charge repulsion** which occurs when the hydrogen atom and the two atoms that share it are **in a straight line**—that is, when the acceptor atom is in line with the covalent bond between the donor atom and H.

تكون الروابط الهيدروجينية في أقوى حالاتها عندما تكون الجزيئات المرتبطة مصفوفة بطريقة تزيد التفاعل الكهروستاتيكي وتقلل التنافر الشحني، وهذا يحدث عندما يكون الهيدروجين والذرتان المشاركتان في الرابطة على خط مستقيم — أي عندما تكون ذرة المستقبل مصطفة مع الرابطة التساهمية بين ذرة المانح والهيدروجين

- Hydrogen bonds are thus **highly directional** and capable of holding two hydrogen-bonded molecules or groups in a specific geometric arrangement.

وبالتالي، الروابط الهيدروجينية عالية الاتجاهية وقادرة على تثبيت جزيئية أو مجموعتين مرتبطتين هيدروجينياً في ترتيب هندسي محدد





• الرابط الهيدروجيني أقوى عندما يكون خط
مستقيم بينه donor-H-acceptor.

• إذا كان هناك انحناء في الزاوية تصبح الرابطة
أضعف

• هذا سبب انتظام تركيب DNA والبروتينات



الماء يتفاعل كهربائياً مع المذابات المشحونة

Water Interacts Electrostatically with Charged Solutes

تذوب في الماء لأنها أختنا تستطيع استبدال تفاعل (solute-solute) بتفاعل أفضل في الطاقة (water-solute)

- As a polar solvent, **water** readily dissolves most biomolecules, which are generally **charged or polar compounds**

يوصفه مذبياً قطبياً، يذيب الماء بسهولة معظم الجزيئات الحيوية، والتي تكون غالباً مركبات مشحونة أو قطبية

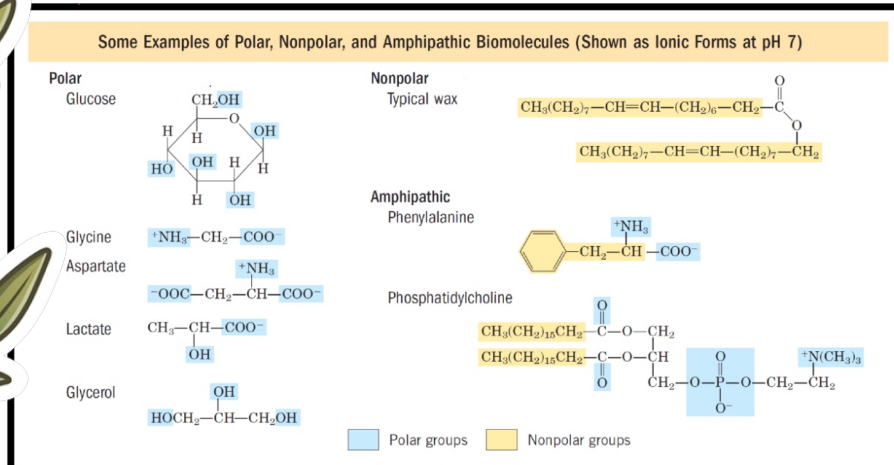
أي شيء محب للماء هو كراه للدهون فينسميه **hydrophilic** (Greek, "water-loving").
Lebophobic

المركبات التي تذوب بسهولة في الماء تُسمى محبة للماء (hydrophilic)

- Nonpolar** solvents such as chloroform and benzene **are poor solvents for polar** biomolecules but easily dissolve those that are **hydrophobic**—nonpolar molecules such as lipids and waxes.

Lebophilic

المذيبات غير القطبية مثل الكلوروفورم والبنزين تعتبر مذيبات ضعيفة للجزيئات الحيوية القطبية لكنها تذيب بسهولة المواد الكارهة للماء — أي الجزيئات غير القطبية مثل الدهون والشموع



الماء يحب الشحنات والقطبية → hydrophilic

الدهون والشموع غير قطبية → hydrophobic

مثل يذيب مثل

لذلك الدهون لا تذوب في الماء، لكنها تذوب في

مذيب غير قطبي مثل البنزين

الماء يذيب المواد القطبية والمشحونة لأنه يستطيع تكوين روابط هيدروجينية وتفاعلات كهروستاتيكية معها.

المواد غير القطبية (lipids, waxes) لا تذوب في الماء لأنها لا تستطيع تكوين روابط مع الماء.

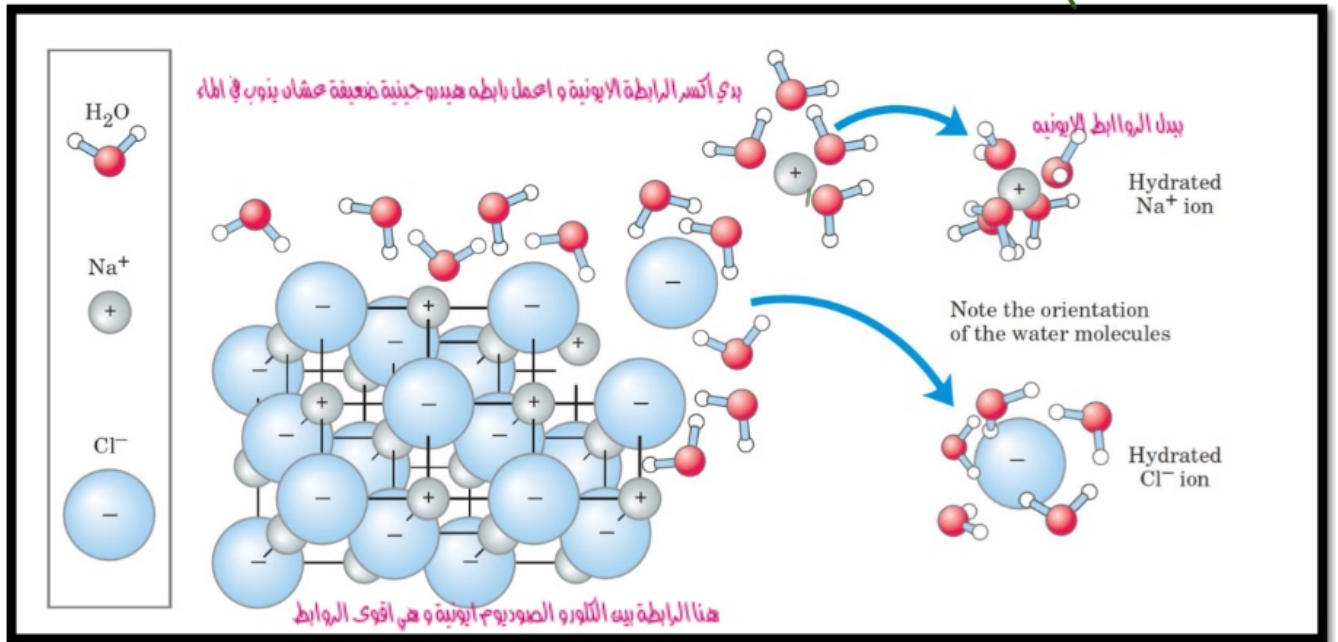
السكريات تذوب بقوة لأنها غنية بمجموعة OH التي تكون روابط هيدروجينية مع الماء. الكحولات، الألهيدات، الكيتونات، والمركبات ذات N-H تذوب أيضاً بسبب الروابط الهيدروجينية.

الرابطة الهيدروجينية تكون أقوى عندما يكون donor-H-acceptor على خط مستقيم.

الروابط الهيدروجينية توجه التركيب ثلاثي الأبعاد في DNA والبروتين.

المركبات المحبة للماء = قطبية/مشحونة.
المركبات الكارهة للماء = غير قطبية، تذوب في مذيبات غير قطبية مثل الكلوروفورم والبنزين.





Water dissolves salts such as NaCl by **hydrating and stabilizing** the Na^+ and Cl^- ions, weakening the electrostatic interactions between them and thus **counteracting their tendency to associate in a crystalline lattice**

بضعف التفاعلات الكهروستاتيكية تحت الرابط الأيونية بينهم و يفتح حودتهم للرابطه الأيونية مجددا و يستبدل الرابطه الأيونية بعدد كبير من الروابط الهيدروجينية

The same factors apply to charged biomolecules, compounds with functional groups such as ionized carboxylic acids ($-\text{COO}^-$), protonated amines ($-\text{NH}_3^+$), and phosphate esters.

Water readily dissolves such compounds by **replacing solute-solute hydrogen bonds** with solute-water hydrogen bonds

👉 يذوب الماء الأملاح مثل NaCl عن طريق ترطيب (إحاطة) واستقرار أيونات الصوديوم Na^+ والكلوريد Cl^- ، مما يضعف التفاعلات الكهروستاتيكية بينها، وبالتالي يقاوم ميلها للاتصاف ضمن شبكة بلورية

👉 تنطبق هذه العوامل نفسها على الجزيئات الحيوية المشحونة، مثل تلك التي تحتوي مجموعات وظيفية كالأحماض الكبروكسيلية المتأينة ($-\text{COO}^-$)، والأمينات المبرتنة ($-\text{NH}_3^+$)، وإسترات الفوسفات

👉 يذوب الماء هذه المركبات بسهولة عن طريق استبدال الروابط الهيدروجينية بين جزيئات المذاب بروابط هيدروجينية بين المذاب والماء



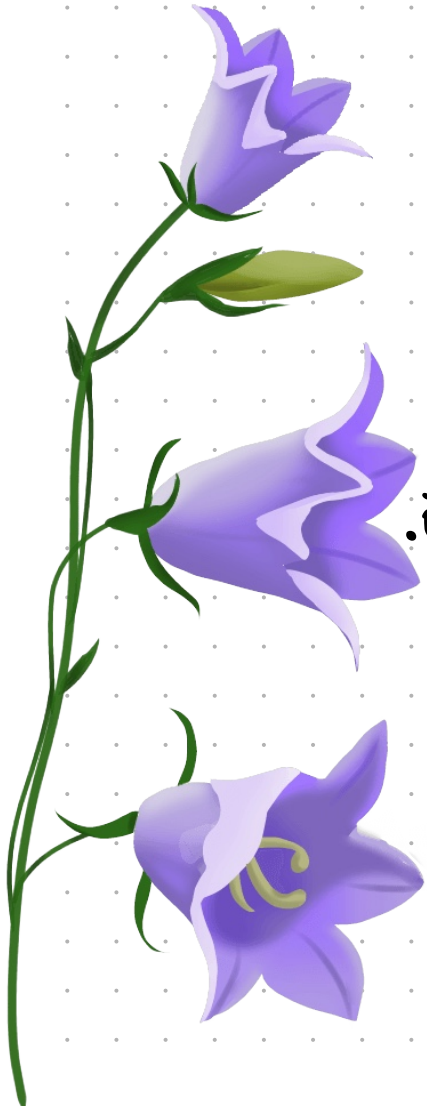
عندما يدخل ملح (مثل NaCl) إلى الماء، لا يبقى على شكل شبكة بلورية صلبة. بل تقوم جزيئات الماء، بسبب قطبيتها العالية، بـ:

1. إحاطة أيونات Na^+ و Cl^- بقوة
— الأتسجيه السالب يتجه نحو Na^+
— الهيدروجيه الموجب يتجه نحو Cl^-
2. تقليل قوى الجذب بين Na^+ و Cl^-
وهذا يمنح إعادة تجمعها إلى بلورة.
3. استقرار الأيونات في الماء عبر تلوين "غلاف إمائه".

وهذا لا يقتصر على الأملاح، بل ينطبق أيضاً على الجزيئات الحيوية المشحونة
— الحمضيات (COO^-)، الأمينات (NH_3^+)، مجموعات الفوسفات
— لأن الماء يشكل معها روابط هيدروجينية قوية.

● الملخص :

- الماء يذيب الأملاح لأنه قطبي وقادر على إحاطة الأيونات.
- الماء يضعف قوى الجذب بين الأيونات ويمنح تشكيل البلورة.
- ينطبق نفس المبدأ على الجزيئات الحيوية المشحونة.
- الماء يستبدل روابط المذاب—المذاب بروابط مذاب—ماء



Entropy increases as Crystalline Substances Dissolve

الطبيب الكيمياء بعد ان رفع الى كونه من الطبقة المتخلفة على الاقلية، والارادة تتوسع و يولود ان الاقلية باءة حكم ما كان في معاينة الجنائيات على الجنائيات التي تتحرك دود قوير وما به في الجنائيات اقلية الجنائيات

As a salt such as **NaCl dissolves**, the Na^+ and Cl^- ions leaving the crystal lattice acquire far greater freedom of motion (**increase entropy**).

عند ذوبان هاليد مثل NaCl ، تكتسب الأيونات Na^+ و Cl^- حرية حركة أكبر بكثير بعد خروجها من الشبكة البلورية (زيادة الإنتروبي).

Melting of the ice is accompanied by an increase of entropy. يحدث انصهار الجليد مع زيادة في الإنتروبيا.

- الإنتروبيا = درجة العشوائية.
- في البلورة، تكون الأيونات مرتبطة في مواقع ثابتة — إنتروبيا منخفضة.
- عند الذوبان، تتحرك الأيونات وتتحرك بحرية — إنتروبيا مرتفعة.
- الطبيعة تفضل الحالات ذات الإنتروبيا الأعلى، ولذلك تذوب الأملاح بسهولة.
- نفس المفهوم يفسر لماذا ينضجر الجلد عند ما ترتفع الحرارة: الماء السائل أكثر عشوائية من الجلد.

● ابلخس :

Nonpolar Gases Are Poorly Soluble in Water

الغازات غير القطبية تكون قليلة الذوبان في الماء

جزيئات الغازات الحيوية المهمة مثل CO_2 و O_2 و N_2 غير قطبية.

- The molecules of the biologically important gases **CO_2 , O_2 , and N_2 are nonpolar.**
- In **O_2 and N_2** , electrons are shared equally by both atoms. في O_2 و N_2 تتشارك الذرات الإلكترونات بالتساوي.
- In **CO_2 , each $\text{C}=\text{O}$ bond is polar**, but the two dipoles are **oppositely directed and cancel each other.** في CO_2 تكون كل رابطة $\text{C}=\text{O}$ قطبية، لكن ثنائي القطب في كل رابطة يعاكس الآخر، فيلغيا بعضهما.

- The movement of molecules from the disordered gas phase into aqueous solution constrains their motion and the motion of water molecules and therefore represents **a decrease in entropy.**

انتقال الجزيئات من غاز عشوائي إلى محلول مائي يقيّد حركتها، وهذا يقلّل الإنتروبيا، مما يجعلها قليلة الذوبانية في الماء.

- The **nonpolar nature of these gases and the decrease in entropy** when they enter solution combine to make them **very poorly soluble in water.** الطبيعة غير القطبية لهذه الغازات مع انخفاض الإنتروبيا عند ذوبانها في الماء يجعلها قليلة الذوبانية جداً.

- water-soluble carrier proteins (hemoglobin)** that facilitate the transport of O_2 .

البروتينات الحاملة القابلة للذوبان في الماء (مثل الهيموغلوبين) تسهّل نقل الأكسجين

- CO_2 forms carbonic acid (H_2CO_3) in aqueous solution and is transported as the HCO_3^- (bicarbonate) ion,** either free—bicarbonate is very soluble in water (~100 g/L at 25 °C)—or bound to hemoglobin.

إما، HCO_3^- في المحلول المائي، ويتم نقله على شكل أيون البيكربونات (H_2CO_3) يكون حمض الكربونيك - HCO_3^- أو على شكل مرتبط مع H_2O (حوالي 100 غ/لتر عند 25 °C) بشكل حر — حيث إن البيكربونات ذو ذائبية عالية جداً في الماء الهيموغلوبين.

- Two other gases, **NH_3 and H_2S** , also have biological roles in some organisms; these gases **are polar** and dissolve readily in water.

غازان آخران هما الأمونيا NH_3 وكبريتيد الهيدروجين H_2S لهما دور بيولوجي في بعض الكائنات، وهما قطبيتان ولذلك يذوبان بسهولة في الماء.

dissolve readily in water.

Gas	Structure*	Polarity	Solubility in water (g/L) [†]
Nitrogen	$\text{N}\equiv\text{N}$	Nonpolar	0.018 (40 °C)
Oxygen	$\text{O}=\text{O}$	Nonpolar	0.035 (50 °C)
Carbon dioxide	$\begin{array}{c} \delta^- \quad \delta^+ \\ \text{O}=\text{C}=\text{O} \end{array}$	Nonpolar	0.97 (45 °C)
Ammonia	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{N} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \delta^- \end{array}$	Polar	900 (10 °C)
Hydrogen sulfide	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{S} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \delta^- \end{array}$	Polar	1,860 (40 °C)

هذان يولر لأنو فقت عندهم أي تشارج نتيجة هائي الرابطة

أما هذا فالرابطة التي فيهم كهوسالدية يعني عندي سال و موجب تشارج. لأنه يلكو بعض لأنهم عندهم بعض

لماذا CO_2 ذوبانيته أعلى رغم أنه غير قطبي؟

لأنه يدخل في تفاعل كيميائي مع الماء → يتحول إلى حمض الكربونيك → ثم إلى بيكربونات. إذن: ليس لأنه يذوب "بشكل ممتاز"، بل لأنه يتفاعل ويختفي مع المحلول فيزداد ذوبانه.

هذا السلايد يشرح سبب أن الغازات الحيوية المهمة غير قابلة للذوبان بسهولة في الماء.

- الماء قطبي.
- الغازات مثل O_2 و N_2 و CO_2 غير قطبية.
- المواد غير القطبية لا تشكّل روابط جيدة مع الماء → إذن لا تذوب.

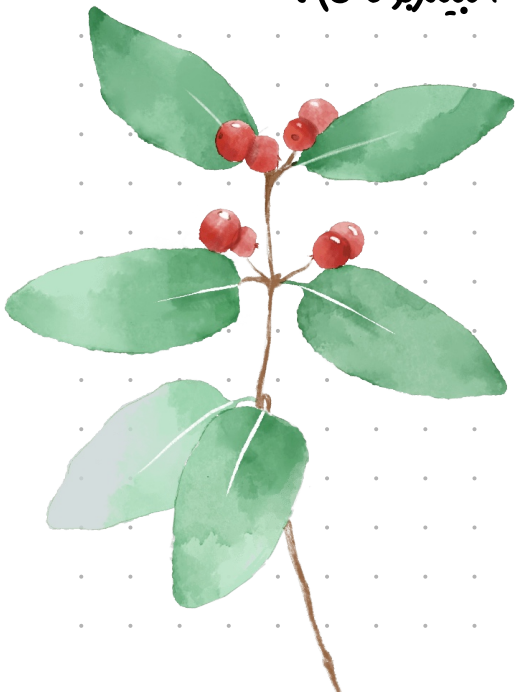
بالإضافة:

- عندما يدخل الغاز الماء، تقل حركته → تنخفض الإنتروبيا → والطبيعة لا تفضل ذلك.
- لذلك يجب على الجسم أن يستخدم أنظمة خاصة لحمل هذه الغازات مثل:
- هيموغلوبين لنقل O_2
- البيكربونات لنقل CO_2

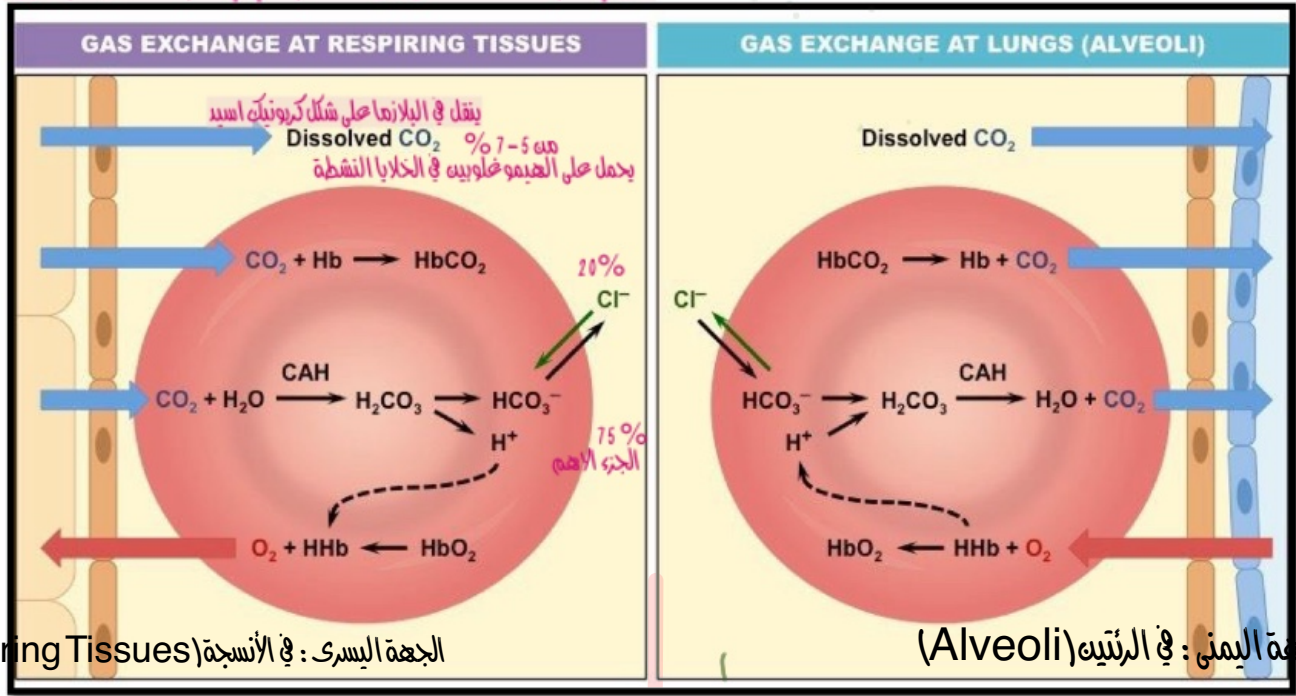
بينما غازات مثل NH_3 و H_2S قطبية → تذوب بسهولة

الغازات الحيوية المهمة (O_2 , N_2 , CO_2) غير قطبية → ذوبانها في الماء ضعيف.

- دخول الغاز الماء يقلل الإنتروبيا → يقلل الذوبانية.
- HCO_3^- يذوب أكثر لأنه يتفاعل ليصبح CO_2 .
- الجسم يحتاج حوامل لنقل هذه الغازات (الهيموغلوبين – البيكربونات).
- غازات مثل NH_3 و H_2S قطبية → ذوبانها عالي



كلما يحكي عن تبادل الغازات فانا عندي نوعيه من النسجه التي هي النسجه النشطه و النسجه الرتيبه



الجهة اليسرى: في الأنسجة (Respiring Tissues)

الجهة اليمنى: في الرئتين (Alveoli)

هنا يحدث تبادل غازات بين الخلايا والدم:

يتم عكس العملية:

- 1 دخول CO₂ إلى كريات الدم الحمراء.
الخلايا تنتج ثاني أكسيد الكربون CO₂.
يدخل CO₂ داخل كريات الدم الحمراء (RBCs).

- 1 دخول O₂ إلى كريات الدم الحمراء

الأكسجين يدخل ويرتبط بالهيموغلوبين HbO₂ → ويضطر Hb لتحرير H⁺.

- 2 تكون حمض الكربونيك داخل الخلية:
CO₂ + H₂O → H₂CO₃
(بوجود إنزيم Carbonic Anhydrase CAH)

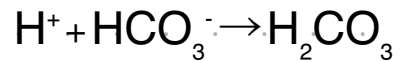
- 2 رجوع البيكربونات إلى الخلية

(عكس تبادل الكلوريد) Cl⁻ يدخل الخلية ويخرج HCO₃⁻.

- 3 تحلل حمض الكربونيك فيتلون:
H₂CO₃ → HCO₃⁻ + H⁺
• بيكربونات HCO₃⁻
• بروتونات H⁺

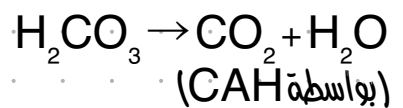
- 3 اتحاد H⁺ + HCO₃⁻

ليكون حامض الكربونيك:



- 4 خروج البيكربونات HCO₃⁻ يغادر الخلية إلى البلازما (يشكل 75% من نقل CO₂). بدلاً منه يدخل Cl⁻ إلى الخلية (تبادل الكلوريد - Chloride Shift) للمحافظة على الشحنة.

- 4 تفكك حمض الكربونيك



- 5 تصريف الهيموغلوبين الهيموغلوبين يمتص H⁺ (يعمل كمُنظّم pH). وبسبب زيادة H⁺، يقل القلوية → الهيموغلوبين يحرر الأكسجين للخلايا.

- 5 خروج CO₂ إلى الحويصلات

- 6 جزء من CO₂ يرتبط مع Hb 10% من CO₂ يرتبط مباشرة بالهيموغلوبين → كبرامينو هيموغلوبين HbCO₂

يخرج CO₂ من RBC إلى الحويصلة الهوائية → ثم يُزفر

نقل ثاني أكسيد الكربون على شكل حمض الكربونيك Transport of CO₂ as Carbonic Acid

- عندما يدخل CO₂ إلى كريات الدم الحمراء، يتحد مع الماء ليشكل حمض الكربونيك (بتحفيز إنزيم CAH)
When CO₂ enters the erythrocyte, it combines with water to form carbonic acid (reaction catalyzed by carbonic anhydrase CAH)
- ثم يتفكك حمض الكربونيك (H₂CO₃) ليكون أيونات الهيدروجين (H⁺) والبيكربونات (HCO₃⁻)
The carbonic acid (H₂CO₃) then dissociates to form hydrogen ions (H⁺) and bicarbonate (HCO₃⁻)
- البيكربونات خارج الخلية مقابل دخول أيونات الكلوريد (الحفاظ على التوازن الكهربائي في الخلية)
Bicarbonate is pumped out of the cell in exchange with chloride ions (exchange ensures the erythrocyte remains uncharged)
- البيكربونات في البلازما ترتبط بالصوديوم لتكون بيكربونات الصوديوم (NaHCO₃)، والتي تنتقل إلى الرئتين
The bicarbonate in the blood plasma combines with sodium to form sodium bicarbonate (NaHCO₃), which travels to the lungs
- أيونات الهيدروجين داخل الكرية تجعل الوسط أقل قلوية، مما يدفع الهيموغلوبين لتحرير الأكسجين
The hydrogen ions within the erythrocyte make the environment less alkaline, causing hemoglobin to release its oxygen
- يتمص الهيموغلوبين أيونات H⁺ ويعمل كمنظم للحفاظ على pH داخل الخلية
The hemoglobin absorbs the H⁺ ions and acts as a buffer to maintain the intracellular pH
- عندما تصل الكرية الحمراء إلى الرئتين، يتم ضخ البيكربونات عائداً إلى داخل الخلية وتنعكس العملية كلها
When the red blood cell reaches the lungs, bicarbonate is pumped back into the cell and the entire process is reversed.

- معظم CO₂ في الدم يُنقل على شكل بيكربونات (HCO₃⁻) (حوالي 75%).
- جزء بسيط ينوب مباشرة (5%).
- والباقي يرتبط بالهيموغلوبين (10%).
- إنزيم Carbonic Anhydrase سريع جداً ويحول CO₂ ↔ HCO₃⁻.
- في الأنسجة:
- يتكون H⁺ → يحرر Hb الأكسجين للخلايا.
- في الرئتين:
- ويؤثر CO₂ تتحول البيكربونات إلى H⁺ يتحرر Hb → يدخل O₂.

HCO₃⁻ و H⁺ ثم إلى H₂CO₃ إلى CAH يدخل كريات الدم → يتحول بواسطة CO₂ (تبادل الكلوريد) Cl⁻ يخرج مقابل دخول HCO₃⁻.
الأكسجين للخلايا Hb ويخفض القلوية، فيحرر (Hb) يرتبط بالهيموغلوبين H⁺

في الرئتين:
H⁺ يرتبط بالأكسجين → يحرر Hb
يؤثر CO₂ + H₂O → يتحول إلى H₂CO₃ → H⁺ يدخل الخلية مجدداً → يتحد مع HCO₃⁻

Nonpolar Compounds Force Energetically Unfavorable Changes in the Structure of Water

- When **water is mixed with benzene** or hexane, **two phases form**; neither liquid is soluble in the other.

عندما يخلط الماء مع البنزين أو الهكسان تتكون طبقتان منفصلتان؛ ولا واحد منهما يذوب في الآخر.

- Nonpolar compounds such as **benzene and hexane** are **hydrophobic**—they are **unable** to undergo energetically favorable interactions with water molecules, and **they interfere with the hydrogen bonding** among water molecules.

المركبات غير القطبية مثل البنزين والهكسان هي هيدروفوبيك (كارهة للماء) — لا تستطيع تكوين تفاعلات طاقة مفضلة مع الماء، وتداخل مع الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء.

- All molecules or ions in aqueous solution interfere with the hydrogen bonding of some water molecules in their immediate proximity or neighborhood.

كل الجزيئات أو الأيونات في المحلول تعطل الروابط الهيدروجينية لجزيئات الماء القريبة منها.

- polar or charged solutes** (such as NaCl) **compensate** for lost water-water hydrogen bonds by forming **new solute-water interactions**.

الذوائب القطبية أو المشحونة (مثل NaCl) تعوض هذا الاضطراب بتكوين تفاعلات جديدة بين المذاب والماء.

- Hydrophobic solutes**, however, **offer no such compensation**, and their addition to water may therefore result in a measurable decrease in entropy.

الذوائب الهيدروفوبية لا تقدم أي تعويض، ولذلك تسبب انخفاضا ملحوظا في الإنتروبيا.

- Water molecules** in the immediate proximity or neighborhood of a **nonpolar solute** are constrained in their possible orientations as they **form a highly ordered cage-like shell** around each solute molecule.

جزيئات الماء في جوار المذاب غير القطبي تكون مقيدة في حركتها وتشكل قفصا منتظما حوله.

المواد غير القطبية لا تتفاعل مع الماء. النتيجة أن الماء
يجبر على تنظيم نفسه حول هذه الجزيئات في قفص
هيدراتي، مما يقلل الإنتروبيا (الانظام). هذا الترتيب
مجهود طاقي غير مفضل، لذلك الماء "يرفض" المواد
غير القطبية → وهذا سبب عدم ذوبانها.

المُلخَص

المركبات غير القطبية لا تذوب في الماء لأنها تُضعف الروابط
الهيدروجينية وتقلل الإنتروبيا.
الماء يكون قفصاً ثابتاً حولها → تغيير غير مفضل طاقياً.
لهذا السبب تسمى المواد غير القطبية هيدروفوبية.

Amphipathic compounds

المركبات الأمفيغاثية
الأمفوتيري
يطلق على أي شيء له صفتين متضادتين

هو أمفوتيري بالنسبة للقريبة

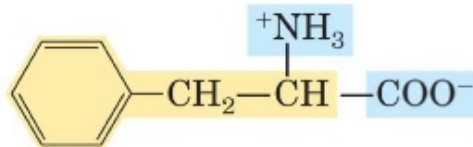
- **Amphipathic** compounds contain regions that are **polar (or charged) and regions that are nonpolar**. المركبات الأمفيغاثية تحتوي مناطق قطبية (أو مشحونة) ومناطق غير قطبية.

- When an amphipathic compound is mixed with water, the **polar, hydrophilic region interacts favorably** with the solvent and tends to dissolve, but the nonpolar, hydrophobic region tends to avoid contact with the water: عند خلطها بالماء: الجزء القطبي المحب للماء يتفاعل مع الماء ويزوب فيه. الجزء غير القطبي الكاره للماء يتجنب الماء.

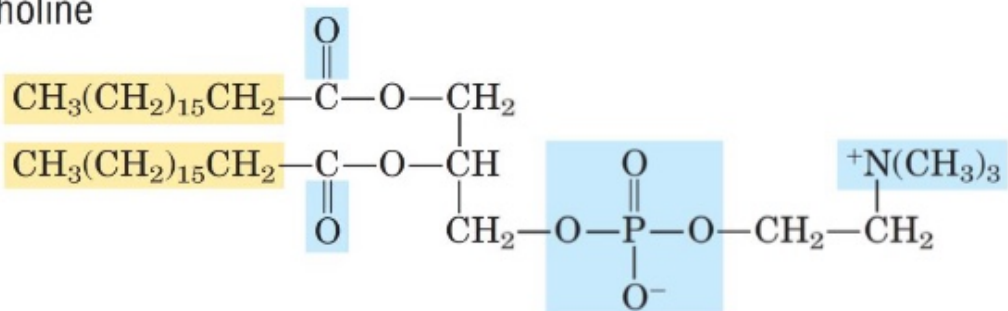
الصورة توضح:

فينيل ألانين → يحتوي جزءاً عظمياً غير قطبي وجزءاً أمينياً/كربوكسيمياً قطبياً.
الفوسفوليبيد (phosphatidylcholine) → رأس قطبي + ذيلان هيدروفوبيان.

Amphipathic
Phenylalanine



Phosphatidylcholine



Polar groups



Nonpolar groups

هذه الجزيئات هي الأساس في تكوين الأغشية الخلوية.
جزؤها القطبي يواجه الماء، وجزؤها غير القطبي يهرب منه، وهذا يسمح لها
بتنظيم نفسها في هياكل مثل الميلايزو والليبوسومات وطبقات الدهون الثنائية.

الملخص



مركبات تحمل جزأين متعاكسين: محب للماء، وكاره للماء.
في الماء → الجزء القطبي يذوب، والجزء غير القطبي يختبئ.
مهمة جداً في تكوين أغشية الخلايا.



Amphipathic interaction with water

تفاعل المركبات الأمفيثاتية مع الماء

- The **nonpolar regions** of the amphipathic molecules **cluster together to present the smallest hydrophobic area** to the aqueous solvent, and the **polar regions are arranged to maximize their interaction with the polar solvent**, thus forming relatively stable structures of amphipathic compounds in water, called **micelles**.

المناطق غير القطبية تتجمع معاً لتقلل مساحة السطح الملامسة للماء.
المناطق القطبية ترتب نفسها لتزيد تفاعلها مع الماء.
هذا يؤدي إلى تكوين هياكل تسمى الميسلين.

- The **forces that hold the nonpolar regions** of the molecules together are called **hydrophobic interactions**.

القوى التي تربط المناطق غير القطبية معاً تسمى التفاعلات الهيدروفوبية.

هي ليست "تجاذب"، بل هي "هروب مشترك" من الماء.

- The **strength of hydrophobic interactions** is not due to any intrinsic attraction between nonpolar moieties. Rather, **it results from the system's achieving greatest thermodynamic stability by minimizing** the number of **ordered water** molecules required to surround hydrophobic portions of the solute molecules.

قوة التفاعلات الكارهة للماء لا تعود إلى أي تجاذب حقيقي بين الأجزاء غير القطبية بل تنتج من سعي النظام لتحقيق أعلى استقرار حراري ديناميكي عبر تقليل عدد جزيئات الماء المرتبة التي يجب أن تحيط بالأجزاء الكارهة للماء.

الأجزاء غير القطبية لا تجذب بعضها، لكنها تتجمع لتقلل ملامسة الماء.

الماء يصبح "منظماً" حول أي جزء كاره للماء.

- هذا التنظيم يقلل الإنتروبيا (غير مناسب).
- تجمع الأجزاء الكارهة للماء يقلل هذا التنظيم، فيزيد الإنتروبيا ويصبح النظام أكثر استقراراً.

- Many biomolecules are amphipathic**, e.g. proteins, pigments, certain vitamins, and the sterols and phospholipids of membranes all have polar and nonpolar surface regions.

العديد من الجزيئات الحيوية تكون أمفيثاتية مثل البروتينات، الأصباغ، بعض الفيتامينات، والستيرويدات والفسفوليبيدات في الأغشية — all تحتوي على مناطق قطبية وغير قطبية على سطحها.

الفسفوليبيدات → أساس الأغشية

• البروتينات → سطحها يحتوي أجزاء محبة وكارهة للماء

- Hydrophobic interactions** among lipids, and between lipids and proteins, are the most important determinants of **structure in biological membranes**.

Hydrophobic interactions between nonpolar amino acids also stabilize the three-dimensional structures of proteins. التفاعلات الكارهة للماء بين الدهون، وبين الدهون والبروتينات، هي أهم العوامل المحددة لبنية الأغشية الحيوية.

التفاعلات الكارهة للماء بين الأحماض الأمينية غير القطبية تسهم أيضاً في تثبيت البنى ثلاثية الأبعاد للبروتينات

التفاعلات الكارهة للماء هي أهم قوة تساهم في تشكيل الأغشية وتثبيت البروتينات

1. الجزيئات الأمفيغيلية تحتوي :

- جزء محب للماء (polar)
- جزء كاره للماء (nonpolar)

2. عند دخولها الماء :

- الأجزاء الكارهة للماء تتجمع لتقلل ملامسة الماء.
- الأجزاء المحبة للماء تخرج للخارج لتتفاعل مع الماء.

3. هذا يؤدي إلى تكوين الميسيلات (micelles) وهي تراكيب مستقرة.

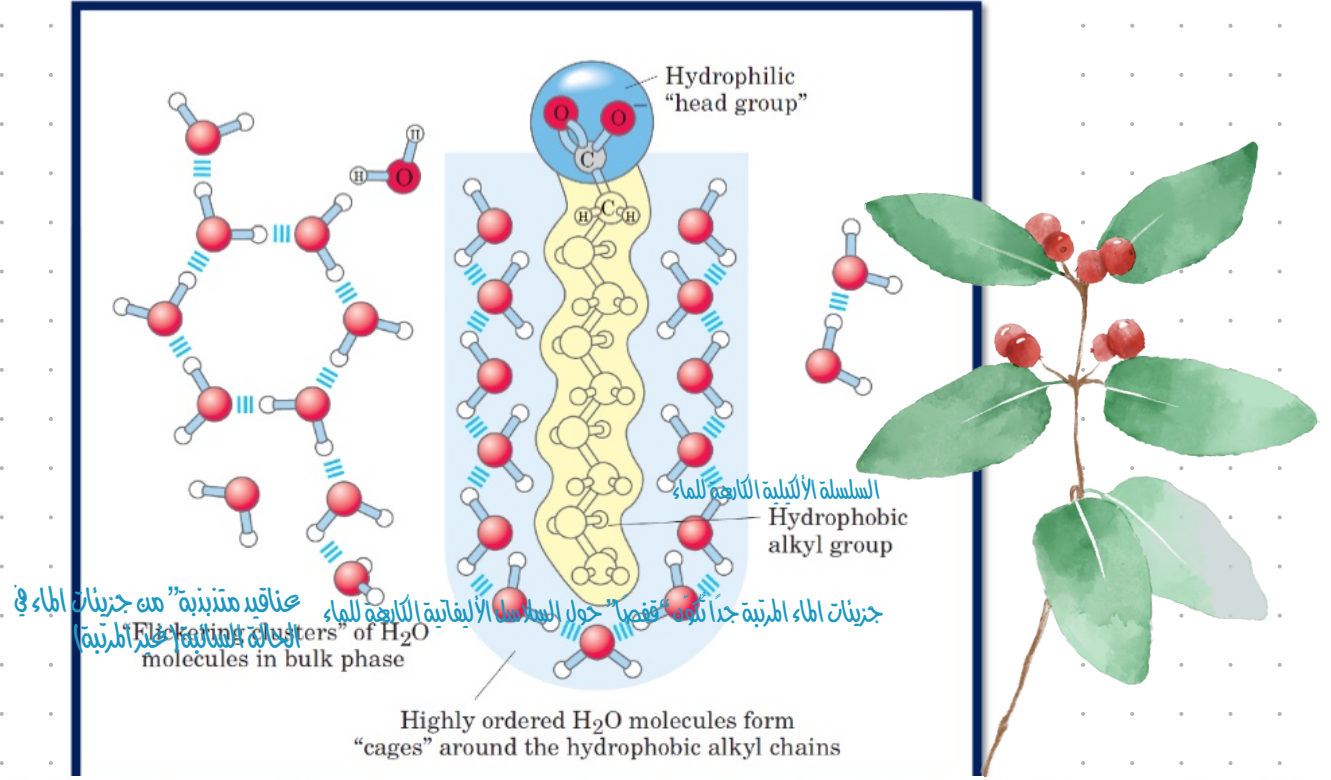
4. التفاعلات الكارهة للماء ليست بسبب تجاذب بين الجزيئات، بل بسبب رغبة الماء في عدم الترتيب حول الأجزاء غير القطبية (زيادة الإنتروبيا).

5. هذه التفاعلات هي الأساس البنيوي :

- للدهون
- للبروتينات الغشائية
- للأغشية الحيوية كاملة



مجموعة رأس محبة للماء



Long-chain fatty acids have very hydrophobic alkyl chains, each of which is surrounded by a layer of **highly ordered water molecules**.

الأحماض الدهنية طويلة السلسلة تمتلك سلاسل أليفاتية شديدة الكراهية للماء، وكل سلسلة منها تكون محاطة بطبقة من جزيئات ماء عالية الترتيب.

عندما تذوب الأحماض الدهنية (والدهون بشكل عام) في الماء:

- الجزء الرأسي (الهيدروفيليك) يحب الماء ويتفاعل معه.
- أما السلسلة الكربونية الطويلة (الهيدروفوبيك) فهي تترك الماء.

لذلك الماء يُجبر على تكوين طبقة مرتبة جداً حول الجزء الكاره للماء، وهذا يسمى:

✓ Hydrophobic effect
أو التجميع الكاره للماء.

السلاسل الدهنية الطويلة لا تذوب في الماء لأنها كارهة للماء.

- الماء يكون حولها طبقة من الجزيئات شديدة الترتيب (cage).
- هذا الترتيب يقلل الإنتروبيا → والطبيعة تتركه قليلة الإنتروبيا.
- لذلك تميل الجزيئات الدهنية إلى التجمع معاً لتقليل مساحة ملامستها للماء.

جزيئات الماء حول الجزء الكاره للماء تفقد حريتها وتصبح على شكل "قفص" مرتب.

وهذا يقلل من الإنتروبيا (العشوائية)، وبالتالي يكون غير مفضل.

هذه الفكرة هي الأساس في تكوين:

- الميسيلات micelles
- أغشية الخلايا cell membranes
- البروتينات ذات المناطق الهيدروفوبية



كل جزيء دهني يجبر جزيئات الماء المحيطة به على أن تصبح عالية الترتيب

Dispersion of lipids in H₂O

Each lipid molecule forces surrounding H₂O molecules to become highly ordered.

لو كل جزيء دهني كان لوحده في الماء، ستتصطر جزيئات ماء كثيرة للترتيب حوله — وهذا غير مفضل للطاقة

عندما تتجمع جزيئات الدهون، فإن الأجزاء الواقعة على حافة التجمع فقط هي التي تجبر الماء على الترتيب. وبالتالي يصبح عدد جزيئات الماء المرتبة أقل، وتزداد الإنتروبيا

Clusters of lipid molecules

Only lipid portions at the edge of the cluster force the ordering of water. Fewer H₂O molecules are ordered, and entropy is increased.

التجمع يقلل مساحة التلامس مع الماء، فيقل ترتيب الماء → فيزيد الإنتروبيا → يصبح النظام أكثر استقراراً

في المايسيل، تُعزل جميع المجموعات الكارهة للماء بعيداً عن الماء، ويقل عدد جزيئات الماء المرتبة لأقل حد ممكن، وتزداد الإنتروبيا أكثر

Micelles

All hydrophobic groups are sequestered from water; ordered shell of H₂O molecules is minimized, and entropy is further increased.

المايسيل هو الشكل الأكثر استقراراً:

- الذبول الدهنية تكون للداخل
- والرووس المحبة للماء تكون للخارج

بالتالي الماء لا يحتاج أن يترتب حول كل ذيل → وهذا ممتاز من ناحية الطاقة

1. كل جزيء دهني في الماء يسبب ترتيب شديد لجزيئات الماء

عندما تنتشر جزيئات الدهون (الليبيدات) في الماء، كل جزيء يحتوي جزء كاره للماء (الهيدروفوبيك). الماء يضطر لتكوين طبقة مرتبة جداً حول هذا الجزء → وهذا يقلل الإنتروبيا (العشوائية).
! انخفاض الإنتروبيا = غير مفضل للطبيعة.

2. الليبيدات تتجمع لتقليل الترتيب الشديد لجزيئات الماء بدل ما يكون كل جزيء لوحده، تتجمع الجزيئات الدهنية معاً لتكوين عقد (Clusters).
لماذا؟
لأن:

- فقط الجزيئات الموجودة على أطراف التجمع تجبر الماء على الترتيب.
 - بينما الجزيئات الداخلية لا تلامس الماء أصلاً.
- هذا يقلل عدد جزيئات الماء المرتبة → الإنتروبيا تزيد → الوضع يصبح أكثر استقراراً.

3. تكون الميسيل (Micelle)

- مع زيادة عدد الجزيئات الدهنية، يحدث ترتيب أكبر:
- كل المجموعة الهيدروفوبية (tail) تختفي في الداخل.
 - الرؤوس المحبة للماء (head) تتجه للخارج وتلامس الماء.

♦ النتيجة: تكون ميسيلة Micelle وهي كرة مجوفة مكونة من الدهون، الجزء الداخلي كاره للماء والخارجي محب للماء.

4. لماذا هذا مهم؟

تكوين الميسيلات:

- يزيد الإنتروبيا (العشوائية) → وهذا مفضل للطبيعة.
- يخفي الأجزاء الكارهة للماء بعيداً عن الماء.
- يقلل من كمية الماء المرتبة بشكل غير طبيعي.

هذه العملية هي نفسها التي تسمح بتكوين:

- أغشية الخلايا (Cell membranes)
- البروتينات التي تطوي أجزائها الهيدروفوبية للداخل
- Move fat in blood as micelles

☆ الفكرة الرئيسية

Release of ordered water favors formation of an enzyme-substrate complex

عندما يرتبط الإنزيم بالركيزة، يتم تحرير جزيئات الماء التي كانت مرتبة حول السطح القطبية → وهذا يزيد الإنتروبيا → مما يجعل الارتباط energetically favorable (مفضل طاقياً)

- Hydrogen bonding between water and polar solutes also causes some ordering of water molecules, but the effect is less significant than with nonpolar solutes.

الروابط الهيدروجينية بين الماء والمواد القطبية أيضاً تسبب بعض ترتيب لجزيئات الماء، لكنه تأثيرها أقل بكثير مقارنة بالمواد غير القطبية

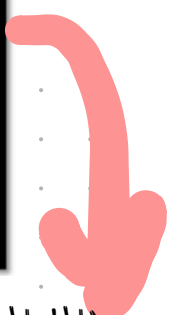
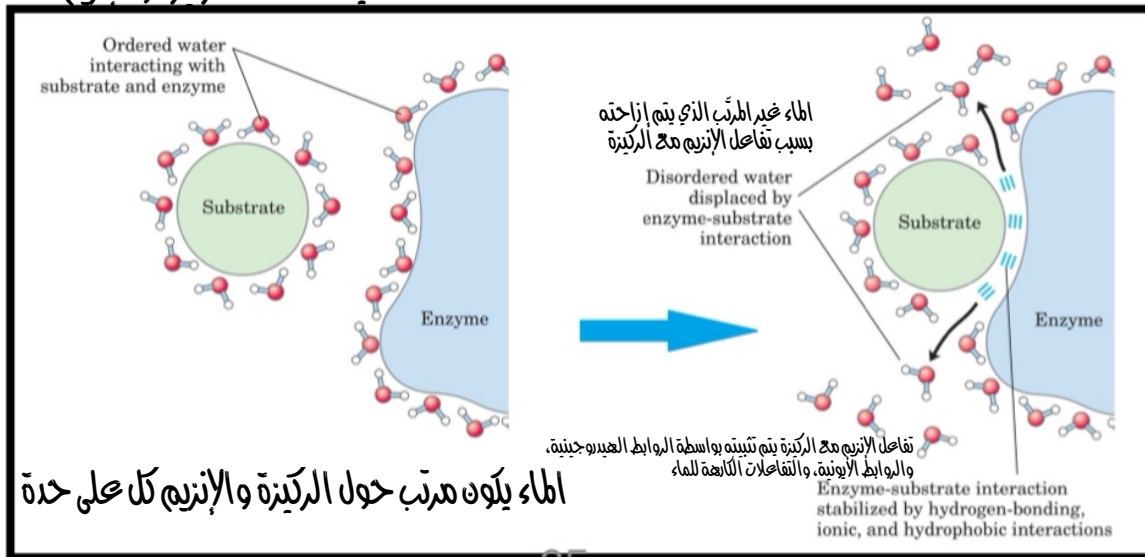
المواد القطبية تتفاعل مع الماء، فيصبح ترتيب الماء حولها قليل ومؤقت، على عكس المواد غير القطبية التي تجبر الماء على ترتيب كبير وثابت

- Part of the driving force for binding of a polar substrate (reactant) to the complementary polar surface of an enzyme (both are separate entities) is the entropy increase as the enzyme displaces ordered water from the substrate.

جزء من القوة الدافعة لارتباط ركيزة قطبية بسطح إنزيم قطبي مكمل لها هو الزيادة في الإنتروبيا التي تحدث عندما يزيد الإنزيم جزيئات الماء المرتبة عنه سطح الركيزة

الإنزيم عندما يلتصق بالركيزة، يطرد الماء المرتب حول الركيزة → الماء يصبح حر الحركة → الإنتروبيا تزيد → النظام يصبح أكثر استقراراً

الماء المرتب (ذو الترتيب العالي) الذي يتفاعل مع الركيزة والإنزيم



الماء يكون مرتب حول الركيزة والإنزيم كل على حدة

الإنزيم يزيد الماء المرتب → يصبح الماء "غير مرتب" → الإنتروبيا تزيد → الطاقة الحرة للنظام تنخفض → الارتباط يصبح مجدياً

1. المواد الكارهة للماء تجعل الماء يترتب نفسه حولها بشكل قوي، وهذا يقلل الإنتروبيا.
2. تجمع هذه المواد يقلل ترتيب الماء → يزيد الإنتروبيا → النظام يصبح أكثر استقراراً.

3. تشكّل الماءيسيل هو الشكل الأكثر استقراراً.

4. في الإنزيمات والركائز:

- الماء المرتب حول كل منهما يطرد عند الارتباط
- هذا يزيد الإنتروبيا
- لذلك الارتباط يصبح مفضلاً طاقياً



قبل ارتباط الإنزيم بالركيزة، تكون جزيئات الماء حولهما مرتبة جداً → وهذا يقلل الإنتروبيا.

- عند دخول الركيزة إلى الإنزيم، يتم طرد الماء المرتب → ليصبح الماء غير مرتب (زيادة الإنتروبيا)، وهذا يجعل العملية مفضلة.

- بعد الارتباط، يتم تثبيت المركب (إنزيم + ركيزة) عند:

• روابط هيدروجينية

• روابط أيونية

• تفاعلات كارهة للماء

وهذا يسهل حدوث التفاعل الإنزيمي

Solutes Affect the Colligative Properties of Aqueous

المذابات تؤثر على الخواص التجميعية للمحاليل المائية

- **Solutes** of all kinds **alter certain physical properties** of the solvent, water: its
 - vapor pressure
 - boiling point
 - freezing point
 - osmotic pressure.كل أنواع المذابات تغير بعض الخصائص الفيزيائية للمذيب، وهو الماء: ضغط البخار، درجة الغليان، درجة التجمد، والضغط الأسموزي عندما نضيف مادة ذائبة إلى الماء، فإن الماء يتصرف بطريقة مختلفة: يغلي عند حرارة أعلى، يتجمد عند حرارة أقل... إلخ

- These are called **colligative** ("tied together") **properties**, because the effect of solutes on all four properties has the same basis: the concentration of **water is lower in solutions** than in pure water.

تسمى هذه "خصائص تجميعية" لأن تأثير المذاب على هذه الخصائص الأربعة يعتمد على نفس المبدأ: تركيز الماء يكون أقل في المحلول منه في الماء النقي

التأثير لا يعتمد على نوع المذاب، بل كمية الجزيئات الذائبة التي تقلل نسبة الماء الحر

- The **effect of solute** concentration on the colligative properties of water **is independent of the chemical properties** of the solute; it depends only on the **number** of solute particles (molecules, ions) in a given amount of water.

تأثير تركيز المذاب على هذه الخصائص لا يعتمد على خواصه الكيميائية، بل يعتمد فقط على عدد الجسيمات (جزيئات أو أيونات) في كمية معينة من الماء

- A compound such as **NaCl**, which dissociates in solution, **has twice the effect** as does an equal number of moles of a **nondissociating solute such as glucose**.

مركب مثل كلوريد الصوديوم، الذي يتفكك في المحلول، له تأثير مضاعف مقارنة بعدد مساوي من مولات مادة غير متفككة مثل الجلوكوز

يصبح عدد الجسيمات ضعف الجلوكوز (الذي يبقى جزيئاً واحداً) $\rightarrow \text{Na}^+ \text{ و } \text{Cl}^-$ يتحول إلى NaCl مثال

أخيراً واحد مول من الملح و واحد مول من السكر يعني لدينا نفس العدد من الجزيئات لنفس الحجم من الماء إلا أن المفترض أنه الصفات الفيزيائية للماء تتغير بنفس المقدار لأنه أنا ضفت نفس الكمية لكن الحقيقة أنو الملح هيتأثر إلى أيونيه فالواحد مول من الملح اعطاني ضعف عدد الجزيئات اللي تم

- Given that The freezing point of water is $0.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the depression or drop in the freezing point of water is $1.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ per mole of solute.

- What is the freezing point of aqueous solution of 1 M of NaCl dissolved in water?

- What is the freezing point of aqueous solution of 0.1 M of NaCl dissolved in water?

- What is the freezing point of aqueous solution of 0.1 M of Sucrose dissolved in water?

What is the freezing point of aqueous solution of 1 M of NaCl dissolved in water?

- Freezing point of water is $0.0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- The drop in the freezing point $= 1.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ /mole of solute.
- We have $1.0\text{ M NaCl} \rightarrow 1.0\text{ M Na}^+$ and 1.0 M Cl^-
- So we have double effect ($2 \times 1.85 = 3.7$)
- So this will lead to a freezing point of:

$$(0.0 - 3.7 = - 3.7\text{ }^{\circ}\text{C})$$

What is the freezing point of aqueous solution of 0.1 M of NaCl dissolved in water?

- The freezing point of water is $0.0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- The drop in the freezing point $= 1.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ /mole of solute
- We have $0.1\text{ M NaCl} \rightarrow 0.1\text{ M Na}^+$ and 0.1 M Cl^-
- So we have double (the tenth effect) ($2 \times 0.185 = 0.37$)

- So this will lead to a freezing point of:

$$(0.0 - 0.37 = - 0.37\text{ }^{\circ}\text{C})$$

What is the freezing point of aqueous solution of 0.1 M of Sucrose dissolved in water?

- The freezing point of water is $0.0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- The drop in the freezing point $= 1.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ /mole of solute
- We have $0.1\text{ M sucrose} \rightarrow 0.1\text{ M sucrose}$
- So we have one-tenth effect ($1 \times 0.185 = 0.185$)
- So this will lead to a freezing point of:

$$(0.0 - 0.185 = - 0.185\text{ }^{\circ}\text{C})$$

- E.g the tendency of water molecules to move from the aqueous phase to the surface of a forming ice crystal is reduced when some of the molecules that collide with the crystal are solute, not water. In that case, the solution will freeze more slowly than pure water and at a lower temperature.

معدل جزيئات الماء للانتقال نحو سطح بلورة الثلج يقل عندما تكون بعض الجزيئات التي تصطدم بالبلورة هي جزيئات مذاب وليس ماء. لذلك يتجمد المحلول أبطأ من الماء وعند حرارة أقل

هذه هي فكرة "خفض نقطة التجمد" freezing point depression

- **For a 1.00 M aqueous solution** of an ideal, nonvolatile, and nondissociating solute, the freezing point is 1.86 °C lower (- 1.86) and the boiling point is 0.543 °C (100.543) higher than for pure water.
- **For a 0.100 M solution** of the same solute, the changes are **one-tenth as large**

في محلول مائي 1 مولاري لمذاب غير متطاير وغير متفكك، تنخفض نقطة التجمد بمقدار 1.86 °C وترتفع نقطة الغليان بمقدار 0.543 °C.

For a 0.100 M solution... one-tenth as large.
وفي محلول 0.1 مولاري تكون التأثيرات أصغر بعشر مرات

✓ كل ما زاد تركيز المذاب → انخفضت درجة التجمد أكثر وارتفعت درجة الغليان أكثر.
✓ العلاقة خطية: إذا قللنا التركيز لعشر، التغير يقل لعشر.



Pure Water Is Slightly Ionized

الماء النقي يتأين بشكل طفيف

- Water molecules have a **slight tendency** to undergo reversible ionization to yield a hydrogen ion (a proton) and a hydroxide ion, giving the equilibrium

لدى جزيئات الماء ميل بسيط للتأين بشكل انعكاسي لتعطي أيون الهيدروجين (بروتون) وأيون الهيدروكسيد، كما يلي



The position of equilibrium of any chemical reaction is given by its **equilibrium constant, K_{eq}** (sometimes expressed simply as **K**).

موضع الاتزان لأي تفاعل كيميائي يُعبر عنه بثابت الاتزان K_{eq}



$$K_{eq} = \frac{[\text{C}][\text{D}]}{[\text{A}][\text{B}]}$$

$$K_{eq} = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}$$



The Ionization of Water Is Expressed by an equilibrium Constant

يُعبر عنه ثابت تأين الماء بثابت الاتزان

$$K_{eq} = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$$

$$K_{eq} = \frac{[H^+][OH^-]}{55.5 \text{ M}}$$

$$(55.5 \text{ M})(K_{eq}) = [H^+][OH^-] = K_w$$

$$\begin{aligned} K_w &= [H^+][OH^-] = (55.5 \text{ M})(1.8 \times 10^{-16} \text{ M}) \\ &= 1.0 \times 10^{-14} \text{ M}^2 \end{aligned}$$

$$K_w = [H^+][OH^-] = [H^+]^2$$

$$[H^+] = \sqrt{K_w} = \sqrt{1 \times 10^{-14} \text{ M}^2}$$

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ M}$$

The **concentration of pure water** at 25 °C is **55.5 M** (grams of H₂O in 1 L divided by its gram molecular weight: (1,000 g/L)/(18.0 g/mol)).

تركيز الماء النقي عند 25 °C هو 55.5 مولار

K_w = the ion product of water at 25 °C.

The value for **K_{eq}**, determined by electrical-conductivity measurements of pure water,

$$K_{eq} = 1.8 \times 10^{-16}$$

قيمة ثابت الاتزان K^{eq} للماء هي 1.8×10^{-16} مولاري عند 25 °C



1. إضافة مذاب للماء تغير:

— نقطة الغليان (ترفع)

— نقطة التجمد (تنخفض)

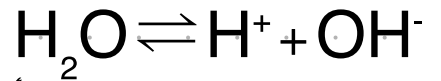
— ضغط البخار (ينخفض)

— الضغط الأسموزي (يزداد)

2. هذا لأن عدد الجزيئات في المحلول — not نوعها — هو ما يحدد التأثير (خصائص تجمعية).

3. المواد المتفككة مثل NaCl تؤثر أكثر لأنها تعطي جزيئية في المحلول.

4. الماء يتأين قليلاً جداً بشكل طبيعي:



5. حاصل ضرب هذين الأيونين عند $25^\circ C$ ثابت:

$$K_w = 1 \times 10^{-14}$$

6. لذلك تركيز كل من H^+ و OH^- في الماء النقي هو:

$$10^{-7} M \rightarrow pH = 7$$

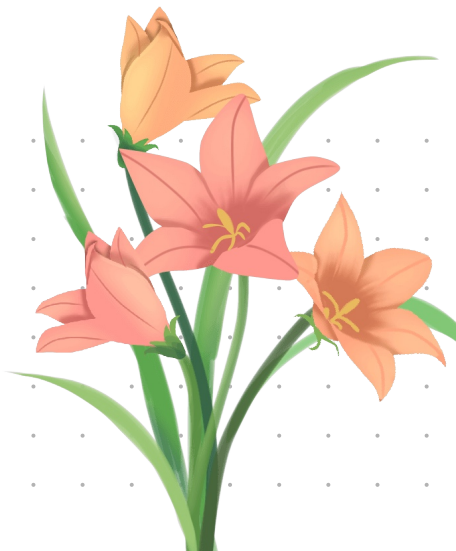


pH

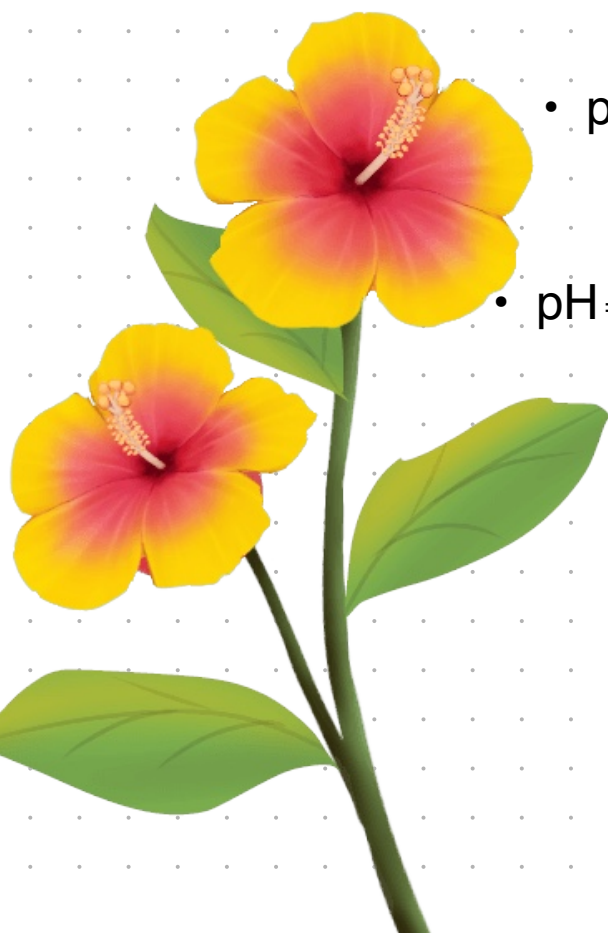
- What does pH mean?
- power of hydrogen → Denmark
- potenz (also meaning power) → German
- puissance → French
- pondus hydrogenii (meaning quantity of hydrogen) → Romans
- potentia hydrogenii (capacity of hydrogen) → Romans
- potential hydrogen → British
- $p = -\log$ "mathematicians"
- The **initials pH stand for "power of hydrogen" or "Potential of Hydrogen"** The pH of a solution is nothing more than that, the potential of Hydrogen
- $pH = -\log [H^+]$ → for pure water $pH = -\log [10^{-7}] = 7$
- $pOH = -\log [OH^-]$
- $[H^+][OH^-] = 10^{-14}$
- **$pH + pOH = 14$**

★ ماهو الpH؟

هو مقياس يوضح هل المحلول حامضي أو قاعدي أو متعادل.
يعتمد فقط على كمية أيونات الهيدروجين (H^+) في المحلول.
• إذا كان تركيز H^+ عالي → المحلول حامضي → pH منخفض
• إذا كان تركيز H^+ منخفض → المحلول قاعدي → pH مرتفع



The pH Scale				Examples of solutions	
$[H^+]$ (M)	pH	$[OH^-]$ (M)	pOH*	pH	
10^0 (1)	0	10^{-14}	14	0	Battery acid, strong hydrofluoric acid
10^{-1}	1	10^{-13}	13	1	Hydrochloric acid secreted by stomach lining
10^{-2}	2	10^{-12}	12	2	Lemon juice, gastric acid, vinegar
10^{-3}	3	10^{-11}	11	3	Grapefruit juice, orange juice, soda
10^{-4}	4	10^{-10}	10	4	Tomato juice, acid rain
10^{-5}	5	10^{-9}	9	5	Soft drinking water, black coffee
10^{-6}	6	10^{-8}	8	6	Urine, saliva
10^{-7}	7	10^{-7}	7	7	"Pure" water
10^{-8}	8	10^{-6}	6	8	Sea water
10^{-9}	9	10^{-5}	5	9	Baking soda
10^{-10}	10	10^{-4}	4	10	Great Salt Lake, milk of magnesia
10^{-11}	11	10^{-3}	3	11	Ammonia solution
10^{-12}	12	10^{-2}	2	12	Soapy water
10^{-13}	13	10^{-1}	1	13	Bleach, oven cleaner
10^{-14}	14	10^0 (1)	0	14	Liquid drain cleaner



- الجدول يعطي أمثلة لمحاليل مختلفة ودرجة الحموضة لكل منها:
- $pH = 0-2 \rightarrow$ أحماض قوية (حمض بطارية، حمض المعدة)
 - $pH = 3-6 \rightarrow$ أحماض ضعيفة (عصير الليمون، الخل)
 - $pH = 7 \rightarrow$ متعادل (الماء النقي)
 - $pH = 8-10 \rightarrow$ قواعد ضعيفة (ماء البحر، بيكربونات)
 - $pH = 11-14 \rightarrow$ قواعد قوية (الأمونيا، المبيض، محاليل التنظيف)
- كلما انخفض pH زادت الحموضة، وكلما ارتفع زادت القاعدية

Strong and weak acids and bases

الأحماض والقواعد القوية والضعيفة



- Strong acids** such as: Hydrochloric (HCl), sulfuric (H₂SO₄), and nitric acids (HNO₃), **are completely ionized** in aqueous solutions



الأحماض القوية مثل حمض الهيدروكلوريك، والنيتريك، والكبريتيك، تتأين بالكامل في المحاليل المائية

- Strong bases** NaOH and KOH are also **completely ionized**.



القواعد القوية مثل هيدروكسيد الصوديوم والبوتاسيوم تتأين بالكامل أيضا

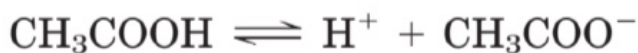
- However, **weak acids and bases** are not completely ionized when dissolved in water, they **partially ionized**. Therefore, their behavior in aqueous solution is characterized by an equilibrium reaction, and **equilibrium constant, K_{eq}**

مع ذلك، الأحماض والقواعد الضعيفة لا تتأين كلياً في الماء، بل تتأين جزئياً.

لذلك، سلوكها في الماء يتميز بتفاعل اتزان، ومعامل اتزان K_a

- According to Brønsted-Lowry definition, acids are proton donors and bases are proton acceptors

حسب تعريف برنستد-لوري، الأحماض مانحة بروتون H^+ والقواعد مستقبلة بروتون



$$K_{eq} \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = K_a$$

كل ما كان أكبر ازده الحمض
الضعيف أقوى منه الأحماض
الضعيفة الأخرى

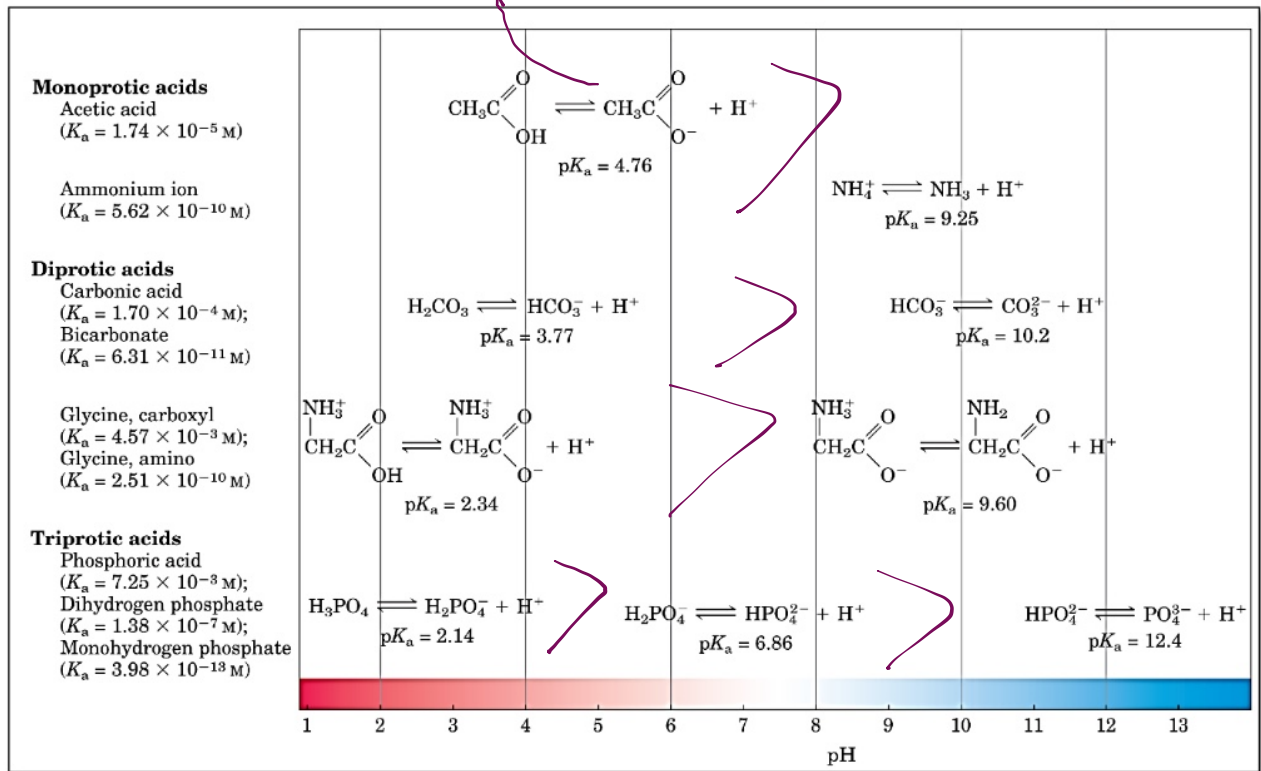
- Equilibrium constants K_{eq} for ionization** reactions are usually called ionization or dissociation constants, often **designated K_a**

ثوابت الاتزان K_a لتفاعلات التأين تسمى عادة ثوابت التأين، وتُرمز بـ K_a

The dissociation constants of some acids: monoprotic, diprotic, polyprotic

الرسم يبين أنواع الأحماض

- Monoprotic acid = (واحد فقط H^+ يعطي) أحادي البروتون
- Diprotic acid = (H^+ يعطي 2) ثنائي البروتون
- Triprotic acid = ثلاثي البروتون



$pK_a = -\log K_a$; The stronger the tendency to dissociate a proton, the stronger is the acid and the lower its pK_a .

الأحماض التي لديها أكثر من ذرة هيدروجينية تكون أقوى لأنها تستطيع منح عدد أكبر من الهيدروجين.

كل حمض ضعيف يعرف من خلال ال K_a . أو من خلال pK_a

الحمض الضعيف يكون أقوى من الحمض الضعيف الأخرى إذا كانت ال K_a له أكبر أو pK_a أقل لأنه العلاقة بينهم عكسية

Weak Acids have Characteristic titration curves

- **Titration** is used to determine the **amount of an acid** in a given solution.

المعايرة تُستخدم لتحديد كمية الحمض في محلول معين

- During titration, a **measured volume of the acid is titrated** with a solution of **a strong base**, usually sodium hydroxide (NaOH), of known concentration.

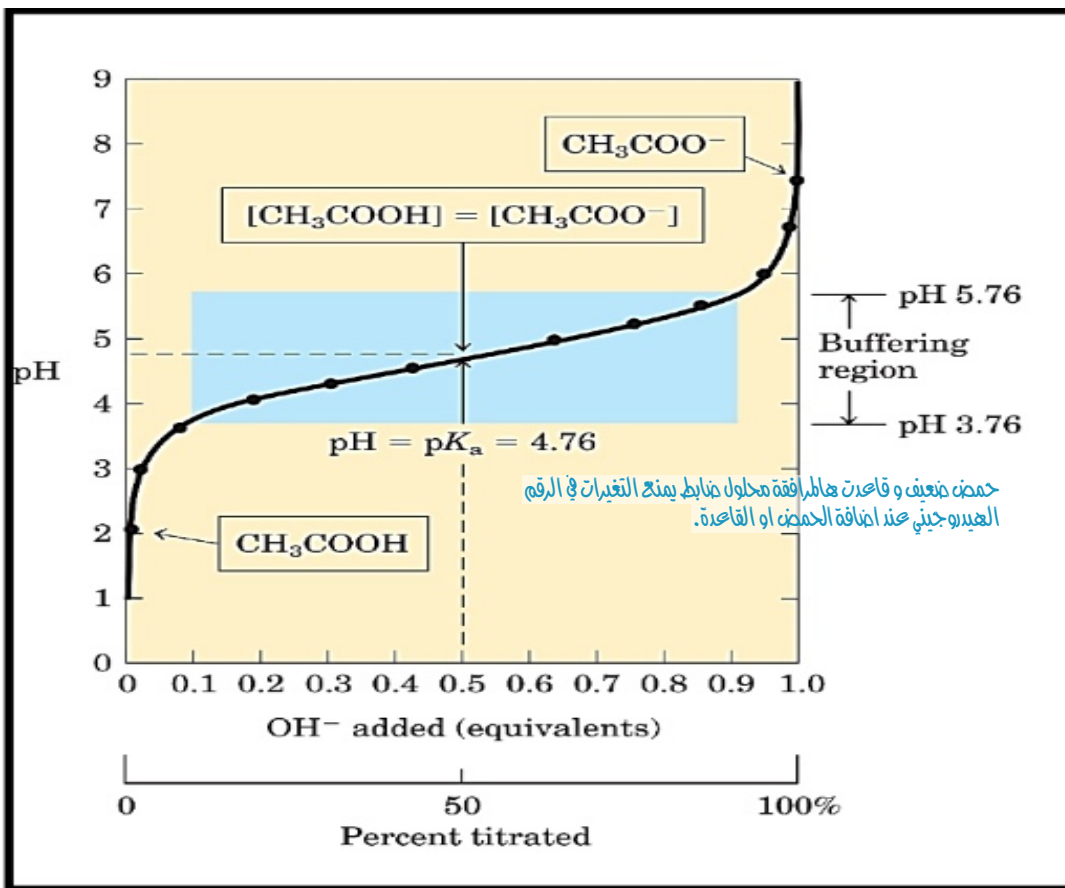
أثناء المعايرة، يتم معايرة حجم معاكس من الحمض بمحلول قاعدة قوية غالباً NaOH معروف التركيز

- The NaOH is added in small increments until the acid is consumed (neutralized), The concentration of the acid in the original solution can be calculated from the volume and concentration of NaOH added.

يضاف NaOH بكميات صغيرة حتى يستهلك الحمض (يعادل) يمكن حساب تركيز الحمض من حجم وتركيز NaOH المضاف

- A plot of pH against the amount of NaOH added (a **titration curve**) reveals the pK_a of the weak acid

رسم بياني (pH مقابل كمية NaOH المضافة) (منحنى معايرة) يحدد pK_a للحمض الضعيف



The titration curve of acetic acid

1 بداية المنحنى

- المحلول فيه حمض الخليك فقط (CH₃COOH).
- الحمض ضعيف → pH منخفض (حوالي 2-3).

2 عند إضافة OH⁻ شوي شوي

يعمل تفاعل تعادل OH⁻:

حمض + قاعدة → أسيتات + ماء

يعني:

- كمية الحمض تقل
- كمية القاعدة المرافقة (CH₃COO⁻) تزيد

يرتفع ببطء pH

3 المنطقة العازلة (Buffer Region)

الجزء اللي فيه pH يتغير ببطء جدًا.

في هذه المنطقة يوجد:

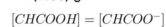
- حمض ضعيف (CH₃COOH)
- قاعدته (CH₃COO⁻)

هذا المزيج = محلول عازل (Buffer) ومدى الـ pH تبعه تقريبًا:

3.76 → 5.76

4 أهم نقطة في كل المنحنى: نصف نقطة التكافؤ

عند نصف التفاعل (50%):



وهون القانون الذهبي:

$$pH = pK_a$$

ولحمض الخليك:

$$pH \approx 4.76$$

$$pK_a = 4.76$$

أحفظوها لأنها أهم معلومة.

5 نقطة التكافؤ (Equivalence point)

- كل الحمض صار أسيتات.
- اللي ضل بالمحلول = قاعدة (CH₃COO⁻) فقط.

لذلك pH ≈ 8.7 (قاعدي).

6 بعد نقطة التكافؤ

→ صافي زائد OH⁻
يرتفع بسرعة كبيرة جدًا pH.

الرسم هو منحنيات معايرة (Titration curves) لثلاث أحماض/قواعد ضعيفة، وكل خط بلون مختلف يمثل مادة:

الأزرق → Acetic acid ($\text{CH}_3\text{COOH} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^-$)

الأسود → Phosphate system ($\text{H}_2\text{PO}_4^- \leftrightarrow \text{HPO}_4^{2-}$)

الأحمر → Ammonium / Ammonia ($\text{NH}_4^+ \leftrightarrow \text{NH}_3$)

☆ الفكرة الأساسية

عند إضافة OH^- تدريجيًا:

• الحامض يتحوّل لقاعدته المرافقة

• يرتفع الـ pH تدريجيًا

• عند نقطة المنتصف (midpoint):

تركيز الحمض = تركيز القاعدة $\Rightarrow \text{pH} = \text{pKa}$

● (1) الخط الأزرق → Acetate

يمثل تدرّج معايرة حمض الأسيتيك:

النقاط المهمة

• عند البداية: $\text{pH} \approx 2$ (حمض قوي قليلًا)

• عند نصف المعايرة:

$[\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{CH}_3\text{COO}^-] \rightarrow \text{pH} = \text{pKa} = 4.76$

• منطقة التخفيف (Buffering region):

بين $\text{pH} = 3.76$ و $\text{pH} = 5.76$

✓ معنى هذا:

حمض الأسيتيك يصدّ تغيّر الـ pH أفضل ما يمكن داخل هذه الحدود.

● (2) الخط الأسود → Phosphate buffer

هذا النظام مهم جدًا لأنه أساس تنظيم الـ pH داخل خلايا الجسم.

النقاط المهمة

• عند البداية: H_2PO_4^-

• نقطة المنتصف:

$\text{H}_2\text{PO}_4^- = \text{HPO}_4^{2-} \rightarrow \text{pH} = \text{pKa} = 6.86$

• منطقة التخفيف (buffer region):

تقريبًا من 5.86 إلى 7.86

✓ معنى هذا:

هذا النظام فعال جدًا في ضبط الـ pH الدم والخلية لأنه قريب من 7.

● (3) الخط الأحمر → Ammonia / Ammonium

يمثل النظام القاعدي $\text{NH}_3 \leftrightarrow \text{NH}_4^+$.

النقاط المهمة

• بداية المنحنى: $\text{pH} \approx 7$ (NH_4^+ هو حمض ضعيف)

• نقطة المنتصف:

$\text{pH} = \text{pKa} = 9.25$

• منطقة التخفيف (buffering region):

بين 8.25 و 10.25

☆ ثالثًا: شو يعني "Midpoint of titration"؟

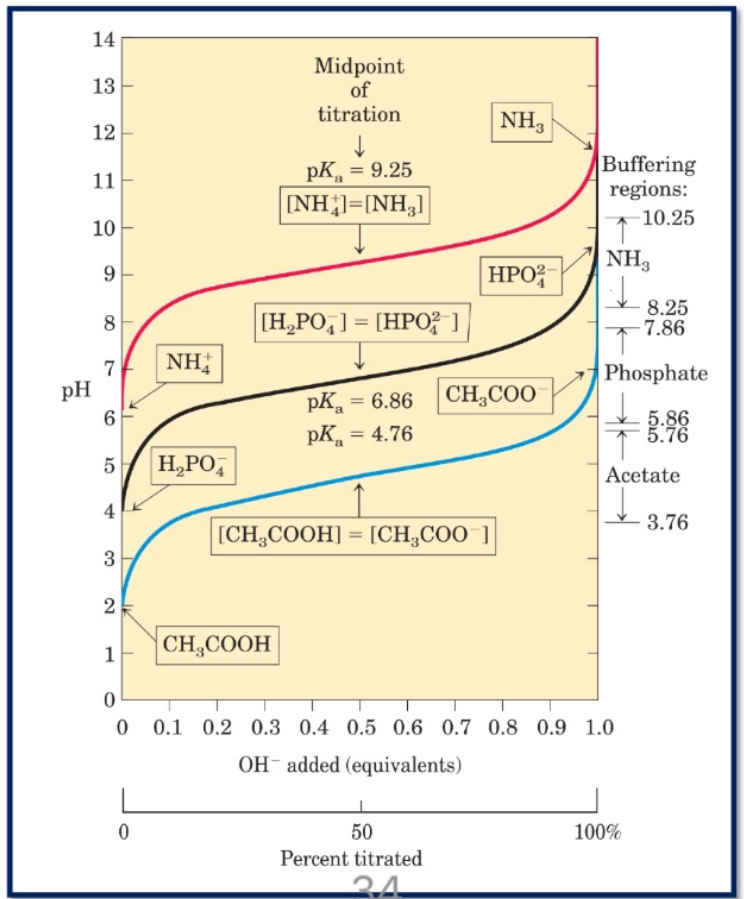
هي اللحظة التي فيها:

تركيز الحمض = تركيز القاعدة المرافقة

وبالتالي:

✓ $\text{pH} = \text{pKa}$

وتظهر كمستطيل صغير على كل منحنى.



☆ رابعًا: أهم المناطق على اليمين (Buffering regions)

على يمين الرسم مكتوب:

• NH_3 buffer region $\rightarrow 8.25-10.25$

• Phosphate buffer region $\rightarrow 5.86-7.86$

• Acetate buffer region $\rightarrow 3.76-5.76$

هذه القيم ببساطة:

الفرق ± 1 من قيمة الـ pKa

مناطق التخفيف (Buffering regions)

كل نظام عنده منطقة ييمنع فيها تغيّر pH.
المنطقة دائماً:

✓ $\text{pKa} \pm 1$

المحالييل المنظمة (Buffers) هي خليط من أحماض ضعيفة وقواعدها المرافقة

Buffers Are Mixtures of Weak Acids and Their Conjugate Bases

- Almost every biological process **is pH dependent**; a small change in pH produces a large change (**unfavorable**) in the rate of the process.

تقريباً كل عملية حيوية تعتمد على pH؛ تغيّر بسيط في pH يؤدي إلى تغيّر كبير (غير مرغوب) في سرعة التفاعل الحيوي

- Cells and organisms **maintain** a specific and constant cytosolic pH, keeping biomolecules in their optimal ionic state, usually near pH 7.

الخلايا والكائنات الحية تحافظ على pH ثابت في السيتوسول؛ حتى تبقى الجزيئات الحيوية في أفضل حالة شحن. عادة يكون قريب من $pH \approx 7$

- In multicellular organisms, the **pH of extracellular** fluids is also tightly regulated. **Constancy of pH is achieved primarily by biological buffers.**

في الكائنات عديدة الخلايا، يتم تنظيم pH للسوائل خارج الخلية بدقة أيضاً. وثبات pH يتحقق بشكل رئيسي بواسطة المحالييل المنظمة الحيوية

- Buffers are aqueous systems** that tend to **resist changes** in pH when small amounts of acid (H^+) or base (OH^-) are added. **A buffer system consists of** a weak acid (the proton donor) and its conjugate base (the proton acceptor).

المحالييل المنظمة هي أنظمة مائية تقاوم تغيّر pH عند إضافة كميات صغيرة من حمض (H^+) أو قاعدة (OH^-).

ويتكون نظام البافر من حمض ضعيف (مانح بروتون) وقاعدته المرافقة (مستقبل بروتون)

يتكون Buffer من:

1. حمض ضعيف → مثل: CH_3COOH

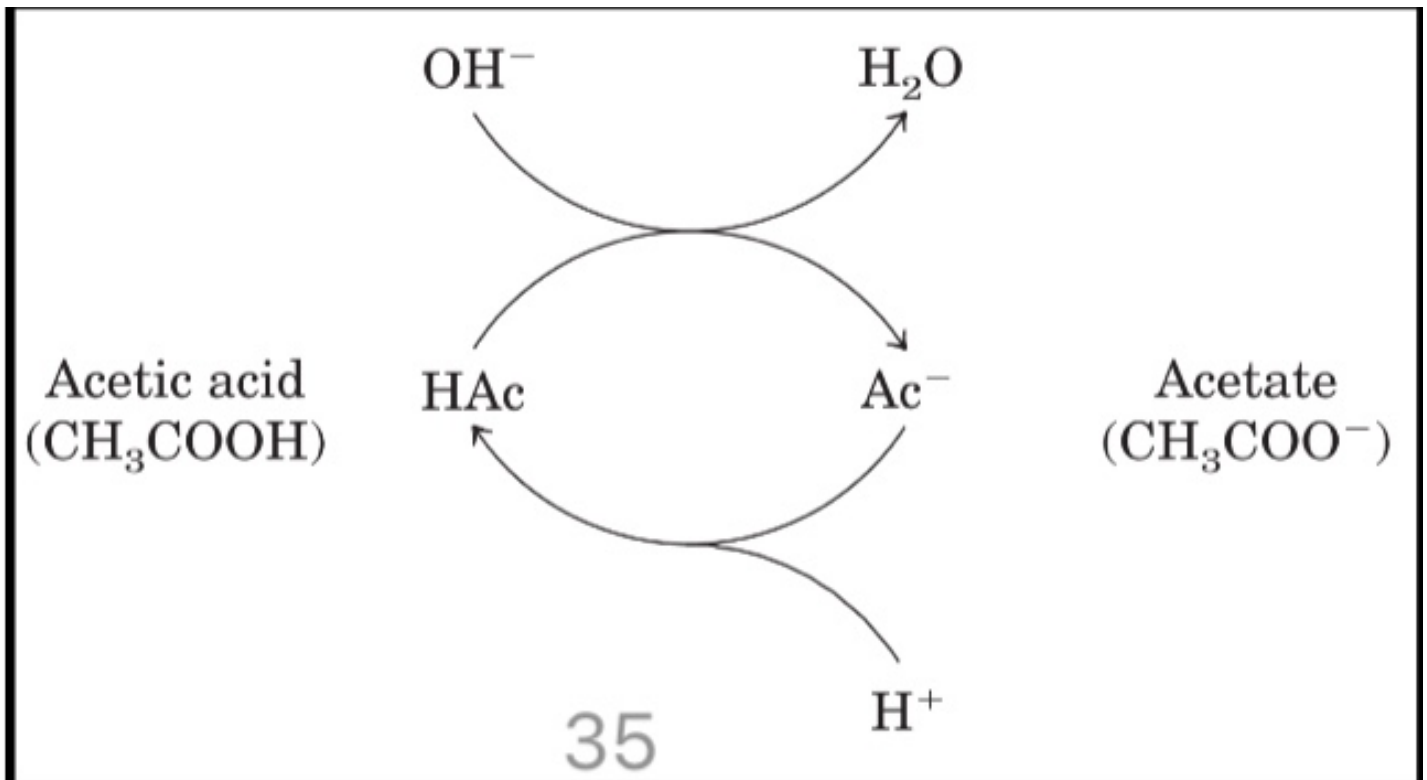
2. قاعدته المرافقة → مثل: CH_3COO^-

وهذا الثنائي يضل مناسباً لـ pH ثابت:

• إذا دخل حمض (H^+): تمسكه القاعدة المرافقة

• إذا دخل OH^- : يتفاعل مع الحمض الضعيف

وبالتالي ما يسمى لـ pH إنه يرتفع أو ينخفض بسرعة



الرسم يشرح تفاعل بافر الخل (Acetate buffer):

Acetic acid (CH_3COOH)

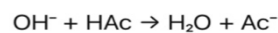
هو الحمض الضعيف $\rightarrow$ نسميه HAc.

Acetate (CH_3COO^-)

هي القاعدة المرافقة $\rightarrow$ نسميها Ac^- .

👉 كيف يشتغل البافر؟

1. إذا ضفت OH^- (قاعدة):



الـ OH^- يختفي $\rightarrow$ يتحول لماء
إذن pH ما يرتفع كثير ✓

2. إذا ضفت H^+ (حمض):



الحمض ينمسك ويتحول لحمض ضعيف
إذن pH ما ينخفض كثير ✓

• البافر = حمض ضعيف + قاعدته المرافقة

• هدفه: يثبت pH

• الخلايا لازم تحافظ على pH ثابت ≈ 7

• أي تغير بسيط بالـ pH يخرّب التفاعلات الحيوية

• لذلك الجسم مليان Buffers (زي الفوسفات والبيكربونات)

Henderson-Hasselbalch equation relates pH, pKa, and Buffer Concentration

الإشتقاق ليس مطلوباً لكنه مهم حفظ القانون للتطبيق



$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

First solve for $[\text{H}^+]$: $\longrightarrow [\text{H}^+] = K_a \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$

Then take the negative logarithm of both sides:

$$-\log [\text{H}^+] = -\log K_a - \log \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$$

Substitute pH for $-\log [\text{H}^+]$ and $\text{p}K_a$ for $-\log K_a$:

$$\text{pH} = \text{p}K_a - \log \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$$

Now invert $-\log [\text{HA}]/[\text{A}^-]$

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

Stated more generally,

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{proton acceptor}]}{[\text{proton donor}]}$$

Biological Buffers protect Cells and Tissues against pH Changes

- The intracellular and extracellular fluids of multicellular organisms have a **characteristic and nearly constant pH**.
سوائل داخل الخلية (intracellular) وسوائل خارج الخلية (extracellular) في الكائنات متعددة الخلايا تملك pH مميزاً وقريباً من الثبات.

شرح : داخل وخارج الخلية يبقى الpH ثابت تقريباً لأن ذلك ضروري لعمل البروتينات والإنزيمات؛ أي اختلاف كبير يضر الوظائف الحيوية.

- The organism's **first line of defense** against changes in internal pH is provided by **buffer systems**.

خط الدفاع الأول للكائن ضد التغيرات في الpH الداخلي يوفره أنظمة البافرة.

شرح : عند حدوث تغير في حمضية الخلايا، أول ما يتدخل هو نظام البافرات لتثبيت الpH قبل أن تتدخل آليات أخرى (تنفست، كلويات).

- The cytoplasm of most cells contains high concentrations of **proteins**, which contain **many amino acids** with functional groups that are **weak acids or weak bases**.

سيتوبلازم معظم الخلايا يحتوي تركيزاً عالية من البروتينات، والتي تحتوي العديد من الأحماض الأمينية التي لديها مجموعات وظيفية هي أحماض ضعيفة أو قواعد ضعيفة.

شرح : البروتينات داخل الخلية غنية بمجموعات (مثل COOH و NH_2) التي يمكنها أن تعمل كأحماض أو قواعد ضعيفة، فتساهم في عمل بافرات داخلية.

- Weak acids and its conjugate base** provide best **buffering power** around (± 1) the pK_a .

الأحماض الضعيفة وقاعدتها المترافقة توفر أفضل قدرة عازلة (buffering power) حول (± 1) حول قيمة pK_a .

شرح : أفضل فعالية لأي بافر تكون عند ما يكون الpH قريباً من pK_a للزوج الحمض/قاعدة — تقريباً في النطاق $\text{pK}_a \pm 1$.

- Two especially important biological buffers are the **phosphate and bicarbonate** systems.

اثنان من البافرات الحيوية الهامة بشكل خاص هما نظام الفوسفات ونظام البيكربونات.

شرح : هذان النظامان هما الأكثر استخداماً في التنظيم الداخلي للـ pH : الفوسفات داخل الخلايا، والبيكربونات في الدم.

- The phosphate buffer system, which acts in the cytoplasm of all cells, consists of **H_2PO_4^- as proton donor and HPO_4^{2-} as proton acceptor**

نظام العزل الفوسفاتي، الذي يعمل داخل السيتوبلازم في جميع الخلايا، يتكون من أيون H_2PO_4^- الذي يتصرف كمانح للبروتون، ومنه أيون HPO_4^{2-} الذي يعمل كمستقبل للبروتون.

- The phosphate buffer system is maximally effective at a pH close to its pKa of 6.86 and thus tends to resist pH changes in the range between about 5.9 and 7.9.



نظام بافر الفوسفات يكون فعالاً أقصى درجة عند pH قريب من قيمة pKa له وهي 6.86، ولذلك يملك لمقاومة تغيرات pH في النطاق تقريباً بين 5.9 و 7.9.

شرح: لأن pKa للفوسفات = 6.86، فهو أفضل بافر حول هذه القيمة (±1)، لذا يفيد في نطاق قريب من الحياد — مفيد للخلايا

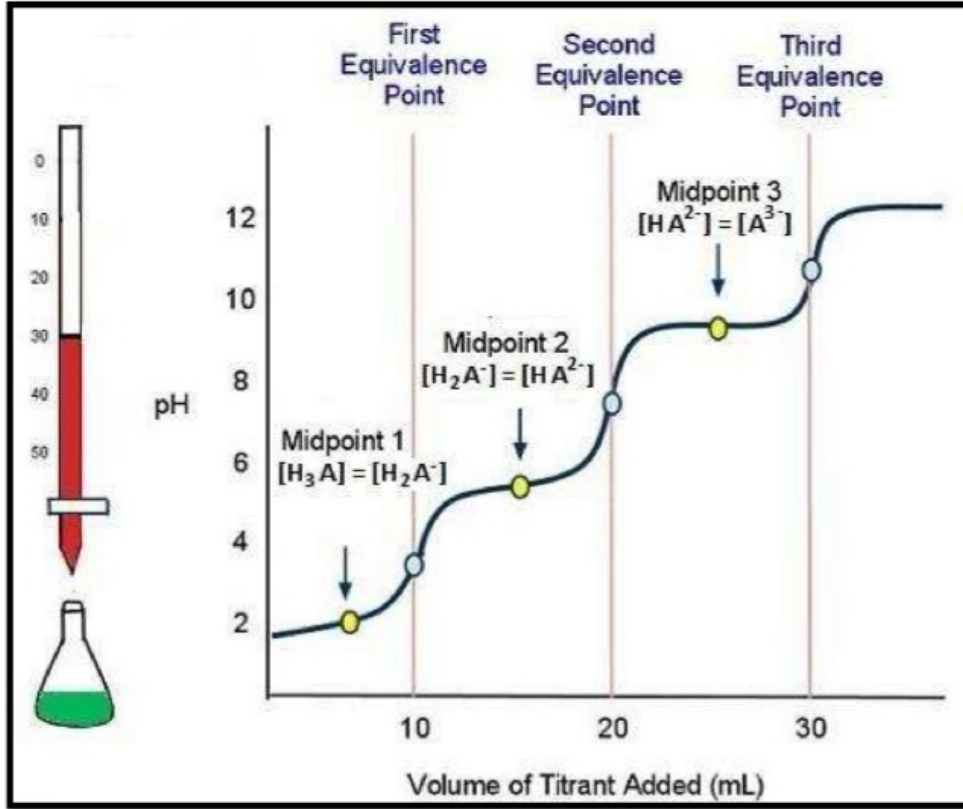
- Blood plasma is buffered in part by the bicarbonate system, consisting of carbonic acid (H_2CO_3) as proton donor and bicarbonate (HCO_3^-) as proton acceptor:



بلازما الدم تُنظم جزئياً بواسطة نظام البيكربونات، المتكون من حمض الكربونيك (H_2CO_3) كماتح بروتون والبيكربونات (HCO_3^-) كمستقبل بروتون.
التفاعل: حمض الكربونيك $\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{بيكربونات}$.

شرح: في الدم، نظام $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$ هو البافر الأساسي؛ الرئة والكلى يشاركان في تنظيم تراكيز هذا النظام لبقاء pH الدم = 7.4

Titration curve of polyprotic (triprotic) acid



النقاط الصفراء هي التي يتساوى فيها pH و pK_a

الحمض ثلاثي البروتون (Triprotic Acid) هو حمض قادر على التبرع بثلاثة بروتونات (H^+) بشكل متتابع، ولذلك فإن معايرته تُظهر ثلاث مراحل رئيسية، وثلاث نقاط نصف تكافؤ، وثلاث نقاط تكافؤ كاملة.

الصيغة العامة لتحرره من البروتونات تكون كالآتي:



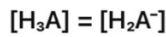
وكل انتقال من صيغة إلى أخرى يمثل فقدان بروتون واحد.

أولاً: فهم المنحنى العام

عند إضافة القاعدة تدريجيًا إلى الحمض، يبدأ الـ pH بالارتفاع تدريجيًا، ثم تظهر ثلاث "قفزات" واضحة في المنحنى. كل قفزة تمثل تحوّل الحمض من شكل إلى آخر بعد فقدان بروتون جديد.

1. نقطة نصف التكافؤ الأولى (Midpoint 1)

في هذه النقطة تكون تراكيز الشكلين:



أي أن نصف الحمض فقد البروتون الأول، والنصف الآخر ما يزال يحتفظ به.

وفي هذه الحالة ينطبق:

$$pH = pK_{a1}$$

2. نقطة التكافؤ الأولى (First Equivalence Point)

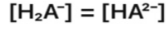
عند هذه النقطة يتحول الحمض بالكامل إلى:



ولا يبقى أي مقدار من H_3A . ويرتفع الـ pH بشكل ملحوظ مكونًا أول قفزة واضحة في منحنى المعايرة.

3. نقطة نصف التكافؤ الثانية (Midpoint 2)

هنا تتساوى تراكيز الشكليين:



أي أن نصف المادة فقد البروتون الثاني، والنصف الآخر ما يزال يحمله.

ويُحقق المنحنى العلاقة:

$$\text{pH} = \text{pK}_{a2}$$

4. نقطة التكافؤ الثانية (Second Equivalence Point)

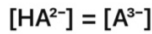
عند هذه النقطة يتحول كامل H_2A^- إلى:



وتظهر القفزة الثانية في المنحنى.

5. نقطة نصف التكافؤ الثالثة (Midpoint 3)

في هذه المرحلة تتساوى تراكيز الشكليين:



ويكون نصف المادة قد فقد البروتون الأخير.

ويتحقق أيضًا:

$$\text{pH} = \text{pK}_{a3}$$

6. نقطة التكافؤ الثالثة (Third Equivalence Point)

في النهاية، يصبح كامل الحمض في صورته الأخيرة:



وتظهر القفزة الثالثة والأخيرة في المنحنى، ثم يستقر الـ pH تدريجيًا بعد ذلك.

خلاصة علمية مختصرة

• الحمض ثلاثي البروتون يمر بثلاث عمليات فقدان بروتون → ثلاث مراحل واضحة بالمعايرة.

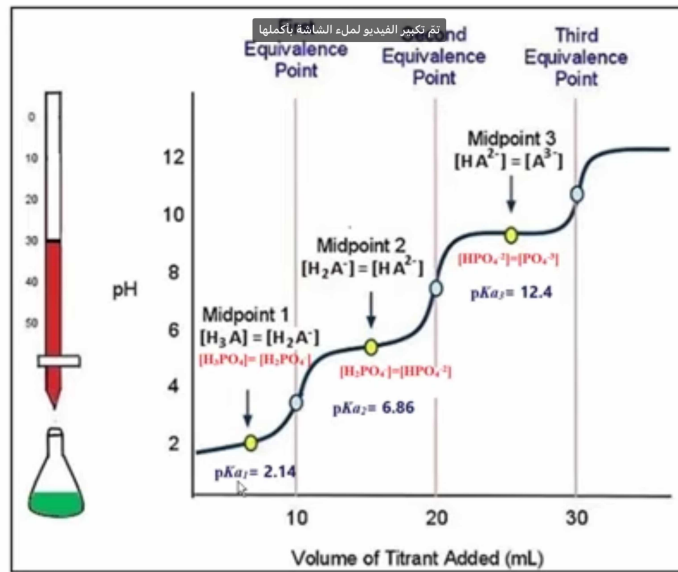
• لذلك يظهر في منحنى المعايرة:

3 نقاط تكافؤ + 3 نقاط نصف تكافؤ.

• في كل نقطة نصف تكافؤ:

$$\text{pH} = \text{pK}_a$$

• ارتفاعات الـ pH (القفزات) تشير إلى فقدان بروتون جديد.



نفس المنحنى السابق هنطبقو على الفوسفات