الكشف عن وجود الكربون في المركبات العضوية

الهدف من التجربة

تقصي وجود الكربون في المركبات العضوية

مقدمة (الخلفية العلمية)

الكربون عنصر مهم جدا يدخل في تركيب **المركبات العضوية جميعها** التي سوف ندرسها لاحقا ومن أهمها

1- السكريات 2- البروتينات 3- الليبيدات (الدهون) 4 - الحموض النووية

بحيث يمكن الكشف عن **الكربون في المادة العضوية** عن طريق تسخينها مع **أكسيد النحاس** اذ يتأكسد **الكربون** ان وجد في المركب العضوي وينتج عنه **غاز ثاني أكسيد الكربون** CO_2 ثم يتفاعل مع ماء الجير **وهو محلول هيدروكسيد الكالسيوم** مكونا **كربونات الكالسيوم** $CaCO_3$ و **ماء** H_2O **بحيث يتعكر ماء الجير وتكدره**

التحليل والاستنتاج

نلاحظ وجود **راسب ابيض** (أي تعكر ماء الجير) عند **خلط ماء الجير مع غاز ثاني أكسيد الكربون** الناتج من انبوب الاختبار الذي يحوي **سكر المائدة** وهذا يدل على **وجود الكربون** في سكر المائدة أي انه مركب عضوي **وعدم تعكر ماء الجير من البخار** الناتج من الانبوب الاخر الذي يحوي **ملح الطعام** وهذا **يدل على عدم وجود الكربون في ملح الطعام** وهنا تبين انه مركب غير عضوي ويستخدم عينة ضابطة

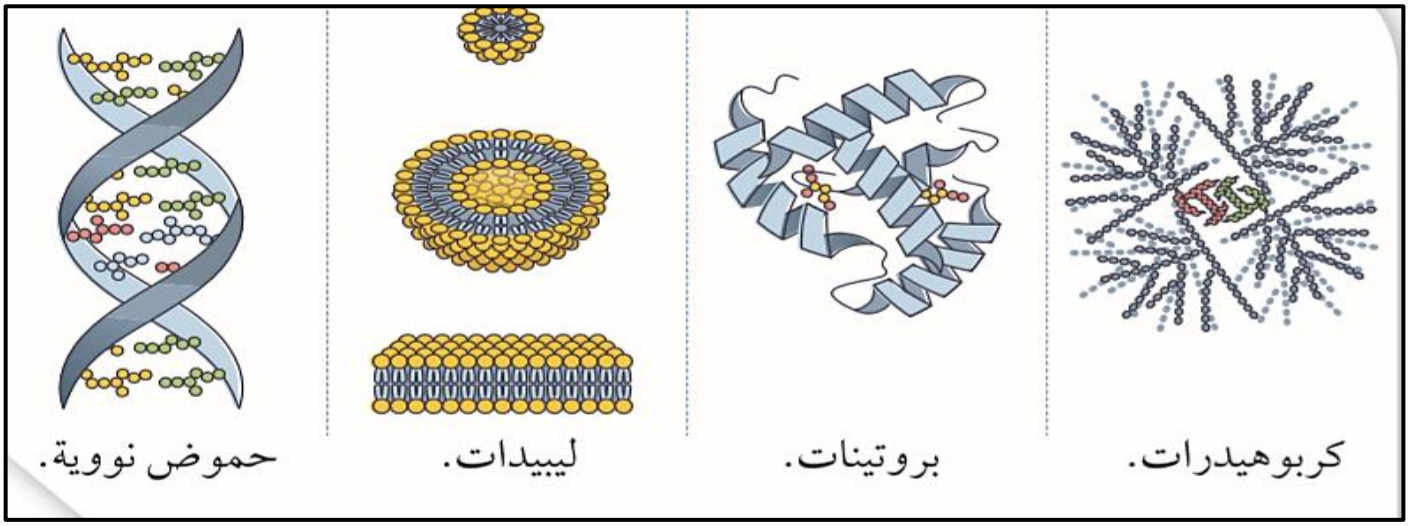
الدرس الأول المركبات العضوية الحيوية

تحتوي أجسام الكائنات الحية على ذرات عناصر مهمة منها:

1- الهيدروجين (H) 2- الكربون (C) 3- الأكسجين(O) 4- النيتروجين (N)
5- الكالسيوم (Ca) 6- الفسفور (P) **بالإضافة إلى عناصر أخرى بكميات بسيطة.**

- **يعد الكربون العنصر** الأساس الذي يدخل في تركيب المركبات العضوية جميعها.
- **فالمركبات العضوية هي:** مركبات كيميائية توجد في أجسام الكائنات الحية ويدخل في تركيبها بصورة **أساسية ذرات العناصر الاتية** الكربون والهيدروجين وفي بعضها ذرات **عناصر أخرى** مثل النيتروجين والأكسجين.
- **نوع الرابطة:** التي **تربط ذرات الكربون بعضها ببعض** ومع ذرات العناصر الأخرى هي **رابطة تساهمية**

الانواع الرئيسية للمركبات العضوية الحيوية



الكربوهيدرات (السكريات) تحتوي على ذرات كربون (C) وهيدروجين (H) وأكسجين (O)

تُصنف السكريات حسب عدد **الوحدات (البنائية)** التي تتألف منها الى **ثلاثة أنواع هي (احادي - ثنائي - متعدد)**

- السكريات الأحادية: وهي أبسط أنواع الكربوهيدرات وصيغتها العامة **هي $(CH_2O)n$** حيث **n** هي عدد ذرات الكربون في السكر الاحادي.

والتي تتصف بما يلي:

- ✓ تعد أبسط أنواع الكربوهيدرات.
- ✓ **تذوب في الماء بسهولة (علل):** لأنها من المواد المحبة له

صيغتها الكيميائية: **$(CH_2O)n$** حيث n هي عدد ذرات الكربون او الاكسجين او H/2 في السكر الاحادي.

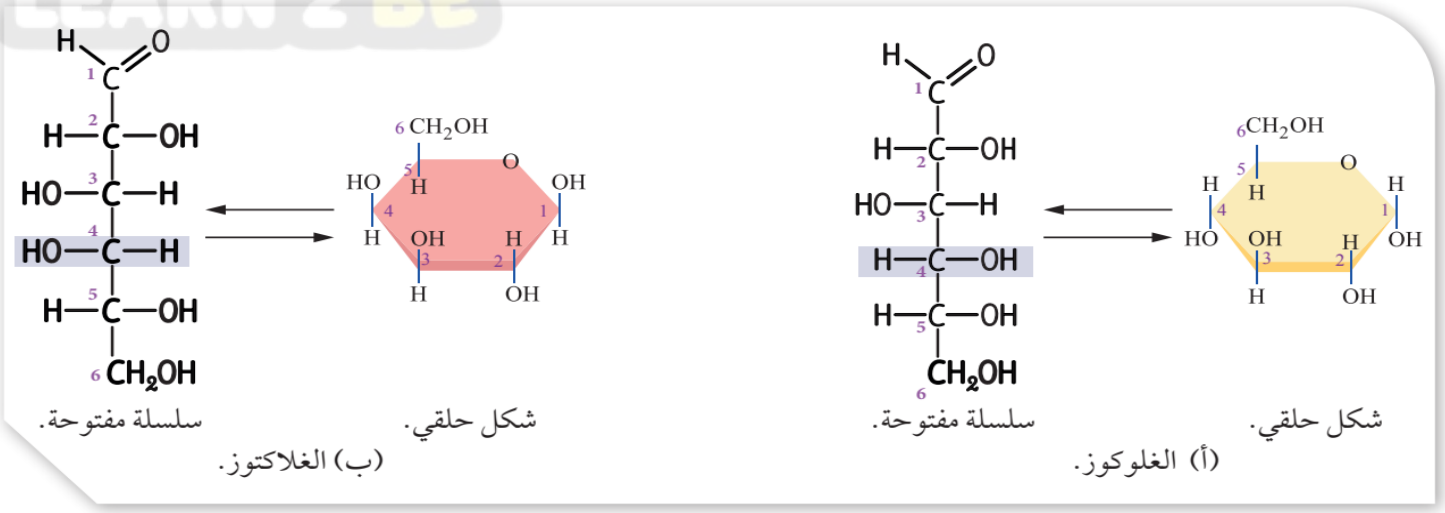
سؤال أحد السكريات الأحادية سباعي الكربون (Heptose) اجب عما يلي:

1- كم عدد ذرات الهيدروجين والاكسجين فيهِ

2- اكتب صيغته الكيميائية

أهمية السكريات الأحادية تعد السكريات الاحادية الوحدة البنائية لأنواع الكربوهيدرات الأخرى (السكريات الثنائية والمتعددة) **من الأمثلة عليها:**

1- الغلوكوز (يمثل الوحدة البنائية لعدد من السكريات المتعددة في اجسام الكائنات الحية)
2- الغلاكتوز **3- الفركتوز** (سكرسداسي الكربون) **4- الرايبوز** (سكر خماسي الكربون)

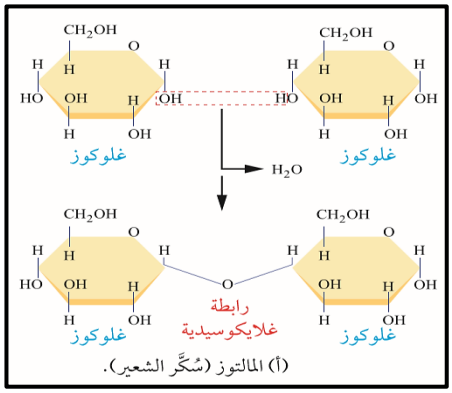


السكريات الثنائية: وهي تتكون من وحدتين من السكريات الأحادية ترتبطان معاً **برابطة تساهمية غلايكوسيدية**

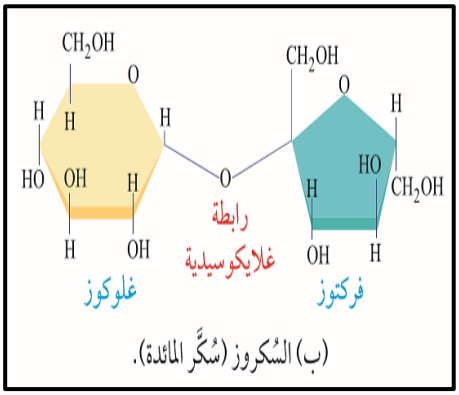
- يتشكل السكر الثنائي وذلك عند تفاعل **نزع (فقدان)** جزيء ماء واحد من زوج من السكريات الأحادية
- **ومن الأمثلة** على السكريات الثنائية التي تنتج من تفاعل نزع جزيء ماء واحد:

1- **المالتوز (سكر شعير)** يحدث التفاعل بين زوج من سكر الغلوكوز
2- **السكروز (سكر المائدة)** يحدث التفاعل بين سكر فركتوز وسكر الغلوكوز

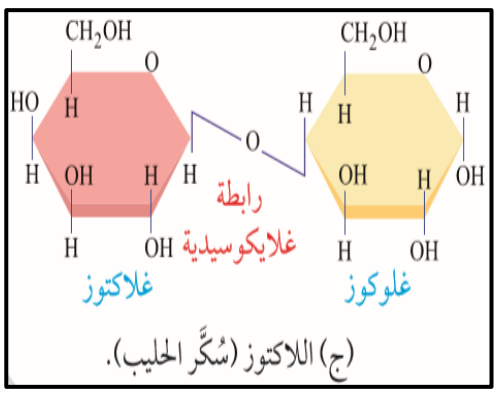
3- **اللاكتوز (سكر الحليب)** يحدث التفاعل بين سكر غلاكتوز وسكر الغلوكوز



(أ) المالتوز (سُكَّر الشعير).



(ب) السُكروز (سُكَّر المائدة).



(ج) اللاكتوز (سُكَّر الحليب).

أخطار الاكثار من تناول السكريات:

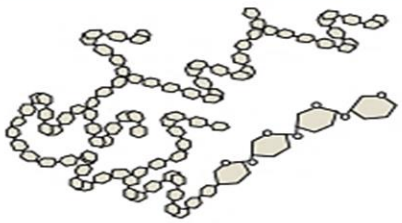
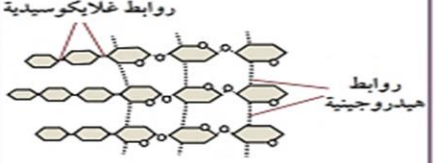
يؤدي الإكثار من تناول السُكريات إلى: 1- **تسوس الأسنان** 2- **زيادة الوزن**؛ ما يزيد خطر الإصابة بمرض السكري

لذا يوصي المركز الوطني للغدد الصم والسكري (الوقاية من مرض السكري): لذا يوصي المركز الوطني للغُدد الصم والسكري بعدم الإكثار من تناولها للوقاية من الإصابة بمرض السكري.

- **السكريات المتعددة:** وهي مُبلمرات **(polymer)** تتكون من سكريات أحادية او **(مشتقاتها)** ترتبط فيما بينها بروابط تساهمية غلايكوسيدية

يجب ان تعلم انها تتكون **من ارتباط ثلاث من السكريات الأحادية (غلوكوز)** أو أكثر بروابط تساهمية غلايكوسيدية.

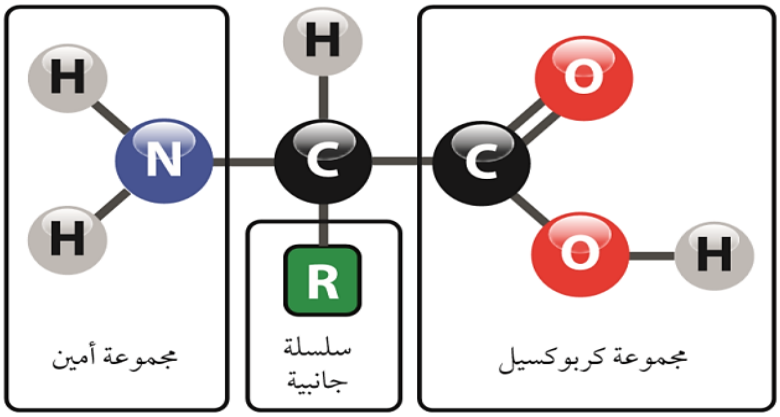
من الأمثلة على السكريات المتعددة وخصائصها التي تميزها كما في الجدول الآتي:

المثال	الصيغة البنائية	الأهمية
النشا: يتكوَّن من: – الأميلوز: من السُّكَّريات المُتعدِّدة، وهو يكون على شكل سلاسل غير مُتفرِّعة من الغلوكوز. – الأميلوبكتين: من السُّكَّريات المُتعدِّدة، وهو يكون على شكل سلاسل من الغلوكوز مُتفرِّعة في بعض المواقع.	 أميلوز. أميلوبكتين.	تخزين سُكَّر الغلوكوز في النباتات.
الغلايكوجين: يتكوَّن من سلاسل من الغلوكوز كثيرة التفرُّع.	 غلايكوجين.	تخزين سُكَّر الغلوكوز في أكباد الحيوانات وعضلاتها.
السيليلوز: يتكوَّن من ألياف دقيقة، تتألَّف من وحدات من الغلوكوز ترتبط في ما بينها بروابط غلايكوسيدية، مُشكِّلةً سلاسل غير مُتفرِّعة ترتبط معًا بروابط هيدروجينية.	 روابط غلايكوسيدية روابط هيدروجينية سيليلوز.	إكساب الجُدُر الخلوية في النباتات القوَّة والمرونة بوصفه مكوِّنًا رئيسًا لهذه الجُدُر.

البروتينات وهي مركبات عضوية تتألف من وحدات بنائية أساسية تسمى **الحموض الأمينية**.

- **نوع الرابطة التي تربط بين الحموض الامينية في البروتين** ترتبط الحموض الأمينية معاً بروابط تساهمية ببتيدية.

- **نواع المجموعات الكيميائية** التي **تشترك** فيها الحموض الامينية في **صيغتها العامة**



1- مجموعة الكربوكسيل (COOH) وتكون في نهاية السلسلة

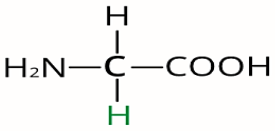
2- مجموعة الأمين (NH_2) وتكون في بداية السلسلة

3- ذرة هيدروجين (H)

السلسلة الجانبية (R) التي تغير من خصائص الحموض الأمنية فيما بينها بسبب اختلافها من حمض اميني الى اخر.

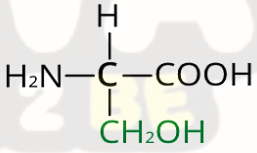
ملاحظة: اختلاف السلسلة الجانبية R من حمض اميني لأخر تجعله يختلف أيضا في نوعه واسمه

1) يحتوي **الحمض الأميني غلايسين** على أبسط سلسلة جانبية **R** وهي ذرة **الهيدروجين H.**

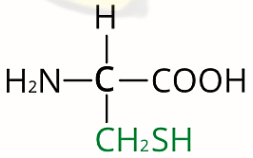


(أ) غلايسين.

2) **تحتوي السلسلة الجانبية في الحموض الأمينية على الكربون** من الأمثلة على هذه السلاسل الجانبية:



(ب) سيرين.



(ج) سستيين.

يدخل في تتركب البروتينات 20 حمض اميني مختلف (ما سبب اختلافها ؟) منها:

أ- **غير أساسية** عددها (11) حمض اميني يستطيع جسم الانسان تكوينها

ب- **أساسية** (9) يحصل عليها من خلال الغذاء

تصنف الحموض الأمينية وفقاً لخصائص السلاسل الجانبية التي تحويها:

1) الحموض الأمينة المحبة للماء 2) الحموض الأمينية الكارهة للماء.

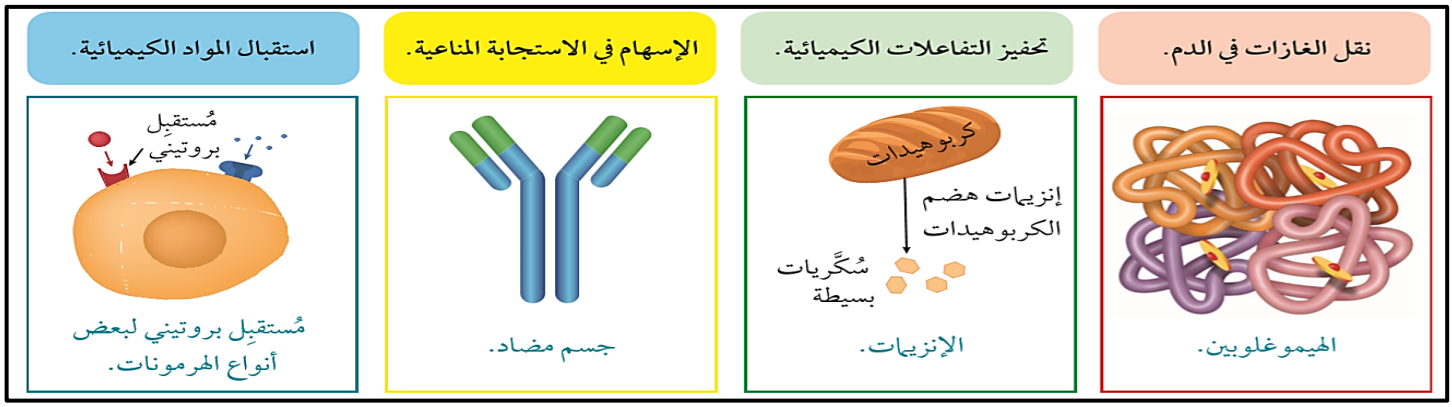
أثر التربتوفان في تحسين المزاج:

يحتاج جسم الإنسان إلى الحمض الأميني **تربتوفان** الذي يعد أحد الحموض الأمينية الأساسية التي تدخل في تصنيع الناقل العصبي الهرموني **السيروتونين (هرمون السعادة)**

وقد أشارت دراسات منشورة إلى أن الحمض الأميني **تربتوفان** يسهم في تحسين المزاج وتخفيف التوتر لدى الأشخاص من مختلف الأعمار فضلاً عن وجود علاقة بين احتواء حليب الأطفال الرضع على هذا الحمض و خلودهم إلى النوم براحة و هدوء.

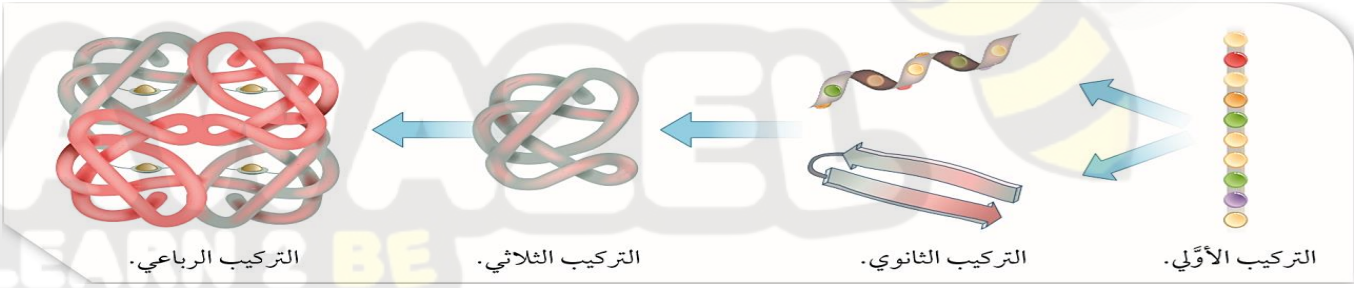
تُمثل البروتينات **أكثر من 50% من الكتلة الجافة لمعظم الخلايا** وهي **تؤدي وظائف مختلفة** في أجسام الكائنات الحية:
مثل: ألياف **الكولاجين** التي تمنح الغضاريف المرونة والقوة مثل (الغضاريف بين فقرات العمود الفقري) ومن الوظائف الأخرى للبروتينات:

الشكل الاتي يمثل بعض الوظائف للبروتينات



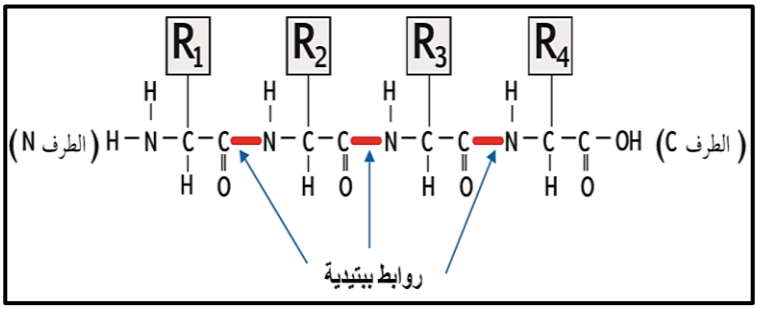
مستويات تركيب البروتينات:

تختلف تبعاً للحموض الأمينية التي تدخل في تركيبها، وعددها، وتسلسلها.



التركيب الأولي

- ترتبط الحموض الامينية معا بروابط **تساهمية ببتيدية (C-N)**، مشكلة سلسلة عديد الببتيد.
- يوصف التسلسل **الخطي للحموض الامينية** في سلسلة عديد الببتيد بانه التركيب الاولي للبروتين.
- تكون مجموعة الأمين في بدايتها **(تسمى الطرف N)**
- تكون مجموعة الكربوكسيل في نهايتها **(تسمى الطرف C)**



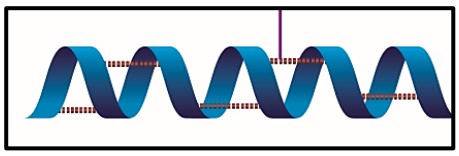
يمثل البروتين الأولي الهيكل الأساسي لمستويات البروتين الأخرى، وهو لا يؤدي أي وظيفة في صورته الأولية.

يحتمل أن تختلف سلسلتا عدد ببتيد، إحداهما عن الأخرى، بالرغم من تكونهما من الحموض الأمينية نفسها ونفس عدد الحموض الأمينية لاختلافهما في تسلسل الاحماض الامينية المكونة لكل منهما.

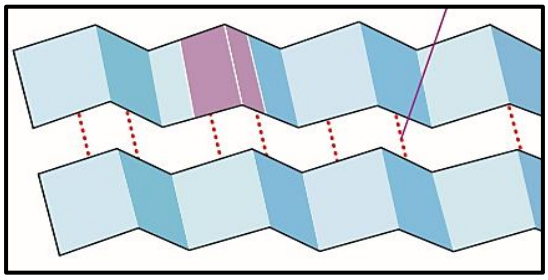
التركيب الثانوي

ينتج من التفاف سلسلة عديد الببتيد **واحدة**، وتكون الروابط الهيدروجينية في مناطق مُحددة، وهي روابط تعمل على تثبيت التركيب الثانوي واستقراره.

يوجد تركيبان ثانويان شائعان هما:



حلزون ألفا α: يتكون تركيب حلزون ألفا عند التفاف سلسلة عديد الببتيد، وتكوينها روابط هيدروجينية بين ذرة الأكسجين في **مجموعة الكربوكسيل** في حمض أميني وبين ذرة الهيدروجين **في مجموعة الأمين** يبعد عن الحمض الأميني الأول أربع حموض أمينية.

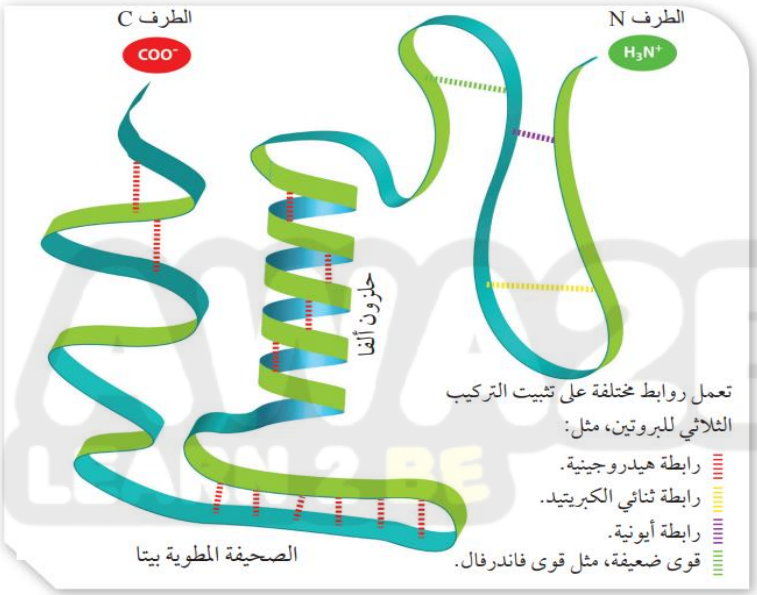


الصفيحة المطوية β: يتكون تركيب الصفيحة المطوية بيتا عند ارتباط جزأين أو أكثر من سلسلة عديد الببتيد نفسها بروابط هيدروجينية، إذ تكوّن هذه الأجزاء المُكونة لسلسلة عديد الببتيد بجانب بعضها البعض **بشكل متعرج (ZIG-ZAG)** ما يتيح تكوين روابط هيدروجينية فيما بينها.

التركيب الثلاثي

- ينتج من طي التركيب الثانوي في سلسلة عديد الببتيد.
- **تعمل أنواع مختلفة من الروابط بين ذرات السلاسل الجانبية R** لسلسلة عديد الببتيد على تثبيت **شكل التركيب الثلاثي.**
- انواع الروابط المختلفة في التركيب **الثلاثي للبروتين** كما في الشكل المجاور:

1- رابطة هيدروجينية
2- ا رابطة ثنائي الكبريتيد
3- رابطة أيونية
4- قوى ضعيفة مثل قوى فاندرفال



في الشكل الثلاثي للبروتين في حالة التأين:

الطرف N تكون مجموعة الأمين تكون على شكل NH^{+}_{3} **هي نفسها** (H_3N^{+})

الطرف C تكون مجموعة الكربوكسيل تكون على شكل COO^{-}

من الأمثلة على البروتينات ذات التركيب الثلاثي بروتين الميوغلوبين

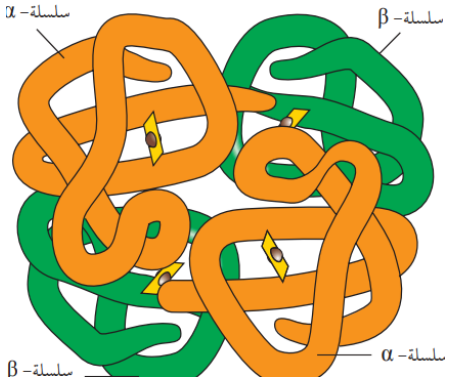
أهميته يحمل الأكسجين في العضلات

كيف ينتج (تكوينه) عند طي التركيب الثانوي لحلزون ألفا **α .**

فقد البروتين تركيبه الثلاثي فإن ذلك يُفقده القدرة على أداء وظيفته الحيوية، كما يحدث في الإنزيمات.

التركيب الرباعي

- يطلق هذا الاسم على البروتينات التي تتكون من **سلسلتين أو أكثر من عديد الببتيد** خلافاً للتراكيب الأخرى السابقة التي تتكون من سلسلة واحدة من عديد الببتيد.
- التركيب الرباعي يُثبت عن طريق روابط مختلفة كما ورد في التركيب الثلاثي.



من الأمثلة على البروتينات ذات التركيب الرباعي

1- **الهيموغلوبين** الذي يتألف من **أربع سلاسل ببتيدية** اثنتان من النوع ألفا **α** ، واثنتان من النوع بيتا **β**
2- **الكولاجين** يتركب من **ثلاث سلاسل عديد الببتيد**.

ملاحظات على التركيب الرباعي:

- ليس من الضرورة ان يتكون هذا التركيب من أربع سلاسل ببتيدية
- يذكر أن سلسلتي ألفا وسلسلتي بيتا في الهيموغلوبين **لا تعني حلزون ألفا وصفيحة بيتا.**

تصنيف البروتينات وفقا لشكلها النهائي الثلاثي الابعاد:

1- البروتينات الكروية

- **يتكون** هذا النوع من بروتينات تركيبها ثلاثي أو رباعي
- **من الأمثلة** عليها: أ- معظم الإنزيمات ب- الهيموغلوبين.
- **تؤدي دوراً:** في عمليات الجسم الحيوية
- **وتكون ذائبة** في الماء بسبب
  أ- **وجود سلاسلها الجانبية R القطبية** (المحبة للماء) في اتجاه الخارج مواجهة المحاليل المائية التي تحيطها.
  ب- **وجود سلاسلها الجانبية R غير القطبية** (الكارهة للماء) في اتجاه الداخل.

2- البروتينات الليفية:

- **يتكون** هذا النوع من بروتينات تركيبها ثانوي أو ثلاثي أو رباعي.
- **ومن أمثلته** بروتين الفايبرين الذي له دور في تجلط الدم.
- لا تكون البروتينات الليفية غالباً ذائباً في الماء بسبب **لأن سلاسلها الجانبية R غير القطبية (كارهة للماء) تكون في اتجاه الخارج مواجهة للمحاليل المائية.**

ملاحظة: توجد بعض البروتينات التي تتكون من أجزاء ليفية وأخرى كروية، مثل بروتين الميوسين في العضلة الهيكلية.

قد ترتبط البروتينات بالسكريات مكونة بروتينات سكرية مثل مولدات **الضد** التي توجد على سطوح خلايا الجسم.

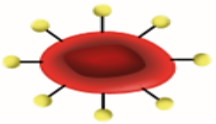
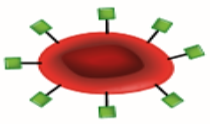
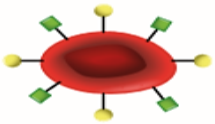
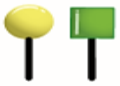
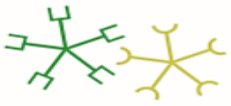
تقسم مولدات الضد الى نوعين مختلفين هما:

1- **مولد ضد ذاتي** وجودها في الحالات الطبيعية على سطح الخلايا الطبيعية يمنع حدوث استجابة مناعية ضدها في الجسم
2- **مولد ضد غير ذاتي (غريب عن الجسم) يسبب** دخولها الى الجسم حدوث استجابة مناعية ضدها في الجسم.

عزيزي الطالب هنا سوف نتطرق لموضوع مهم حول إثر مولدات الضد (البروتينات السكرية) في عملية نقل الدم نقل الدم: هو نقل بعض مكونات الدم او كامله من شخص متبرع الى شخص اخر مستقبل . . .

أولا حسب نظام ABO:

تقسم فصائل الدم حسب هذا النظام الى أربع أنواع مختلفة هي: A , B , AB , O و ذلك بناءاً على وجود أحد مولد الضد A أو B أو كليهما , أو عدم وجودهما على سطح خلايا الدم الحمراء كما في الجدول الآتي:

فصيلة الدم	O	A	B	AB
خلايا الدم الحمراء				
مُولِّد الضد على سطوح خلايا الدم الحمراء	لا يوجد	A	B	 AB
الجسم المضاد في البلازما	 Anti-B Anti-A	Anti-B	Anti- A	لا يوجد

نستنتج من الجدول السابق (مسلمات زي ماهي حفظ)

1- **في فصيلة الدم A:** يوجد على **سطح خلايا الدم الحمراء مولد ضد A** وفي **بلازما الدم جسم مضاد من نوع Anti-B**

2- **في فصيلة الدم B:** يوجد على **سطح خلايا الدم الحمراء مولد ضد B** وفي **بلازما الدم جسم مضاد من نوع Anti-A**

3- **في فصيلة الدم AB:** يوجد على **سطح خلايا الدم الحمراء مولد ضد A و B ولا يوجد اجسام مضاد لها في بلازما الدم**

4- **في فصيلة الدم O:** لا يوجد على **سطح خلايا الدم الحمراء أي مولد ضد (A,B)** وفي **بلازما الدم يوجد Anti-Aو Anti-B**

ملاحظات مهمة جدا يجب ان تعلم عنها حتى نستطيع فهم عملية نقل الدم من الجانب العملي:

- الاجسام المضادة حسب نظام ABO هما نوعان فقط **Anti-A** و **Anti-B** **وتتكون منذ الولادة غير مكتسبة (طبيعية).**
- قبل نقل الدم **(خلايا الدم الحمراء او البلازما سوف يتم شرحه لاحقا)** يجب مراعاة عدم اجتماع (التقاء) مولد الضد مع الجسم المضاد من النوع نفسه حتى لا يحدث تحلل خلايا الدم الحمراء وتجنب ظهور الاعراض الآتية:

1- القشعريرة 2- الحمى 3- قصور وظائف الكلى 4- قد يؤدي الى موته

- **تحلل خلايا الدم الحمراء** يدل على انه التقى مولد الضد مع الجسم المضاد من النوع نفسه وهذا يدل على انه خطأ في نقل الدم

نقل خلايا الدم الحمراء حسب نظام ABO

لمنع حدوث تحلل خلايا الدم الحمراء المنقولة يجب منع التقاء مولد الضد مع الجسم المضاد من النوع نفسه

لذلك نراعي الآتي:

1- **نوع مولد الضد** على سطح خلايا الدم الحمراء **للشخص المتبرع**

2- **نوع الجسم المضاد** في بلازما دم **الشخص المستقبل**

على سبيل المثال أراد أحمد ان يتبرع بخلايا دم حمراء الى حمدي هنا نقول ان احمد شخص متبرع وحمدي شخص مستقبل، علما بان فصيلة دم احمد هي (A) وفصيلة دم حمدي هي (B) هل عملية نقل الدم من أحمد الى حمدي صحيحة!

احمد (متبرع) يملك على سطح خلايا الدم الحمراء **مولد ضد من نوع A** كما في النقطة رقم (1) أعلاه

حمدي (المستقبل) يملك في بلازما الدم **اجسام مضادة Anti-A** كما في النقطة رقم (2) أعلاه

بناءآ عليه إذا تم نقل خلايا دم حمراء من أحمد الى المسكين حمدي فان **سوف يلتقي مولد الضد A من احمد مع الجسم المضاد Anti-A في بلازما دم حمدي** وهذا يؤدي الى تحلل خلايا الدم الحمراء المنقولة من احمد الى حمدي وظهور الاعراض الآتية:

1- القشعريرة 2- الحمى 3- قصور وظائف الكلى 4- قد يؤدي الى موته

نستنتج مما سبق ان عملية نقل الدم (خلايا الدم) هذه غير صحيحة

ولتسهيل دراسة هذا الموضوع اليك المخطط الاتي وغير ذلك تعتبر عملية نقل خاطئة

نقل البلازما حسب نظام ABO (عكس نقل خلايا الدم الحمراء تماما)

لمنع حدوث تحلل خلايا الدم الحمراء المنقولة يجب منع التقاء مولد الضد مع الجسم المضاد من النوع نفسه

لذلك نراعي الآتي:

1- **نوع الجسم المضاد** في بلازما دم **الشخص المتبرع**

2- **نوع مولد الضد** على سطح خلايا الدم الحمراء **للشخص المستقبل**

على سبيل المثال أراد حمدي ان يتبرع ببلازما الدم الى احمد هنا نقول ان حمدي شخص متبرع واحمد شخص مستقبل، علما بان فصيلة دم حمدي هي (B) وفصيلة دم احمد هي (A) هل عملية نقل الدم من حمدي الى احمد صحيحة!

حمدي (متبرع) يملك في بلازما دمهِ اجسام **مضادة Anti-A** كما في النقطة رقم (1) أعلاه

أحمد (المستقبل) يملك على سطح خلايا الدم الحمراء **مولد ضد من نوع A** كما في النقطة رقم (2) أعلاه

بناءآ عليه إذا تم نقل بلازما الدم من حمدي الى المسكين احمد فان **سوف تلتقي الاجسام المضادة Anti-A في بلازما دم حمدي مع مولد الضد A على سطح خلايا الدم الحمراء لأحمد** وهذا يؤدي الى تحلل خلايا الدم الحمراء عند أحمد وظهور الاعراض الآتية:

1- القشعريرة 2- الحمى 3- قصور وظائف الكلى 4- قد يؤدي الى موته

نستنتج مما سبق ان عملية نقل بلازما الدم هذه غير صحيحة

ثانيا حسب نظام Rh العامل الريزيسي:

هو نظام يشير إلى وجود مولد الضد يسمى مولد الضد D، أو **عدم وجوده على** سطح خلايا الدم الحمراء.

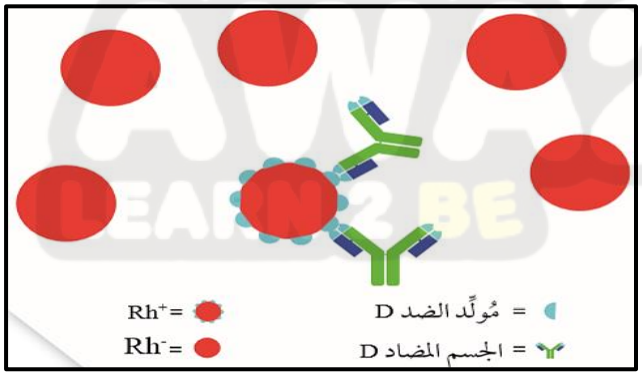
بناءا على ذلك تم تقسم فصائل الدم حسب هذا النظام الى:

1- موجب العامل الريزيسي (Rh^+) في حال وجود مولد الضد D
2- سالب العامل الريزيسي (Rh^-) في حال عدم وجود مولد الضد D

ملاحظات مهمة جدا يجب ان تعلم عنها حتى نستطيع فهم عملية نقل الدم من الجانب العملي:

1- الاجسام المضادة حسب نظام Rh هي نوع واحد فقط **Anti-D** بحيث **تكون مكتسبة** في صورة استجابة مناعية **عند اجراء عملية نقل دم خاطئة** من شخص موجب العامل الريزيسي الى اخر سالب العامل الريزيسي فقط لذلك لا يمكن لشخص موجب العامل الريزيسي ان يتبرع بالدم لشخص سالب العامل الريزيسي فقط يمكنه التبرع للشخص موجب العامل الريزيسي.

2- **حسب نظام Rh يمكن للشخص سالب العامل الريزيسي التبرع بالدم الى الأشخاص موجبي وسالبي العامل الريزيسي** لأنه لا يملك مولد ضد D فلا يكون الشخص المستقبل اجسام مضادة Anti-D فلا تتحلل خلايا الدم الحمراء المنقولة.



الشكل الاتي يوضح كيفية حدوث الاستجابة المناعية وذلك عند ارتباط الجسم المضاد Anti-D الذي تكون في بلازما دم شخص سالب العامل الريزيسي نتيجة استقباله خلايا دم حمراء من موجب العامل الريزيسي تحمل مولد ضد D

ملاحظة مهمة عند نقل بلازما دم حسب نظام Rh لا تحدث استجابة مناعية مالم نقل دم من موجب عامل الريزيسي الى سالب العامل الريزيسي (مع الاخذ بعين الاعتبار نظام ABO)

الليبيدات

وظائفها:

1- **تُشكل طبقة عازلة تحت جلد الإنسان وبعض الحيوانات**، ما يحول دون فقدان الحرارة من أجسامهم
2- **تدخل في تركيب** الأغشية البلازمية والهرمونات الستيرويدية، والفيتامينات الذائبة في الدهون (فيتامين D , A, K, E)
3- تعد مصدر طاقة مُهماً للكائنات الحية.

تُجرى فحوص مخبرية لتعرف مستويات بعض البروتينات والإنزيمات

للمساعد على كشف الإصابة بمرض معين فمثلاً تفحص عينة الدم للكشف عن **إنزيم يسمى ALT** وهو إنزيم يوجد في الكبد

ويعمل على تحويل الحمض الأميني الأنين إلى بيروفيت وفي حال تسرب هذا الإنزيم من الكبد إلى الدم فإن مستوياته في الدم سوف ترتفع

تصنف إلى أنواع عدة:

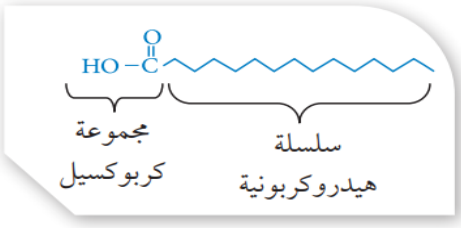
1) الحموض الدهنية 2) الدهون الثلاثية 3) الليبيدات المفسفرة 4) الستيرويدات

وتمتلك جميع هذه الدهون صفة مشتركة هي **عدم امتزاجها بالماء.**

الحموض الدهنية

- تدخل في تركيب **معظم الليبيدات**، ومنها ما يكون حراً
- يتكون الحمض الدهني من مجموعة الكربوكسيل **(COOH)** وسلسلة **هيدروكربونية.**

تصنف الحموض الدهنية إلى نوعين:



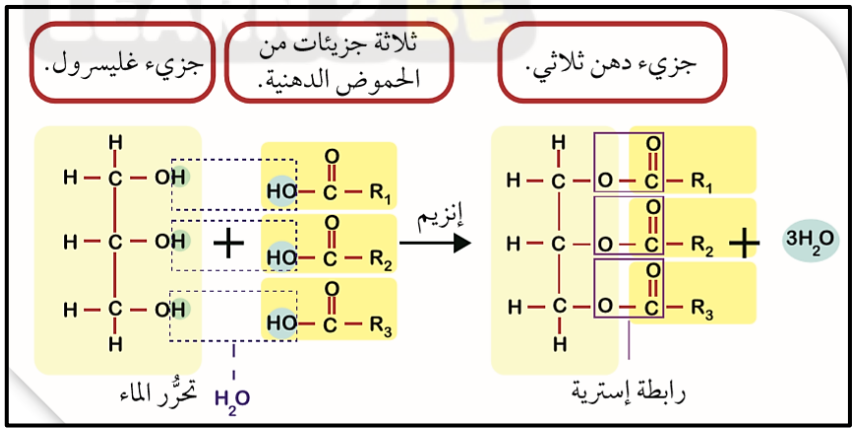
أ ـ الحموض الدهنية المشبعة:

- فيها تكون جميع الروابط أحادية بين ذرات الكربون في السلسلة الهيدروكربونية
- ومن **أمثلتها** حمض **البالمتيك**؛ وهو المكون الرئيسي **لزيت النخيل.**

ب ـ الحموض الدهنية غير المشبعة:

- توجد فيها **رابطة ثنائية واحدة** على الأقل بين ذرات الكربون في السلسلة الهيدروكربونية
- ومن **الأمثلة عليه** حمض **الأوليك**؛ وهو المكون الرئيسي **لزيت الزيتون.**

الدهون الثلاثية هي الليبيدات التي تتكون من **اتحاد جزيء غليسرول واحد** مع **ثلاث جزئيات من الحموض الدهنية** بروابط **تساهمية إسترية.**



تعتمد خصائص الدهون الثلاثية على خصائص الحموض الدهنية المُكونة لها بحيث تقسم الى

- إذ تكون معظم **الدهون الثلاثية غير مشبعة سائلة** في درجة حرارة الغرفة، مثل معظم الزيوت النباتية
- في حين تكون **الدهون الثلاثية المشبعة صلبة** في درجة حرارة الغرفة مثل الزبدة، والسمن الحيواني.

هدرجة الزيوت

هي عملية تحويل الزيوت السائلة إلى سمن نباتي، أو زبدة شبه سائلة، عن طريق عملية كيميائية تُسمى **هدرجة الزيوت**، وذلك بإضافة الهيدروجين إلى الزيوت السائلة غير المشبعة؛ لتحويلها إلى زيوت مشبعة ذات قوام مرغوب به.

امثلة على الدهون المهدرجة صناعيا

السمن النباتي، الزبدة الصناعية (المارجرين)، وبعض أنواع زبدة الفول السوداني.

تحذر منظمات غذائية عدة من استخدام الزيوت المهدرجة في الغذاء

نظراً لما تسببه من أمراض للقلب، وتصلب الشرايين، لذلك أوصت بضرورة قراءة بطاقة المعلومات على المواد الغذائية بعناية.

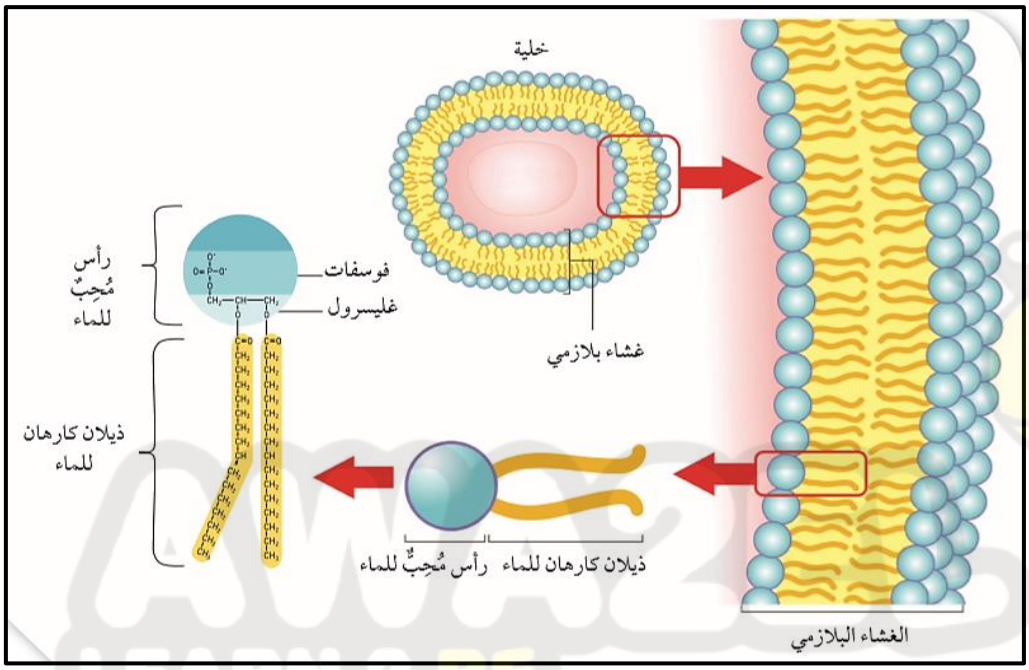
الليبيدات المُفسفَرة هي الليبيدات التي تتكون من **جزيء غليسرول** مُرتبط **بمجموعة فوسفات** مرتبط بجزيئين من **الحموض الدهنية.**

تتكون الليبيدات المفسفرة من:

- **رأس قطبي مُحب للماء** الذي يتكون من جزيء غليسرول مُرتبط بمجموعة فوسفات

- **ذيلان كارهان للماء** يتكون من ارتباط جزيء غليسرول بجزيئين من الحموض الدهنية

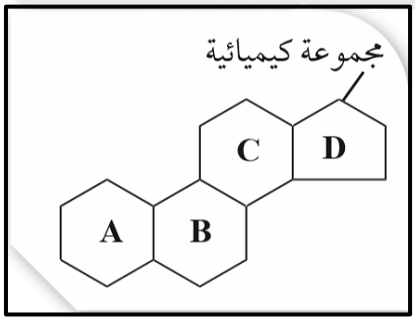
- يحتوي **الغشاء البلازمي** على طبقة مزدوجة من الليبيدات المُفسفرة التي **تترتب في صفين متقابلين** فيها تُقابل الرؤوس القطبية الماء، في حين تبتعد عنه الذيول الكارهة للماء كما في الشكل التالي.



سؤال فسر لا تمر المواد الذائبة في الماء بسهولة عبر الغشاء البلازمي؟

نظراً إلى وجود الجزء غير القطبي (الذيول الكارهة للماء) الذي يقع **وسط الغشاء**، ويعوق مرور هذه المواد؛ **ما ينظم حركة المواد بين داخل الخلية وخارجها.**

الستيرويدات هي الليبيدات التي تتكون من أربع حلقات كربونية ملتحمة ثلاثة منها سداسية وأخرى خماسية إضافة إلى مجموعة كيميائية ترتبط بالحلقة الرابعة تختلف من ستيرويد إلى أخرى



مثل الكولسترول والذي يستطيع جسم الإنسان **تصنيعه في الكبد** ويمكن الحصول عليه من **مصادر غذائية حيوانية.**

أهمية الكولسترول يدخل في تركيب:

1- الأغشية البلازمية الحيوانية
2- الهرمونات الستيرويدية مثل **الألدوستيرون** الذي يؤدي دوراً في تنظيم عمل الوحدة الأنبوبية الكلوية.

مخاطر ارتفاع مستوى الكولسترول في الدم

مستوياته العالية في الدم قد يكون لها صلة بأمراض القلب والأوعية الدموية.

دور الليبيدات في تكيف أسماك القرش على العيش في أعماق البحار

توجد لدى أسماك القرش التي تعيش في اعماق البحر خصائص **عدة تساعدها على الطفو منها:**

1- نسبة الليبيدات في أكبادها 2- وقوة عضلاتها

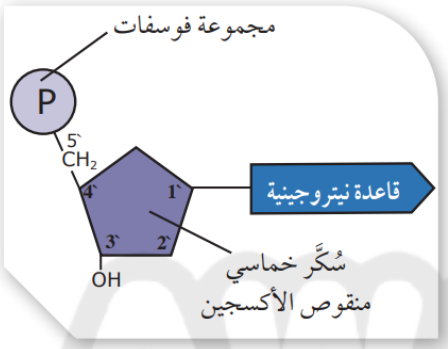
تكيفت اسماك القرش في العيش في المياه العميقة الفقيرة بالغذاء

1- أكباد أسماك القرش التي تعيش في أعماق البحار هي أكبر حجماً من أكباد مثيلاتها التي تعيش في المياه الضحلة
2- وأن نسبة الليبيدات في أكبادها أكثر أيضاً وقد انتهت نتائج الدراسات في هذا الشأن إلى أن نسبة الليبيدات المرتفعة تُقلل من كثافة أجسام أسماك القرش
3- وأن نسبة الألياف العضلية في أجسام أسماك القرش هذه هي الأقل من نسبتها في أجسام مثيلاتها التي تعيش في المياه الضحلة ما يُمكنها من الطفو، والحفاظ على ارتفاع مناسب لها في الماء، من دون بذل مجهود عضلي كبير، وهو ما يعد وسيلة لتقليل استهلاك الطاقة في بيئاتها الفقيرة بالغذاء.

الحموض النووية

وتقسم الى نوعين هما: حمض نووي رايبوزي منقوص الأكسجين **DNA** - حمض نووي رايبوزي **RNA**

تتألف **الحموض النووية** من وحدات بنائية **تسمى النيوكليوتيدات** **ويتكون كل نيوكليوتيد من:**



1 - إحدى **القواعد النيتروجينية**

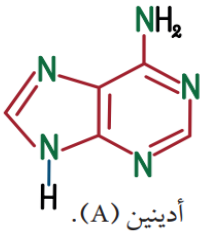
2 - **سكر خماسي**

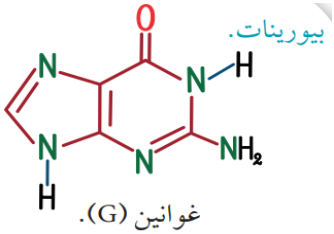
3 - **مجموعة فوسفات**

تُصنف القواعد النيتروجينية الى:

1- بيورينات يتكون كل منها من حلقتين مثل

- غوانين (G) - ادينين (A)

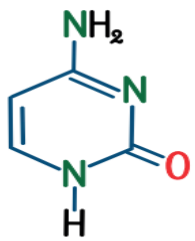

أدينين (A).

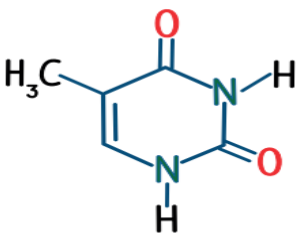


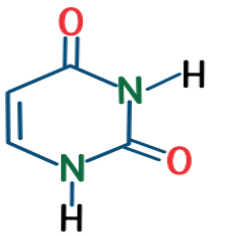
غوانين (G).

2- بيريميدينات يتكون كل منها من حلقة واحدة مثل

- يوراسيل (U) في RNA - ثايمين (T) في DNA - سايتوسين (C)


سايتوسين (C).


ثايمين (T) في جزيء DNA.



يوراسيل (U) في جزيء RNA.

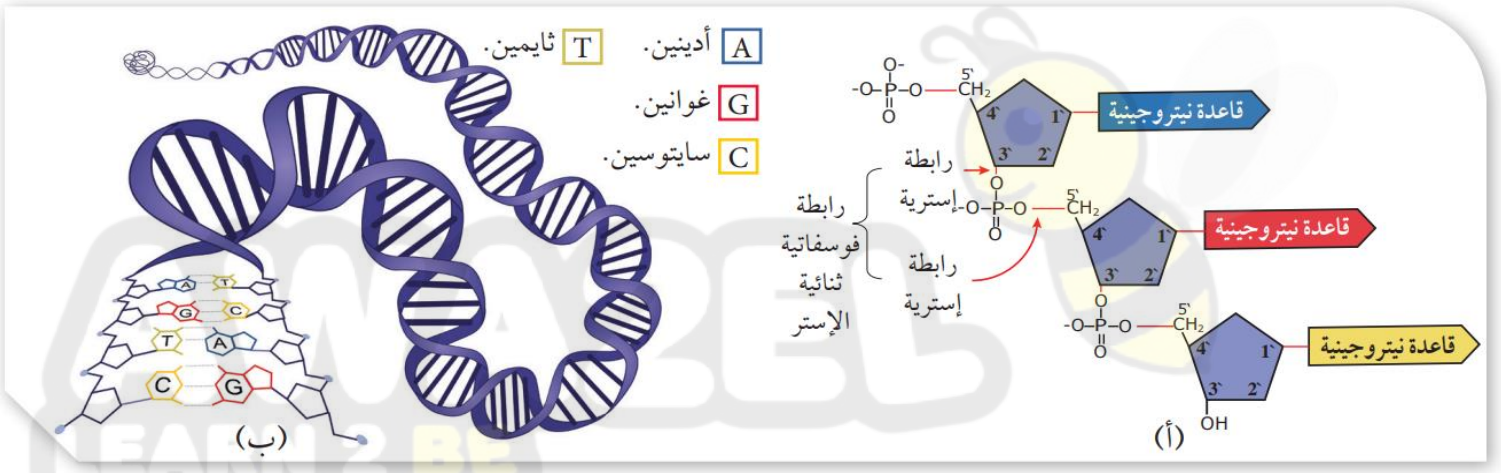
يعمل الحمض النووي DNA على نقل الصفات الوراثية من الآباء إلى الأبناء.

- يتكون جزيء DNA من سلسلتين من النيوكليوتيدات تلتفان على هيئة سلم حلزوني مزدوج
- ترتبط النيوكليوتيدات بين بعضها البعض في السلسلة الواحدة عن طريق روابط فوسفاتية ثنائية الإستر (C---O).
- **ترتبط البيورينات في إحدى سلسلتي الحمض النووي DNA بالبيريميدينات** المُكملة لها في السلسلة المقابلة عن طريق روابط هيدروجينية بحيث يكون **عددها بين C مع G ثلاثة** روابط **وبين A مع T رابطتين**

- **وفقاً لقاعدة تشارغاف** ان نسبة البيورينات إلى نسبة البريميدينات في DNA ثابتة (علل)؟
ذلك أن البيورين يرتبط دائماً بالبيريميدين المُكمل له في السلسلة المُقابلة

سؤال إذا احتوت قطعة من DNA على 25% من الأدينين, فكم نسبة القاعدة النيتروجين المكملة لها في السلسلة المقابلة؟

بما ان القاعدة النيتروجينية المكملة للادنين هي الثايمين فيكون نسبتهما متساوية حسب قاعدة تشارغاف لذلك تكون نسبة الثايمين هي 25%



من تاريخ العلم: في عام 1953م **توصل العالمان واتسون كريك إلى بناء نموذج لجزيء DNA** ونالا جائزة نوبل في الفسيولوجيا والطب تكريماً لهما على هذا الإنجاز.

يتكون الحمض النووي RNA غالباً من **سلسلة واحدة من النيوكليوتيدات** ولكن بعض **الفيروسات** تحتوي على **RNA من سلسلتين.** ويوجد في RNA القاعدة النيتروجينية **يوراسيل بدلاً من الثايمين**

سؤال وضح دور جزيء RNA في الخلية الحيوية؟

دوراً مهماً في عملية تصنيع بروتينات الخلية.

تدريب صمم جدول توضح فيه الفرق بين DNA و RNA من حيث

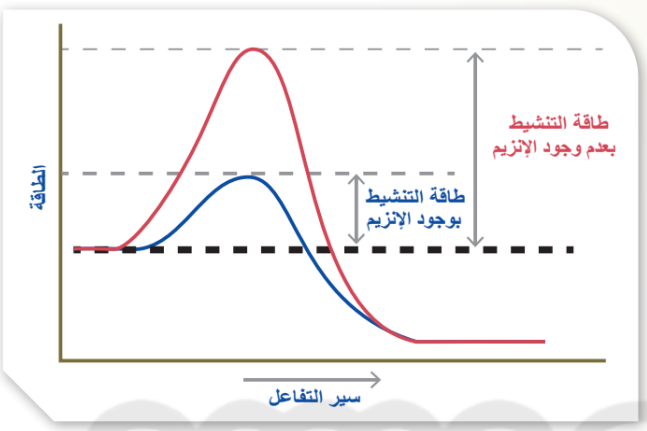
- نوع القواعد النيتروجينية الداخلة في تركيب كل منهما
- وظيفة كل منهما
- عدد السلاسل في كل منهما في الخلايا البشرية.

الدرس الثاني الإنزيمات وجزيء حفظ الطاقة ATP

الإنزيمات: هي مواد يتكون معظمها من بروتينات كروية الشكل تعمل كمُحفز داخل الخلايا الحية، حيث تعمل على زيادة تحفيز وتسريع التفاعلات الكيميائية دون أن تستهلك.

كيف تم اكتشاف الانزيمات

- لاحظ العالم إدوارد بوخنر **عند إضافة مستخلص من خلايا الخميرة إلى سكر السكروز تحطم هذا السكر**، فينتج كحول[1] غاز ثاني أكسيد الكربون[2].
- ثم أطلق على هذه المواد اسم **الإنزيمات**، وهي تعني " داخل الخميرة ".



طاقة التنشيط: هي الطاقة اللازمة لبدء التفاعل الكيميائي.

ومن الشكل المجاور نتبين ان العلاقة بين وجود الانزيم وطاقة التنشيط عكسية كما يلي:

1- **تزداد** استهلاك طاقة التنشيط في التفاعلات التي **تحدث بعدم بوجود** الانزيم
2- **تقل** استهلاك طاقة التنشيط في التفاعلات التي **تحدث بوجود** الانزيم

مساحيق الغسيل الحيوية:

1- استطاع الإنسان صناعة مساحيق غسيل حيوية تحتوي على إنزيمات **تُحلل المواد الموجودة في بقع الغسيل مثلما تهضم الإنزيمات الهاضمة البروتينات** وذلك اعتماداً على خصائص الإنزيمات
2- ما يؤدي الى **تنظيف الملابس**
3- تعمل هذه المساحيق في درجات حرارة منخفضة؛ **ما يُعد وسيلة من وسائل توفير الطاقة.**

آلية عمل الإنزيم:

ملاحظة تذكر ان معظم الانزيمات بروتينات كروية الشكل

سؤال ما أهمية الموقع النشط؟

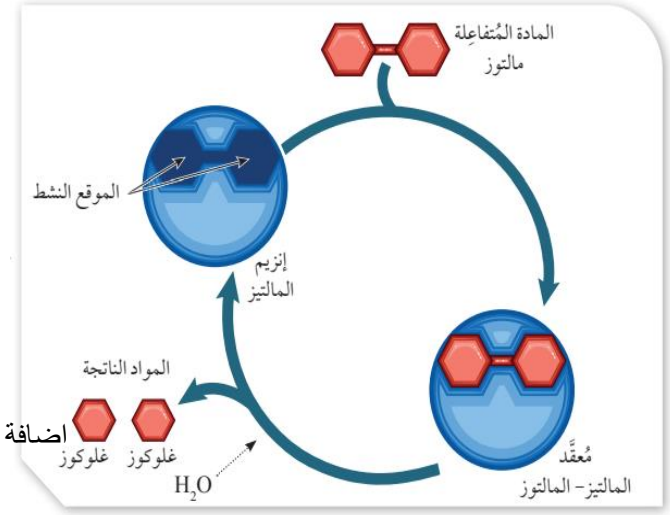
يوجد للإنزيم موقع نشط: وهو تجويف يتكون من حموض امينية معينة ويمثل **مكان حدوث التفاعل** ويعمل **قالبا ترتبط به المادة** التي يؤثر فيها الانزيم علماً بأنه قد يوجد للإنزيم أكثر من موقع نشط **انظر الشكل المجاور**

الآلية العامة لعمل الانزيمات

المادة المُتفاعِلة + إنزيم ⟷ (مُعقَّد الإنزيم – المادة المُتفاعِلة) ⟵ إنزيم + المادة الناتجة

معقد إنزيم – المادة المتفاعلة هو مركب يتكون من **ارتباط المادة المتفاعلة بالموقع النشط للإنزيم**

الشكل المجاور يوضح **الية عمل انزيم المالتيز** الذي يعمل على **(تفكك) المالتوز** إلى جزيئي غلوكوز



1- **ارتباط المادة المتفاعلة (المالتوز)** مع الموقع النشط في انزيم المالتيز

2- يتكون **معقد المالتيز- المالتوز**

3- **يعمل الانزيم** على تفكيك الرابطة الغلايكوسيدية بإضافة جزيء ماء واحد لكل جزيء مالتوز

4- **ينتج جزيئي غلوكوز** تنفصل عن الموقع النشط وانزيم المالتيز الذي لم يستهلك في التفاعل ثم يبدأ تفاعل اخر

المعادلة الاتية توضح الية عمل انزيم المالتيز:

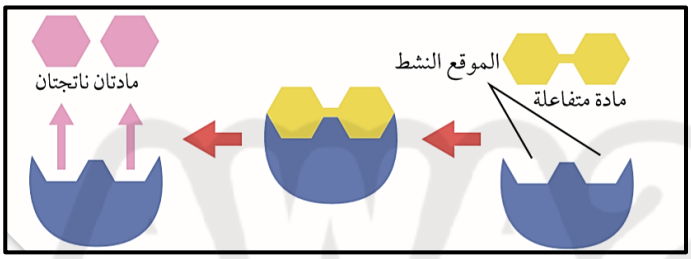
مالتوز + إنزيم المالتيز ⟷ (مُعقّد المالتيز - المالتوز) ⟵ إنزيم المالتيز + (2) غلوكوز

ملاحظة ومن الانزيمات التي تعمل على (**ربط**) الوحدات البنائية (الغلوكوز) لتكوين الغلايكوجين **انزيم تصنيع الغلايكوجين**

الفرضيات التي تُفسر ارتباط الإنزيم بالمادة التي يؤثر فيها: أ) فرضية القفل والمفتاح ب) فرضية التلاؤم المُستحث

أ) فرضية القفل والمفتاح

ان شكل المادة المتفاعلة يتوافق مع شكل الموقع النشط للإنزيم لذا ترتبط المادة المتفاعلة **بالموقع النشط ارتباطاً كاملا** كما تتداخل مسنَّنات المفتاح بالتجاويف المتوافقة مع شكلها في القفل



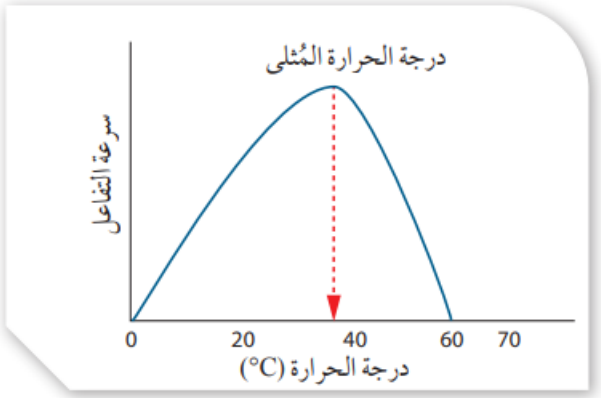
ب) فرضية التلاؤم المُستحث

أن شكل الموقع النشط للإنزيم يتغير تغيراً بسيطاً ومؤقتاً عند ارتباط المادة المتفاعلة به ؛ لكي يصبح مُناسباً لشكلها.

العوامل المؤثرة في نشاط الإنزيم

1) درجة الحرارة:

يتأثر نشاط إنزيم بدرجة حرارة الوسط الذي يحدث فيه التفاعل **فلكل إنزيم درجة حرارة مُثلى تكون عندها سرعة التفاعل الذي يحفزه الإنزيم أعلى ما يُمكن.**

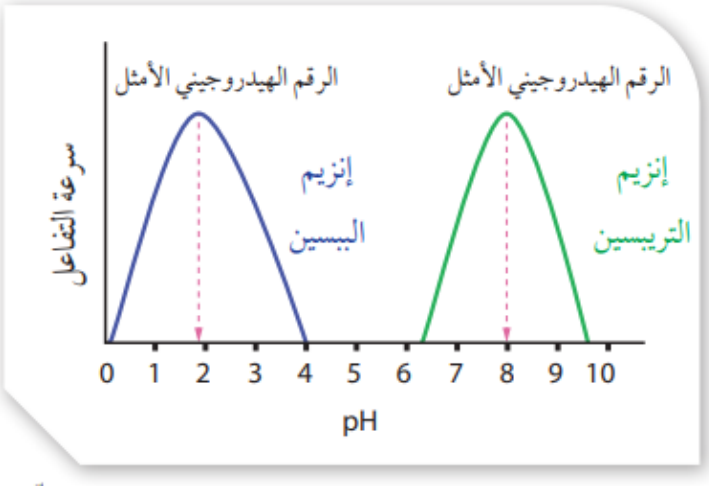


سؤال ما تأثير ارتفاع درجة الحرارة عن الدرجة المثلى نشاط (عمل) الانزيم؟

فيقل نشاط الإنزيم تدريجياً حتى يفقد قدرته على العمل لأن شكل البروتين المُكون للإنزيم يتغير ما يؤدي إلى تغير شكل الموقع النشط ويصبح غير متوافق مع المادة المتفاعلة التي يعمل عليها

ملاحظة **تعمل معظم الإنزيمات في جسم الإنسان** بصورة مثلى عند درجات الحرارة التي تتراوح بين (35°C) و (40°C) أي درجات الحرارة القريبة من درجة حرارة جسم الإنسان (37°C)

2) الرقم الهيدروجيني pH:



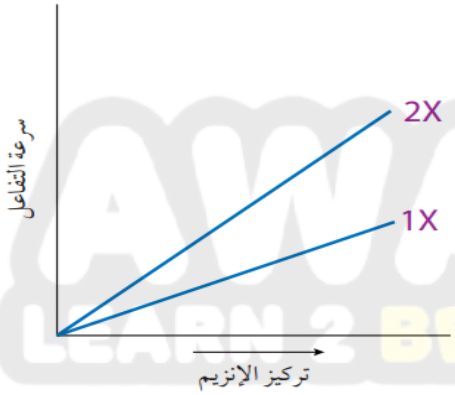
يتأثر نشاط إنزيم بالرقم الهيدروجيني pH الذي يحدث فيه التفاعل **فلكل إنزيم رقم هيدروجيني أمثل تكون عنده سرعة التفاعل الذي يُحفزه الإنزيم أعلى ما يمكن**

ملاحظة **أما الرقم الهيدروجيني الأمثل لعمل معظم الإنزيمات في جسم الإنسان** فهو **(pH = 6 – 8)** مثل **إنزيم التريبسين** الذي يعمل في الأمعاء **عند الرقم الهيدروجيني (pH = 8)** تقريباً.

من الاستثناءات إنزيم الببسين (إنزيم هضم في المعدة) إذ يعمل بأقصى فاعلية **عند الرقم الهيدروجيني (pH = 1.5 – 2)** تقريباً.

3) تركيز الإنزيم وتركيز المادة المتفاعلة:

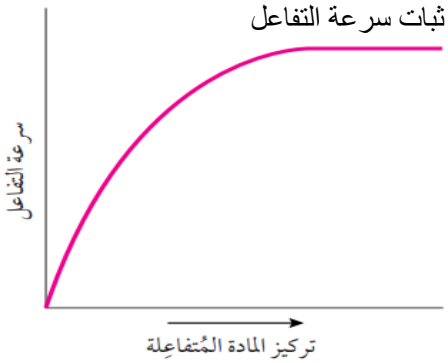
أ) تركيز الإنزيم



كلما زاد تركيز الإنزيم زادت سرعة التفاعل الكيميائي؛ **إذ تتوافر أعداد أكبر من المواقع النشطة للارتباط بالمادة المتفاعلة.**

إذا قارنت سرعة تفاعلين مُتماثلين؛ أحدهما أجري بإضافة إنزيم تركيزه (1X) , و الآخر بإضافة إنزيم تركيزه (2X) , مع تثبيت جميع العوامل الأخرى في

ب) تركيز المادة المتفاعلة



كلما زاد تركيز المادة المتفاعلة **زادت سرعة التفاعل الكيميائي** وعندما تُشغل جميع المواقع النشطة المتوافرة في جزيئات الإنزيم بجزيئات المادة المتفاعلة لا تحدث اي زيادة في سرعة التفاعل بصرف النظر عن مقدار الزيادة في تركيز المادة المتفاعلة

تم استخدام الإنزيمات المُستخلصة من الفواكه الإستوائية **في صناعة الخلايا الشمسية.**

سؤال ماذا تتطلب صناعة بعض الشرائح الرقيقة المُستخدمة في الخلايا الشمسية؟

توافر درجات حرارة مرتفعة ومبالغ مالية كثيرة.

سؤال كيف تم حل مشكلة درجات الحرارة المرتفعة في صناعة الشرائح الرقيقة المستخدمة في الخلايا الشمسية؟

بتقليل درجات الحرارة اللازمة لذلك طور باحثون تقنية عضوية تتضمن صناعة شرائح نانوية رقيقة من مادة أكسيد التيتانيوم، مستفيدين في ذلك من خصائص الإنزيمات إذ تمكنوا من استخلاص إنزيم البابايين من ثمار فاكهة البابايا الاستوائية، ثم استعملوه مع أكسيد التيتانيوم لإنتاج هذه الشرائح ذات المسامية الكبيرة ؛ بغية استخدامها في صناعة الخلايا الشمسية.

العوامل المساعدة ومرافقات الإنزيمات:

- **يتطلب عمل الإنزيمات** في بعض التفاعلات توافر عوامل عديدة تُسمى **العوامل المساعدة** من الأمثلة عليها **مُرافقات الإنزيمات** وهي **عوامل (مواد) عضوية** مساعدة للأنزيمات بعضها تؤدي دورا في تفاعلات الأكسدة والاختزال التي تحدث في الخلية مثل:

أ) **جزيئات NAD^+ و FAD :** المستخدمة في عملية التنفس الخلوي

ب) **جزيئات $NADP^+$:** المستخدمة عملية البناء الضوئي

سؤال وضح كيف تعمل NAD^+ و FAD بوصفها نواقل الكترونات في تنظيم الطاقة بعملية التنفس الخلوي.

إذ أنها تستقبل الإلكترونات ذات الطاقة الكبيرة مع البروتونات فتُختزل إلى **NADH** و **$FADH_2$** ثم تتأكسد بفقدانها الإلكترونات إلى جزيئات أخرى في سلسلة نقل الإلكترون **في الغشاء الداخلي للميتوكندريا** في أثناء عملية التنفس الخلوي

$$NAD^+ + H^+ + 2e^- \underset{\text{تأكسد}}{\overset{\text{اختزال}}{\rightleftharpoons}} NADH$$

$$FAD + 2H^+ + 2e^- \underset{\text{تأكسد}}{\overset{\text{اختزال}}{\rightleftharpoons}} FADH_2$$

جزيء حفظ الطاقة ATP:

تحتوي الخلايا على **جزيء عضوي يسمى (A) أدينوسين (T) ثلاثي (P)الفوسفات** وهو يخزن الطاقة اللازمة لمعظم العمليات التي تحدث داخل خلايا الكائنات الحية.

يتكون من:

1) القاعدة النيتروجينية **أدينين** 2) **سكر رايبوز**

3) **ثلاث** مجموعات **فوسفات** تُخزن الطاقة الكيميائية في الروابط بين **مجموعات الفوسفات**

انتاج جزيء حفظ الطاقة ATP

ينتج جزيء حفظ الطاقة ATP بفعل **إنزيم إنتاج ATP** عن طريق إضافة مجموعة فوسفات إلى جزيء أدينوسين ثنائي الفوسفات في عملية تسمى **الفسفرة** وبذلك تخزن الطاقة الكيميائية في الرابطة بين مجموعتي الفوسفات.

سؤال ما الذي يحفز عملية الفسفرة؟

يُحفِز عملية الفسفرة **إنزيم إنتاج ATP** في عمليتي التنفس الخلوي و البناء الضوئي.

تحرر الطاقة المختزنة من جزيء ATP

عند تحطيم رابطة بين مجموعتي الفوسفات الثالثة والثانية بفعل **إنزيم ATP ase** تتحرر الطاقة المُختزنة فيها فينتج:

1- جزيء أدينوسين ثنائي الفوسفات **ADP**

2- **مجموعة فوسفات حرة.**

تابع الشكل من (أ) الى (ب)

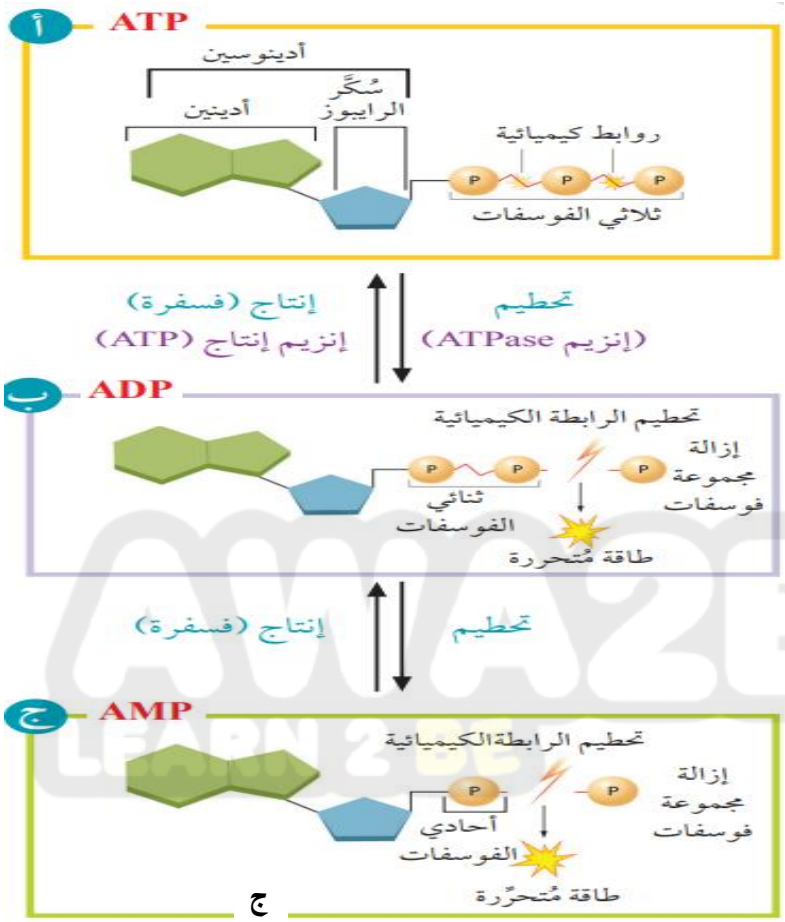
تحرر الطاقة المختزنة من جزيء ADP

عند تحطيم رابطة بين مجموعتي الفوسفات الثانية والأولى بفعل **إنزيم ATP ase** تتحرر الطاقة المُختزنة فيها فينتج:

1- جزيء أدينوسين أحادي الفوسفات **AMP**

2- **مجموعة فوسفات حرة.**

تابع الشكل من (ب) الى (ج)



تدريب (1) كم مجموعة فوسفات تلزم لتحويل كل من الاتي:

1- جزيء AMP إلى جزيء ADP

2- جزيء AMP إلى جزيء ATP

تدريب (2) مم يتكون جزيء الأدينوسين؟

الناتج محدد عدد مجموعات الفوسفات فيه.

الدرس الثالث التفاعلات الكيميائية في الخلية

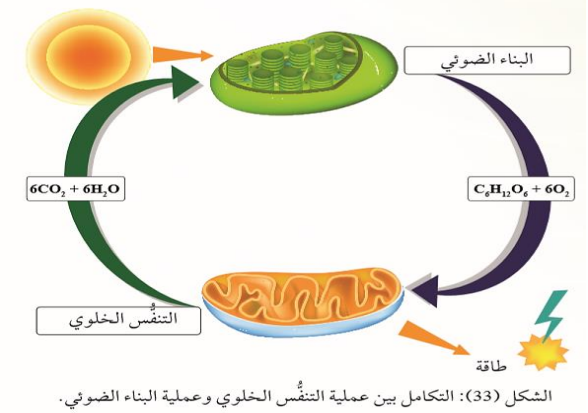
عمليات الأيض: مجموعة من التفاعلات الكيميائية التي تحدث داخل خلايا الكائن الحي وتتضمن عمليتي البناء والهدم.

عمليات البناء: مجموعة من التفاعلات الكيميائية التي تُبنى فيها جزيئات كبيرة ومُعقدة من جزيئات صغيرة مثل **عملية البناء الضوئي.**

عمليات الهدم: مجموعة من التفاعلات الكيميائية التي تُحطم فيها بعض الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات أبسط **لإنتاج الطاقة الكيميائية المُخزنة في روابطها، مثل عملية التنفس الخلوي.**

من الشكل المجاور نلاحظ ان:

- **نواتج البناء الضوئي** هي O_2 و$C_6H_{12}O_6$ هي نفسها المواد المتفاعلة في عملية التنفس الخلوي
- **نواتج التنفس الخلوي** هي CO_2 و H_2O هي نفسها المواد المتفاعلة في عملية البناء الضوئي



الشكل (33): التكامل بين عملية التنفُّس الخلوي وعملية البناء الضوئي.

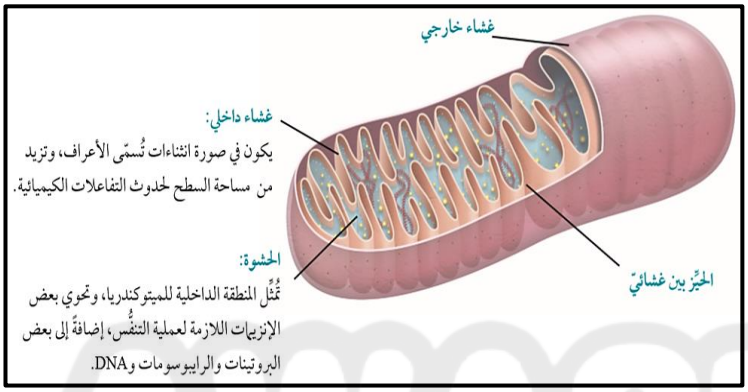
- **التفاعلات الكيميائية** في خلايا الكائنات الحية منها ما يخزن الطاقة في الروابط الكيميائية داخل المركبات العضوية ومنها ما يحرر الطاقة المخزنة اللازمة لأداء الأنشطة الحيوية

التنفس الخلوي:

- تحدث في **عملية التنفس الخلوي** سلسلة من التفاعلات تشمل **تحطيم المُركبات العضوية (الغلوكوز) داخل الخلايا لإنتاج الطاقة كما في المعادلة الاتية:**

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \xrightarrow{\text{إنزيمات}} 6CO_2 + 6H_2O + \text{Energy}\ (\text{ATP} + \text{حرارة})$$

- تحدث معظم **عمليات التنفس الخلوي في الخلايا حقيقية النوى في الميتوكندريا انظر الشكل.**



أهمية الأعراف:

تزيد من مساحة السطح لحدوث التفاعلات الكيميائية

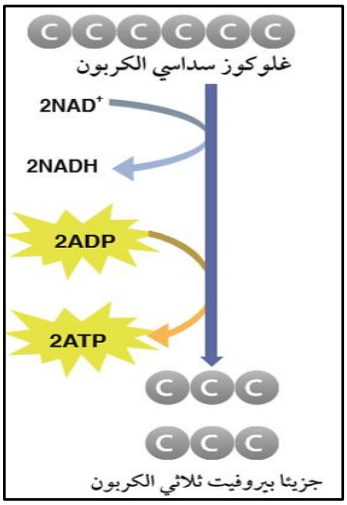
تسمى الحشوة وتحتوي على انزيمات لازمة لعملية التنفس الخلوية وبعض البروتينات والرايبوسومات و جزي DNA

تحدث عملية التنفس الخلوي على مرحلتين هما:

1) مرحلة التحلل الغلايكولي (السُكري) **في السيتوسول.**

2) مرحلة التنفس الهوائي **في الميتوكندريا.**

أولا التحلل الغلايكولي: هي المرحلة الأولى من التنفس الخلوي وهو سلسلة من التفاعلات الكيميائية تحدث في **السيتوسول ولا تحتاج إلى أكسجين** وفيها:



- يتحطم كل جزيء غلوكوز إلى جزيئين من البيروفيت ثلاثي الكربون
- يختزل جزيئا NAD^+ إلى جزيئي **NADH** و ينتج جزيئا **ATP**.

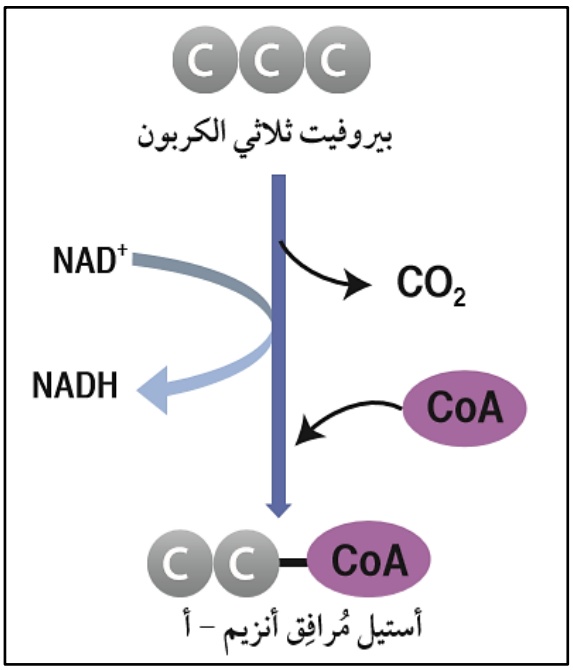
المواد الناتجة من تحلل جزء غلوكوز واحد:

- **2ATP**
- **2NADH**
- **2 بيروفيت ثلاثي الكربون**

ثانيا التنفس الهوائي: عند **توافر الأكسجين** فإن **جزيئي البيروفيت ينتقلان إلى حشوة الميتوكوندريا** وتشمل ثلاث خطوات (مراحل)

أ) أكسدة البيروفيت إلى أستيل مُرافق إنزيم – أ **ب) حلقة كربس** **ج) الفسفرة التأكسدية**

أ) أكسدة البيروفيت إلى أستيل مُرافق إنزيم – أ:



1- **ينتزع جزيء CO_2 من البيروفيت** فيتكون مركب ثنائي الكربون في الحشوة.
2- **يتأكسد المركب ثنائي الكربون** الناتج مختزلاً NAD^+ إلى NADH.
3- **ثم يرتبط مركب** ثنائي الكربون **بمرافق إنزيم – أ (CoA)** فينتج **أستيل مرافق إنزيم – أ(Acetyl CoA) .**

- **ملاحظة** هذه الخطوة (3) **تربط بين التُحلل الغلايكولي وحلقة كربس.**

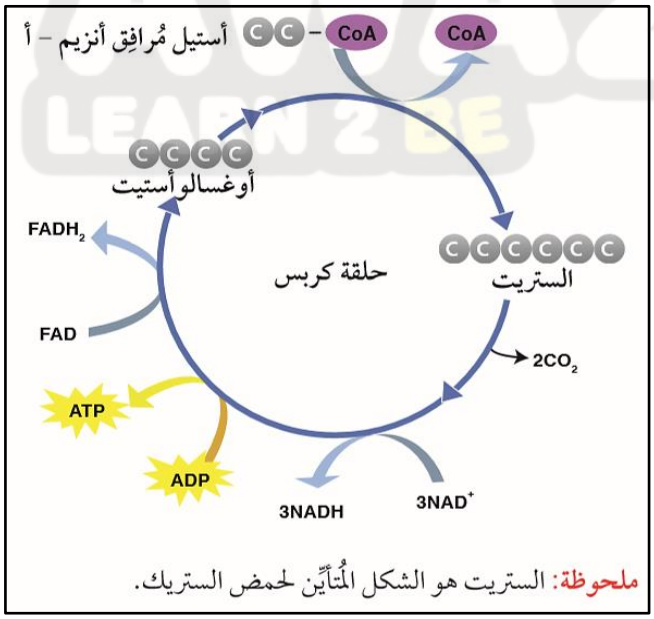
المواد الناتجة من اكسدة بيروفيت واحد:

- CO_2
- NADH
- أستيل مرافق أنزيم – أ

تذكر ان جزيء الغلوكوز الواحد يكون 2 بيرفيت في التحلل الغلايكولي

ب) حلقة كربس:

- سميت بهذا الإسم نسبة للعالم الذي **ساهمت بحوثه في اكتشافها** وهي تسمى **دورة حمض السيتريك** وتحدث في **الحشوة** داخل الميتوكوندريا.



1- تبدأ بتفاعل **أستيل مُرافق إنزيم – أ ثنائي الكربون** مع مركب **رباعي الكربون يسمى أوغسالوأستيت** فينتج الستريت (مركب سداسي الكربون) **ويتحرر مرافق إنزيم – أ.**

2- ثم يدخل الستريت (سداسي الكربون) في سلسلة من التفاعلات **يفقد خلالها جزيئي CO_2** ليعاد إنتاج مركب أوغسالوأستيت.

في أثناء هذه التفاعلات يحدث كل من الآتي:

1. اختزال **ثلاث** جزيئات من NAD^+ إلى **NADH**
2. اختزال **جزيء واحد** من **FAD** إلى **$FADH_2$**
3. **إنتاج جزيء ATP بصورة مباشرة**

ج) الفسفرة التأكسدية (سلسلة نقل الإلكترون و الأسموزية الكيمائية)

- تتكون سلسلة نقل الإلكترون من مجموعة من المكونات معظمها **بروتينات ناقلة وإنزيمات حيث يحدث ما يلي:**

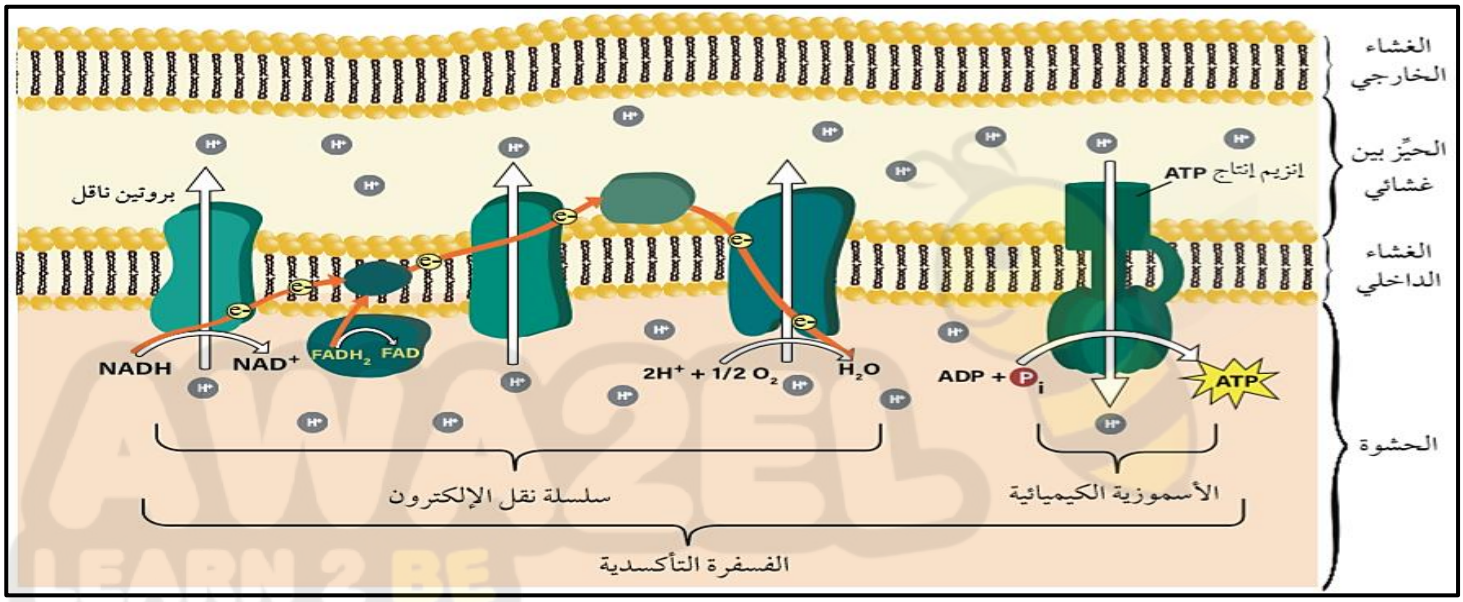
1- **تستقبل هذه السلسلة الإلكترونات (e-)** الناتجة من السلسلة **من أكسدة NADH و $FADH_2$** ثم تنقلها من بروتين ناقل إلى آخر.
2- **في نهاية السلسلة:** تصل هذه **الإلكترونات (e-)** إلى مستقبلها النهائي وهو **الأكسجين** ثم تتحد معه ومع البروتونات (H^+) فيتكون الماء.

3- **يؤدي انتقال الإلكترونات (e-) من NADH و FADH2** الى **الاكسجين** خلال سلسلة نقل الإلكترون الى ضخ البروتونات (H^+) من الحشوة الى الحيز بين غشائي **فينتج فرق في تركيز البروتونات بين الحيز بين غشائي و الحشوة.**

4- تعود البروتونات (H^+) **نتيجة لفرق التركيز** على جانبي غشاء الميتوكندريا الداخلي إلى داخل الحشوة **عن طريق إنزيم إنتاج ATP** في عملية تُسمى **الأسموزية الكيميائية** وتحدث فيها **فسفرة جزئيات ADP إلى ATP.**

الفسفرة التأكسدية: هي **عملية إنتاج ATP** عن طريق سلسلة نقل الإلكترون والأسموزية الكيميائية وهي تتضمن تفاعلات اكسدة واختزال

الأسموزية الكيميائية هي عودة البروتونات (H^+) **نتيجة لفرق التركيز** على جانبي غشاء الميتوكندريا الداخلي إلى داخل الحشوة **عن طريق إنزيم إنتاج ATP**



- يسهم كل جزيء من **NADH في إنتاج (2.5) جزيء من ATP** في حين يسهم كل جزيء **من $FADH_2$ في إنتاج (1.5)** جزيء من ATP.

ملاحظة لتسهيل العمليات الحسابية

- **عدد جزئيات ATP** التي يسهم **جزيء NADH في إنتاجها هو(3)**
- **عدد جزئيات ATP** التي يسهم جزيء **FADH2 في إنتاجها هو(2)**

سؤال أحسب عدد جزئيات ATP الناتجة من الفسفرة التأكسدية عند أكسدة جزيء واحد من الغلوكوز؟

- **ينتج NADH (10)** وذلك 2 من التحلل الغلايكولي و 2 من تاكسد حمض البيروفيت و6 من من دورتين حلقة كربس
- ينتج $FADH_2$ **(2)** من دورتين حلقة كربس
- 10 جزيئات NADH تعطي 30 جزيء ATP في الفسفرة التاكسدية
- 2 جزيء $FADH_2$ تعطي 4 جزيء ATP في الفسفرة التاكسدية
- **المجموع النهائي = 34 ATP**

سؤال خلية انتجت 114 جزي ATP بعملية التنفس الخلوي اجب عما يلي:

أ) كم عدد الغلوكوز التي كونت هذه الجزيئات.

ب) كم عدد جزيئات CO_2 والماء الناتجة.

ج) كم عدد جزيئات NADH التي تاكسدت في الفسفرة التاكسدية

د) كم عدد جزيئات $FADH_2$ التي تاكسدت في الفسفرة التاكسدية

التنفس اللاهوائي والتخمر:

- تحدث هاتين العمليتان في **السيتوسول** حيث تعمل بعض الخلايا على أكسدة المواد العضوية وإنتاج الطاقة ATP من **دون استخدام الأكسجين**

أ) التنفس اللاهوائي:

يلجأ إلى هذا النوع من التنفس بعض أنواع البكتيريا إذ تستخدم هذه الكائنات **سلسلة نقل الإلكترون** ولكنها **لا تستخدم الأكسجين** مُستقبلاً نهائياً للإلكترونات

ومن الأمثلة عليها بكتيريا اختزال الكبريتات التي تعيش في بيئة **تخلو من الاكسجين** وتستخدم الكبريتات مُستقبلاً نهائياً للإلكترونات فينتج **كبريتيد الهيدروجين H_2S** (مركب غير عضوي).

ب) التخمر: هي عملية تحدث في السيتوسول **عند عدم توافر كميات كافية من الأكسجين وتصنف الى أنواع** عدة **حسب ناتجه النهائي ومنها: 1- التخمر الكحولي 2- تخمر حمض اللاكتيك**

1- تبدأ بالتحلل الغلايكولي
2- ثم تنتقل الإلكترونات من NADH **إلى البيروفيت** (مركب عضوي) بوصفه مستقبلاً نهائياً للإلكترونات ليعاد استخدام NAD^+ في التحلل الغلايكولي

توجد أنواع عدة من التخمر تصنف بناءً على الناتج النهائي مثل:

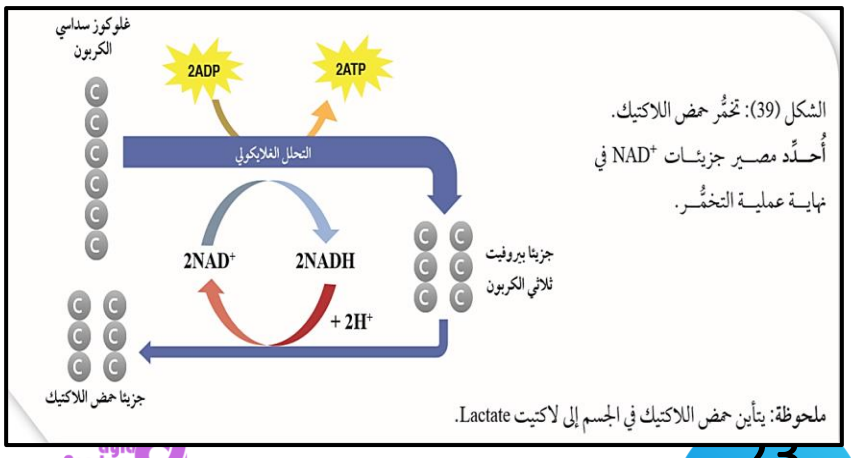
1- تخمر حمض اللاكتيك
2- التخمر الكحولي

1) تخمر حمض اللاكتيك (التخمر اللبني) تحدث هذه العملية في:

1- **أنواع من البكتيريا** 2- **بعض الفطريات** 3- **العضلات الهيكلية**

حيث تعمل على تحويل البيروفيت (الناتج من التحلل الغلايكولي) إلى **حمض اللاكتيك** عند **عدم توافر كميات كافية من الأكسجين** فيما يعرف باسم **تخمر حمض اللاكتيك.**

ينتج من تفاعلات تخُمر جزيء واحد من الغلوكوز إلى حمض اللاكتيك جزئيان من **ATP** وجزئيان من **حمض اللاكتيك.**



الشكل (39): تخمُّر حمض اللاكتيك.
أُحـدِّد مصـير جزيئـات NAD^+ في نهايـة عمليـة التخمُّـر.

ملحوظة: يتأين حمض اللاكتيك في الجسم إلى لاكتيت Lactate.

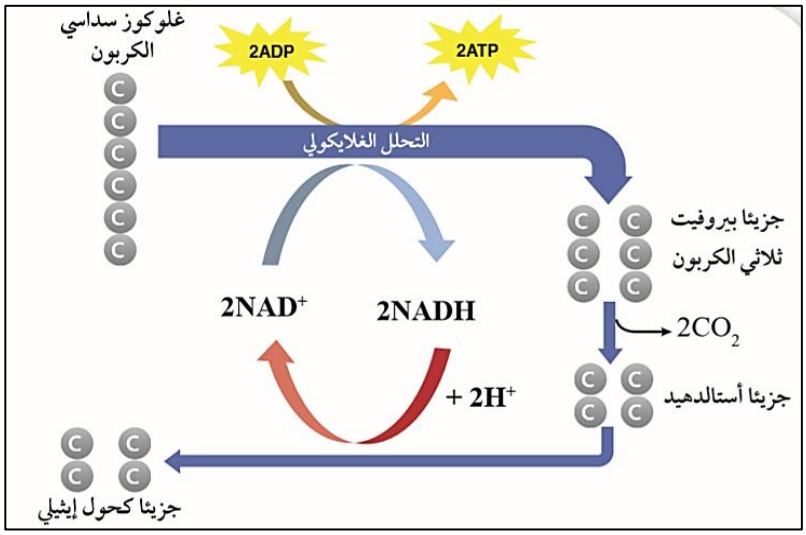
استفاد الإنسان من البكتيريا والفطريات التي تقوم بعملية التخمر في انتاج الالبان:

تعمل هذه الكائنات على **تحويل البيروفيت إلى حمض اللاكتيك** إذ تحلل هذه البكتيريا سكر اللاكتوز في الحليب ثم تحوله إلى حمض اللاكتيك فيتحول الحليب إلى لبن

2) التخمر الكحولي تحدث هذه العملية في:

1- فطر الخميرة 2- بعض أنواع البكتيريا اللاهوائية

- حيث تعمل على تحويل **البيروفيت إلى كحول إيثيلي**
- **يتحول البيروفيت** إلى **مركب ثنائي الكربون يسمى أسيتالدهيد** وذلك من تحرر غاز ثاني أكسيد الكربون **CO2**
- **ثم يُختزل** الأسيتالدهيد إلى **كحول إيثيلي**



معلومة غذائية تستخدم الخميرة في إعداد المعجنات إذ يعمل غاز ثاني أكسيد الكربون المُتحرر من عملية التخمر الكحولي على زيادة حجم العجين

تُستخدَم الخميرة في إعداد المُعجّنات؛ إذ يعمل غاز ثاني أكسيد الكربون المُتحرِّر من عملية التخمُّر الكحولي على زيادة حجم العجين، أنظر الشكل (42).

البناء الضوئي

تحدث فيها سلسلة من التفاعلات تشمل:

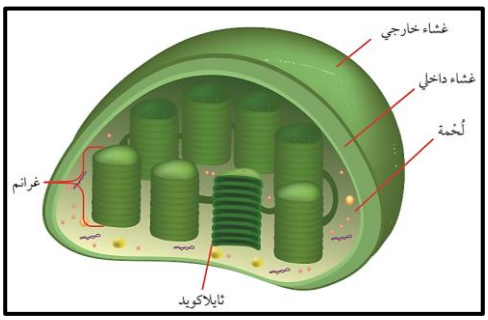
- امتصاص الطاقة الضوئية
- ثم تحويلها إلى طاقة كيميائية تُختزن في المركبات العضوية مثل (الغلوكوز)
- يمكن تمثيل هذه العملية بالمعادلة الكيميائية الآتية:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{إنزيمات}]{\text{ضوء + صبغة كلوروفيل}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

- **تحدث هذه العملية في البلاستيدات الخضراء** وهي عضيات تحوي غشاءين (داخلي، خارجي) يحيطان بالثايلاكويدات.

الثايلاكويدات: مجموعة من الأكياس الغشائية على هيئة أقراص يترتَّب بعضها فوق بعض تسمى **الغرانا** (مفردها غرانم) وتمتلئ الفراغات المحيطة بها بسائل كثيف يسمى **اللُّحمة**.

- **تحتوي اغشية الثايلاكويدات** على صبغة الكلوروفيل واصباغ أخرى وبعض الانزيمات ونواقل للالكترونات **ونظامان ضوئيان كما يلي:**



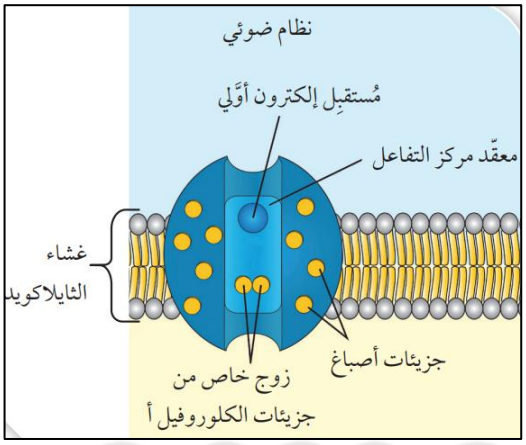
1 – النظام الضوئي **الأول** PS I 2 – النظام الضوئي **الثاني** PS II

وبشكل عام يتألف النظام الضوئي معقد مركز تفاعل الذي يحوي على:

أ- زوج خاص من **الكلوروفيل أ**

ب- مستقبل إلكترون أولي

يحاط مقعد مركز التفاعل بأصباغ أخرى مثل: **الكلوروفيل ب، والكاروتين.**



- **يعرف النظام الضوئي الأول (PS I) بـــــ P700؛** لأن **الكلوروفيل أ في** معقد مركز التفاعل يمتص الضوء الذي طوله **الموجي 700** نانومتر بأقصى فاعلية.

- **يعرف النظام الضوئي الثاني (PS II) بـــــ P680؛** لأن **الكلوروفيل أ في** مركز التفاعل يمتص الضوء الذي طوله **الموجي 680** نانومتر بأقصى فاعلية.

مراحل عملية البناء الضوئي

1 – **التفاعلات الضوئية؛** التي تعتمد على الضوء **وتحدث في أغشية الثايلاكويدات.**

2 – **التفاعلات اللاضوئية؛** (تسمى أيضاً حلقة كالفن) التي لا تحتاج إلى الضوء **وتحدث في اللُّحمة.**

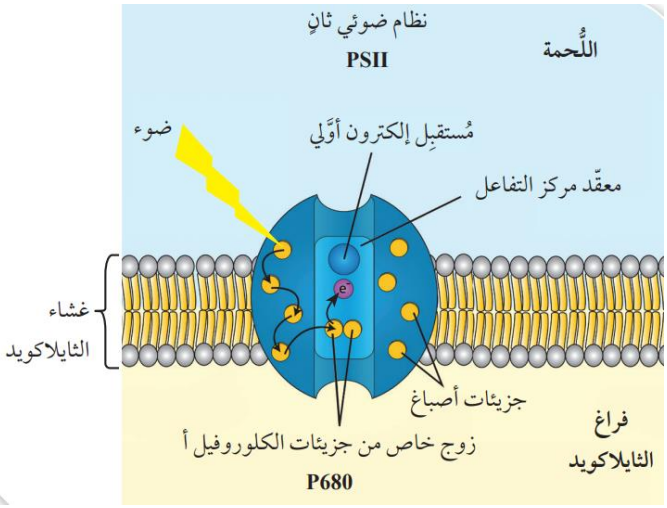
التفاعلات الضوئية تصنف إلى مسارين هما:

أ – مسار التفاعلات **الضوئية اللاحلقية** ب – مسار التفاعلات **الضوئية الحلقية**

مسار التفاعلات الضوئية اللاحلقية

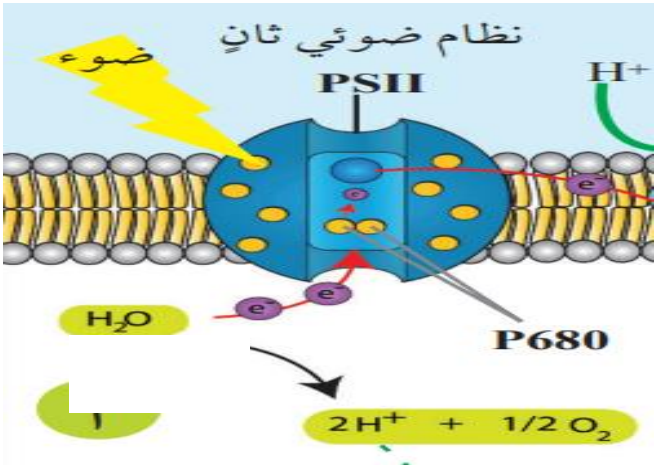
- **يشارك النظاميين** PS I و PS II في هذه التفاعلات.
- **إذ تمتص جزئيات الصبغة الطاقة الضوئية** وتستخدمها في استثارة الإلكترونات في كل من النظامين.

لنتتبع مسار التفاعلات الضوئية اللاحقلية كما يلي:



- **تبدأ التفاعلات الضوئية اللاحلقية** بامتصاص جزيء صبغة واحد في النظام الضوئي الثاني PSII الطاقة الضوئية **فيستثار إلكترون فيه وينتقل إلى مستوى طاقة أعلى.**

- **تُمرر هذه الطاقة من جزيء صبغة إلى آخر حتى تصل إلى زوج الكلورفيل أ** في مركز التفاعل الثاني P680 **فيستثار إلكترون فيه** لينتقل إلى **مُستقبل الإلكترون الأولي** في النظام الضوئي **(علل)** نظراً إلى امتلاك **زوج الكلوروفيل أ** مقدرة خاصة على نقل الإلكترونات إلى جزيء مختلف (مستقبل إلكترون أولي)



ملاحظة: يعمل إنزيم على تحلل الماء في فراغ الثايلاكويد وينتج من تحلل كل جزيء ماء:

1- **إلكترونان:** تعوض الالكترونات التي فقدها زوج الكلوروفيل أ من معقد مركز التفاعل في PS II
2- **ذرة الأكسجين:** تتحد مع ذرة أكسجين أخرى ناتجة من تحلل جزيء آخر من الماء فيتشكل جزيء أكسجين.
3- **وبروتونان ($2H^+$):** تستخدم لانتاج الطاقة ATP في عملية الاسموزية الكيميائية

- **تنطلق الإلكترونات من مُستقبل الإلكترون الأولي في النظام الضوئي الثاني** إلى النظام الضوئي الأول خلال سلسلة نقل الإلكترون التي تتكون من نواقل للإلكترونات أهمها **السيتوكرومات.**

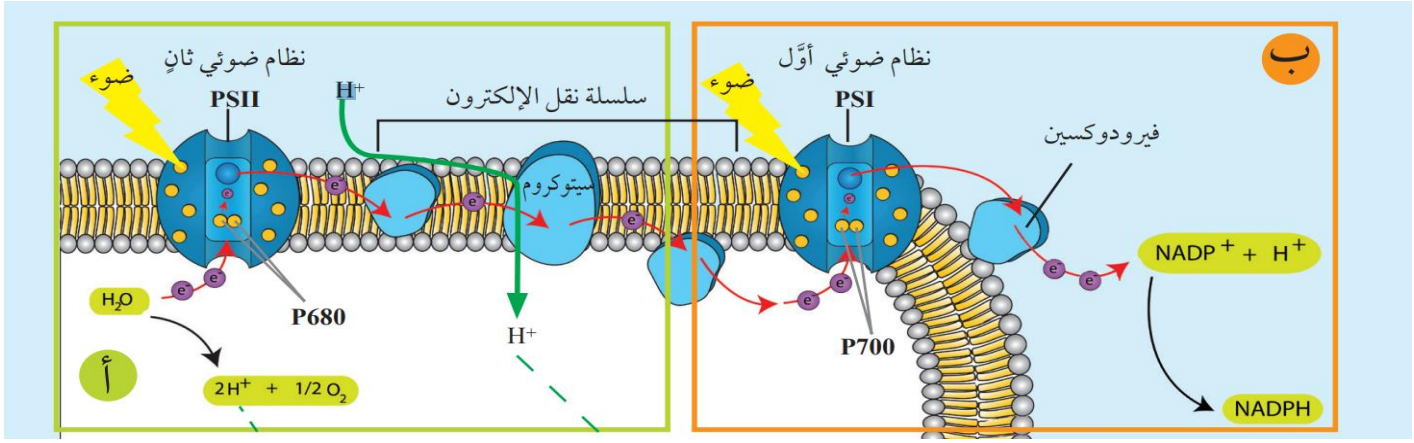
- **في أثناء انتقال هذه الإلكترونات تفقد جزءاً من طاقتها** التي تستخدم في نقل البروتونات (H^+) من اللُّحمة إلى فراغ الثايلاكويد **فينتج فرق في تركيز البروتونات بين فراغ الثلايكويد واللُّحمة كما الشكل (أ)**

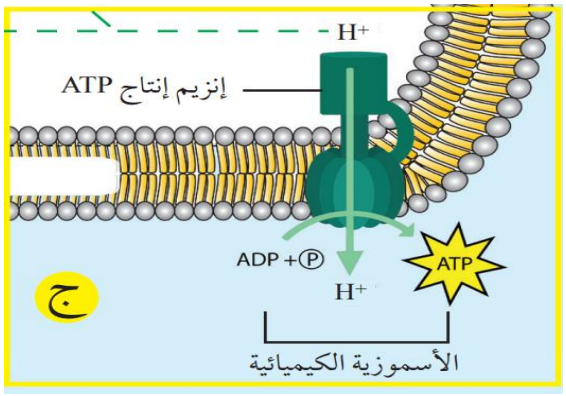
- **بصورة مشابهة يمتص جزيء صبغة واحد في النظام الضوئي الاول PS I الطاقة الضوئية فيستثار إلكترون فيه** وينتقل إلى مستوى طاقة أعلى

- **تُمرر هذه الطاقة من جزيء صبغة إلى آخر حتى تصل الطاقة إلى زوج الكلوروفيل أ في مركز التفاعل في النظام الضوئي الأول** فيستثار إلكترون فيه

- **نظراً إلى امتلاك زوج الكلوروفيل أ مقدرة خاصة على نقل الإلكترونات إلى جزيء مختلف ؛** فإن هذا الإلكترون المستثار ينتقل إلى مستقبل إلكترون أولي في النظام الضوئي **ثم** تنتقل هذه الإلكترونات من مُستقبل الإلكترون الأولي في هذا النظام (النظام الضوئي الأول) عبر سلسلة نقل إلكترون أخرى وبروتين فيرودوكسين **لتصل إلى مُستقبلها النهائي وهو $NADP^+$ فيُختزل باستخدام هذه الإلكترونات و البروتونات الموجودة في اللُّحمة إلى NADPH كما في الشكل (ب)**

ملاحظة مهمة: الإلكترونات المفقودة من زوج الكلوروفيل أ (في النظام الضوئي الأول) إلى مستقبل الإلكترون الأولي فيها تُعوض عن طريق الإلكترونات التي انتقلت إليها من النظام الضوئي الثاني كما في الشكل (ب)





- **تعود البروتونات (H^+) من فراغ الثايلاكويد الى اللحمة** نتيجة لفرق التركيز بينهما عن طريق انزيم انتاج ATP في **عملية الاسموزية الكيميائية** وتحدث فيها فسفرة جزيئات ADP الى ATP كما في الشكل (ج)

ينتج من هذا المسار:

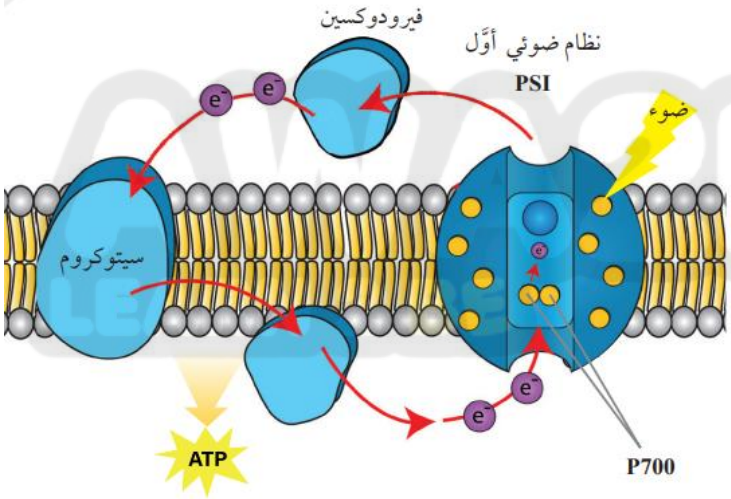
ATP , NADPH تستخدمان في حلقة كالفن و O_2 للغلاف الجوي

وفقاً لقانون حفظ الطاقة فإن الطاقة لا تفنى **ولا تُستحدث من العدم** لكنها تتحول من صورة إلى أخرى.

الآحظ تحولات الطاقة من طاقة ضوئية إلى طاقة تمتلكها الإلكترونات المستثارة ومنها إلى طاقة كيميائية تُختزن في جزئيات ATP.

مسار التفاعلات الضوئية الحلقية

تحدث في النظام الضوئي الأول فقط لإنتاج ATP كما يلي



- فيها **تسري** الإلكترونات المستثارة **بفعل الضوء من P700 إلى مُستقبل الإلكترون الأولي** ثم إلى بروتين **الفيرودوكسين**
- ثم تعود مرة أخرى عبر **السيتوكروم** إلى P700 في **النظام الضوئي الأول** الذي انطلقت منه لذا أُطلق عليها اسم التفاعلات الحلقية و هي تعمل فقط على إنتاج ATP **المُستخدم في حلقة كالفن.**

حلقة كالفن

تحدث في اللُّحمة إذ تحتوي على المواد والإنزيمات اللازمة لحدوثها.

أهميتها تُمثل هذه المرحلة **مرحلة التصنيع** التي تُستخدم فيها نواتج التفاعلات الضوئية ATP و NADPH لإنتاج **مركبات عضوية.**

تمر بثلاث مراحل هي:

1) مرحلة تثبيت الكربون **2) مرحلة الإختزال** **3) مرحلة إعادة تكوين مُستقبل CO2 (ريبيولوز)**

مرحلة تثبيت الكربون عملية ربط CO2 بالسكر الخماسي

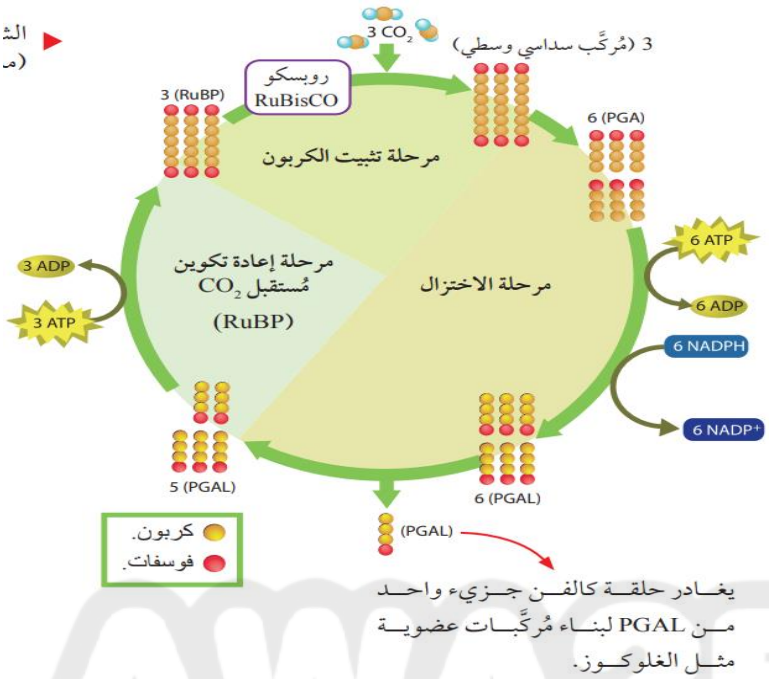
- يرتبط **(3)** من جزئيات من CO2 مع **(3)** جزئيات من مستقبل CO_2 **وهو السكر الخماسي ريبيولوز ثنائي الفوسفات (RuBP)** بواسطة **إنزيم يسمى روبسكو** فينتج **(3) جزئيات من مركب سداسي وسطي غير مستقر**
- لا يلبث أن **ينشطر** كل منها إلى **جزيئين** من **مركب ثلاثي الكربون يُسمى حمض الغليسرين أحادي الفوسفات PGA لينتج (6) جزيئات PGA**

مرحلة الإختزال

- في هذه المرحلة **يُختزل** كل جزيء **من حمض الغليسرين أحادي الفوسفات PGA** إلى **غليسر ألدهيد أحادي الفوسفات PGAL باستخدام طاقة (6) جزئيات ATP و (6) جزئيات NADPH** فينتج **(6) جزئيات غليسر ألدهيد أحادي الفوسفات PGAL**

- **يغادر** حلقة كالفن **جزيء واحد** من PGAL لبناء مركبات عضوية مثل الغلوكوز **وتبقى (5) PGAL لتكمل الحلقة**

جزيء PGAL يحتوي على ثلاث ذرات كربون تذكرها جيدا



مرحلة إعادة تكوين مُستقبل CO_2 (ريبيولوز)

- تدخل **(5) جزئيات PGAL** المتبقية في سلسلة التفاعلات **المُعقدة** لإعادة تكوين **(3) جزئيات من السكر الخماسي ريبيولوز RuBP** من جديد ويستهلك في أثناء ذلك **(3) جزئيات من ATP.**

وفيما يأتي ملخص لما سبق من تفاعلات ضوئية وحلقة كالفن

التفاعلات الضوئية (تعتمد على الضوء):

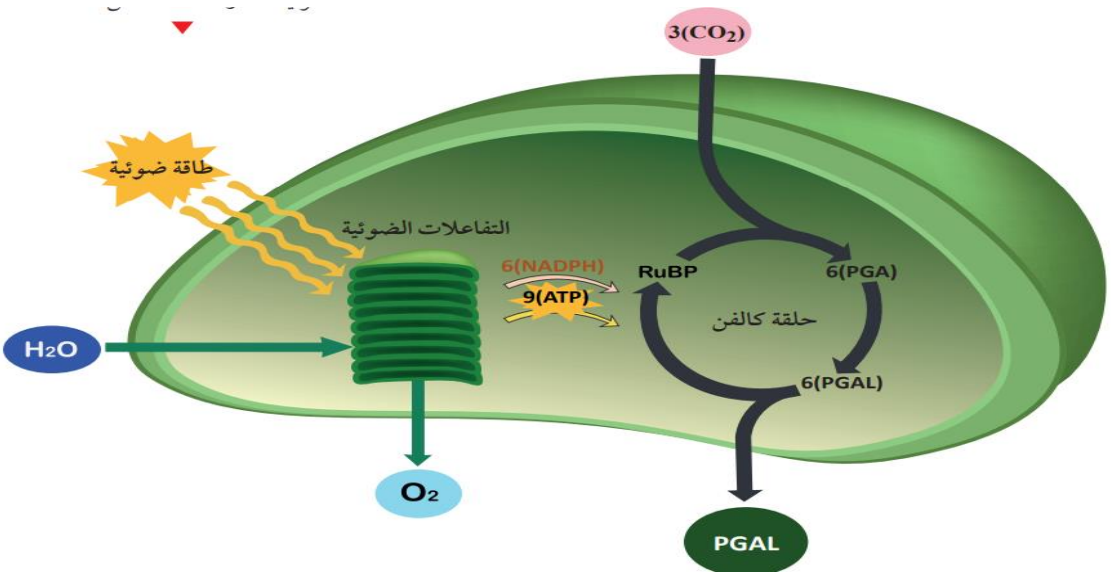
- تُستخدَم فيها الطاقة الضوئية.
- يُستهلَك الماء.
- يتحلَّل كل جزيء من الماء إلى $2H^+$، و $2e^-$، و O_2 و $\frac{1}{2}$.
- ينتج O_2.

حلقة كالفن (لا تعتمد على الضوء):

لإنتاج جزيء PGAL يغادر حلقة كالفن:

- تُستهلَك (3) جزيئات CO_2.
- تُستهلَك (9) جزيئات ATP.
- تُستهلَك (6) جزيئات NADPH.

لإنتاج جزيء غلوكوز: يتحد (2) جزيء PGAL.



الإثراء والتوسُّع

البكتيريا والطاقة Bacteria and Energy

تعمل بعض الكائنات الحيَّة الدقيقة اللاهوائية على إنتاج مواد عضوية في عمليةٍ تُسمّى **البناء الكيميائي Chemosynthesis**؛ إذ تَستخدم هذه الأنواع بعض المواد التي تتأكسد بسهولة، بوصفها مصدرًا للإلكترونات مثل H_2S، بدلًا من الماء. ومن الأمثلة عليها: بعض أنواع الأثريات، وبكتيريا المياه الحارَّة التي تعيش في بيئات لا يصلها الضوء، وبكتيريا الكبريت.

يُمكِن لبعض أنواع البكتيريا اللاهوائية التي تعيش في المناجم وفي قاع البحيرات أنْ تحصل على الطاقة عن طريق استخدام الإلكترونات الناتجة من أكسدة المواد الموجودة في البيئة المحيطة. وقد اكتشف باحثون من جامعة ماساتشوستس الأمريكية أنَّ بكتيريا جيوباكتر ***Geobacter*** تتخلَّص من الإلكترونات التي توجد داخلها باستعمال شعيرات طويلة؛ وهي تراكيب تنتشر على سطوح الخلايا البكتيرية، وتتكوَّن من ألياف نانوية موصِلة للكهرباء، ويُعتقَد أنَّها تتكوَّن من بروتينات تُشبِه السيتوكرومات Cytochromes.

يسعى العلماء إلى الاستفادة من خصائص البكتيريا الموصِلة للكهرباء في إنتاج تكنولوجيا حيَّة وصديقة للبيئة، تُستخدَم في المجالات الطبية، وتوليد الكهرباء، وتعقيم المياه الجوفية.

أُصمِّم مَطويَّة أُلخِّص فيها عملية البناء الكيميائي.

سؤال: كيف استفادت بعض أنواع البكتيريا من H2S في البناء الكيميائي؟ الإجابة مصدرا للإلكترونات بدل الماء

سؤال: اعطي مثالا على بكتيريا تقوم بهذه العملية؟ الإجابة البكتيريا التي تعيش في المياه الحارة التي لا يصلها الضوء والاثريات وبكتيريا الكبريت

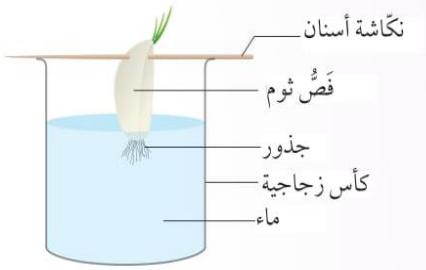
سؤال: كيف تتخلص بكتيريا جيوباكتر من الالكترونات الموجودة داخلها وكيف استفاد العلماء من ذلك. الإجابة باستعمال شعيرات طويلة . . . في انتاج تكنولوجيا حية وصديقة للبيئة تستخدم في المجالات الطبية وتوليد الكهرباء وتعقيم المياه الجوفية

تجربة استهلالية

الانقسام المتساوي في خلايا القمم النامية لجذور الثوم

تُسهِم دراسة الانقسام الخلوي إسهامًا كبيرًا في فهم كثير من العمليات الحيوية. وتُعَدُّ دراسة انقسام خلايا القمم النامية لجذور النباتات إحدى أسهل الطرائق لدراسة الانقسام الخلوي.

المواد والأدوات: كأس زجاجية صغيرة فيها ماء، نكّاشة أسنان، شرائح زجاجية وأغطيتها، صبغة خلايا نباتية مثل السفرانين، مجهر ضوئي، مشرط، فصوص ثوم، ملقط، حمض الهيدروكلوريك (1M)، محلول من حمض الخليك والإيثانول (نسبة حمض الخليك إلى الإيثانول 3:1)، قفّازات، ورق تنشيف، قلم رصاص، ماء، طبق بتري زجاجي.



إرشادات السلامة:

- استعمال المشرط والمواد الكيميائية بحذر.
- غسل اليدين جيدًا بعد انتهاء التجربة.

خطوات العمل:

1. **أُجرِّب:** أُثبِّت فَصَّ الثوم على فُوَّهة الكأس باستخدام نكّاشة الأسنان، مُراعِيًا غَمْر الجذور فقط في الماء كما في الشكل المجاور؛ تجنُّبًا لتعفُّن فَصِّ الثوم.
2. **أُلاحِظ** نمو الجذور بعد (3-4) أيام.
3. **أُجرِّب:** أقطع cm (1-3) من نهايات القمم النامية للجذور، ثم أضعها في كأس تحوي محلول حمض الخليك والإيثانول مدَّة min (10). بعد ذلك أُسخِّن محلول حمض الهيدروكلوريك في حمّام مائي حتى تصبح درجة حرارته $60\ ^0C$.
4. **أُجرِّب:** أغسل الجذور بالماء البارد مدَّةً تتراوح بين min (4-5)، ثم أُنشِّفها جيدًا بورق التنشيف. بعد ذلك أنقلها إلى الكأس التي تحوي محلول حمض الهيدروكلوريك الساخن، وأتركها فيه مدَّة min (5).
5. **أُجرِّب:** أنقل الجذور إلى طبق بتري باستخدام الملقط، وأغسلها بالماء البارد، ثم أُنشِّفها جيدًا بورق التنشيف، ثم أضعها على شريحة زجاجية نظيفة. بعد ذلك أَقُصُّ mm (2) من قمم الجذور النامية، ثم أُبقيها على الشريحة، وأتخلَّص من بقية الجذور.
6. أُضيف قطرة من الصبغة إلى القمم النامية على الشريحة، ثم أضع غطاء الشريحة، ثم أسحق العيِّنة بالضغط عليها بلطف فوق غطاء الشريحة باستخدام الطرف العريض لقلم الرصاص.
7. **أُلاحِظ** الخلايا باستخدام المجهر الضوئي بعد تكبيرها X 400، ثم أُدوِّن ملاحظاتي.

التحليل والاستنتاج:

1. **أحسُبُ** النسبة المئوية لكل طور من أطوار الانقسام الخلوي.
2. أُمثِّل بيانيًّا أعداد الخلايا في كل طور.
3. **أتواصل:** أُناقِش زملائي/ زميلاتي في النتائج التي توصَّلْتُ إليها، ثم أُقارِنها بنتائجهم.

الدرس الأول دورة الخلية: لكل خلية دورة حياة تمر بها

دورة الخلية: دورة تبدأ منذ **تكُّون** الخلية نتيجة انقسام خلية ما **وتنتهي بانقسامها** هي نفسها وإنتاج **خليتين جديدتين.**

تختلف الخلايا فيما بينها من حيث مدة الدورة لكل منها ويعتمد ذلك على:

1- نوع الخلية 2- الظروف التي تحيط بها

فمثلا: تنقسم خلية نامية في جذر البصل كل 20 ساعة تقريباً، في حين تنقسم خلية طلائية في الأمعاء الدقيقة لإنسان كل (10 – 12) ساعة.

مراحل دورة الخلية الرئيسية: 1- المرحلة البينية 2- مرحلة الانقسام الخلوي

تمر دورة الخلية في **الكائنات حقيقية** النوى بمرحلتين رئيستين هما:

1) المرحلة البينية التي تتكون من

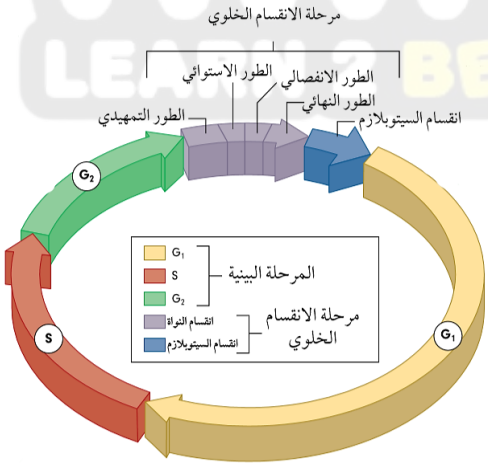
أ – طور النمو الأول (G_1) ب – طور التضاعف (S) ج – طور النمو الثاني (G_2)

2) مرحلة الانقسام الخلوي (M) التي تتكون من أطوار عدة **لكل منها سماته التي تُميزه عن غيره** من الأطوار **سندرسها لاحقا.**

أولاً المرحلة البينية

تمثل غالباً **ما نسبته 90%** من **دورة الخلية** ويحدث فيها الاتي:

1- إذ تنمو أثنائها الخلية 2- يتضاعف عدد الكروموسومات تمهيدا للانقسام الخلوي (المنصف والمتساوي).



أ- طور النمو الأول (G_1)

- يعد هذا الطور **أول** أطوار دورة الخلية
- فيه تنمو الخلية ويزداد حجمها وعدد العضيات فيها
- فضلاً عن أداء الخلية أنشطتها ووظائفها الخلوية الطبيعية.

ب- طور التضاعف (S) في هذا الطور

يتضاعف DNA ما يجعل في نواة الخلية في نهاية الطور **مثلي** كمية المادة الوراثية.

ج - طور النمو الثاني (G2)

- يستمر نمو الخلية فيه
- فيزداد حجمها فضلاً عن أدائها أنشطتها ووظائفها الخلوية الطبيعية
- **إلى جانب استعدادها للانقسام** بحيث تبدأ بإنتاج البروتينات التي تُصنع منها الخيوط المغزلية (الأنيبيبات الدقيقة)

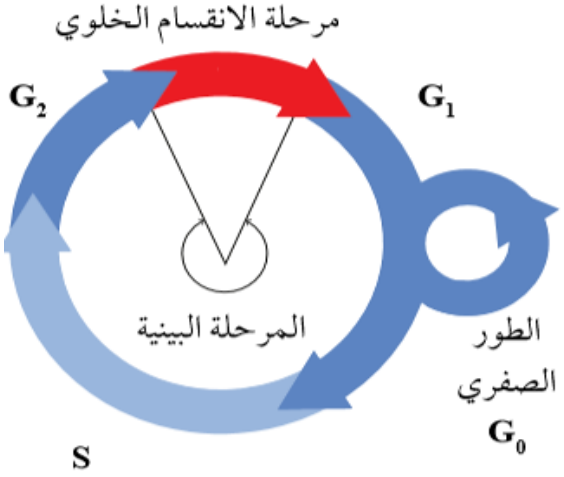
ثانياً مرحلة الانقسام الخلوي (M) تبدأ هذه المرحلة بعد طور النمو الثاني ويحدث فيها:

- **انقسام النواة** أي انقسام نواة الخلية إلى نواتين مُتماثلتين وهو ما يحدث على **نحو مشابه** في جميع الخلايا **حقيقية النوى**
- **يلي ذلك انقسام السيتوبلازم ويختلف** هذا الانقسام في الخلايا النباتية عنه في الخلايا الحيوانية.

ولكن هناك ما يسمى بالطور الصفري (G_0)

تختلف الخلايا بعضها عن بعض من حيث النشاط في الانقسام فمنها:

- ما يكون **نشيطاً** ويكمل دورة الخلية كاملة مثل الخلايا الطلائية المُبطنة للقناة الهضمية.
- ومنها ما يدخل في طور **سكون** يُسمى **الطور الصفري G_0** مثل الخلايا العضلية والخلايا العصبية



تخرج (تنطلق) الخلية من طور(G_1) إلى هذا **الطور (G_0) في حال غياب الإشارات الخلوية التي تُحفز الخلية على الاستمرار في الدورة** ومن الأمثلة على الخلايا التي تدخل هذا الطور **الخلايا العضلية والعصبية**

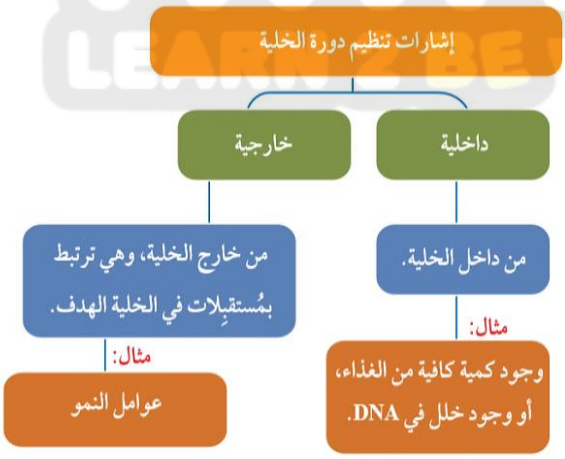
- **تقوم الخلية في الطور الصفري** بجميع وظائفها وأنشطتها باستثناء الأنشطة التي تُهيئها للانقسام

بعض الخلايا لا تغادر هذا الطور (G_0) بعد دخولها فيه وبعض الخلايا تتمكن من العودة إلى طور(G_1) وإكمال دورة الخلية عند تحفيزها **بالإشارات الخلوية المناسبة** ومن الأمثلة عليها **خلايا الكبد**

تنظيم دورة الخلية:

الإشارات الخلوية مجموعة من المواد الكيميائية التي تعمل على تنظيم عمل دورة الخلية وتكون **معظم هذه المواد بروتينات**

تُصنف حسب مصدرها إلى: إشارات داخلية وإشارات خارجية



يعمل العلماء على تحديد المسارات التي تربط الإشارات الخلوية الخارجية بالداخلية منها علماً بأن تنظيم دورة الخلية والإشارات الخلوية التي تُسهم في ذلك مُتشابهة في معظم الخلايا حقيقية النوى.

فمثلاً: بعض البروتينات التي تتحكم في دورة الخلية لنوع من الكائنات الحية حقيقية النواة يُمكنها أيضاً التحكم في تنظيم دورة الخلية **لنوع آخر من هذه الكائنات.**

تُصنف هذه الإشارات (الإشارات الخلوية) بحسب آلية عملها إلى ثلاثة أنواع:

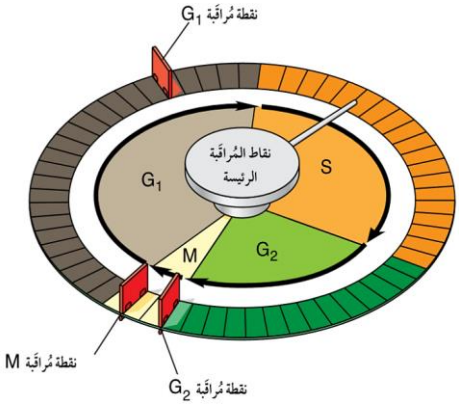
1 - **إشارات التقدم:** التي تُحفز انتقال الخلية إلى المرحلة اللاحقة أو الطور اللاحق

2 - **إشارات التوقف:** التي تعمل على بقاء الخلية في الطور وعدم انتقالها إلى الطور الذي يليه

3 - **إشارات تُسبب الموت المُبرمج للخلية:** بتنشيطها جينات تُسهم في إنتاج إنزيمات تُحطم مُكونات في الخلية ما يؤدي إلى موتها

ملاحظة جميع هذه الإشارات تعمل على **تنظيم دورة الخلية**

نقاط المراقبة نقاط محددة في دورة الخلية تُنظم فيها الإشارات الخلوية الدورة وتوجد نقاط مراقبة عديدة ولكن نقاط المراقبة M , G_2 , G_1 هي النقاط الرئيسية



أ ـ نقطة المراقبة G_1 تعتبر اهم نقاط المراقبة (علل)؟

ذلك أن الخلية **في الطور G_1** تستقبل إشارات خلوية داخلية وخارجية تُحدد معاً الوقت المناسب لدخول الخلية طور التضاعف(S).

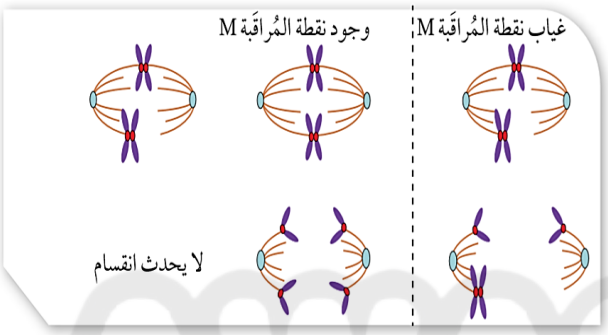
إذا لم تستقبل الخلية في نقطة المراقبة G_1 إشارة تقدُّم فقد لا تُكمل الخلية باقي الأطوار وتخرج من دورتها إلى الطور الصفري.

ب ـ نقطة المراقبة G2 فيها يتحقق من:

1- انتهاء تضاعف DNA في طور التضاعف

2- عدم وجود أخطاء في جزيئي DNA الناتجين من عملية تضاعف DNA

و في حال وجود خطأ ما فإن دورة الخلية تتوقف عند نقطة المراقبة G2 ما يتيح للخلية تصحيح الخطأ أو يؤدي إلى موتها المُبرمج إن لم تستطع ذلك (تصحيح الخطأ) ويسهم الموت المُبرمج في منع دخول الخلايا غير الطبيعية مرحلة الانقسام وتكاثرها



ج ـ نقطة المراقبة M تعمل بين الطور الاستوائي والطور الانفصالي (ليش)؟ لكي يتحقق من ارتباط الكروماتيدات الشقيقة بالخيوط المغزلية على نحو صحيح وفي حال كانت بعض الكروماتيدات غير مرتبطة بالخيوط المغزلية فإن الخلية تتوقف عن عملية الانقسام حتى ترتبط جميع الكروماتيدات بالخيوط المغزلية.

ملاحظة وفي حال عدم وجود نقطة المراقبة M يحدث انقسام للخلية حتى لو لم ترتبط بعض الكروماتيدات في الخيوط المغزلية.

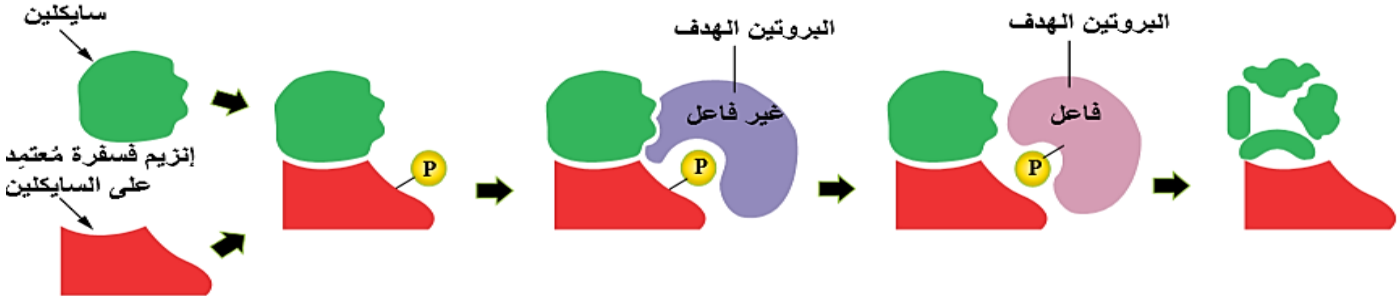
السايكلينات وإنزيمات الفسفرة المُعتمدة على السايكلين

السايكلينات: هي مجموعة من البروتينات **توجد** في معظم الخلايا حقيقة النوى **وتُصنع** في أثناء دورة الخلية **وتُحطم** خلالها سريعاً وهي تصنف إلى **أربع** أنواع رئيسية

تؤدي **السايكلينات** دورا مهماً في تنظيم دورة الخلية بتحفيزها **إنزيمات تسمى إنزيمات الفسفرة المعتمدة على السايكلينات** إذ تعمل هذه الإنزيمات بعد ارتباطها **بالسايكلين** على إضافة **مجموعة فوسفات** إلى **البروتين الهدف** في **عملية تسمى الفسفرة** وقد تؤدي فسفرة البروتينات إلى **تحفيزها أو تثبيطها بحسب حاجة الخلية.**

تتمثل أهمية ارتباط السايكلين بإنزيم الفسفرة المُعتمد على السايكلين في أمرين رئيسين:

1- تحفيز الإنزيم (الفسفرة). 2- إرشاد (توجيه) الإنزيم إلى البروتينات الهدف التي يعمل على فسفرتها



تحطُّم السايكلين. | تحفيز إنزيم الفسفرة المُعتمد على السايكلين البروتين الهدف الذي يُنظِّم دورة الخلية. | ارتباط السايكلين بإنزيم الفسفرة المُعتمِد على السايكلين.

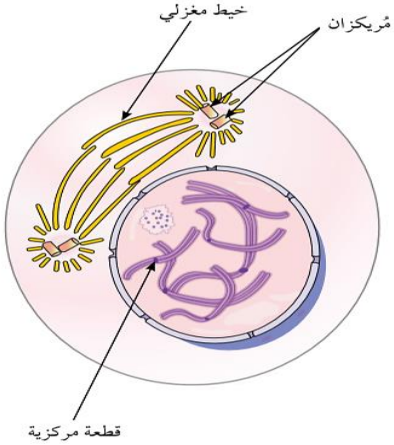
الدرس الثاني الانقسام الخلوي وأهميته

الانقسام المتساوي

- **يحدث انقسام متساوٍ في خلية ما** لإنتاج خليتين مطابقتين جينياً للخلية المُنقسمة (الاصلية)
- تحوي كل منهما **نفس عدد الكروموسومات هذه الخلية (الاصلية)**.
- تمر الخلية أثناء الانقسام المتساوي **بأربع أطوار رئيسية مُتتابعة:**

1 – الطور **التمهيدي** 2 – الطور **الاستوائي** 3 – الطور **الانفصالي** 4 – الطور **النهائي**

يليها انقسام السيتوبلازم لإنتاج خليتين منفصلتين تحوي نفس العدد الأصلي من الكروموسومات

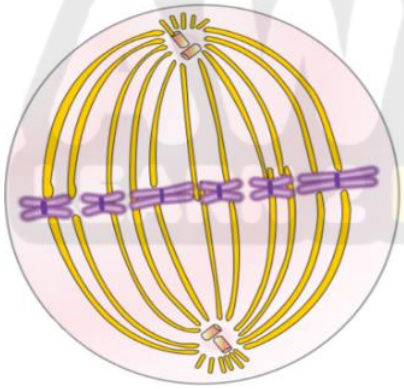


أولا الطور التمهيدي: تظهر الكروموسومات **قصيرة وسميكة** ويتكون كل منها من **كروماتيدين شقيقين** يرتبطان معاً عن طريق **قطعة مركزية تسمى سنترومير**

في نهاية هذه الطور يحدث ما يلي:

1- يتفكك الغلاف النووي 2- وتختفي النوية

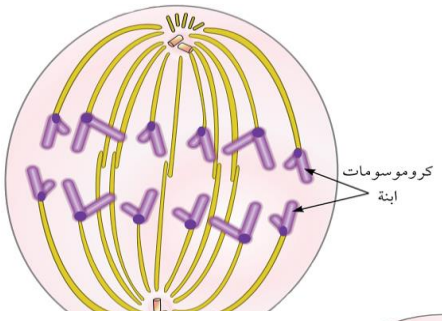
3- يتحرك الجسمان المركزيان نحو قطبي الخلية المُتقابلين 4- وتبدأ الخيوط المغزلية بالامتداد من المُريكزات إلى القطع المركزية في الكروموسومات وترتبط فيها الخيويط المغزلية



ملاحظة يجب ان تعلم ان الجسم المركزي هو تركيب يقتصر وجودهُ على **الخلايا الحيوانية فقط** ويتكون كل جسم مركزي من تركيبين أسطوانيين يسمى كل منها **مُريكزاً**

ثانيا الطور الاستوائي: يمتاز هذا الطور بما يلي:

- ارتباط الخيوط المغزلية بالقطع المركزية
- وترتُّب (تصطف) الكروموسومات في وسط الخلية.



ثالثا الطور الانفصالي

- **تنكمش** الخيوط المغزلية في هذا الطور ما يؤدي إلى:

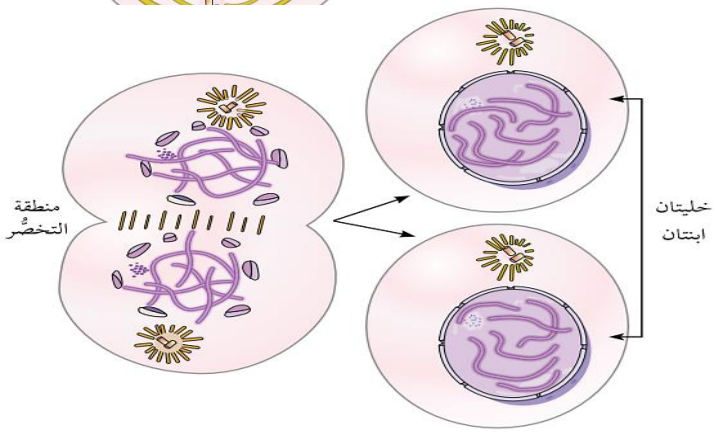
1- سحب الكروماتيدات الشقيقة

2- انفصال كل كروماتيدان شقيقين أحدهما عن الآخر وتحرك كل منهما نحو أحد قطبي الخلية فيصبح عند كل قطب مجموعة كاملة من **الكروموسومات الابنة.**

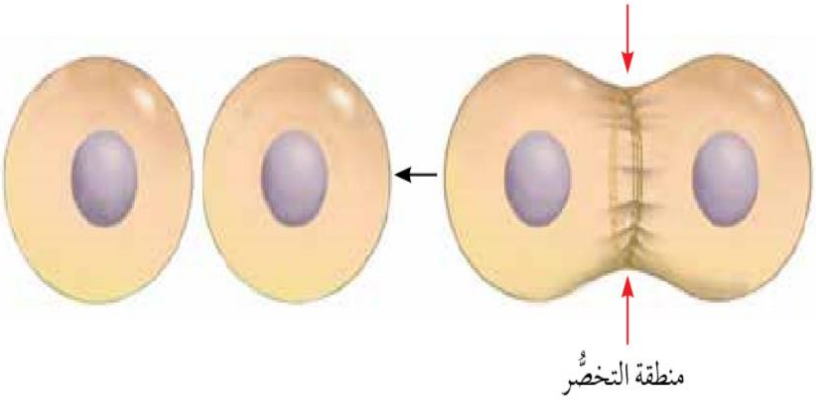
- يذكر أن الكروماتيدات في هذا الطور يكون شكلها مشابهاً لشكل حرف V علل؟ **نتيجة عملية السحب.**

رابعا الطور النهائي:

- تتشكل في هذا الطور **نواتان ونُويتان**
- يبدأ الغلاف النووي **بالظهور**
- تصبح الكروموسومات **أرفع وأطول** تمهيداً لعودتها على **شكل شبكة كروماتينية**
- وفي نهاية هذا الطور **يبدأ انقسام السيتوبلازم بعد وقت قصير من انقسام النواة انظر الشكل.**

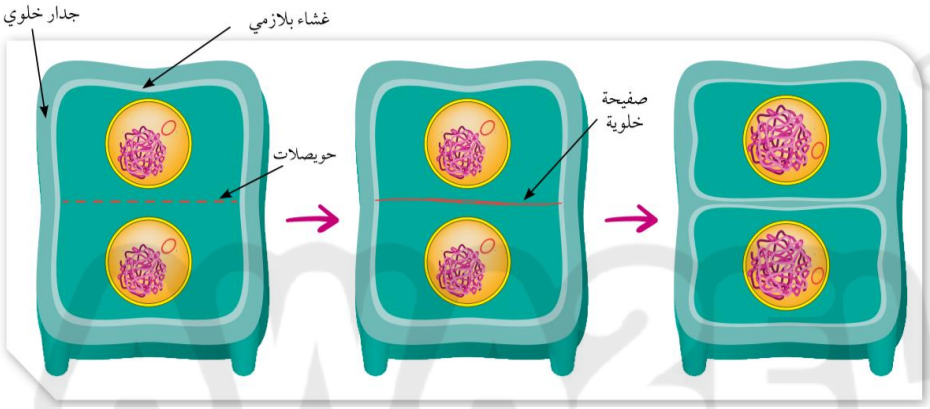


انقسام السيتوبلازم في الخلايا الحيوانية



- يحدث **تخصر تدريجي** وسط الخلية مشكلاً أخدوداً
- يوجد في الجانب السيتوبلازمي للأخدود **حلقة مُنقبضة** من **ألياف بروتين الأكتين** الدقيقة وجزئيات بروتين الميوسين التي تعمل معاً على انقباض الحلقة فيزداد التخصر وإلى أن ينتج من ذلك خليتان منفصلتان.

انقسام السيتوبلازم في الخلايا النباتية



- **لا يحدث تخصر** في الخلايا النباتية بسبب وجود الجُدر الخلوية
- إذ تصطف وسط الخلية **حويصلات من أجسام غولجي** ثم تندمج الحويصلات **مُشكلة صفيحة خلوية**
- بعد ذلك **يندمج الغشاء المحيط بالصفيحة الخلوية بالغشاء البلازمي للخلية** لينشأ الجدار الخلوي من **مكونات في الصفيحة الخلوية**
- وبذلك تنتج خليتين منفصلتان ومطابقتان للخلية الأم.

أهمية الانقسام المتساوي:

- له أهمية كبيرة؛ **فهو ضروري لنمو الكائنات الحية عديدة الخلايا** انظر الشكل الذي يبين **دور الانقسام المتساوي في تطور الجنين** من بويضة مخصبة (خلية واحدة) إلى إنسان يتكون جسمه من عدد كبير جداً من الخلايا.

- **استبدال الخلايا التالفة وتعويض الأنسجة** التي تعرضت لجرح أو حرق أو كشط مثل الجلد والأنسجة المُبطنة للأمعاء.

- **أهمية الانقسام المتساوي في بعض الكائنات الحيوانات عديدة الخلايا** مثل السحلية ونجم البحر لديها القدرة على **التجدد**؛ أي تعويض أجزاء فقدتها من أجسامها عن طريق الانقسام المتساوي

(ب) تكاثر الهيدرا بالتبرعم.

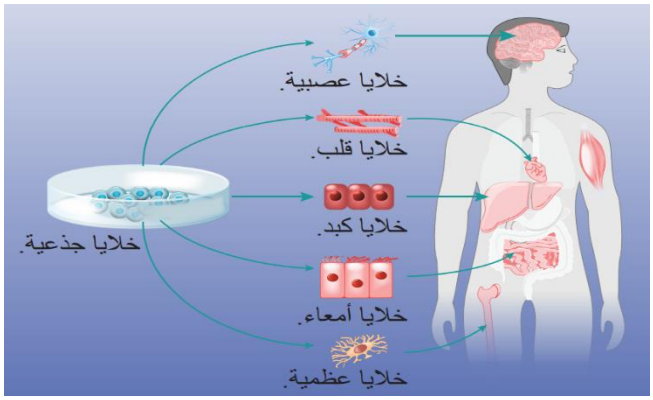
(أ) تكاثر الخميرة بالتبرعم.

(ج) تكاثر نباتات بالأبصال.

- **يعد الانقسام المتساوي أساساً للتكاثر اللاجنسي في الكائنات الحية حقيقية النوى**؛ سواء أكانت وحيدة الخلية مثل **الخميرة** أم عديدة الخلايا مثل **الهيدرا والنباتات** مثل الابصال

- يكون تكاثر الكائنات الحية لاجنسياً **أسرع** من تكاثرها جنسياً

- الكائنات الحية الناتجة من **التكاثر اللاجنسي** تكون **متماثلة جينياً** ما يعني **عدم وجود تنوع في صفات هذه الكائنات وهو ما يجعل كلاً منها عرضة للتأثر بالظروف المحيطة بها على نحو مشابه**



يوجد في المراحل الجنينة للكائن الحي **خلايا جذعية غير متمايزة** وقد **تنقسم** هذه الخلايا لإنتاج خلايا تستمر بوصفها خلايا جذعية وخلايا أخرى **تتمايز ما يجعلها خلايا متخصصة تتكون منها الأنسجة والأعضاء.**

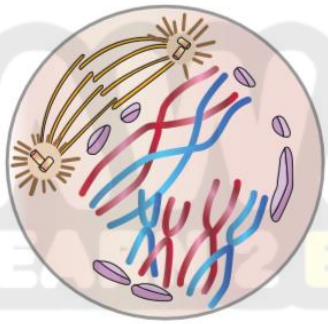
سؤال ما أهمية استخدام الخلايا الجذعية في المجال الطبي؟
علاجا واعداً لإنتاج أنسجة جديدة للأعضاء المتضررة نتيجة الإصابة بأمراض متعددة مثل بعض امراض القلب والأعصاب انظر الشكل

الانقسام المنصف يعد الانقسام المنصف أحد **أنواع الانقسام الخلوي**

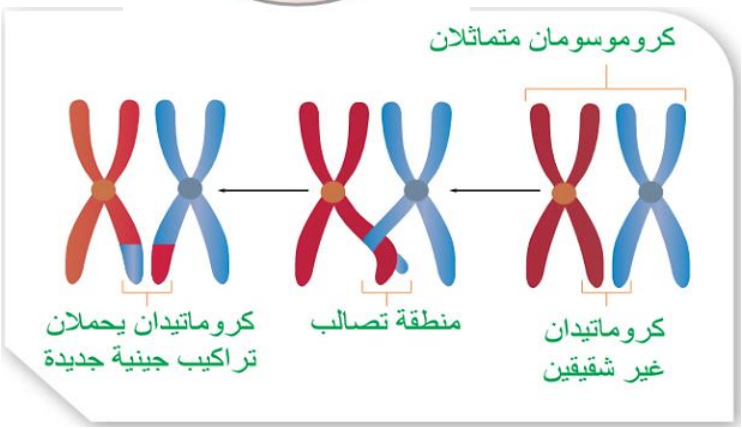
- **يؤدي إلى إنتاج الجاميتات** وهي خلايا أحادية المجموعة الكروموسومية (1n) **من الخلايا الجنسية**
- يمر الانقسام المنصف بمرحلتين أساسيتين **تسبق أُولاهما مرحلة بينية** مُشابهة لتلك التي تسبق الانقسام المتساوي:

أطوار المرحلة الأولى من الانقسام المنصف:
تمر هذه المرحلة **بأربعة أطوار** وتنتج في نهايتها **خليتان** تحويان نصف عدد كروموسومات الخلية الأم (المُنقسمة).

أولا الطور التمهيدي الأول

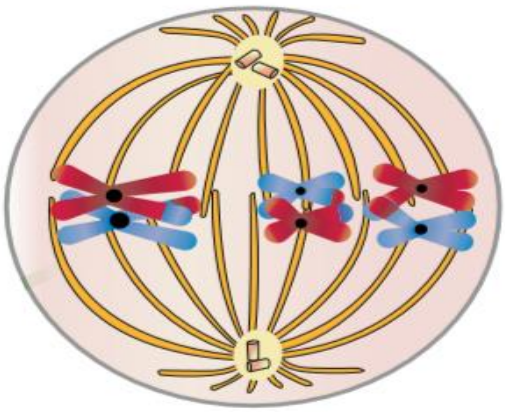


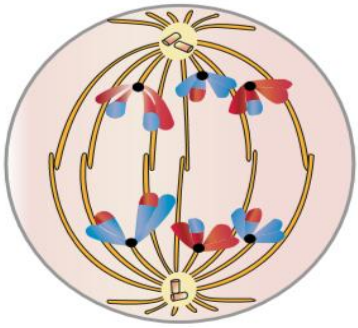
- تظهر الكروموسومات **قصيرة وسميكة** ويتكون كل منها من كروماتيدين شقيقين
- يتفكك الغلاف النووي
- **قد يحدث تقاطع** بين كروماتيدين **غير شقيقين** في كروموسومين **متماثلين** بسبب قربهما من بعضهما في نقاط تسمى كل منها **منطقة التصالب** فينتج عن ذلك تبادل أجزاء من المادة الوراثية بين هذين الكروماتيدين فيما **يعرف بالعبور**



- **ينتج عن العبور** تراكيب جينية جديدة تؤدي **دوراً في التنوع الجيني.**
- يتحرك كل **زوج من المُريكزات** نحو أحد قطبي الخلية المُتقابلين وتبدأ الخيوط المغزلية بالامتداد من المُريكزات إلى القطع المركزية في الكروموسومات

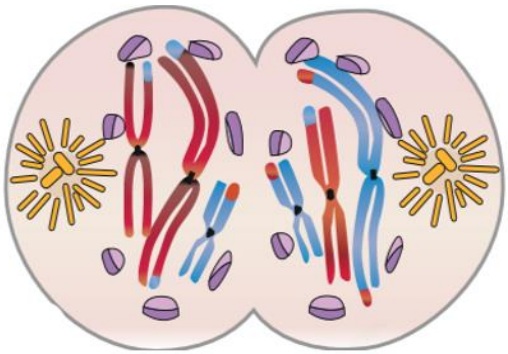
ثانيا الطور الاستوائي الأول **تصطفُ أزواج الكروموسومات المُتماثلة والمرتبطة بالخيوط المغزلية على جانبي خط وسط الخلية** من دون أن تترتب ترتيباً معيناً وإنما **يكون ترتيباً عشوائياً** أي ليس شرطاً أن تكون جميع الكروموسومات التي من الأب على الجانب نفسه وكذا الحال بالنسبة إلى الكروموسومات التي من الأم هذا يعني أن جهة ما قد تحوي كروموسومات من الأب والأم ما يؤدي إلى حدوث تنوع جيني في الخلايا الناتجة الانقسام





ثالثا الطور الانفصالي الأول

- **تنفصل** في هذا الطور **ازواج الكروموسومات المُتماثلة** نتيجة انكماش الخيوط المغزلية
- يتجه **كل كروموسوم** من هذه الأزواج إلى أحد قطبي الخلية في حين **تظل الكروماتيدات الشقيقة مرتبطة ببعضها.**



رابعا الطور النهائي الأول

- يبدأ **الغلاف النووي بالظهور** في هذا الطور تزامناً مع **تفكك الخيوط المغزلية** (يعني مع بعض)
- ثم يحدث **انقسام للسيتوبلازم** فتنتج خليتان تحوي كل منهما كروموسومات بعضها من الأب وبعضها الآخر من الأم.

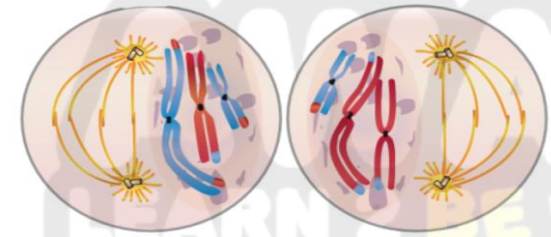
أطوار المرحلة الثانية من الانقسام المنصف

- تدخل الخلية المرحلة الثانية من الانقسام المنصف من **دون حدوث تضاعف DNA** اوعك تنساها هاي الجملة اوعك
- في هذا **الطور تنفصل الكروماتيدات الشقيقة** بعضها عن بعض ويتحرك كل منها نحو أحد قطبي الخلية ثم **يتكون الغلاف النووي** الذي يتبعه حدوث انقسام للسيتوبلازم **فتنتج أربعة خلايا أحادية المجموعة الكروموسومية** (1n)

أولا الطور التمهيدي الثاني

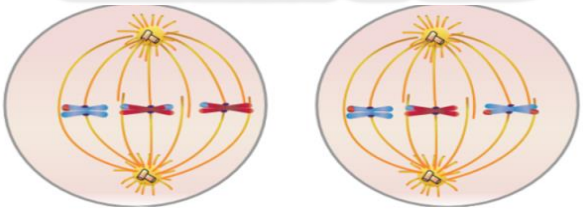
- **يتفكك** الغلاف النووي في هذا الطور

1- تتجه المُريكزات إلى أقطاب الخلية 2- تبدأ الخيوط المغزلية بالظهور



ثانيا الطور الاستوائي الثاني

لا يزال كل منها يتكون من كروماتيين شقيقين) **في منتصف الخلية.**

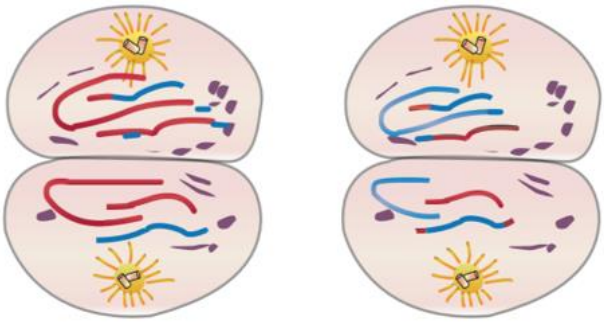


ثالثا الطور الانفصالي الثاني

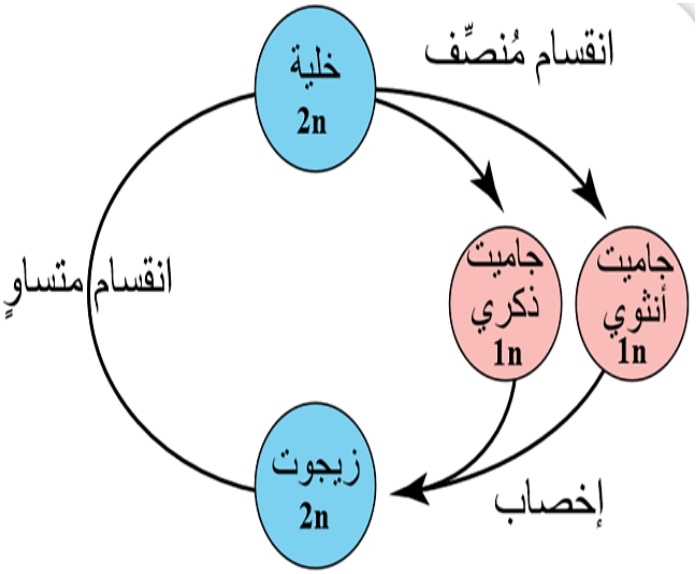
- ينفصل كل كروماتيدين شقيقين أحدهما عن الآخر
- ثم يتحرك كل منهما نحو أحد قطبي الخلية

رابعا الطور النهائي الثاني

- يتشكل الغلاف النووي حول كل مجموعة كروموسومية
- تبدأ الخيوط المغزلية بالتفكك
- ويحدث انقسام ثانٍ للسيتوبلازم فتنتج أربع خلايا أحادية المجموعة الكروموسومية (1n)



أهمية الانقسام المنصف:



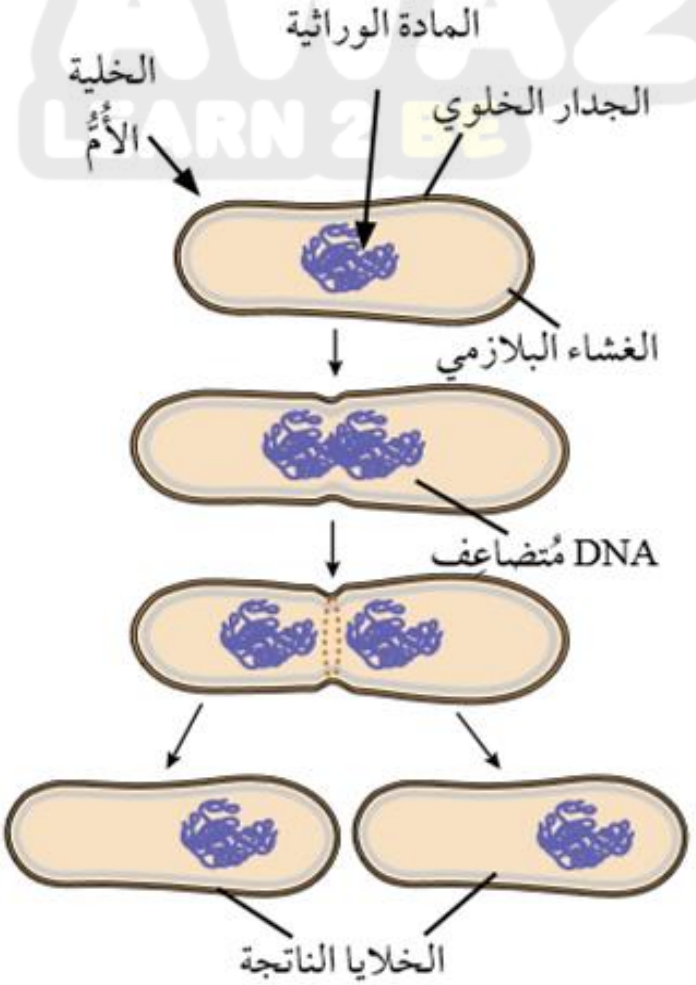
- يؤدي انقسام خلية ثنائية المجموعة الكروموسومية انقساماً مُنصفاً إلى إنتاج أربع خلايا أحادية المجموعة الكروموسومية

فمثلاً الخلايا المنوية الأولية في الإنسان هي ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n) أي إن كلاً منها تحوي 23 زوجاً من الكروموسومات (46 كروموسوم).

- **بعد حدوث انقسام منصف بمرحلتيه** تنتج أربع خلايا أحادية المجموعة الكروموسومية (1n) وهي تُسمى الجاميتات ذكرية (حيوانات منوية) ويحوي كل منها 23 كروموسوم

- وعند حدوث **عملية الإخصاب** التي يندمج فيها الجاميت الذكري بالجاميت الأنثوي تتكون خلية ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n) تسمى **زيجوت وبذلك يمكن المحافظة على ثبات عدد الكروموسومات في الكائن الحي الطبيعي.**

الانشطار الثنائي في الكائنات الحية بدائية النوى



- يتشابه الانشطار الثنائي والانقسام المتساوي من **حيث نواتج العمليتين** إذ ينتج من كل منهما خليتان مُطابقتان للخلية الأم المُنقسمة ولكن هاتين العمليتان تختلفان فعلياً في ما بينهما **كما يلي:**

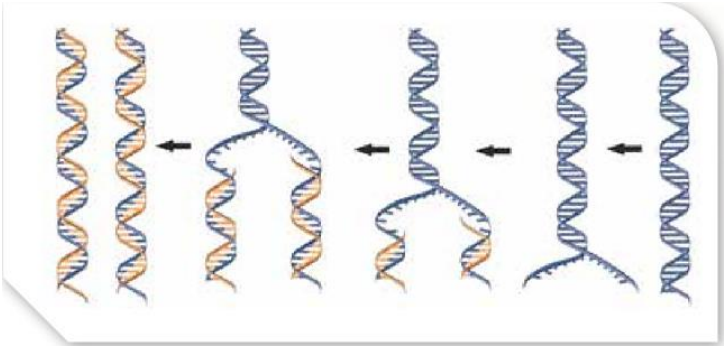
1- تبدأ عملية الانشطار الثنائي **بتضاعف كروموسوم البكتيريا** وهو **كروموسوم حلقي**

2- ثم **يتحرك** الكروموسومان الناتجان من التضاعف في **اتجاهين مُتقابلين** ضمن عملية يدخل فيها **بروتين يشبه الأكتين** فيظهر كروموسوم واحد عند كل **طرف من طرفي الخلية المُتقابلين** ويحدث في أثناء هذه العملية **نمو واستطالة للخلية**

3- وبعد ذلك **ينغمد الغشاء البلازمي نحو الداخل** التزامن مع **تكون الجدار الخلوي** ثم تنتج خليتان مُنفصلتان ومشابهتان للخلية الأم.

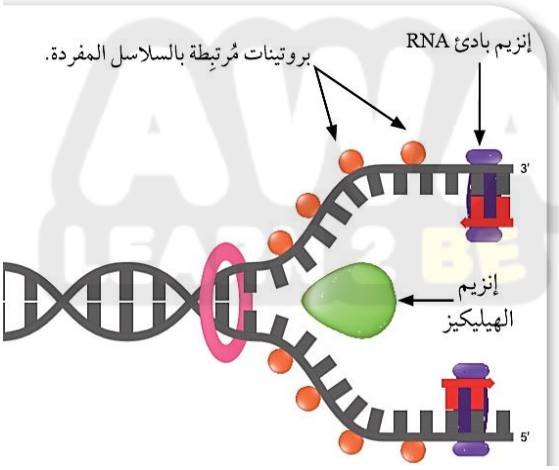
سؤال ما نتائج انقسام خلية جلد ونتائج انشطار خلية بكتيريا من حيث عدد الخلايا الناتجة من عملية انقسام واحدة؟ خليتين من كل منهما

الدرس الثالث تضاعف DNA والتعبير الجيني:



- الخلية تمر بطور **التضاعف في أثناء المرحلة البينية** من دورة الخلية وفي هذا الطور تحدث عملية تضاعف DNA وهي **عملية تُنظمها إنزيمات عدة**
- تنتج من تضاعف جزيء DNA **نسختان متماثلتان** تتكون كل منهما من سلسلتين **إحداهما من DNA الأصل** (أي سلسلة أصلية) **والأخرى جديدة مكملة لها**
- يطلق على عملية تضاعف DNA اسم **التضاعف شبه المُحافِظ** لأن إحدى السلسلتين محفوظة والأخرى جديدة انظر الشكل جيدا
- يُعزى إلى عملية التضاعف احتواء الخلايا الناتجة من الانقسام الخلوي DNA **يحمل التعليمات الوراثية كاملة بالرغم من حدوث عملية الانقسام.**
- اقترح العالمان **مِسلسون وستال** نموذجاً لكيفية تضاعف DNA استناداً إلى اكتشاف تركيب DNA على أيدي العالمين **واتسون وكريك** والنتائج العملية التي توصل إليها علماء آخرون في هذا المجال.

آلية التضاعف DNA

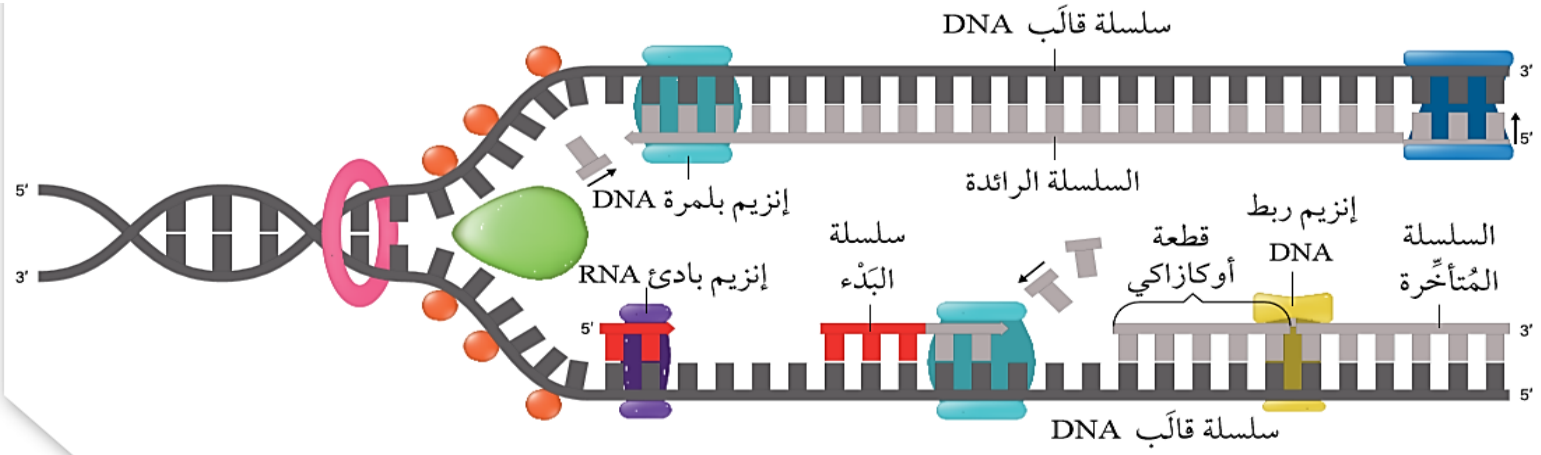


1- تبدأ عملية تضاعف جزيء DNA **بانفصال سلسلتيه المتقابلتين** إذ تتحطم الروابط الهيدروجينية بين النيوكليوتيدات المُتقابلة في السلسلتين بفعل **إنزيم الهيليكيز** الذي يحتاج إلى طاقة ATP لإتمام هذه العملية.

2- ينتج من هذا الانفصال **سلسلتين مفردتان** ترتبط كل منهما **ببروتينات خاصة** تسمى **البروتينات المُرتبطة بالسلاسل المفردة** اهميتها هي تمنع عودة ارتباط السلسلتين إحداهما بالأخرى علما بأن كل سلسلة مفردة تُمثل **قالباً لبناء سلسلة جديدة**

3- **تكون الإنزيمات المسؤولة عن تضاعف DNA غير قادرة على بدء هذه العملية** فإن **إنزيم بادئ RNA** يضيف قطعة صغيرة من RNA (تتكون من 5 – 10 نيوكليوتيدات) تسمى **سلسلة البدء** إلى كل سلسلة من سلسلتي DNA المُكملتين لتوفير نهاية `3 حرة

4- **ثم يبدأ إنزيم بلمرة DNA** بإضافة نيوكليوتيدات مُكملة لنيوكليوتيدات السلسلة القالب يكون بناء سلسلة DNA المُكملة (الجـــديدة) مُتجهاً دائماً من `5 إلى `3 فتنتج **سلسلة متصلة** تسمى **السلسلة الرائدة** وتكون مكملة لإحدى سلسلتي القالب



5- **إن بناء السلسلة المُكملة للسلسلة القالب الأخرى يكون مختلفاً** لان **إنزيم بلمرة DNA** لا يستطيع بناء سلسلة في اتجاه معاكس (أي من 3` إلى 5`) **إذ يكون بناء السلسلة الجديدة على هيئة قطع غير متصلة تسمى قطع أوكازاكي** (نسبة إلى العالم الذي اكتشفها) وتسمى هذه السلسلة **المُكملة السلسلة المُتأخرة.**

6- **تحتاج عملية بناء السلسلة المتأخرة إلى أكثر من سلسلة بدء** إذ تضاف سلسلة بدء جديدة في كل مرة يفصل فيها إنزيم الهيليكيز جزءاً من سلسلتي DNA الأصليتين إحداهما عن الأخرى **ليستأنف إنزيم بلمرة DNA عملية بناء قطع أوكازاكي من 5` إلى 3`**

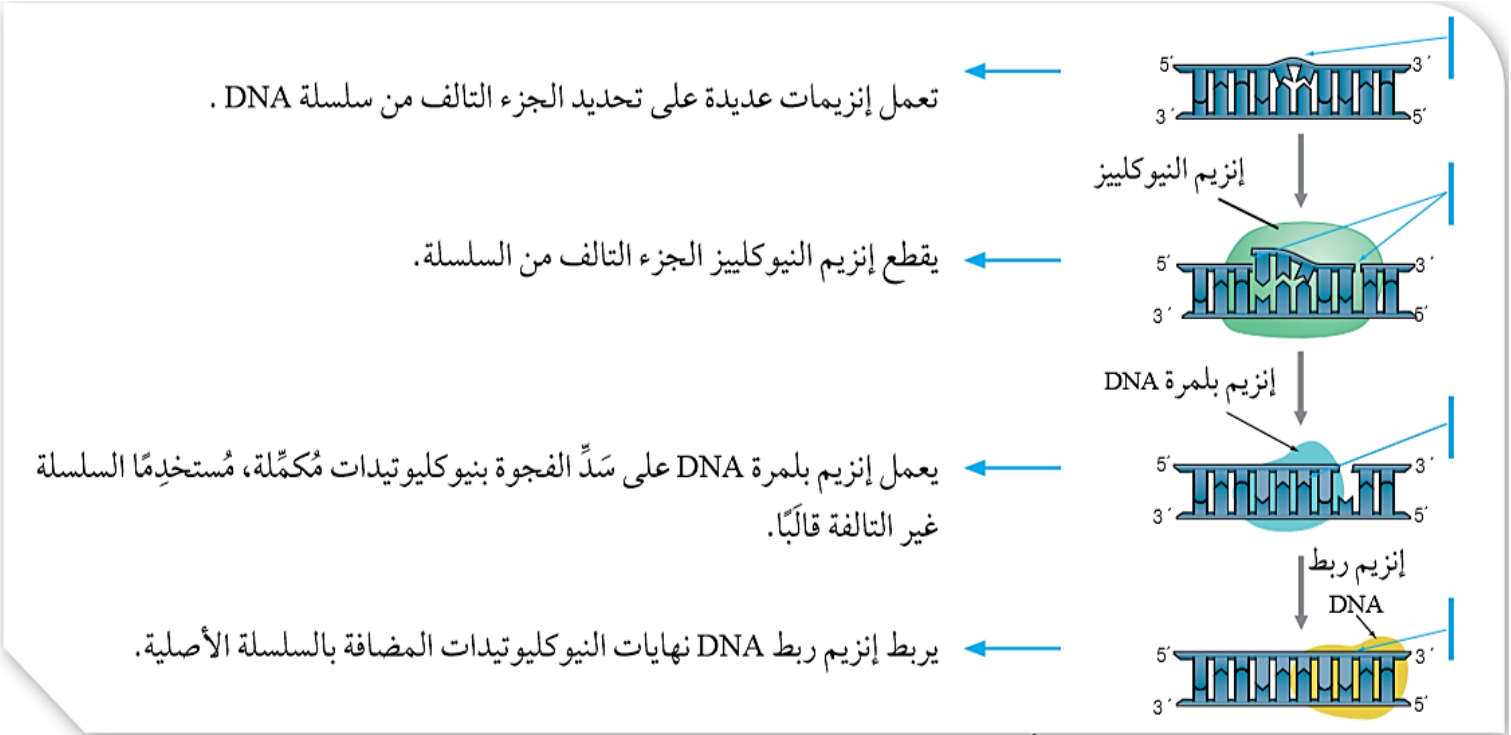
7- بعد ذلك **تُزال سلاسل البدء وتوضع نيوكليوتيدات DNA مكانها** ثم تُربط قطع أوكازاكي باستعمال **إنزيم ربط DNA الذي يربط قطعاً بأخرى مجاورة عن طريق تكوين روابط فوسفاتية ثنائية الإستر بعد انتهاء بناء السلسلة الرائدة والسلسلة المتأخرة** ينتج جزئيا DNA مُتماثلان يتكون كل منهما من سلسلة أصلية وأخرى جديدة مكملة لها.

تصحيح اختلالات DNA توجد آليات عديدة تعمل على **تصحيح اختلالات DNA الناجمة عن تلف جزء من سلسلة DNA** نتيجة تعرض الكائن الحي لعوامل:

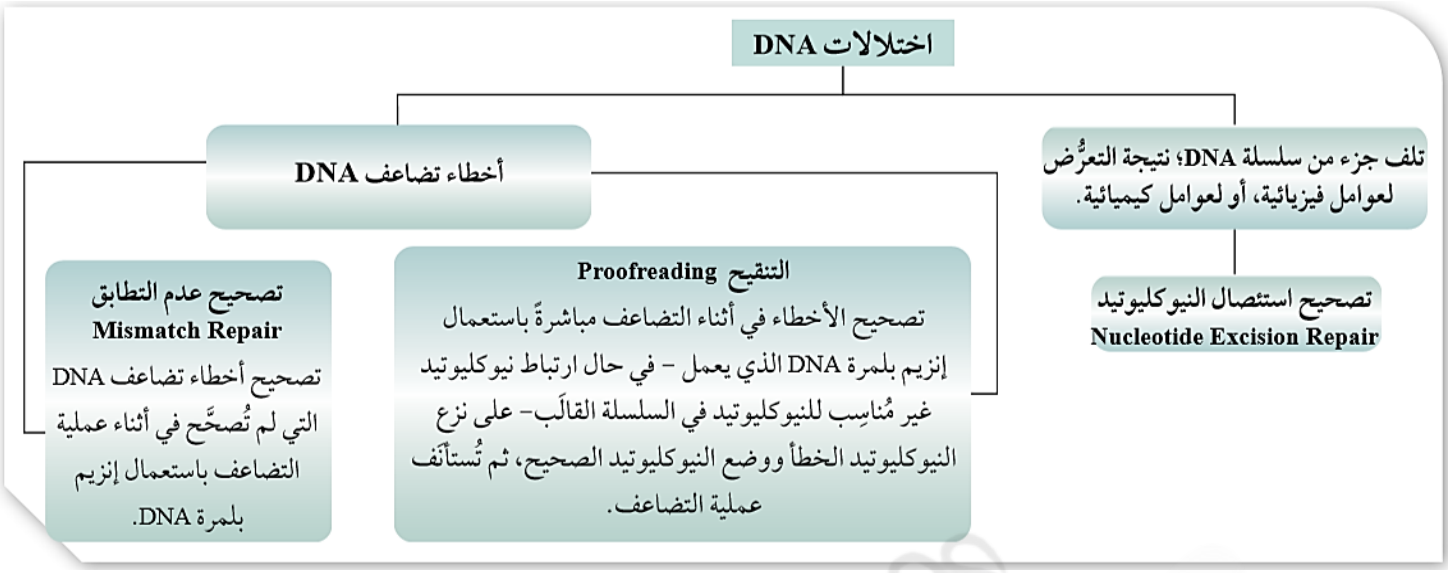
أ- **كيميائية ضارة مثل** 1- سموم بعض الفطريات 2- التبغ
ب - **فيزيائية مثل** 1- الأشعة السينية (X) 2- الأشعة فوق البنفسجية (UV)

حيث تحدث عملية تصحيح الاختلالات (استئصال النيوكليوتيد) كما يلي:

1- يُقطع الجزء التالف من سلسلة DNA عن طريق إنزيم النيوكلييز
2- ثم تُسد الفجوة الناتجة من عملية القطع بنيوكليوتيدات مُكملة للسلسلة المُقابلة غير التالفة باستعمال **إنزيم بلمرة DNA وإنزيم ربط DNA**



ملاحظة: تجدر الإشارة إلى وجود آليات تستخدمها الخلية في تصحيح اختلالات تضاعف DNA يمثل الشكل الاتي ملخصاً لاختلالات DNA وآليات تصحيحها في الخلية .

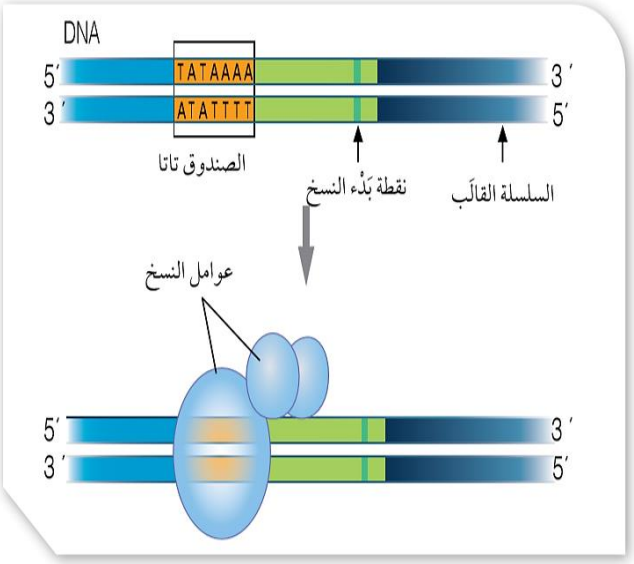


تصنيع البروتينات

- **يُنظم DNA أنشطة الخلية والعمليات الحيوية التي تحدث فيها** لأنه يحمل التعليمات اللازمة لتصنيع البروتينات في صورة نيوكليوتيدات وفق تسلسل معين وتسمى هذه التعليمات **الشيفرة الوراثية.**
- **تؤدي البروتينات أدواراً** مهمة في أجسام الكائنات الحية وفي الخلايا المكونة لها إضافة إلى دورها في تنظيم دورة الخلية
- **تمر عملية تصنيع البروتينات بمرحلتين رئيستين هما 1- النسخ 2- الترجمة** وتوجد بينهما مرحلة يعالج فيها الحمض النووي RNA

ملاحظة يذكران عملية النسخ ضرورية أيضاً **لإنتاج جميع أنواع الحمض النووي RNA** والتي تختلف بطرائق معالجتها إلا أن **الحمض النووي mRNA هو من تحدث له عملية الترجمة .**

أولا عملية النسخ



وهي عملية إنتاج جزيء RNA **مكمل** لجزء من إحدى سلسلتي DNA (تمثل شيفرة وراثية) باستعمال **إنزيمات بلمرة RNA**

تحدث هذه العملية في النواة وتتألف من ثلاث خطوات هي:

1- بدء عملية النسخ 2- استطالةRNA 3- انتهاء عملية النسخ

الخطوة الاولى بدء عملية النسخ:

1- تبدأ عملية النسخ عند تعرُّف بروتينات معينة **تسمى عوامل النسخ** تسلسلاً معيناً من النيوكليوتيدات في DNA وهو تسلسل يوجد **قبل نقطة بدء النسخ** ومن الأمثلة عليه في الخلايا حقيقية النوى مثل:

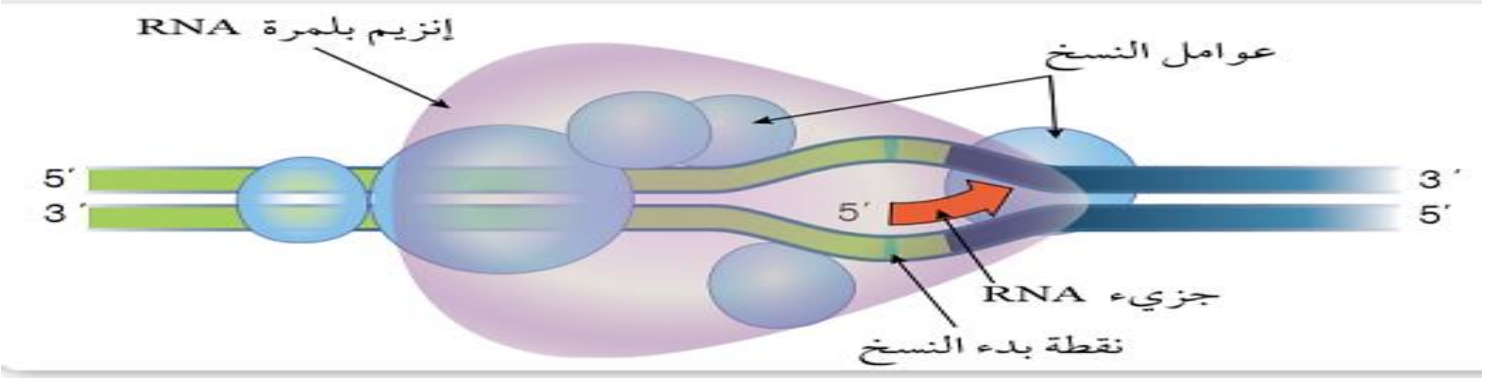
أ) الصندوق كات (CAAT) ب) الصندوق تاتا (TATA)

وتعزى تسمية كل منهما إلى النيوكليوتيدات **المكونة لهما.**

2- **يرتبط إنزيم بلمرة RNA بموقعه المناسب** وترتبط به عوامل نسخ أخرى ما يؤدي إلى تكوين مُعقد بدء النسخ

3- **يبدأ إنزيم بلمرة RNA** بفك التفاف سلسلتي DNA

4- **ثم** تبدأ عملية النسخ mRNA الأولي من نقطة بدء النسخ على **السلسلة القالب**

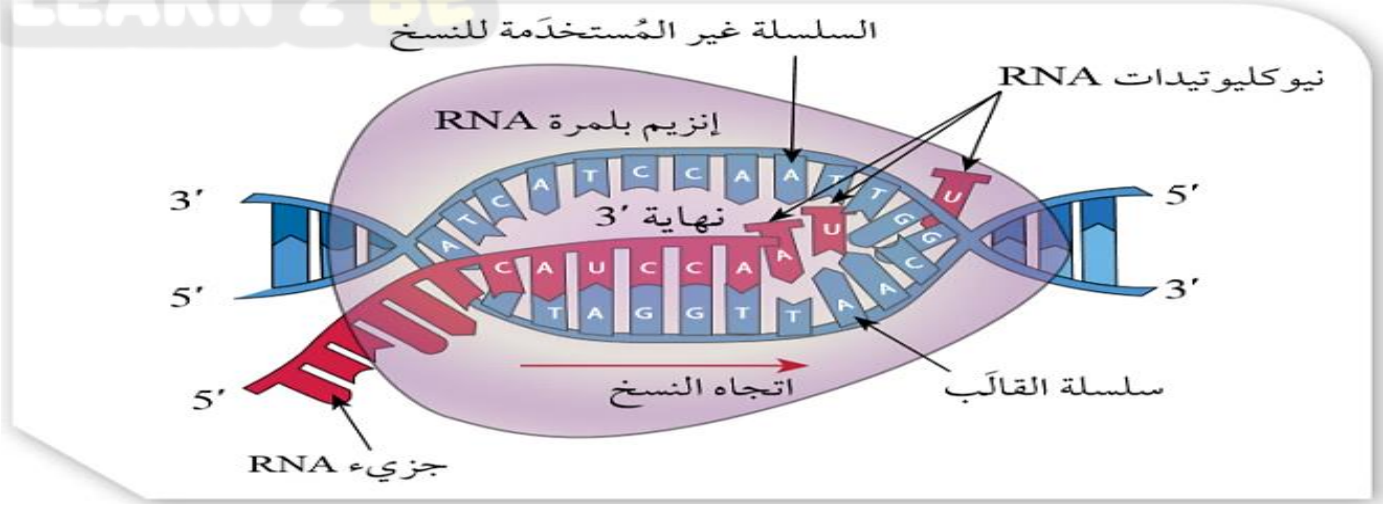


الخطوة الثانية استطالة RNA:

1- يبدأ **إنزيم بلمرة RNA** بالتحرك مُتجهاً من **3` إلى 5`** على سلسلة DNA القالب

2- ثم يضيف نيوكليوتيدات جديدة إلى النهاية 3` **في جزيء RNA الذي يتكون**

- تحتوي النيوكليوتيدات المضافة **إلى سلسلة RNA التي تكونت** على قواعد نيتروجينية **مُكملة للقواعد النيتروجينية في سلسلة DNA** غير أن القاعدة النيتروجينية **المُكملة للأدينين (A) تكون اليوراسيل (U) في RNA و ذلك عوضاً عن الثايمين (T)**



الخطوة الثالثة انتهاء عملية النسخ:

عند انتهاء عملية النسخ المطلوبة **يتوقف إنزيم بلمرة RNA** عن العمل ويبتعد RNA المنسوخ عن سلسلة DNA القالب ويطلق على RNA الناتج اسم **mRNA الأولي**

سؤال أوضح مراحل عملية النسخ ثم أكتب سلسلة RNA الناتجة من نسخ سلسلة DNA الآتية

الإجابة : 1- بدأ عملية النسخ 2- مرحلة الاستطالة 3- انتهاء عملية النسخ

ثانيا معالجة RNA

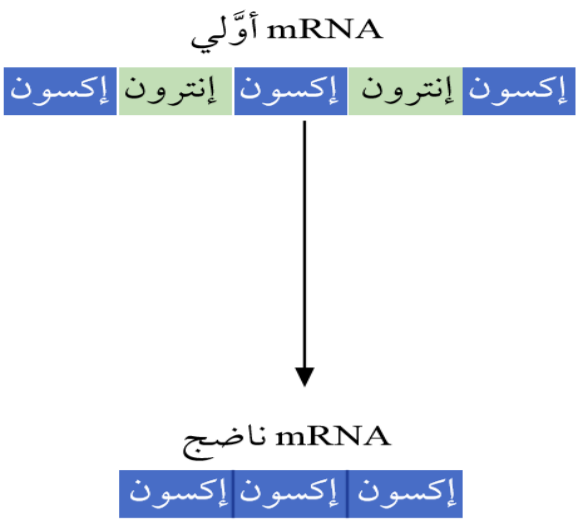
- يخضع جزيء **mRNA الأولي** لعملية معالجة في **النواة** قبل أن يصبح جزيء **mRNA ناضجاً** يمكن ترجمته

تتضمن عملية المعالجة الاتي:

1- **إزالة** قطع من mRNA تسمى كل منها **الإنترون** وهي **أجزاء غير فاعلة في تصنيع البروتين المطلوب** ما يعني بقاء **الأجزاء الفاعلة في تصنيع البروتين المطلوب** والتي يعرف كل منها باسم **الإكسون**

2- بعد ذلك **تُربط قطع الإكسون** المُتبقية بعضها ببعض

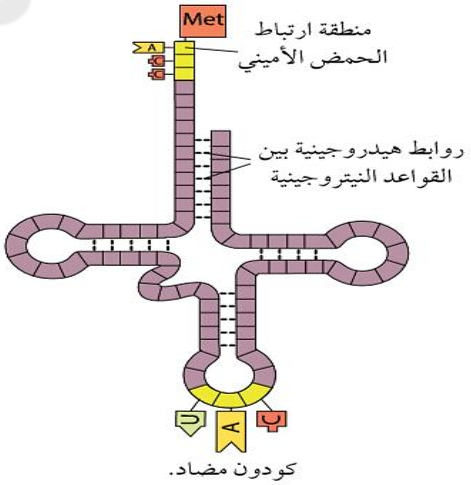
3- فينتج **جزيء mRNA ناضج** يخرج من النواة إلى السيتوبلازم عن طريق الثقوب النووية الموجودة في الغلاف النووي تمهيداً لبدء **عملية الترجمة**



ثالثا الترجمة

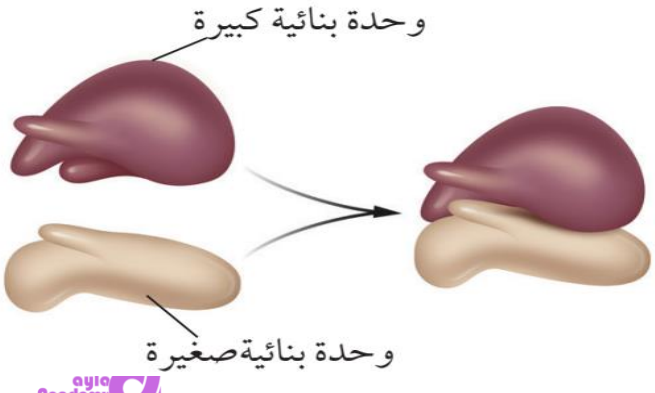
- هي عملية التي تستخدم فيها **المعلومات الوراثية** التي يحملها mRNA (الناضج) لتصنيع سلسلة عديد الببتيد **اسم الترجمة**
- يطلق على كل **ثلاثة نيوكليوتيدات مُتتابعة** في mRNA يمكن أن تترجم إلى حمض أميني أو إشارة توقف (stop) **اسم الكودون انظر الشكل اسفل (ليس للحفظ ماعدا كودونات البدأ والانتهاء حفظ)**

تشمل أنواع RNA على نوع يسمى **RNA الناقل (tRNA)** وهو **المُترجِم في هذه العملية** انظر الشكل اسفل

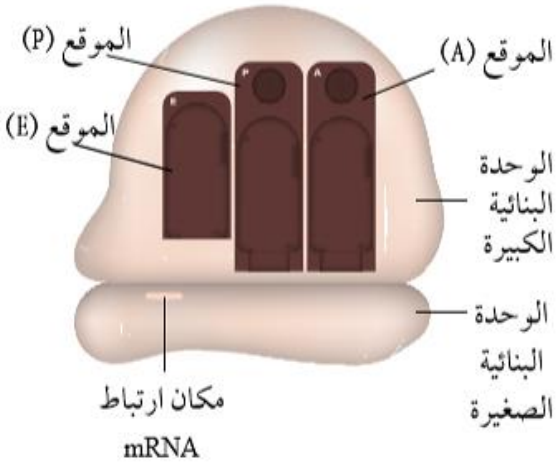


تحدث عملية **الترجمة بمساعدة الرايبوسومات** وهي تراكيب تتكون من البروتينات والحمض النووي الرايبوسومي rRNA

ويتألف كل **رايبوسوم** من وحدتين إحداهما **كبيرة** والأخرى **صغيرة** وهما تجتمعان عند بدء عملية الترجمة انظر الشكل اسفل



يحتوي الرايبوسوم الواحد على ثلاثة مواقع متخصصة لارتباط جزيئات tRNA وهي



1- **الموقع (P):** يرتبط بـ tRNA الحامل لسلسلة عديد الببتيد التي تتكون في أثناء عملية الترجمة

2- **الموقع (A):** يرتبط بـ tRNA الذي يحمل الحمض الأميني الذي سيضاف إلى سلسلة عديد الببتيد

3- **الموقع (E):** موقع خروج جزيء tRNA الذي يغادر الرايبوسوم فارغاً بعد أن يوصل الحمض الأميني

تمر **عملية الترجمة بثلاث مراحل رئيسة هي:**

1- مرحلة بدء الترجمة **2- مرحلة استطالة عديد الببتيد** **3- مرحلة انتهاء الترجمة**

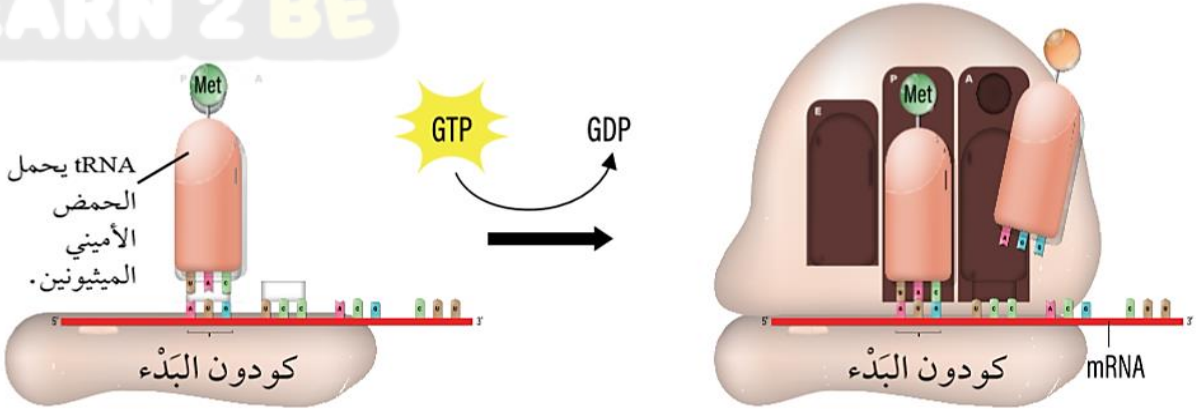
أولا مرحلة بدء الترجمة

1- يرتبط **جزيء mRNA** و**جزيء tRNA البادئ (الذي يمثل تسلسل النيوكليوتيدات في موقع الكودون المضاد فيه UAC ويحمل الحمض الأميني الميثيونين)** بالوحدة البنائية الصغيرة

2- فتتكون روابط هيدروجينية بين كودون البدء (AUG) في mRNA والكودون المضاد (UAC) في tRNA

3- يلي ذلك ارتباط الوحدة **البنائية الكبيرة للرايبوسوم**

ملاحظة مهمة يُذكر أن هذه العملية تحتاج إلى **عوامل مساعدة** وإلى **الطاقة المُخزنة** في جزئيات **غوانوسين ثلاثي الفوسفات GTP.**

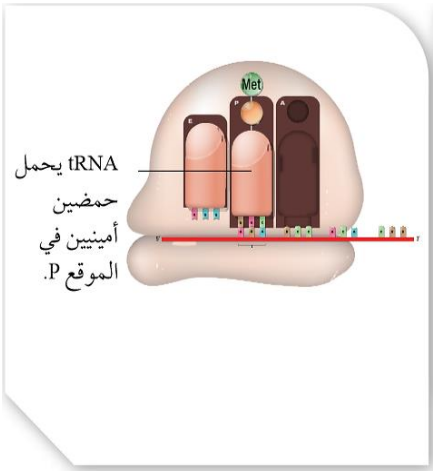


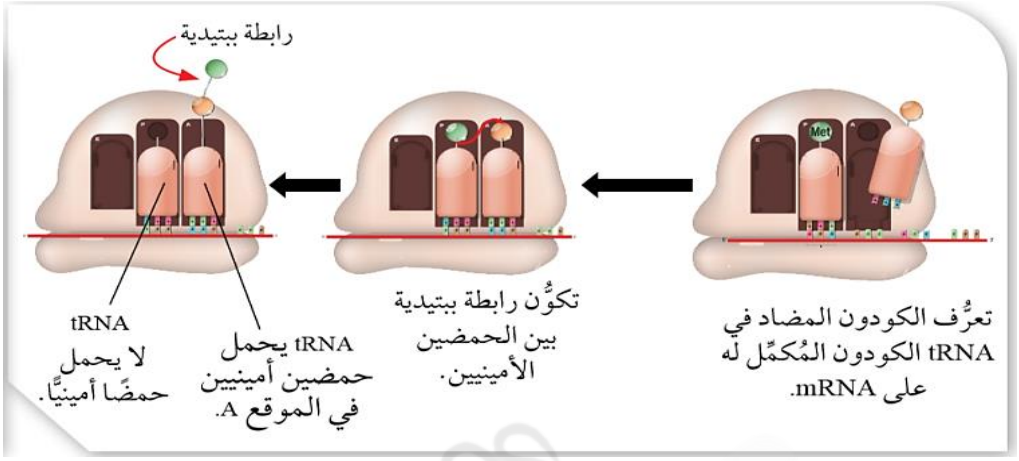
ثانيا مرحلة استطالة عديد الببتيد

يستطيع الكودون المضاد في أحد جزئيات tRNA أن يتعرف الكودون المُكمل له في جزيء mRNA الموجود في **الموقع (A)**

1- يستقبل الموقع (A) في **الرايبوسوم** جزيء tRNA الذي يحوي الكودون المضاد المُكمل للكودون الثاني في جزيء mRNA ويحمل الحمض الأميني الثاني فتتكون رابطة ببتيدية بين **مجموعة الكربوكسيل** في الحمض الأميني الموجود في **الموقع (P) ومجموعة الأمين** في الحمض الأميني الذي يحمله جزيء tRNA الموجود في **الموقع (A)** وبذلك يكون الموقع (A) في هذه اللحظة مشغولاً بـ tRNA حاملاً حمضين أمينيين في حين لا يحمل جزيء tRNA الموجود في الموقع (P) أي حمض أميني.

2- **يتحرك الرايبوسوم إلى الداخل على سلسلة mRNA** بمقدار **كودون واحد من النهاية `5 إلى `3** ما يؤدي إلى انتقال جزيء tRNA الموجود في الموقع (P) إلى الموقع (E) خارجاً من الرايبوسوم وينتقل جزيء tRNA الموجود في الموقع (A) إلى الموقع (P) فيصبح **الموقع (A) فارغاً** و جاهزاً لاستقبال جزيء tRNA جديد يحمل كودوناً مضاداً للكودون التالي في جزيء mRNA

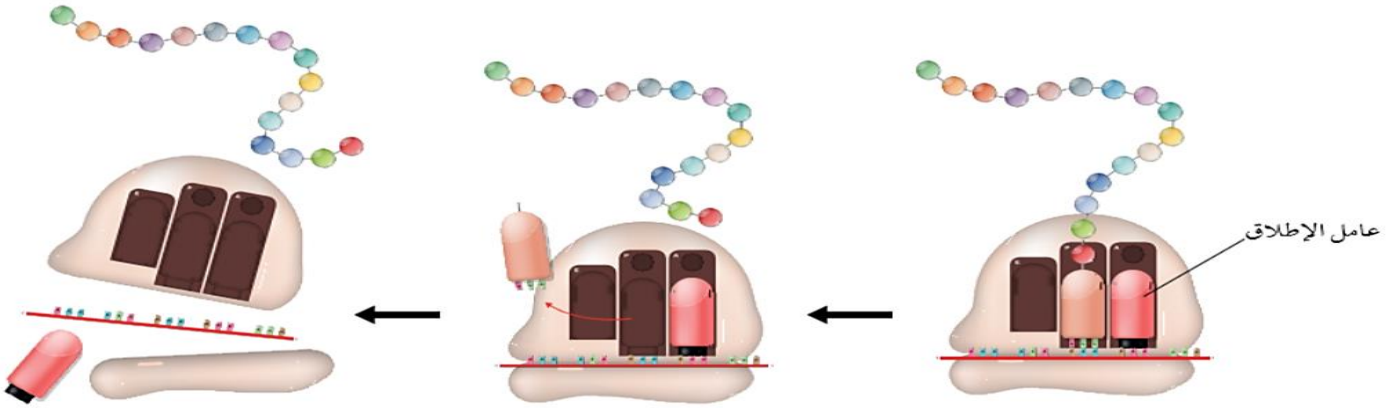




ملاحظة تتكرر الخطوات السابقة لإضافة الحموض الأمينية واحداً تلو الآخر وتحتاج مرحلة استطالة سلسلة عديد الببتيد عند إضافة كل حمض أميني إلى الطاقة المُخزنة في **جزئيات GTP** لكي يتمكن الكودون المضاد في جزيء tRNA من تعرف الكودون في جزيء mRNAوتحريك الرايبوسوم بعد تكون الرابطة الببتيدية **انظر الشكل اسفل**

ثالثا مرحلة انتهاء الترجمة :

عند وصول الرايبوسوم إلى أحد **كودونات الوقف (UAA)** أو **(UAG)** أو **(UGA)** في جزيء mRNA فإن الموقع (A) في الرايبوسوم يستقبل **عامل الإطلاق عوضاً عن جزيء tRNA** فيعمل هذا العامل على تحلل الرابطة بين سلسلة عديد الببتيد المُتكونة و جزيء tRNA الموجود في الموقع (P) **ما يؤدي إلى تحرر سلسلة عديد الببتيد من الرايبوسوم و ثم انفصال الوحدة البنائية الكبيرة للرايبوسوم وانفصال بقية المكونات**



التعبير الجيني

- **تستطيع الخلية تصنيع الآف البروتينات** المختلفة التي تؤدي كل منها وظيفة خاصة بها
- غير أن الخلية **لا تحتاج إلى هذه البروتينات كلها في الوقت نفسه** لذا تَعْمَد إلى تنظيم عملية تصنيع البروتينات لا سيما وقت التصنيع والكمية التي تلزمها في عملية تُسمى **التعبير الجيني**

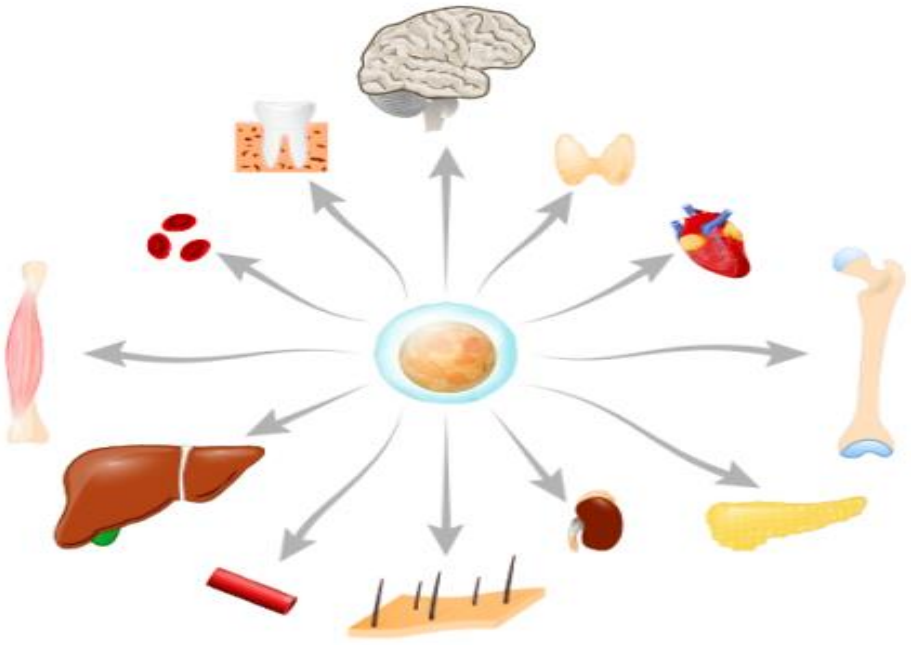
التعبير الجيني: هي عملية تستخدم فيها الخلية المعلومات الوراثية التي يحملها الجين **لبناء جزيء RNA** أو **تصنيع بروتين** يؤدي وظيفة محددة في الخلية

- صحيح أن خلايا الكائن الحي عديد الخلايا تحوي كروموسومات تحمل الجينات نفسها **لكن تفعيل التعبير الجيني لجينات مُعينة دون غيرها يُسبب اختلاف البروتينات التي تصنعها خلية ما عن تلك التي تصنعها أخرى** استناداً إلى الوظيفة التي تؤديها كل خلية في الكائن الحي

- يؤثر التعبير الجيني في **تمايز الخلايا** ويعرف التمايز بأنه عملية تتحول فيها الخلايا غير المتخصصة إلى خلايا متخصصة **على سبيل المثال** في مراحل تكون جنين الإنسان **تتمايز الخلايا الناتجة من انقسام الزيجوت** إلى خلايا مختلفة الأنواع منها خلايا الكبد والخلايا العصبية

- تطلب عملية تمايز هذه **تغيير نمط التعبير الجيني في الخلية** فيصبح للخلية نمط مُحدد للتعبير الجيني لا يتغير غالباً طوال مدة حياة الخلية المتخصصة

- **يتأثر التعبير الجيني في الخلايا بعوامل داخلية** (من جسم الكائن الحي نفسه) مثل **الهرمونات** و**عوامل خارجية** (من البيئة المحيطة بالكائن الحي) مثل بعض **المواد الكيميائية وعوامل فيزيائية**



الإثراء والتوسُّع

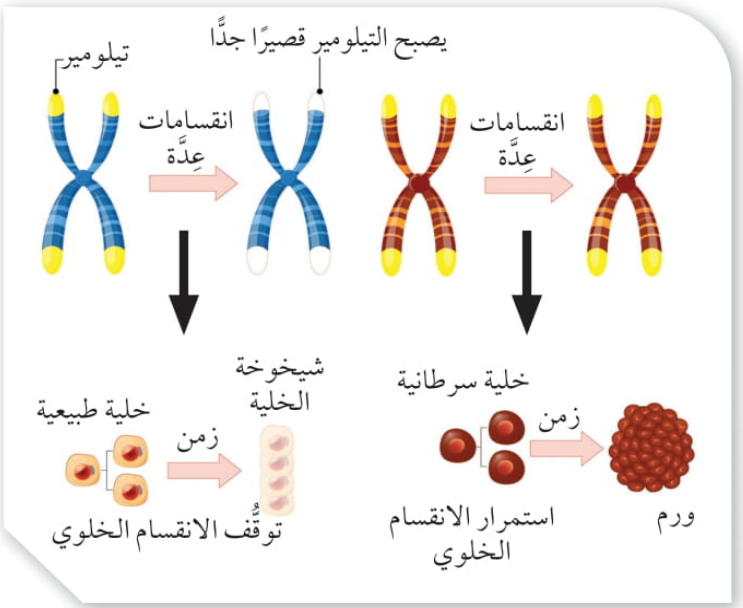
التيلوميرات Telomeres

توجد في نهاية كروموسومات الخلايا حقيقية النوى سلاسل مُتكرِّرة من النيوكليوتيدات الطرفية غير مُشفِّرة، تعمل على حماية الجينات في نهايات الكروموسومات من الضياع (الشطب) في أثناء الانقسامات المُتكرِّرة للخلية، وتُعرَف باسم التيلومير Telomere.

تختلف الكائنات الحيَّة حقيقية النوى في ما بينها من حيث عدد النيوكليوتيدات في التيلومير؛ ففي خلايا الإنسان الجسمية – مثلًا– توجد سلسلة من ستة نيوكليوتيدات (5'-TTAGGG-3')، والسلسلة المكملة لها، تتكرَّر عددًا من المَرّات يتراوح بين (100-1000) مَرَّة.

يوجد أيضًا إنزيم يُسمّى التيلوميريز telomerase ، ويتكوَّن من مُعقَّد (بروتين – RNA)، ويستخدم RNA الموجود فيه قالَبًا لإضافة سلسلة مُتكرِّرة من النيوكليوتيدات إلى نهاية 3′ في الكروموسوم، وهو ينشط في الخلايا الجنينية والخلايا الجسمية الجذعية، ولا ينشط في الخلايا الجسمية الطبيعية المُتمايِزة.

بعد إضافة سلسلة مُتكرِّرة إلى نهاية 3′ في الكروموسوم، يضيف إنزيم بلمرة RNA البادئ سلسلة بَدْء إلى السلسلة المُتكرِّرة، ثم يعمل إنزيم بلمرة DNA على إضافة النيوكليوتيدات المُكمِّلة للسلسلة. تتكرَّر هذه العملية مَرّاتٍ عِدَّةً للحفاظ على طول سلسلة التيلومير، إلّا أنَّه لا يُمكِن لمعظم الخلايا الجسمية القيام بهذه العملية؛ نظرًا إلى عدم وجود إنزيم التيلوميريز فيها، فيقل طول سلسلة التيلومير في ظلِّ الانقسامات الخلوية المُتكرِّرة، وتقل قدرتها على الانقسام؛ ما يؤدّي إلى شيخوخة الخلية أو موتها.



يُذكَر أنَّ إنزيم التيلوميريز يكون نشطًا في الخلايا السرطانية؛ ما يحافظ على طول التيلومير فيها، بالرغم من الانقسامات المُتكرِّرة؛ لذا تستمر الخلايا في الانقسام.

أُصمِّم مَطْوِيَّة تَعْرِض دور التيلوميريز في شيخوخة الخلايا.