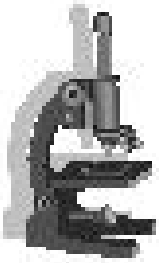
الأستاذ : فــراح عيسى

ثانوية هواري بومدين

تنـــــــــــــــس

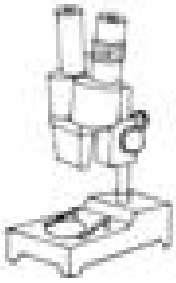
ولايـــــــة الشلـــف

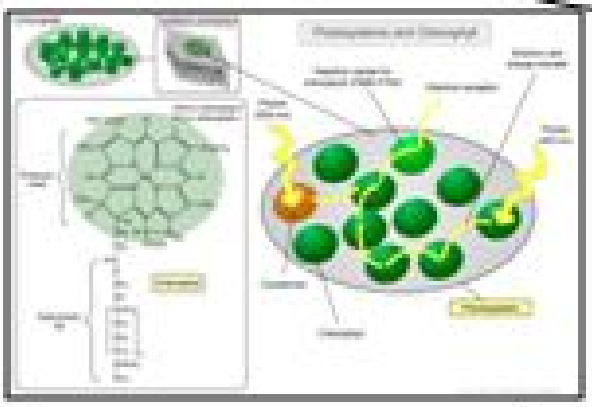
https://www.facebook.com/Ferah-Aissa-255117511485916/

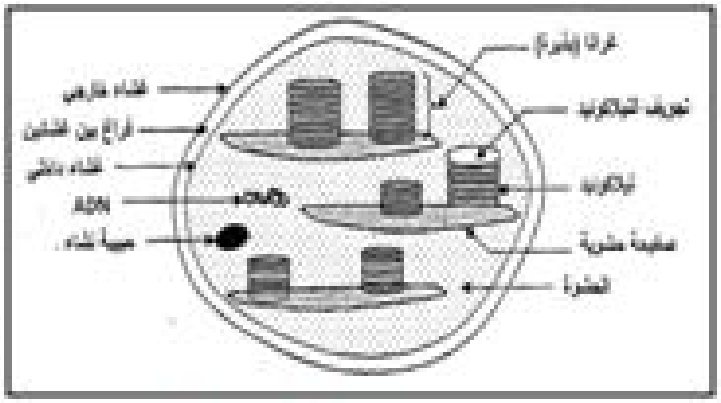


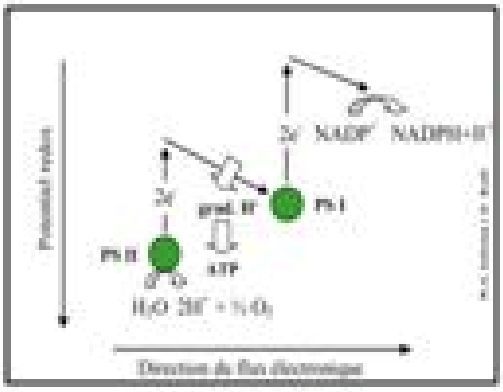
المجال المعرفي II

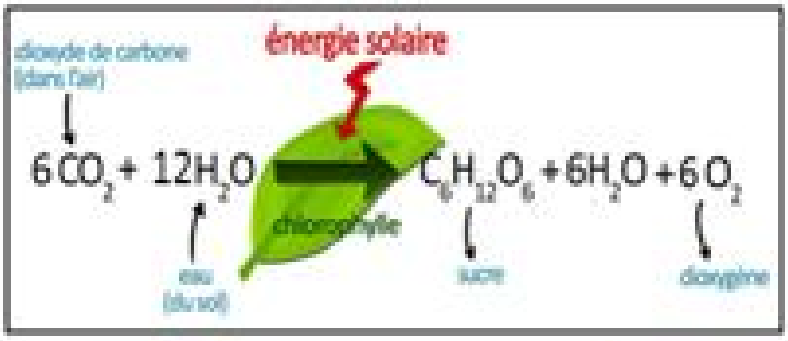
التحولات الطاقوية

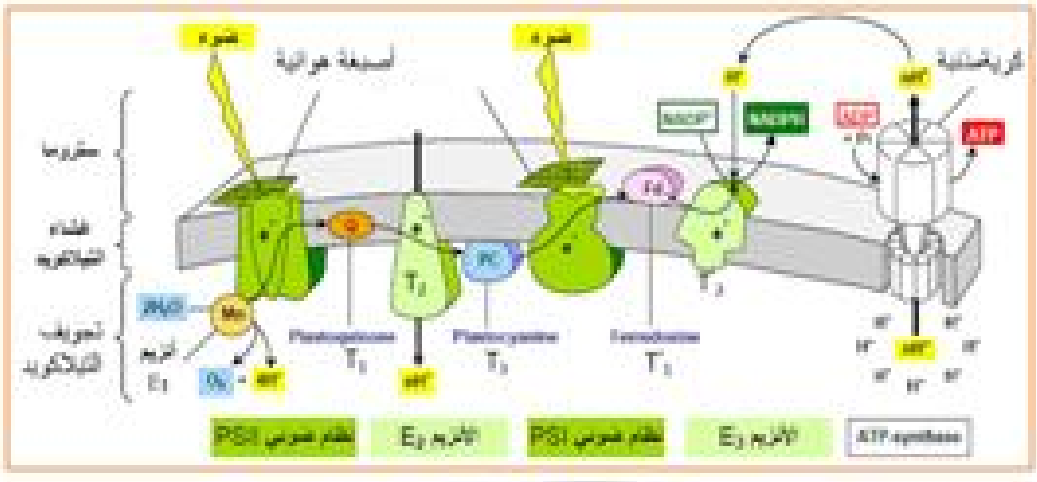












الوحدة التعلمية 1

آليات تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة

من إعداد الأستاذ : فراح عيسى

Sciences
fb:Ferah Aissa
https://www.facebook.com/Ferah-Aissa-255117511485916/

أخي الكريم ، أختي الكريمة

لا تنسونا من صالح دعائكم

المجال المعرفي II

التحولات الطاقوية

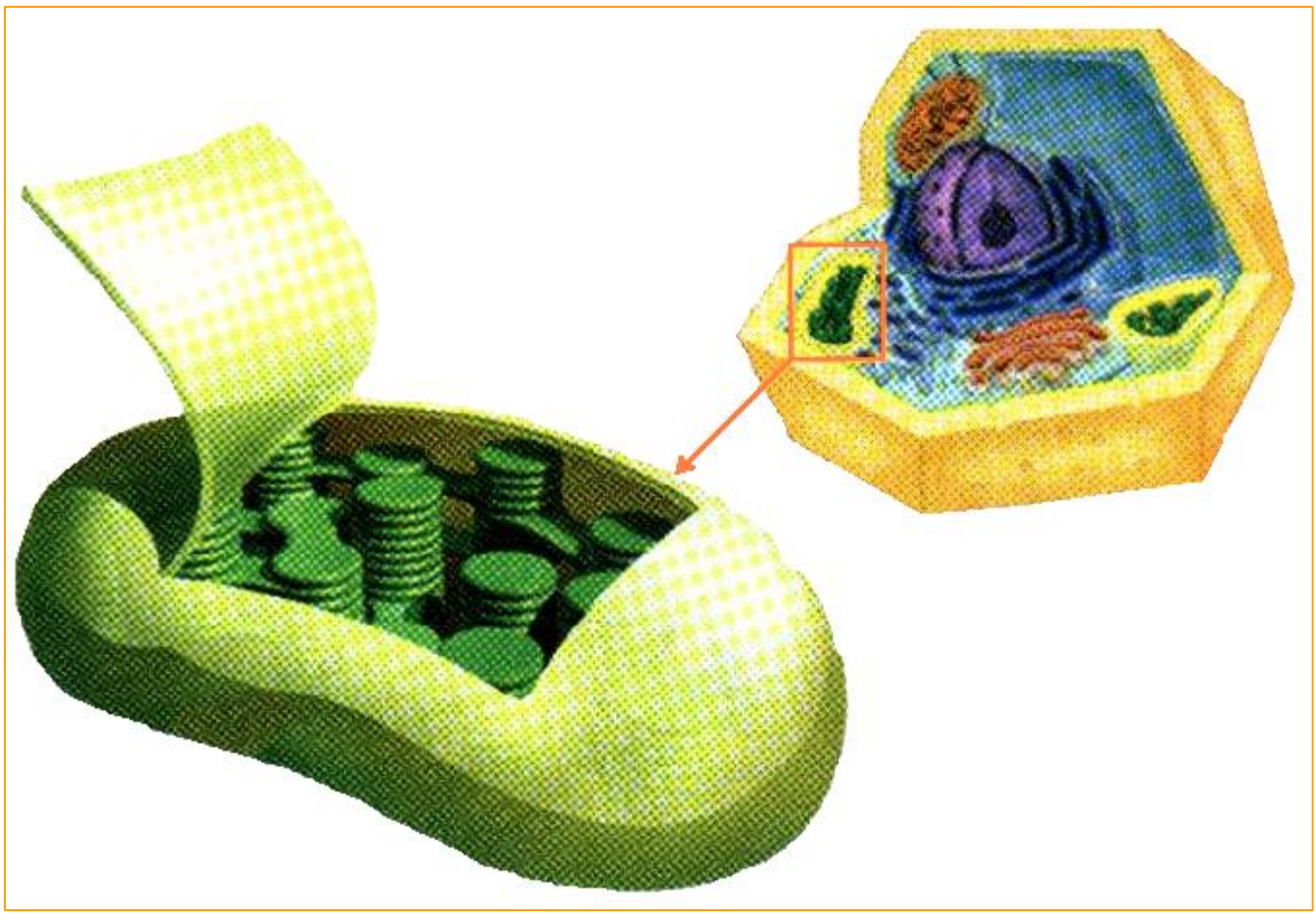
الوحدة الأولى : آليات تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة .
الحصة التعلمية 0: مدخل إلى الوحدة .

أ – وضعية الانطلاق :

تؤدي النباتات الخضراء وظيفة حيوية هامة تعتبر أهم ضمان لاستمرار الحياة ، و إن ناتج عملية التركيب الضوئي يتمثل في تركيب جزيئات عضوية مخزنة للطاقة ، حيث يقوم النبات الأخضر بتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة تتم وفق تسلسل جملة من التفاعلات الكيموحيوية بآليات دقيقة و محددة .

ب - الإشكاليات :

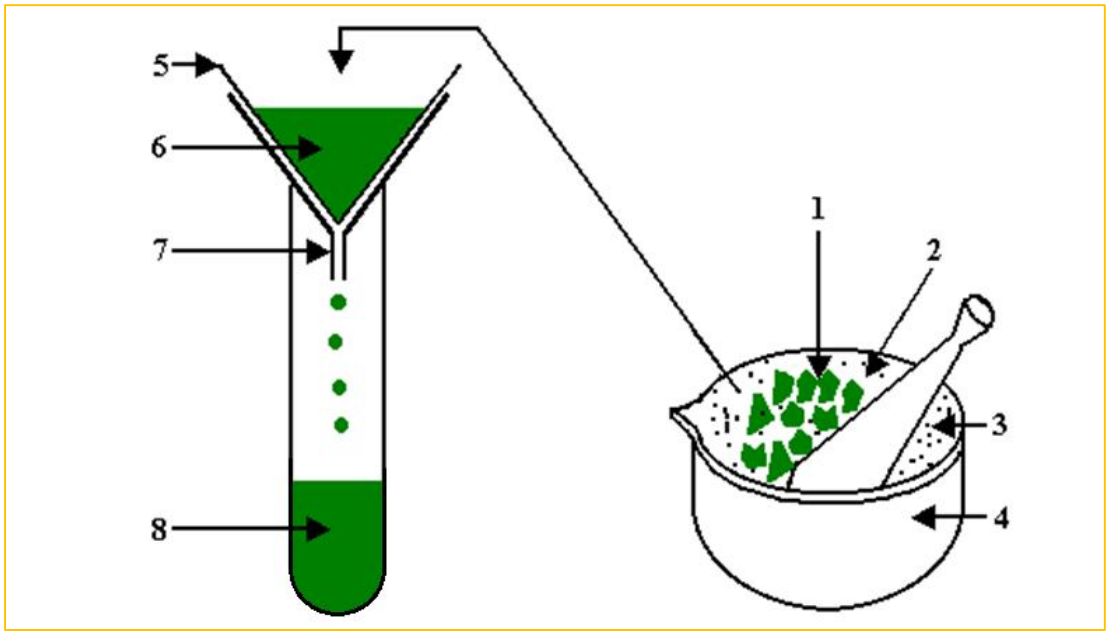
- فما هو مقر هذه التحولات الطاقوية ؟
- و ما هي مراحل و آليات هذه التحولات ؟



مكونات اليخضور الخام:

1 - استخلاص اليخضور الخام :

نقطع أوراقا نباتية خضراء (السبانخ ، الجيرانيوم ...) إلى أجزاء دقيقة ثم نضعها في هاون السحق .
نضيف إليها قليلا من الرمل الناعم المنظف لتسهيل عملية الهرس ، كما يضاف لها كمية من الأسيتون 80 % الذي يعتبر مذيبا لليخضور الخام ثم نسحق جيدا الأجزاء النباتية الخضراء .
نرشح محتوى الهاون بعملية الترشيح و نجمع في أنبوب خاص الرشاحة المتمثلة في محلول أسيتوني لليخضور الخام الذي يحتفظ به لغرض إنجاز العديد من التجارب .



1 : أوراق خضراء مفتتة .
2 : الأسيتون .
3 : رمل ناعم .
4 : هاون .
5 : ورق الترشيح .
6 :الخليط .
7 : قمع زجاجي .
8 : رشاحة اليخضور الخام.

طريقة استخلاص اليخضور الخام

فصل اليخضور :

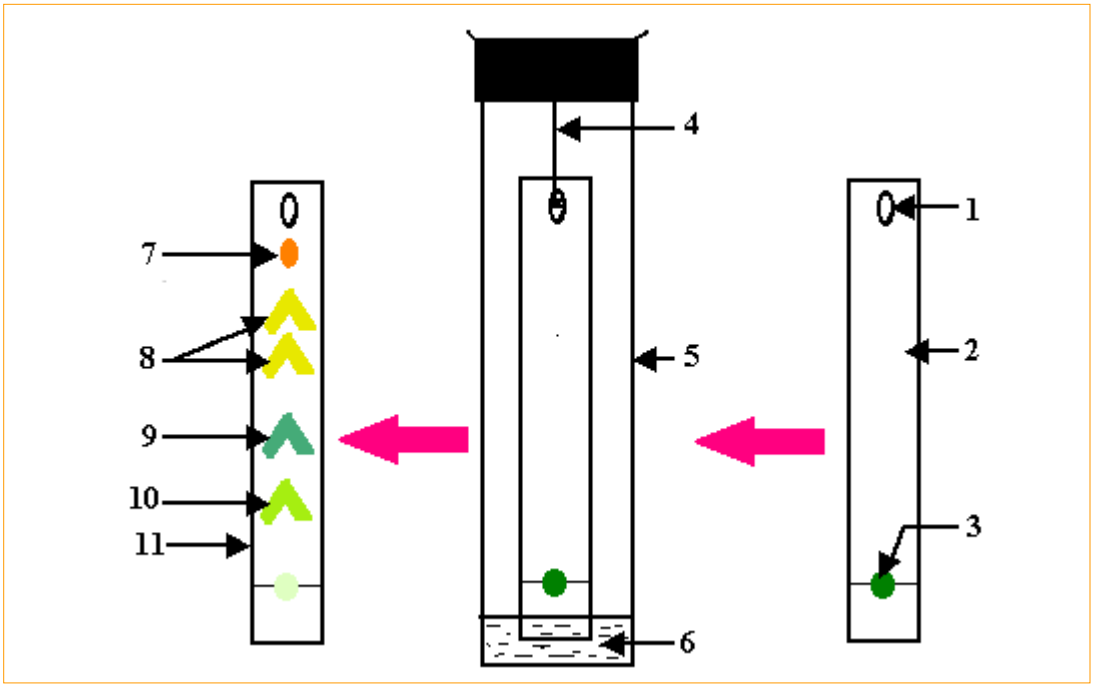
اليخضور الخام خليط من عدة أصبغة و التي يمكن فصلها بطريقتين :

- الفصل بالتسجيل اللوني (الكروماتوغرافي) :

تعتمد هذه الطريقة على صعود الأصبغة بالخاصية الشعرية في أوراق التسجيل اللوني بسرعات مختلفة و ذلك حسب وزن الجزيئات و أشكالها.
نسكب في أنبوبة مدرجة كبيرة السعة المذيبات التالية (مع المحافظة على عدم تلويث جوانبها):

- 8.5 ملل من إيثر البترول .
- 1 ملل من الأسيتون .
- 0.5 ملل من البنزين .

نأخذ شريط الكروماتوغرافيا الورقي ، و نضع على بعد 20 ملم من نهايته بضع قطرات من محلول اليخضور الخام المحضر سابقا (تضاف القطرة الموالية بعد جفاف القطرة السابقة).
نعلق شريط الكروماتوغرافيا الجاهز بخيط نحاسي ، ثم ندخله في الأنبوبة المدرجة بلطف دون أن يلمس جوانبها بحيث يغمر الشريط في المذيب بحوالي 1 سم .
نضع التركيب التجريبي في مكان مظلم لمدة من الزمن للمحافظة على عدم إتلاف الأصبغة بالضوء .
نراقب حركة المذيب إلى الأعلى و نحدد بقلم الرصاص البقع الصبغية التي توضعت بشكل عمودي على الشريط .



1 : منطقة التثبيت .
2 : ورقة واثمان .
3 : بقعة من اليخضور الخام .
4 : قضيب زجاجي .
5 : مخبر زجاجي .
6 : المذيب .
7 : جزرين (كاروتين) .
8 : يصفور (كزانتوفيل) .
9 : يخضور (أ) .
10 : يخضور (ب) .
11 : ورقة الكروماتوغرافيا .

فصل الأصبغة النباتية بالتسجيل اللوني (الكروماتوغرافي)

الملاحظة :

نلاحظ هجرة الأصبغة على طول الشريط الورقي تحت تأثير المذيب مرتبة من الأسفل نحو الأعلى بالترتيب التالي :

- بقعة خضراء مصفرة عبارة عن اليخضور (ب) ($C_{55}\ H_{70}\ O_6\ N_4\ Mg$) (chlorophylle B).
- بقعة خضراء مزرقة عبارة عن اليخضور (أ) ($C_{55}\ H_{72}\ O_5\ N_4\ Mg$) (chlorophylle A).
- بقعة صفراء عبارة عن اليصفور (الكزانتوفيل) ($C_{40}\ H_{56}\ O_2$) (xanthophylles).
- بقعة برتقالية عبارة عن الجزرين (الكاروتين) ($C_{40}\ H_{56}$) (carotènes).

النتيجة :

- يتركب اليخضور الخام من الأصبغة التالية :
- أصبغة يخضورية تتمثل في اليخضور (أ) و اليخضور (ب) .
- أصبغة شبه جزرينية تتمثل في الجزرين "الكاروتين carotènes " و اليصفور " الكزانتوفيل xanthophylles ".

و الجدول التالي يبين كمية الأصبغة الموجودة في 4 كلغ من الأوراق الطازجة (أي ما يعادل 1 كلغ من الأوراق الجافة) .

	كاروتين carotènes	كزانتوفيل xanthophylles	يخضور (أ) chlorophylle A	يخضور (ب) chlorophylle B
يوجد في 10 غرامات من اليخضور الخام	0.5 غ	1 غ	6 غ	2.5 غ

المجال التعلمي II : التحولات الطاقوية .
الوحدة الأولى : آليات تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة .
الحصة التعلمية 1: تذكير بالمكتسبات .

أ – وضعية الانطلاق :

التركيب الضوئي ظاهرة حيوية يتم خلالها صنع جزيئات عضوية ، لا تتم الظاهرة إلا بتوفر شروط تسمح بحدوثها .

ب - الإشكاليات :

- فما هي شروط عملية التركيب الضوئي ؟

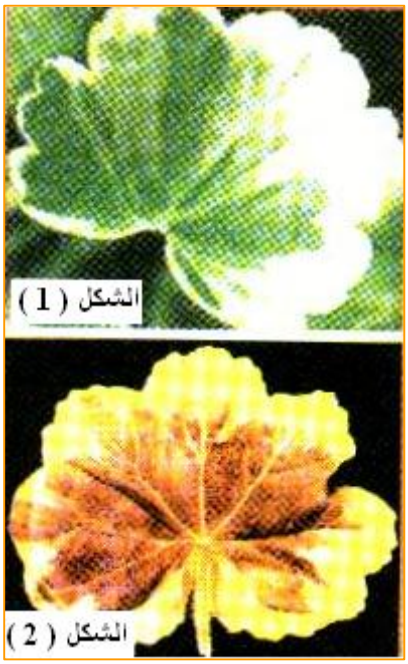
ج – الفرضيات :

- الضوء .
- اليخضور .
- الحرارة .

د – التقصي :

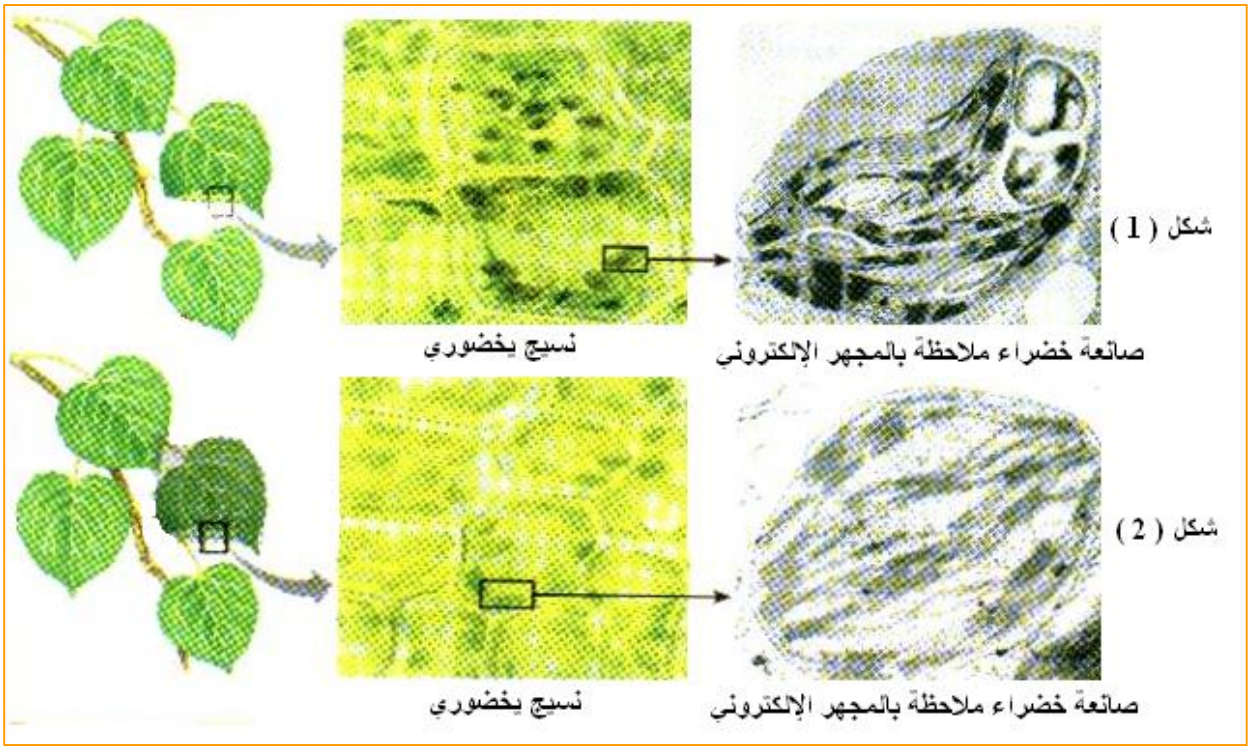
1 – شروط عملية التركيب الضوئي :

توضح الوثائق التالية شروط حدوث عملية التركيب الضوئي :
حيث تمثل الوثيقة – 1 – ورقة مبرقشة عرضت للضوء لمدة زمنية كافية (الشكل 1) ، ثم عوملت بتقنية خاصة للكشف عن الجزيئات العضوية (الشكل 2) .

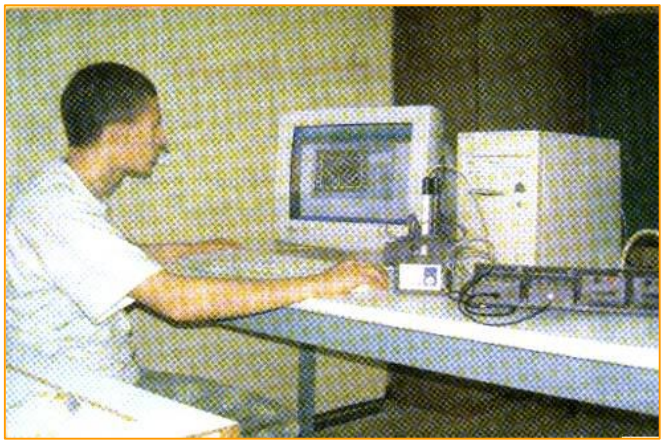


الوثيقة – 1 –

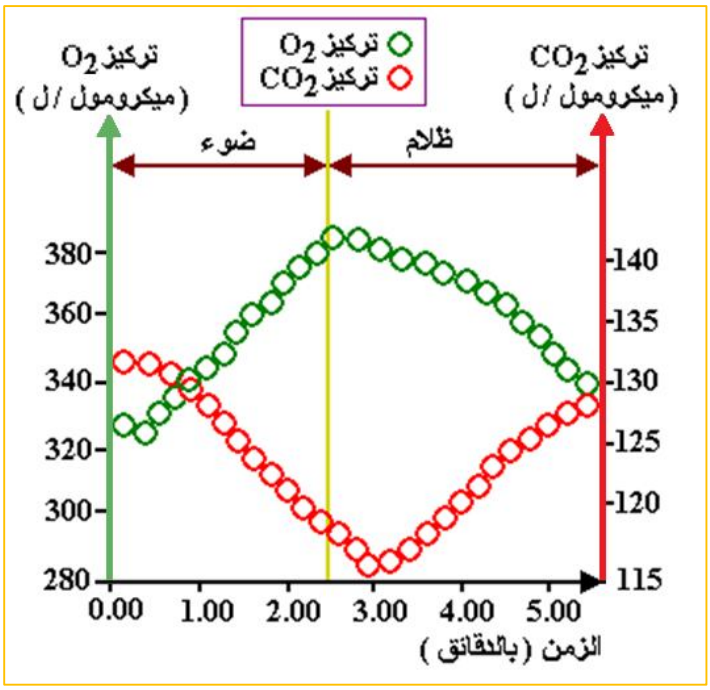
يوضح الشكلان (1 و 2) من الوثيقة – 2 – النتائج التجريبية لورقتين إحداهما عرضت للضوء و الأخرى وضعت في الظلام .



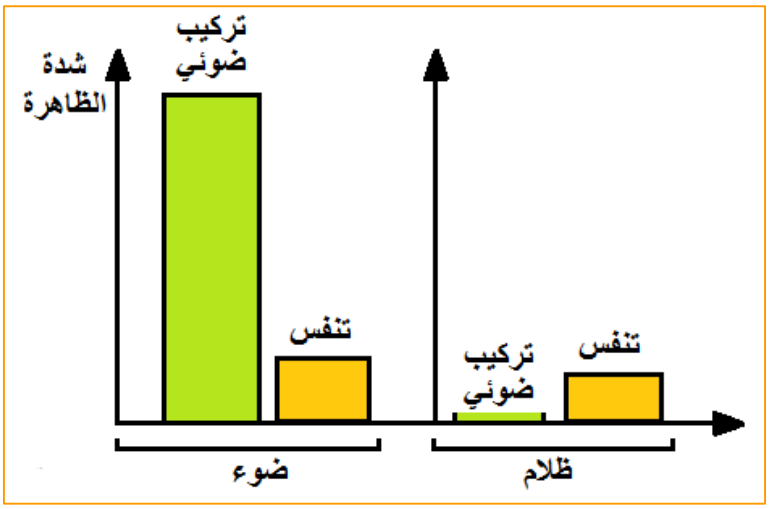
الوثيقة – 2 –



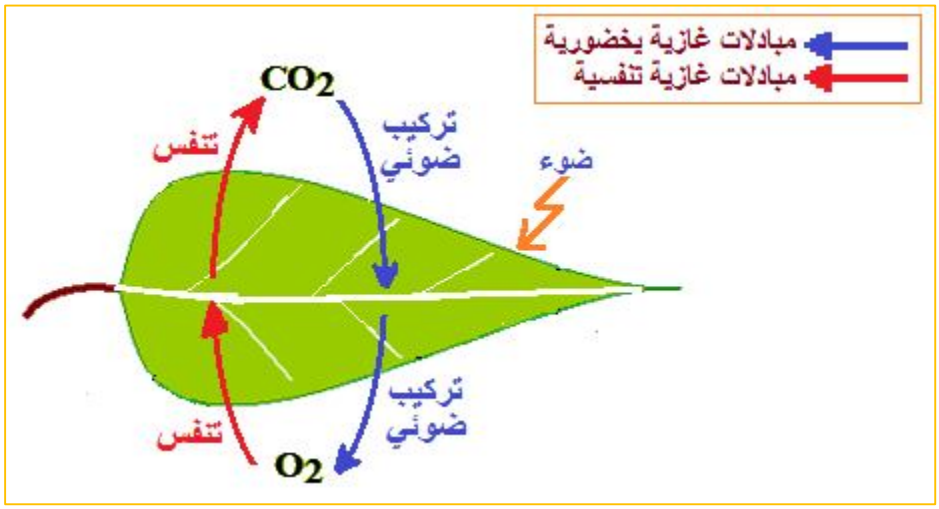
الوثيقة ـ 3 ـ توضح التركيب التجريبي المدعم بالحاسوب (ExAO) و نتائج تجارب أجريت على أشنة خضراء في شروط تجريبية مختلفة .



الوثيقة ـ 3 ـ



الوثيقة ـ 4 ـ



باستغلال الوثائق :

- **ماذا تستخلص من معطيات الوثيقة ـ 1 ـ .**
  - اليخضور شرط في تركيب الجزيئات العضوية المتمثلة في النشاء .
- **قارن النتائج التجريبية في الشكلين (1 و 2) من الوثيقة ـ 2 ـ .**
  - النسيج اليخضوري المعرض للضوء هو الوحيد الذي ركب الجزيئات العضوية المتمثلة في النشاء ، حيث لم يتم تركيب النشاء في الأوراق غير المعرضة للضوء رغم احتوائها على اليخضور .
- **ماذا تستخلص ؟**
  - الضوء ضروري كذلك لتركيب الجزيئات العضوية المتمثلة في النشاء .

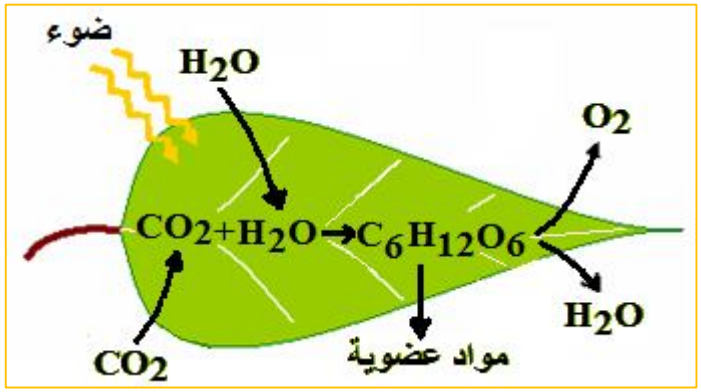
- حلل النتائج التجريبية للوثيقة ـ 3 ـ .
  - في وجود الضوء تتزايد كمية الأكسجين (O_2) و تتناقص كمية الـ CO_2 .
  - في غياب الضوء تتناقص كمية الأكسجين (O_2) و تتزايد كمية الـ CO_2 .
- ما هي الظواهر التي تحدث في وجود الضوء ؟
  - في وجود الضوء تحدث ظاهرة التركيب الضوئي المنتجة للـ (O_2) و ظاهرة التنفس المستهلكة له .
- ما هي الظاهرة التي تحدث في الظلام ؟
  - في الظلام تحدث ظاهرة التنفس فقط المستهلكة للـ (O_2) .
- كيف تفسر النتائج المحصل عليها في وجود الضوء ؟
  - في وجود الضوء و خلال عملية التركيب الضوئي ، يطرح النبات الأخضر غاز الأكسجين الضروري لحدوث عملية التنفس ، حيث تكون شدة التركيب الضوئي أكبر من شدة التنفس بحوالي 4 مرات .
- فيما تتمثل مظاهر التركيب الضوئي ؟
  - تتمثل مظاهر التركيب الضوئي في امتصاص الـ CO_2 ، انطلاق الأكسجين (O_2) و تركيب المادة العضوية المتمثلة في النشاء .

- اعتمادا على نتائج التجارب السابقة و معارفك و باستغلال المعادلة الإجمالية التالية لتركيب النشاء :

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} \underset{\text{غلوكوز}}{C_6H_{12}O_6} + 6H_2O + 6O_2$$

$$n(C_6H_{12}O_6) \xrightarrow{\text{أنزيمات}} \underset{\text{نشاء}}{(C_6H_{10}O_5)n} + n\text{-}1(H_2O)$$

- استخرج مظاهر و شروط عملية التركيب الضوئي و مقرها .
  - ❖ مظاهر عملية التركيب الضوئي :
    - تتمثل مظاهر التركيب الضوئي في امتصاص الـ CO_2 ، انطلاق الأكسجين (O_2) و تركيب المادة العضوية المتمثلة في النشاء .
  - ❖ شروط عملية التركيب الضوئي :
    - تتمثل شروط حدوث عملية التركيب الضوئي في : الضوء ، اليخضور، الـ H_2O ، و غاز الـ CO_2 .
  - ❖ مقرعملية التركيب الضوئي :
    - يتم تركيب النشاء في الصانعة الخضراء .
- أنجز مخططا يلخص مجموع مظاهر عملية التركيب الضوئي و شروطه .



المجال التعلمي II : التحولات الطاقوية .
الوحدة الأولى : آليات تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة .
الحصة التعلمية 2: مقر عملية التركيب الضوئي" ما فوق البنية الخلوية للصانعات الخضراء"

أ – وضعية الانطلاق :

أمكن التوصل في النشاط السابق إلى أن تركيب النشاء يتم في الصانعة الخضراء ، حيث تحدث جميع التفاعلات الكيموحيوية للتركيب الضوئي .

ب - الإشكاليات :

- كيف تظهر الصانعة الخضراء بالمهر الإلكتروني ؟
- و ما تركيبها الكيميائي ؟
- و كيف تتوضع مكوناتها ؟

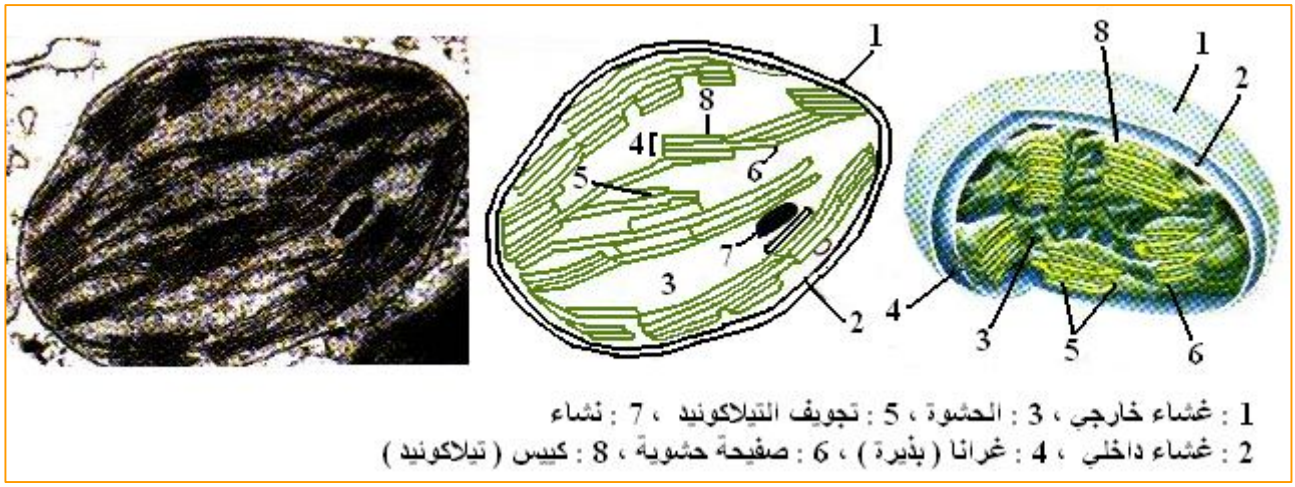
ج – الفرضيات :

- تظهر على شكل أقراص ضمن الخلية النباتية .
- تتركب من أقراص مجوفة محاطة بغشاء .
- تتوضع الأقراص فوق بعضها البعض .

د – التقصي :

1 – بنية الصانعة الخضراء:

تمثل الوثيقة – 1 – ما فوق بنية الصانعة الخضراء كما يظهرها المجهر الإلكتروني مع رسم تفسيري و مجسم للصانعة الخضراء .



الوثيقة – 1 –

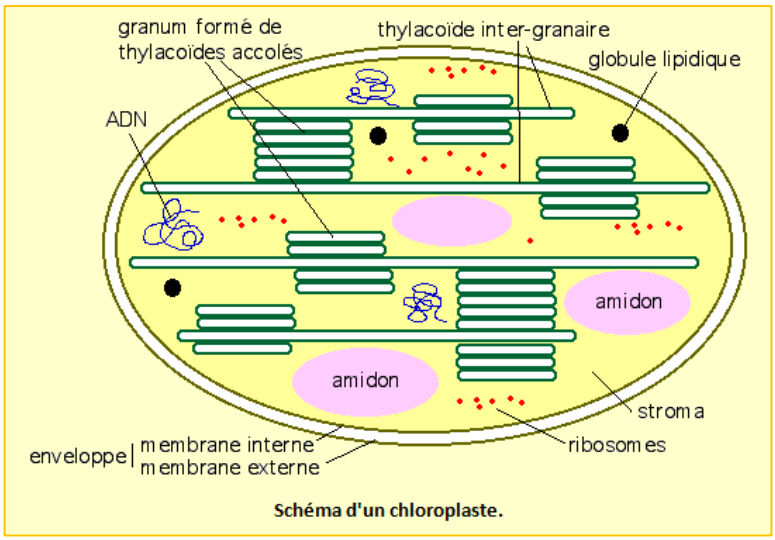
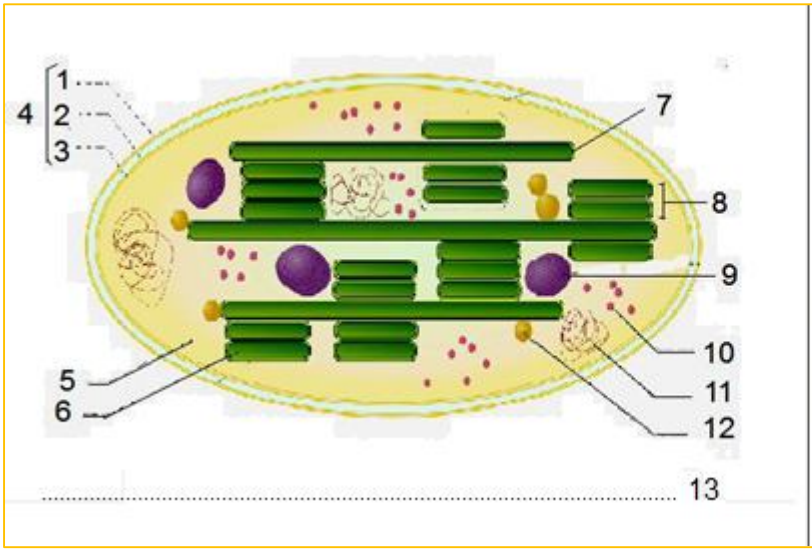
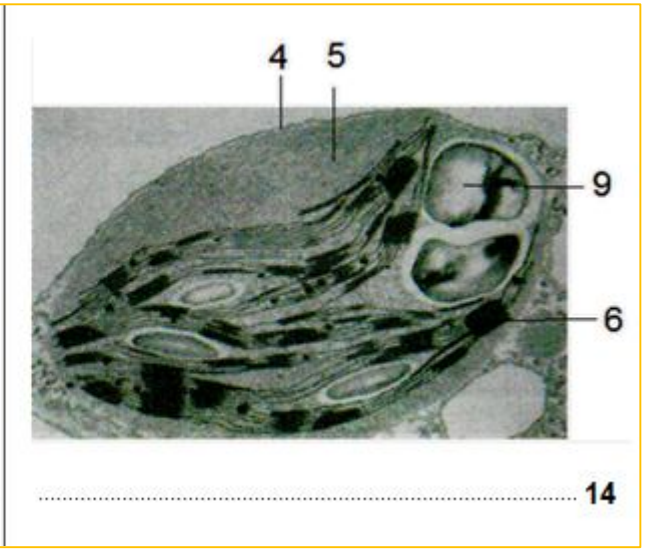


Schéma d'un chloroplaste.





- **تعرف على البيانات المرقمة :**

1 : غشاء خارجي ، 2 : فراغ بين غشائي ، 3 : غشاء داخلي ، 4 : غلاف الصانعة
5 : حشوة / ستروما / مادة أساسية ، 6 : تيلاكوئيد (كييس) ، 7 : صفيحة حشوية
8 : بذيرة (حبيبة غرانا) ، 9 : حبيبة نشوية ، 10 : ريبوزوم
11 : ADN بلاستيدي ، 12 : قطرة دهنية ، 13 : رسم تخطيطي تفسيري لبنية الصانعة الخضراء
14 : رسم تخطيطي تفسيري لما فوق بنية الصانعة الخضراء .

- **اعتمادا على معطيات الوثيقة ـ 1 ـ قدم وصفا دقيقا لمظهر الصانعة .**

- الصانعات الخضراء عضيات خلوية متواجدة في خلايا النباتات الخضراء و تحتوي على صباغ أخضر عبارة عن اليخضور ، و على مستواها تحدث عملية التركيب الضوئي .
- تحاط الصانعة الخضراء بغلاف مكون من غشاءين خارجي و داخلي يفصل بينهما حيز هو الفراغ بين غشائي .
- يحيط الغشاء الداخلي بتجويف داخلي يدعى الحشوة (المادة الأساسية أو الستروما stroma) .
- يوجد بالحشوة حبيبات نشوية ، قطرات دهنية ، ريبوزومات و ADN بلاستيدي .
- تحتوي الصانعة الخضراء على تراكيب غشائية تتمثل في التيلاكوئيدات (الكييسات) و الصفائح الحشوية .
- تترتب التيلاكوئيدات فوق بعضها البعض مشكلة تراكيب تعرف بحبيبات الغرانا (البذيرات) .
- تتوضع البذيرات بين الصفائح الحشوية.

- **للصانعة الخضراء بنية حجيرية ،علل ذلك معتمدا على وصفك السابق .**

- لأن الصانعة الخضراء مقسمة إلى حجيرات مفصولة بأغشية ، تتمثل في :
  - ❖ الفراغ بين الغشاءين .
  - ❖ الحشوة .
  - ❖ تجاويف التيلاكوئيدات .

- **ما هي مكونات اليخضور الخام ؟**

- يتركب اليخضور الخام من الأصبغة التالية :
- أصبغة يخضورية : تتمثل في اليخضور (أ) و اليخضور (ب) .
- أصبغة شبه جزرينية (الكاروتينيات) : تتمثل في الكاروتين (الجزرين) carotenes و اليصفور (الكزانتوفيل) xanthophylles.

2 – التركيب الكيموحيوي للصانعة الخضراء :

سمح فصل مكونات الصانعة الخضراء و إجراء التحليل الكيميائي لكل من الحشوة و التيلاكوئيد من الحصول على النتائج الموضحة في الجدول الموالي :

جزء الصانعة الخضراء	أهم المكونات الكيميائية
أغشية التيلاكوئيد	- أصبغة يخضورية (اليخضور " أ " و اليخضور " ب ") . - أصبغة شبه الجزرين (الجزرين " الكاروتين "، اليصفور " الكزانتوفيل"). - نواقل من الأنظمة الضوئية (PS_{II} و PS_{I}) . - نواقل الإلكترونات . - أنزيم الـ ATP synthase سنتاز (الكرية المذنبة) . -
الحشوة (الستروما)	- مواد أيضية (هدم + بناء) لتركيب الجزيئات العضوية . - مرافقات إنزيمية ($NADP^+$ و $NADPH,H^+$) . - الـ ATP ، الـ ADP و الـ Pi . - أنزيمات متنوعة أهمها Rubisco (ريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز / أكسيجيناز) (ribulose-1,5-diphosphate carboxylase/oxygénase)

- قارن بين مكونات كل من الحشوة و أغشية التلاكوئيد .

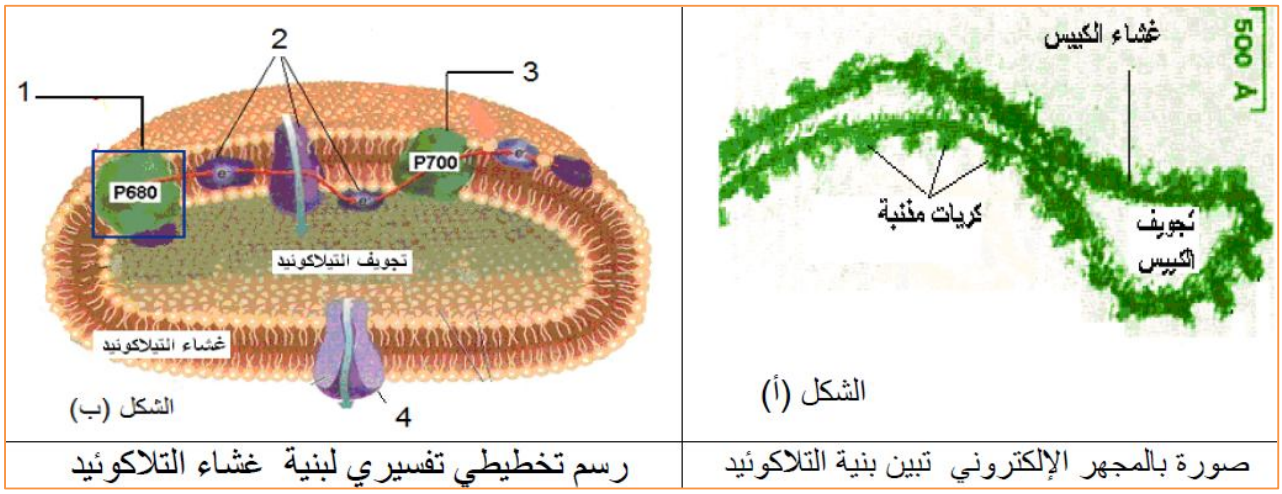
- يختلف التركيب الكيميائي لكل من الحشوة و أغشية التيلاكوئيد .

- ماذا تستنتج ؟

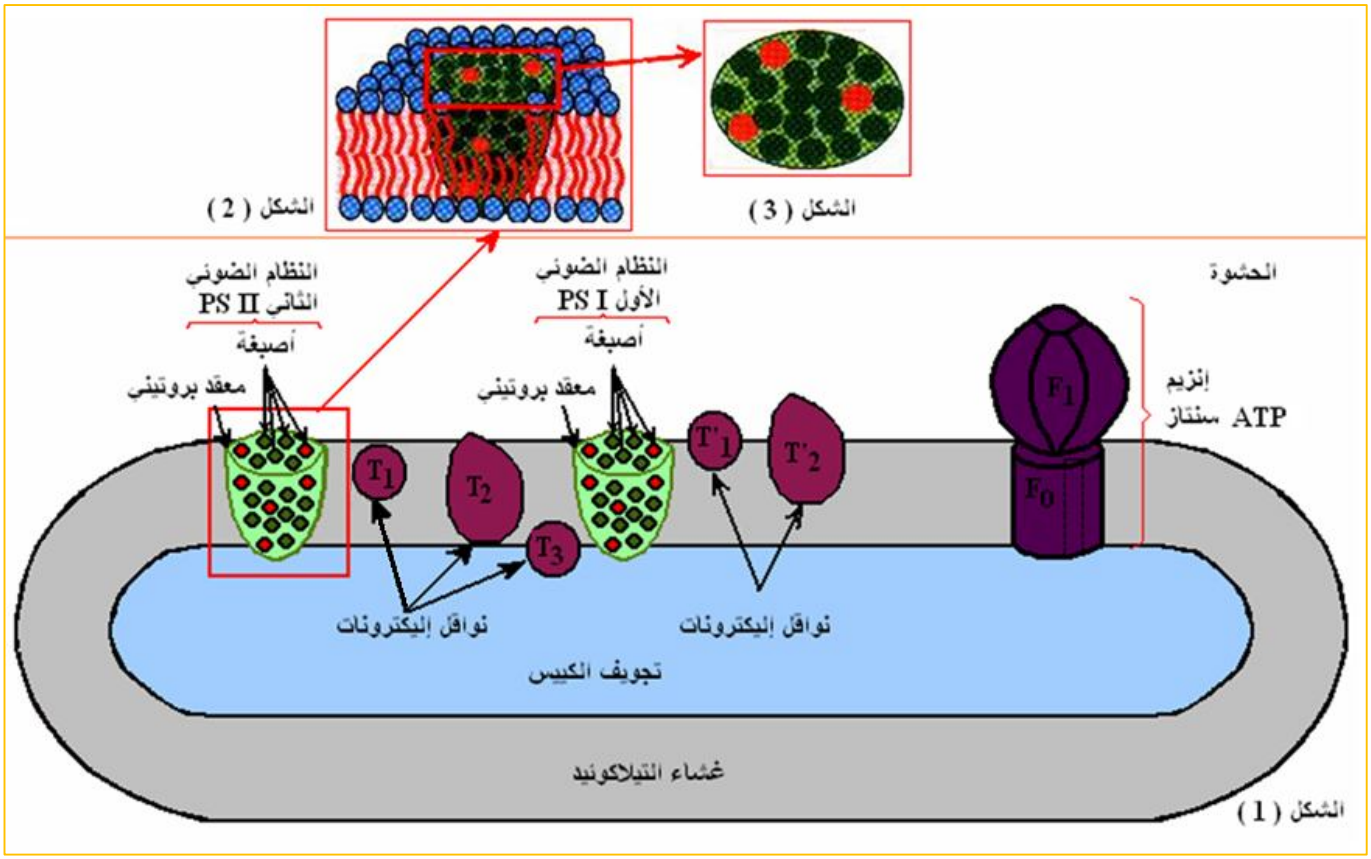
- الاختلاف في التركيب الكيميائي يدل على اختلاف الدور الذي يقوم به كل منهما.

3 – ما فوق بنية التيلاكوئيد (تموضع مكونات التيلاكوئيد):

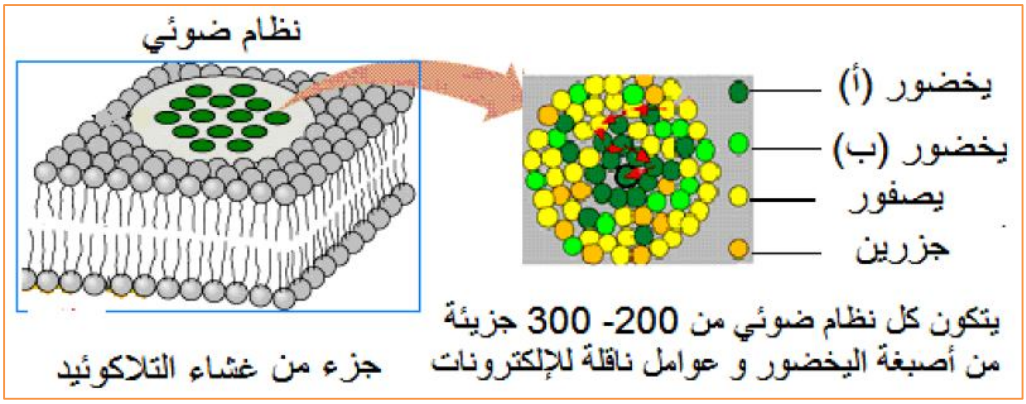
يمثل الشكل (أ) من الوثيقة ـ 2 ـ رسما تخطيطيا لتموضع مكونات غشاء التيلاكوئيد في أحد الكيبسات بينما يمثل الشكل (ب) من نفس الوثيقة رسما تخطيطيا لمقطع من جزء من غشاء التيلاكوئيد أما الشكل (3) فيمثل رسما تخطيطيا مبسطا لنظام ضوئي .



صورة بالمجهر الإلكتروني تبين بنية التلاكوئيد | رسم تخطيطي تفسيري لبنية غشاء التلاكوئيد



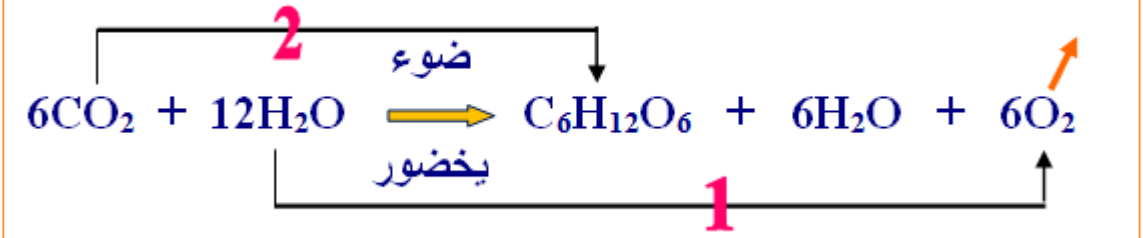
الوثيقة ـ 2 ـ



- اعتمادا على رسومات الشكلين (1) و (2) ، قدم وصفا لكيفية توضع مكونات غشاء التيلاكوئيد .
- يوجد بغشاء التيلاكوئيد النظام الضوئي الثاني (PS_{II} المكون من أصبغة و معقد بروتيني) ، ثم نواقل للإلكترونات (T_1 ، T_2 و T_3) ، ثم النظام الضوئي الأول (PS_I المكون بدوره من أصبغة و معقد بروتيني) ثم نواقل للإلكترونات (T'_1 و T'_2) ، ثم أنزيم الـ ATP synthase سنتاز (الكرية المذنبة) .
- إن توضع جزيئات اليخضور يكون على شكل أنظمة ضوئية ، حدد بنية النظام الضوئي بالاستعانة بأشكال الوثيقة – 2 – .
- النظام الضوئي (PS =Photosystème) عبارة عن معقدات بروتينية كبيرة تحتوي على عدد كبير من الصبغات (أصبغة يخضورية و أصبغة شبه جزرينية) موزعة بطريقة منتظمة داخل المعقد البروتيني .

4 – طبيعة التفاعلات الكيميائية للتركيب الضوئي :

إن التفاعلات الكيميائية للتركيب الضوئي يمكن تلخيصها في المعادلة الإجمالية التالية :



ملاحظة :

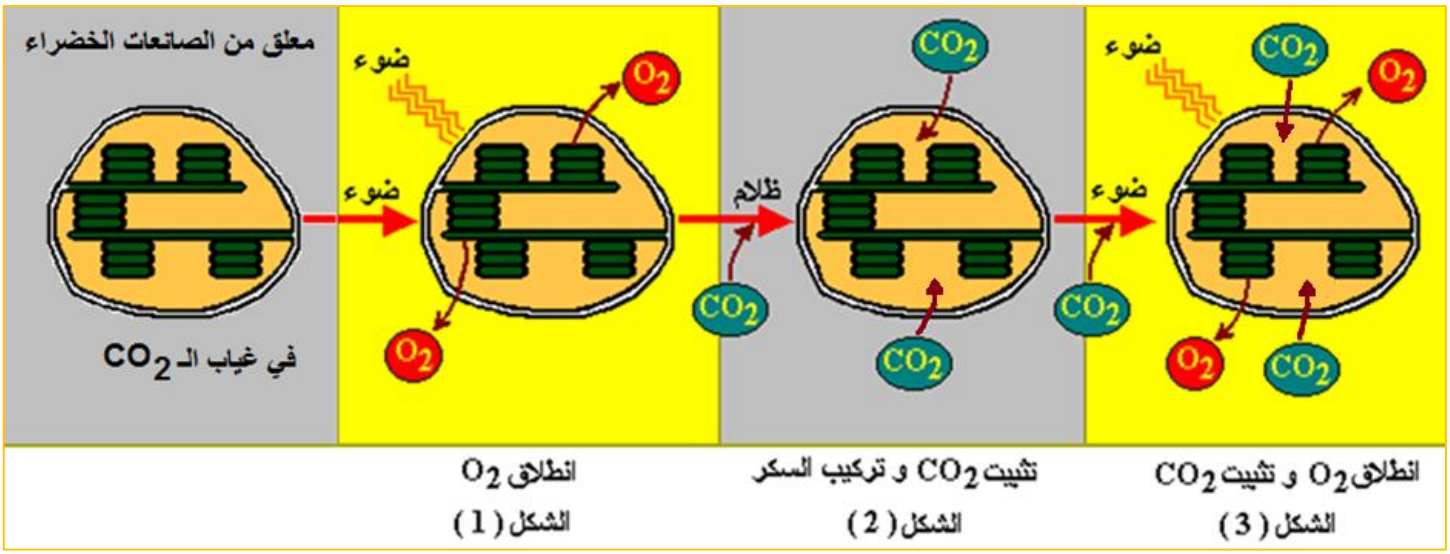
$$H_2 \longrightarrow 2H^+ + 2e^-$$

$$H_2O \longrightarrow \tfrac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^-$$

- استخلص من المعادلة نوع التفاعل الذي حدث في (1) و (2) .
- التفاعل (1) : هو تفاعل أكسدة .
- $12H_2O \longrightarrow 6O_2 + 24H^+ + 24e^-$
- التفاعل (2) : هو تفاعل إرجاع .
- $6CO_2 + 24H^+ + 24e^- \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6H_2O$
- استنتج من المعادلة إذن طبيعة تفاعلات ظاهرة التركيب الضوئي .
- تفاعلات ظاهرة التركيب الضوئي هي تفاعلات أكسدة و إرجاع (أكسدة إرجاعية).
- إذا علمت أن التفاعل (1) فقط يتطلب ضوء و يخضور ، و لا يتطلب التفاعل (2) ذلك ، حدد إذا البنيات المتدخلة في سيرورة التركيب الضوئي .
- تتم تفاعلات الأكسدة في غشاء التيلاكوئيد ، لأنها تتطلب لحدوثها وجود اليخضور و الضوء.
- تتم تفاعلات الإرجاع في الحشوة ، لأنها لا تتطلب لحدوثها وجود اليخضور و الضوء.
- إن وظيفة أي عضية مرتبطة أساسا بتركيبها الكيميائي،هل ينطبق هذا على كل من التيلاكوئيد و الحشوة؟
- نعم ينطبق هذا .
- علل ذلك معتمدا على التركيب الكيميائي لكل منهما .
- لأن اختلاف دور كل من التيلاكوئيد و الحشوة يعود إلى اختلاف تركيبهما الكيميائي .

5 – مراحل عملية التركيب الضوئي:

لتوضيح مراحل حدوث عملية التركيب الضوئي تم تعريض معلق للصانعات الخضراء للضوء في شروط تجريبية مناسبة في غياب الـ CO_2 ، فلوحظ انطلاق الـ O_2 لفترة قصيرة ثم يتوقف .
عند وضع المعلق السابق في الظلام و إمداده بـ CO_2 لوحظ تثبيت لـ CO_2 و تركيب للسكر لفترة قصيرة .
عند وضع المعلق السابق في الضوء و الـ CO_2 يلاحظ انطلاق الـ O_2 و تثبيت CO_2 بصورة مستمرة .
مراحل التجربة موضحة في أشكال الوثيقة ـ 3 ـ :



الوثيقة ـ 3 ـ

- حدد شروط انطلاق الـ O_2 في الشكل (1) .
  - التيلاكوئيد (اليخضور) و الضوء.
- يمثل الشكلان (1) و (2) من التجربة مرحلتين متتاليتين من عمليتي التركيب الضوئي نسميهما مرحلة (أ) و مرحلة (ب) ، ما هي شروط حدوث كل مرحلة ؟
  - المرحلة (أ) : تتطلب الضوء و اليخضور و تؤدي إلى انطلاق الـ O_2 من أغشية التيلاكوئيد .
  - المرحلة (ب) : تتطلب توفر الـ CO_2 و لا تتطلب الضوء و لا اليخضور و يتم خلالها إرجاع الـ CO_2 و تركيب جزيئات عضوية و تحدث في الحشوة .
- اقترح تسمية لكل مرحلة اعتمادا على شروط حدوثها .
  - المرحلة (أ) : تعرف بالمرحلة الكيمو ضوئية .
  - المرحلة (ب) : تعرف بالمرحلة الكيموحيوية .
- هل يمكن للمرحلة (ب) أن تتم في الضوء ؟
  - لا تحتاج إلى الضوء و مع ذلك يمكن أن تتم في وجوده.
- علل إجابتك بالاستعانة بالشكلين (2) و (3) .
  - لأن امتصاص غاز الـ CO_2 يتم في غياب الضوء و في وجوده .

المجال التعلمي II : التحولات الطاقوية .
الوحدة الأولى : آليات تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة .
الحصة التعلمية 3: تفاعلات المرحلة الكيموضوئية .

أ ــ وضعية الانطلاق :

تبين من النشاط السابق أن عملية التركيب الضوئي تتم في مرحلتين : مرحلة كيموضوئية و مرحلة كيموحيوية . إن اختلاف البنية بين التيلاكوئيد و الحشوة سمح بالتوصل إلى وجود اختلاف في وظيفتيهما فالتفاعلات التي تتم على مستوى التيلاكوئيد تحتاج إلى الضوء و تكون مصحوبة بانطلاق الـ O_2 و تدعى بتفاعلات المرحلة الكيموضوئية .

ب ـ الإشكاليات :

- ما هي شروط عمل التيلاكوئيد ؟
- و ما هي آلية حدوث هذه المرحلة و التفاعلات التي تحدث فيها ؟

ج ــ الفرضيات :

- الضوء ، اليخضور .
- التحلل الضوئي للماء ، إرجاع النواقل و تشكل الـ ATP .

د ــ التقصي :

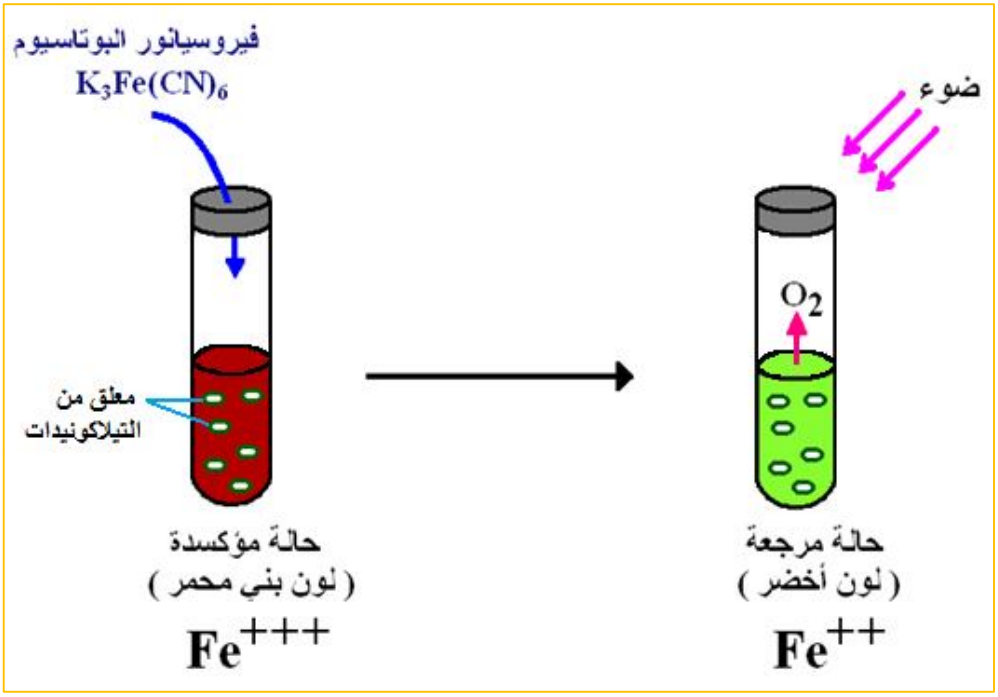
1 ــ شروط عمل التيلاكوئيد :

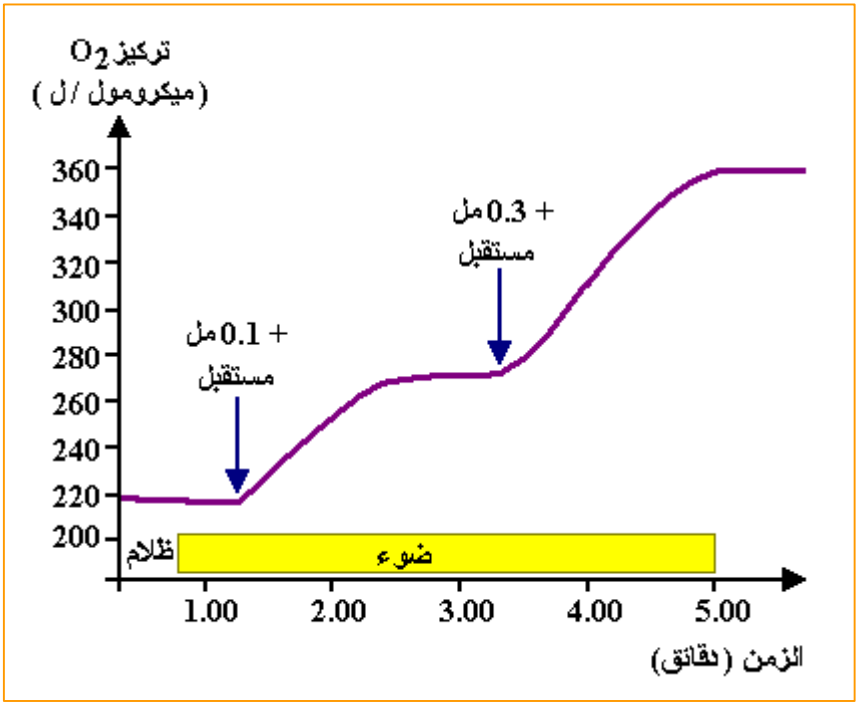
يحتوي التيلاكوئيد على أصبغة اليخضور و يحتاج إلى توفر شروط أساسية ، و ينتج من عمل التيلاكوئيد انطلاق الـ O_2 . لتحديد شروط عمل التيلاكوئيد نستعرض التجارب التالية :

أ ـ تجربة 1 : (شروط انطلاق الأكسجين) :

تجربة هيل:

تم تحضير معلق من التيلاكوئيدات المعزولة في شروط تجريبية مختلفة (ضوء و ظلام) ، حيث أضيف للوسط الكاشف فيروسيانور البوتاسيوم $K_3Fe(CN)_6$ بتركيز (0.1 مل) ثم (0.3 مل) الذي يقوم بدور مستقبل اصطناعي للإلكترونات و ذلك في فترة الإضاءة ، لوحظ بعد حقن فيروسيانور البوتاسيوم تغير لون محلول الوسط من بني محمر (حالة مؤكسدة) إلى أخضر (حالة مرجعة) مع انطلاق الأكسجين .
نتائج التجارب المدعمة بالحاسوب توضحها الوثيقة ـ 1 ـ .





الوثيقة – 1 –

- **حلل منحنى الوثيقة – 1 – مع توضيح تأثير كمية فيروسيانور البوتاسيوم.**

- قبل إضافة المستقبل و في وجود الضوء أو في غيابه تكون كمية الأكسجين ثابتة دلالة على عدم انطلاقه.
- بعد إضافة المستقبل و في وجود الضوء ترتفع كمية الأكسجين في الوسط دلالة على انطلاقه .
- كلما زادت كمية المستقبل زادت كمية الأكسجين المنطلقة .

- **حدد نوع تفاعل المستقبل في هذه التجربة مع تعليل الإجابة .**

- قام المستقبل باستقبال الإلكترونات ، أي أنه حدث تفاعل إرجاع للمستقبل ، حيث تغير لونه من البني المحمر إلى الأخضر .
-

$$Fe^{3+} + e^- \longrightarrow Fe^{2+}$$

مؤكسد — إرجاع — مرجع

بني محمر — أخضر

- أما انطلاق الأكسجين خلال المرحلة الكيموضوئية فهو تفاعل أكسدة أدى إلى تحرر الإلكترونات التي قامت بإرجاع المستقبل .

$$? \longrightarrow O_2 + e^-$$

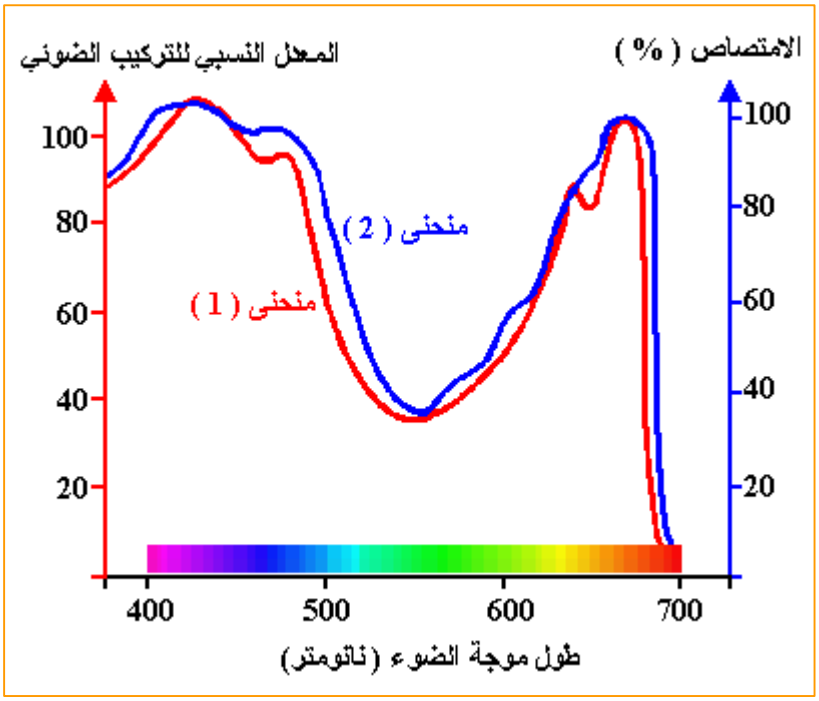
أكسدة

- **استخرج شروط انطلاق الأكسجين في هذه التجربة .**

- الضوء و مستقبل للإلكترونات .

ب – تجربة 2 : (تأثير ألوان الطيف على عمل التيلاكوئيد) :

تبين من التجربة السابقة أن الضوء شرط أساسي من شروط عمل التيلاكوئيد ، فما هو تأثير مختلف مكونات الضوء (ألوان الطيف) على انطلاق الأكسجين ؟
لإظهار دور ألوان الطيف على عمل التيلاكوئيد يتم تعريض معلق للصانعات الخضراء إلى ضوء بأطوال موجات مختلفة من المجال المرئي (من 380 إلى 700 نانومتر) و يتم قياس كمية الأكسجين المنطلق عن طريق إدخال لاقط الأكسجين (O_2) إلى المعلق .
كما يتم في تجربة موازية قياس شدة الامتصاص لمحلول اليخضور الخام في نفس مجال الضوء المستعمل .
نتائج التجربتين موضحة في منحنى الوثيقة ـ 2 ـ .



الوثيقة ـ 2 ـ

- حلل المنحنيين ثم أعط عنوانا لكل منهما.

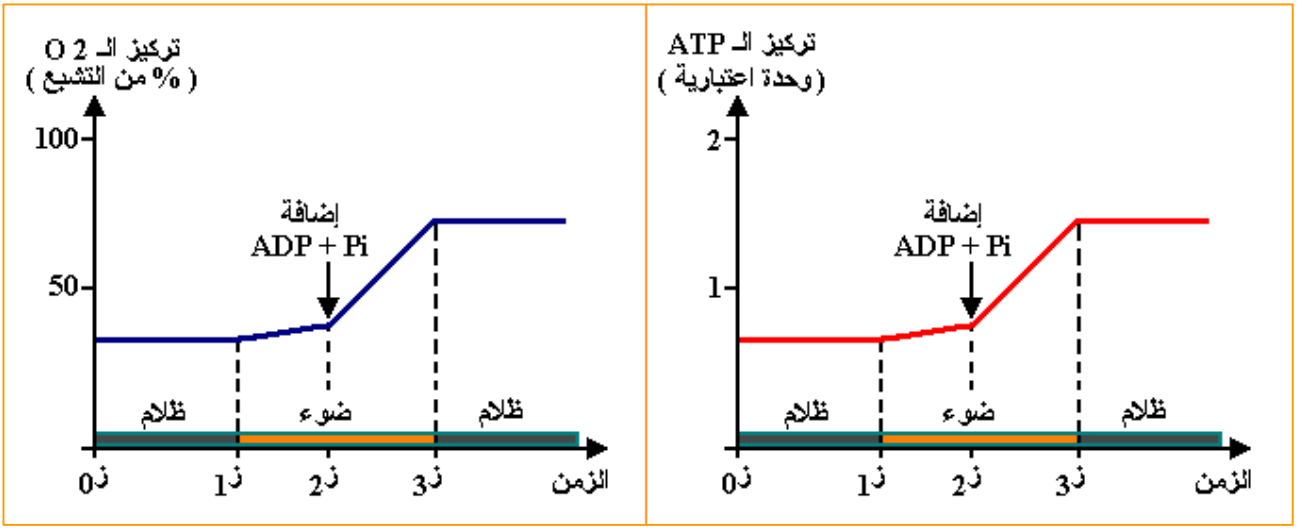
المنحنى الأول : تختلف شدة التركيب الضوئي باختلاف طول الموجة ، حيث تكون شدتها كبيرة في منطقة الإشعاعات الطرفية الموافقة للحمراء و البنفسجية ، بينما تقل شدتها في منطقة الإشعاعات الوسطية الموافقة للبرتقالية و النيلية ثم تقل في الصفراء و الزرقاء و تنعدم عند الإشعاعات الخضراء .
عنوان المنحنى: طيف النشاط (العمل) .

المنحنى الثاني : تختلف شدة امتصاص الضوء باختلاف طول الموجة ، حيث يكون الامتصاص كبيرا في منطقة الإشعاعات الطرفية الموافقة للحمراء و البنفسجية ، بينما يقل الامتصاص في منطقة الإشعاعات الوسطية الموافقة للبرتقالية و النيلية ثم يقل في الصفراء و الزرقاء و ينعدم عند الإشعاعات الخضراء .
عنوان المنحنى: طيف الامتصاص .

- حدد من المنحنى أطوال موجات الضوء الأكثر فعالية .
ـ الإشعاعات الطرفية هي الأكثر فعالية (نجاعة) في عملية التركيب الضوئي .
- قارن بين منحنيي الوثيقة ـ 2 ـ .
ـ هناك تشابه في مظهر المنحنيين إذ يوجد توافق كلي بينهما .
- ماذا تستنتج ؟
ـ الإشعاعات الأكثر امتصاصا من طرف اليخضور هي الأكثر نجاعة (فعالية و تأثيرا) في شدة التركيب الضوئي .

ج – تجربة 3 : (تأثير الـ ADP و الـ Pi على عمل التيلاكوئيد) :

تم قياس تركيز الـ O_2 و الـ ATP في معلق من الصانعات الخضراء في شروط تجريبية مناسبة قبل و بعد حقن مادتي الـ ADP و الـ Pi . نتائج و شروط التجربة موضحة في الوثيقة ـ 3 ـ.



الوثيقة ـ 3 ـ

- قدم تحليلا مقارنا للمنحنيين (1) و (2) من الوثيقة ـ 3 ـ .

- المنحنيان متسايران ، حيث نلاحظ توافق بين تركيز الـ O_2 (طرحه) و الـ ATP (تركيبه) في الوسط .
- في غياب الضوء و قبل إضافة كل من الـ ADP و الـ Pi يبقى تركيز كل من الـ O_2 و الـ ATP ثابتا دلالة على عدم تركيبهما .
- في وجود الضوء و قبل إضافة كل من الـ ADP و الـ Pi يرتفع تركيز كل من الـ O_2 و الـ ATP ارتفاعا طفيفا دلالة على تركيبهما القليل.
- في وجود الضوء و عند إضافة كل من الـ ADP و الـ Pi يرتفع تركيز كل من الـ O_2 و الـ ATP ارتفاعا معتبرا دلالة على تركيبهما الكبير.
- في غياب الضوء و رغم إضافة كل من الـ ADP و الـ Pi يبقى تركيز كل من الـ O_2 و الـ ATP ثابتا دلالة على عدم تركيبهما .

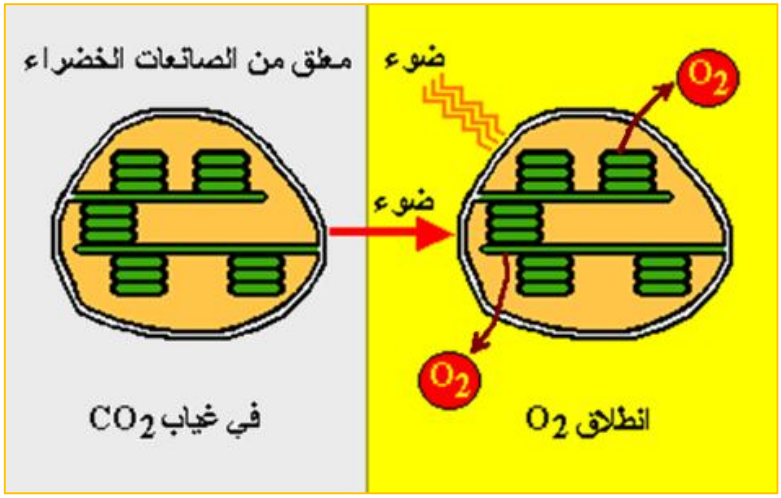
- ماذا تستنتج حول تأثير الـ ADP و الـ Pi على انطلاق الـ O_2 ؟

- الـ ADP و الـ Pi يحفزان عملية التركيب الضوئي (انطلاق الأكسجين) .

د – تجربة 4 : (دور CO_2 في عمل التيلاكوئيد) :

أثناء عمل التيلاكوئيد يتم انطلاق الأكسجين و تركيب الـ ATP ، فهل لـ CO_2 تأثير على عمل التيلاكوئيد ؟ لإظهار ذلك نجري تجربة مشابهة للتجربة الموضحة في الشكل (3) من الوثيقة ـ 2 ـ في النشاط السابق حيث يتم تعريض معلق من الصانعات الخضراء للضوء في غياب الـ CO_2 ، فيلاحظ انطلاق الـ O_2 لفترة قصيرة ثم يتوقف.

النتائج موضحة في الوثيقة ـ 4 ـ .



الوثيقة ـ 4 ـ

- ماذا تستنتج فيما يخص دور CO_2 في عمل التيلاكوئيد (انطلاق الـ O_2) ؟
- إن الـ CO_2 غير ضروري لعمل التيلاكوئيد و ذلك لانطلاق الـ O_2 في غياب الـ CO_2 .
- هل توفر الـ CO_2 شرط ضروري لعمل التيلاكوئيد ؟
- إن الـ CO_2 لا يعتبر شرطا ضروريا لعمل التيلاكوئيد ، و إنما يعتبر شرطا لعمل الحشوة .
- بينما الضوء شرط لحدوث المرحلة (أ) المتمثلة في انطلاق الـ O_2 ، و ليس شرطا لحدوث المرحلة (ب) المتمثلة في تثبيت الـ CO_2 .
- من خلال النتائج المتوصل إليها سابقا ، استخلص شروط عمل التيلاكوئيد (شروط انطلاق الـ O_2) .
- الضوء ، اليخضور ، الـ ADP و الـ Pi و مستقبل للإلكترونات .

معلومات مفيدة :

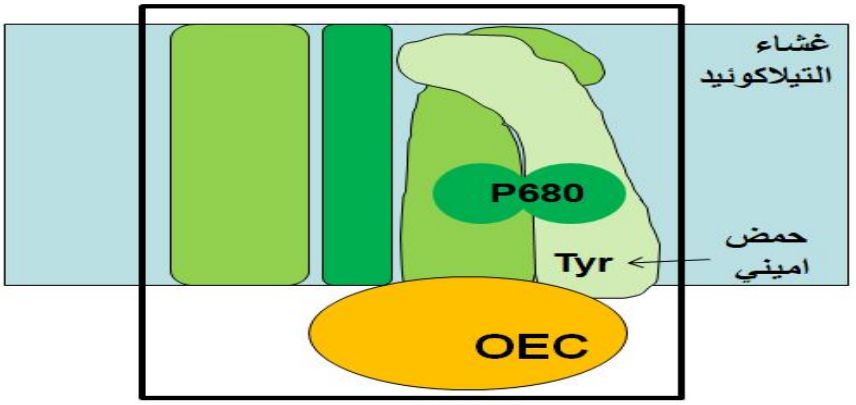
- في الشروط الفيزيولوجية داخل النبات تحتوي الصانعات الخضراء على المركبات الضرورية لحدوث عملية التركيب الضوئي . عند فصل مكونات الخلية للحصول على الصانعات الخضراء أو عضيات أخرى تتم عملية سحق الأنسجة النباتية في محاليل مختلفة قد تؤدي هذه العملية إلى فقد جزء من المركبات المتواجدة داخل الصانعات الخضراء (مثل المستقبل الطبيعي للإلكترونات و غيره) مما قد يتطلب إضافة هذه المواد من الخارج أثناء إجراء التجارب .

مصدر الإلكترونات لإرجاع اليخضور : (تجربة جوليو Juliot 1969)

يتكون النظام الضوئي الثاني (PS_{II}) من لواقط ، مركز تفاعل و معقد أنزيمي لتوليد الأكسجين " OEC" (Oxygen Evolving Complexe) .
و لفهم آلية عمله نجري الدراسة التالية :

الجزء الأول :

إن تحرر جزيئة واحدة من الـ O_2 تتطلب أكسدة جزيئتين من الـ H_2O بوجود الضوء حسب معادلة الوثيقة ــ 1 ــ ، إلاّ أن جزيئة اليخضور " أ " (P_{680}) في المركز التفاعلي للنظام الضوئي لا تحرر إلا إلكترونا واحدا فقط إثر تهيجها بالفوتون الضوئي (كمية من الطاقة) .



رسم تخطيطي بسيط يوضح بنية النظام الضوئي الثاني

$$2H2O \longrightarrow 4H^{+} + 4\,é + O2$$

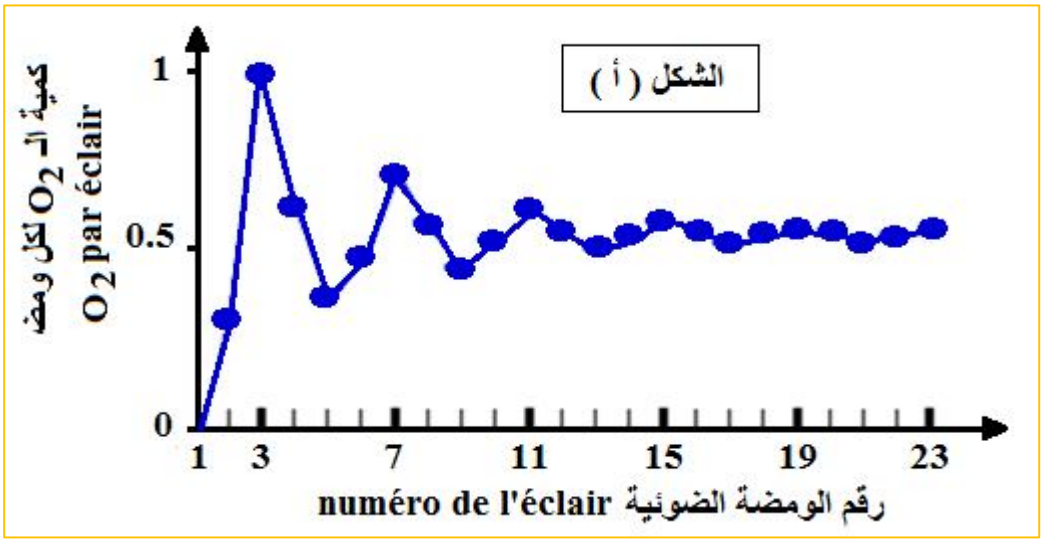
معادلة تحلل الماء

الوثيقة (1)

- وضّح العلاقة بين عمل المركز التفاعلي و انطلاق الـ O_2 .
  - عند وصول طاقة الفوتون الضوئي إلى صبغة المركز التفاعلي P_{680} تتهيج فتفقد إلكترونا محملا بالطاقة مما يحفّز أكسدة الماء من أجل استرجاع الإلكترون المفقود و يرافق ذلك انطلاق الـ O_2.
- ما هي المشكلة العلمية المطروحة من اجل انتاج جزيئة O_2 ؟
  - كيف يتم انتاج جزيئة O_2 رغم انه يرافقها تحرير أربع الكترونات و المركز التفاعلي لا يحرر إلا إلكترونا واحدا إثر تهيج صبغة المركز التفاعلي P_{680} لكل فوتون ضوئي ؟
- اعتمادا على بنية النظام الضوئي اقترح فرضية تفسيرية .
  - يستقبل المعقد OEC الإلكترونات الأربعة الناتجة عن تحلل جزيئتين من الماء ثم يمررها تدريجيا إلى المركز التفاعلي إثر أكسدته حيث يتطلب ذلك 4 فوتونات ضوئية .

الجزء الثاني :

في عام 1969 تمكن العالم "جوليو Joliot " ومساعدوه (Barbieri et Chabaud) من انجاز تجربة على معلق من طحلب أخضر (Alga Chlorella) حيث :
تم تعريض المعلق إلى ومضات ضوئية متقطعة بشدة عالية و لمدة قصيرة جدا من فئة ms100 حيث تمكن الشدة من إضاءة كل الأنظمة الضوئية (حالة التشبع) ، أما المدة فهي قصيرة جدا لذلك فكل نظام ضوئي لا يحفّز إلا مرة واحدة و بفوتون ضوئي واحد .
قياس كمية الـ O_2 المحررة بعد كل ومضة انطلاقا من فترة ظلام بواسطة إلكترود سريع الالتقاط ممثلة في الشكل (أ) من الوثيقة التالية :



- حلّل منحنى الشكل (أ) .
- تمثل الوثيقة كمية الـ O_2 المحررة بالنسبة لكل ومضة ضوئية .
- بعد الظلام و عند الومضة رقم 1 لا يتم تحرير الـ O_2 .
- يتم إنتاج كمية قليلة من الـ O_2 عند الومضة الثانية ، ثم تبلغ الكمية ذروتها (الشوكة) عند الومضة الثالثة .
- يتم إنتاج الـ O_2 دوريا و تتكرر الذروات بعد كل 4 ومضات مع تناقص شدة الظاهرة بمرور الوقت .
- ما ذا تستنتج ؟
- تحرير الـ O_2 يتطلب 4 ومضات ، أي كل نظام ضوئي يحرر جزيئة O_2 مقابل 4 فوتونات ضوئية .

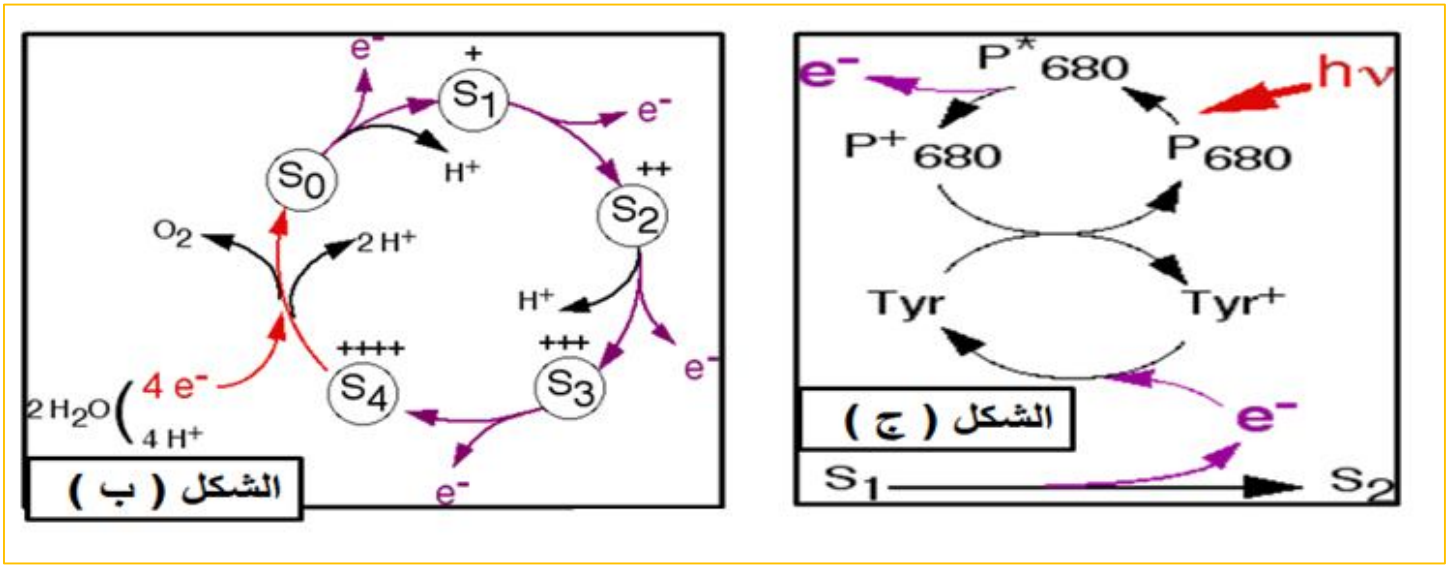
الجزء الثالث :

تجربة جوليو "Joliot " ومساعدوه حفّزت Bassel Kok ومساعديه ، في عام 1970 ، على البحث من أجل تفسير نتائج " Joliot " ، و بالتالي طوروا نموذجا يدعى بـ "نموذج كوك" أو بعبارة أخرى " حلقة أكسدة الماء " التي يتدخل فيها المعقد (OEC) المحفز لإنتاج الـ O_2 الموجود على مستوى PSII ، علما أن :

المعقد (OEC) يمر بـ 5 مراحل سميت بالحالات S و يرمز لها بـ Sn ، حيث $n = 0 \longrightarrow 4$ هي الحالات S غير مستقرة .

في الظلام يكون هذا المعقد في حالة S_0 أو S_1 ، حيث الحالة أكثر استقرارا هي S_1 باعتبارها أكثر أكسدة من S_0 ، بمعنى أن S_1 فقد 1 إلكترون مقارنة بـ S_0 .

نتائج التجربة ممثلة في الشكلين (ب) و (ج) من الوثيقة التالية:



- باستغلال الشكلين (ب و ج) و المعلومات السابقة فسر نتائج تجربة " جوليو و مساعدوه " ، و تأكد من صحة فرضيتك ، مبرزا كم يحتاج الـ PS_{II} من فوتون ضوئي من أجل طرح جزيئة واحدة من الـ O_2 مدعما إجابتك برسم حلقة " كوك " .

➢ استغلال الشكل (ب) :

شرح الحالات التي يمر بها المعقد OEC الذي يرمز له بـ S : توجد 5 حالات للمعقد S :

- الحالة S_4 يكون أكثر أكسدة حيث يحمل 4 شحن موجبة فيكتسب دفعة واحدة 4 الكترونات ناتجة عن أكسدة جزيئتين من الماء ، كما يكتسب بروتونين ($2H^+$) فقط ، ليتحول الى الحالة S_0 ، و يرافق ذلك إنتاج جزيئة واحدة من الـ O_2 .
- ثم يتحول من الحالة S_0 إلى الحالة S_1 بتحرير إلكترون واحد و بروتون واحد .
- ثم يتحول من الحالة S_1 إلى الحالة S_2 بتحرير إلكترون واحد فقط .
- يتحول من الحالة S_2 إلى الحالة S_3 بتحرير إلكترون واحد و بروتون واحد .
- يتحول من الحالة S_3 إلى الحالة S_4 بتحرير إلكترون واحد فقط ، و بذلك يسترجع حالته الأكثر أكسدة ليعيد الكرة من جديد .

➢ باستغلال الشكل (ج) :

- يتهيج المركز التفاعلي P_{680} عند اقتناصه لطاقة الفوتون الضوئي مما يتسبب في أكسدته فاقدا إلكترونا محملا بالطاقة .
- يرجع الـ P_{680}^+ باكتسابه إلكترونا من أكسدة التيروزين (Tyr) .
- يرجع التيروزين (Tyr) المؤكسد باكتسابه لإلكترون الناتج عن أكسدة S_1 الذي ينتقل إلى الحالة S_2 .

- **تفسير نتائج تجربة " جوليو " :**

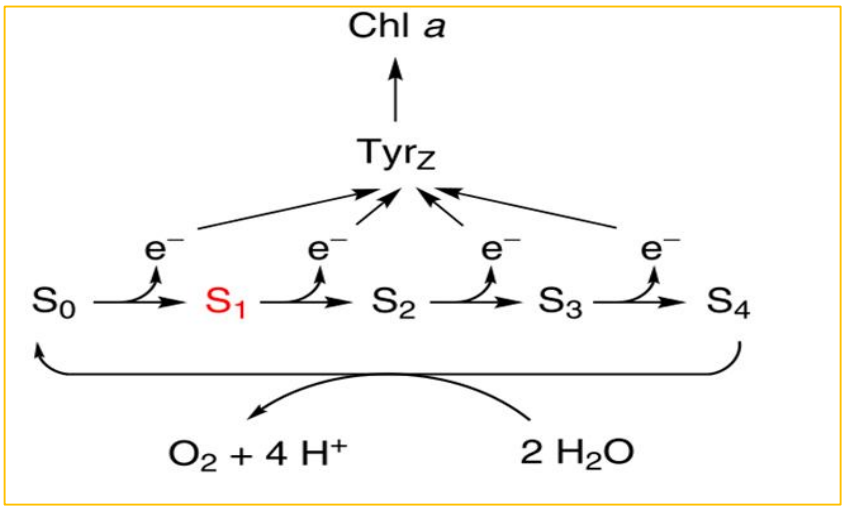
- **حسب المعلومات المقدمة :**

- في الظلام يكون هذا المعقد في حالة S_0 أو S_1 ، حيث الحالة أكثر استقرارا هي الحالة S_1 باعتبارها أكثر أكسدة من الحالة S_0 ، بمعنى أن S_1 فقد إلكترونا واحدا مقارنة بـ S_0 .
- بعد الومضة الأولى ، يتحول P_{680} إلى P_{680}^+ ، و حسب كوك فإن عودة P_{680}^+ إلى P_{680} ينتج عنه انتقال المعقد من S_1 إلى S_2 .
- بعد الومضة الثانية ينتقل المعقد من S_2 إلى S_3 و ذلك بزيادة تأين P_{680} .
- بعد الومضة الثالثة يتحول المعقد من S_3 إلى S_4 .
- عندما يكون المعقد في الحالة S_4 يكون قد حرر 4 إلكترونات ، و باستطاعته تفكيك جزيئتي ماء باقتناص 4 إلكترونات ($4e^-$) من أكسدة جزيئتي H_2O ، مع تحرر جزيئة O_2 فيعود إلى حالته S_0 غير المستقرة.
- لذلك تتكرر الذروة بعد كل 4 ومضات حيث يتمكن المعقد S من استرجاع الحالة الأكثر أكسدة .

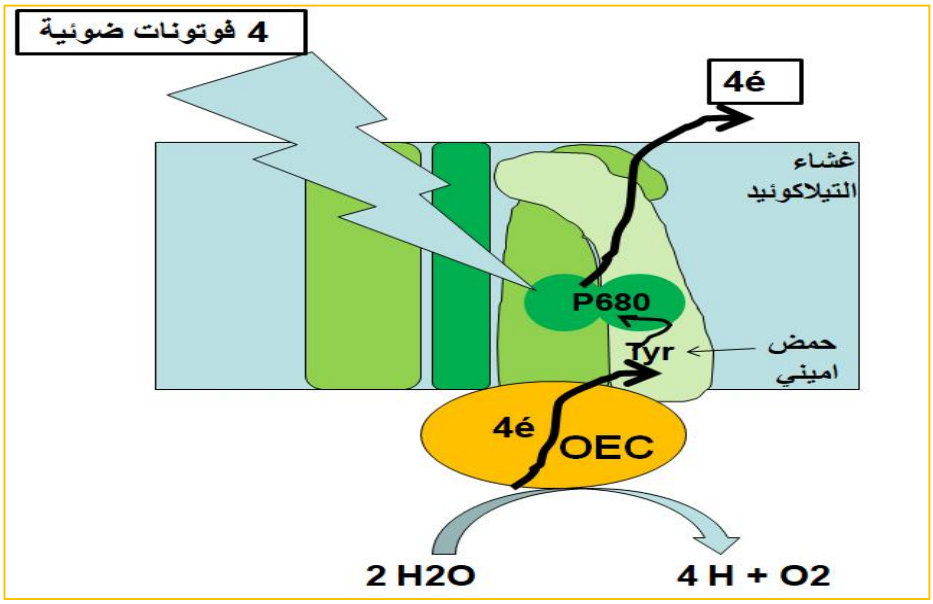
- **التأكد من صحة الفرضية :**

- بينت تجارب " جوليو " و " كوك" أن إنتاج جزيئة O_2 يتطلب تدخل المعقد OEC الذي يكتسب الإلكترونات دفعة واحدة و يمررها تدريجيا إلى المركز التفاعلي بتحوله من حالة أقل أكسدة إلى أخرى أكثر أكسدة ، و يتطلب ذلك تهيج و أكسدة 4 جزيئات من الـ P_{680} بفضل 4 فوتونات ضوئية ، و منه الفرضية المقترحة صحيحة .

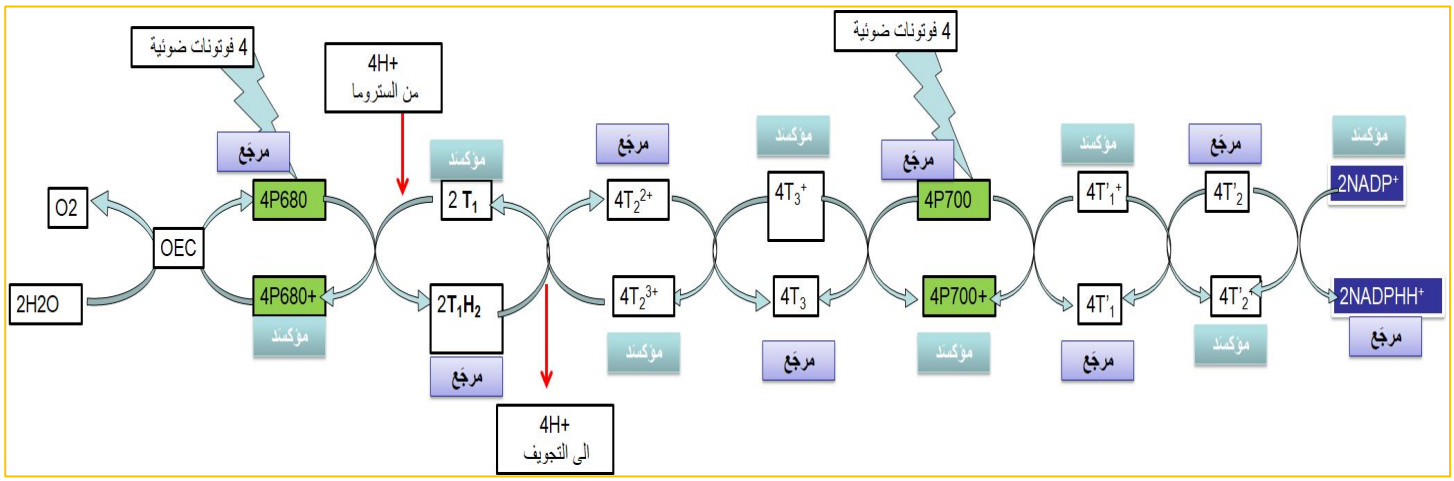
- **حلقة كوك :**



- **مستعينا بالشكلين (أ) و (ب)مثّل برسم تخطيطي بسيط آلية عمل الـ PS_{II} في وجود الضوء .**



- مثل جميع تفاعلات الأكسدة الأرجاعية التي تحدث على مستوى غشاء التيلاكوئيد ، مبرزا الحالة المؤكسدة و الحالة المرجعة لكل مركب.



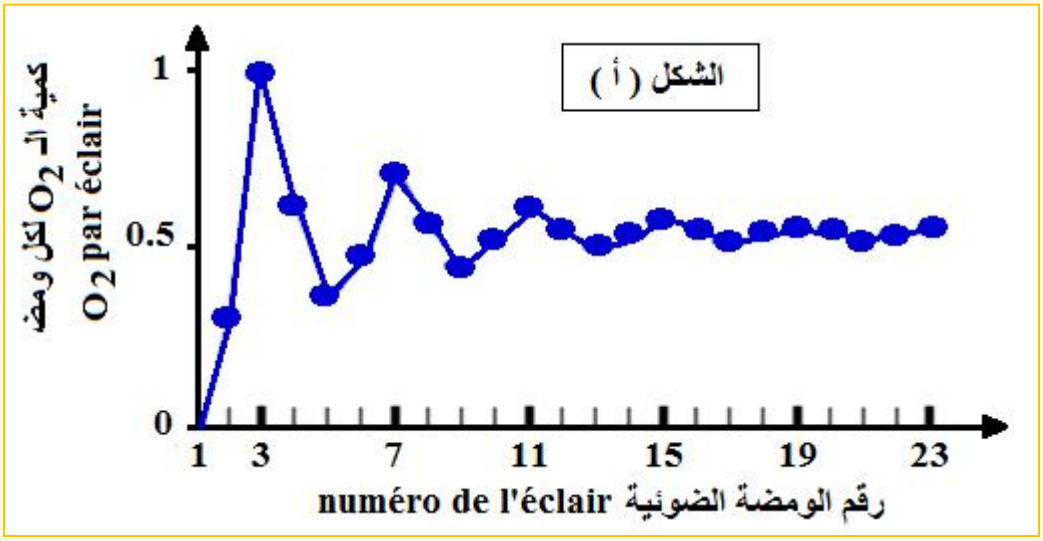
تجربة Joliot et Kok :

أنجزت هذه التجربة من قبل فريق من الباحثين:
(Joliot et al 1969, 1971) , (Joliot et Kok 1975) , (Kok et al 1970)
(Joliot , Barbieri et Chabaud 1969)

الطريقة التجريبية :
عرض معلق من طحالب خضراء إلى إضاءة متقطعة (النور الوامض)عالية الشدة ولفترات قصيرة.
استعمل إلكترود سريع التسجيل لغاز ثنائي الأكسجين (O_2) المنطلق.

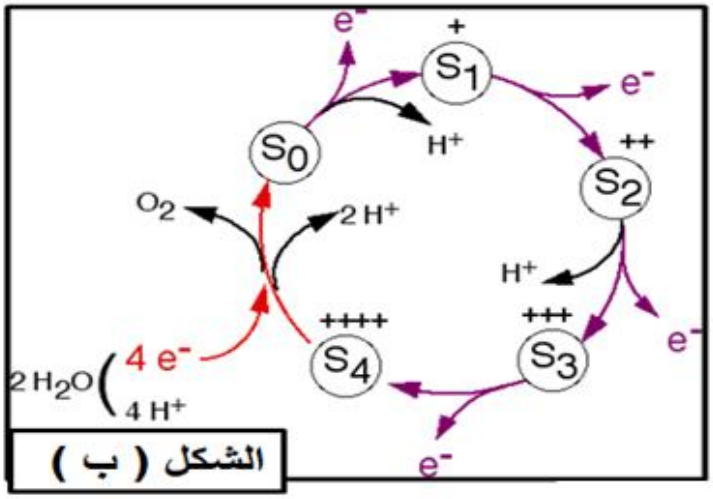
الشروط التجريبية :
تمكن شدة الإضاءة من إضاءة كل الأنظمة الضوئية PS_{II} (المركز التفاعلي) في آن واحد(حالة التشبع).
مدة الإضاءة (الومضة) قصيرة جدا من رتبة 100ms ، لذلك فكل نظام ضوئي لا يحفز إلا مرة واحدة و بفوتون ضوئي واحد.

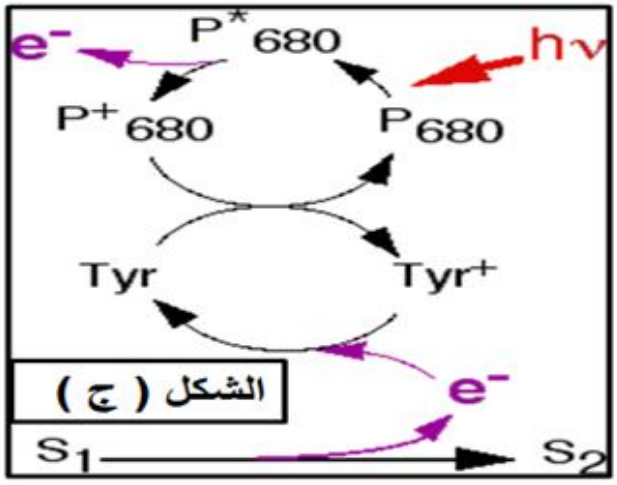
النتائج الجريبية : ممثلة بالمحنى البياني للوثيقة التالية :



- **حلل المحنى البياني للوثيقة ـ 3 ـ :**
  - إنتاج دوري ثنائي الأكسجين (O_2)، مع ذروة (شوكة) بعد الومضة الثالثة.
  - تتالى الذروات بعد كل أربع ومضات مع تناقص شدة الظاهرة مع مرور الزمن.
- **فسر النتائج:**
  - يؤكسد المعقد الإنزيمي OEC (الذي هو من مكونات الـ PS_{II}) جزيئتين من الماء ($2H_2O$) مصدر أربع إلكترونات ($4\grave{e}$) .
  - يستقبل هذا المعقد الإلكترونات الأربعة دفعة واحدة ينتقل من الحالة الأكثر أكسدة (S_4^{++++}) إلى الحالة الأكثر إرجاعا (S_0) .
  - يمر المعقد الإنزيمي من حالة (S_0) إلى حالة (S_4^{++++}) كما يلي :
  - يمتص الـ P_{680} طاقة الفوتون الضوئي فيصبح غير مستقر (يتهيج)، ثم يتأكسد (يتهيج الـ P_{680} ثم يتأكسد P^+_{680}).
  - يتخلى المعقد بعد ذلك عن إلكتروناته إلكترونا بعد الأخر بالتتالي ($S_1^+, S_2^{++}, S_3^{+++}, S_4^{++++}$) لأربع جزيئات من الـ P^+_{680} المؤكسدة هي الأخرى الواحدة تلوى الأخرى بعد امتصاص لطاقة الفوتون الضوئي فترجع (حالة الاستقرار) ، فيعاد تجديد أربع جزيئات من الـ P_{680} والتي يمكنها أن تتهيج من جديد.
  - يمكن تمثيل هذه العملية بشكل دورة نسميها " دورة كوك " أو دورة أي عالم من الفريق .

- مثل دورة كوك :


e⁻
+
S1
e⁻
S0
H⁺
++
S2
O2
2 H⁺
H⁺
++++
+++
2 H2O
4 e⁻
4 H⁺
S4
S3
e⁻
e⁻
الشكل (ب)


e⁻
P* 680
hν
P+ 680
P680
Tyr
Tyr+
الشكل (ج)
e⁻
S1
S2

2 – آلية عمل التيلاكوئيد :

أ – إظهار مصدر الأكسجين المنطلق: Expérience de Ruben et Kamen : origine de l'oxygène

في شروط تجريبية مناسبة تسمح بقياس كمية الأكسجين المنطلق ، تهدف التجربة إلى إظهار مصدر الأكسجين المنطلق و ذلك باستعمال العناصر المشعة ، حيث وضعت الكلوريلا (أشنة خضراء) في وسطين يحتوي كل منهما على 4 % من الـ CO_2 و معرضين للضوء ، الوسط الأول يحتوي على CO^*_2 (ذي أكسجين مشع) ، بينما يحتوي الوسط الثاني على H_2O^* (ذي أكسجين مشع) .
النتائج المحصل عليها موضحة في الجدول التالي :

الوسط	الجزيئة الحاملة للإشعاع	الأكسجين المنطلق
الأول	CO^*_2	غير مشع (O)
الثاني	H_2O^*	مشع (O^*)

$$CO^*_2 + H_2O \longrightarrow (CH_2O^*) + O_2$$
$$CO_2 + H_2O^* \longrightarrow (CH_2O) + O^*_2$$

- ما هي المعلومات المستخلصة من النتائج التجريبية ؟

- ينتج الأكسجين المحرر من قبل النبات الأخضر المعرض للضوء من التحلل الضوئي للماء ، حيث يولد هذا التفاعل من قبل اليخضور المنبه .

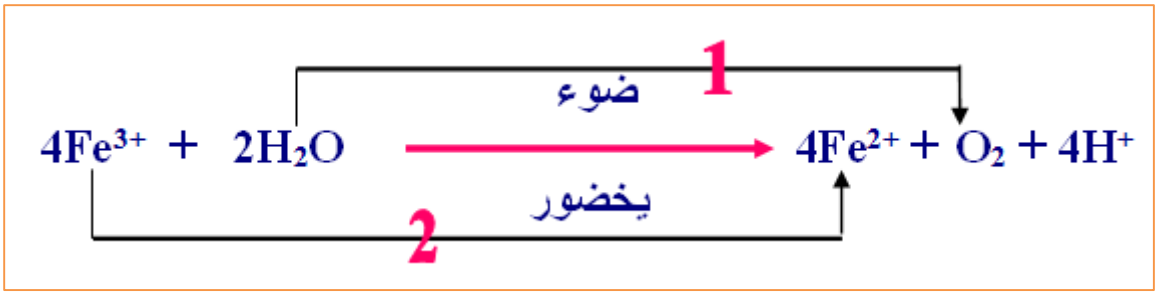
- أكتب التفاعل الكيميائي الذي يبين مصدر الأكسجين المنطلق .

$$H_2O \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} \tfrac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^-$$

$$2H_2O \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

ب – مصدر الإلكترونات لإرجاع المستقبل الإصطناعي (شوارد الحديد) :

أمكن تلخيص التفاعلات التي أدت إلى تحول لون محلول فيروسيانور البوتاسيوم و انطلاق الأكسجين(O_2) في التجربة الممثلة نتائجها في الوثيقة ـ 1 ـ في المعادلة التالية :



- حدد نوع التفاعل الذي حدث في (1) و (2) .
- التفاعل (1) : هو تفاعل أكسدة .
- التفاعل (2) : هو تفاعل إرجاع .
- قدم تفسيرا للتفاعل (2) .
- بمقارنة رقم التكافؤ لشوارد الحديد في بداية و نهاية التفاعل ، نلاحظ أن شوارد الحديد تحولت من الصورة الثلاثية إلى الصورة الثنائية ، أي أن كل شاردة اكتسبت إلكترونا ناتجا عن تحلل الماء .
- هل يؤكد التفاعل (1) النتيجة المتوصل إليها في الفقرة (أ) ؟
- نعم .

وضح ذلك .

- ينتج الأكسجين المحرر من قبل النبات الأخضر المعرض للضوء من التحلل الضوئي للماء بعد حدوث عملية أكسدة .
- مثل التفاعلين (1) و (2) في معادلتين بسيطتين .

$$Fe^{3+} + e^- \longrightarrow Fe^{2+}$$

$$H_2O \longrightarrow \tfrac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^-$$
$$2Fe^{3+} + 2e^- \longrightarrow 2Fe^{2+}$$

$$2Fe^{3+} + H_2O \longrightarrow 2Fe^{2+} + 2H^+ + \tfrac{1}{2}O_2$$

$$2H_2O \longrightarrow 4H^+ + 4e^- + O_2$$
$$4Fe^{3+} + 4e^- \longrightarrow 4Fe^{2+}$$

$$4Fe^{3+} + 2H_2O \longrightarrow 4Fe^{2+} + 4H^+ + O_2$$

- إذا علمت أنه في النبات الأخضر توجد عدة مستقبلات طبيعية تشكل سلسلة هي السلسلة التركيبية الضوئية يعد فيها النيكوتين أميد أدنين ثنائي النوكليوتيد فوسفات ($NADP^+$) آخر حلقة ، أكتب التفاعل المماثل في الظروف الطبيعية .

$$2H_2O \longrightarrow 4H^+ + 4e^- + O_2$$
$$2NADP^+ + 4e^- \longrightarrow 2NADP^-$$

$$2NADP^+ + 2H_2O \longrightarrow 2NADPH,H^+ + O_2$$

ج – دور اليخضور و الضوء في إرجاع مستقبل الإلكترونات :

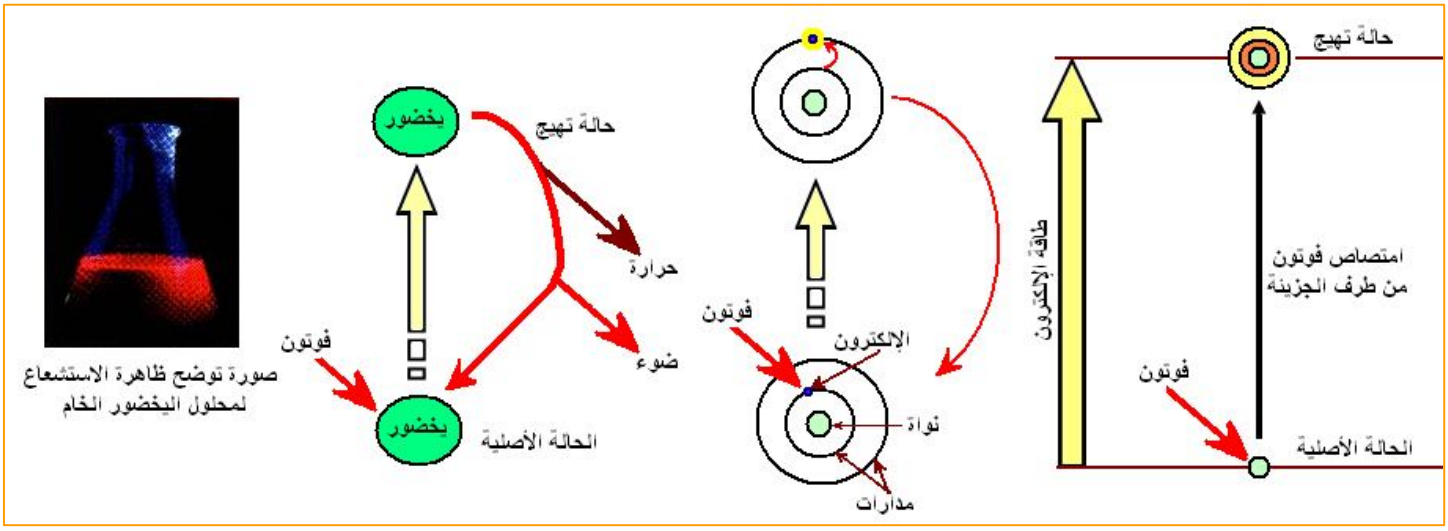
تنتقل الإلكترونات تلقائيا من كمون أكسدة و إرجاع منخفض إلى كمون أكسدة و إرجاع مرتفع و تتحرر من ذلك طاقة تتناسب كميتها مع فرق الكمون . فكيف يمكن لجزيئات الماء ذات الكمون المرتفع(+0.82 v) فولط أن ترجع ذرات الحديد ذات الكمون المنخفض (+ 0.3 v) ؟ و كيف يمكن للإلكترونات أن تنتقل عكس الاتجاه التلقائي ؟

لتوضيح كيفية إرجاع مستقبل الإلكترونات نستعرض التجربة و الملاحظات التجريبية حول دور اليخضور .

α – تجربة التفلور (الإستشعاع) :

نعرض وعاء زجاجي مخروطي يحوي محلول يخضور خام (تم استخلاصه سابقا) لحزمة من الضوء الأبيض و ذلك في غرفة مظلمة .

الملاحظات المسجلة إلى جانب تفسير الظاهرة موضحة في أشكال الوثيقة ـ 5 ـ .



الوثيقة ـ 5 ـ

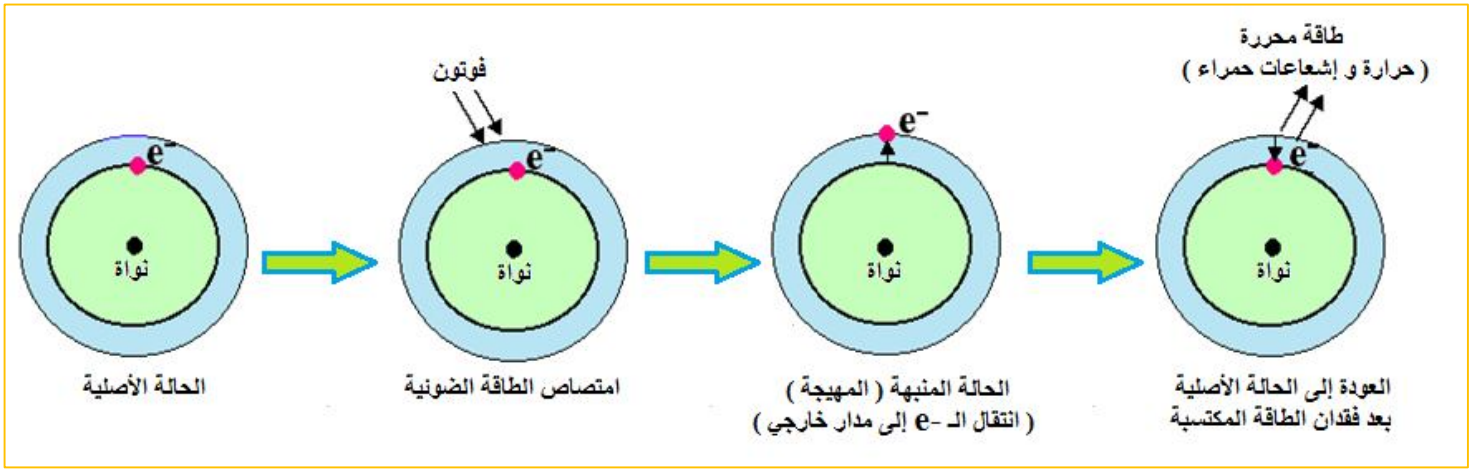
- **بالاعتماد على نتيجة التجربة و الرسم التفسيري ، فسر ظهور اللون الأحمر على الواجهة التي تسقط عليها الأشعة أي ظاهرة الإستشعاع .**

ـ اللون الأحمر هو ضوء صادر من اليخضور بعد تهيجه بسبب اكتساب الإلكترون لطاقة و الانتقال إلى مدار أعلى ، ثم عودته إلى مداره الأصلي مع فقدانه للطاقة التي اكتسبها في شكل حرارة و إشعاعات حمراء.

- **استنتج مصير الطاقة و الإلكترون في تجربة الإستشعاع .**

ـ يعود الإلكترون إلى مداره الأصلي بينما يفقد الطاقة التي اكتسبها في شكل حرارة و إشعاعات حمراء .

ـ يتم التفلور على صبغات مستخلصة من نسيج نباتي (صبغات فقدت توضعها الطبيعي) .



β – آلية عمل الأنظمة الضوئية :

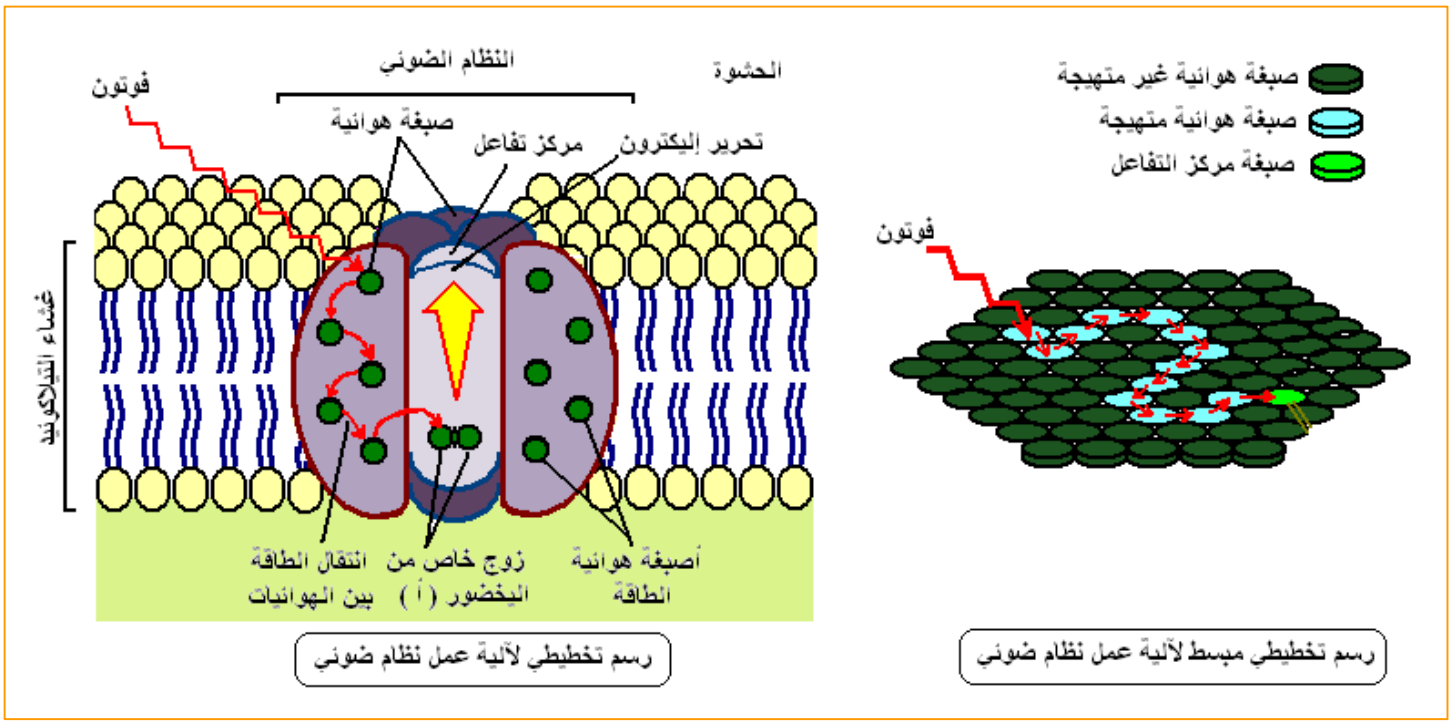
أ – تأثير فوتونات الضوء على الأنظمة الضوئية :

تبين من تجربة التفلور أن الضوء يسبب تهيج اليخضور و انتقال الإلكترون إلى مدار خارجي حيث يعود الإلكترون إلى مداره (لا يفقد) ، بينا تفقد الطاقة في شكل ضوء و حرارة .

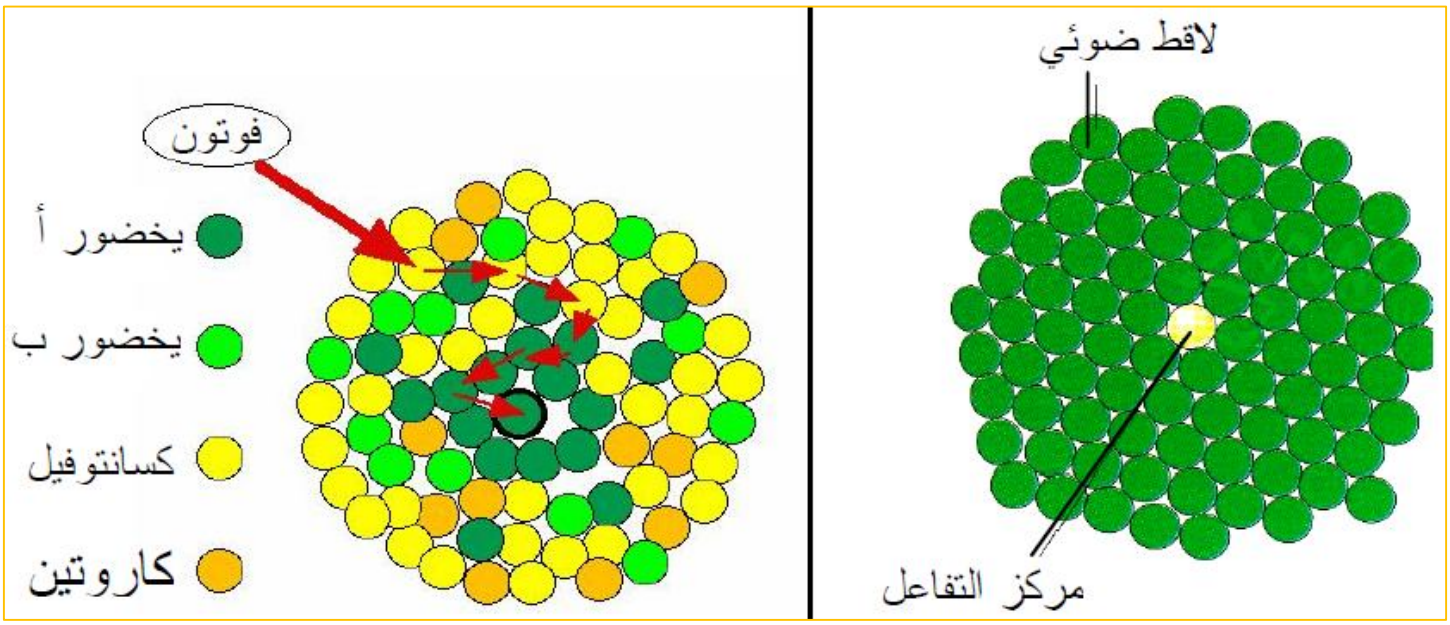
إن تجربة التفلور تمت في المخبر باستعمال يخضور مستخلص من أنسجة نباتية خضراء و هي لا تفسر أكسدة شوارد الحديد في التجربة (1) ، حيث أثبتت قياسات التفلور على النباتات في الحالة الطبيعية عدم حدوث تفلور إلا بدرجة قليلة جدا .

فما هو مصدر الإلكترونات لإرجاع شوارد الحديد في التجربة (1) ؟ و ما هو دور اليخضور في ذلك إذا ؟

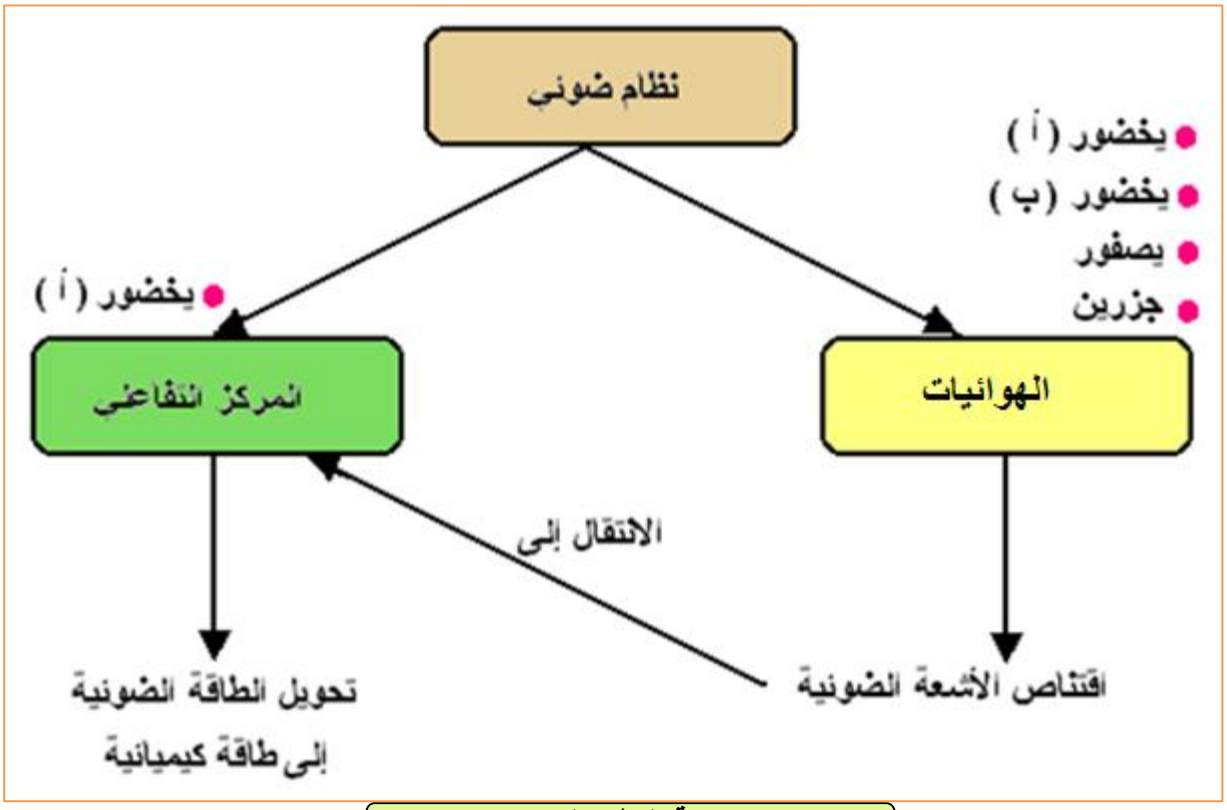
توضح الوثيقة ـ 6 ـ آلية عمل أصبغة النظام الضوئي .



الوثيقة ـ 6 ـ



- **ماذا يحدث عند سقوط فوتونات على أصبغة هوائية في النظام الضوئي ؟**
- تقوم أصبغة النظام الضوئي باستقبال و نقل الطاقة الضوئية .
- **حدد دور كل من الأصبغة الهوائية و أصبغة مركز التفاعل في النظام الضوئي .**
- يتمثل دور الأصبغة الهوائية في نقل الطاقة الضوئية فقط باتجاه المركز التفاعلي و لا تفقد الإلكترونات .
- بينما يتمثل دور المركز التفاعلي في استقبال الطاقة الضوئية و تحرير الإلكترون (أي تتم به عملية أكسدة).
- **علل استعمال تسمية مركز التفاعل لجزيئات من اليخضور في النظام الضوئي .**
- لكونه يتم به تفاعل الأكسدة .



بنية النظام الضوئي

معلومات مفيدة :

- **الفوتون :** الفوتون هو تعبير كمي للطاقة الضوئية ، و تتناسب هذه الكمية مع طول موجة الضوء.

كمون الأكسدة و الإرجاع : يعبر مفهوم كمون الأكسدة / الإرجاع على قدرة المركبات أو الذرات على تحرير الإلكترونات و يقاس بوحدات الفولط .

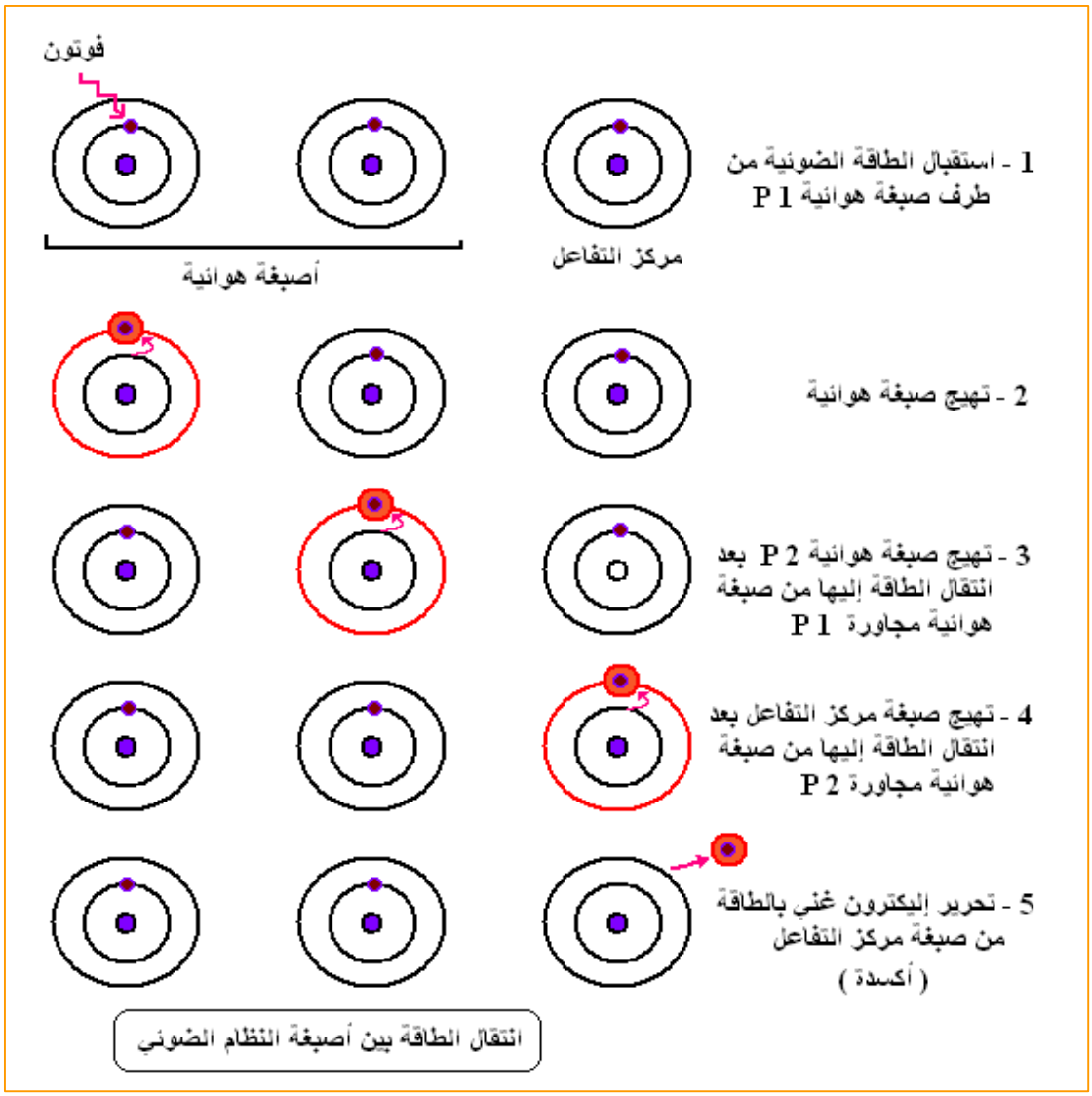
يتم تمثيل المركبات أو الذرات القابلة للأكسدة و الإرجاع في شكل أزواج (ثنائيات) تشمل الصورة المؤكسدة و المرجعة مثل : Fe^{3+} / Fe^{2+} و $NADP^{+} / NADPH,H^{+}$.

تنتقل الإلكترونات بصورة تلقائية من المركبات أو الذرات ذات الكمونات المنخفضة نحو الكمونات المرتفعة .

لتوضيح عمل الأنظمة الضوئية نستعرض المعطيات المبينة في الجدول الموالي و في أشكال الوثيقة ـ 7 ـ .

التسمية	نوع الأصبغة	عدد الجزيئات / نظام ضوئي	الرمز المستعمل
أصبغة هوائية	يخضور (أ) يخضور (ب)	عدة مئات	P_1 , P_2 , P_3 .....P_n
	أشباه الجزرين (أصبغة مساعدة)	عشرات	
أصبغة مركز التفاعل	يخضور (أ)	2 فقط	P_{680} في PS_{II} P_{700} في PS_I

الوثيقة ـ 7 ـ



● **حلل معطيات الجدول و الوثيقة ـ 7 ـ .**

ـ تتم المقارنة من حيث عدد الأصبغة و أنواعها و طريقة عملها و الرموز المستعملة في تسميتها .

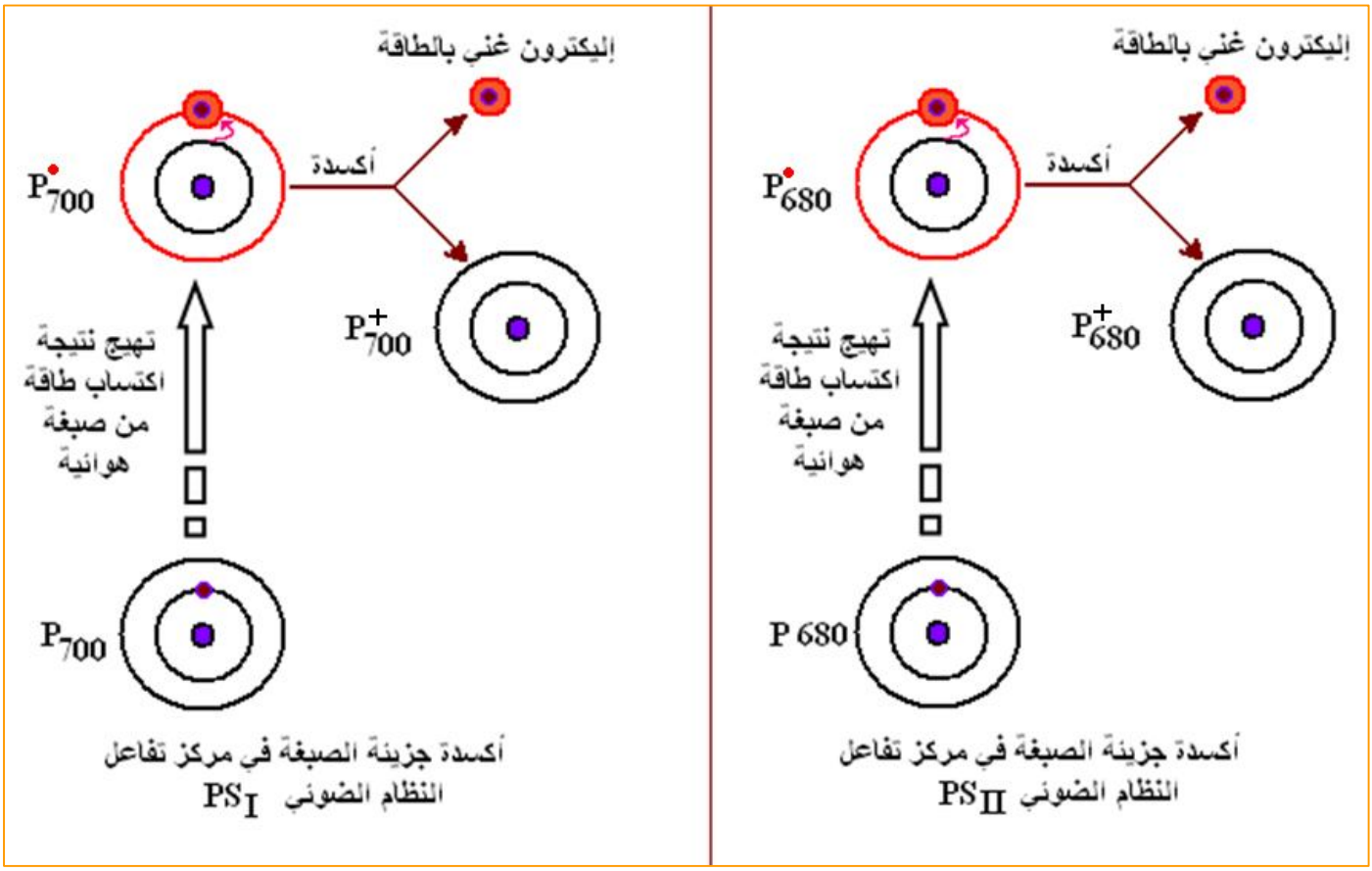
ـ تتمثل الأصبغة الهوائية في اليخضورين (أ) و (ب) و التي تتكون من عدة مئات من الأنظمة الضوئية و أصبغة الجزرين و هي أصبغة مساعدة و التي تتكون من عشرات الأنظمة الضوئية ، يرمز لها بـ : P_1 , P_2 , P_3 .....P_n .

ـ تتمثل أصبغة المركز التفاعلي في اليخضور (أ) و التي تتكون من نظامين ضوئيين فقط ، يرمز لهما بـ : P_{680} في PS_{II} و P_{700} في PS_I .

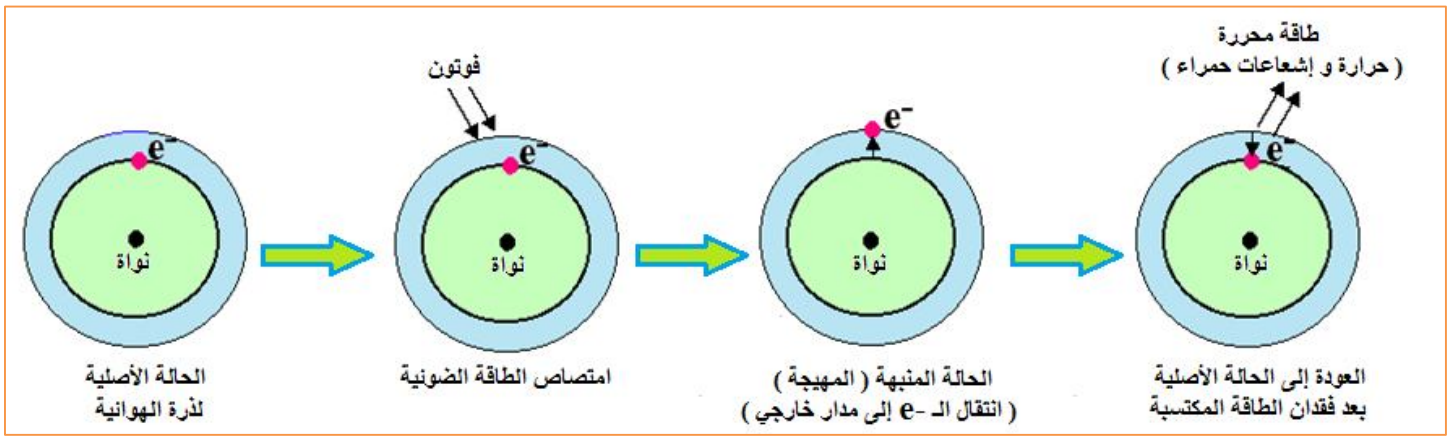
● **ماذا تستخلص ؟**

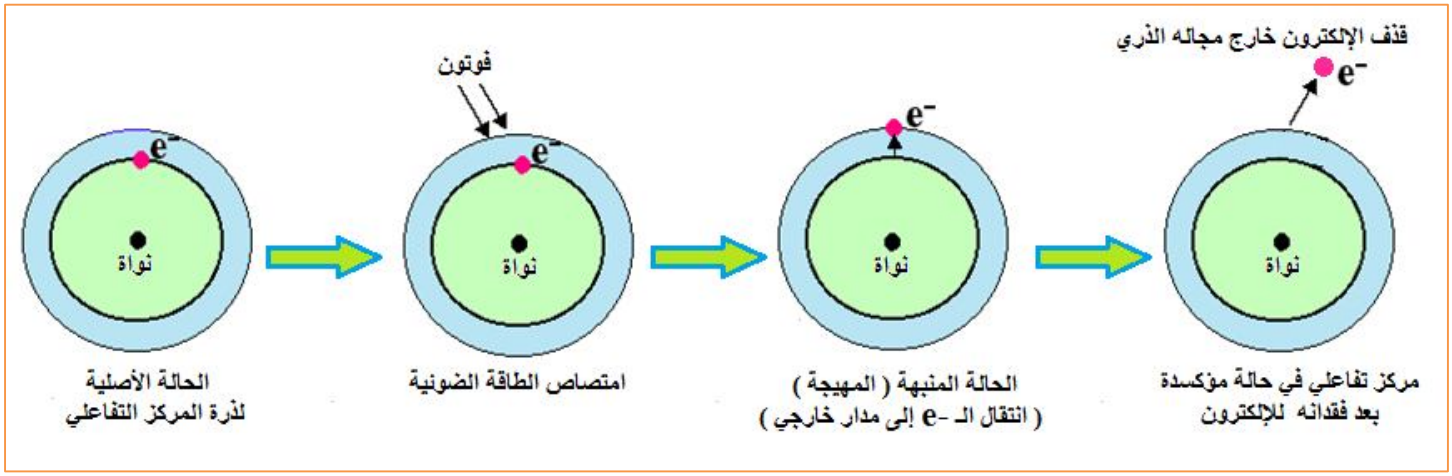
ـ تختلف أصبغة المركز التفاعلي و أصبغة الهوائيات من حيث عدد الأصبغة ، أنواعها ، طريقة عملها و الرموز المستعملة في تسميتها .

لتوضيح حالة أصبغة مركز التفاعل في النظام الضوئي بعد اكتسابها للطاقة نقدم الوثيقة ـ 8 ـ .



الوثيقة ـ 8 ـ





- قارن بين انتقال الطاقة في الأصبغة الهوائية (الوثيقة – 6 –) و انتقالها في أصبغة مركز التفاعل (الوثيقة – 8 –) .

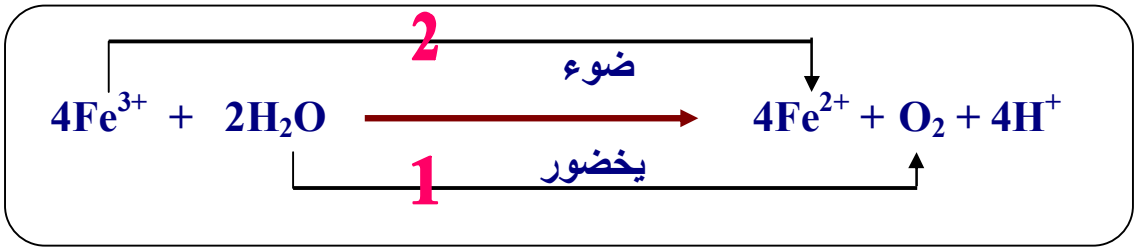
- انتقال الطاقة بين الأصبغة الهوائية يتم بدون انتقال الإلكترون (انتقال الطاقة دون الإلكترون) ، بينما تنتقل الطاقة و الإلكترون في المركز التفاعلي .

معلومات مفيدة :

- يرمز لصبغة ضمن النظام الضوئي بالحرف P(Pigment) و تضاف أرقام للحرف P مثل P_1 و P_2 و P_3 إلى P_n للصبغات الهوائية . بينما تضاف الأرقام 680 و 700 لأصبغة مركزي التفاعل لـ PS_{II} و PS_I (P_{680} و P_{700}) لتمييزهما عن باقي أصبغة النظام الضوئي . و تمثل هذه الأرقام أطوال الموجات التي يكون عندها امتصاص هذه الأصبغة أعظميا .
بالرغم من أن هذه الأصبغة يمكن أن تتنبه عند هاتين الموجتين فإنها تتلقى معظم طاقتها من الأصبغة الهوائية أساسا و ليس من الفوتونات الضوئية مباشرة .

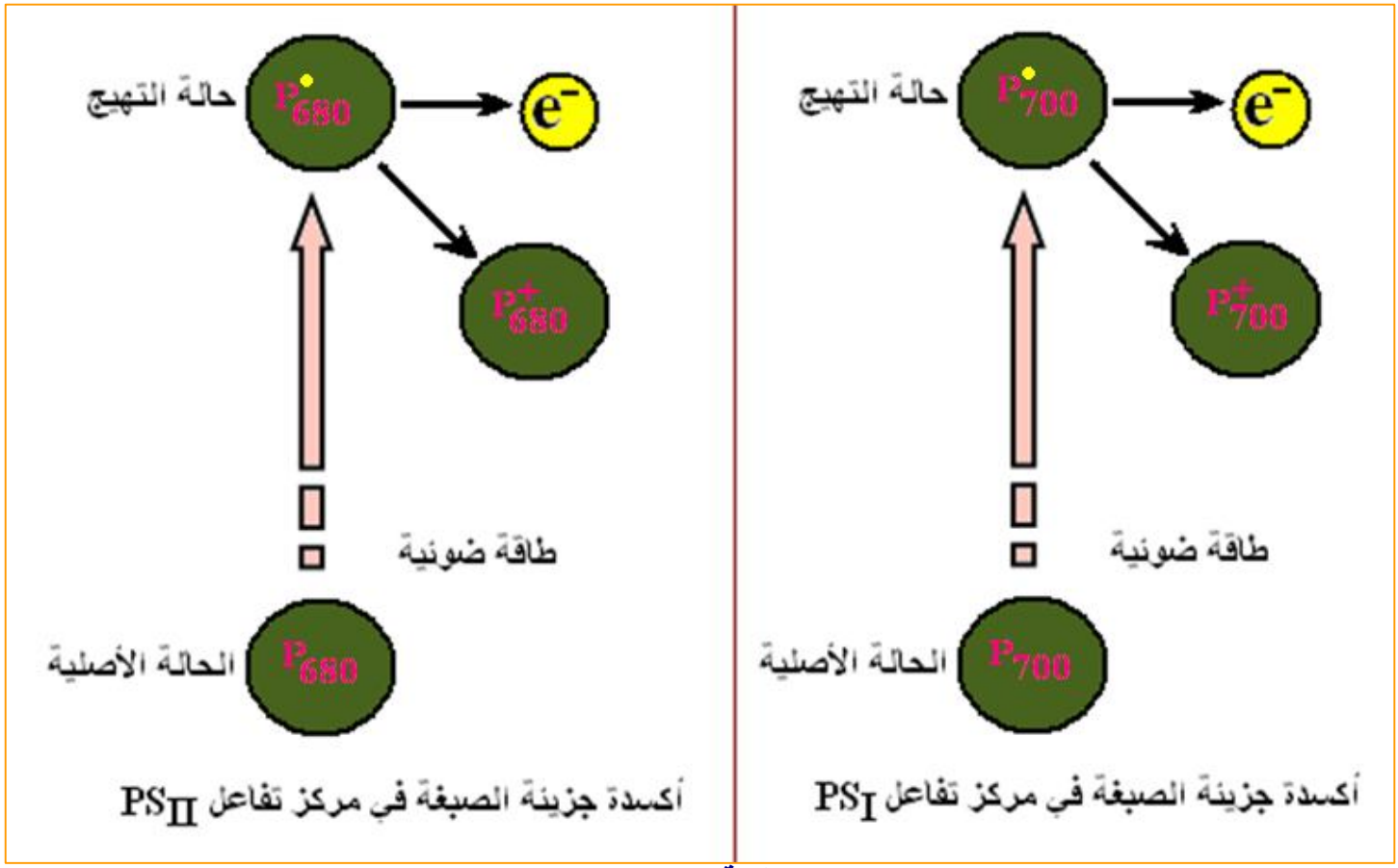
ب- مصدر إلكترونات إرجاع المستقبل الاصطناعي :

لتوضيح مصدر إلكترونات إرجاع المستقبل الاصطناعي للإلكترونات (شوارد الحديد) نستعرض المعادلات و المخططات الموضحة في الوثيقة ـ 9 ـ .



$2P^{*}_{680} \rightarrow 2P^{+}_{680} + 2e^{-}$ عالية الطاقة

$2P^{*}_{700} \rightarrow 2P^{+}_{700} + 2e^{-}$ عالية الطاقة



الوثيقة ـ 9 ـ

- **بالاستعانة بالمعادلات و مخططات الوثيقة ـ 9 ـ ، أوجد علاقة بين دور كل من اليخضور و الضوء من جهة و إرجاع شوارد Fe^{3+} من جهة أخرى موضحا كيفية إرجاع شوارد Fe^{3+} انطلاقا من إلكترونات الـ H_2O .**

- مصدر الإلكترونات هو الأنظمة الضوئية و أن انتقال الإلكترونات لا يكون مباشرة من الماء إلى شوارد الحديد .

3 – تسلسل تفاعلات المرحلة الكيموضوئية :

أ – مصير الإلكترونات المتحررة :

إن تهيج أصبغة النظامين الضوئيين (PS_I و PS_{II}) تؤدي في النهاية إلى فقد إلكترونات غنية بالطاقة . و قد تبين من خلال دراسة مكونات أغشية التيلاكوئيد (النشاط 2) وجود عدد من نواقل الإلكترونات بالإضافة إلى النظامين الضوئيين . فما هو مصير الإلكترونات المفقودة من مركز التفاعل و الطاقة الموجودة فيها ؟ و ما هو دور نواقل الإلكترونات و آلية عملها ؟

α – مصير إلكترونات الماء :

إن أكسدة صبغتين من يخضور (أ) في مركز التفاعل PS_{II} أدت إلى تحرر إلكترونين من النظام الضوئي PS_{II} . لا يمكن لجزيئتي اليخضور في PS_{II} في هذه الحالة أن تستعيد قدرتها على تحرير الإلكترونات من جديد إلا إذا استعادت الإلكترونات التي فقدتها ، فمن أين تستمدها ؟

- بينت الدراسات حول بنية و وظيفة النظام الضوئي PS_{II} وجود جزء بروتيني ضمن المعقد البروتيني له دور أنزيم يحلل الماء ليتحرر من ذلك إلكترونين لتعويض الإلكترونات المفقودة من P_{680} وفق المعادلة التالية :

أنـزيـــم

$$H_2O \longrightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^-$$

$$2P^+_{680} + 2e^- \longrightarrow 2P_{680}$$

- باعتبار أن الماء هو مصدر الإلكترونات التي تعوض الإلكترونات المتحررة من PS_{II} ، فمن أين يتم تعويض الإلكترونات المفقودة من PS_I ؟

β – مصير إلكترونات PSII :

أظهرت التجارب باستعمال المثبطات أن الإلكترونات الناتجة من PSII تنتقل عبر سلسلة من نواقل الإلكترونات لتستقبل من طرف مركز التفاعل لـ PSI (P_{700}) حتى يتمكن هذا النظام الضوئي من تحرير إلكترونات من جديد حسب التفاعل التالي :

$$2P^*_{680} \longrightarrow 2P^+_{680} + 2e^-$$

عبر سلسلة من النواقل

$$2P^+_{700} + 2e^- \longrightarrow 2P_{700}$$

- باعتبار أن مصير الإلكترونات المتحررة من PS_{II} يتمثل في تعويض الإلكترونات المتحررة من PS_I فما هو مصير الإلكترونات المتحررة من PS_I ؟

γ – مصير إلكترونات PSI :

أظهرت التجارب أن الإلكترونات الناتجة من PS_I تنتقل عبر سلسلة من النواقل لتستقبل من طرف مستقبل الإلكترونات ($NADP^+$) حسب التفاعل التالي :

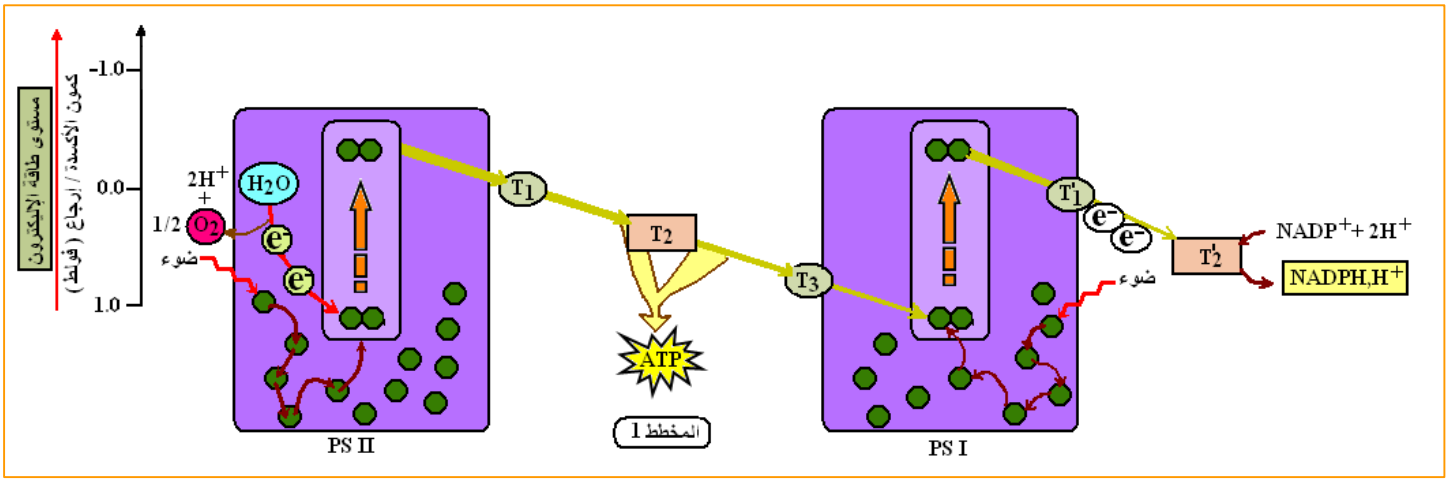
$$2P^*_{700} \longrightarrow 2P^+_{700} + 2e^-$$

عبر سلسلة من النواقل

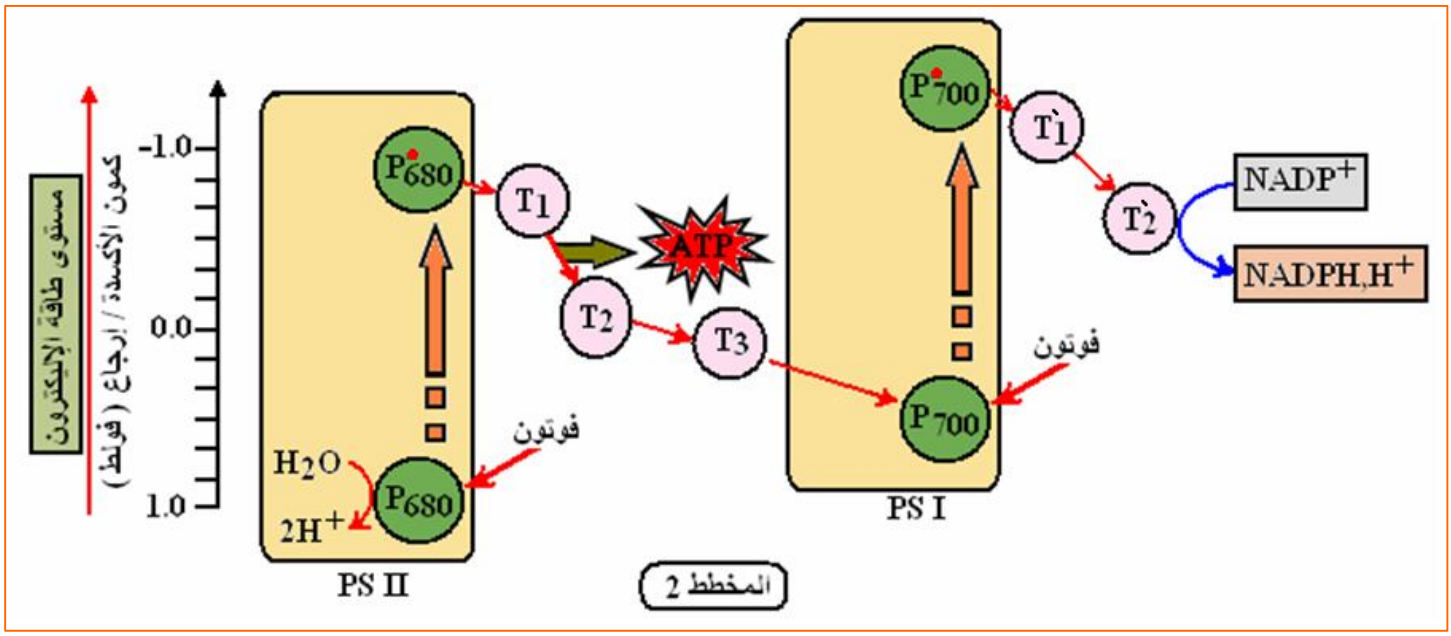
$$NADP^+ + 2e^- + 2H^+ \longrightarrow NADPH,H^+$$

ب – آلية انتقال الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية :

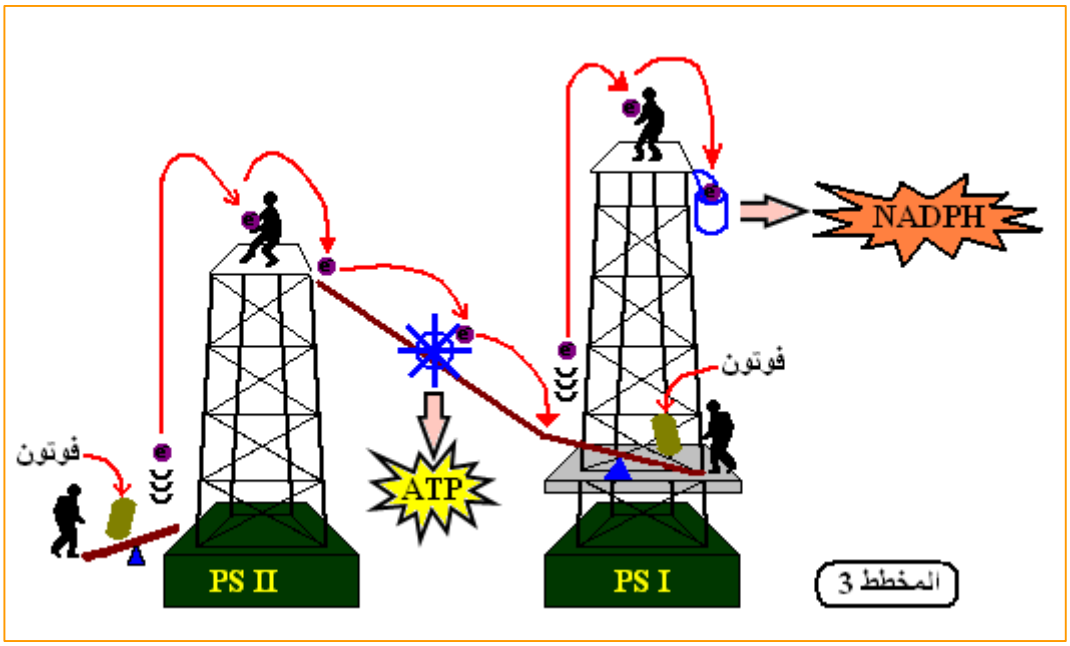
يمثل المخططان (أ) و (ب) من الوثيقة – 10 – آلية انتقال الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية (سلسلة انتقال الإلكترونات) ، بينما يوضح المخطط (3) من نفس الوثيقة نمذجة لهذه الآلية .



المخطط (1)



المخطط (2)



المخطط (3)

الوثيقة – 10 –

كما توضح معادلات الوثيقة ـ 11 ـ أيضا آلية انتقال الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية .

$2P^{*}_{680} \longrightarrow 2P^{+}_{680} + 2e^{-}$ (عبر سلسلة من النواقل) 1

$T_1 + 2e^{-} + 2H^{+} \longrightarrow T_1H_2$ (تؤخذ من الحشوة) 2

$T_1H_2 \longrightarrow T_1 + 2e^{-} + 2H^{+}$ (تحرر في التجويف) 3

$2T_2^{+3} + 2e^{-} \longrightarrow 2T_2^{+2}$ 4

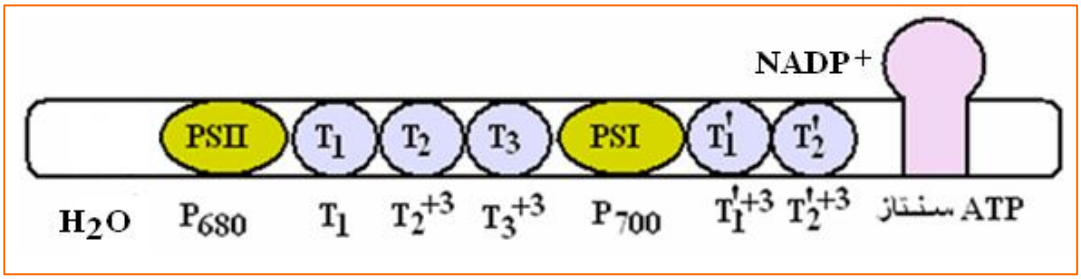
$T_1H_2 + 2T_2^{+3} \longrightarrow T_1 + 2T_2^{+2} + 2H^{+}$ 5

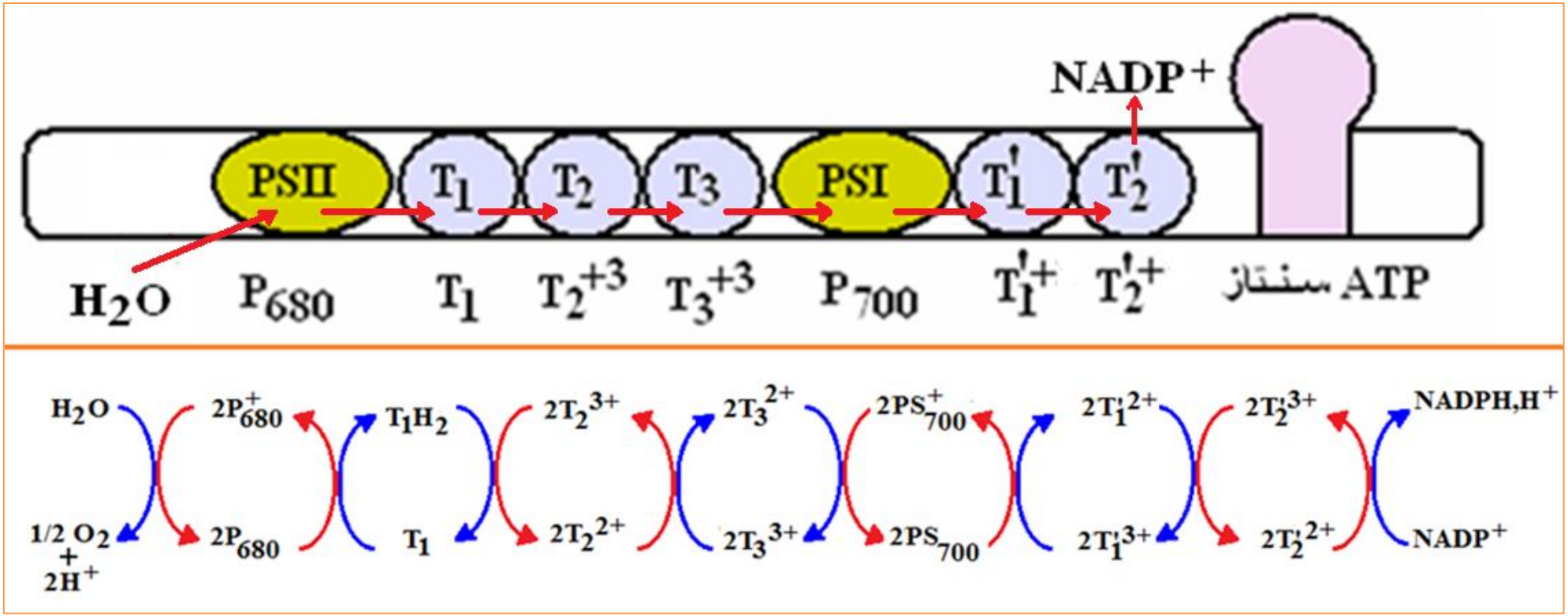
الوثيقة ـ 11 ـ

- حلل هذه المعادلات .
- المعادلة (1) : يتهيج النظام الضوئي PS_{II} إثر استقباله للضوء فيفقد إليكترونا .
- المعادلة (2) : يستقبل الناقل T_1 إلكترونات النظام الضوئي و بروتونات من الحشوة .
- المعادلة (3) : يعود الناقل T_1 إلى حالته الأصلية بعد فقدانه للإلكترونات و البروتونات التي استقبلها .
- المعادلة (4) : يستقبل الناقل T_2 الإلكترونات فقط و الناتجة عن تفكك الناقل T_1 .
- المعادلة (5) : هي محصلة المعادلتين 3 و 4 .

اعتمادا على مخططات الوثيقة ـ 10 ـ و باستغلال معادلات الوثيقة ـ 11 ـ :

- علل فقدان الإلكترونات من النظام الضوئي PS_{II} في المعادلة (1) .
- لأن كمون الأكسدة / الإرجاع لـ PS_{II} أقل من كمون الأكسدة / الإرجاع لـ T_1 .
- قارن بين T_1 و T_2 من حيث كمون الأكسدة / الإرجاع .
- يكون كمون الأكسدة / الإرجاع لـ T_1 منخفضا (ـ 0.8) ، بينما يكون كمون الأكسدة / الإرجاع لـ T_2 مرتفعا (0.0) .
- علل إجابتك .
- يبلغ كمون الأكسدة / الإرجاع لـ T_1 : ـ 0.8 ، بينما يبلغ كمون الأكسدة / الإرجاع لـ T_2 : 0.0 .
  و عليه يتم الانتقال من الكمون المنخفض إلى الكمون المرتفع و أن الفرق كان معتبرا .
- استخرج الفرق الأساسي بين T_1 و T_2 في آلية النقل .
- يقوم الناقل (T_1) بنقل الإلكترونات و البروتونات معا .
- يقوم الناقل (T_2) بنقل الإلكترونات فقط .
- تمثل المعادلة (5) محصلة للمعادلتين (3 و 4) . مثل بقية السلسلة التركيبية الضوئية من T_3 إلى المستقبل الأخير في السلسلة ($NADP^{+}$) و ذلك بالاستعانة بالمخططات الموضحة في الوثيقة ـ 10 ـ ، مع العلم أن النواقل المتبقية تقوم بنقل إلكترونات فقط دون البروتونات .




NADP+
PSII
T1
T2
T3
PSI
T'1
T'2
H2O
P680
T1
T2+3
T3+3
P700
T'1+
T'2+
ATP سنتاز
H2O
2P+680
T1H2
2T2 3+
2T3 2+
2PS+700
2T'1 2+
2T'2 3+
NADPH,H+
1/2 O2 + 2H+
2P680
T1
2T2 2+
2T3 3+
2PS700
2T'1 3+
2T'2 2+
NADP+

- تنشيط النظام الضوئي PS_{680}:

$$2P_{680} + \text{ضوء} \longrightarrow 2P^{*}_{680} \longrightarrow 2P^{+}_{680} + 2e^{-}$$

- انتقال الإلكترونات من الـ H_2O إلى P_{680}:

أنزيم

$$H_2O \longrightarrow \tfrac{1}{2}O_2 + 2H^{+} + 2e^{-}$$

$$2P^{+}_{680} + 2e^{-} \longrightarrow 2P_{680}$$

$$H_2O + 2P^{+}_{680} + \cancel{2e^{-}} \longrightarrow 2P_{680} + \tfrac{1}{2}O_2 + 2H^{+} + \cancel{2e^{-}}$$

$$H_2O + 2P^{+}_{680} \longrightarrow 2P_{680} + \tfrac{1}{2}O_2 + 2H^{+}$$

- انتقال الإلكترونات من P_{680} إلى T_1:

$$2P^{*}_{680} \longrightarrow 2P^{+}_{680} + 2e^{-}$$

$$T_1 + 2e^{-} + 2H^{+} \longrightarrow T_1H_2$$

تؤخذ من الحشوة

$$2P^{*}_{680} + T_1 + \cancel{2e^{-}} + 2H^{+} \longrightarrow 2P^{+}_{680} + \cancel{2e^{-}} + T_1H_2$$

$$2P^{*}_{680} + T_1 + 2H^{+} \longrightarrow 2P^{+}_{680} + T_1H_2$$

- انتقال الإلكترونات من T_1 إلى T_2:

$$T_1H_2 \longrightarrow T_1 + 2e^{-} + 2H^{+}$$

تتحرر في التجويف

$$2T_2^{3+} + 2e^{-} \longrightarrow 2T_2^{2+}$$

$$T_1H_2 + 2T_2^{3+} + \cancel{2e^{-}} \longrightarrow T_1 + 2H^{+} + \cancel{2e^{-}} + 2T_2^{2+}$$

$$T_1H_2 + 2T_2^{3+} \longrightarrow T_1 + 2H^{+} + 2T_2^{2+}$$

- انتقال الإلكترونات من T_2 إلى T_3:

$$2T_2^{2+} \longrightarrow 2T_2^{3+} + 2e^{-}$$

$$2T_3^{3+} + 2e^{-} \longrightarrow 2T_3^{2+}$$

$$2T_2^{2+} + 2T_3^{3+} + \cancel{2e^{-}} \longrightarrow 2T_2^{3+} + \cancel{2e^{-}} + 2T_2^{2+}$$

$$2T_2^{2+} + 2T_3^{3+} \longrightarrow 2T_2^{3+} + 2T_3^{2+}$$

- تنشيط النظام الضوئي PS_{700}:

$$2P_{700} + \text{ضوء} \longrightarrow 2P^{*}_{700} \longrightarrow 2P^{+}_{700} + 2e^{-}$$

- انتقال الإلكترونات من T3 إلى P_{700} :

$$2T_3^{2+} \longrightarrow 2T_3^{3+} + 2e^{-}$$
$$2P^{+}_{700} + 2e^{-} \longrightarrow 2P_{700}$$
$$2P^{+}_{700} + 2T_3^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow 2T_3^{3+} + 2P_{700} + 2e^{-}$$
$$2P^{+}_{700} + 2T_3^{2+} \longrightarrow 2T_3^{3+} + 2P_{700}$$

- انتقال الإلكترونات من P_{700} إلى T'_1 :

$$2P^{*}_{700} \longrightarrow 2P^{+}_{700} + 2e^{-}$$
$$2T'^{3+}_1 + 2e^{-} \longrightarrow 2T'^{2+}_1$$
$$2P^{*}_{700} + 2T'^{3+}_1 + 2e^{-} \longrightarrow 2P^{+}_{700} + 2e^{-} + 2T'^{2+}_1$$
$$2P^{*}_{700} + 2T'^{3+}_1 \longrightarrow 2P^{+}_{700} + 2T'^{2+}_1$$

- انتقال الإلكترونات من T'_1 إلى T'_2 :

$$2T'^{2+}_1 \longrightarrow 2T'^{3+}_1 + 2e^{-}$$
$$2T'^{3+}_2 + 2e^{-} \longrightarrow 2T'^{2+}_2$$
$$2T'^{2+}_1 + 2T'^{3+}_2 + 2e^{-} \longrightarrow 2T'^{3+}_1 + 2e^{-} + 2T'^{2+}_2$$
$$2T'^{2+}_1 + 2T'^{3+}_2 \longrightarrow 2T'^{3+}_1 + 2T'^{2+}_2$$

- انتقال الإلكترونات من T'_2 إلى $NADP^+$:

$$2T'^{2+}_2 \longrightarrow 2T'^{3+}_2 + 2e^{-}$$
$$NADP^{+} + 2e^{-} + 2H^{+} \longrightarrow NADPH,H^{+}$$
(توخذ من الحشوة)
$$NADP^{+} + 2H^{+} + 2T'^{2+}_2 + 2e^{-} \longrightarrow NADPH,H^{+} + 2T'^{3+}_2 + 2e^{-}$$
$$NADP^{+} + 2H^{+} + 2T'^{2+}_2 \longrightarrow NADPH,H^{+} + 2T'^{3+}_2$$

1 $2P_{680} + \text{ضوء} \longrightarrow 2P^{*}_{680} \longrightarrow 2P^{+}_{680} + 2e^{-}$

2 $2P_{700} + E\ \text{ضوء} \longrightarrow 2P^{*}_{700} \longrightarrow 2P^{+}_{700} + 2e^{-}$

3 $H_2O \longrightarrow \frac{1}{2} O_2 + 2H^{+} + 2e^{-}$

4 $2P^{+}_{680} + 2e^{-} \longrightarrow 2P_{680}$

5 $T_1 + 2e^{-} + 2H^{+} \longrightarrow T_1H_2$

6 $T_1H_2 \longrightarrow T_1 + 2e^{-} + 2H^{+}$

7 $2T_2^{3+} + 2e^{-} \longrightarrow 2T_2^{2+}$

8 $2T_2^{2+} \longrightarrow 2T_2^{3+} + 2e^{-}$

9 $2T_3^{3+} + 2e^{-} \longrightarrow 2T_3^{2+}$

10 $2T_3^{2+} \longrightarrow 2T_3^{3+} + 2e^{-}$

11 $2P^{+}_{700} + 2e^{-} \longrightarrow 2P_{700}$

12 $2T'_1{}^{3+} + 2e^{-} \longrightarrow 2T'_1{}^{2+}$

13 $2T'_1{}^{3+} \longrightarrow 2T'_1{}^{2+} + 2e^{-}$

14 $2T'_2{}^{3+} + 2e^{-} \longrightarrow 2T'_2{}^{2+}$

15 $2T'_2{}^{2+} \longrightarrow 2T'_2{}^{3} + 2e^{-}$

16 $NADP^{+} + 2e^{-} + 2H^{+} \longrightarrow NADPH,H^{+}$

من خلال المعادلات السابقة ، مثل المعادلة الإجمالية لانتقال الالكترونات من H_2O إلى $NADP^+$.

$$H_2O + 2P^*_{680} \longrightarrow 2P_{680} + \tfrac{1}{2} O_2 + 2H^+$$

$$2P^*_{680} + T_1 + 2H^+ \longrightarrow 2P^+_{680} + T_1H_2$$

$$T_1H_2 + 2T_2^{+3} \longrightarrow T_1 + 2T_2^{+2} + 2H^+$$

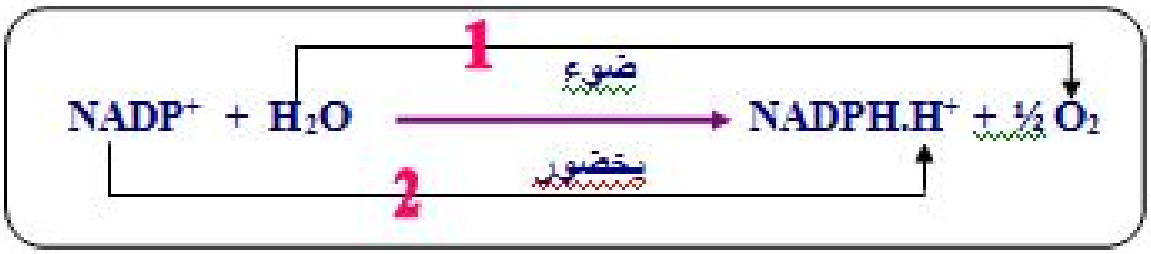
$$2T_2^{2+} + 2T_3^{+3} \longrightarrow 2T_2^{+3} + 2T_3^{+2}$$

$$2P^+_{700} + 2T_3^{+2} \longrightarrow 2T_3^{+3} + 2P_{700}$$

$$2P^*_{700} + 2T'_1{}^{+} \longrightarrow 2P^+_{700} + 2T'_1{}^{+}$$

$$2T'_1{}^{+} + 2T'_2{}^{+} \longrightarrow 2T'_1{}^{+} + 2T'_2{}^{+}$$

$$NADP^+ + 2H^+ + 2T'_2{}^{+} \longrightarrow NADPH,H^+ + 2T'_2{}^{+}$$



1 : أكسدة.
2 : إرجاع.

1 : أكسدة.
2 : إرجاع.

$$NADP^+ + e^- \longrightarrow NADP$$
$$NADP + e^- \longrightarrow NADP^-$$
$$NADP^- + H^+ \longrightarrow NADPH$$
$$NADPH + H^+ \longrightarrow NADPH,H^+$$

$$NADP^+ + 2e^- + 2H^+ \longrightarrow NADPH,H^+$$

أهم معادلات انتقال الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية :

أكسدة الماء (H_2O) :

$$H_2O \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} \frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^-$$

أكسدة الـ PS_{II} :

$$2P^*_{680} \longrightarrow 2P^+_{680} + 2e^-$$

أكسدة الـ PS_I :

$$2P^*_{700} \longrightarrow 2P^+_{700} + 2e^-$$

إرجاع المستقبل ($NADP^+$) :

$$NADP^+ + 2e^- + 2H^+ \longrightarrow NADPH,H^+$$

انتقال الـ ē من H_2O إلى PS_{II} :

$$H_2O \longrightarrow \frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^-$$
$$2P^+_{680} + 2e^- \longrightarrow 2P_{680}$$

$$H_2O + 2P^+_{680} \longrightarrow \frac{1}{2} O_2 + 2P_{680} + 2H^+$$

انتقال الـ ē من PS_{II} إلى PS_I :

$$2P_{680} \longrightarrow 2P^+_{680} + 2e^-$$
$$2P^+_{700} + 2e^- \longrightarrow 2P_{700}$$

$$2P_{680} + 2P^+_{700} \longrightarrow 2P^+_{680} + 2P_{700}$$

انتقال الـ ē من PS_I إلى $NADP^+$:

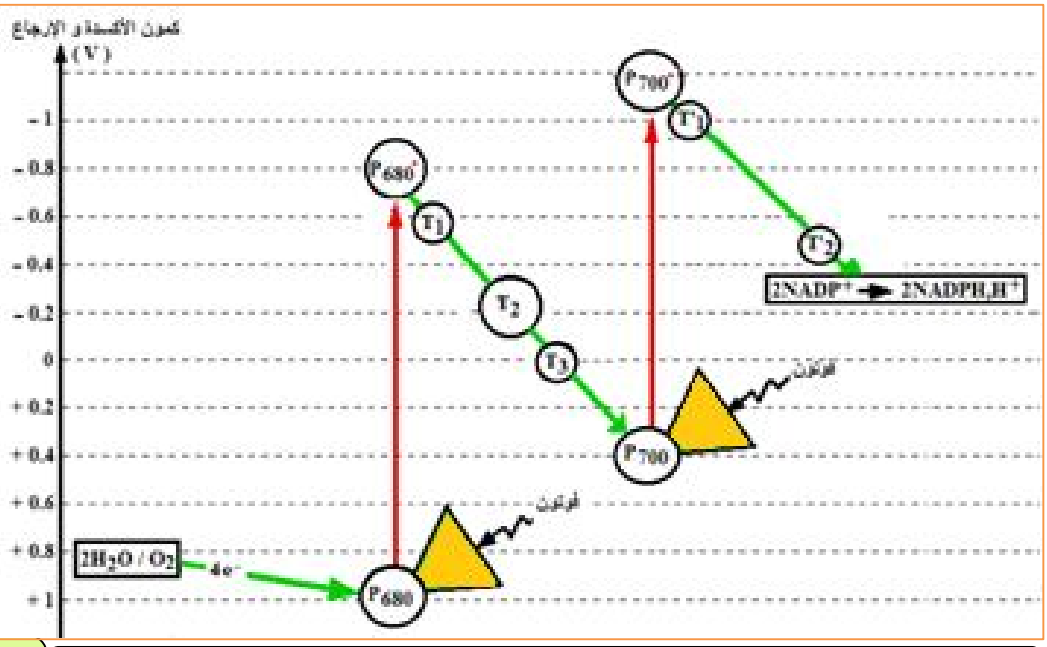
$$2P_{700} \longrightarrow 2P^+_{700} + 2e^-$$
$$NADP^+ + 2e^- + 2H^+ \longrightarrow NADPH,H^+$$

$$NADP^+ + 2P_{700} + 2H^+ \longrightarrow NADPH,H^+ + 2P^+_{700}$$

الآلية الفيزيائية التي تحدد اتجاه نقل الإلكترونات:

تسمى عملية انتقال الإلكترونات من الماء إلى غاية المستقبل النهائي لها و المتمثل في الـ $NADP^+$ و ذلك عبر سلسلة من النواقل وفقا لتفاعلات أكسدة و إرجاع بالسلسلة التركيبية الضوئية (chaîne photosynthétique) .

Couple redox	E'_0 (V)
O_2/ H_2O	+ 0,82
P_{680} / P_{680}^*	+ 0,9
P_{680}^*/P_{680}	- 0,8
Pheo (red/ox)	- 0,6
Q_A-Q_B(red/ox)	- 0,2
PQ (red/ox)	0
P_{700} / P_{700}^*	+ 0,4
P_{700}^* / P_{700}	- 1,3
Ao (red/ox)	- 1
Fd (red/ox)	- 0,42
$NADP^+$ / NADPH	-0,32



الآلية الفيزيائية التي تحدد اتجاه نقل الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية

كمونات الأكسدة و الإرجاع لعناصر السلسلة التركيبية الضوئية

$$H_2O \rightarrow PS_{II} \rightarrow T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3 \rightarrow PS_I \rightarrow T'_1 \rightarrow T'_2 \rightarrow NADP^+$$
$$+0.82 \quad +0.9 \quad -0.6 \quad -0.2 \quad 0 \quad +0.4 \quad -1 \quad -0.42 \quad -0.32$$

→ انتقال تلقائي للإلكترونات .

→ انتقال غير تلقائي للإلكترونات يتم بعد تغير كمون الأكسدة و الإرجاع لكل من PS_{II} و PS_I.

- **حدد العناصر المكونة للسلسلة التركيبية الضوئية .**

- تتألف السلسلة التركيبية من العناصر التالية :

- أنزيم أكسدة يكون دوما في بداية السلسلة ، نظامان ضوئيان ، أنزيم ضخ البروتونات المتمثل في الناقل T2 ، سلسلة من نواقل للإلكترونات (T_1 ، T_3 ، T'_1 ، T'_2) ، أنزيم إرجاع يكون دوما في نهاية السلسلة .

- أما الماء و الـ $NADP^+$ فلا يدخلان في تركيب السلسلة التركيبية الضوئية .

- فكل سلسلة نقل تبدأ دوما بأنزيم مؤكسد وتنتهي بأنزيم مرجع و بينهما سلسلة نواقل للاكترونات .

- **ماذا يمثل هذا المخطط ؟**

- يمثل هذا المخطط تفاعلات الأكسدة والإرجاع للسلسلة التركيبية الضوئية .

- **ما هي الآلية التي تنتقل بها الإلكترونات بين عناصر السلسلة التركيبية الضوئية ؟**

- تنتقل الإلكترونات بصورة تلقائية من ناقل ذي كمون أكسدة و إرجاع منخفض (طاقة عالية) إلى ناقل ذي كمون أكسدة و إرجاع مرتفع (طاقة منخفضة) مع تحرير طاقة .

- حدد العناصر التي يمكن للإلكترونات أن تنتقل بينها بصورة تلقائية .

- من H_2O إلى PS_{II} ، و من T_1 إلى T_2 إلى T_3 إلى PS_I و من T'_1 إلى $T'2$ إلى الـ $NADP^+$.

- حدد العناصر التي لا يمكن للإلكترونات أن تنتقل بينها بصورة تلقائية ، و ذلك في غياب الضوء .

- من PS_{II} إلى T_1 ، و من PS_I إلى T'_1 .

- بين سبب عدم انتقال الإلكترونات في هذه الحالة .

- لأن كمون الأكسدة و الإرجاع لـ PS_{II} أكبر من كمون الأكسدة و الإرجاع لـ T_1 .
و كمون الأكسدة و الإرجاع لـ PS_I أكبر من كمون الأكسدة و الإرجاع لـ T'_1 .
- و بالتالي لا يمكن انتقال الإلكترونات من كمون مرتفع إلى كمون منخفض .

- في وجود الضوء يصبح انتقال الإلكترونات بين هذه العناصر ممكنا . وضح ذلك .

- يتهيج النظام الضوئي (PS_{II}) بعد اقتناصه للطاقة الضوئية فينخفض كمون أكسدته الإرجاعية ، مما ينتج عنه انتقال تلقائي للإلكترونات نحو السلسلة التركيبية الأولى (T_1 ، T_2 ، T_3 ، PS_I) .
- يتهيج النظام الضوئي (PS_I) بعد اقتناصه للطاقة الضوئية فينخفض كمون أكسدته الإرجاعية ، مما ينتج عنه انتقال تلقائي للإلكترونات نحو السلسلة التركيبية الثانية (T'_1،T'_2) لتصل إلى آخر مستقبل و المتمثل في الـ $NADP^+$.

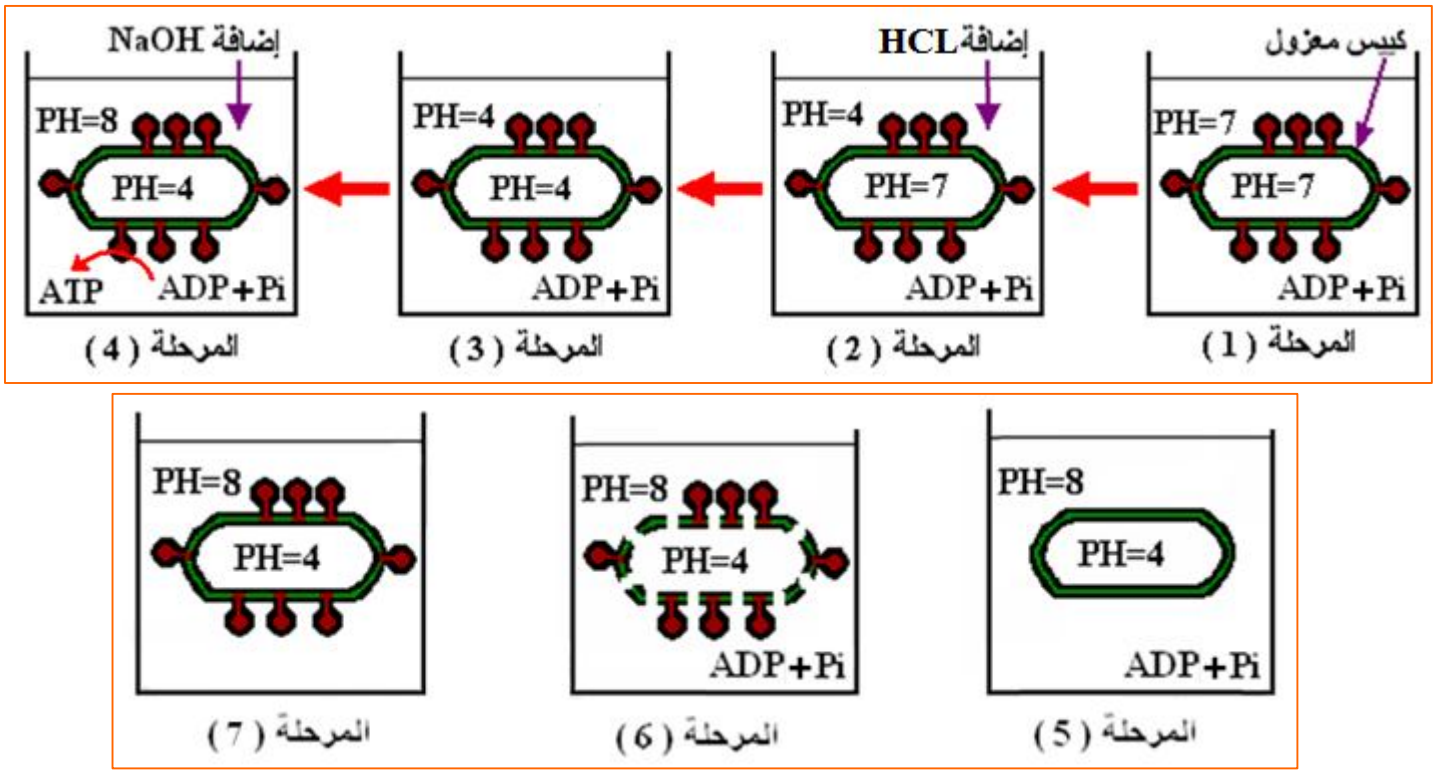
- اشرح مخطط انتقال الإلكترونات ضمن السلسلة التركيبية الضوئية .

- تنتقل الإلكترونات بصورة تلقائية من ناقل ذي كمون أكسدة و إرجاع منخفض إلى ناقل ذي كمون أكسدة و إرجاع مرتفع مع تحرير طاقة .
- تبدأ حركة الإلكترونات من الماء إلى المستقبل النهائي عبر الأنظمة الضوئية (PS_{II} و PS_I) و جملة من النواقل (T'_2 , T'_1 , T_3 , T_2 , T_1) .
- و لا يمكن لهذه الحركة أن تتم بصورة تلقائية لأن كمون الأكسدة و الإرجاع للماء (+ 0.8 v) أعلى من كمون الأكسدة و الإرجاع للمستقبل النهائي (+NADP) (– 0.32 فولط) ، و لكي تتم هذه الحركة تتدخل الفوتونات الضوئية من أجل تحفيز النظام الضوئي (PS_{II}) و الانتقال به من كمون أكسدة و إرجاع عال (+ 0.9 فولط) إلى كمون أكسدة و إرجاع منخفض (– 0.2 v) ، و هذا ما يسمح بانتقال الإلكترونات من PS_{II} إلى PS_I ، كما تحفز الفوتونات الضوئية النظام الضوئي (PS_I) ذي كمون أكسدة و إرجاع عال (+ 0.4 v) و الانتقال به إلى كمون أكسدة و إرجاع منخفض (– 0.6 v) ، و هذا ما يسمح بانتقال الإلكترونات إلى المستقبل النهائي ($NADP^+$) عبر النواقل .
- أما انتقال الإلكترونات من الماء إلى النظام الضوئي (PS_{II}) فيكون تلقائيا من كمون منخفض (0.8 v) إلى كمون مرتفع (+ 0.9 فولط) .

ج – مصير البروتونات المتراكمة داخل التجويف:

- أثناء انتقال الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية تحرر منها طاقة (يمكن ملاحظتها من خلال ارتفاع كمون الأكسدة / الإرجاع) تستعمل في نقل البروتونات (H^+) من الحشوة إلى داخل تجويف الكييس بواسطة الناقل T_2 الذي يقوم بدور المضخة لإدخال البروتونات من الحشوة إلى التجويف مما يؤدي إلى تكون فرق في تركيز البروتونات (نقل فعال) .
- فما هو مصير هذه البروتونات التي يتم إدخالها إلى تجويف الكييس إلى جانب البروتونات الناتجة عن تحلل الماء ؟
- لتوضيح ذلك نستعرض التجربة التي أجراها العالم ياغندروف André Jagendrof و ذلك اعتمادا على النظرية الكيموأسموزية للعالم ميتشال Peter Mitchell .

تم في هذه التجربة وضع كييسات معزولة في الظلام و في وسط ذي PH محدد و يحتوي على الـ ADP و الـ Pi . التركيب التجريبي و مراحل التجربة موضحة في الوثيقة – 12 – .



الوثيقة – 12 –

- **ماذا يمكن قوله عن PH الوسط و تجويف التيلاكوئيد في المرحلتين (1) و (2) ؟**

– **في المرحلة (1) :** قيمة PH تجويف الكييس تساوي قيمة الـ PH الوسط الخارجي و عليه يكون تركيز البروتونات (H^+) في تجويف الكييس مساويا لتركيز البروتونات (H^+) في الوسط الخارجي .

– **في المرحلة (2) :** قيمة PH تجويف الكييس أعلى من قيمة PH الوسط الخارجي و عليه يكون تركيز البروتونات (H^+) في تجويف الكييس أقل من تركيز البروتونات (H^+) في الوسط الخارجي.

- **قدم إذن تعريفا لمفهوم الـ PH .**

– يعرف الـ PH على أساس أنه تركيز البروتونات(H^+) في الوسط و يتناسب عكسيا مع تركيز البروتونات أي أن تركيز البروتونات يكون مرتفعا في الـ PH المنخفض و العكس صحيح .

- **قدم تفسيرا شارديا لاختلاف PH الوسط عن PH تجويف الكييس في المرحلة (2).**

– التفسير الشاردي للوسطين مرتبط بتركيز البروتونات (H^+) بهما ، حيث تركيزها خارج الكييس أكبر من تركيزها داخله .

- **علل تغير PH تجويف الكييس في المرحلة (3) .**

– نفسر ذلك بدخول البروتونات (H^+) من الوسط الخارجي إلى تجويف الكييس .

- علل إضافة الصودا NaOH للوسط في المرحلة 4 .

- إضافة الصودا (NaOH) تعمل على رفع قيمة PH الوسط الخارجي مما تسمح بإحداث فرق في تركيز البروتونات (H^+) بين تجويف الكييس و خارجه .

- كيف تفسر نتائج المراحل (5) ، (6) و (7) ؟

- عدم تركيب الـ ATP في المرحلة (5) لغياب الكريات المذنبة .
- عدم تركيب الـ ATP في المرحلة (6) لغياب تدرج تركيز البروتونات (H^+) على جانبي الغشاء .
- عدم تركيب الـ ATP في المرحلة (7) لعدم وجود كل من الـ ADP و الـ Pi.

- ما الغرض من إجراء التجربة في الظلام ؟

- لمنع تأثير الضوء المسؤول طبيعيا على أكسدة الماء لإنتاج البروتونات التي تعمل على تكوين فرق في التركيز و إثبات أن تركيب الـ ATP من الـ ADP و الـ Pi مرتبط بفرق تركيز البروتونات (H^+) على جانبي غشاء الكييس .

- إذا علمت أن نقل الـ H^+ عبر غشاء التيلاكوئيد من الخارج نحو الداخل يتم بواسطة الناقل T_2 ، و أن خروجها يتم عبر الكرات المذنبة ، التي تقوم بدور أنزيم لتركيب الـ ATP (ATP synthase) :

استخرج آلية تركيب الـ ATP انطلاقا من الـ ADP و الـ Pi في المرحلة 4 من التجربة محددا الطاقة التي أدت إلى تشكل الـ ATP .

- يتم تركيب الـ ATP بواسطة أنزيم ATP synthase انطلاقا من الـ ADP و الـ Pi ، حيث يقوم الأنزيم بتشكيل رابطة كيميائية بين الـ ADP و الـ Pi باستعمال طاقة تستمد من خروج البروتونات عبر هذا الأنزيم ، كما توضحه نظرية ميتشال .

- يطلق على التفاعل المشكل للـ ATP اسم الفسفرة الضوئية .

* قدم تعريفا لمفهوم الفسفرة الضوئية :

- هو تفاعل كيميائي محفز أنزيميا و الذي يسمح بتثبيت مجموعة فوسفات لاعضوي (Pi) على الـ ADP في وجود الطاقة الضوئية .

* لخص تفاعل تركيب الـ ATP (الفسفرة الضوئية) في معادلة إجمالية .

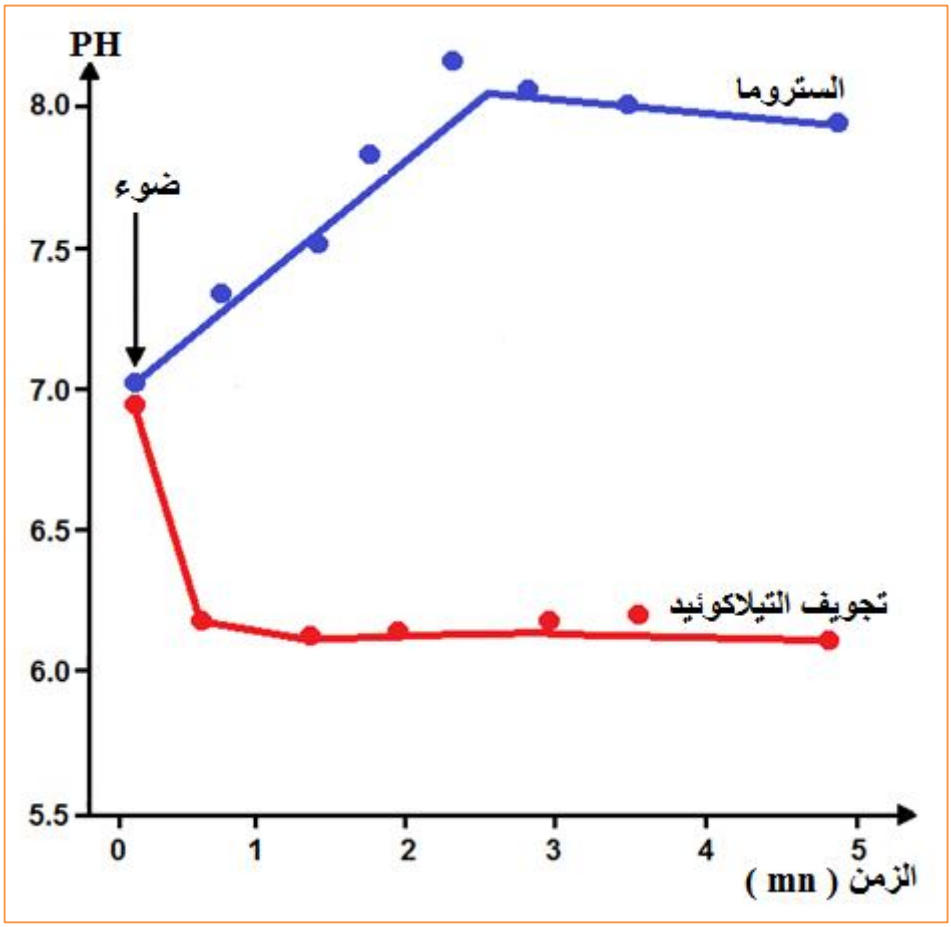
$$ADP + Pi \xrightarrow{\text{ATP synthase}} ATP + H_2O$$

- استنتج مما سبق شروط تركيب الـ ATP .

- وجود فرق في تركيز البروتونات بين تجويف الكييس و خارجه (تركيزها في التجويف أكبر من تركيزها في الخارج).
- سلامة الكريات المذنبة .
- سلامة غشاء التيلاكوئيد .
- توفر كل من الـ ADP و الـ Pi .

د – العلاقة بين الطاقة المحررة و تشكيل جزيئات الـ ATP :

سمح تتبع تغيرات تركيز الـ (H^+) و ذلك بقياس الـ PH في الستروما و تجويف التيلاكوئيد المعزولة و المضاءة بشدة خلال عدة دقائق من الحصول على النتائج الممثلة في الوثيقة التالية :



- استخرج من الوثيقة العلاقة الموجودة بين الضوء و تركيز الـ (H^+) داخل و خارج الكييسات .

- في وجود الضوء تزداد درجة حموضة (PH) الستروما الناتجة عن انخفاض في تركيز الـ (H^+) و يتزامن ذلك مع انخفاض في درجة حموضة تجويف التيلاكوئيد الناجمة عن زيادة تركيز الـ (H^+) .

- كيف يمكنك تفسير النتائج الممثلة في الوثيقة ؟

- يمكن تفسير زيادة تركيز الـ (H^+) داخل تجويف التيلاكوئيد و تزامنها مع انخفاض تركيز الـ (H^+) في الستروما بدخول هذه البروتونات من الستروما إلى تجويف التيلاكوئيد .

- كيف تفسر الانخفاض السريع لدرجة حموضة تجويف التيلاكوئيد خلال الـ 30 ثانية ؟

- تفسر الزيادة المعتبرة للـ (H^+) داخل تجويف التيلاكوئيد بدخول(H^+) الستروما مضاف إليها الـ (H^+) الناتجة عن تفكيك الماء .

- يطلق على التفاعل المشكل للـ ATP اسم الفسفرة الضوئية :

قدم تعريفا لمفهوم الفسفرة الضوئية

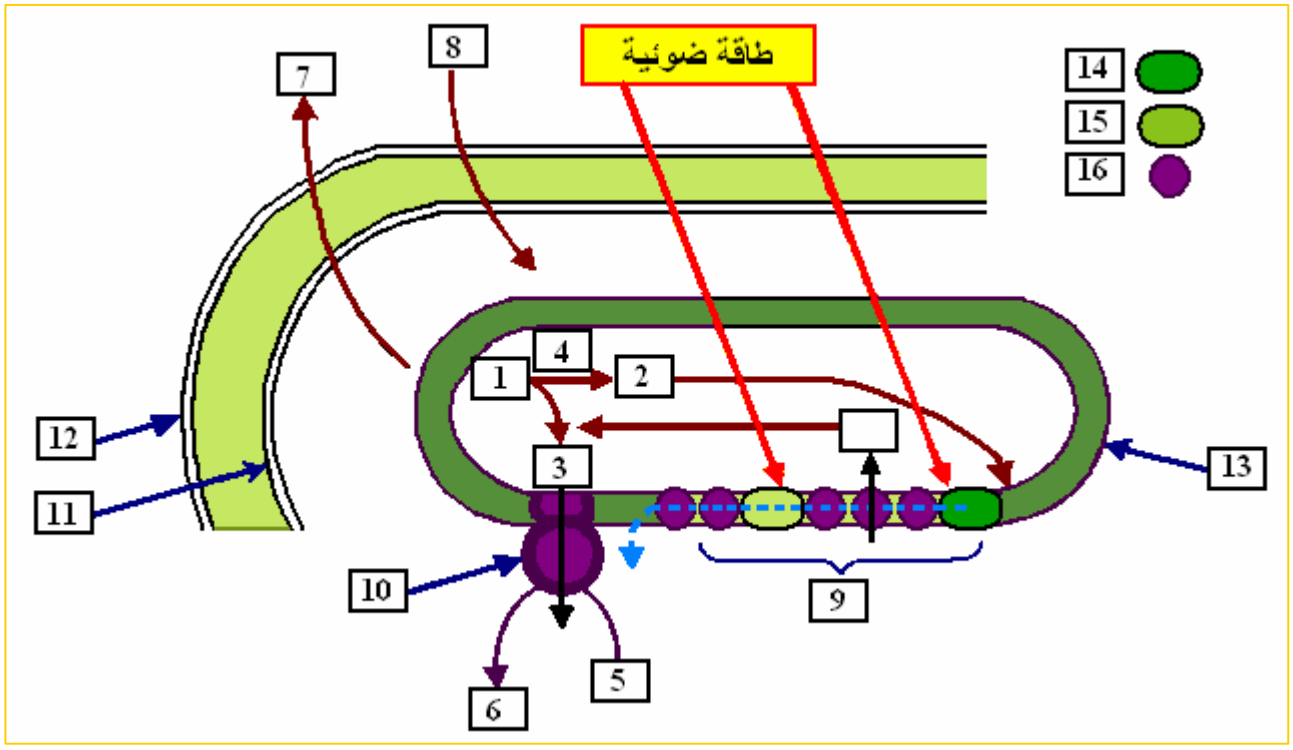
- هو تفاعل كيميائي محفز أنزيميا و الذي يسمح بتثبيت مجموعة فوسفات لاعضوي (Pi) على الـ ADP في وجود الطاقة الضوئية .

- أكتب المعادلة الموافقة .

$$ADP + Pi \xrightarrow{H^+} ATP + H_2O$$

هـ - توضيح مختلف تفاعلات المرحلة الكيموضوئية :

تمثل الوثيقة ـ 13 ـ رسما تخطيطيا يوضح مختلف التفاعلات في المرحلة الكيموضوئية .



الوثيقة ـ 13 ـ

- **انطلاقا من المعلومات المتوصل إليها من خلال النشاطات السابقة :**

❖ **أكتب بيانات الوثيقة ـ 13 ـ .**

1 : H_2O ، 2 : e^- ، 3 : H^+ ، 4 :أكسدة الماء ، 5 : Pi +ADP ، 6 : ATP ، 7 : O_2 ، 8 : CO_2

9 : سلسلة تركيبية ضوئية ، 10 : ATP سنتاز ، 11 : غشاء داخلي ، 12 : غشاء خارجي

13 :غشاء الكيس (التيلاكوئيد) ، 14 : PSII ، 15 : PSI ، 16 : نواقل للإلكترونات.

❖ **استخلص نواتج المرحلة الكيموضوئية .**

الأكسجين (O_2) ، الـ ATP ، الـ $NADPH,H^+$.

❖ **حدد دور العنصرين (14 و 15) في هذه المرحلة .**

- تعتبر مسؤولة على استقبال و تحويل الطاقة الضوئية في صورة إلكترونات غنية بالطاقة .

❖ **ما مصدر البروتونات و الإلكترونات التي يتم نقلها على مستوى الأغشية ؟**

مصدر الإلكترونات : هناك مصدران للإلكترونات :

- مصدر ناتج عن أكسدة الأنظمة الضوئية PS_I و PS_{II} تحت تأثير الضوء .
- مصدر ناتج عن التحلل الضوئي للماء .

مصدر البروتونات : تنتج عن التحلل الضوئي للماء .

❖ **ما مصير البروتونات و الإلكترونات المتحررة ؟**

مصير إلكترونات الماء: تستقبل من طرف PS_{II} المؤكسد لتعويض إلكتروناته التي فقدها تحت تأثير الضوء حتى يستعيد قدرته على تحرير إلكترونات من جديد ، و بالتالي استمرار عملية التركيب الضوئي .

مصير الإلكترونات المفقودة من PS_{II}: تنتقل عبر سلسلة من النواقل لتستقبل من طرف PS_I المؤكسد حتى يستعيد قدرته على تحرير إلكترونات من جديد .

مصير الإلكترونات المفقودة من PS_I : تنتقل عبر سلسلة من النواقل لتستقبل من طرف المستقبل الطبيعي النهائي في الحشوة و المتمثل في $NADP^+$ المؤكسد .

مصير بروتونات الماء : تضخ في تجويف التيلاكوئيد ثم تخرج عبر الكريات المذنبة لتستقبل إلى جانب الإلكترونات من طرف المستقبل الطبيعي النهائي في الحشوة و المتمثل في الـ $NADP^+$ المؤكسد .

❖ حدد نواتج المرحلة الكيموضوئية.

- $NADPH,H^+$ ، ATP و الـ O_2.

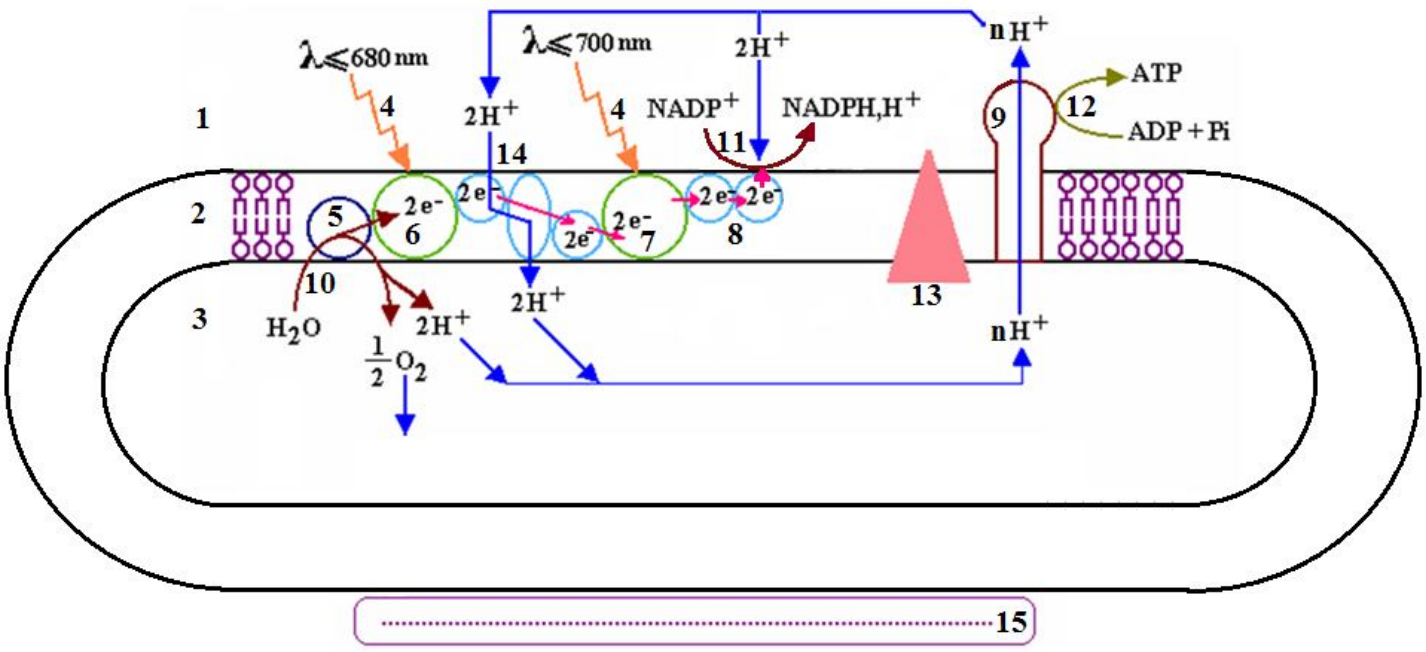
❖ حدد المحصلة الطاقوية النهائية للتحلل الضوئي .

- $NADPH,H^+$ و ATP .

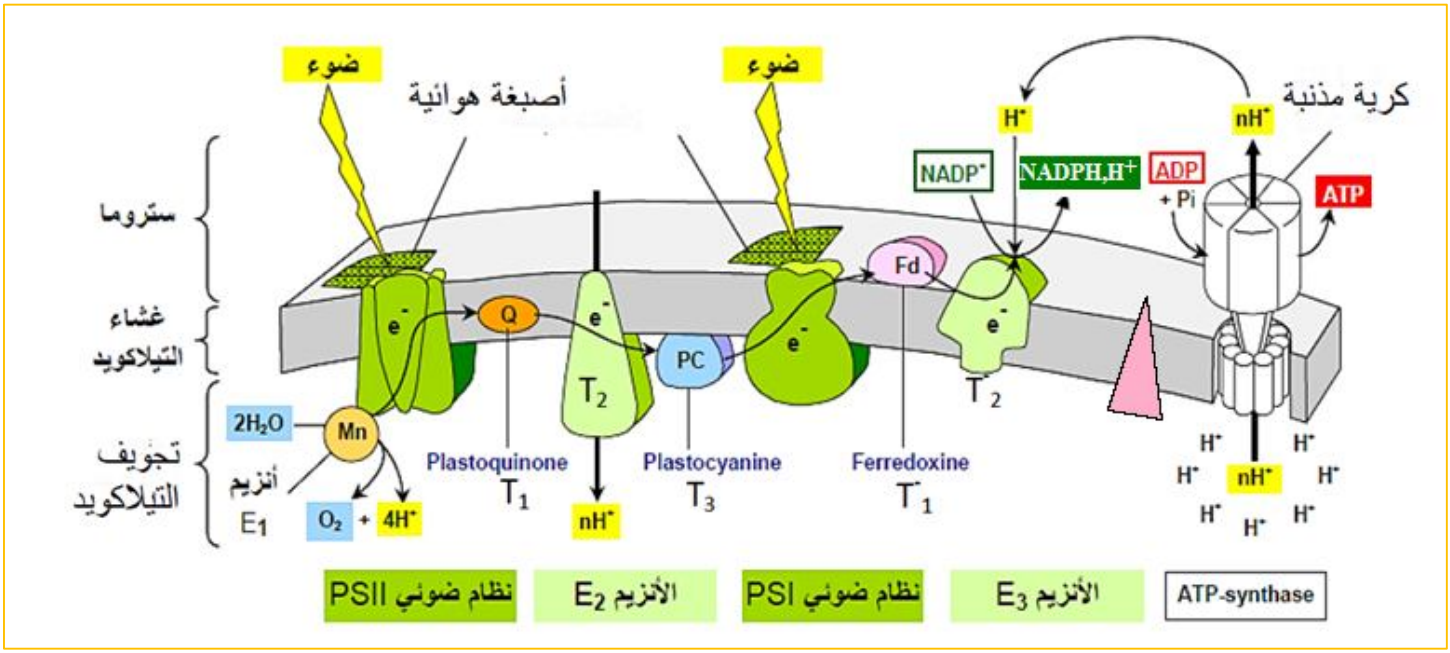
❖ ما مصير النواتج النهائية لها ؟

- تسعمل في المرحلة الكيموحيوية .

● بالاستعانة بأشكال الوثيقة ــ 2 ــ ، أنجز رسما تخطيطيا وظيفيا متقنا تبين فيه آلية حدوث المرحلة الكيموضوئية من عملية التركيب الضوئي .



1: حشوة ، 2 : غشاء الكييس ، 3 : تجويف الكييس ، 4 : فوتونات ضوئية ، 5 : أنزيم أكسدة الماء ، 6 : PS_{II}
7 : PS_I ، 8 : نواقل للإلكترونات ، 9 : كرية مذنبة ، 10 : أكسدة الماء ، 11 : إرجاع النواقل 12 : فسفرة الـ ADP
13 : تدرج في تركيز البروتونات ، 14 : نقل موضعي للبروتونات ، 15 : مخطط للمرحلة الكيموضوئية .



- **اشرح آلية حدوث المرحلة الكيموضوئية :**

- تتأكسد جزيئات اليخضور لمركزي التفاعل تحت تأثير الفوتوناتالضوئيةّ ، فتفقد إلكتروناتها.
- يتأكسد الماء ضوئيا ، فتتحرر إلكترونات (e^-) و بروتونات (H^+) و ينطلق الأكسجين (O_2) .
- تسترجع جزيئّات اليخضور المؤكسدةضوئياً حالتها المرجعة ، من التحلل الضوئي للماء (الأكسدة الضوئيةّ للماء) فتصبح قابلةللتنبيهٌ مرة أخرى.
- تنتقل الإلكترونات الناتجة من مركز التفاعل عبر سلسلة من النواقل متزايدّة كمون الأكسدة و الإرجاع لتستقبل في الأخيرٌ إضافة إلى البروتونات من قبل مستقبل نهائي يدعى الـ $NADP^+$ (نيكوتين أميد ثنائي نوكليوتيد فوسفات) فيرجع إلى $NADPH.H^+$ بواسطة أنزيمٌ الـ NADP ريدوكتاز .
- يصاحب نقل الإلكترونات على طول سلسلة الأكسدة الإرجاعية تحرر طاقة تسمح بدخول البروتونات (H^+) من الحشوة نحو تجويف التيلاكوئيد عبر الناقل T_2 (نقل موضعي) .
- البروتونات الناتجة عن التحلل الضوئي للماء وتلك المنقولة من الحشوة باتجاه تجويف التيلاكوئيد عبر الناقل T_2 تتراكم في الحشوة محدثة تدرجا في تركيزها ، مما يسمح لها بخروجها عبر الكريات المذنبة (ATP سنتاز) ، حيث تتحرر طاقة تستعمل في فسفرة الـ ADP إلى ATP في وجود الفوسفات اللاعضوي (Pi)، إنها الفسفرة الضوئية .
- تتمثل نواتج هذه المرحلة في انطلاق الأكسجين (O_2) و إنتاج الطاقة في شكلين كامنين ، النوع الأول كامنة في إلكترونات المستقبل المرجع ($NADPH.H^+$) ، و الثانية كامنة في جزيئات الـ ATP .

- **أكتب المعادلة الإجمالية لتفاعلات المرحلة الكيموضوئية :**

1 – معادلة التحلل الضوئي للماء :

ضوء / يخضور

$$H_2O \longrightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2e^- + 2H^+$$

2 – معادلة إرجاع المستقبل النهائي :

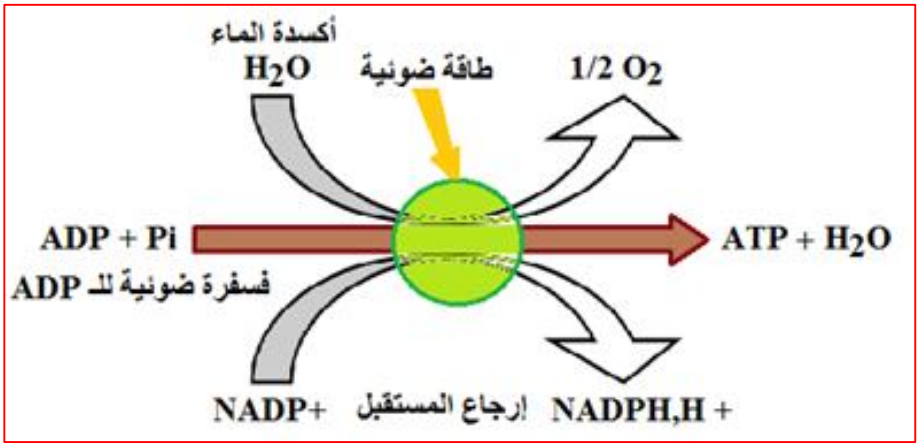
$$NADP^+ + 2e^- + 2H^+ \longrightarrow NADPH,H^+$$

3 – معادلة تشكل الـ ATP :

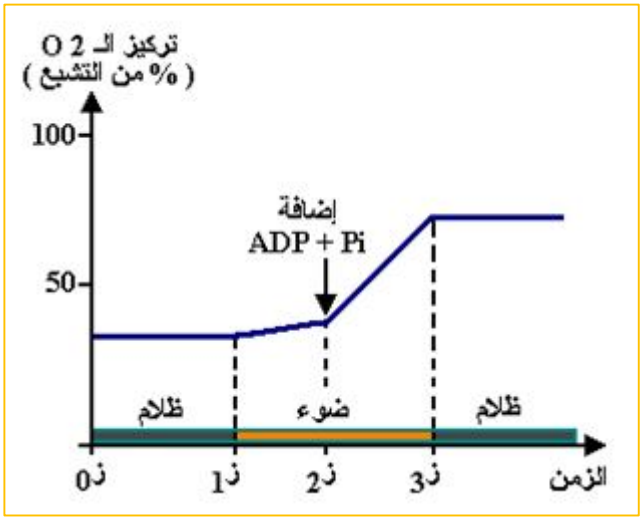
$$ADP + Pi \longrightarrow ATP$$

المعادلة الإجمالية :

$$H_2O + NADP^+ + ADP + Pi \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} NADPH,H^+ + ATP + \frac{1}{2}O_2 \nearrow$$



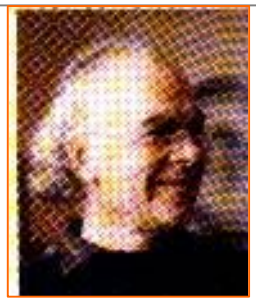
- **كيف تفسر تحفيز الـ ADP و الـ Pi انطلاق الـ O_2 ؟**

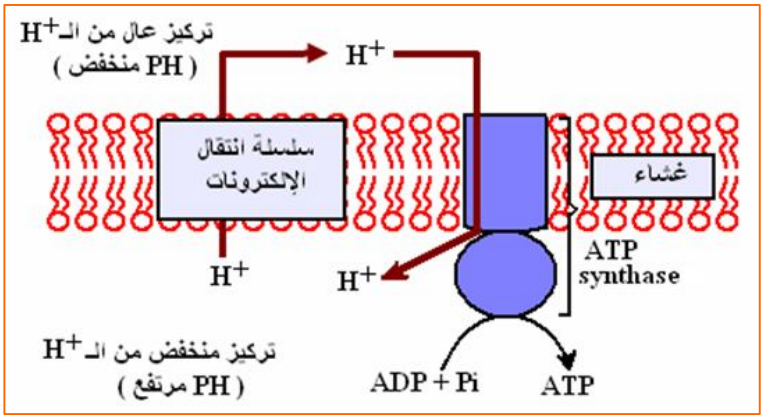


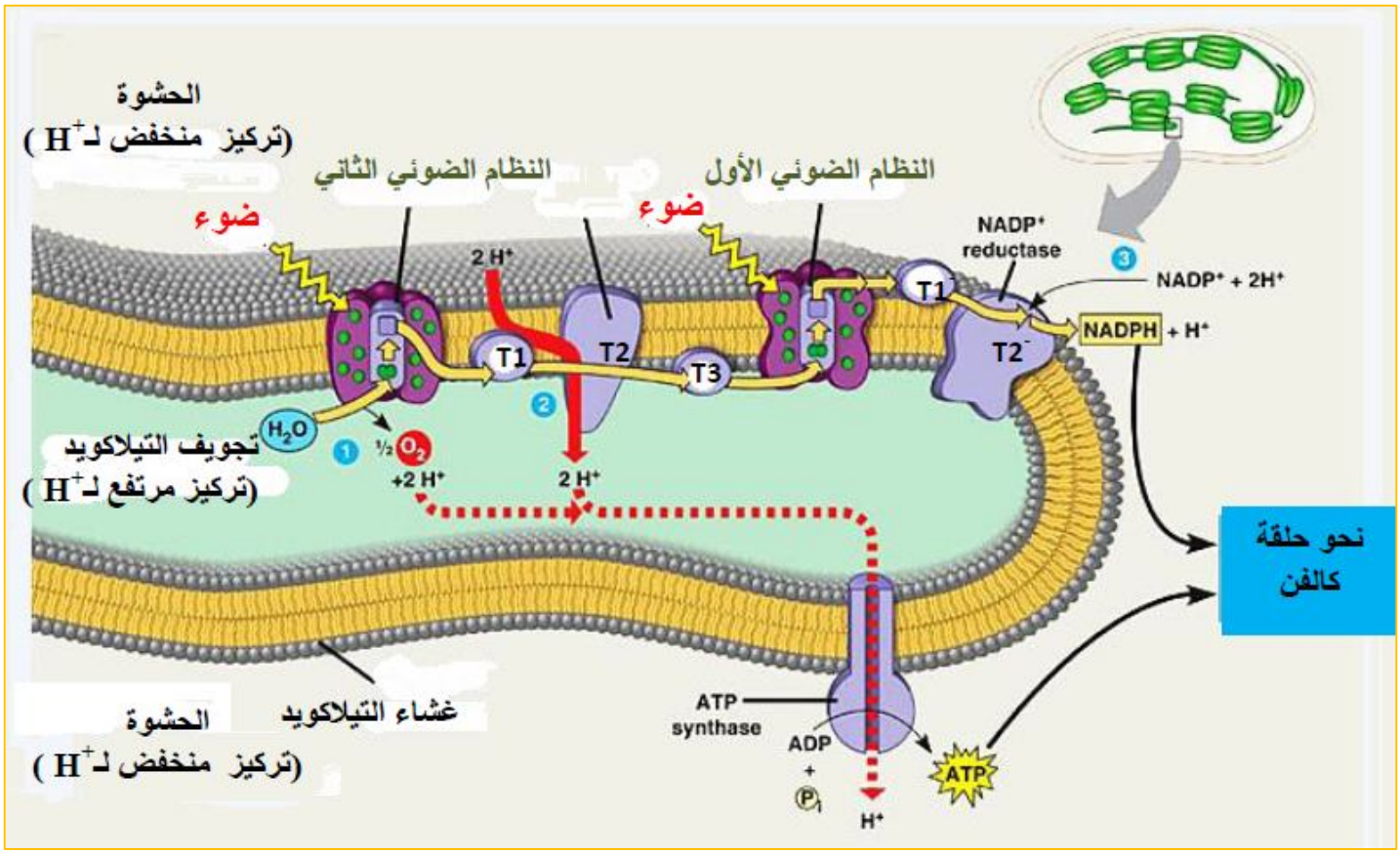
- انتقال الـ é من T_1 إلى T_2 يحرر طاقة تسمح بفسفرة الـ ADP و تشكيل الـ ATP .
- أكسدة الماء تتطلب انتقال الـ é و وصولها إلى المستقبل النهائي $NADP^+$ ، و في غياب الـ ADP و الـ Pi لا تنتقل الـ é من T_1 إلى T_2 و لا يتأكسد الماء و لا ينطلق الأكسجين .
- و عليه فإن الـ ADP و الـ Pi يحفزان انطلاق الأكسجين .

معلومات مفيدة :

- العالم Peter Mitchell : عالم أنجليزي ولد في 1920 في مدينة ساري في إنجلترا و درس في مدينة كامبريدج و تحصل على الدكتوراه في الكيمياء الحيوية في جامعة كامبريدج سنة 1951 قام بأعمال بحثه التي أثمرت باقتراح الفرضية الكيموأسموزية في بداية الستينيات و التي أصبحت نظرية بعد أن تم إثباتها علميا و تحصل على جائزة نوبل عام 1978 . توفي العالم ميتشال سنة 1992 .






الحشوة
(تركيز منخفض لـ H^+)
النظام الضوئي الثاني
النظام الضوئي الأول
ضوء
ضوء
2 H+
NADP+ reductase
NADP+ + 2H+
NADPH + H+
T1
T2
T3
T1
T2
H_2O
$\frac{1}{2}O_2$
+2 H+
2 H+
تجويف التيلاكويد
(تركيز مرتفع لـ H^+)
نحو حلقة كالفن
غشاء التيلاكويد
الحشوة
(تركيز منخفض لـ H^+)
ATP synthase
ADP + P_i
ATP
H+

المجال التعلمي II : التحولات الطاقوية .
الوحدة الأولى : آليات تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة .
الحصة التعلمية 4: تفاعلات المرحلة الكيموحيوية .

أ ــ وضعية الانطلاق :

من شروط عملية التركيب الضوئي توفر غاز الـ CO_2 ، كما أن التركيب الضوئي يؤدي إلى تصنيع جزيئات عضوية .

ب ـ الإشكاليات :

- فما هو مصير الـ CO_2 الممتص ؟
- و ما هو مصير نواتج المرحلة الضوئية المتمثلة في الـ $NADPH,H^+$ و الـ ATP ؟
- و كيف يتم تصنيع الجزيئات العضوية ؟

ج ــ الفرضيات :

- يمتص من طرف النبات لتصنيع الجزيئات العضوية .
- تستعمل في المرحلة الكيموحيوية .
- تحدث مجموعة من التفاعلات تنتهي بتركيب جزيئات عضوية انطلاقا من غاز الـ CO_2 الممتص .

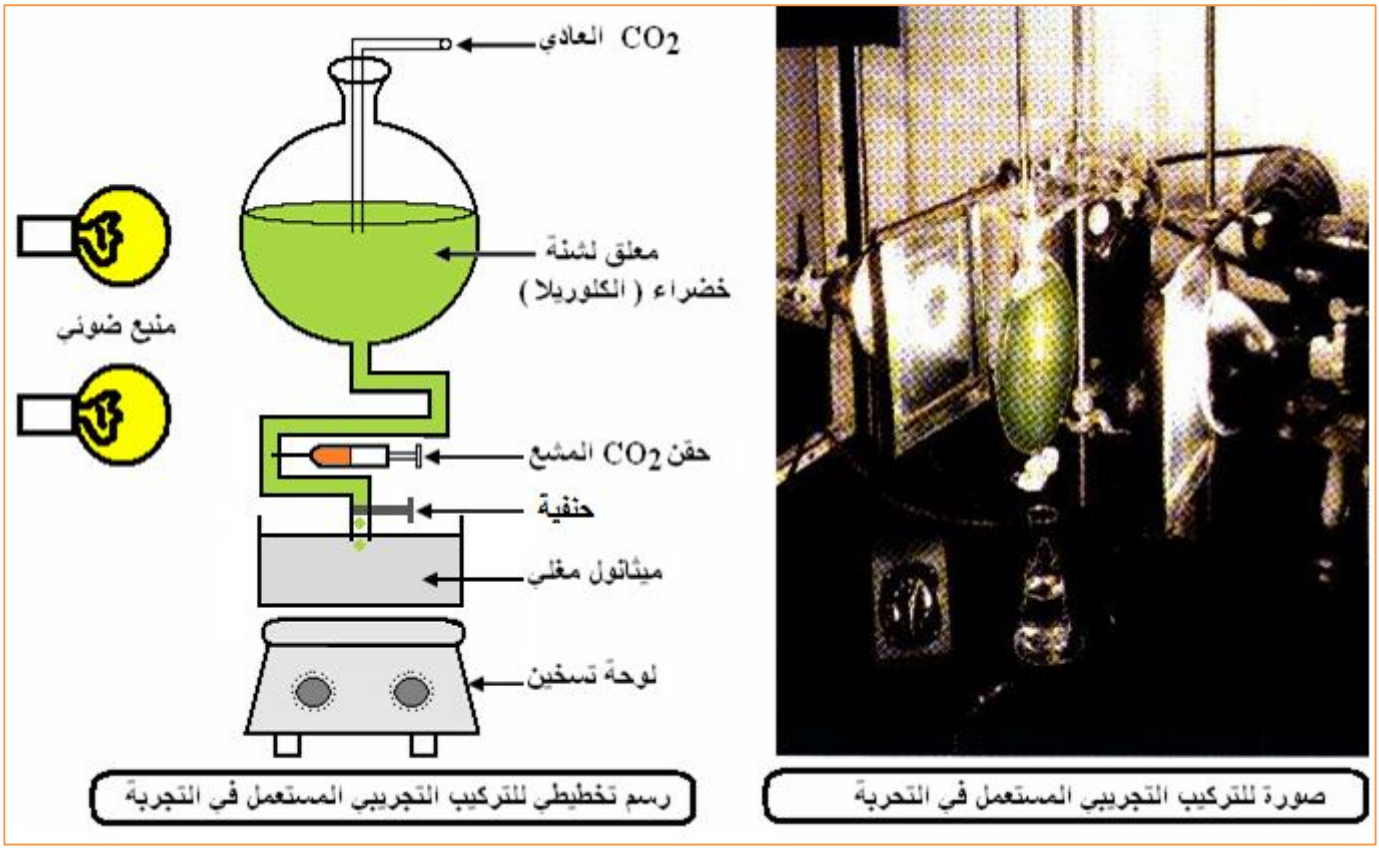
د ــ التقصي :

1 ــ تثبيت غاز الـ CO_2: les expériences de Calvin (1952) et Bassham et Calvin (1959)

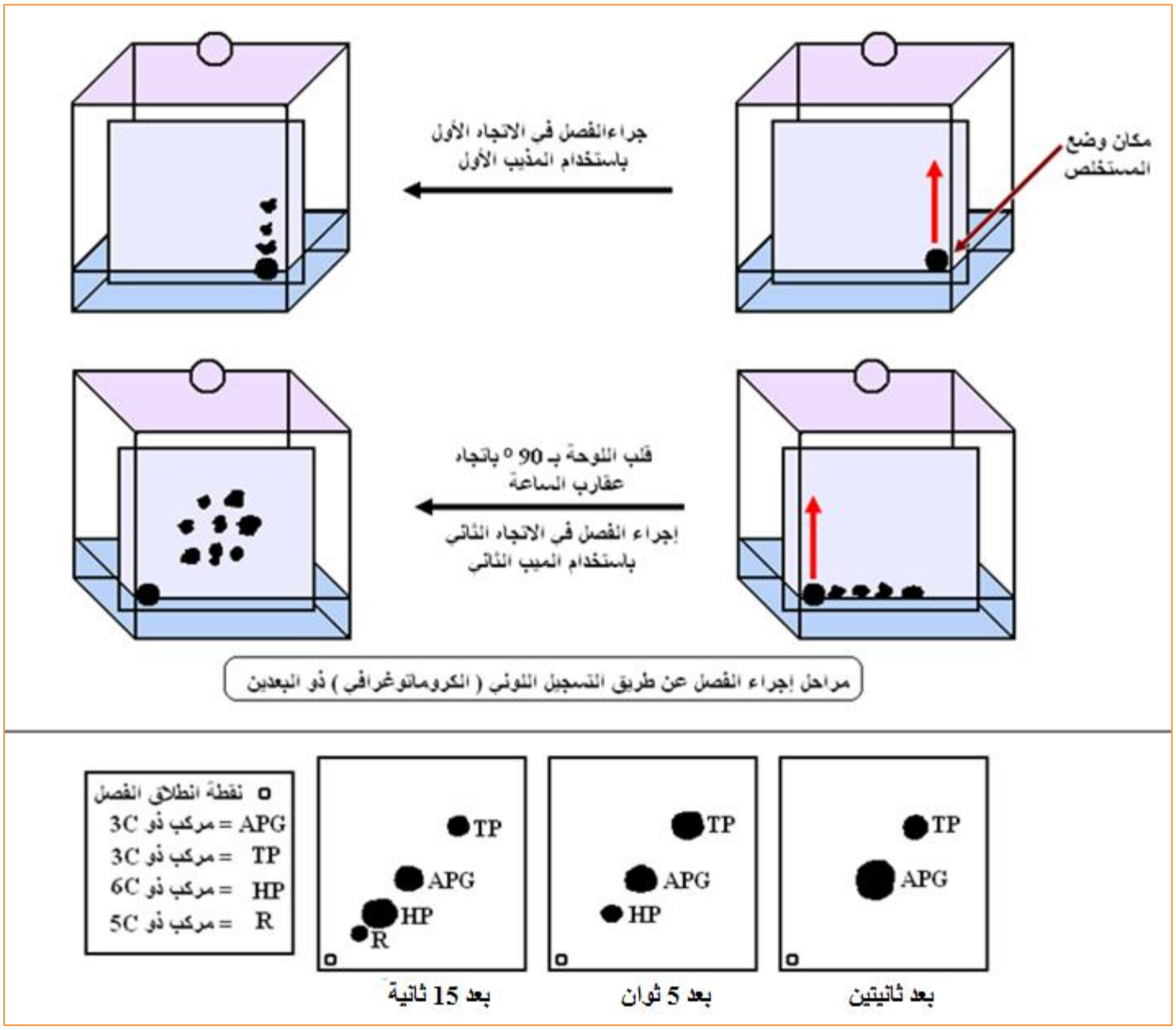
قصد التعرف على مصير غاز الـ CO_2 المستهلك ، أنجزت التجربة الموضحة في التركيب التجريبي في الوثيقة ـ 1 ـ ، حيث قام العالم كالفن و مساعدوه بوضع معلق أشنة خضراء (الكلوريلا) في وعاء شفاف و معرض للضوء يسمح للأشنة بالقيام بعملية التركيب الضوئي و مزود بـ CO_2 عادي و ذلك تحت شروط ثابتة من الحرارة و الضوء .

باستعمال مضخة يتم ضخ كميات من المعلق عبر أنبوب ثاني به ميثانول مغلي ، يحقن المعلق بالـ $^{14}\dot{C}O_2$ المشع ، يمكن التحكم في مدة تعريض الأشنة لغاز الـ $^{14}\dot{C}O_2$ المشع في فترات تمتد من ثانية واحدة إلى عدة دقائق .

الوثيقة ـ 1 ـ



باستعمال تقنية خاصة تجمع بين التسجيل ذي البعدين و التصوير الإشعاعي الذاتي ، يتم التعرف على محتوى مستخلص الأشنة الذي يوضح تثبيت غاز الـ $^{14}CO_2$ المشع و دمجه في مركبات عضوية وسطية مختلفة ممثلة في تقنية التسجيل اللوني (الكروماتوغرافي) ذي البعدين الذي نتائجه موضحة في الوثيقة ـ 2 ـ .



الوثيقة ـ 2 ـ

- علل الهدف من استعمال الـ $^{14}CO_2$ المشع .
- يسمح بتتبع نواتج تثبيته و المركبات الناتجة من ذلك .
- علل الهدف من استقبال مستخلص الأشنة في ميثانول (كحول) مغلي .
- لتوقيف التفاعلات الكيميائية و استخلاص المركبات و ذلك بقتل الأشنة في فترات زمنية محددة .
- حدد فائدة استعمال التسجيل اللوني (الكروماتوغرافي) ذي البعدين .
- يسمح بفصل المكونات و التعرف عليها .
- ماذا تمثل البقع المحصل عليها ؟
- البقع المتحصل عليها تمثل المركبات التي تم تشكيلها أثناء حدوث عملية التركيب الضوئي و التي من خلالها تم دمج الـ CO_2 ذو الكربون المشع .

- باستغلال نتائج التسجيل حدد أول مركب يظهر فيه الإشعاع بعد إدماج الـ CO_2 .
- يعتبر الـ APG أول مركب يظهر فيه الإشعاع ، و بذلك فهو أول مركب يتم تصنيعه في الدورة.
- على ماذا يدل ظهور الإشعاع في مركبات أخرى إذا طالت التجربة .
- زمن ظهور البقع يشير إلى ترتيب تشكلها .
- اعتمادا على هذه النتائج ، اقترح ترتيبا حسب التسلسل الزمني للمركبات المتشكلة أثناء هذه المرحلة .
- $APG \longrightarrow TP \longrightarrow HP \longrightarrow R$
- باعتبار أن تفاعلات المرحلة الكيموضوئية تتم على مستوى التيلاكوئيد و هي تحتاج إلى ضوء ، بينما دمج غاز الـ CO_2 لا يحتاج إلى ضوء ، حدد إذن على أي مستوى في الصانعة الخضراء يتم دمج الـ CO_2 (مقر هذه التفاعلات) .
- يتم في الحشوة .
- استخلص مما سبق شروط دمج الـ CO_2 .
- توفر كل من غاز الـ CO_2 و نواتج المرحلة الكيموضوئية (الـ $NADPH,H^+$ و الـ ATP).
- ما هي الفرضيات التي تقدمها فيما يخص مصدر الـ APG ؟
- الفرضية الأولى : ينتج الـ APG عن تكاثف ثلاث جزيئات من الـ CO_2 .

$$CO_2 + CO_2 + CO_2 \longrightarrow C_3\ (APG)$$

- الفرضية الثانية : ينتج الـ APG عن ارتباط جزيئة CO_2 مع مركب ثنائي الكربون (C_2) .

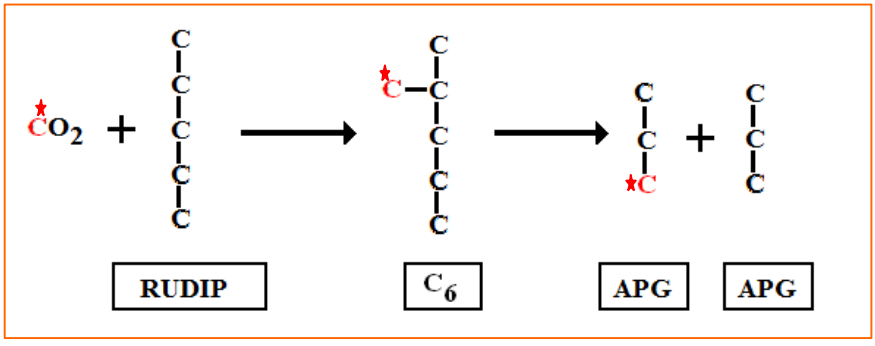
$$CO_2 + C_2 \longrightarrow C_3\ (APG)$$

- الفرضية الثالثة : ينتج الـ APG عن ارتباط جزيئة CO_2 مع مركب خماسي الكربون (C_5) ليعطي مركبا سداسي الكربون ينشطر إلى جزيئين ثلاثيتي الكربون ($2C_3$) .

$$CO_2 + C_5 \longrightarrow C_6 \longrightarrow 2C_3\ (APG)$$

- إذا علمت أن نتائج التجارب السابقة لم تكشف عن مركبات ثنائية الكربون مشعة ، كما أنه عندما تتحد جزيئة $^*CO_2$ مشع مع جزيئة من المستقبل تتكون جزيئتان من الـ APG إحداهما مشعة ، حدد إذن الفرضية الصحيحة.
- الفرضية الثالثة هي الصحيحة ، حيث يتمثل مستقبل غاز الـ CO_2 في سكر خماسي الكربون عبارة عن ريبولوز ثنائي فوسفات (RudiP) .

$$CO_2 + C_5\ (RuDiP) \longrightarrow 2C_3\ (APG)$$



2 – آلية إدماج (إرجاع) غاز CO_2 :

قصد التعرف على تسلسل تفاعلات دمج الـ CO_2 على مستوى الحشوة تم إجراء تحليل لمركبات التي يظهر فيها الإشعاع و التي تعبر عن دمج الـ CO_2 مثل (RuDiP ، APG و السكريات السداسية) و ذلك في شروط تجريبية معينة .

أ – تم في تجربة وضع معلق لأشنة خضراء أحادية الخلية في الضوء و تم تزويده بالـ $^{14}\overset{*}{C}O_2$ مشع بتركيز 1 % .

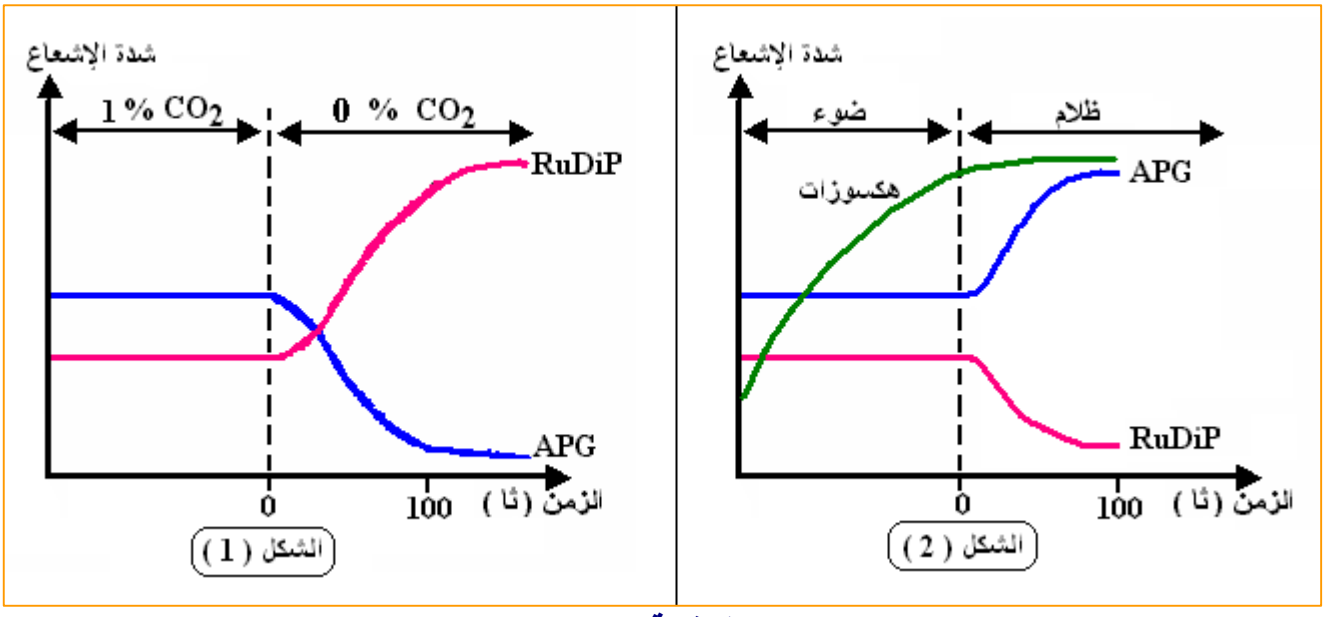
بعد فترة زمنية (10 دقائق) يحول المعلق إلى وسط خال من الـ CO_2 ، ثم تقاس شدة الإشعاع في مركبين عضويين هما :

- RuDiP (ريبولوز ثنائي الفوسفات Rubilose di phosphate) و هو مركب خماسي الكربون يقوم بتثبيت الـ CO_2 .
- APG (حمض فوسفوغليسيريك Acide Phospho Glycerique) و هو أول مركب ناتج من تثبيت الـ CO_2 .

نتائج التجارب موضحة في منحنيي الشكل (1) من الوثيقة – 3 - .

ب – في تجربة ثانية تم تزويد معلق لأشنة خضراء أحادية الخلية بـ $^{14}\overset{*}{C}O_2$ مشع (مع الحفاظ على تركيزه في الوسط ثابتا خلال مدة التجربة) ، يعرض المعلق للضوء لمدة 30 دقيقة ثم يوضع في الظلام تقاس بعد ذلك شدة الإشعاع في الـ RuDiP و الـ APG و في السكريات السداسية (الهيكسوزات) .

نتائج التجربة موضحة في منحنيات الشكل (2) من الوثيقة – 3 – .



الوثيقة – 3 –

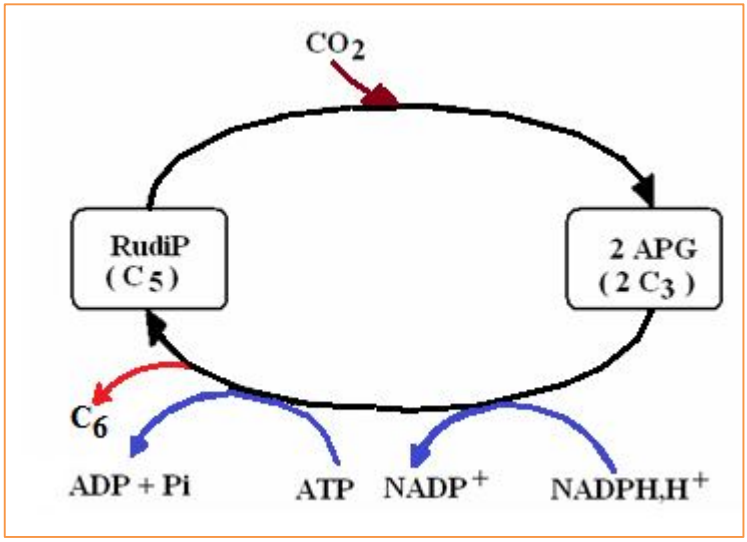
- **حلل المنحنى (1) من الوثيقة – 3 – .**

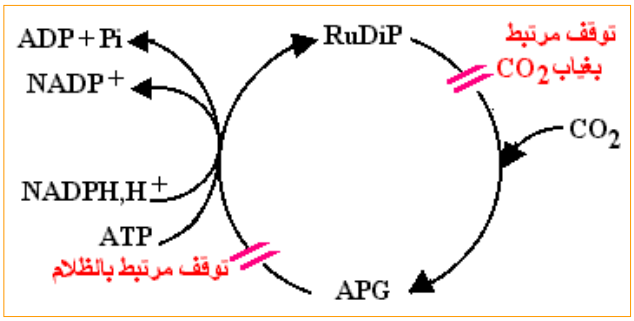
- في وجود غاز الـ CO_2 و الضوء تكون كمية كل من الـ RuDiP و الـ APG ثابتة و كمية الـ APG أكثر من كمية الـ RuDiP .
- في غياب غاز الـ CO_2 و رغم وجود الضوء تزداد مع مرور الزمن كمية الـ RuDiP و تتناقص بالمقابل كمية الـ APG .

- **ما هي الفرضية أو الفرضيات التي تقترحها لتفسير هذه التسجيلات ؟**

- **الفرضية الأولى:** يتفككان و يعاد تجديدهما بصورة دورية .
- **الفرضية الثانية :** لا يتحول كل منهما إلى آخر (لا يستعملان) .

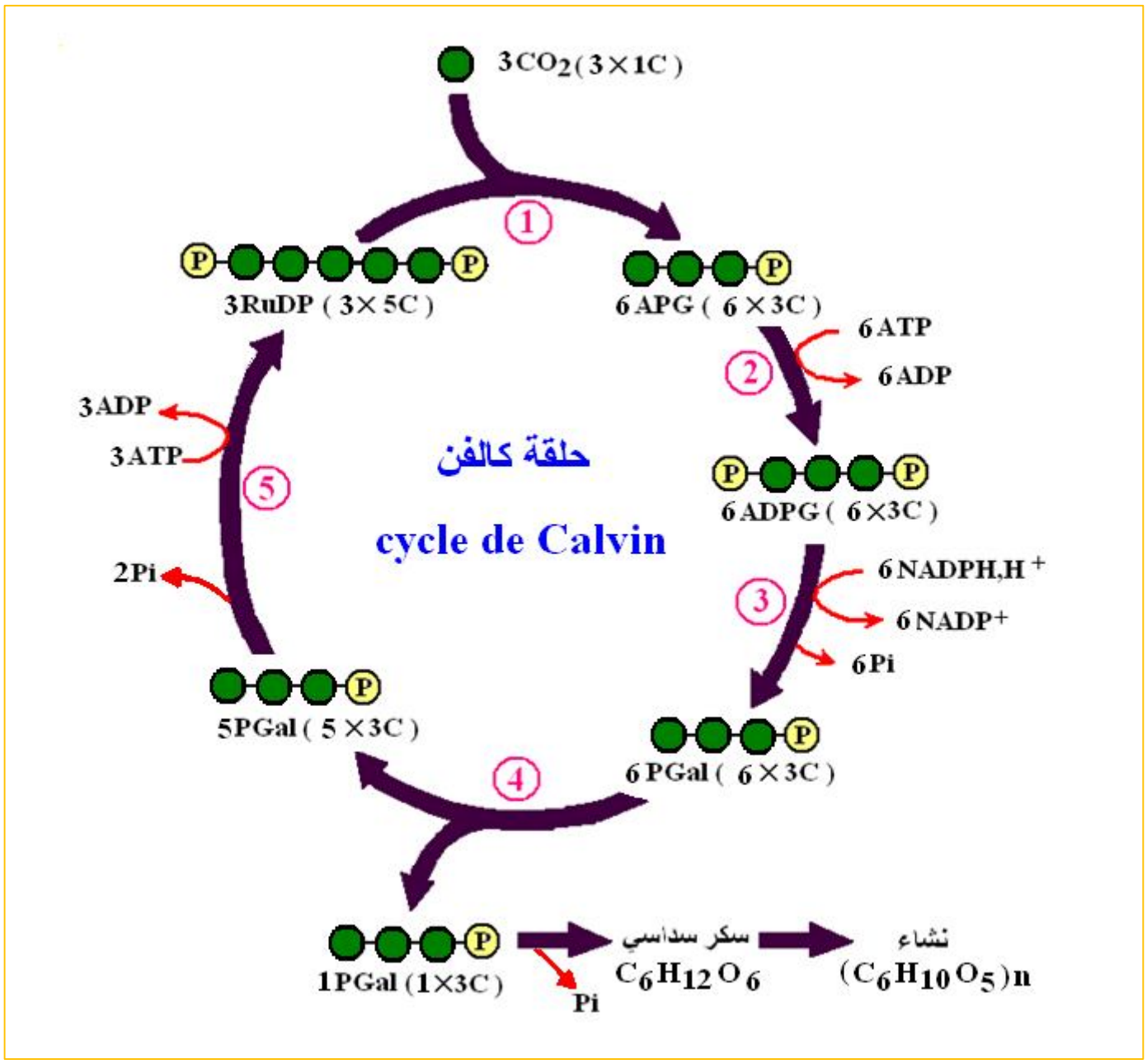
- فسر تزايد شدة الإشعاع في الـ RuDiP و انخفاضه في الـ APG في الشكل (1) في غياب الـ CO_2.
- لأن الـ RuDiP يركب و لا يستهلك ، بينما يستهلك الـ APG و لا يركب في غياب غاز الـ CO_2 .
- علل تناقص كمية الـ RuDiP و تزايد كمية الـ APG الشكل (2).
- لأن الـ APG يركب و لا يستهلك ، بينما يستهلك الـ RuDiP و لا يركب لغياب الضوء .
- كيف تفسر ثبات كل من الـ RuDiP و الـ APG في وجود الـ CO_2 و الضوء في الشكل (1).
- نفسر ذلك بتجديد كل منهما باستمرار (تحول و إنتاج بنفس الكمية = توازن ديناميكي) ، أي أن كلا منهما يتحول إلى الآخر .
- ماذا تستخلص حول العلاقة بين الـ RuDiP و الـ APG .
- يتطلب تحول الـ APG إلى RuDiP توفر الضوء (نواتج المرحلة الكيموضوئية) .
- بينما يتطلب تحول الـ RuDiP إلى APG توفر غاز الـ CO_2 .
- نستنتج أن المركبات تتحول إلى بعضها البعض ضمن حلقة تتطلب توفر كل من الضوء و غاز الـ CO_2 .





3 – مراحل حلقة كالفن :

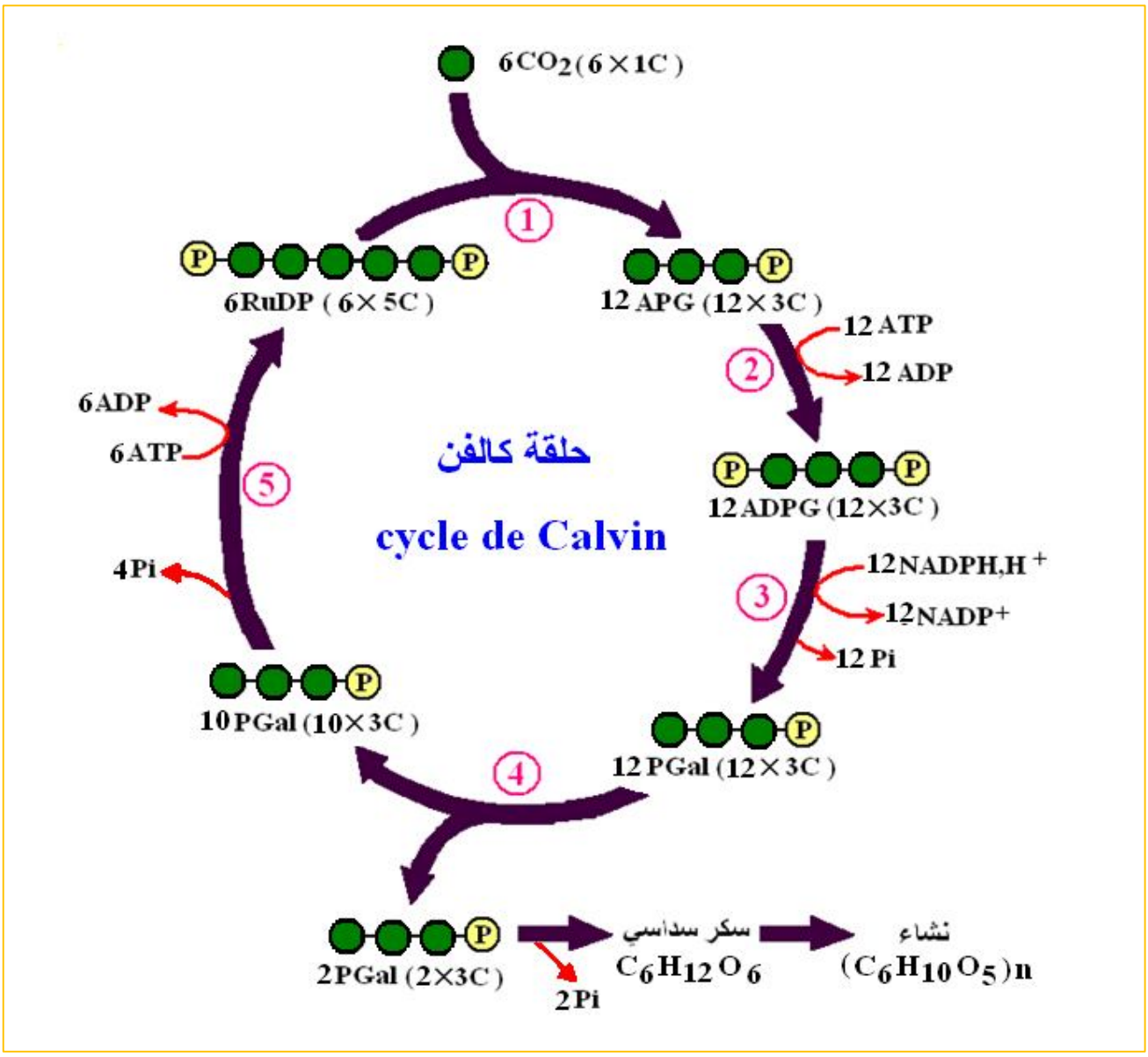
توصلت أعمال العالم كالفن و مساعدوه إلى تحديد تفاعلات تثبيت غاز CO_2 و المركبات الوسطية الناتجة في شكل حلقة تعرف بحلقة كالفن نسبة إلى العالم الذي اكتشفها .



الوثيقة – 4 –

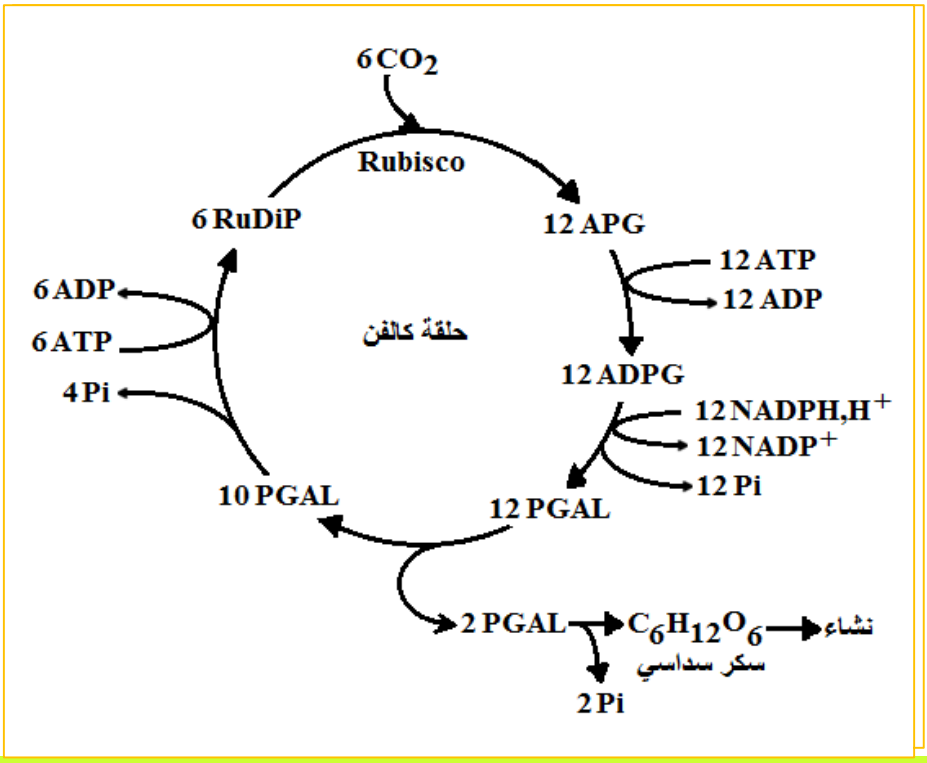
- حدد نوع التفاعلات التي حدثت في (2 ، 3 و 5) .
- التفاعل (2) : هو تفاعل فسفرة .
- التفاعل (3) : هو تفاعل إرجاع .
- التفاعل (5) : هو تفاعل فسفرة .

أعد رسم الحلقة و ذلك باستعمال 6 جزيئات من CO_2 .



- حدد بعد ذلك عدد جزيئات الـATP اللازمة لتركيب سكر سداسي واحد و تجديد 6 جزيئات من الRuDiP.

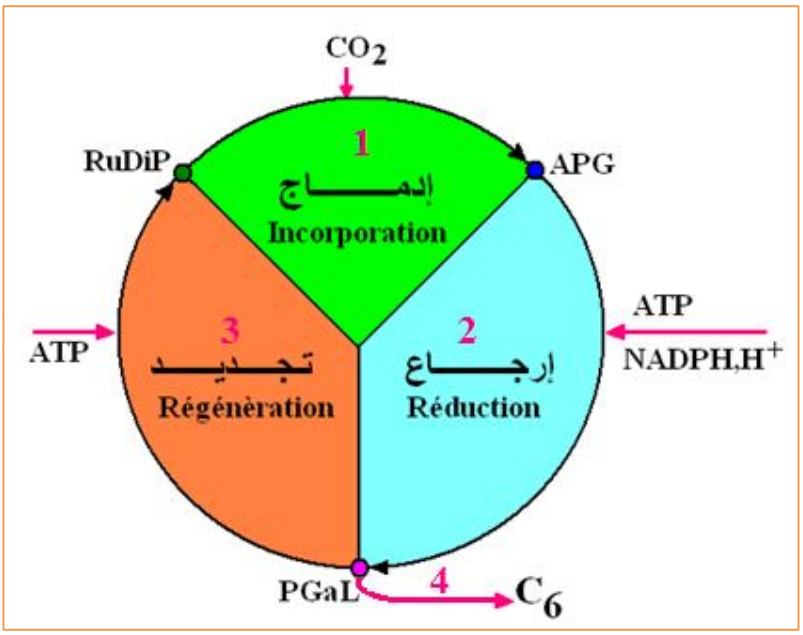
- 18 جزيئة .



• تعرف على المراحل الأساسية لتفاعلات حلقة كالفن :

تتم حلقة كالفن مرورا بأربع مراحل أساسية هي:

1 – تثبيت (إرجاع) الـ CO_2 .
2 - إرجاع الـ APG .
3 - تجديد الـ Rudip .
4 - تشكيل سكر سداسي .



• اشرح مخطط حلقة كالفن (المرحلة الكيموحيوية)

- تحدث المرحلة الكيموحيوية (حلقة كالفن) في حشوة الصانعة الخضراء و تتطلب لحدوثها توفر الـ CO_2 و نواتج المرحلة الكيموضوئية المتمثلة في الـ ATP و الـ $NADPH,H^+$.
- تتثبت 6 جزيئات CO_2 على 6 جزيئات من الـ RuDiP بتدخل أنزيم Rubisco ، فتتشكل 6 جزيئات سداسية الكربون ، تنشطر كل جزيئة إلى جزيئتين ثلاثيتي الكربون ، فتتشكل 12 جزيئة APG.
- يرجع الـ APG إلى PGAL مرورا بالـ ADPG و ذلك باستعمال 12 جزيئة ATP و 12 جزيئة $NADPH,H^+$ (نواتج المرحلة الكيموضوئية) .
- تستعمل جزيئتان الـ APG في تشكيل سكر سداسي ($C_6H_{12}O_6$) ، بينما تستعمل جزيئات الـ APG العشرة المتبقية في تجديد الـ Rudip .
- تتمثل نواتج هذه المرحلة في تجديد الـ RuDiP و تشكيل سكريات سداسية ($C_6H_{12}O_6$) مخزنة لطاقة كامنة .

• أكتب التفاعلات المفصلة لمراحل حلقة كالفن :

- تثبيت الـ CO_2 على الـ RuDiP : Rubisco

$$6\ CO_2 + 6\ RuDiP \longrightarrow 12\ APG$$

- تشكل الـ ADPG من الـ APG :

$$12APG + 12ATP \longrightarrow 12ADPG + 12ADP$$

- تشكل الـ PGAL من الـ ADPG :

$$12ADPG + 12NADPH,H^+ \longrightarrow 12PGAL + 12NADP^+ + 12Pi$$

- تجديد الـ RuDiP :

$$10\ PGAL + 6ATP \longrightarrow 6RuDip + 6ADP + 4Pi$$

- تشكيل سكر سداسي من الـ PGAL :

$$2PGAL \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 2Pi$$

• أكتب التفاعل الإجمالي لحلقة كالفن .

$$6CO_2 + 12NADPH,H^+ + 18ATP \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 12NADP^+ + 18ADP + 18P_i$$

- فيم تتمثل نواتج المرحلة الكيموحيوية ؟

- تشكيل سكريات سداسية و تجديد كل من الـ RuDiP ، الـ ADP ، الـ Pi و الـ $NADP^+$.

- بالاعتماد على متطلبات المرحلة الكيموحيوية ،أكتب المعادلة الإجمالية لتفاعلات المرحلة الكيموضوئية :

1 – معادلة التحلل الضوئي للماء :

$$H_2O \longrightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2e^- + 2H^+$$

2 – معادلة إرجاع المستقبل النهائي :

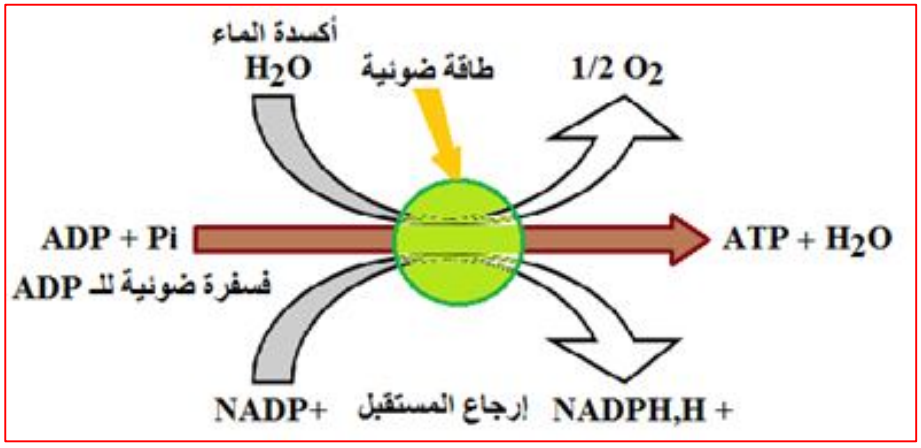
$$NADP^+ + 2e^- + 2H^+ \longrightarrow NADPH,H^+$$

3 – معادلة تشكل الـ ATP :

$$ADP + Pi \longrightarrow ATP$$

المعادلة الإجمالية :

$$H_2O + NADP^+ + ADP + Pi \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} NADPH,H^+ + ATP + \frac{1}{2}O_2 \nearrow$$



ملاحظة :

RuBisCO = (Ribulose 1,5 Bisphosphate Carboxylase / Oxygénase).

تحتاج المرحلة الثانية من التركيب الضوئي إلى 12 ($NADPH,H^+$) و 18 (ATP)
نضرب المعادلتين 1 و 2 في 12 و المعادلة 3 في 18

1 – معادلة التحلل الضوئي للماء :

$$12H_2O \xrightarrow{\text{ضوء / يخضور}} 6O_2 + 24e^- + 24H^+$$

2 – معادلة إرجاع المستقبل النهائي :

$$12NADP^+ + 24e^- + 24H^+ \longrightarrow 12NADPH,H^+$$

3 – معادلة تشكل الـ ATP :

$$18ADP + 18Pi \longrightarrow 18ATP$$

و عليه تصبح المعادلة الإجمالية للمرحلة الكيموضوئية كما يلي :

$$12H_2O + 12NADP^+ + 18ADP + 18Pi \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} 12NADPH,H^+ + 18ATP + 6O_2\uparrow$$

- انطلاقا من تفاعلات المرحلتين الكيموضوئية و الكيموحيوية ، أكتب المعادلة الإجمالية لظاهرة التركيب الضوئي .

$$2H_2O \longrightarrow 4H^+ + 4e^- + O_2$$

$$CO_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow CH_2O + H_2O$$

X 6

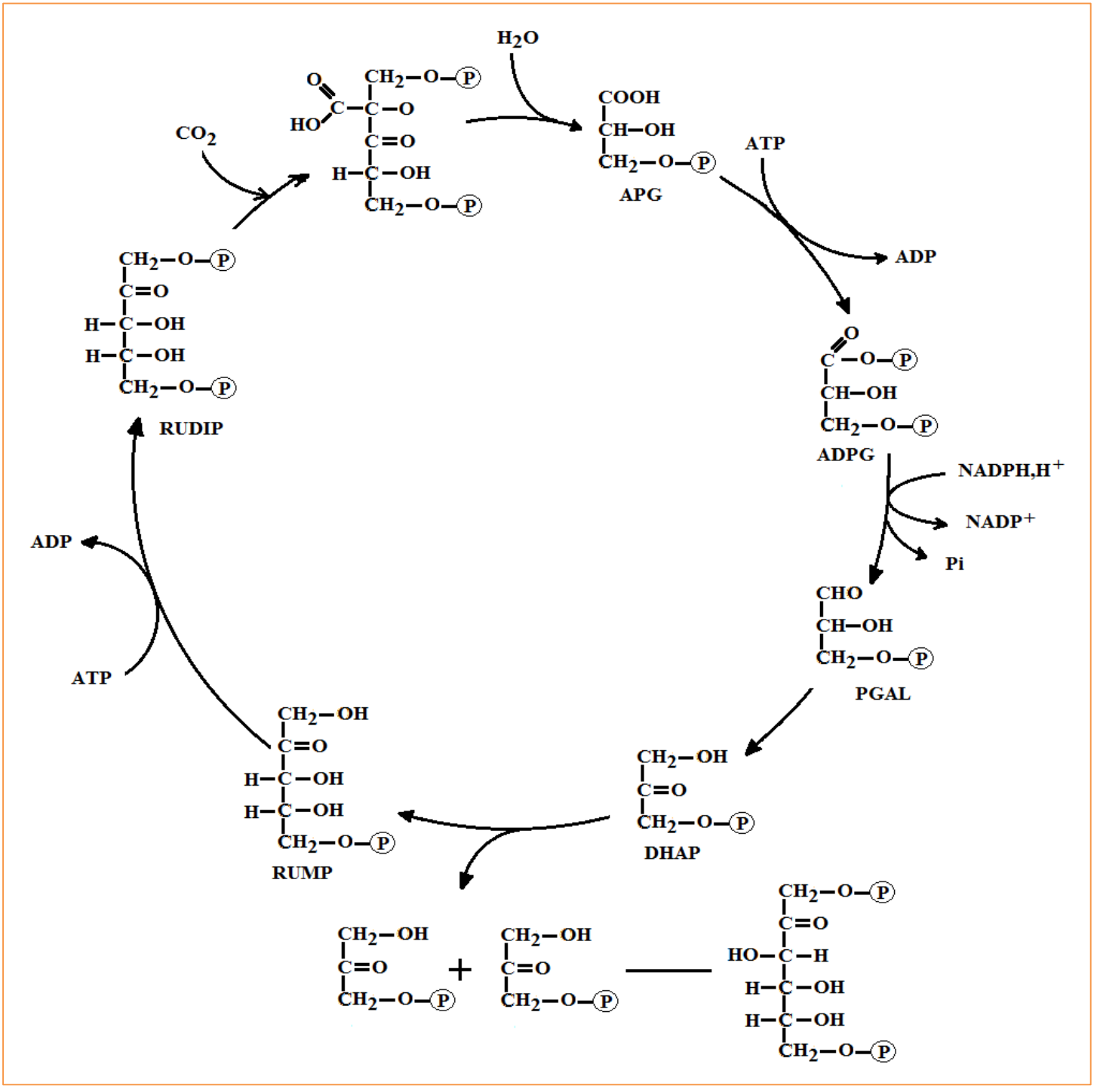
$$12H_2O \longrightarrow 24H^+ + 24e^- + 6O_2$$

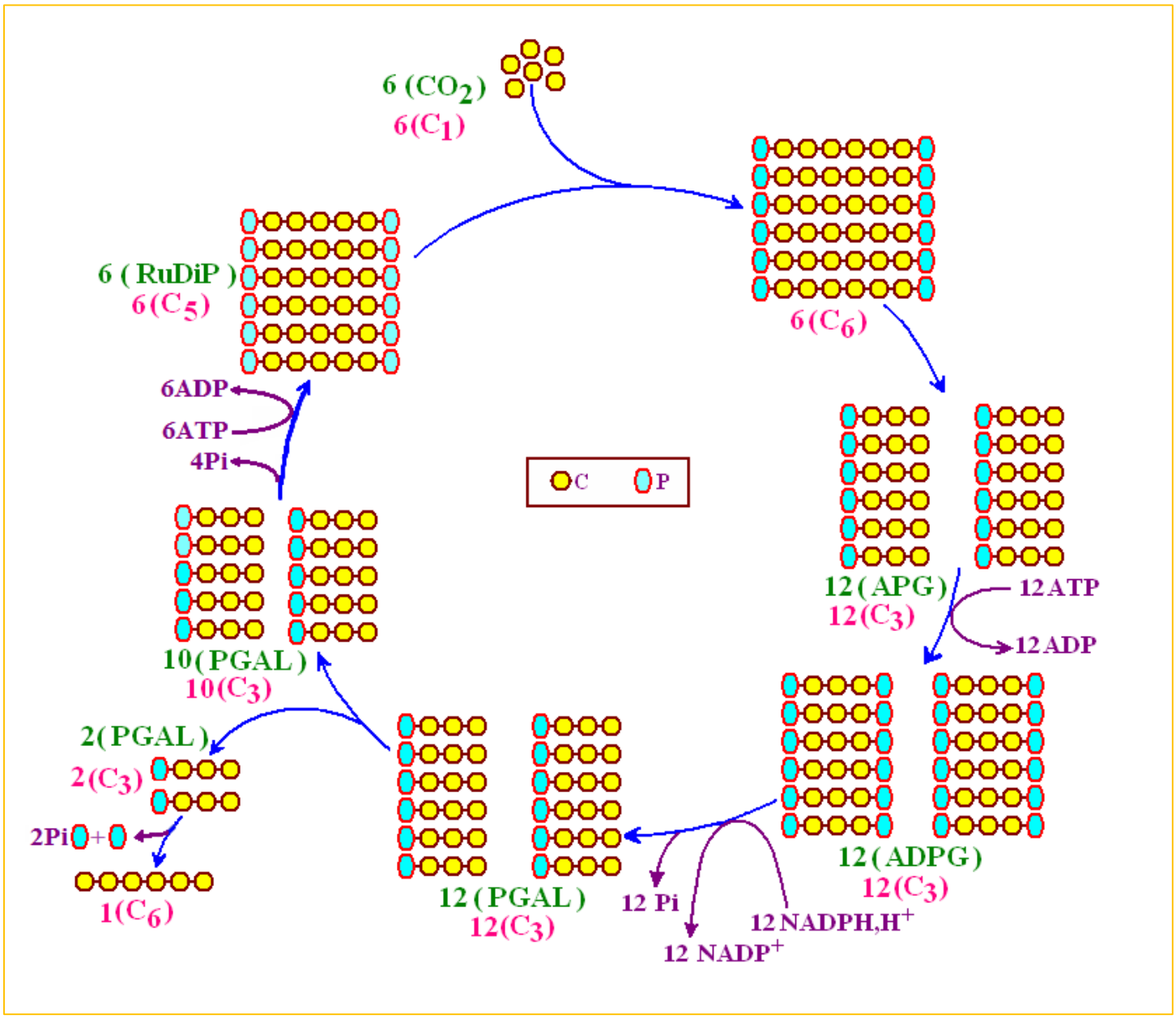
$$6CO_2 + 24H^+ + 24e^- \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6H_2O$$

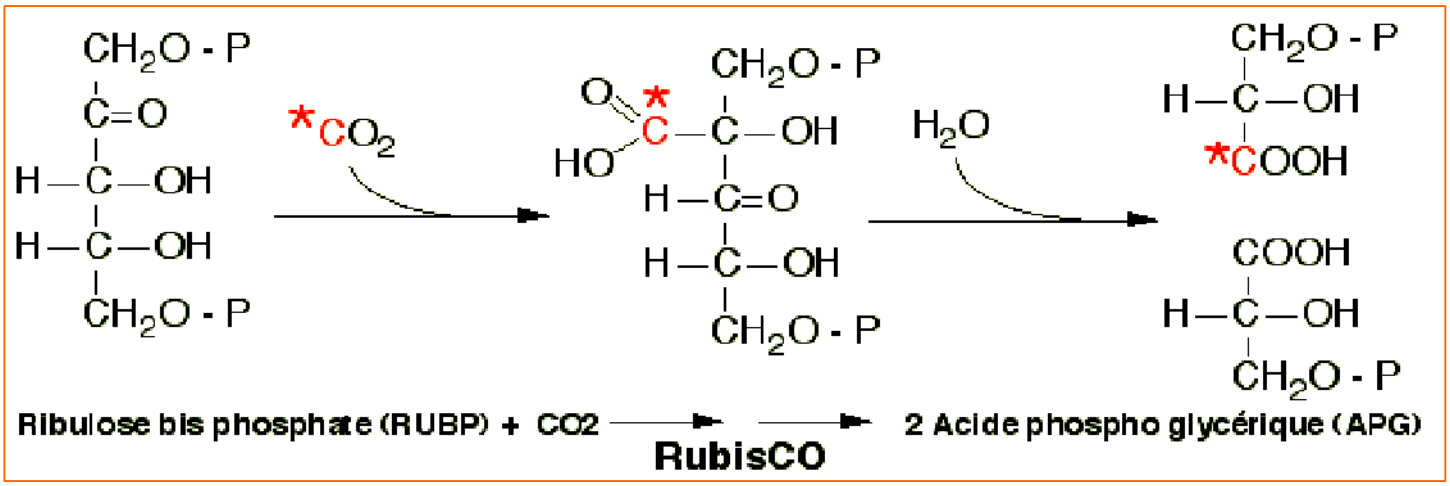
$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2\uparrow$$

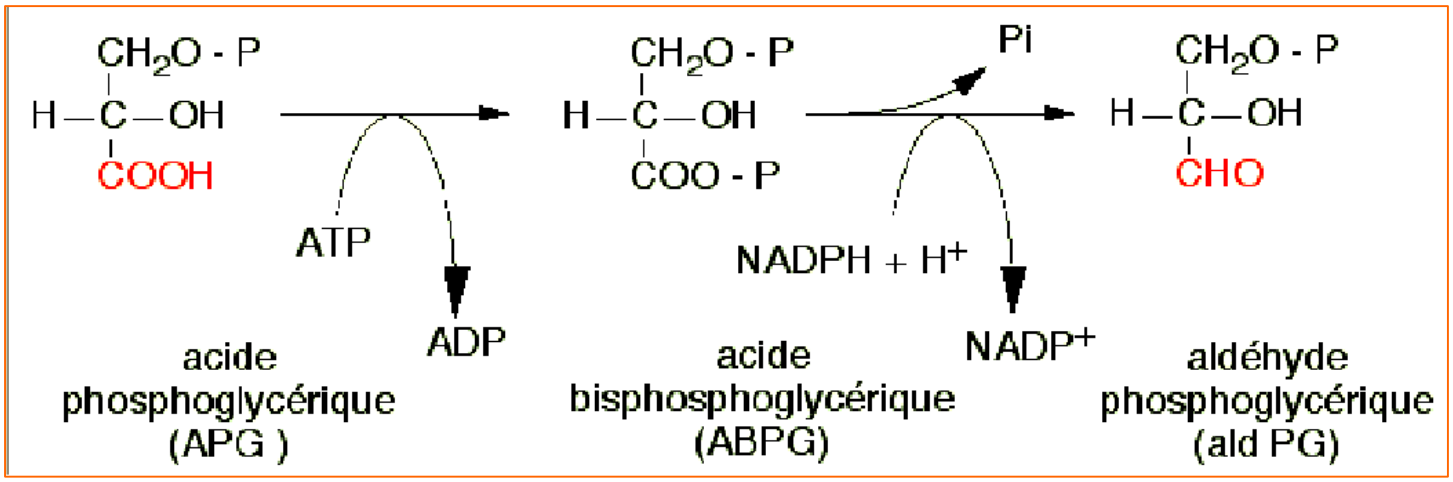
- قارن في جدول بين تفاعلات المرحلة الكيموضوئية و تفاعلات المرحلة الكيموحيوية .

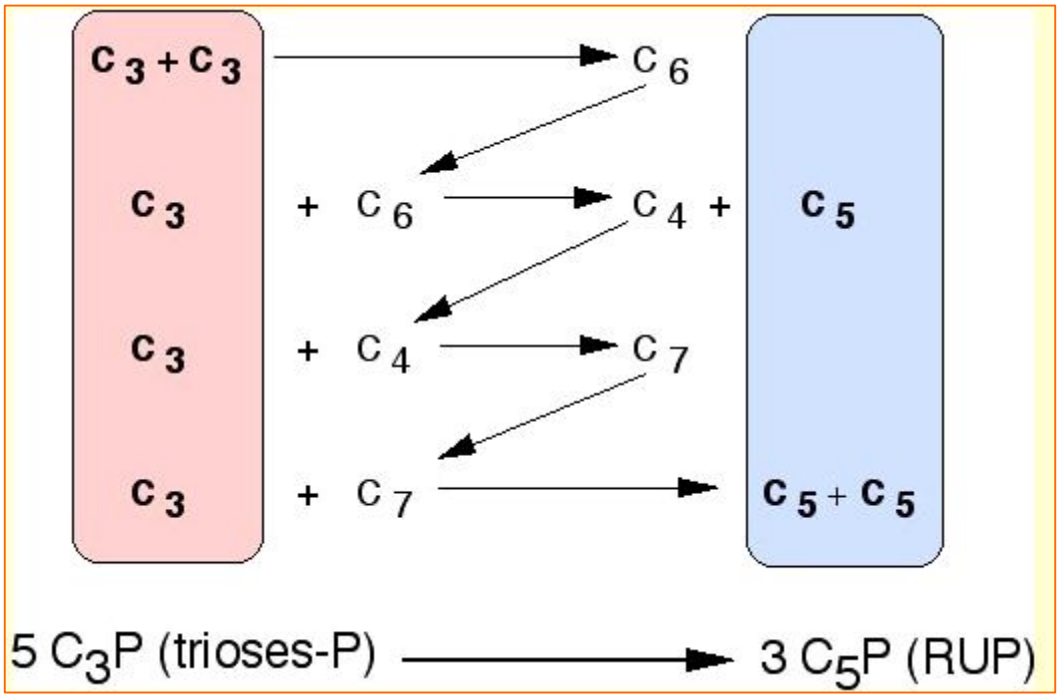
تفاعلات المرحلة الكيموضوئية	تفاعلات المرحلة الكيموحيوية
تتم في وجود الضوء.	لا تحتاج إلى الضوء ، تتم بدونه .
تحدث في أغشية التيلاكوئيدات.	تحدث في الحشوة .
تحتاج إلى اليخضور.	لا تحتاج إلى اليخضور.
ينتج عنها طاقة كيميائية في صورة مركبات $NADPH,H^+$ و ATP	تحتاج إلى طاقة كيميائية $NADPH,H^+$ و ATP
يتم خلالها أكسدة الماء و طرح الأكسجين.	يتم خلالها إرجاع الـ CO_2 و تركيب سكريات بمساعدة الأنزيمات .

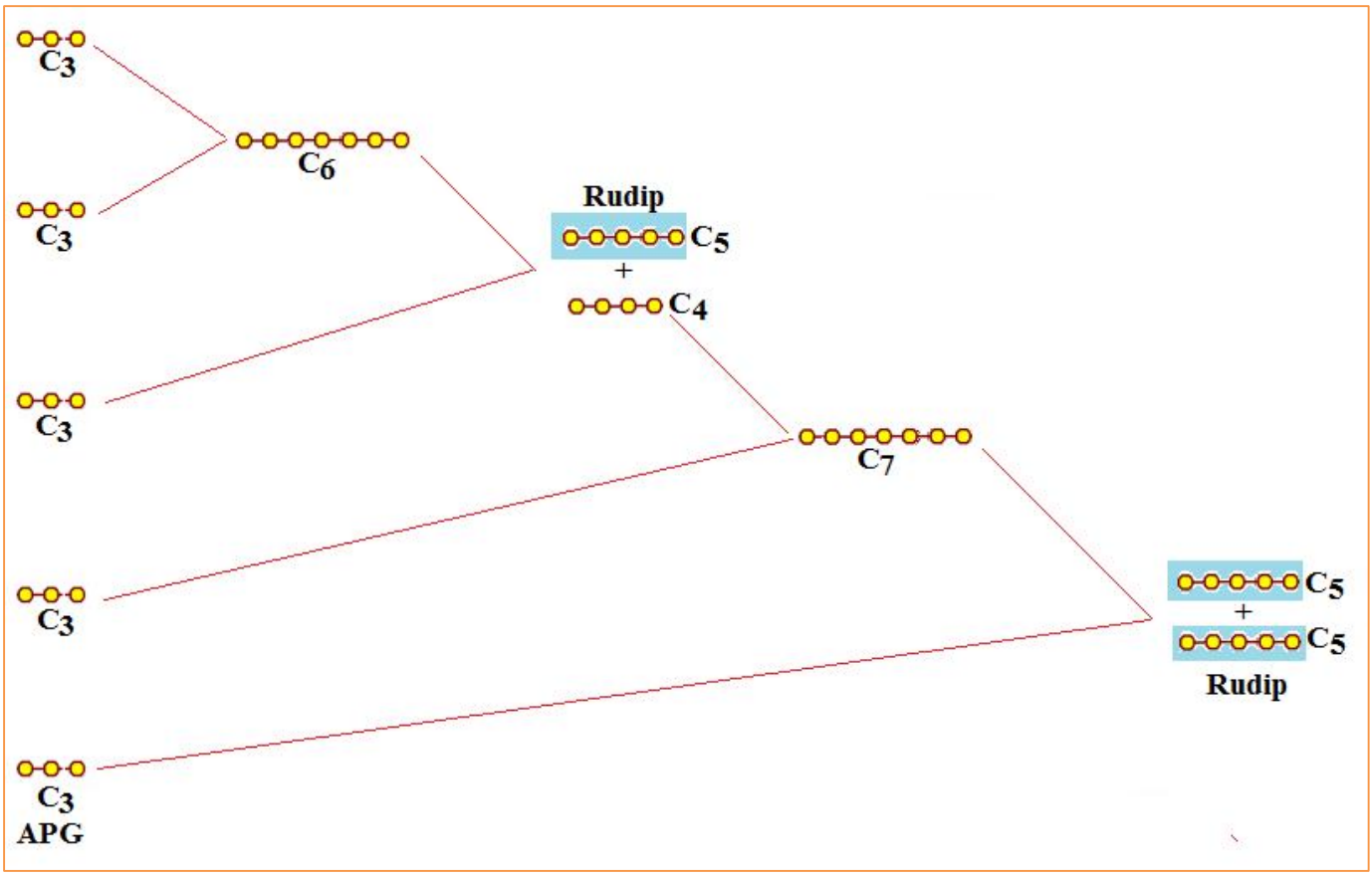



6 (CO2)
6(C1)
6 (RuDiP)
6(C5)
6(C6)
6ADP
6ATP
4Pi
C
P
12 (APG)
12(C3)
12 ATP
12 ADP
10(PGAL)
10(C3)
2(PGAL)
2(C3)
2Pi
1(C6)
12 (PGAL)
12(C3)
12 Pi
12 NADP+
12 NADPH,H+
12 (ADPG)
12(C3)


CH2O - P
C=O
H—C—OH
H—C—OH
CH2O - P
*CO2
O
*
C—C—OH
HO
H—C=O
H—C—OH
CH2O - P
H2O
CH2O - P
H—C—OH
*COOH
COOH
H—C—OH
CH2O - P
Ribulose bis phosphate (RUBP) + CO2
RubisCO
2 Acide phospho glycérique (APG)

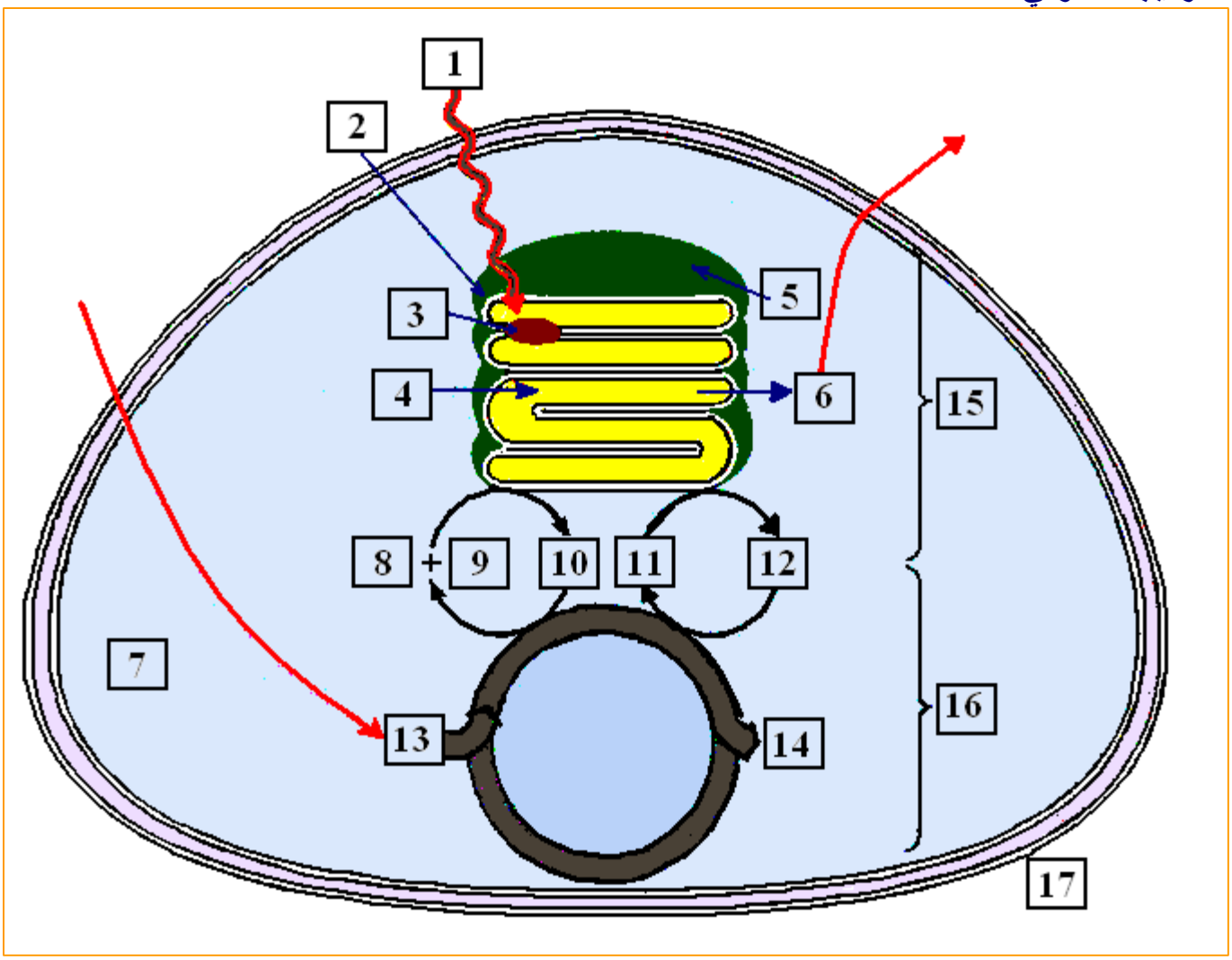

CH2O - P
H — C — OH
COOH
ATP
ADP
acide phosphoglycérique (APG)
CH2O - P
H — C — OH
COO - P
Pi
NADPH + H+
NADP+
acide bisphosphoglycérique (ABPG)
CH2O - P
H — C — OH
CHO
aldéhyde phosphoglycérique (ald PG)


C3 + C3
C6
C3 + C6
C4 +
C5
C3 + C4
C7
C3 + C7
C5 + C5
5 C3P (trioses-P)
3 C5P (RUP)


C3
C3
C6
Rudip
C5
+
C4
C3
C7
C3
C5
+
C5
Rudip
C3
APG

4 – التكامل بين المرحلة الكيموضوئية و اكيموحيوية :

تمثل الوثيقة ــ 5 ــ رسما تخطيطيا يوضح التكامل بين المرحلتين الكيموضوئية و الكيموحيوية لعملية التركيب الضوئي .



الوثيقة ــ 5 ــ

- **ماذا تمثل الأرقام ؟**

1 : ضوء ، 2 : غشاء التيلاكوئيد ، 3 : نظام ضوئي ، 4 : H_2O ، 5 : تيلاكوئيد (كيس) ، 6 : أكسجين 7 : الحشوة ، 8 : ADP ، 9 : Pi ، 10 : ATP ، 11 : $NADP^+$ ، 12 : $NADPH,H^+$ ، 13 : CO_2 14 : سكر ، 15 : المرحلة الكيموضوئية ، 16 : المرحلة الكيموحيوية ، 17 : مخطط يوضح التكامل بين مرحلتي التركيب الضوئي .

- **هل يتم تثبيت الـ CO_2 عند توفر الـ ATP و الـ $NADPH,H^+$ في الظلام ؟**

- نعم .

- **علل الإجابة .**

- لإن تثبيت غاز الـ CO_2 يتطلب توفر نواتج المرحلة الكيموضوئية المتمثلة في الـ $NADPH,H^+$ و الـ ATP ، و لا يتطلب توفر الضوء ، و يتوقف تثبيته عند نفاد هذين المركبين .

- **لماذا ينطلق الـ O_2 لفترة قصيرة ثم يتوقف في التجربة الموضحة في الوثيقة ــ 4 ــ من النشاط الثالث؟**

- يعود لتوفر كمية من الـ ADP ، الـ Pi و الـ $NADP^+$ التي استعملت في المرحلة الكيموضوئية و لكنها لم تتجدد بسبب عدم حدوث المرحلة الكيموحيوية نظرا لغياب غاز الـ CO_2 .

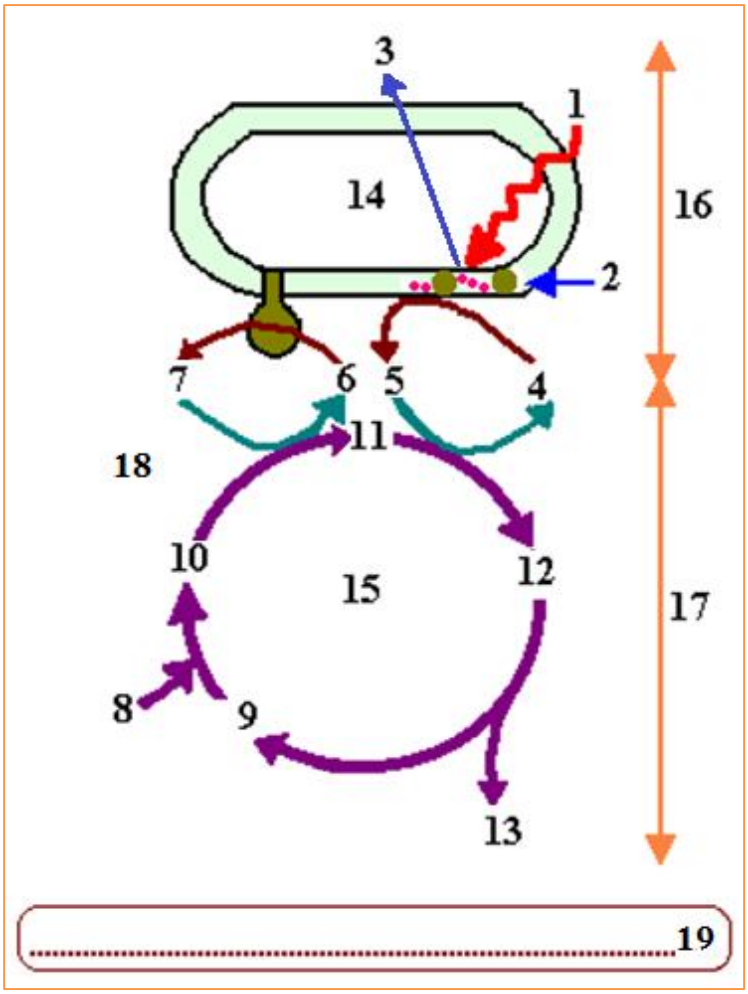
- **ما علاقة تثبيت CO_2 باستمرار انطلاق الأكسجين ؟**

- إن تثبيت غاز الـ CO_2 يسمح بتجديد مركبات الـ ADP ، الـ Pi و الـ $NADP^+$ الضرورية لاستمرار المرحلة الكيموضوئية التي تؤدي إلى انطلاق الـ O_2 .

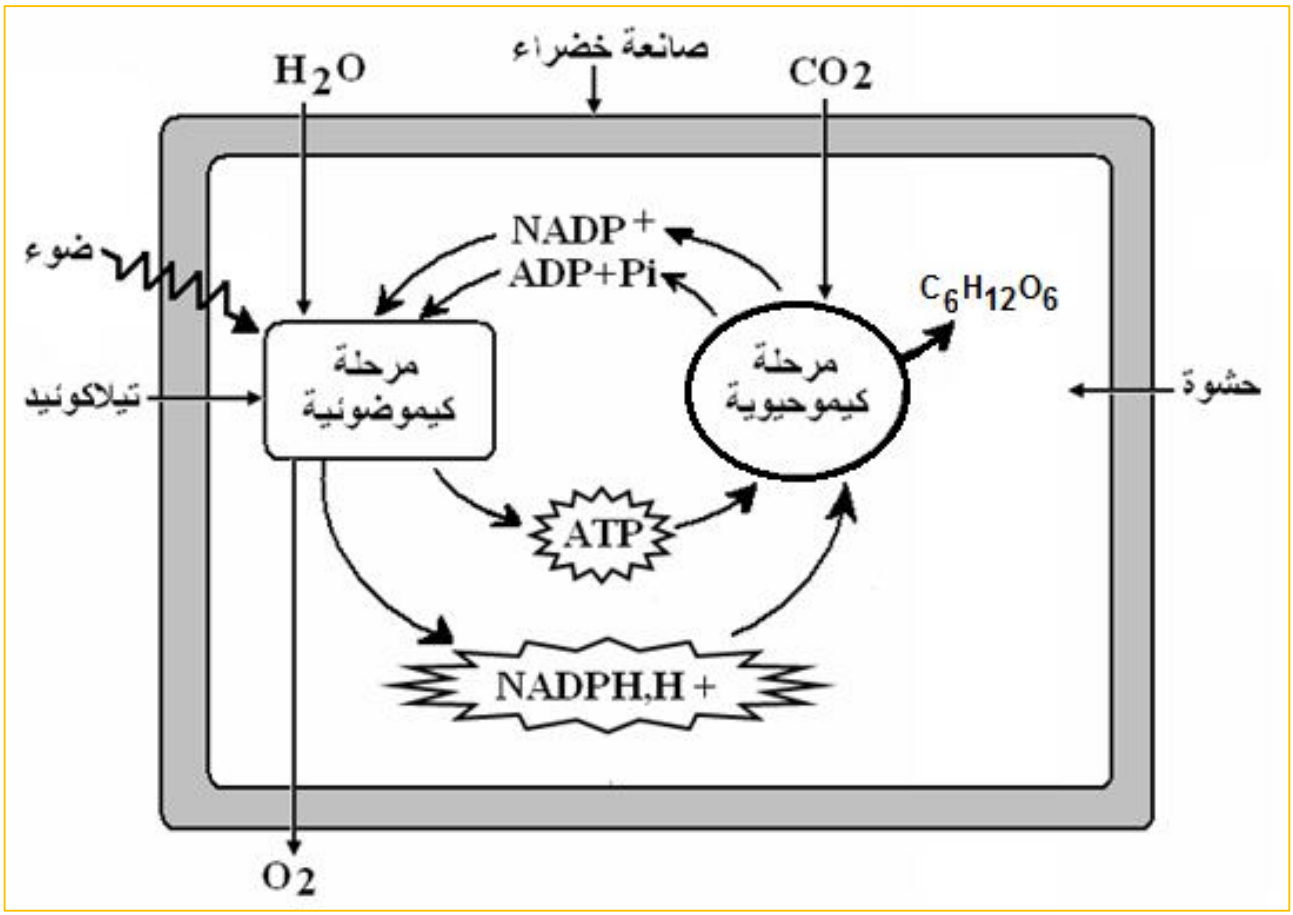
- **لماذا تعتبر مرحلتا التركيب الضوئي متكاملتان ؟**

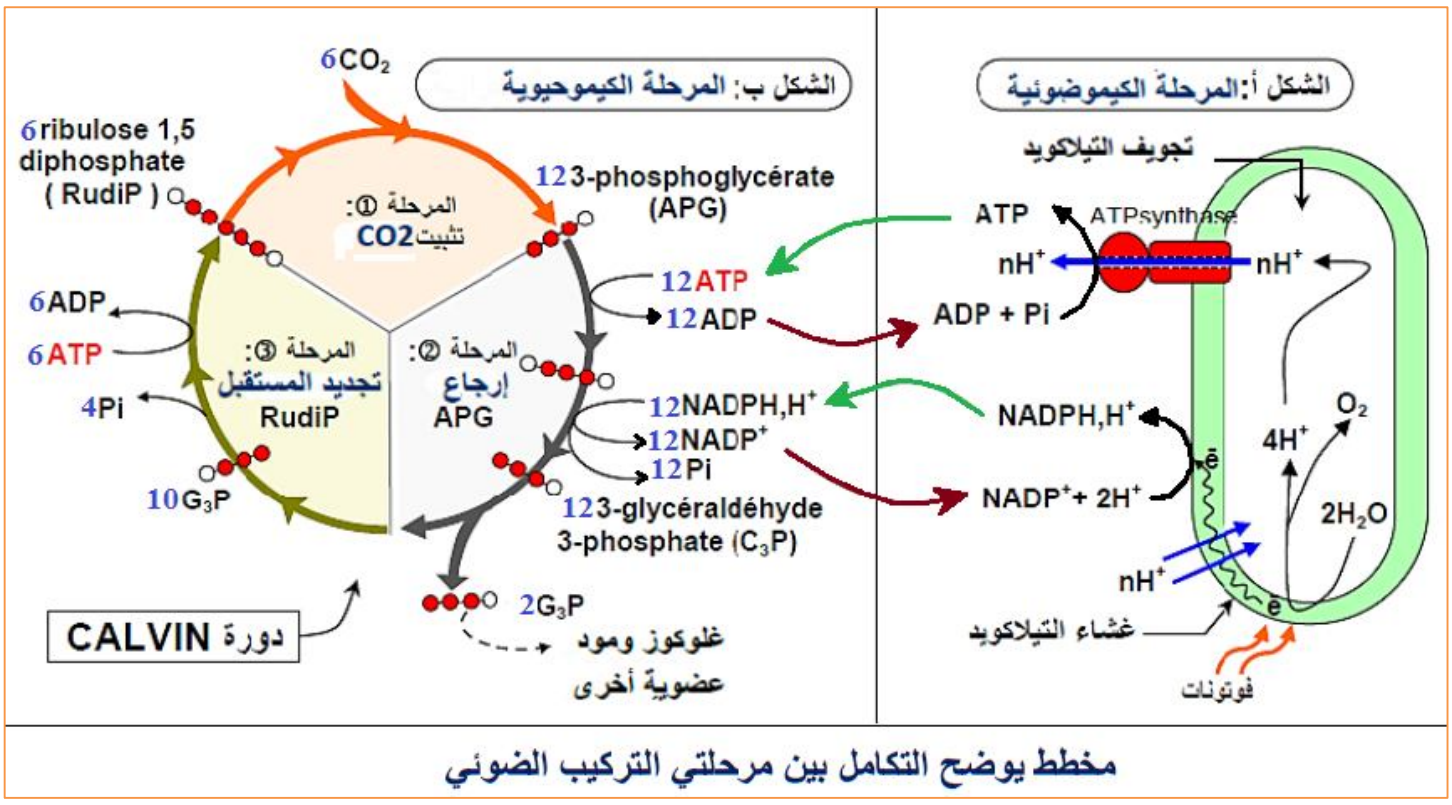
- تتمثل آليتا التركيب الضوئي في المرحلة الكيموضوئية و المرحلة الكيموحيوية .
- تعتبر المرحلتان متكاملتان ، لأن صنع السكر السداسي خلال المرحلة الكيمو حيوية يتطلب استعمال نواتج المرحلة الكيموضوئية (الـ NADPH,H+ و الـ ATP).
و أن استمرار المرحلة الكيموضوئية في إنتاج الـ NADPH,H+ و الـ ATP يتطلب توفر نواتج المرحلة الكيموحيوية المتمثلة في الـ NADP+ و الـ ADP و Pi .
و عليه فالمرحلتان متكاملتان .

- **أنجز رسما تخطيطيا توضح من خلاله التكامل بين مرحلتي التركيب الضوئي .**



1 : ضوء
2 : سلسلة تركيبية ضوئية
3 : O_2
4 : T^+
5 : TH,H^+
6 : ADP + Pi
7 : ATP
8 : CO_2
9 : RudiP
10 : APG
11 : ADPG
12 : PGAL
13 : تركيب سكرسداسي
14 : تجويف الكييس
15 : حلقة كالفن
16 : المرحلة الكيموضوئية
17 : المرحلة الكيموحيوية
18 : الحشوة
19 : التكامل بين مرحلتي التركيب الضوئي .





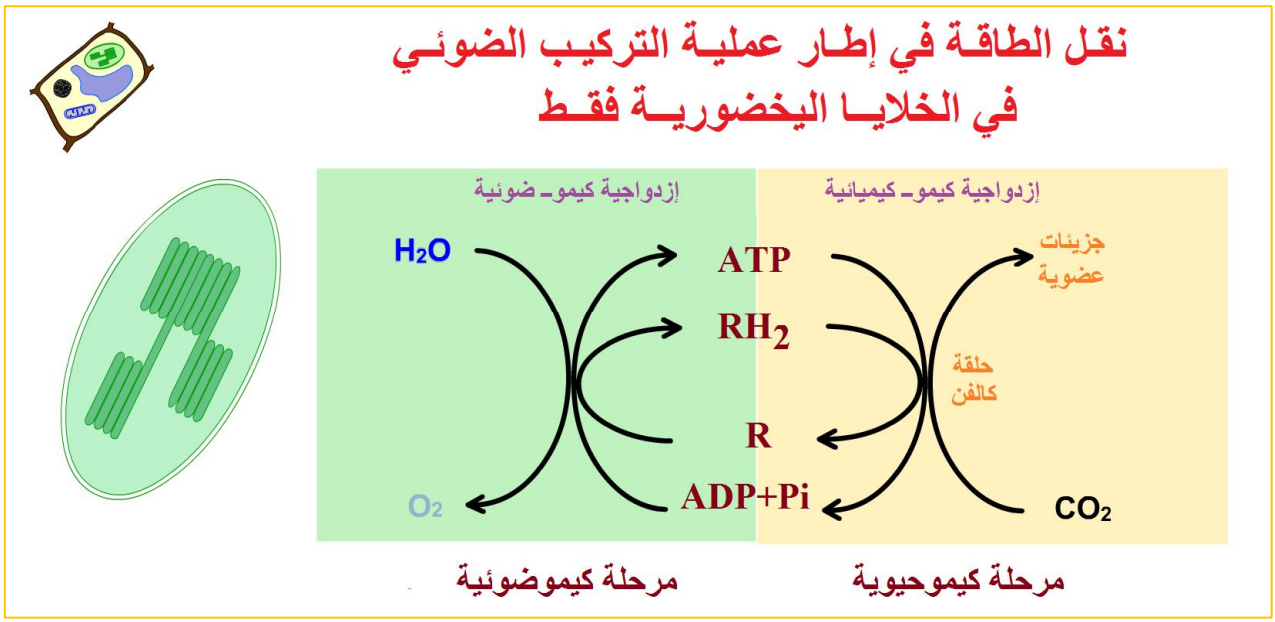
مخطط يوضح التكامل بين مرحلتي التركيب الضوئي

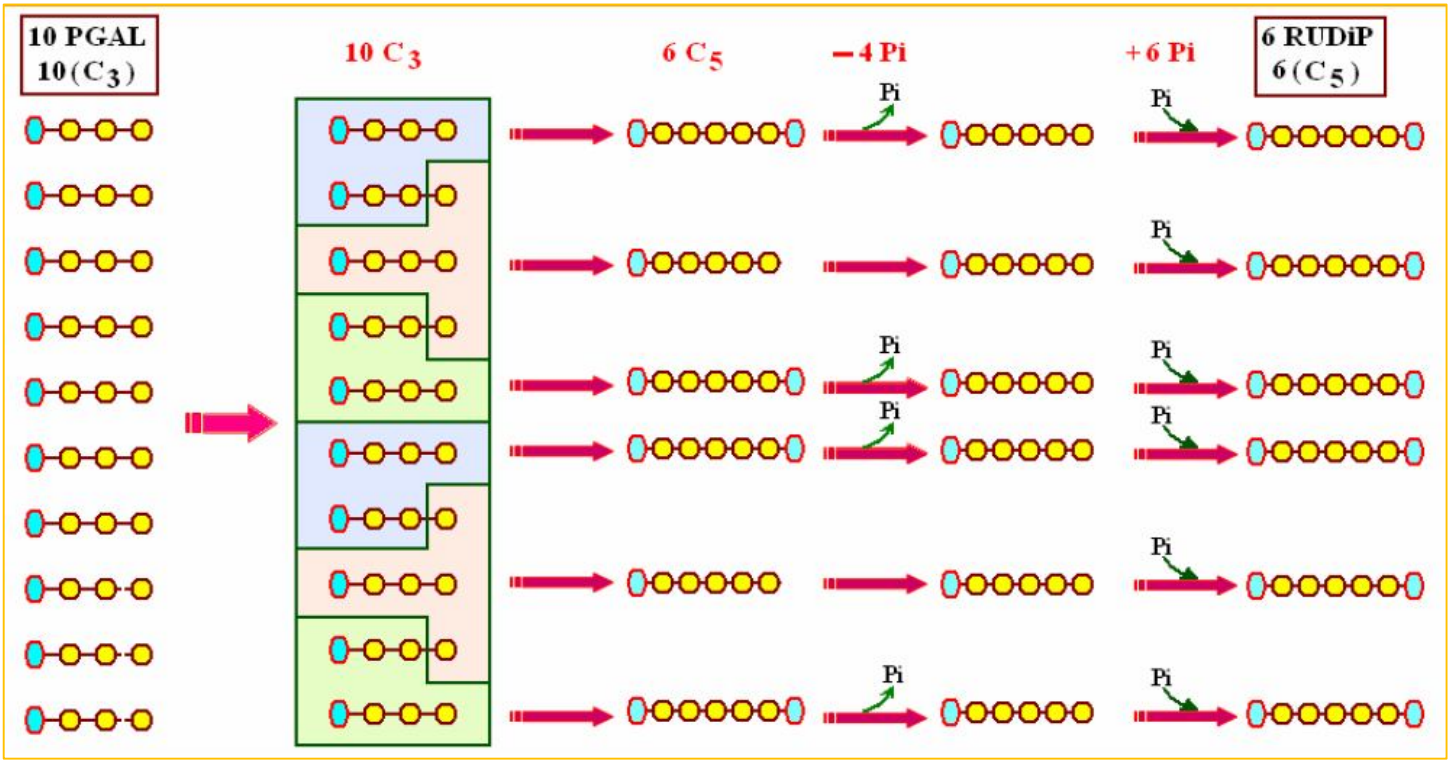
- من خلال دراستك لمرحلتي التركيب الضوئي ، بين كيف تتحقق الازدواجية الطاقوية داخل الصانعة الخضراء ؟

- يقصد بالازدواجية الطاقوية التكامل الطاقوي بين تفاعلين أحدهما ناشر (محرر) للطاقة و الآخر مستهلك لها .
- خلال المرحلة الكيموضوئية : فإن الطاقة الناتجة عن الأكسدة الضوئية للماء و إرجاع المستقبل تستغل في فسفرة الـ ADP في وجود الـ Pi لتركيب الـ ATP .
- خلال المرحلة الكيموحيوية : تستغل الطاقة المتشكلة في المرحلة الكيموضوئية في تنشيط إرجاع الـ CO_2 و تركيب المادة العضوية .

$$H_2O + NADP^+ + ADP + Pi \rightarrow O_2 + NADPH,H^+ + ATP$$

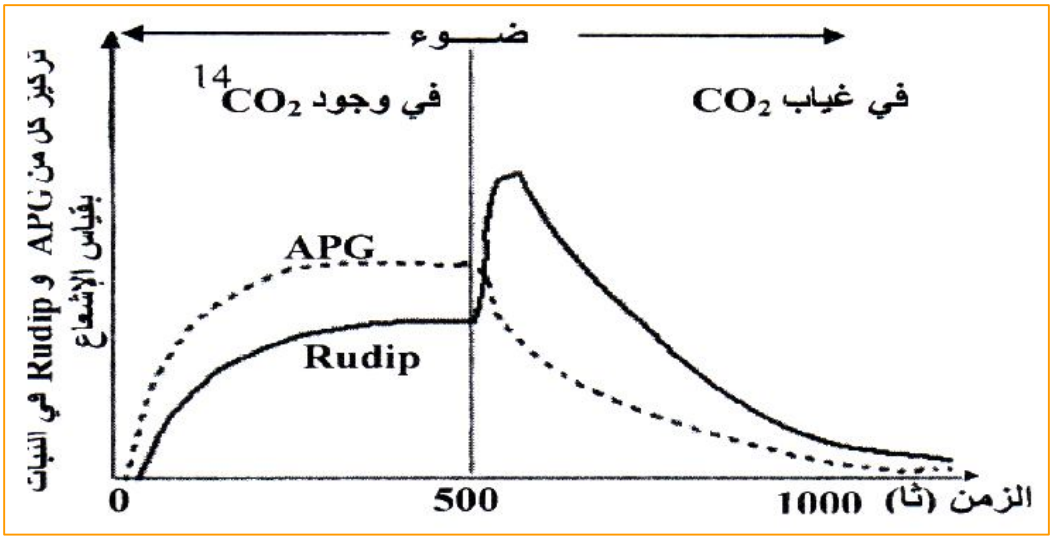
$$CO_2 + NADPH,H^+ + ATP \rightarrow C_6H_{12}O_6 + NADP^+ + ADP + Pi$$



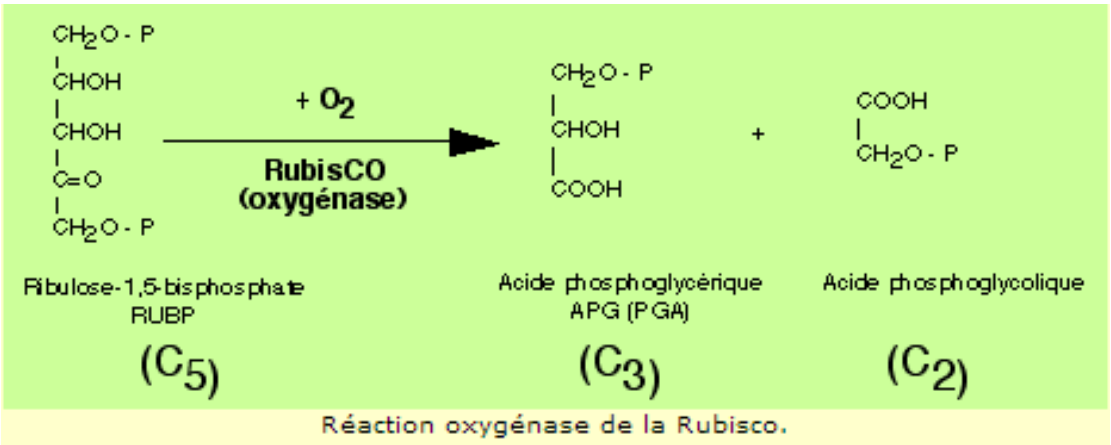


- كيف تفسر تناقص الـ Rudip بعد ز = 500 ms ؟

BAC 2009



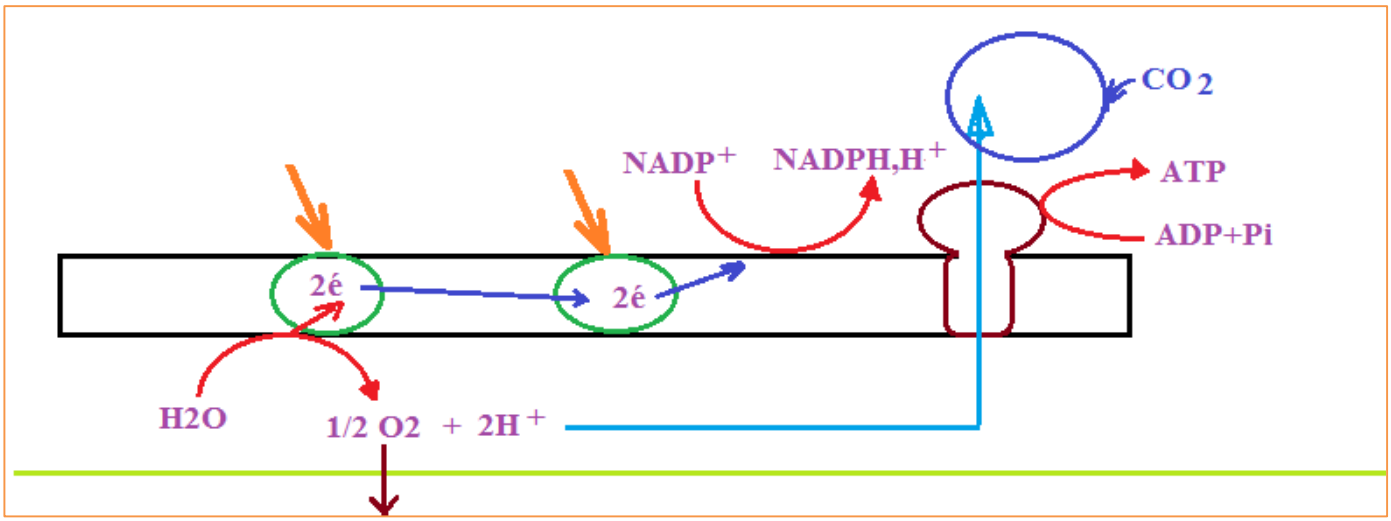
في التراكيز المنخفضة من CO_2 لا يتشبع أنزيم Rubisco بالـCO_2 ، فينافسه غاز الـO_2 على هذا الانزيم نظرا لنسبته المرتفعة في الجو (21 %) ، و عليه يقوم الانزيم بدور carboxylase لتثبيت CO_2 على Rudip خلال المرحلة الكيموحيوية من التركيب الضوئي ، كما يقوم بدور oxygenase في تحويل rudip إلى APG (C_3) + حمض فوسفوكوليك (C_2) في عملية التنفس .
فبعد الزمن 500 يتزايد Rudip لتركيبه و يتناقص APG لتحوله إلى Rudip .
و بعد ذلك يستمر تناقص APG لتحوله و عدم تركيبه ، كما يتناقص Rudip لتحوله إلى مركبات أخرى خلال عملية التنفس .



Réaction oxygénase de la Rubisco.

تطبيق :

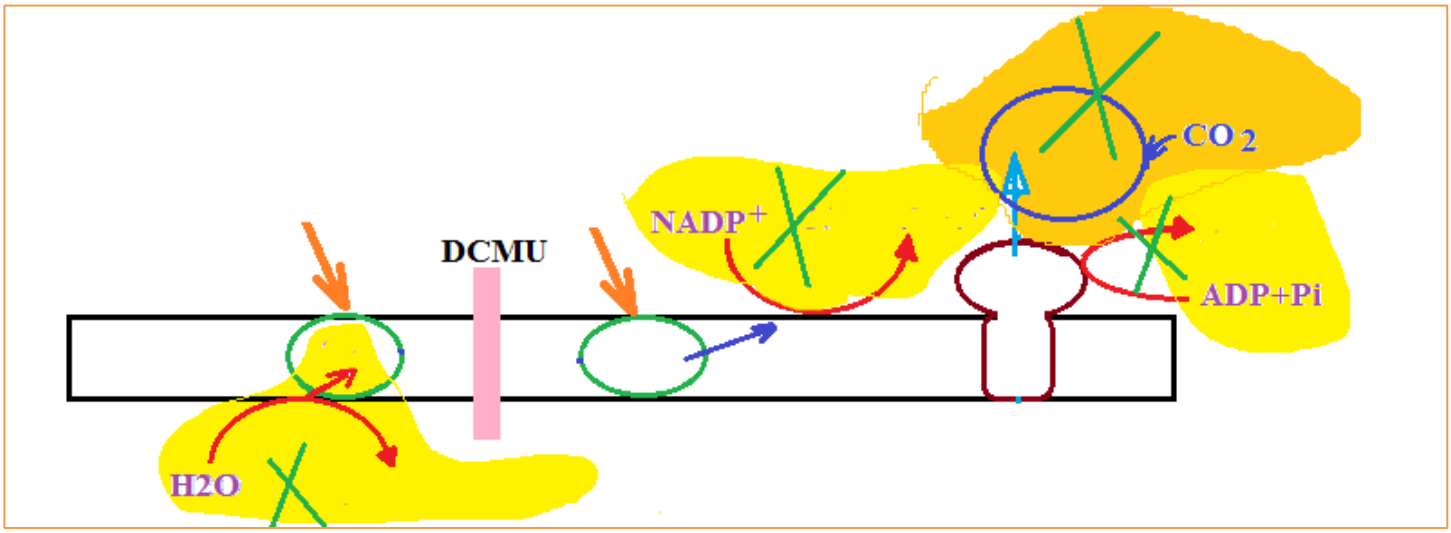
- في الظروف الطبيعية يلاحظ انطلاق الأكسجين (O_2) و تثبيت غاز الفحم CO_2 .



- انطلاق الأكسجين (O_2) لحدوث التحلل الضوئي للماء و ذلك لانتقال الإلكترونات ضمن السلسلة التركيبية الضوئية و وصولها إلى الـ $NADP^+$ الذي يرجع إلى $NADPH,H^+$ ، كما يتشكل الـ ATP .

- تثبيت غاز الفحم (CO_2) لتوفر نواتج المرحلة الكيموضوئية (ATP ، $NADPH,H^+$) .

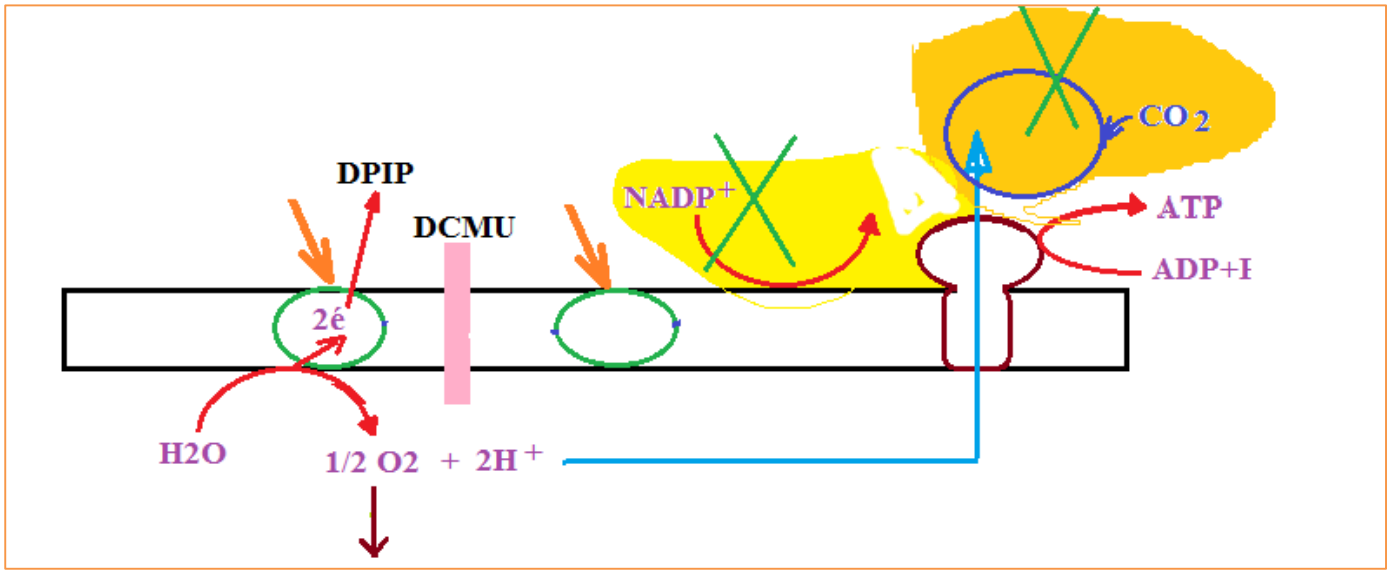
- عند إضافة مادة (DCMU) إلى المحضر المعرض للضوء (مادة تعطل انتقال الإلكترونات من الـ PS_{II} إلى الـ PS_I) ، يلاحظ عدم انطلاق الأكسجين (O_2) ، و عدم تثبيت غاز الفحم (CO_2) .



- وجود مادة الـ DCMU التي تمنع انتقال الإلكترونات من PS_{II} إلى PS_I تجعل الـ PS_{II} في حالة مرجعة و هذا يؤدي إلى عدم تحلل الماء ، و بالتالي عدم انطلاق الأكسجين و عدم إرجاع الـ $NADP^+$ و عدم تشكل الـ ATP .

- عدم تثبيت غاز الـ CO_2 يعود إلى عدم تشكل الـ ATP و عدم إرجاع الـ $NADP^+$ إلى $NADPH,H^+$ بسبب تعطل السلسلة التركيبية الضوئية .

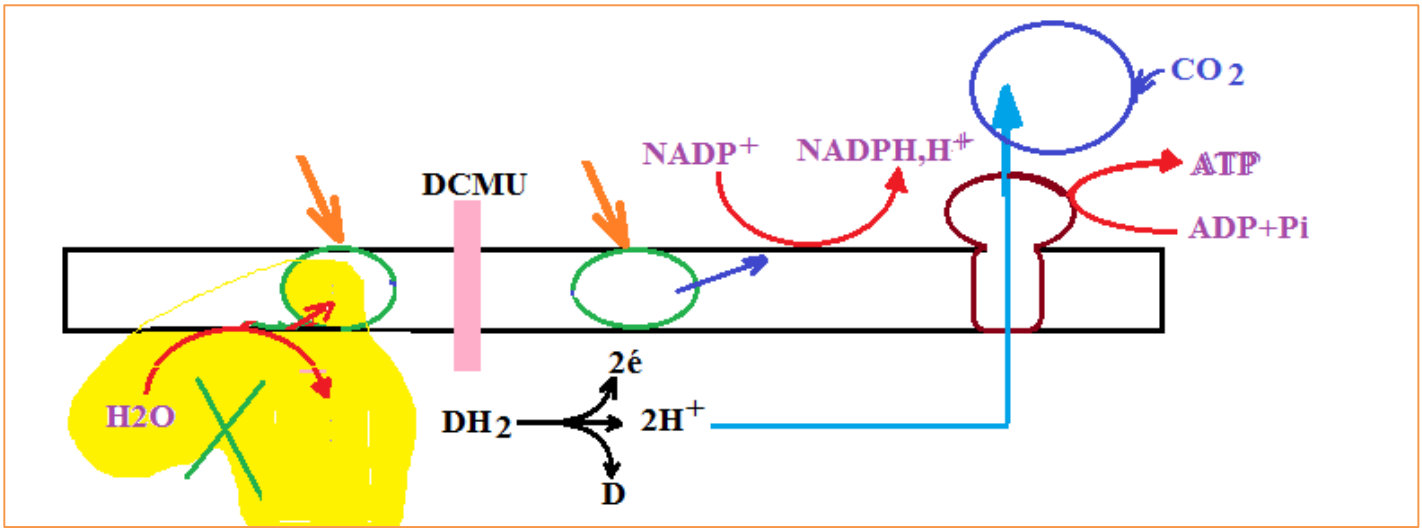
- عند إضافة مادتي (DCMU) و مستقبل للإلكترونات (DPIP) للمحضر المعرض للضوء ، يلاحظ انطلاق الأكسجين (O_2) و عدم تثبيت غاز الفحم (CO_2).



- في وجود DPIP يتأكسد الـ PS_{II} فيفقد إلكتروناته التي يسترجعها من التحلل الضوئي للماء و بالتالي ينطلق الأكسجين و تتحرر بروتونات تستعمل في تركيب الـ ATP ، بينما لا يرجع الـ $NADP^+$ إلى $NADPH,H^+$ بسبب تعطل انتقال الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية.

- وجود الـ DCMU يمنع انتقال الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية ، مما يؤدي إلى عدم إرجاع الـ $NADP^+$ و بالتالي عدم تثبيت الـ CO_2 .

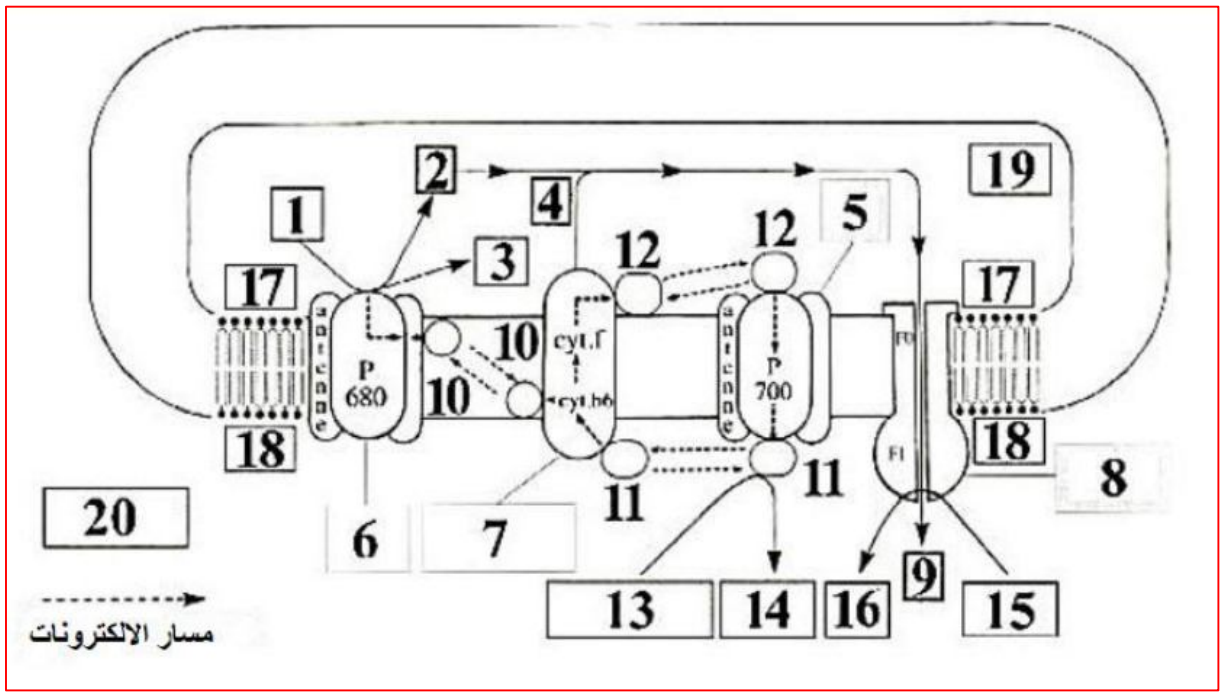
- عند إضافة مادة (DCMU) ومعطي للإلكترونات في الوسط للمحضر المعرض للضوء ، لا يلاحظ انطلاق الأكسجين (O_2) ، و لكن يحدث تثبيت لغاز الفحم (CO_2) .



- في وجود مادة الـ DCMU لا يتأكسد الـ PS_{II} ، و بالتالي لا يتحلل الماء فلا ينطلق الأكسجين .
- في وجود معطي للإلكترونات الذي يحرر عند أكسدته بروتونات تستعمل في تشكيل الـ ATP و إلكترونات تستعمل في إرجاع الـ $NADP^+$ إلى $NADPH,H^+$ ، و بالتالي يتم تثبيت غاز الفحم (CO_2) .

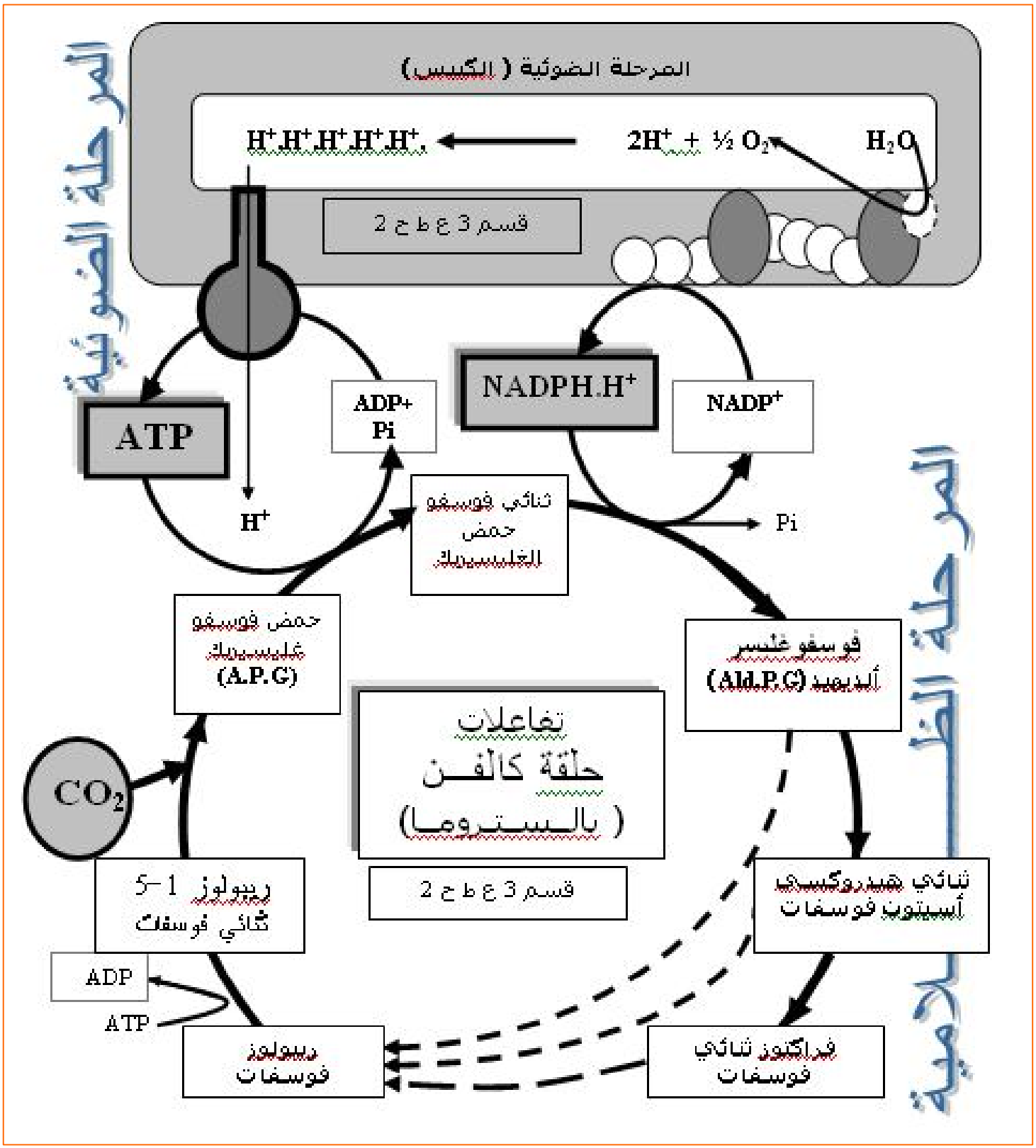
تطبيق :

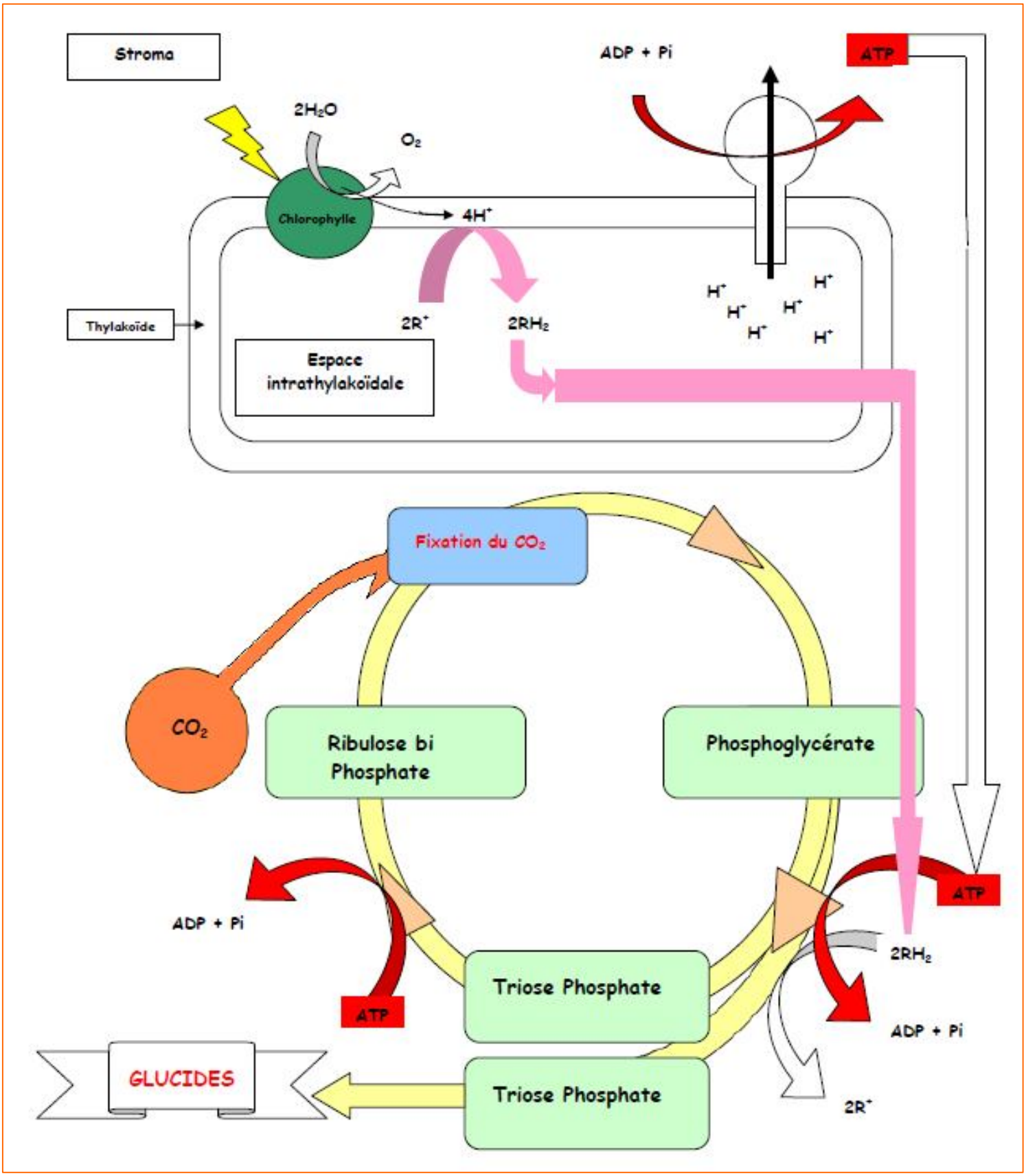
إليك الوثيقة التالية والتي تمثل رسما تخطيطيا يبرز احدى المراحل المؤدية الى تحويل الطاقة على مستوى التيلاكويد.

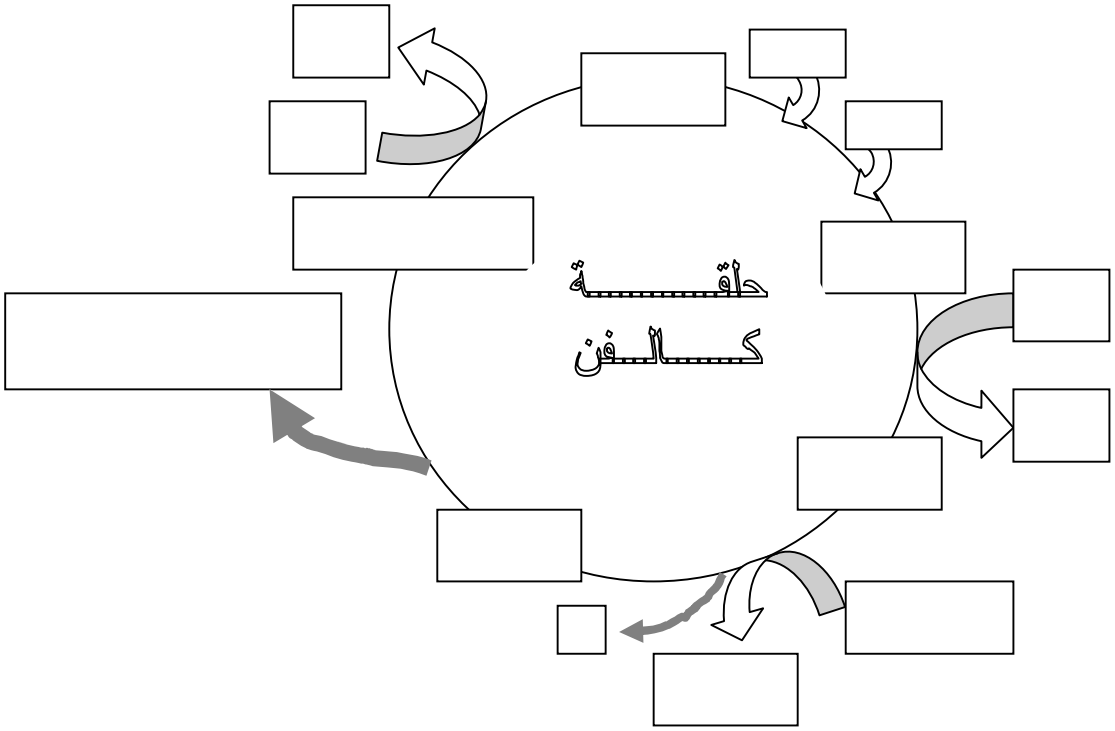


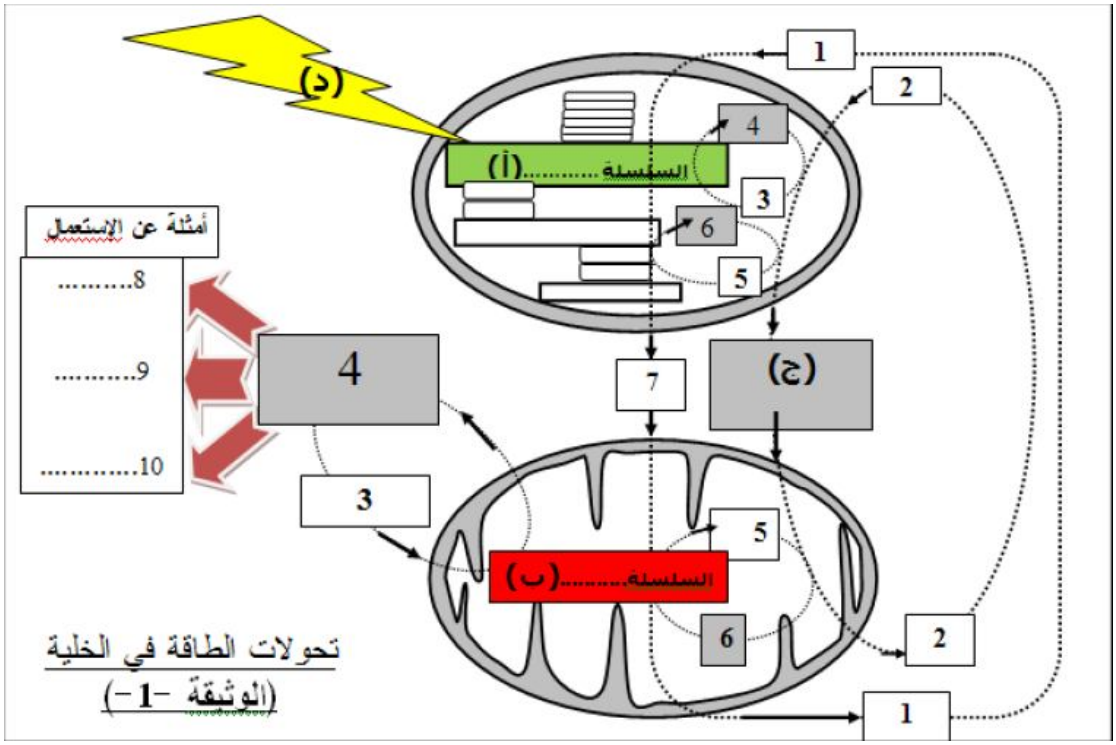
المطلوب :

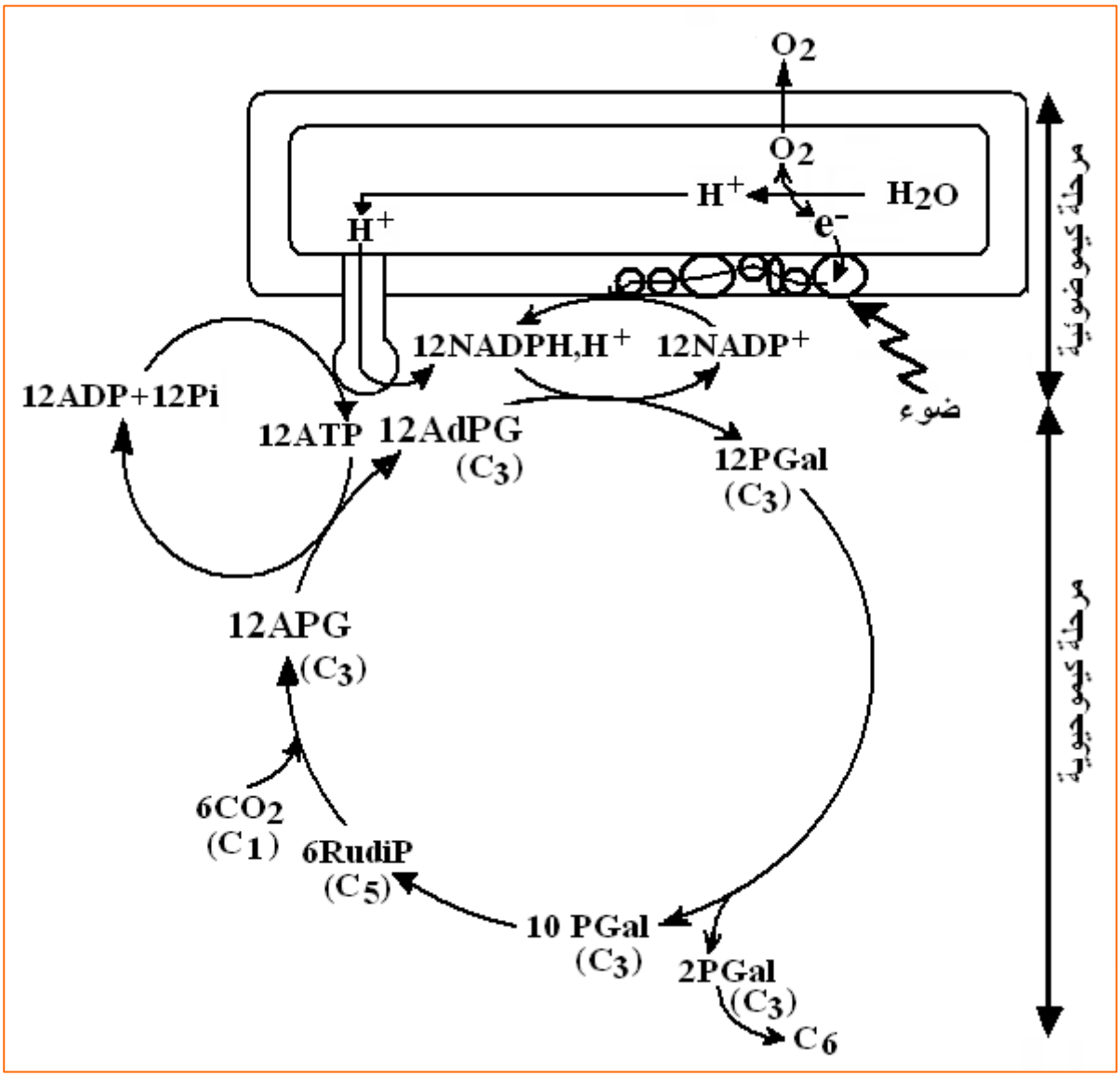
1 - أكمل الرسم بالتعرف على البيانات المرقمة
2 - علق على الوثيقة بإبراز دور العناصر المرقمة في المرحلة التي تحدث على مستوى التيلاكويد.


المرحلة الضوئية
المرحلة الظلامية
المرحلة الضوئية (الكيس)
$H^+ H^+ H^+ H^+ H^+$
$2H^+ + ½ O_2$
H_2O
قسم 3 ع ط ح 2
ATP
ADP+ Pi
NADPH.H+
NADP+
H^+
Pi
ثنائي فوسفو حمض الغليسيريك
حمض فوسفو غليسيريك (A.P.G)
فوسفو غليسر ألديهيد (Ald.P.G)
CO_2
تفاعلات حلقة كالفن (بالستروما)
قسم 3 ع ط ح 2
ريبولوز 1-5 ثنائي فوسفات
ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات
ADP
ATP
ريبولوز فوسفات
فراكتوز ثنائي فوسفات


Stroma
ADP + Pi
ATP
2H2O
O2
Chlorophylle
4H+
Thylakoïde
2R+
2RH2
H+
Espace intrathylakoïdale
Fixation du CO2
CO2
Ribulose bi Phosphate
Phosphoglycérate
ADP + Pi
ATP
2RH2
Triose Phosphate
ADP + Pi
ATP
2R+
GLUCIDES
Triose Phosphate


حلقة
كالفن


(د)
(أ).....السلسلة
(ج)
(ب).....السلسلة
أمثلة عن الإستعمال
.....8
.....9
.....10
4
3
تحولات الطاقة في الخلية
(الوثيقة -1-)


O2
O2
H+
H2O
H+
e-
مرحلة كيموضوئية
12NADPH,H+
12NADP+
12ADP+12Pi
ضوء
12ATP
12AdPG
(C3)
12PGal
(C3)
مرحلة كيموحيوية
12APG
(C3)
6CO2
(C1)
6RudiP
(C5)
10 PGal
(C3)
2PGal
(C3)
C6

Le **cycle de Calvin** (aussi connu comme le **cycle de Calvin-Benson**) est une série de réactions biochimiques prenant place dans le stroma des chloroplastes des organismes photosynthétiques. Il a été découvert par Melvin Calvin et Andy Benson à l'université de Californie - Berkeley.

Durant la photosynthèse, l'énergie de la lumière a été convertie en énergie chimique conservée dans l'ATP et le NADPH. Le cycle de Calvin, indépendant de la lumière, utilise l'énergie de ces transporteurs à courte vie pour transformer le dioxyde de carbone en composés organiques qui peuvent être utilisés par l'organisme. Cet ensemble de réactions est aussi nommé *fixation du carbone*. L'enzyme clé du cycle est appelée RubisCO (Ribulose 1,5 bisphosphate carboxylase/oxygénase).

La somme totale des réactions du cycle de Calvin est :

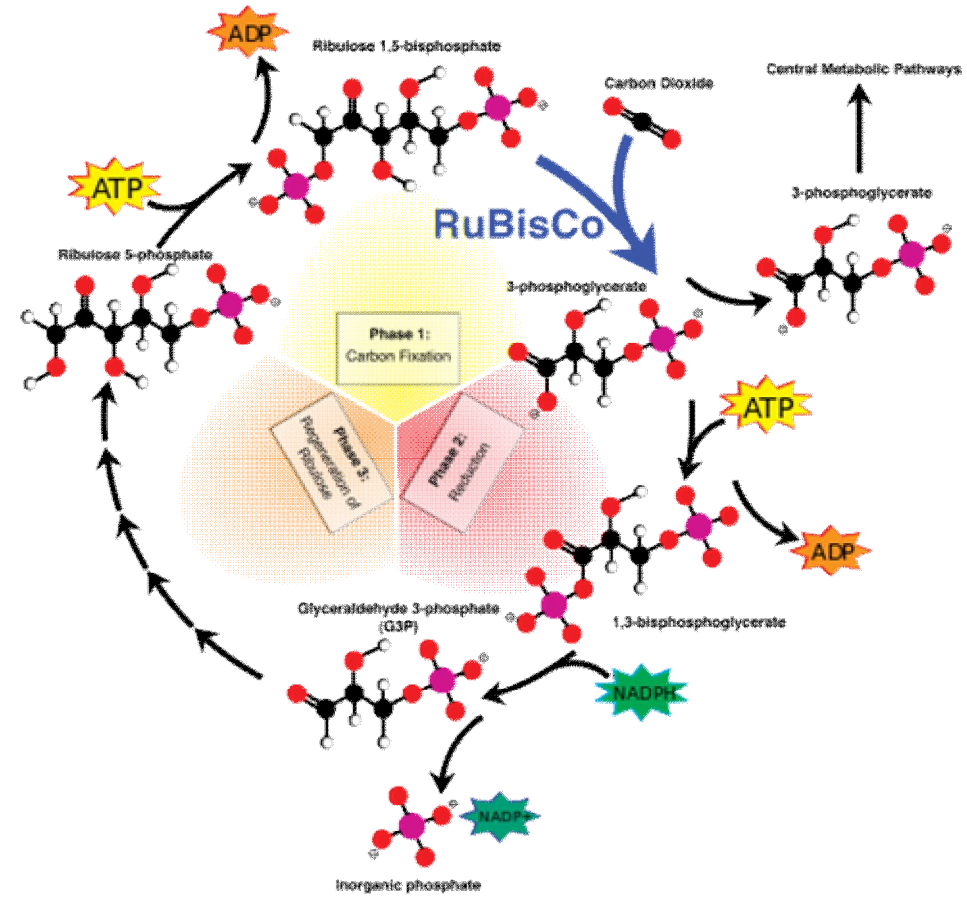
$$6\ CO_2 + 24\ NADPH + 18\ ATP \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ H_2O + 24\ NADP^+ + 18\ ADP + 18\ P_i$$

Sommaire

[masquer]

- 1 Réactions dans le cycle de Calvin
  - 1.1 Fixation du dioxyde de carbone
  - 1.2 Réduction de l'acide 3-phosphoglycérique
  - 1.3 Régénération du ribulose
  - 1.4 Synthèse du glucose
- 2 Liens externes

Réactions dans le cycle de Calvin



Cycle de Calvin, vue des trois étapes : fixation du dioxyde de carbone, réduction et régénération du ribulose.

Le **cycle de Calvin** se déroule en trois étapes :

- fixation du dioxyde de carbone,
- réduction de l'acide 3-phosphoglycérique (APG) en trioses phosphate (sucre),
- régénération du ribulose-1,5-diphosphate (accepteur de CO_2).

Fixation du dioxyde de carbone

Ribulose-1,5-diphosphate (RuDP) + dioxyde de carbone → 2 (3-phosphoroglycérate) (catalysé par la RuBisCO)

$$3\ C_5H_8P_2O_{11} + 3\ CO_2 \rightarrow 6\ C_3H_3PO_6 + 3\ H_2O$$

Réduction de l'acide 3-phosphoglycérique

3-phosphoglycérate + ATP → 1,3-diphosphoglycérate + ADP

$$6\ C_3H_3PO_6 + 6\ ATP \rightarrow 6\ C_3H_3P_2O_{10} + 6\ ADP$$

1,3-diphosphoglycérate + $NADPH + H^+$ → glycéraldéhyde-3-phosphate + $NADP^+$ + P_i

$$6\ C_3H_3P_2O_{10} + 6\ NADPH \rightarrow 6\ C_3H_5PO_6 + 6\ NADP^+ + 6\ P_i$$

Glycéraldéhyde-3-phosphate → ribulose-5-phosphate + P_i

$$5\ C_3H_5PO_6 \rightarrow 3\ C_5H_8PO_7 + 2\ P_i + OH^-$$

Régénération du ribulose

ribulose-5-phosphate + ATP → ribulose-1,5-diphosphate + ADP

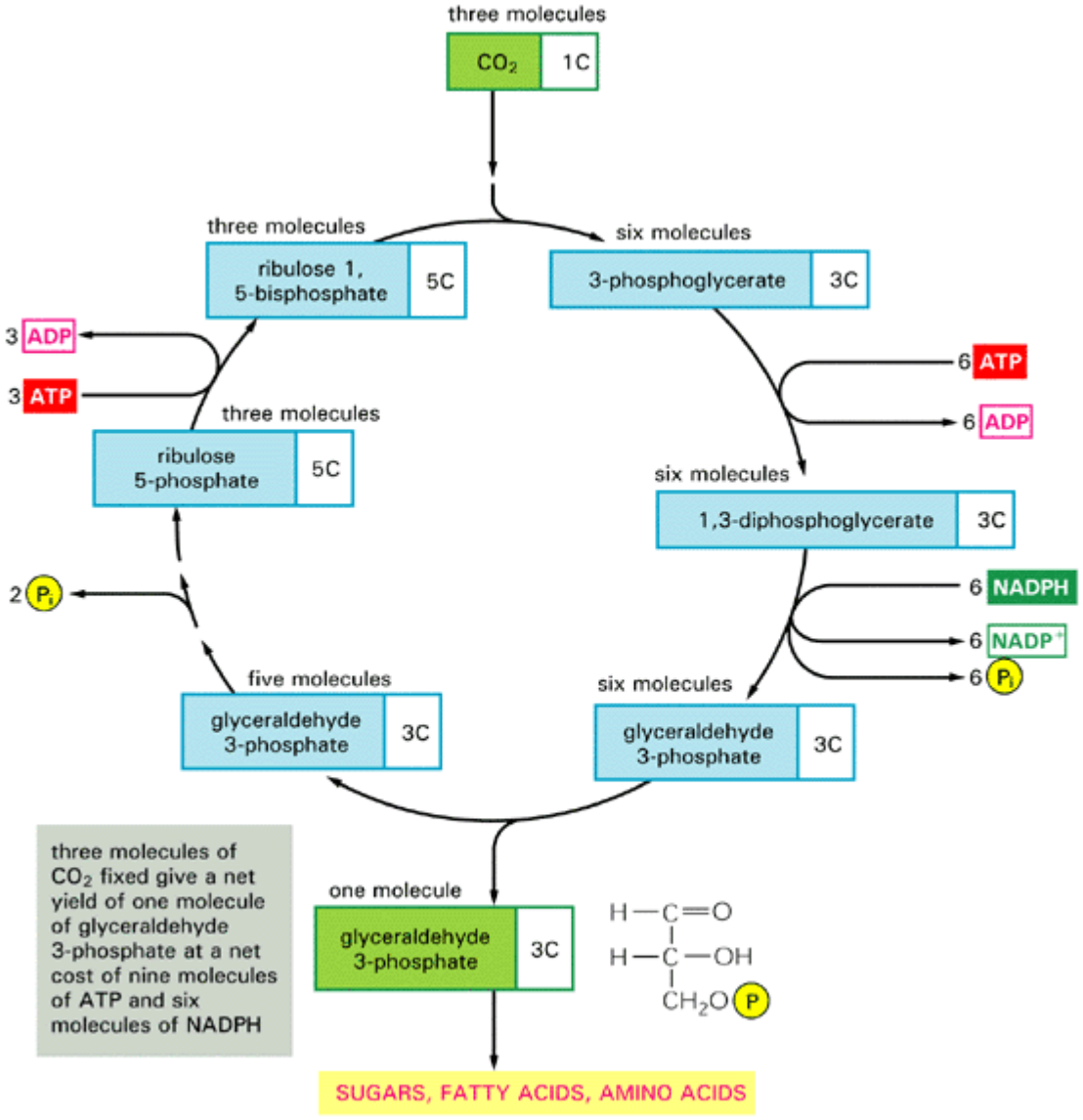
$$3\ C_5H_8PO_7 + 3\ ATP \rightarrow 3\ C_5H_8P_2O_{11} + 3\ ADP$$

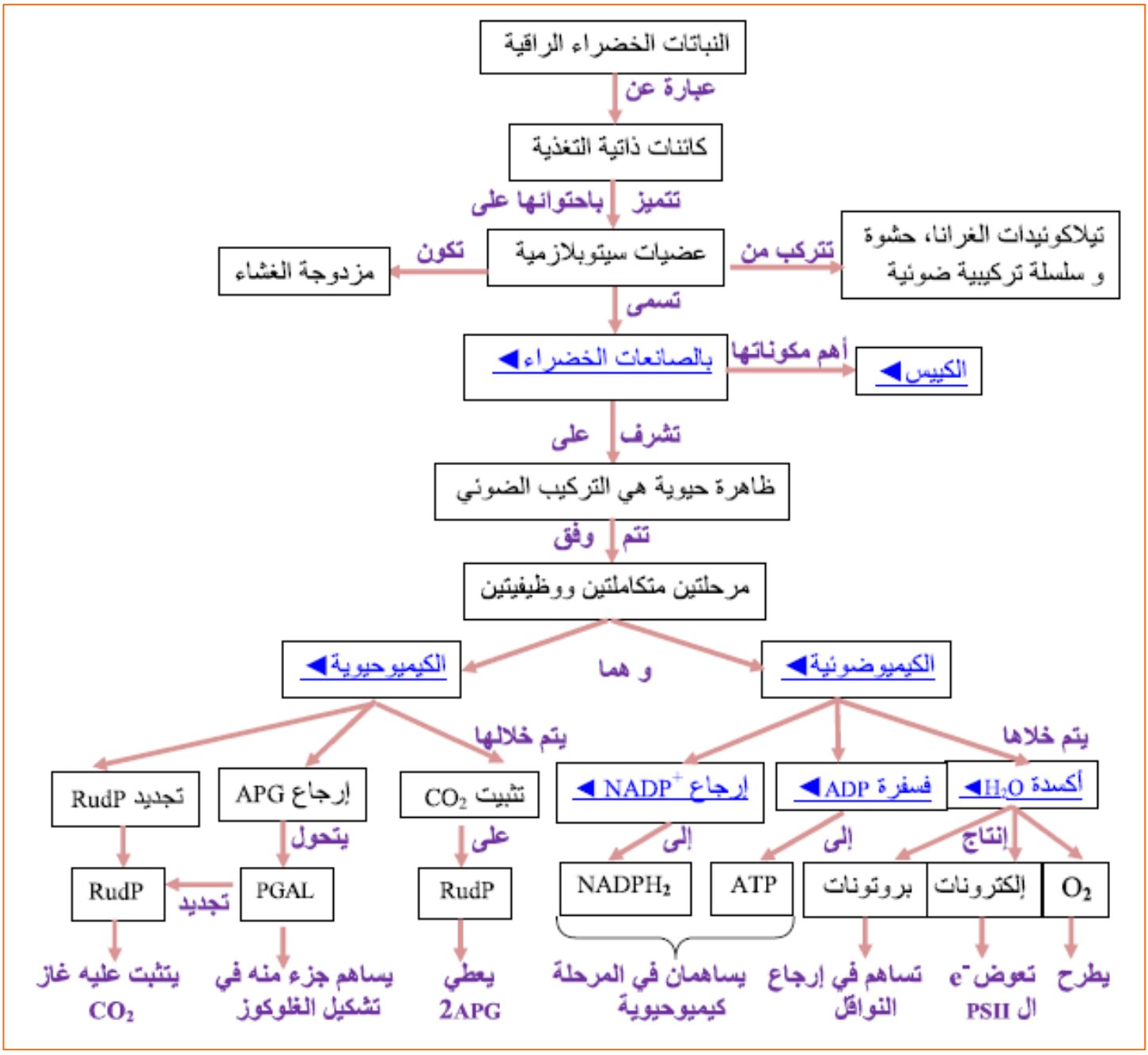
La molécule 3-phosphoglycéraldéhyde manquante est convertie en glucose.

Synthèse du glucose

Glycéraldéhyde-3-phosphate → glucose

$$2\ C_3H_5PO_6 + 2\ [H] \rightarrow C_6H_{12}O_6 + P_i + 3\ O_2$$


three molecules
CO_2
1C
three molecules
ribulose 1, 5-bisphosphate
5C
six molecules
3-phosphoglycerate
3C
3 ADP
3 ATP
6 ATP
6 ADP
three molecules
ribulose 5-phosphate
5C
six molecules
1,3-diphosphoglycerate
3C
2 P_i
6 NADPH
6 $NADP^+$
6 P_i
five molecules
glyceraldehyde 3-phosphate
3C
six molecules
glyceraldehyde 3-phosphate
3C
three molecules of CO_2 fixed give a net yield of one molecule of glyceraldehyde 3-phosphate at a net cost of nine molecules of ATP and six molecules of NADPH
one molecule
glyceraldehyde 3-phosphate
3C
H—C=O
H—C—OH
CH_2O P
SUGARS, FATTY ACIDS, AMINO ACIDS


النباتات الخضراء الراقية
عبارة عن
كائنات ذاتية التغذية
تتميز باحتوائها على
عضيات سيتوبلازمية
تتركب من
ثيلاكونيدات الغرانا، حشوة و سلسلة تركيبية ضوئية
تكون
مزدوجة الغشاء
تسمى
بالصانعات الخضراء
أهم مكوناتها
الكيس
تشرف على
ظاهرة حيوية هي التركيب الضوئي
تتم وفق
مرحلتين متكاملتين ووظيفيتين
الكيميوضوئية
و هما
الكيميوحيوية
يتم خلالها
أكسدة H_2O
فسفرة ADP
إرجاع $NADP^+$
تثبيت CO_2
إرجاع APG
تجديد RudP
إنتاج
إلى
إلى
على
يتحول
O_2
إلكترونات
بروتونات
ATP
$NADPH_2$
PGAL
RudP
RudP
تجديد
يطرح
تعوض e^- ال PSII
تساهم في إرجاع النواقل
يساهمان في المرحلة كيميوحيوية
يعطي 2APG
يساهم جزء منه في تشكيل الظوكوز
يتثبت عليه غاز CO_2

Le **cycle de Calvin** se déroule en trois étapes :

- fixation du dioxyde de carbone,
- réduction de l'acide 3-phosphoglycérique (APG) en trioses phosphate (sucre),
- régénération du ribulose-1,5-bisphosphate (accepteur de CO_2).

Fixation du dioxyde de carbone

Ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP) + dioxyde de carbone → 2 (3-phosphoroglycérate) (catalysé par la RuBisCO)

$$3\ C_5H_8P_2O_{11} + 3\ CO_2 + 9\ H_2O \rightarrow 6\ C_3H_3PO_7 + 6\ H_3O^+$$

Réduction de l'acide 3-phosphoglycérique

3-phosphoglycérate + ATP → 1,3-diphosphoglycérate + ADP

$$6\ C_3H_3PO_7 + 6\ ATP \rightarrow 6\ C_3H_3P_2O_{10} + 6\ ADP$$

1,3-diphosphoglycérate + $NADPH + H^+$ → glycéraldéhyde-3-phosphate + $NADP^+$ + P_i

$$6\ C_3H_3P_2O_{10} + 6\ NADPH \rightarrow 6\ C_3H_5PO_6 + 6\ NADP^+ + 6\ P_i$$

Glycéraldéhyde-3-phosphate → ribulose-5-phosphate + P_i

$$5\ C_3H_5PO_6 \rightarrow 3\ C_5H_8PO_7 + 2\ P_i + OH^-$$

Régénération du ribulose

ribulose-5-phosphate + ATP → ribulose-1,5-bisphosphate + ADP

$$3\ C_5H_8PO_7 + 3\ ATP \rightarrow 3\ C_5H_8P_2O_{11} + 3\ ADP$$

La molécule 3-phosphoglycéraldéhyde manquante est convertie en glucose.

Synthèse du glucose

Glycéraldéhyde-3-phosphate → glucose

$$2\ C_3H_5PO_6 + 2\ [H] \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 2\ P_i + 3\ O_2$$

التمـــارين

تمرين 1 :

يعرض التمرين تجربة مشهورة قام بها العالم انغلمان تم فيها إثبات دور ألوان الطيف المختلفة بطريقة بدائية وفي تحديد شدة التركيب الضوئي. هذه التجربة مكملة للوثيقة الموجودة في الوثيقة 2 في الصفحة 181 .

السؤال 1 يتوصل التلميذ إلى فكرة استعمال البكتريا كمقياس حيوي (جهاز) لمعرفة تركيز الأكسجين وبالتالي تحديد شدة التركيب الضوئي.

خطأ مطبعي ص 201 (حلل وليس حل)

في السؤال 2 ومن خلال تحليل نتائج التجربة يتوصل التلميذ إلى أن الأشعة الفعالة في عملية التركيب الضوئي هي الواقعة في المجال البنفسجي –الأزرق وفي الأحمر.

وهذه النتائج تتفق مع ما تم التوصل إليه من خلال نتائج الوثيقة 2 في الصفحة 181.

تمرين 2 : هي وضعية إدماج يتم فيها دفع التلميذ إلى اقتراح تفسير هذه الوضعية الحقيقية.

الوضعية تتعلق بتوزع الأشنات حسب العمق والمطلوب إعطاء تفسير لهذه الوضعية انطلاقا من المعارف المكتسبة خلال هذه الوحدة.

يتم توظيف المعارف المتعلقة بـ: ألولن الطيف ، طيف الامتصاص ، الأشعة الضوئية الفعالة في التركيب الضوئي ، دور الأصبغة في امتصاص الأشعة الضوئية.

خطأ في الترقيم لا وجود للوثيقة 3

في السؤال 1 يقوم التلميذ باستغلال نتائج الوثيقة 4 لتحديد الأشعة الضوئية القادرة على اختراق الأعماق وتلك التي لا تستطيع اختراق الأعماق. حيث يصل التلميذ إلى أن الأشعة الحمراء والزرقاء البنفسجية هي التي تختفي أولا بينما تبقى الخضراء والصفراء.

من خلال تحليل نتائج الوثيقة 3 يتوصل التلميذ إلى دور الأصبغة في امتصاص الأشعة الضوئية وأن الأشنات البنية والحمراء تمتص في مجال الضوء الأخضر والأصفر. يقوم التلميذ باستغلال الوثيقتين 2 و 4 معا .

في النهاية يقوم التلميذ بالربط بين نوع الصبغات ونوع الأشعة التي تصل إلى الأعماق وطيف الامتصاص ليتوصل إلى تفسير سبب عدم تواجد الأشنات الخضراء إلا في أعماق صغيرة لأنها تمتص الأشعة الزرقاء والحمراء التي لا تنفذ إلى الأعماق بينما تتواجد الأشنات البنية والحمراء في أعماق أكبر لأنها تملك صبغات يمكنها امتصاص الضوء الأخضر والأصفر الذي يصل إلى أعماق اكبر.

وصول الضوء يعني مصدر الطاقة اللازمة للنمو. وبالتالي التواجد له علاقة بتوفر مصدر الطاقة.

التمرين 3 :

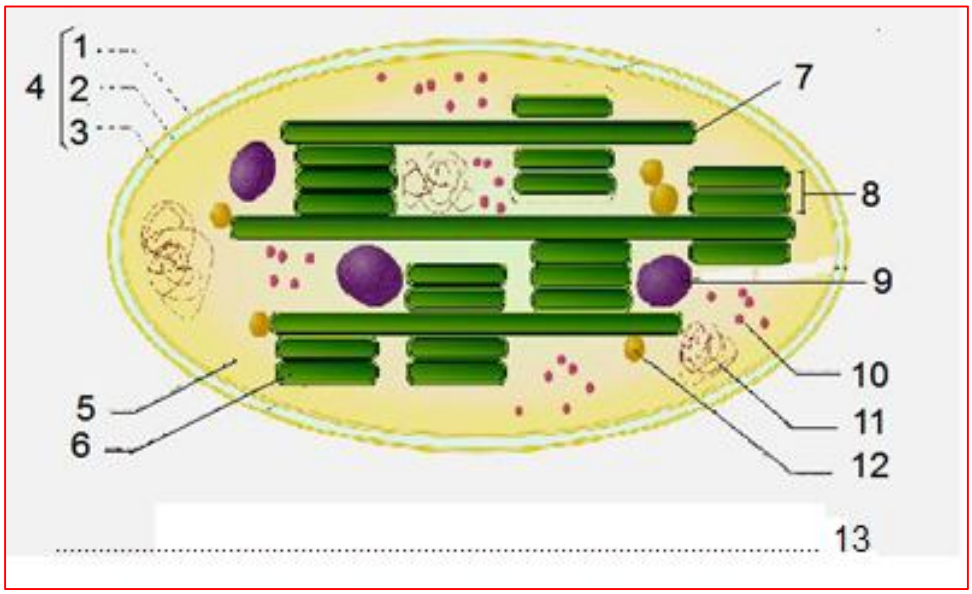
هو تمرين تابع للوحدة الثانية في المجال 1 وقد وضع خطأ عند التصفيف لذا يرجى من الأساتذة إدراجه ضمن قائمة التمارين لهذه الوحدة (العلاقة بين بنية ووظيفة البروتينات)

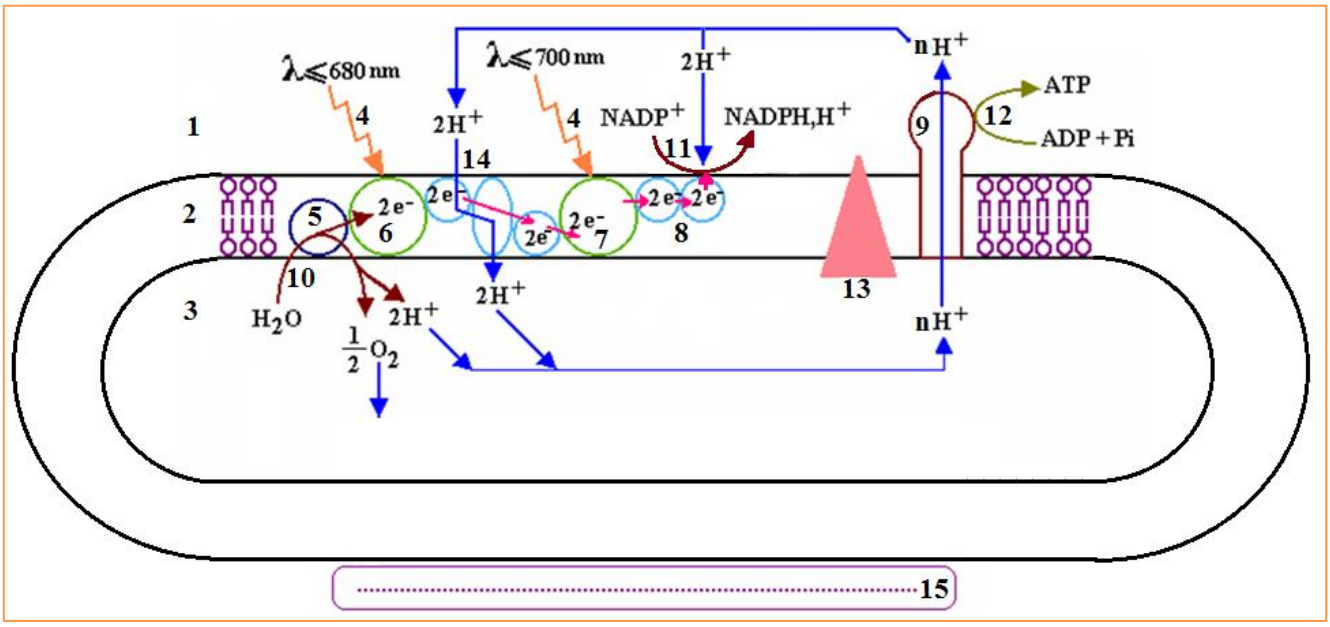
تمرين 3 : يهدف التمرين إلى تعريف التلميذ بحالة أخرى موجود في الطبيعية يتم فيها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة عند أحد أنواع البكتريا ومقارنتها مع الحالة العامة التي تم التعرف عليها أثناء دراستنا للوحدة والمتواجدة في كل النباتات الخضراء.

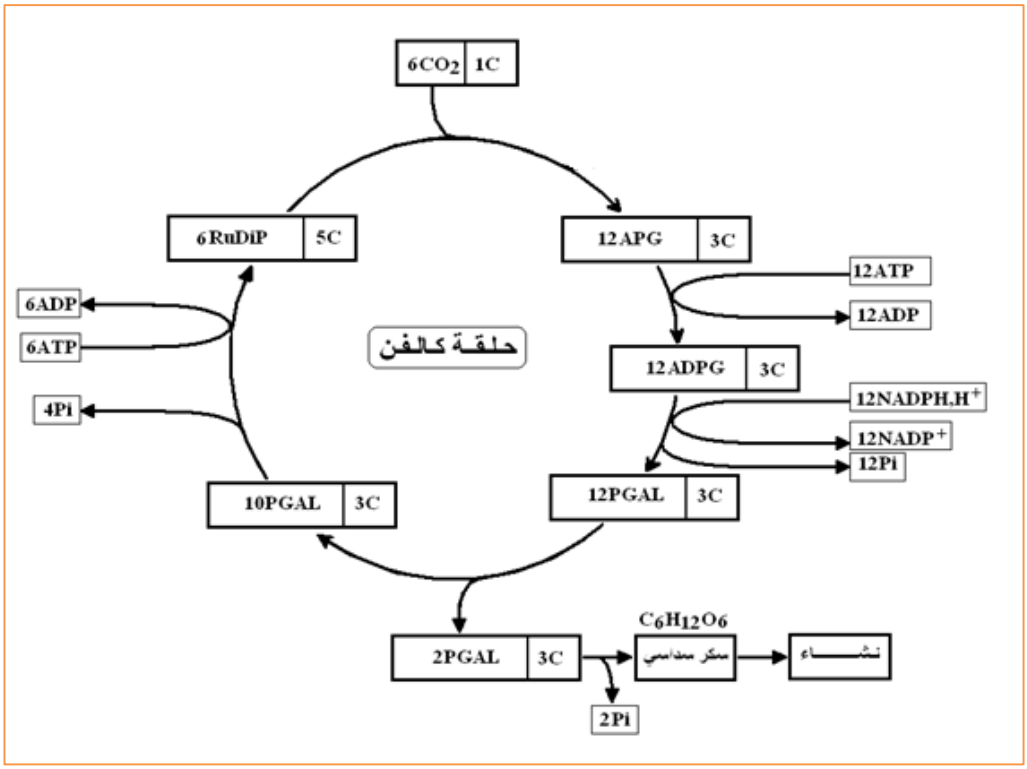
السؤال1 يهدف إلى إجراء المقارنة بين الحالتين (الآليتين).

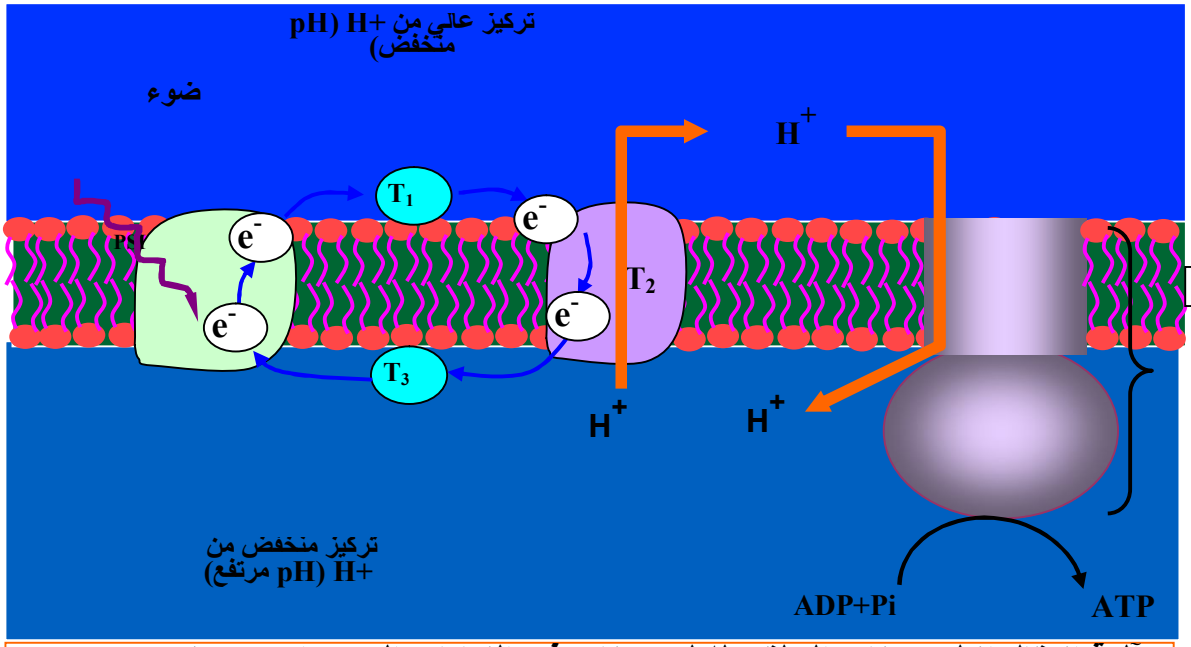
عناصر المقارنة تشمل : عدد الأنظمة الضوئية ، عدد نواقل الإلكترونات ، مصدر ومصير الإلكترونات ، طريق تعويض الإلكترونات المفقودة ، تحلل الماء... إلخ.

السؤال الثاني يحاول طرح حالة تحدث في النباتات الخضراء في ظروف محددة. يقوم التلميذ في هذه الحالة بإنجاز رسم تخطيطي يوضح فيه طريقة انتقال الإلكترونات ويحاول فيه التوصل إلى فائدة هذه الآلية.


4
1
2
3
7
8
9
10
11
12
5
6
13


λ≤680 nm
λ≤700 nm
2H+
nH+
ATP
ADP + Pi
NADP+
NADPH,H+
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
2e-
H2O
½ O2
15


6CO2 1C
6RuDiP 5C
12APG 3C
12ATP
12ADP
6ADP
6ATP
4Pi
حلقة كالفن
12ADPG 3C
12NADPH,H+
12NADP+
12Pi
10PGAL 3C
12PGAL 3C
C6H12O6
2PGAL 3C
2Pi



آلية انتقال الإلكترونات الحلقي للإلكترونات في النباتات الخضراء ، حيث يتم تركيب NADPH,H+ دون إنتاج ATP

تنبيه النظام الضوئي PS_{680} :

$$2P_{680} + \text{ضوء} \longrightarrow 2P^{*}_{680} \longrightarrow 2P^{+}_{680} + 2e^{-}$$

- **انتقال الإلكترونات من H_2O إلى P_{680} :**

أنزيـــم

$$H_2O \longrightarrow \tfrac{1}{2}O_2 + 2H^{+} + 2e^{-}$$

$$2P^{+}_{680} + 2e^{-} \longrightarrow 2P_{680}$$

$$H_2O + 2P^{+}_{680} + \cancel{2e^{-}} \longrightarrow 2P_{680} + \tfrac{1}{2}O_2 + 2H^{+} + \cancel{2e^{-}}$$

$$H_2O + 2P^{+}_{680} \longrightarrow 2P_{680} + \tfrac{1}{2}O_2 + 2H^{+}$$

- **انتقال الإلكترونات من P_{680} إلى T_1 :**

$$2P^{*}_{680} \longrightarrow 2P^{+}_{680} + 2e^{-}$$

$$T_1 + 2e^{-} + 2H^{+} \longrightarrow T_1H_2$$

تؤخذ من الحشوة

$$2P^{*}_{680} + T_1 + \cancel{2e^{-}} + 2H^{+} \longrightarrow 2P^{+}_{680} + \cancel{2e^{-}} + T_1H_2$$

$$2P^{*}_{680} + T_1 + 2H^{+} \longrightarrow 2P^{+}_{680} + T_1H_2$$

- **انتقال الإلكترونات من T_1 إلى T_2 :**

$$T_1H_2 \longrightarrow T_1 + 2e^{-} + 2H^{+}$$

تتحرر في التجويف

$$2T_2^{3+} + 2e^{-} \longrightarrow 2T_2^{2+}$$

$$T_1H_2 + 2T_2^{3+} + \cancel{2e^{-}} \longrightarrow T_1 + 2H^{+} + \cancel{2e^{-}} + 2T_2^{2+}$$

$$T_1H_2 + 2T_2^{3+} \longrightarrow T_1 + 2H^{+} + 2T_2^{2+}$$

- **انتقال الإلكترونات من T_2 إلى T_3 :**

$$2T_2^{2+} \longrightarrow 2T_2^{3+} + 2e^{-}$$

$$2T_3^{3+} + 2e^{-} \longrightarrow 2T_3^{2+}$$

$$2T_2^{2+} + 2T_3^{3+} + \cancel{2e^{-}} \longrightarrow 2T_2^{3+} + \cancel{2e^{-}} + 2T_2^{2+}$$

$$2T_2^{2+} + 2T_3^{3+} \longrightarrow 2T_2^{3+} + 2T_3^{2+}$$

- **تنبيه النظام الضوئي PS_{700} :**

$$2P_{700} + \text{ضوء} \longrightarrow 2P^{*}_{700} \longrightarrow 2P^{+}_{700} + 2e^{-}$$

- **انتقال الإلكترونات من T3 إلى P_{700} :**

$$2T_3^{2+} \longrightarrow 2T_3^{3+} + 2e^{-}$$
$$2P^{+}_{700} + 2e^{-} \longrightarrow 2P_{700}$$
$$2P^{+}_{700} + 2T_3^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow 2T_3^{3+} + 2P_{700} + 2e^{-}$$
$$2P^{+}_{700} + 2T_3^{2+} \longrightarrow 2T_3^{3+} + 2P_{700}$$

- **انتقال الإلكترونات من P_{700} إلى T'_1 :**

$$2P^{*}_{700} \longrightarrow 2P^{+}_{700} + 2e^{-}$$
$$2T'^{+}_1 + 2e^{-} \longrightarrow 2T'_1$$
$$2P^{*}_{700} + 2T'^{+}_1 + 2e^{-} \longrightarrow 2P^{+}_{700} + 2e^{-} + 2T'_1$$
$$2P^{*}_{700} + 2T'^{+}_1 \longrightarrow 2P^{+}_{700} + 2T'_1$$

- **انتقال الإلكترونات من T'_1 إلى T'_2 :**

$$2T'_1 \longrightarrow 2T'^{+}_1 + 2e^{-}$$
$$2T'^{+}_2 + 2e^{-} \longrightarrow 2T'_2$$
$$2T'_1 + 2T'^{+}_2 + 2e^{-} \longrightarrow 2T'^{+}_1 + 2e^{-} + 2T'^{+}_2$$
$$2T'_1 + 2T'^{+}_2 \longrightarrow 2T'^{+}_1 + 2T'_2$$

- **انتقال الإلكترونات من T'_2 إلى $NADP^{+}$:**

$$2T'_2 \longrightarrow 2T'^{+}_2 + 2e^{-}$$
$$NADP^{+} + 2e^{-} + 2H^{+} \longrightarrow NADPH,H^{+}$$
تؤخذ من الحشوة
$$NADP^{+} + 2H^{+} + 2T'_2 + 2e^{-} \longrightarrow NADPH,H^{+} + 2T'^{+}_2 + 2e^{-}$$
$$NADP^{+} + 2H^{+} + 2T'_2 \longrightarrow NADPH,H^{+} + 2T'^{+}_2$$

1 $2P_{680} + \text{ضوء} \longrightarrow 2P^{*}_{680} \longrightarrow P^{+}_{680} + 2e^{-}$

2 $2P_{700} + \text{ضوء} \longrightarrow 2P^{*}_{700} \longrightarrow 2P^{+}_{700} + 2e^{-}$

3 $H_2O \longrightarrow \frac{1}{2} O_2 + 2H^{+} + 2e^{-}$

4 $2P^{+}_{680} + 2e^{-} \longrightarrow 2P_{680}$

5 $T_1 + 2e^{-} + 2H^{+} \longrightarrow T_1H_2$

6 $T_1H_2 \longrightarrow T_1 + 2e^{-} + 2H^{+}$

7 $2T_2^{3+} + 2e^{-} \longrightarrow 2T_2^{2+}$

8 $2T_2^{2+} \longrightarrow 2T_2^{3+} + 2e^{-}$

9 $2T_3^{3+} + 2e^{-} \longrightarrow 2T_3^{2+}$

10 $2T_3^{2+} \longrightarrow 2T_3^{3+} + 2e^{-}$

11 $2P^{+}_{700} + 2e^{-} \longrightarrow 2P_{700}$

12 $2T'^{+}_{1} + 2e^{-} \longrightarrow 2T'_{1}$

13 $2T'_{1} \longrightarrow 2T'^{+}_{1} + 2e^{-}$

14 $2T'^{+}_{2} + 2e^{-} \longrightarrow 2T'_{2}$

15 $2T'_{2} \longrightarrow 2T'^{+}_{2} + 2e^{-}$

16 $NADP^{+} + 2e^{-} + 2H^{+} \longrightarrow NADPH,H^{+}$

Fb : Ferah Aissa

https://www.facebook.com/Ferah-Aissa-255117511485916/