المجال التعلمي الثاني: اليات تحويل الطاقة

مقدمة: تتدفق الطاقة في الطبيعة من شكل الى شكل اخر.وذلك بواسطة مجموعة من الظواهر الحيوية.

أولا: تتحول الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية كامنة في روابط الجزيئات العضوية. ويتم ذلك بواسطة ظاهرة التركيب الضوئي la.photosynthese

ثانيا: تتحول الطاقة الكيميائية الكامنة في روابط الجزيئات العضوية الى طاقة كيميائية جاهزة قابلة للاستعمال بشكل جزيئات ATP . ويتم ذلك بواسطة ظواهر التنفس والتخمرات la respiration et fermentation.

ثالثا: تستعمل الطاقة الجاهزة في مختلف الوظائف الحيوية التي يقوم بها الكائن الحي وفي التقلص العضلي تتحول الى طاقة ميكانيكية.

طاقة ضوئية ⟵ طاقة كيميائية كامنة ⟵ طاقة قابلة للاستعمال ⟵ استعمال الطاقة.

النشاط الأول: تذكير بالمكتسبات القبلية:

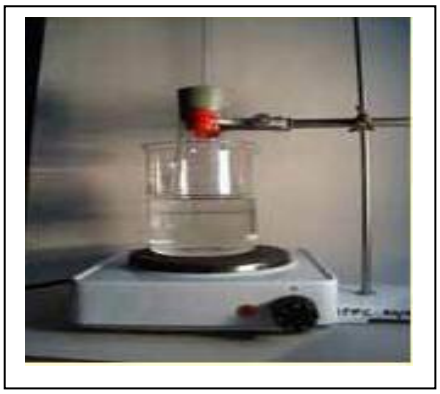
01) شروط عملية التركيب الضوئي

من خلالها يتم تركيب الجزيئات العضوية مثل النشا المخزنة للطاقة الكيميائية.

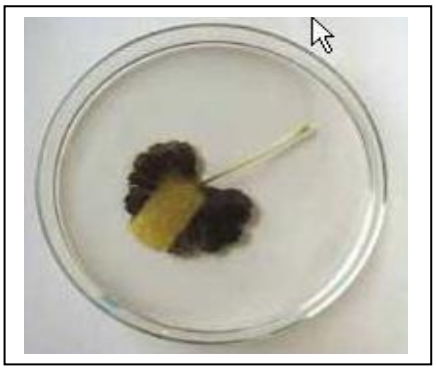
أ) ضرورة الضوء لتركيب النشا:

يمثل التركيب التجريبي الممثل في الوثيقة01 الشروط التجريبية ونتائجها الممثلة في الوثيقة02

الوثيقة01



الكشف عن النشا



الوثيقة02 الملاحظة والنتائج

التجربة: تم حجب جزء من ورقة نبات اخضر عن الضوء بواسطة غطاء اسود. وبعد مرور 12 ساعة تم الكشف عن وجود النشاء في هذه الورقة. باستعمال اختبار ماء اليود **غلي** الورقة في الماء ثم **ازالة** اليخضور بالكحول ثم اضافة **الكاشف** عن النشا وهو **ماء اليود**.

الملاحظة:

تلون الجزء المعرض للضوء بالأزرق البنفسجي. وعدم تلون الجزء المحجوب عن الضوء مع ماء اليود.

التفسير: يعود عدم التلون مع ماء اليود الى عدم تركيب النشا في الجزء المحجوب عن الضوء.

النتيجة: الضوء ضروري لتركيب النشاء أي ضروري لظاهرة التركيب الضوئي.

ب) ضرورة اليخضورلتركيب النشا:

التجربة شروطها ونتائجها موضحة في الوثائق التالية:

*- نستعمل فيها نبات اللبلاب ذواوراق مزركشة الورقة بهااجزاء بيضاءلا تحتوي على يخضور واجزاء خضراء تحتوي على يخضور.

*- يعرض النبات الى مدة 12 ساعة للضوء مدة كافية لتركيب النشا

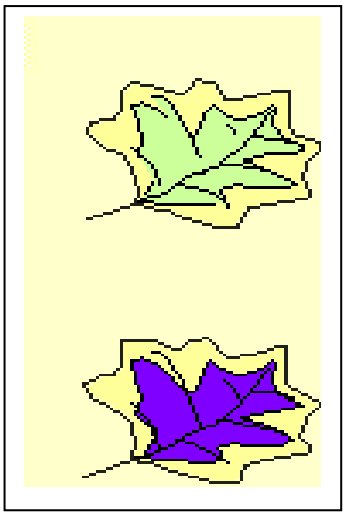
*- يكشف عن وجود النشاء في اوراق هذا النبات باستعمال اختبار ماء اليود.

النتائج :

- تتلون الأجزاء التي كانت تحتوي على اليخضور بالأزرق البنفسجي مع ماء اليود. لتركيبها للنشاء

-أما الأجزاء البيضاء فلا تتلون مع ماء اليود لعدم تركيبها للنشا.

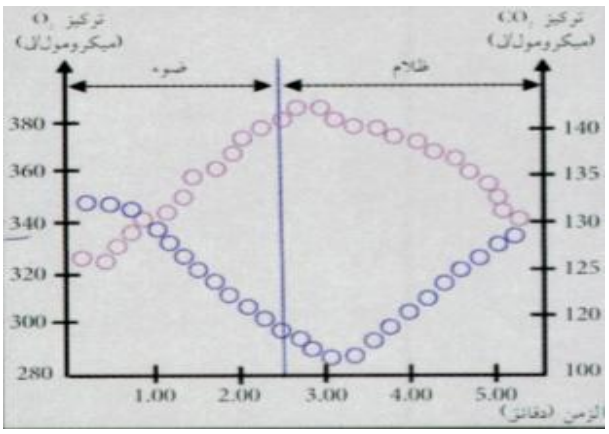
النتيجة :اليخضور ضروري لتركيب النشا أي ضروري لظاهرة التركيب الضوئي.



خلاصة: تتمثل شروط التركيب الضوئي في وجود اليخضور والضوء

02) مظاهر التركيب الضوئي:

باستعمال التركيب التجريبي EXAO ندرس مختلف المبادلات الغازية التي تتم بين النبات الأخضر والوسط الخارجي. النتائج ممثلة في الوثيقةالتالية:



01) حلل وفسر هذه النتائج وماذا تستخلص؟

التحليل:

تمثل تغيرات تركيز O2 و تركيز CO2 في الوسط بدلالة الاضاءة والظلام.

في الضوء: يتزامن تزايد تركيزO2 مع تناقص تركيز CO2 في الوسط

في الظلام: يتزامن تناقص تركيز O2 مع تزايد تركيز CO2 في الوسط.

التفسير:

يرجع تزايد تركيز تركيزO2 وتناقص تركيز CO2 في الوسط الى طرح O2 وامتصاص CO2 في ظاهرة التركيب الضوئي.

النتيجة: تتمثل مظاهر التركيب الضوئي في امتصاصCO2 وطرحO2

خلاصة: النبات الأخضر المعرض للضوء يطرح O2 ويمتص CO2 ويركب المادة العضوية النشا وفق المعادلة التالية:

الضوء

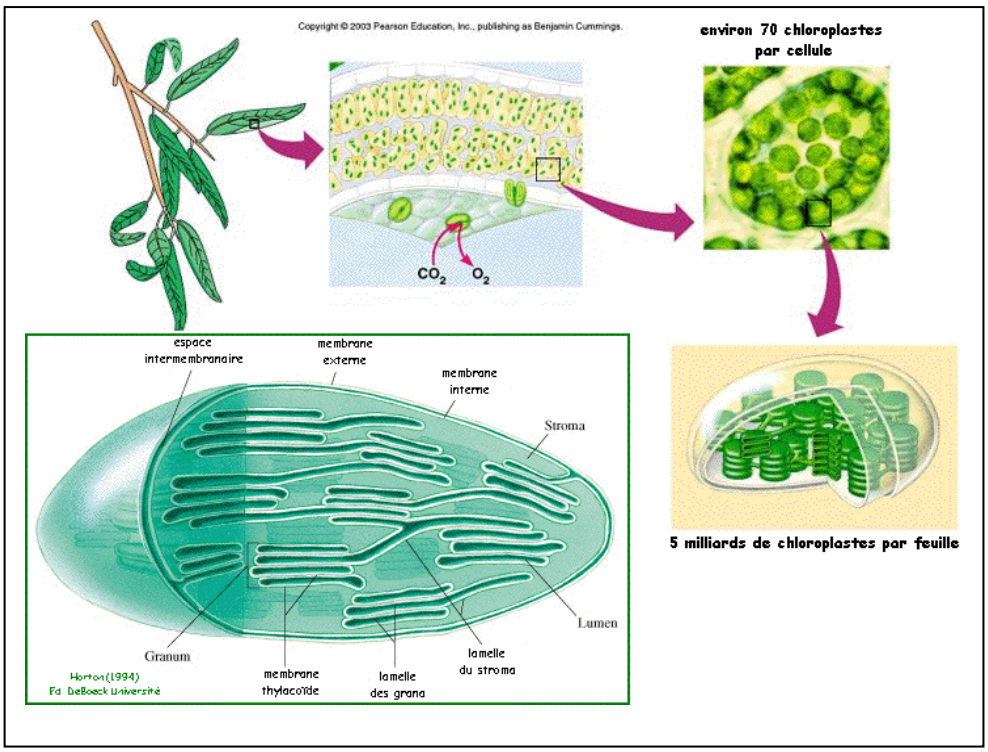
$$n(CO_2) + n(H_2O) \longrightarrow (C_6H_{10}O_5)n + nO_2 + n(H_2O)$$

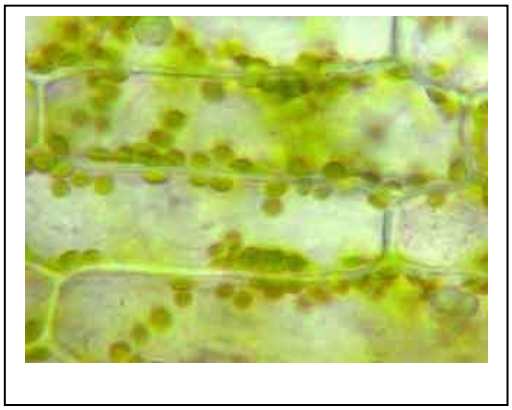
اليخضور

تتم هذه التفاعلات داخل الصانعة الخضراء

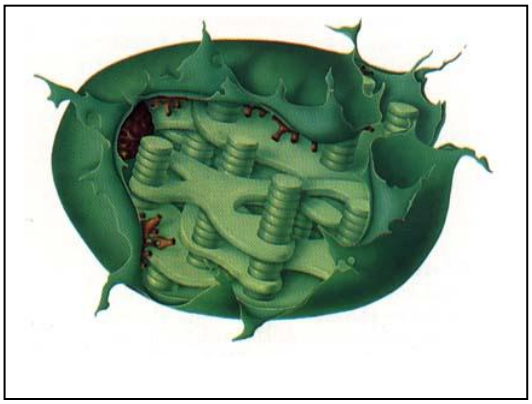
النشاط الثاني مقر عملية التركيب الضوئي:

بنية الصانعة الخضراء: تمثل مجموع هذه الوثائق مقر الصانعة الخضراء وبنيتها

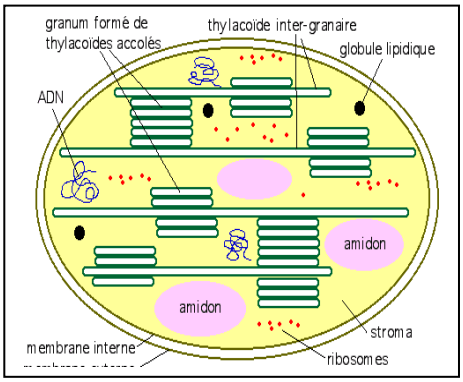




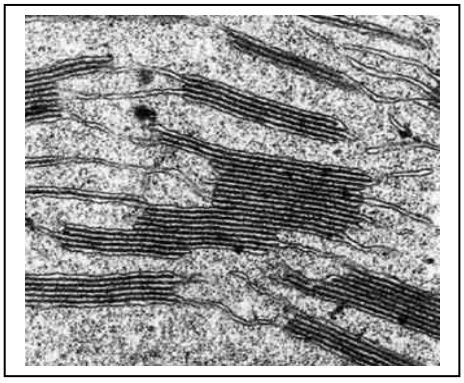
تحتوي الخلية اليخضورية على عدد كبير من الصانعات الخضراء



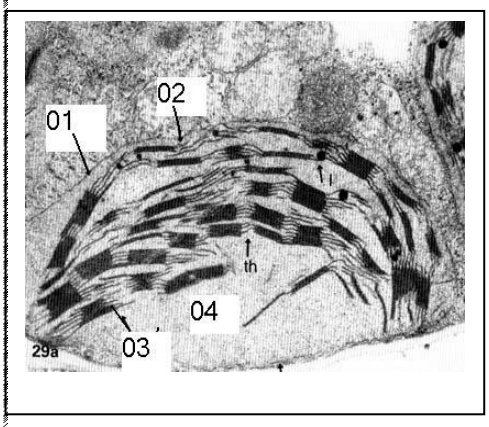
مجسم لبنية الصانعة الخضراء



رسم تخطيطي لمافوق بنية الصانعة الخضراء



الصفائح والبذيرات



صورة بالمجهر الالكتروني لبنية الصانعة الخضراء

وصف بنية الصانعة الخضراء:

*-يحيط الصانعة الخضراءا غلاف مزدوج مشكل من غشاءين خارجي وداخلي بينهما فراغ بين الغشائين.

*-التجويف الداخلي يحتوي على الحشوة (الستروما stroma) وهي المادة الأساسية. ذات تركيب كيميائي غزير ومتنوع.

*-يسبح في الستروما صفائح تيلاكوئيدية. تتوضع عليها بذيراتgranumes كل بذيرة تتكون من تركيبات غشائية هي مجموعة من الكيسات (التيلاكوئيدات).Thylakoides تحتوي على اصبغة اليخضور.

*-تعليل ان الصانعةلها بنيةحجيرية: تحتوي على تنظيم غشائي متمثل في تجويف الحشوة والفراغ بين الغشائين وتجويف التيلاكوئيد.

التركيب الكيمو حيوي للصانعة الخضراء:

❷ التركيب الكيموحيوي للصانعة الخضراء

سمح فصل مكونات الصانعة الخضراء وإجراء التحليل الكيميائي لكل من الحشوة والتلاكويد من الحصول على النتائج الموضحة في الجدول المقابل.

– قارن بين مكونات كل من الحشوة وأغشية التيلاكويد. ماذا تستنتج ؟

جزء الصانعة الخضراء	أهم المكونات الكيميائية
أغشية التلاكويد	أصبغة يخضورية أصبغة أشباه الجزرين نواقل الإلكترونات نوعان من الأنظمة الضوئية (PSI وPSII) إنزيم ATP سنتاز (الكرية المذنبة)
الحشوة	مواد أيضية لتركيب الجزيئات العضوية مرافقات إنزيمية (NADP+ وNADPH) ADP, ATP وPi إنزيمات متنوعة أهمها ريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز Rubisco

المقارنة:

يختلف التركيب الكيميائي للحشوة عن التركيب الكيميائي لغشاء التلاكوئيد.

التركيب الكيميائي للحشوة:تحتوي الحشوة على مختلف المواد الأيضية مثل:

- السكريات : سكر خماسي ريبيلوز 1.5 ثنائي الفوسفات Rudip وسكر ثلاثي غليسير الدهيد PGAL والسكريات السداسية مثل الجلوكوز والفراكتوز والنشاء.

-الأحماض العضوية مثل حمض فوسفو غليسريك APG

-أحماض معدنية :حمض الفوسفور Pi المعدني H3PO4

-نواقل هيدروجينية(أنزيمات مرافقة): NADP+

- ADP و ATP - غنية بشوارد البروتونات+H - غنية بمختلف انواع الأنزيمات مثل انزيمات الأكسدة والارجاع وخاصة أنزيم تثبيتCO2 ريبيسكو Rubisco - الريبوزومات وجزيئات ADN الحلقي..الخ

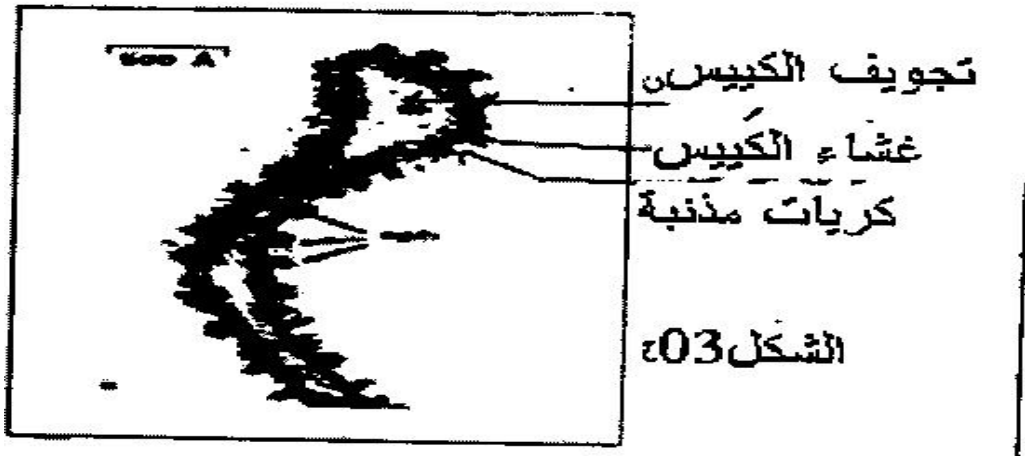
التركيب الكيميائي لغشاء التيلاكوئيد:

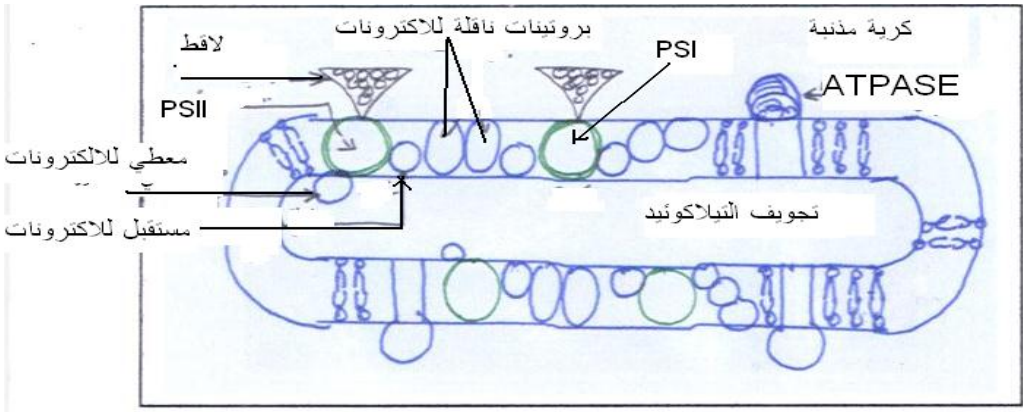
- أنظمة ضوئية (psII .psI) PHotosystemes معقدات بروتينية يخضورية
- سلسلة من البروتينات المعدنية الناقلة للالكترونات تشكل السلسلة التركيبية la chainne photosynthetique
- بروتينات بشكل كريات مذنبة تلعب دور انزيمات مركبة للـ ATP (اتيباز) ATPsynthase
- مختلف انواع اصبغة اليخضور أ و ب وأشباه الجزرين (اليصفور Xanthophyl والجزرين Caroteine

نتيجة: من المقارنة نستنتج ان وظيفة الحشوة تختلف عن وظيفة غشاء التلاكوئيد

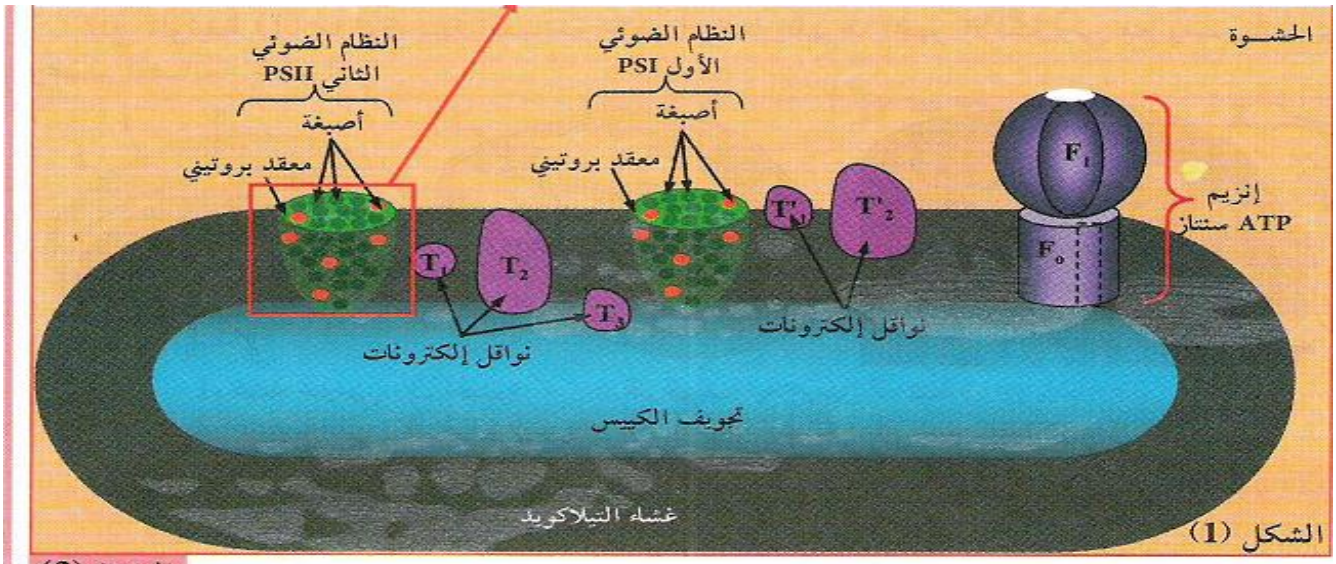
الأستاذ عقريب كمال ثانوية عثمان بن عفان بالمسيلة www.kambio2008.yoo7.com او kambio2010@yahoo.f

ما فوق بنية غشاء التيلاكوئيد (الكيس) thylacoide: تمثل الوثائق التالية صور ورسومات تخطيطية تبين مافوق بنية غشاء التيلاكوئيد





رسم تخطيطي لما فوق بنية غشاء التيلاكوئيد



الوثيقة (2)

1. اعتمادا على رسومات الشكلين (1 و2) قدم وصفا لكيفية توضع مكونات غشاء التيلاكويد.
2. إن توضع جزيئات اليخضور يكون على شكل أنظمة ضوئية، حدد بنية النظام الضوئي بالاستعانة بأشكال الوثيقة (2).

يدمج في غشاء التيلاكوئيد 03 انواع من البروتينات تتمثل في:

01) بروتينات يخضورية هي(معقدات بروتينية) ناتجة عن ارتباط صبغة اليخضور ببروتينات الغشاء مشكلة ما يسمى بأنظمة ضوئية PSI .PSII (PHotosystemes)

02) سلسلة من البروتينات التي تلعب دور نواقل للالكترونات مرقمة من T1.T2.T3.T4.T5

03) كريات مذنبة: تلعب دور انزيمات مركبة ATP اتيباز سنتاز ATPase .

كل كرية مؤلفة من

*-مذنب : بروتين محب للدسم كاره للماء مدمج في الغشاء ويلعب دور قناة تتدفق عبرها البروتونات H+

*-كرية: بروتين محب للماء كاره للدسم مغمور في الحشوة يلعب دور انزيم مركب للـ ATP

*- تشكل البروتينات الناقلة للالكترونات مع النظامين الضوئيين ما يسمى بالسلسلة التركيبية

*-يحيط غشاء التيلاكوئيد بتجويف يحتوي على الماء والـ H+

بنية النظام الضوئي: PHotosysteme

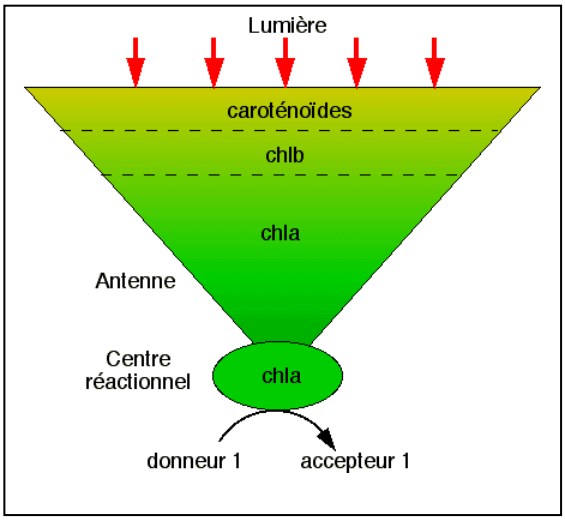
كل نظام ضوئي يتالف من:

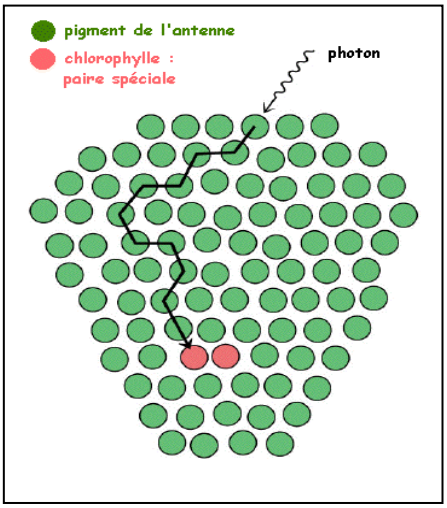
01) لاقط Aantenne او هوائي:
يتالف من 300 جزيئة من اصبغة اليخضور أ و ب وأشباه الجزرين(اليصفور والجزرين)

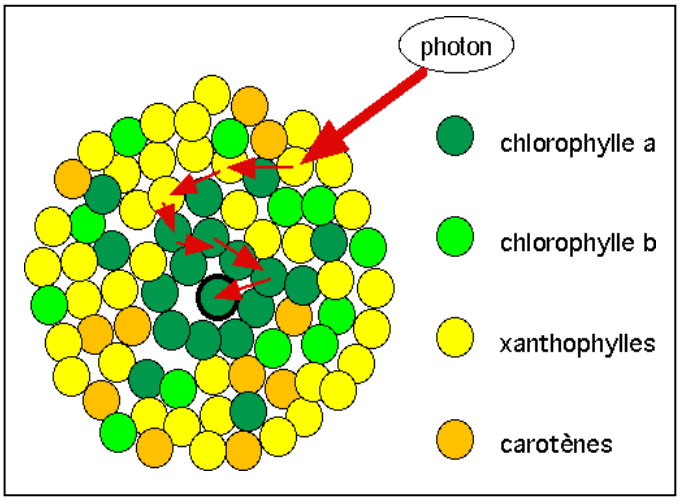
يلعب دور التقاط وامتصاص الطاقة الضوئية وتجميعها ونقلها الى مستولى مركز التفاعل.

02) مركز التفاعل: centre reactionail:
يتالف من جزيئة اليخضور (أ) الفخ piege ومعطي ومستقبل للالكترونات.

عنده تتجمع الطاقة الضوئية المقتنصة من طرف اللاقط







4 طبيعة التفاعلات الكيميائية للتركيب الضوئي

01) التفاعل رقم1 يمثل تفاعل أكسدة الماء H2O . اما التفاعل رقم02 فهو يمثل تفاعل ارجاع الـ CO2 الى سكر سداسي.
02) ان تفاعلات التركيب الضوئي ماهي الا تفاعلات اكسدة ارجاع.
03) يتم تفاعل اكسدة الماء على مستوى غشاء التيلاكوئيد لوجود اصبغة اليخضور ونواقل الالكترونات.
ويتم تفاعل ارجاع CO2 الى سكر في الحشوة لوجود مختلف انزيمات تثبيت وارجاع CO2.

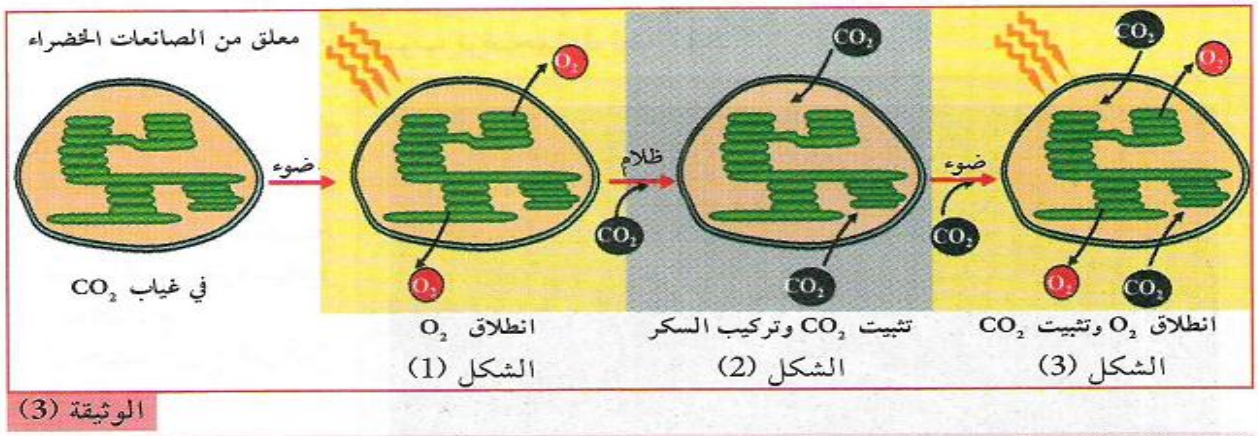
04) صحيح ترتبط وظيفة العضية بتركيبها الكيميائي:

*- يحتوي غشاء التيلاكوئيد على اليخضور ونواقل للاكترونات وبالتالي فهو يقوم باكسدة الماء بواسطة اليخضور.

*- تحتوي الحشوة على مختلف انزيمات الارجاع والأكسدة مثل ريبيسكو RUBISCO فهي تقوم بتثبيت CO2 وارجاعه الى سكر.

❺ مراحل عملية التركيب الضوئي

لتوضيح مراحل حدوث عملية التركيب الضوئي تم تعريض معلق للصانعات الخضراء للضوء في شروط تجريبية مناسبة في غياب CO_2 فلوحظ انطلاق O_2 لفترة قصيرة ثم يتوقف. عند وضع المعلق السابق في الظلام وإمداده بـ CO_2 لوحظ تثبيت لـ CO_2 وتركيب للسكر لفترة قصيرة. عند وضع المعلق في الضوء وCO_2 يلاحظ انطلاق O_2 وتثبيت CO_2 بصورة مستمرة. مراحل التجربة موضحة في أشكال الوثيقة (3).



الوثيقة (3)

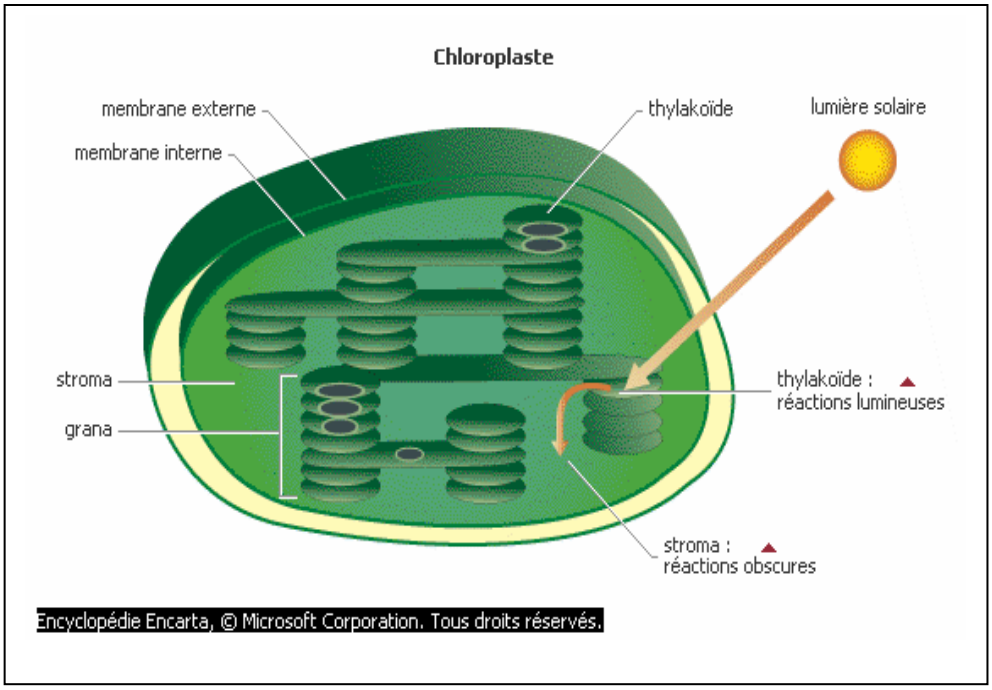
1. حدد شروط انطلاق O_2 في الشكل (1).
2. يمثل الشكلين (1 و2) من التجربة مرحلتين متتاليتين من عملية التركيب الضوئي نسميهما مرحلة (أ) ومرحلة (ب)، ما هي شروط حدوث كل مرحلة ؟
3. اقترح تسمية لكل مرحلة اعتمادا على شروط حدوثها ؟
4. هل يمكن للمرحلة (ب) أن تتم في الضوء ؟ علل إجابتك بالإستعانة بالشكلين (2 و3) ؟

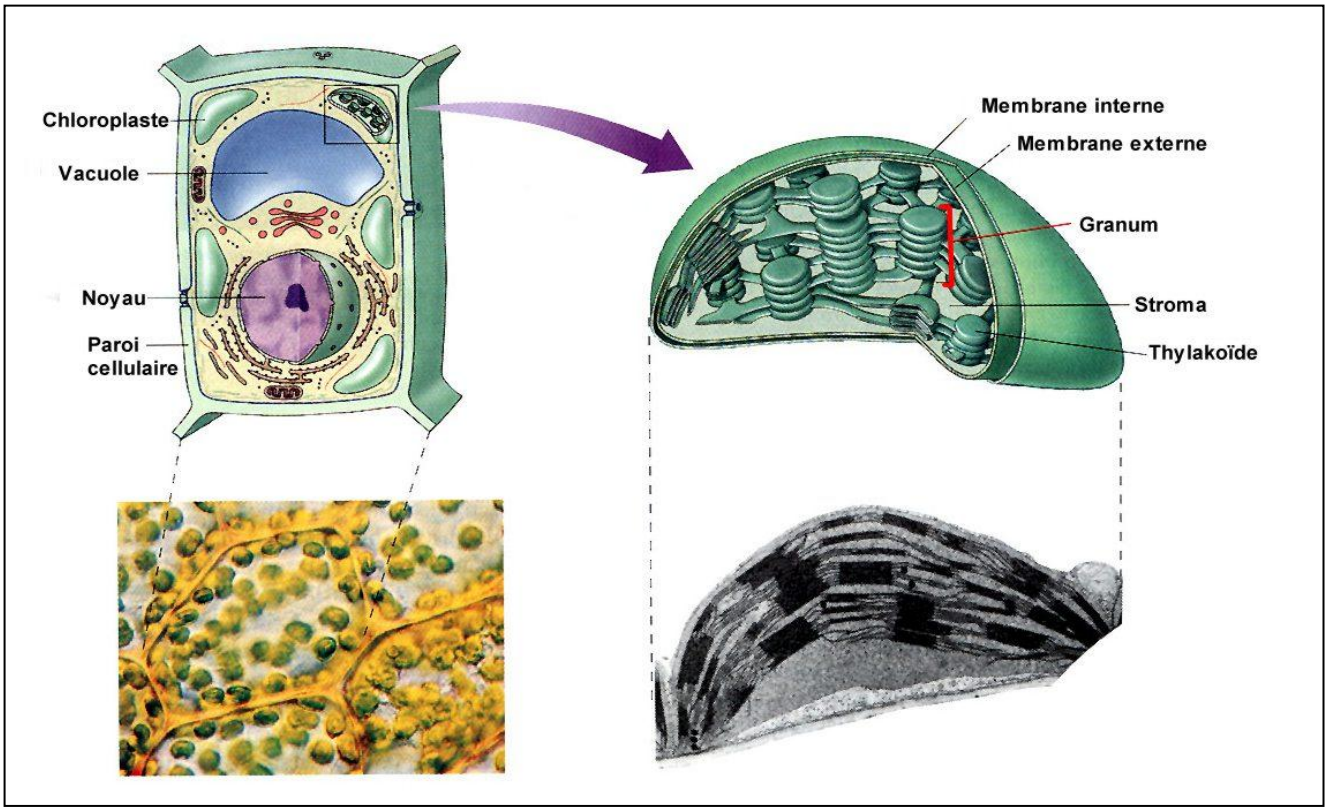
01) تحديد شروط انطلاق الـ O2 يتطلب طرح O2 وجود كل من اليخضور والضوء.

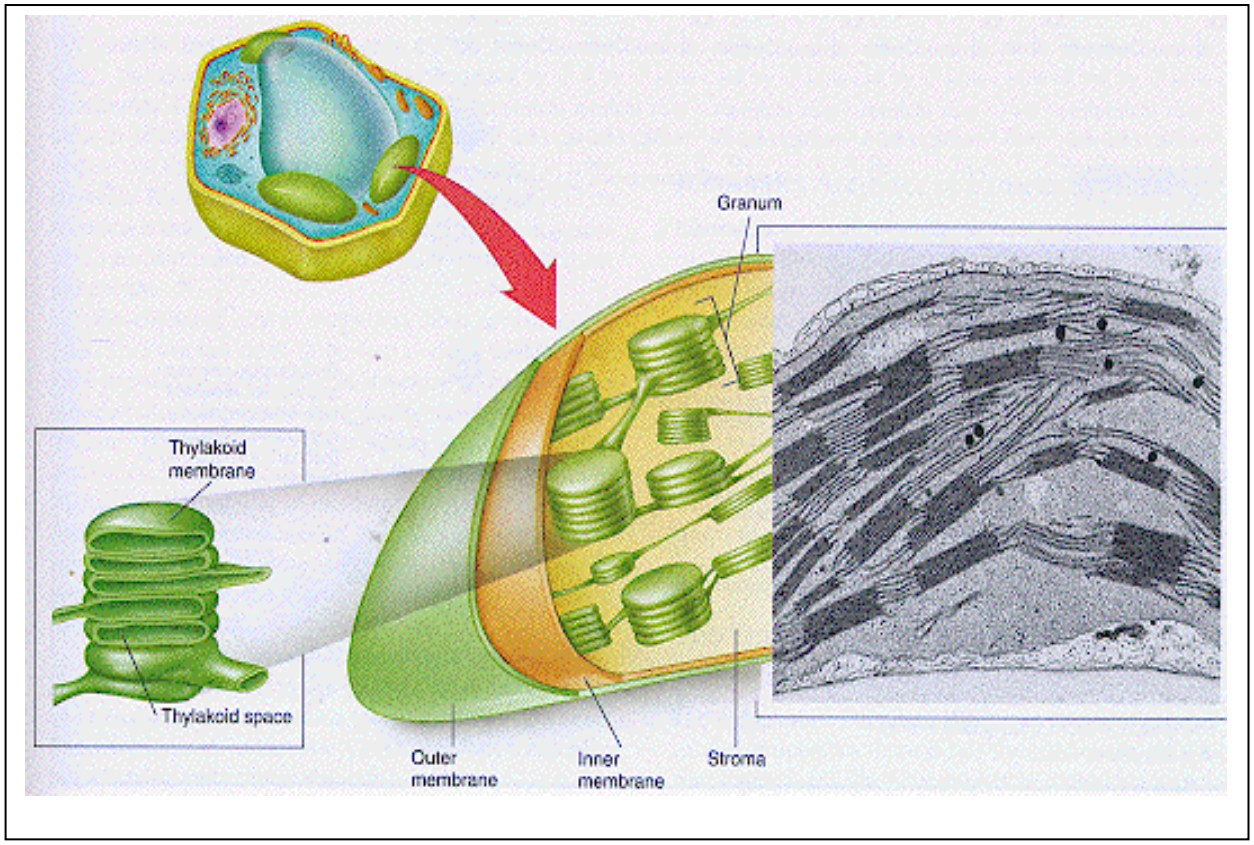
02) شروط حدوث المرحلة (أ) الممثلة في الشكل 01تتمثل في : ضرورة وجود الضوء واليخضور ويتم فيها انطلاق O2
شروط حدوث المرحلة (ب) الممثلة في الشكل 02 تتمثل في : ضرورة وجود CO2 والضوء غير ضروري لحدوثها مباشرة ويتم فيها تثبيت CO2 وارجاعه الى سكر سداسي

03) تسمى المرحلة (أ) بالمرحلة الكيموضوئية التعليل : تفاعلات كيميائية وتتطلب الضوء بشكل مباشر.
تسمى المرحلة (ب) بالمرحلة الكيموحيوية التعليل: تفاعلات كيميائية وتتدخل فيها انزيمات (لذلك سميت حيوية).

04) نعم تحد ث المرحلة الكيموحيوية في وجود الضوء لكن تفاعلاتها لاتستعمل الضوء بشكل مباشر فقط. في وجود الضوء تحدث المرحلتين معا وفي غيابه تتوقف المرحلتين معا.






Granum
Thylakoid membrane
Thylakoid space
Outer membrane
Inner membrane
Stroma

النشاط03 تفاعلات المرحلة الكيموضوئية

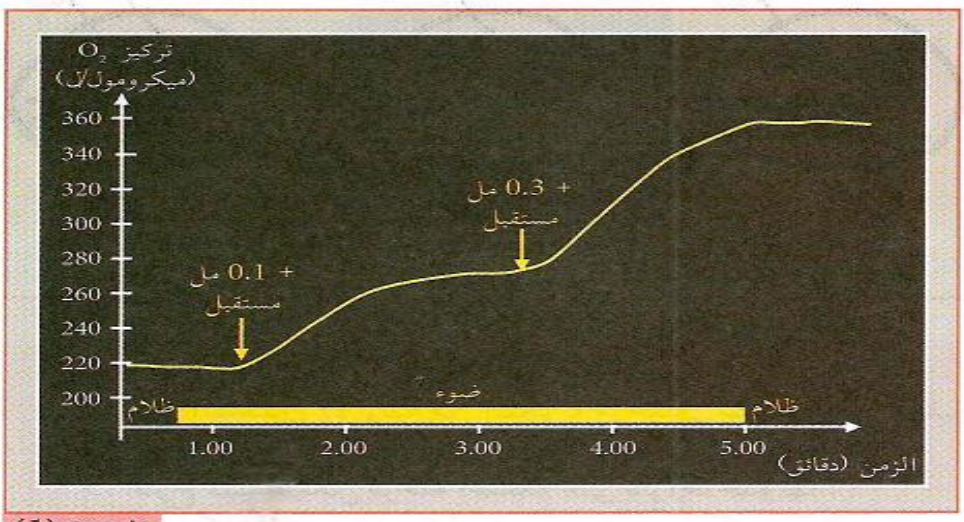
❶ شروط عمل التيلاكويد

أ) يحتوي التيلاكويد على أصبغة اليخضور ويحتاج عملها إلى توفر شروط أساسية، وينتج من عمل التيلاكويد انطلاق O_2، لتحديد شروط عمل التيلاكويد نستعرض التجارب التالية:

تجربة 1:

تم تحضير معلق من التيلاكويدات المعزولة في شروط تجريبية مختلفة (ضوء وظلام)، حيث أضيف للوسط الكاشف فيروسيانور البوتاسيوم $K_3Fe(CN)_6$ بتركيز (0.1 مل) ثم (0.3 مل) الذي يقوم بدور مستقبل اصطناعي للإلكترونات وذلك في فترة الإضاءة. لوحظ بعد حقن فيروسيانور البوتاسيوم تغير لون محلول الوسط من بني محمر (حالة مؤكسدة) إلى أخضر (حالة مرجعة).

نتائج التجربة المدعمة بالحاسوب توضحها الوثيقة (1).



الوثيقة (1)

استغلال الوثائق:

1. حلل منحنى الوثيقة (1) مع توضيح تأثير كمية فيروسيانور البوتاسيوم.
2. حدد نوع تفاعل المستقبل في هذه التجربة، علل إجابتك.
3. استخرج شروط انطلاق الأكسجين في هذه التجربة ؟

01) تحليل المنحني وتفسير :

يمثل تغيرات تركيز الـ O2 في الوسط بدلالة تغيرات شروط التجربة من الاضاءة والظلام وكمية المستقبل

في الظلام: تركيز الـ O2 في الوسط ثابت. بسبب عدم اكسدة الماء وبالتالي عدم طرح الأوكسجين لغياب الضوء

في الضوء:

- قبل اضافة المستقبل: تبقى كمية الـ O2 في الوسط ثابتة نتيجة عدم اكسدة الماء بسبب غياب مستقبل نهائي لـ é
- عند اضافة 0.1مل من المستقبل: يرتفع تركيز الـ O2 في الوسط بكمية قليلة.
- عند اضافة 0.3 مل من المستقبل: يرتفع تركيز الـ O2 في الوسط وبكمية أكبر ويعود ذلك الى اكسدة الماء و بالتالي طرح الأوكسجين O2 وهذا في وجود الضوء والمستقبل
- ونلاحظ انه كلما زادت كمية المستقبل المضافة زاد تركيز الـ O2 في الوسط

في الظلام: تصبح كمية الـ O2 في الوسط ثابتة بسبب عدم اكسدة الماء لغياب الضوء

02) تحديد نوع تفاعل المستقبل:

في هذا التفاعل حدث ارجاع للمستقبل فيروسيانور بوتاسيوم الحديد الثلاثي .

التعليل: تغير لون المحلول من بني محمر الى أخضر.

03) استخراج شروط انطلاق الـ O2

يتطلب انطلاق الـ O2 توفر عاملين اساسيين هما: الضوء ومستقبل للاكترونات.

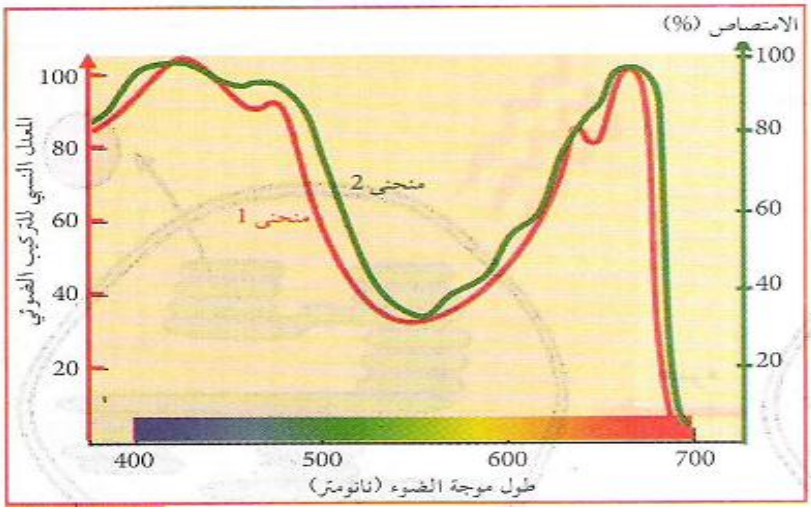
نتيجة: ان شروط عمل التيلاكوئيد هو توفر الضوء ومستقبل للاكترونات

ب) تجربة 2 (تأثير ألوان الطيف على عمل التيلاكويد):

تبين من التجربة السابقة أن الضوء شرط أساسي من شروط عمل التيلاكويد فماهو تأثير مختلف مكونات الضوء (ألوان الطيف) على انطلاق O_2 ؟

لإظهار دور ألوان الطيف على عمل التيلاكويد يتم تعريض معلق للصانعات الخضراء إلى ضوء بأطوال موجات مختلفة في المجال المرئي (من 380 إلى 700 نانومتر) ويتم قياس كمية الأكسجين المنطلق عن طريق إدخال لاقط O_2 إلى المعلق.

كما يتم في تجربة موازية قياس شدة الامتصاص لمحلول اليخضور الخام في نفس مجال الضوء المستعمل. نتائج التجربتين موضحة في منحني الوثيقة (2).



استغلال الوثائق:

1. حدد من المنحنى أطوال موجات الضوء الأكثر فعالية ؟
2. قارن بين منحني الوثيقة (2). ماذا تستنتج ؟

01) يمثل المنحني 01: طيف النشاط(العمل).اي تاثير أطوال مختلف الاشعاعات على شدة التركيب الضوئي

ويمثل المنحني:02 طيف الامتصاص. اي نسبة امتصاص مختلف الاشعاعات بدلالة طول موجتها.

تحديد اطوال الموجات الأكثر فعالية:

الاشعاعات الأكثر فعالية هي الاشعاعات الطرفية المتمثلة في الحمراء والبنفسجية(400الى 680 نانومتر)

الاشعاعات الوسطية (البرتقالية والصفراء والزرقاء والنيلية) اقل فعالية على شدة التركيب الضوئي.

الاشعاعات الخضراء تاثيرها ضعيف جدا الى معدوم على شدة التركيب الضوئي.

02) المقارنة:

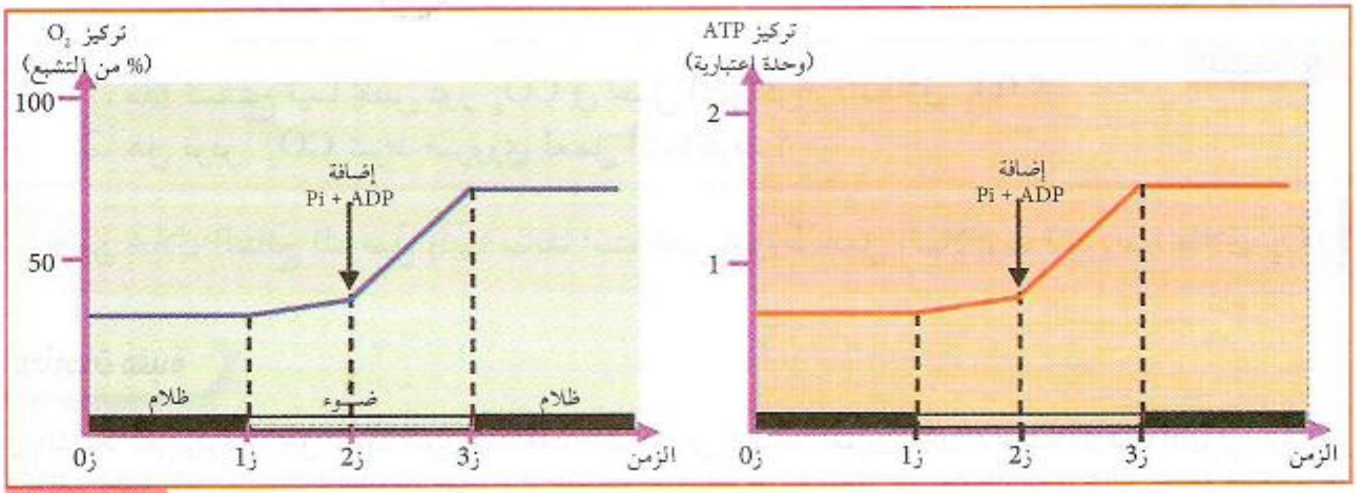
يوجد تماثل في المسار العام للمنحنيين(منحني طيف الامتصاص ومنحي طيف العمل.)

ومنه نستنتج ما يلي:

- الاشعاعات الطرفية الأكثر امتصاصا هي اكثر فعالية على شدة التركيب الضوئي.
- الاشعاعات الوسطية الأقل امتصاصا هي اقل تاثيرا على شدة التركيب الضوئي.
- الاشعاعات الخضراء امتصاصها ضعيف جدا الى معدوم فهي لاتؤثر على شدة التركيب الضوئي.

ج) تجربة 3 (تأثير الـ ADP وPi على عمل التيلاكويد):

تم قياس تركيز كل من O_2 وATP في معلق من الصانعات الخضراء في شروط تجريبية مناسبة قبل وبعد حقن مادتي ADP وPi. نتائج وشروط التجربة موضحة في الوثيقة (3).



الوثيقة (3)

استغلال الوثائق:

1. قدم تحليلا مقارنا للمنحنيين (1 و2) من الوثيقة (3).
2. ماذا تستنتج حول تأثير ADP وPi على انطلاق O_2 ؟

01) تحليل مقارن:

يمثل منحنيي الوثيقة03 تغيرات تركيز الـ O2 وتغيرات تركيز الـ ATP في الوسط بدلالة شروط التجربة من ضوء وظلام واضافة ADP+Pi

في الظلام: نلاحظ تزامن ثبات واستقرار تركيز كل من الـ O2 و الـ ATP في الوسط.

في الضوء قبل اضافة ADP+Pi: تزامن ارتفاع طفيف في تركيز كل من الـ O2 و الـ ATP في الوسط

في الضوء عند اضافة ADP+Pi:نلاحظ تزامن الارتفاع الكبير لتركيز كل من الـ O2 و الـ ATP في الوسط

في الظلام:نلاحظ تزامن استقرار وثبات تركيز كل من من الـ O2 و الـ ATP في الوسط.

02) الاستنتاج:

* اضافة ADP+Pi تحفز من انطلاق O2 اي تحفز من عملية التركيب الضوئي.

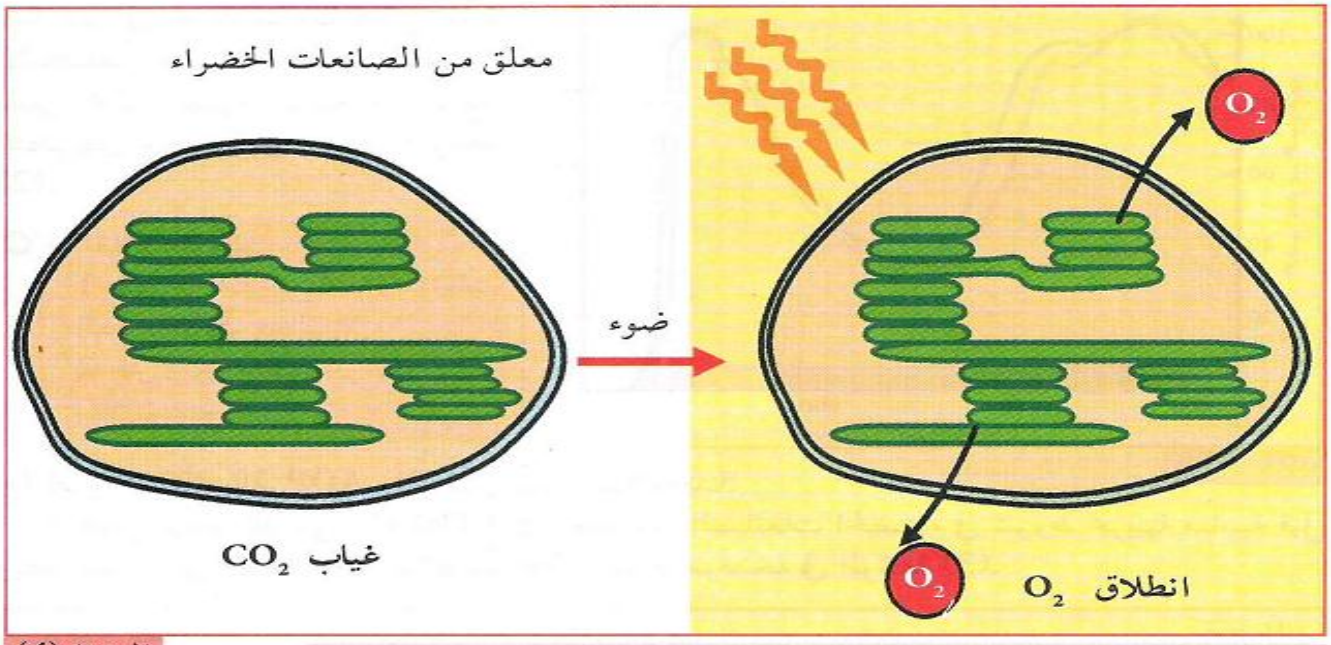
* تزامن انطلاق O2 مع تركيب الـ ATP مما يدل على وجود علاة وظيفية بينهما.

* الضوء ضروري لانطلاق O2 وضروري لتركيب الـ ATP

د- دور CO_2 في عمل التيلاكويد:

أثناء عمل التيلاكويد يتم انطلاق الأكسجين وتركيب ATP فهل لـ CO_2 تأثير على عمل التيلاكويد ؟

لإظهار ذلك نجري تجربة مشابهة للتجربة الموضحة في الشكل (3) من الوثيقة (2) في النشاط السابق. حيث يتم تعريض معلق من الصانعات الخضراء للضوء في غياب CO_2 فيلاحظ انطلاق O_2 لفترة قصيرة. النتائج موضحة في الوثيقة (4).



الوثيقة (4)

1. ماذا تستنتج فيما يخص دور CO_2 في عمل التيلاكويد (انطلاق O_2) ؟
2. هل توفر CO_2 شرط ضروري لعمل التيلاكويد ؟

* من خلال النتائج المتوصل إليها سابقا استخلص شروط عمل التيلاكويد (شروط انطلاق O_2) ؟

01) في غياب CO2 ووجود الضوء: تم انطلاق الـ O2 ومنه نستنتج بان الـ CO2 غير ضروري في طرح الـ O2

02) الـ CO2 ليس شرطا ضروريا لعمل التيلاكوئيد.

استخلاص شروط عمل التيلاكوئيد في انطلاق O2:

الضوء شرط اساسي لعمل التيلاكوئيد.وليس شرط لعمل الحشوة

وان الـCO2 ضروري لعمل الحشوة كما لاحظنا سابقا

❷ آلية عمل التيلاكويد

أ) إظهار مصدر الأكسجين المنطلق:

في شروط تجريبية مناسبة تسمح بانطلاق (O_2) وضعت الكلوريلا (أشنة خضراء) في وسطين يحوي كل منهما على 4% من CO_2 ومعرضين للضوء، الوسط الأول يحوي CO^*_2 (ذو أكسجين مشع) بينما يحتوي الوسط الثاني على H_2O^* (ذو أكسجين مشع). النتائج موضحة في الجدول الموالي.

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

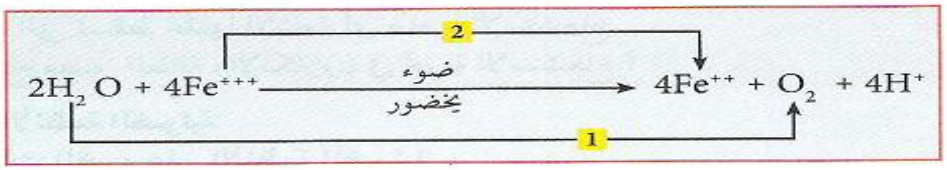
– ما هي المعلومات المستخلصة من النتائج التجريبية ؟

01) نلاحظ ان الأوكسجين المنطلق يماثل أوكسجين H2O ولا يماثل اوكسجين CO2.

ومنه فان مصدر الأوكسجين المنطلق هو H2O وليس CO2.

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

أمكن تلخيص التفاعلات التي أدت إلى تحول لون المحلول وانطلاق (O_2) في التجربة الممثلة نتائجها في الوثيقة (1) في المعادلة التالية:



1. حدد نوع التفاعل الذي حدث في (1، 2).
2. قدم تفسيرا للتفاعل (2).
3. هل يؤكد التفاعل (1) النتيجة المتوصل إليها في الفقرة (أ) ؟ وضح ذلك ؟
4. مثل التفاعلين (1 و2) في معادلتين بسيطتين.

01) التفاعل رقم 01: هو تفاعل اكسدة الماء بفقده بروتونات +H والكترونات

التفاعل رقم02: هو تفاعل ارجاع لاكتساب الكترونات

02) تفسير التفاعل رقم02:

حدث تفاعل اكسدة للماء والالكترونات الناتجة عن اكسدته عملت على ارجاع شوارد الحديد ثلاثية التكافؤ الى ثنائية التكافؤ

03) نعم التفاعل رقم 01: يؤكد بان مصدر مصدر O2الأوكسجين المنطلق هو H2O. وليس CO2

03) تمثيل التفاعلين 01 و02:

* التفاعل رقم01 هو اكسدة الماء: $2H_2O \longrightarrow O_2 + 4e^- + 4H^+$

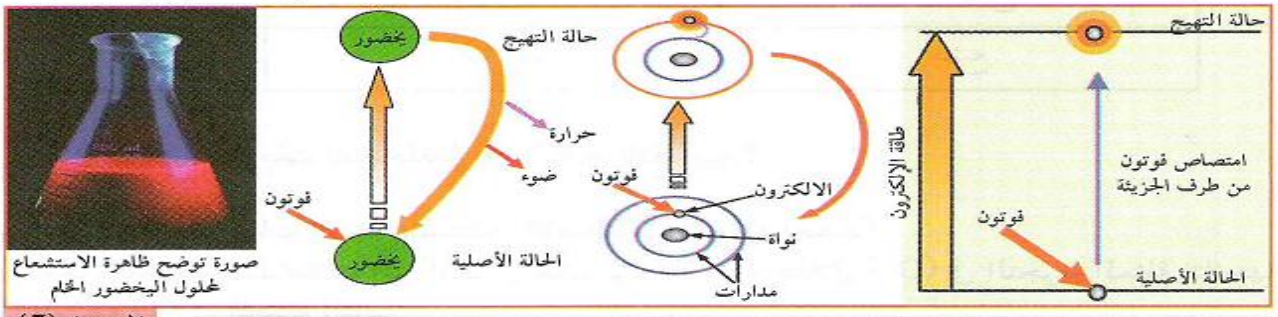
* التفاعل رقم 02 هو ارجاع Fe+++ $4Fe^{+3} + 4\bar{e} \longrightarrow 4Fe^{+2}$

ج) دور اليخضور والضوء في إرجاع مستقبل الإلكترونات:

تنتقل الإلكترونات تلقائيا من كمون أكسدة / إرجاع منخفض إلى كمون مرتفع ويتحرر من ذلك طاقة تتناسب كميتها مع فرق الكمون. فكيف يمكن لجزيئات الماء ذات الكمون المرتفع (+0.82) فولت أن ترجع ذرات الحديد ذات الكمون المنخفض (+0.3) فولت. وكيف يمكن للإلكترونات أن تنتقل عكس الاتجاه التلقائي ؟ لتوضيح كيفية ارجاع مستقبل الالكترونات نستعرض التجربة والملاحظات التجريبية حول دور اليخضور.

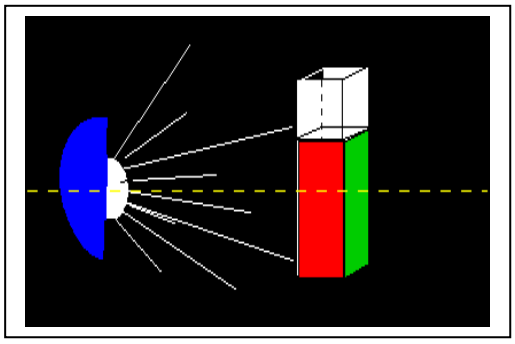
1) تجربة التفلور (الإستشعاع):

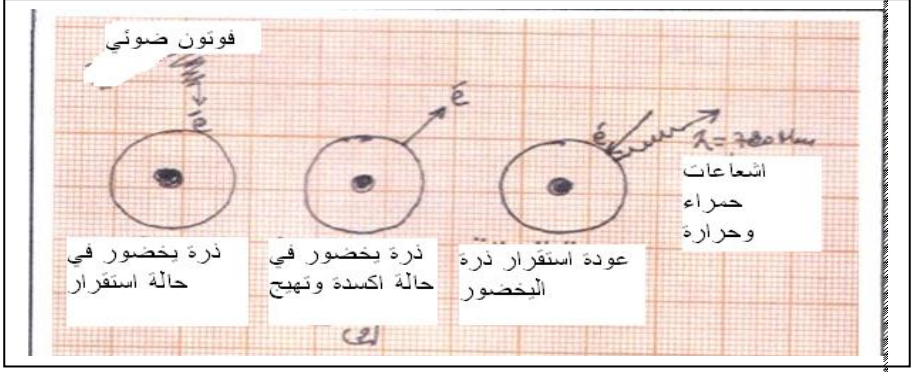
نعرض وعاء زجاجي مخروطي يحوي محلول يخضور خام (تم استخلاصة سابقا) لحزمة من الضوء الأبيض وذلك في غرفة مظلمة، الملاحظات المسجلة إلى جانب تفسير الظاهرة موضحة في أشكال الوثيقة (5).



الوثيقة (5)

1. بالاعتماد على نتيجة التجربة والرسم التفسيري فسر ظهور اللون الأحمر على الواجهة التي تسقط عليها الأشعة أي ظاهرة الإستشعاع.
2. استنتج مصير الطاقة والإلكترون في تجربة الاستشعاع ؟





تفسير ظاهرة التفلور:

يمتص الالكترون الفوتون الضوئي فترتفع طاقته الداخلية. فينتقل من مداره الأصلي الى مدار خارجي ذو مستوى طاقوي اعلى

نقول ان ذرة اليخضور في حالة اكسدة وتهيج

في غياب اي مستقبل لهذا الالكترون فانه يعود الى مداره الأصلي فاقدا الطاقة التي اكتسبها من الفوتون بشكل حرارة واشعاعات حمراء لذلك يظهر اليخضور بلون احمر. وتعود ذرة اليخضور الى حالة الاستقرار.

ان ظاهرة التفلور تتم فقط في حالة اليخضور الخام المعزول من الصانعات الخضراء ولا تتم في النبات الطبيعي لوجود مستقبل نهائي للالكترونات التي يفقدها اليخضور اثناء تهيجه بالضوء

2) آلية عمل الأنظمة الضوئية:

أ) تأثير فوتونات الضوء على الأنظمة الضوئية:

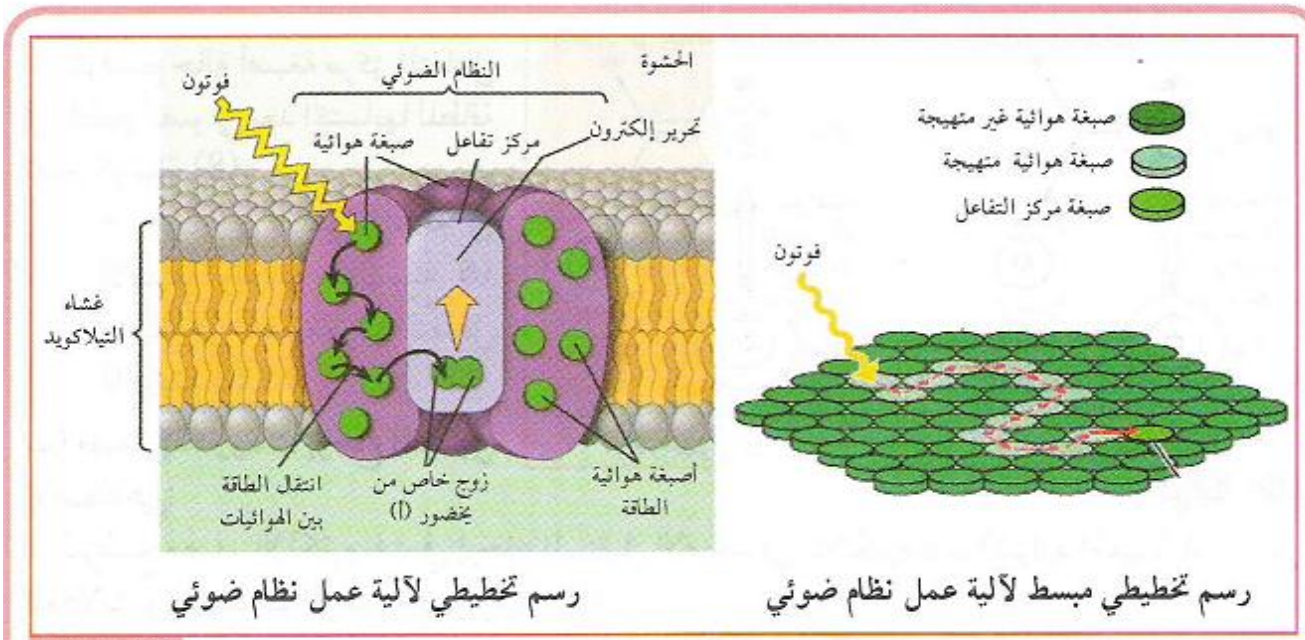
تبين من تجربة التفلور أن الضوء يسبب تهيج اليخضور وانتقال الإلكترون إلى مدار خارجي حيث يعود الإلكترون إلى مداره (لا يفقد) بينما تفقد الطاقة في شكل ضوء وحرارة. إن تجربة التفلور تمت في المخبر باستعمال يخضور مستخلص من أنسجة نباتية خضراء وهي لا تفسر أكسدة شوارد الحديد في التجربة (1) حيث أثبتت قياسات التفلور على النباتات في الحالة الطبيعية عدم حدوث تفلور إلا بدرجة قليلة جدا.

فما هو مصدر الإلكترونات لإرجاع شوارد الحديد في التجربة (1) وماهو دور الضوء واليخضور في ذلك إذا ؟

توضح الوثيقة (6) آلية عمل أصبغة النظام الضوئي:

معلومات مفيدة

- الفوتون : الفوتون هو تعبير كمي للطاقة الضوئية وتتناسب هذه الكمية عكسا مع طول موجة الضوء
- **كمون الأكسدة / إرجاع:** يعبر مفهوم كمون الأكسدة / إرجاع على قدرة المركبات أو الذرات على تحرير الإلكترونات ويقاس بوحدات الفولت. يتم تمثيل المركبات أو الذرات القابلة للأكسدة والإرجاع في شكل أزواج (ثنائيات) تشمل الصورة المؤكسدة والمرجعة مثل: $NADP+ / NADPH$ و Fe^{3+} / Fe^{2+}. تنتقل الإلكترونات بصورة تلقائية من المركبات أو الذرات ذات الكمونات المنخفضة نحو الكمونات المرتفعة.



رسم تخطيطي لآلية عمل نظام ضوئي — رسم تخطيطي مبسط لآلية عمل نظام ضوئي

الوثيقة (6)

1. ماذا يحدث عند سقوط فوتونات على أصبغة هوائية في النظام الضوئي ؟
2. حدد دور كل من الأصبغة الهوائية وأصبغة مركز التفاعل في النظام الضوئي ؟
3. علل استعمال تسمية مركز التفاعل لجزيئات من اليخضور في النظام الضوئي ؟

01) يتمثل دور الأصبغة الهوائية في امتصاص والتقاط (استقبال) الطاقة الضوئية (الفوتونات الضوئية) ثم نقلها وتجميعها عند مركز التفاعل.

02) تقوم الأصبغة الهوائية بنقل الفوتونات الضوئية جزيئة بعد جزيئة ولاتفقد الالكترونات اثناء النقل. عكس أصبغة اليخضور (أ) الفخ في مركز التفاعل عندما يمتص الفوتون الضوئي يفقد الالكترونات(اي تحدث اكسدة اليخضور (أ) الفخ

03) سمي بمركز التفاعل نسبة الى حدوث اكسدة اليخضور (أ) الفخ بفقده الكترونات

لتوضيح عمل الأنظمة الضوئية نستعرض المعطيات المبينة في الجدول الموالي وفي أشكال الوثيقة (7).

التسمية	نوع الصبغة	عدد الجزيئات / نظام ضوئي	الرمز المستعمل
أصبغة هوائية	يخضور أ يخضور ب	عدة مئات	P1, P2 , P3,.....Pn
	أشباه الجزرين (أصبغة مساعدة)	عشرات	
أصبغة مركز التفاعل	يخضور أ	2 فقط	PSII في P_{680} PSI في P_{700}

الوثيقة (7) انتقال الطاقة بين أصبغة النظام الضوئي

استغلال الوثائق:
1. حلل معطيات الجدول والوثيقة (7).
2. ماذا تستخلص ؟

معلومات مفيدة

– يرمز لصبغة ضمن النظام الضوئي بالحرف P (Pigment)، وتضاف أرقام للحرف P مثل P_1 و P_2 و P_3 إلى Pn للصبغات الهوائية. بينما تضاف الأرقام 680 و700 لأصبغة مركزي التفاعل لـ PSII وPSI (P700, P680) لتمييزها عن باقي أصبغة النظام الضوئي. وتمثل هذه الأرقام أطوال الموجات التي يكون عندها امتصاص هذه الأصبغة أعضميا. بالرغم من أن هذه الأصبغة يمكن أن تتنبه عند هذين الموجتين فإنها تتلقى معظم طاقتها من الأصبغة الهوائية أساسا وليس من الفوتونات الضوئية مباشرة.

01) تحليل معطيات الجدول: في كل نظام ضوئي

تختلف الأصبغة الهوائية عن أصبغة مركز التفاعل في نوع الأصبغة وعددها

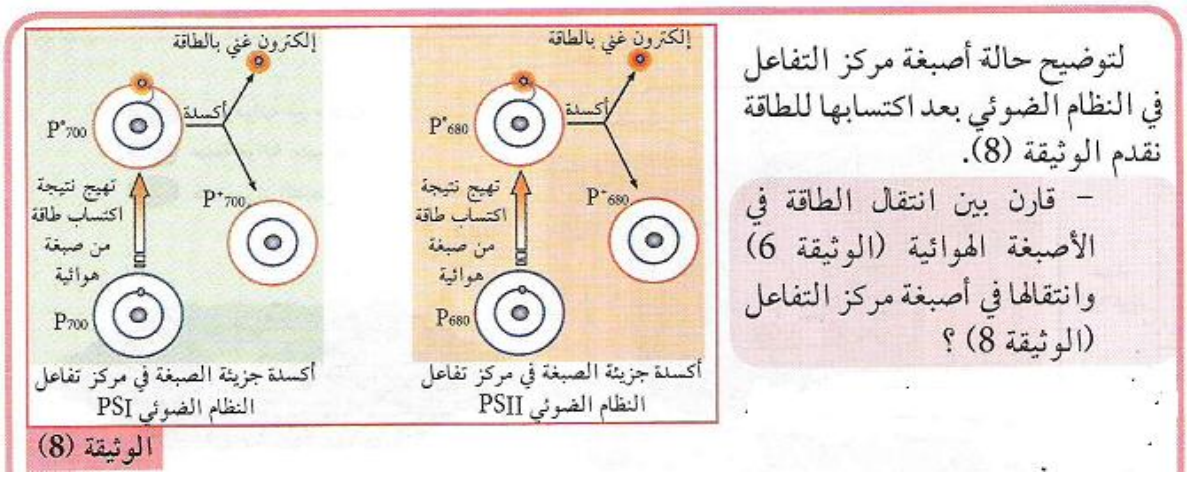
- تتكون الأصبغة الهوائية من اليخضور بنوعيه اليخضور(أ) واليخضور(ب).ويقدر عددها بالمئات حوالي 300 جزيئة وأشباه الجزرين(اليصفور والجزرين) وعددها يقدر بالعشرات ويرمز لها بالأحرف P1.P2.P3.P4.....Pn
- يتكون مركز التفاعل من نوع واحد من الأصبغة وهو اليخضور (أ) الفخ ويوجد جزيئتين منه فقط في كل مركز تفاعل

ويرمز لها بـ P680في PSII وبـ P700 في PSI

تحليل نتائج الوثيقة07 التي تبين كيفية انتقال الطاقة الضوئية بين الأصبغة الهوائية

- يمتص الكترون P1 الطاقة الضوئية (الفوتون الضوئي) وينتقل من مداره الأصلي الى مدار اعلى (تهيج P1) ويسمح بنقل الطاقة الضوئية الى الكترون P2 الذي يمتصها دون ان يتحرر الكترون P1 .ويعود é P1 الى مداره الأصلي.
- بدوره الكترون P2 ينتقل الى مدار اعلى (تهيج P2) وينقل الطاقة الضوئية الى الكترون P3 الذي يمتصها ايضا ...
- وهكذا دواليك الكترون é كل صبغة هوائية يمتص الطاقة الضوئية وينتقل الى مدار اعلى وينقل الطاقة الضوئية الى الكترون الصبغة الهوائية الموالية دون ان يتحرر هذا الالكترون حتى تصل الطاقة الضوئية الى الكترون é صبغة مركز التفاعل اليخضور (أ) الذي يمتصها ويتحررمن صبغة مركز التفاعل اليخضور (أ) وهو غني بالطاقة.كل جزيئة يخضور (أ) الفخ تفقد 01é الكترون

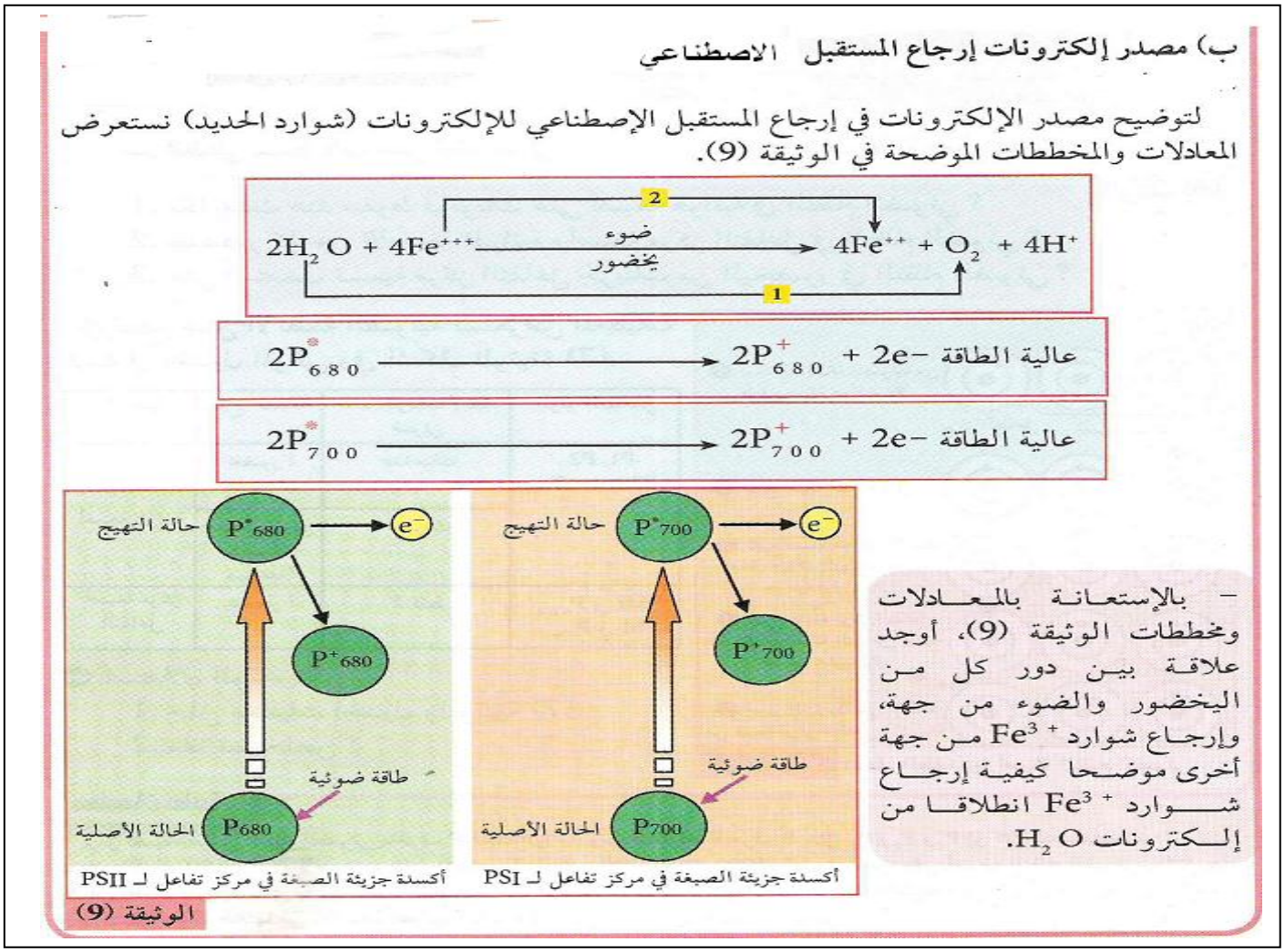
- المعلومة المستخلصةهي:
- **تختلف صبغات اللاقط الهوائي عن صبغات مركز التفاعل في:**
  - **عدد ونوع الصبغات**
  - **تتهيج الصبغة الهوائية دون ان تفقد اللالكترون وتتهيج صبغة مركز التفاعل وتفقد الالكترون**



01) المقارنة:

ان انتقال الطاقة في الأصبغة الهوائية يتم بين صبغة واخرى(الرنين) دون انتقال الالكترون بين الصبغات الهوائية(انتقال الطاقة دون لإلكترون)

بينما في أصبغة مركز التفاعل في PSI و PSII فان الطاقة الضوئية تنتقل مصحوبة بانتقال الالكترون(تنتقل الطاقة والإلكترون)



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

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

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

$$4Fe^{+++} + 4e^- \longrightarrow 4\,Fe^{++}$$

مصدر الإلكترونات هو الأنظمة الضوئية وأن انتقال الإلكترونات لا يكون مباشرة من الماء إلى شوارد الحديد.

هناك فقد لإلكترونات الماء وفقد لإلكترونات مركزي التفاعل وهناك استقبال الإلكترونات من طرف المستقبل فما هو تسلسل هذه التفاعلات؟

يتاكسد اليخضور P680 و P700 بواسطة الضوء وفق المعادلتين 02 و03

الالكترونات الناتجة عن اكسدة اليخضور تعمل على ارجاع شوارد الحديد.

الالكترونات الناتجة عن اكسدة الماء تعمل على استقرار اليخضور

❸ تسلسل تفاعلات المرحلة الكيموضوئية

أ) مصير الإلكترونات المتحررة:

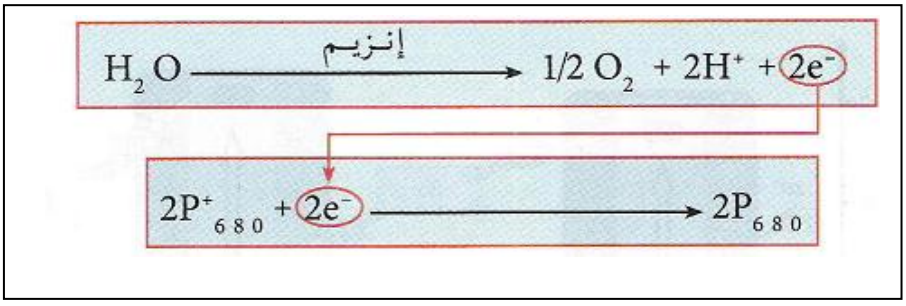
إن تهيج أصبغة النظامين الضوئيين (PSI وPSII) تؤدي في النهاية إلى فقد إلكترونات غنية بالطاقة. وقد تبين من خلال دراسة مكونات أغشية التيلاكويد (النشاط 2) وجود عدد من نواقل الإلكترونات بالإضافة إلى النظامين الضوئيين. فماهو مصير الإلكترونات المفقودة من مركز التفاعل والطاقة الموجودة فيها ؟ وماهو دور نواقل الإلكترونات وآلية عملها ؟

1) مصير إلكترونات الماء:

إن أكسدة صبغتين من يخضور (أ) في مركز التفاعل PSII أدت إلى تحرر إلكترونَين من النظام الضوئي PSII. لايمكن لجزيئتي اليخضور (أ) في PSII في هذه الحالة أن تستعيد قدرتها على تحرير الإلكترونات من جديد إلا إذا استعادت الإلكترونـات التي فقدتهـا، فمن أين تستمدها ؟

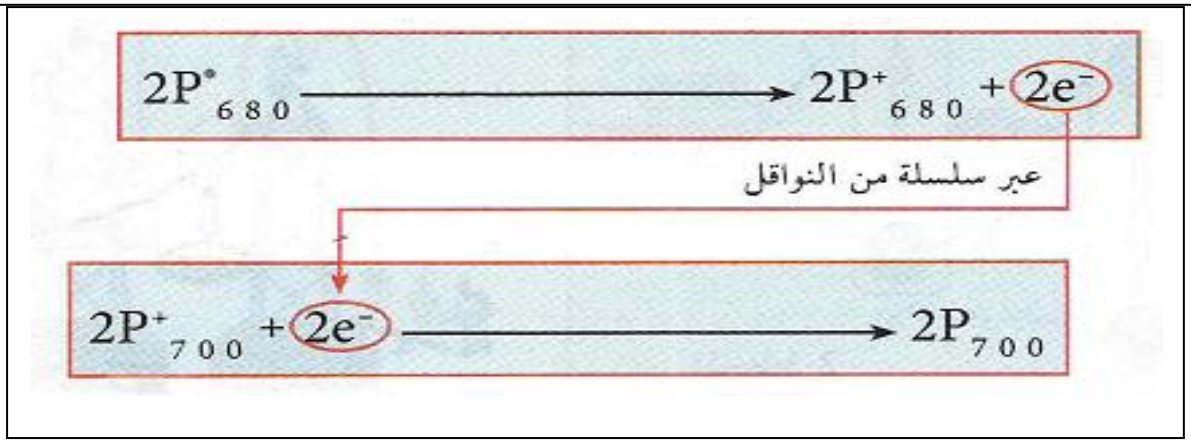
– بينت الدراسات حول بنية ووظيفة النظام الضوئي PSII وجود جزء بروتيني ضمن المعقد البروتيني له دور إنزيم يحلل الماء ليتحرر من ذلك إلكترونين لتعويض الإلكترونات المفقودة من P_{680} وفق المعادلة:

:



يعمل انزيم تحلل الماء الموجود في النظام الضوئي PSII على أكسدة الماء و الالكترونات الناتجة عن أكسدته تعمل على استقرار وارجاع جزيئات اليخضور المهيجة P680 لـ PSII وفق المعادلةالسابقة(اي الكترونات الماء تعمل على استقرار وارجاع PSII)

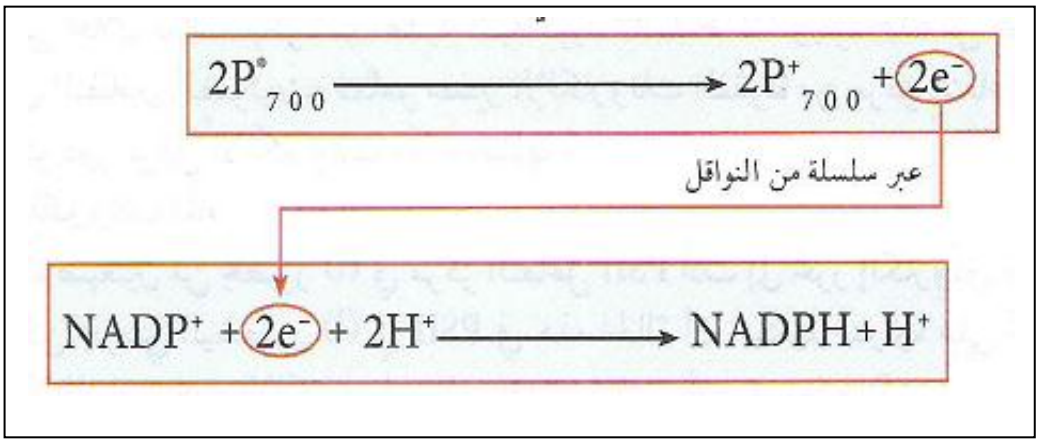
- باعتبار أن الماء هو مصدر الإلكترونات التي تعوض الإلكترونات المتحررة من PSII فمن أين يتـ تعويض الإلكترونات المفقودة من PSI ؟



الالكترونات المتحررة من تهيج واكسدة جزيئات اليخضور P680 (PSII) تنتقل عبر سلسلة من نوال الالكترونات الموجودة في غشاء التيلاكوئيد وتستقبل من طرف جزيئات اليخضور P700 (PSI) اي الكترونات (PSII) تعمل على استقرار وارجاع(PSI) وف المعادلة السابقة.

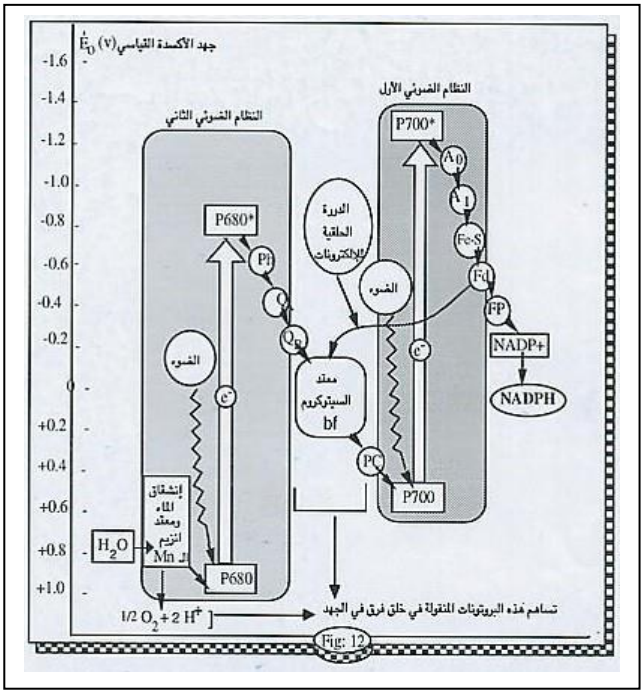
باعتبار أن مصير الإلكترونات المتحررة من PSII يتمثل في تعويض الإلكترونات المتحررة من فماهو مصير الإلكترونات المتحررة من PSI ؟

مصير الكترونات PSI

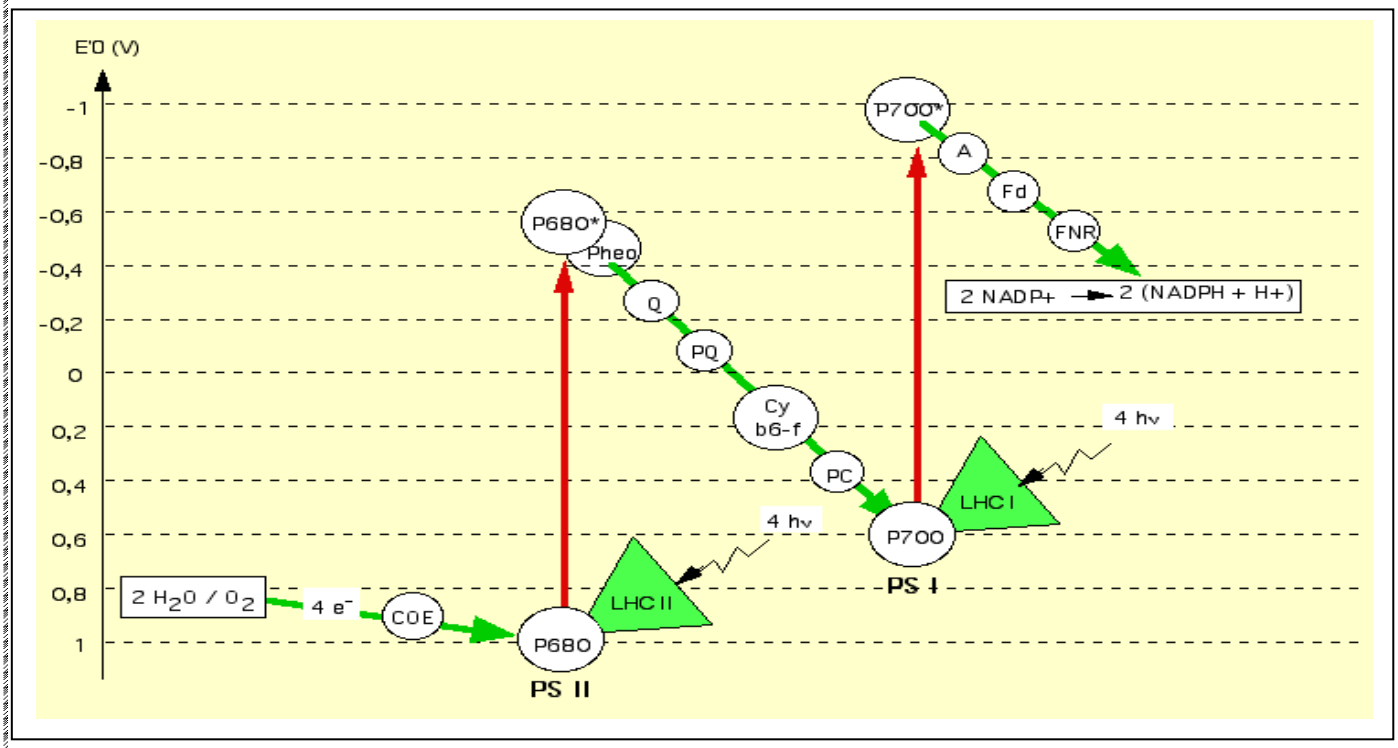


الالكترونات المتحررة عن اكسدة وتهيج جزيئات اليخضور P700 (PSI) تنتقل عبر سلسلة من نواقل الالكترونات وتستقبل في الأخير من طرف مستقبل نهائي موجود في الحشوة هو NADP+ وفق المعادلة السابقة

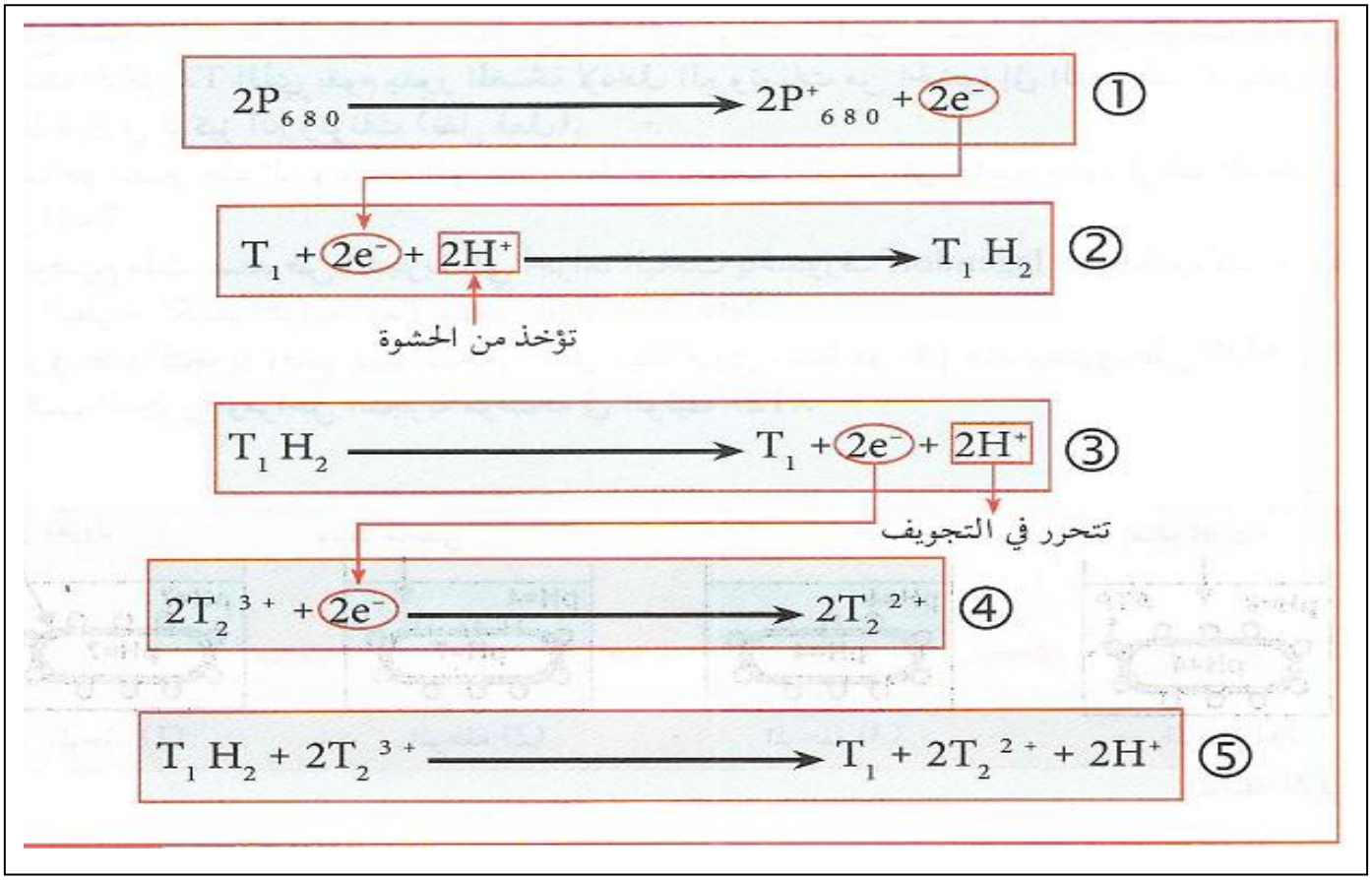
ألية انتقال الالكترونات في السلسلة التركيبية:



Couple redox	E'0 (V)
O_2/ H_20	+ 0,82
P_{680} / P_{680}^+	+ 0,9
P_{680}*/P_{680}	- 0,8
Pheo (red/ox)	- 0,6
QA-QB(red/ox)	- 0,2
PQ (red/ox)	0
b6f (red/ox)	- 0,2 et + 0,2
P_{700} / P_{700}^+	+ 0,4



الأستاذ عقريب كما ل ثانوية عثمان بن عفان بالمسيلة www. kambio2008.yoo7.com thebestking67@yahoo.fr



استغلال الوثائق:

اعتمادا على مخططات الوثيقة (10) وباستغلال معادلات الوثيقة (11):

1. علل فقد الإلكترونات من النظام الضوئي في المعادلة (1) ؟
2. قارن بين T1 وT2 من حيث كمون الأكسدة / إرجاع ؟ علل ؟
3. استخرج الفرق الأساسي بين T1 وT2 في آلية النقل ؟
4. تمثل المعادلة (5) محصلة للمعادلتين (3 و4). مثل بقية السلسلة التركيبية الضوئية من 3 المستقبل الأخير في السلسلة ($NADP^{+}$) وذلك بالاستعانة بالمخططات الموضحة في الوثيقة ((مع العلم أن النواقل المتبقية تقوم بنقل إلكترونات فقط دون البروتونات.

المعادلة 02 توضح أن الإلكترونات المفقودة من PSII المهيج من طرف الضوء يتم استقبالها من طرف الناقل T_1 الذي يقوم بنقل إلكترونين$^{e}2$ وبروتونين+2H (ناقل لإلكترونات + بروتونات).

الناقل T_1 الذي ينقل الإلكترونات يأخذ بروتونات+H من الحشوة ويحررها في تجويف التيلاكوئيد مما يؤدي إلى انخفاض تركيزها في الحشوة

في المعادلة 03 و04 نلاحظ أن انتقال الإلكترونات بين T_1 و T_2 ، حيث أن T_2 لا ينقل البروتونات**+H** لذلك يتم تحرير البروتونات**+H** في التجويف ، مما يزيد من تركيزها في التجويف

المعادلة 05 هي محصلة المعادلتين 03 و 04 فقد -e من النظام الضوئي يكون نتيجة تهيجه بالطاقة الضوئية الواردة اليه من الأصبغة الهوائية.للاقط

الأجوبة على الأسئلة المقترحة:

01) يفقد النظامان الضوئيان الالكترونات بسبب تهييجهما واكسدتهما بواسطة الفوتونات الضوئية الواردة من الأصبغة الهوائية للاقط

02) المقارنة:

كمون اكسدة ارجاع T1 0.8 volts- اقل من كمون T2 0.0 volts التعليل: انتقال الالكترونات من T1 الى T2.

03) الفرق الأساسي بين الية عمل T1 و T2 يتمثل في ان :

-* T1 ينقل الكترونات 2^e وبروتونات 2H+

-* T2 ينقل الكترونات فقط ولا ينقل البروتونات H+

04) تمثيل تسلسل نقل الالكترونات في باقي السلسلة التركيبية من T3 الى NADP+

T3 ~~من T2~~

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

PSI ~~من T3~~

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

T1 ~~من PSI~~

$$2PSI + 2T_1^{+3} \longrightarrow 2PSI^{+} + 2T_1^{+2}$$

T2 ~~من T1~~

$$2T_2^{+3} + 2\bar{e} \longrightarrow 2T_1^{+3} + 2T_2^{+2}$$

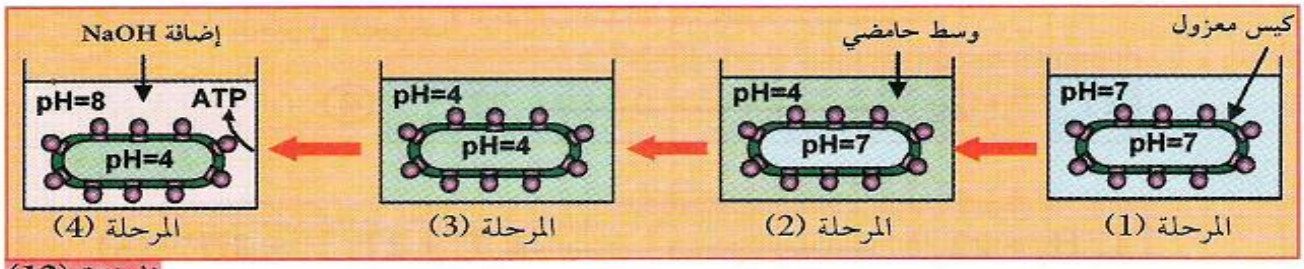
NADP+ ~~من T2~~

$$2T_2^{+2} + NADP + 2H^{+} \longrightarrow 2T_2^{+3} + NADPH + H^{+}$$

ج) مصير البروتونات المتراكمة داخل التجويف:

- أثناء انتقال الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية تتحرر منها طاقة (يمكن ملاحظتها من خلال ارتفاع كمون الأكسدة / إرجاع) تستعمل في نقل البروتونات H^+ من الحشوة إلى داخل تجويف الكييس بواسطة الناقل T2 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 الى تجويف الكييس إلى جانب البروتونات الناتجة عن تحلل الماء ؟
- لتوضيح ذلك نستعرض التجربة التي أجراها الباحث ياغندورف André Jagendorf وذلك اعتمادا على النظرية الكيمواسموزية للعالم ميتشل Peter Mitchell

تم في هذه التجربة وضع كييسات معزولة في الظلام وفي وسط ذو pH محدد ويحتوي على ADP وPi، التركيب التجريبي ومراحل التجربة موضحة في الوثيقة (12).



الوثيقة (12)

استغلال الوثائق:

1. ماذا يمكن قوله عن pH الوسط وتجويف التيلاكويد في المرحلتين (1 و2) ؟ قدم إذن تـ لمفهوم الـ pH.
2. قدم تفسيرا شارديا لاختلاف pH الوسط عن pH تجويف الكييس في المرحلة (2).
3. علل تغير pH تجويف الكييس في المرحلة (3).
4. علل إضافة NaOH للوسط في المرحلة 4.
5. إذا علمت أن نقل H^+ غبر غشاء التيلاكويد من **الخارج الى الداخل** يتم بواسطة الناقل T2 خروجها يتم عبر الكرات المذنبة، التي تقوم بدور إنزيم لتركيب ATP (ATP Synthase):
   - استخرج آلية تركيب الـ ATP انطلاقا من ADP و Pi في المرحلة 4 من التجربة مصدر الطاقة التي أدت إلى تشكل الـ ATP.
   - لخص تفاعل تركيب الـ ATP في معادلة إجمالية.
6. استنتج مما سبق شروط تركيب ATP.

01) يشير pH الى تركيز +H في الوسط(سلم pH يتناسب عكسا مع تركيز البروتونات). أي أن تركيز البروتونات يكون مرتفعا في pH المنخفض وتركيز البروتونات يكون منخفضا في PH المرتفع علاقة عكسية

02) التفسير الشاردي يرتبط بتركيز شوارد الهيدروجين H+

في المرحلة 02 تركيز H+ في الوسط الخارجي اكبرمن تركيزها في تجويف التيلاكوئيد(pH الوسط الخارجي حامضي)

و (pH الوسط التجويف قاعدي)

03)تغير pH التجويف أصبح حامضي يعود الى دخول البروتونات **H+ من الوسط الخارجي الى تجويف التيلاكوئيد.**

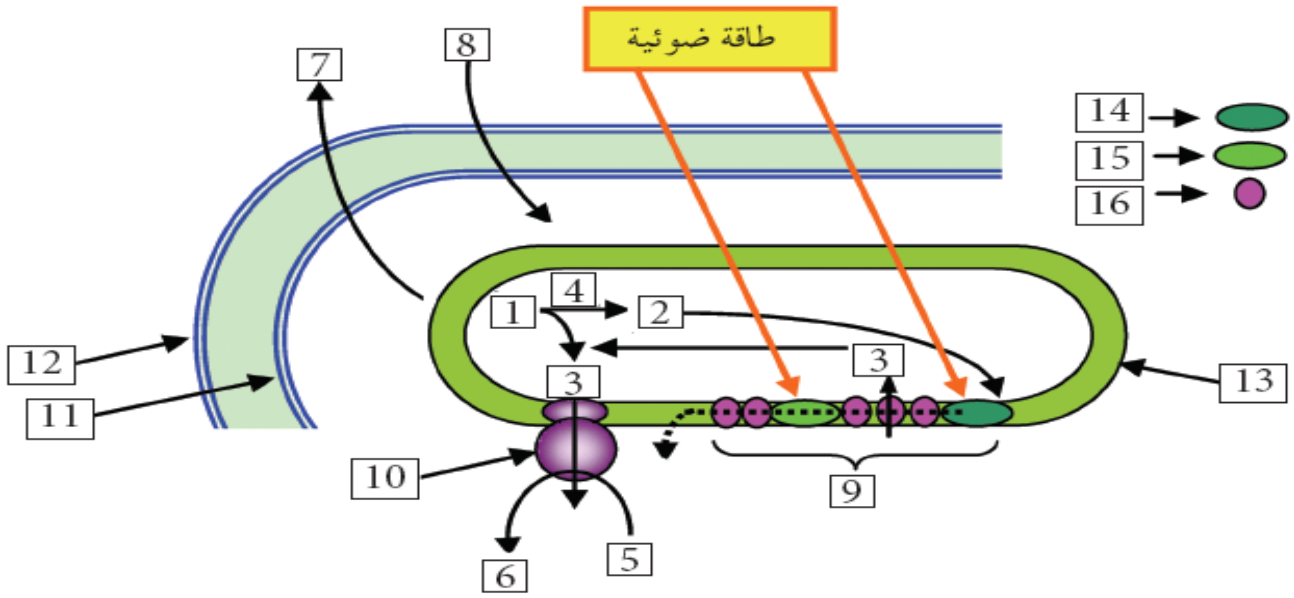
4)استعمال قاعدة NaOH التي ترفع من pH الوسط الخارجي ليصبح قاعديا ينتج عن ذلك فرق في pH أو(فرق في تركيز البروتونات بين داخل وخارج التجويف).(PH التجويف حامضي و PH الوسط الخارجي قاعدي)

05) ان وجود فرق في تركيز **H+** يخلق تدرجا في تركيزها مما يجعلها تتدفق من التجويف الى الوسط عبر الكريات المذنبة لأن الغشاء غير نفوذ لها. ينتج عن تدفقها تحرير طاقة يستعملها انزيمATP Synthase في تركيب ATP وذلك بتشكيل رابطة بين ADP و Pi وفق المعادلة التالية:

ADP + Pi+ E ~~ATP~~ H2O

06) شروط تركيب الـ ATP:

*– وجود فرق في تركيز البروتونات *–توفر ATP Synthase (الكرية المذنبة) *– توفر ADP و Pi .

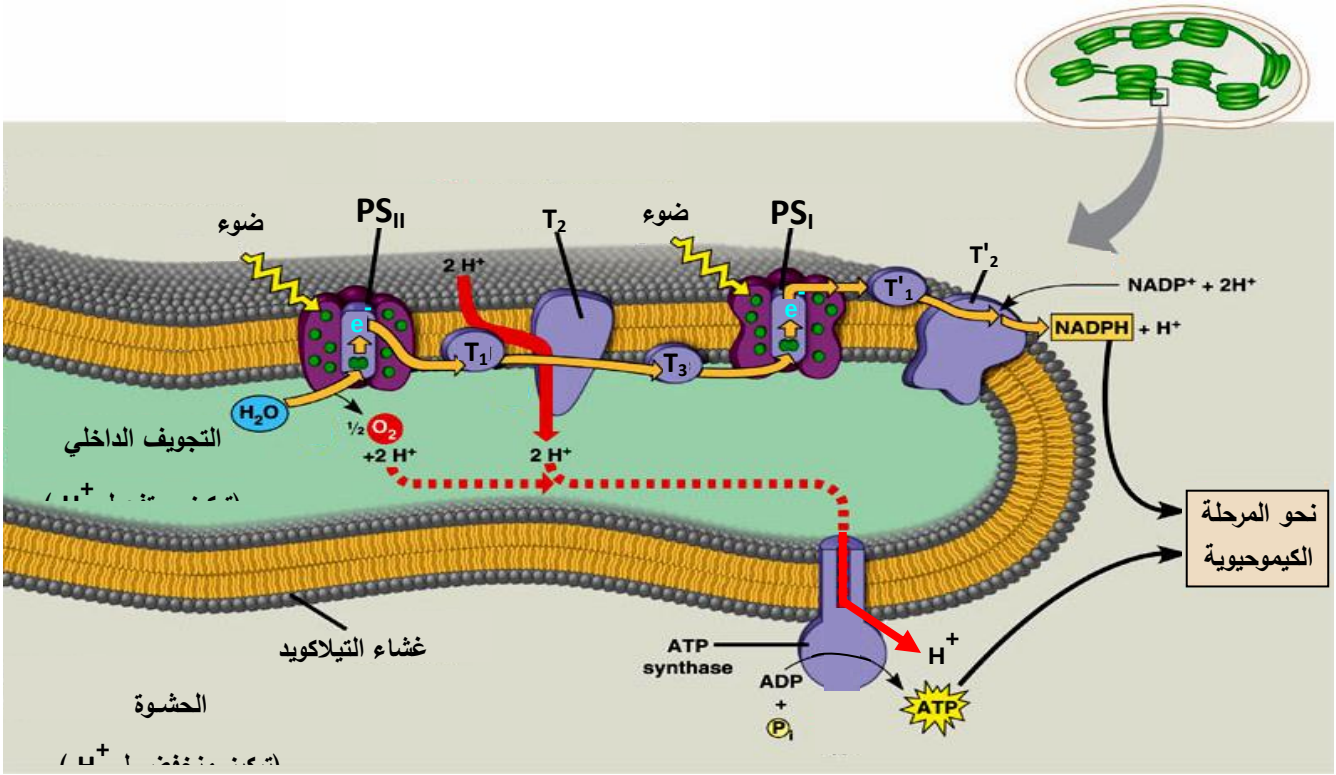


نواتج المرحلة الكيموضوئية وهي ATP و NADPH + H+

الرسم التخطيطي الوظيفي للمرحلة الكيموضوئية: يشمل على

أنواع البروتينات الموجود في أغشية التيلاكوئيد التي تم التعرف عليها سابقا (عددها ، مواقعها ، شكلها)

دور كل منها في المرحلة الكيموضوئية. دور إنزيم ATP Synthase في تركيب ATP .انتقال الإلكترونات مصير الإلكترونات المنقولة.حركة البروتونات عبرغشاء التيلاكويد

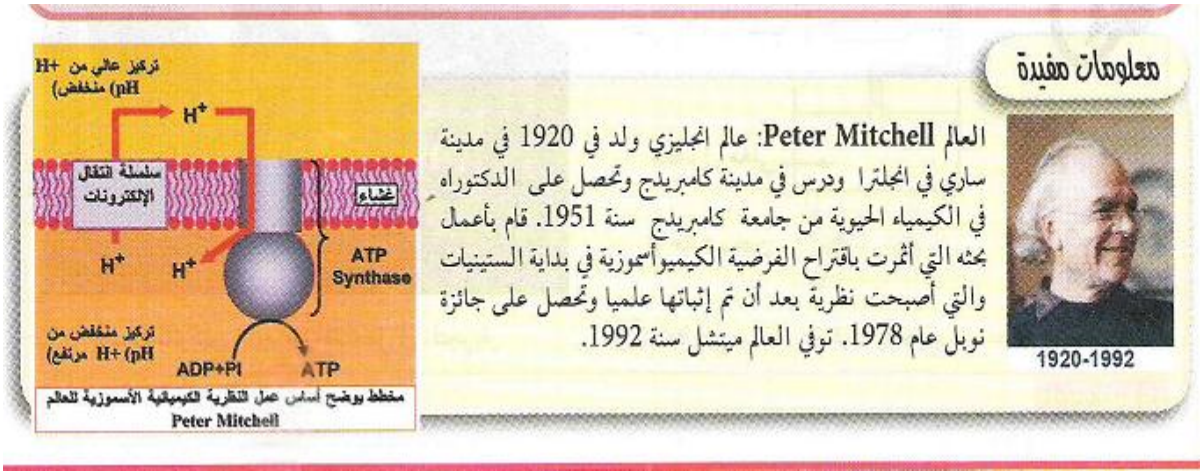


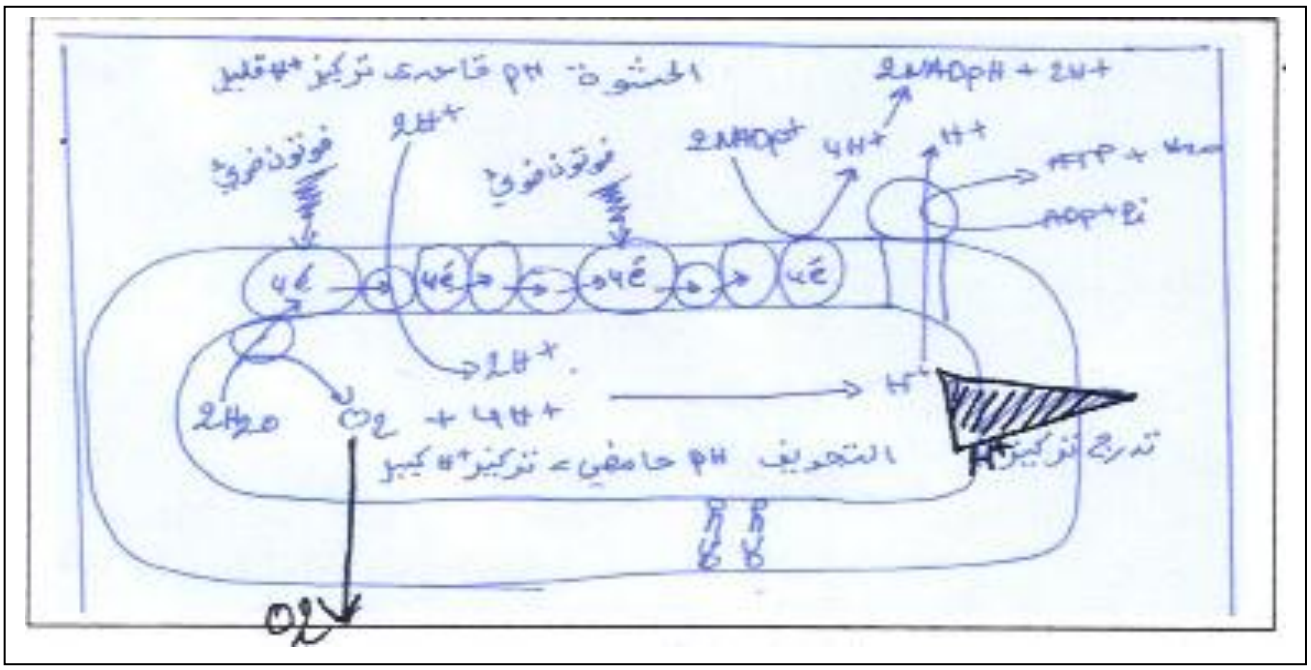
خلاصة: تفاعلات المرحلة الكيموضوئية:

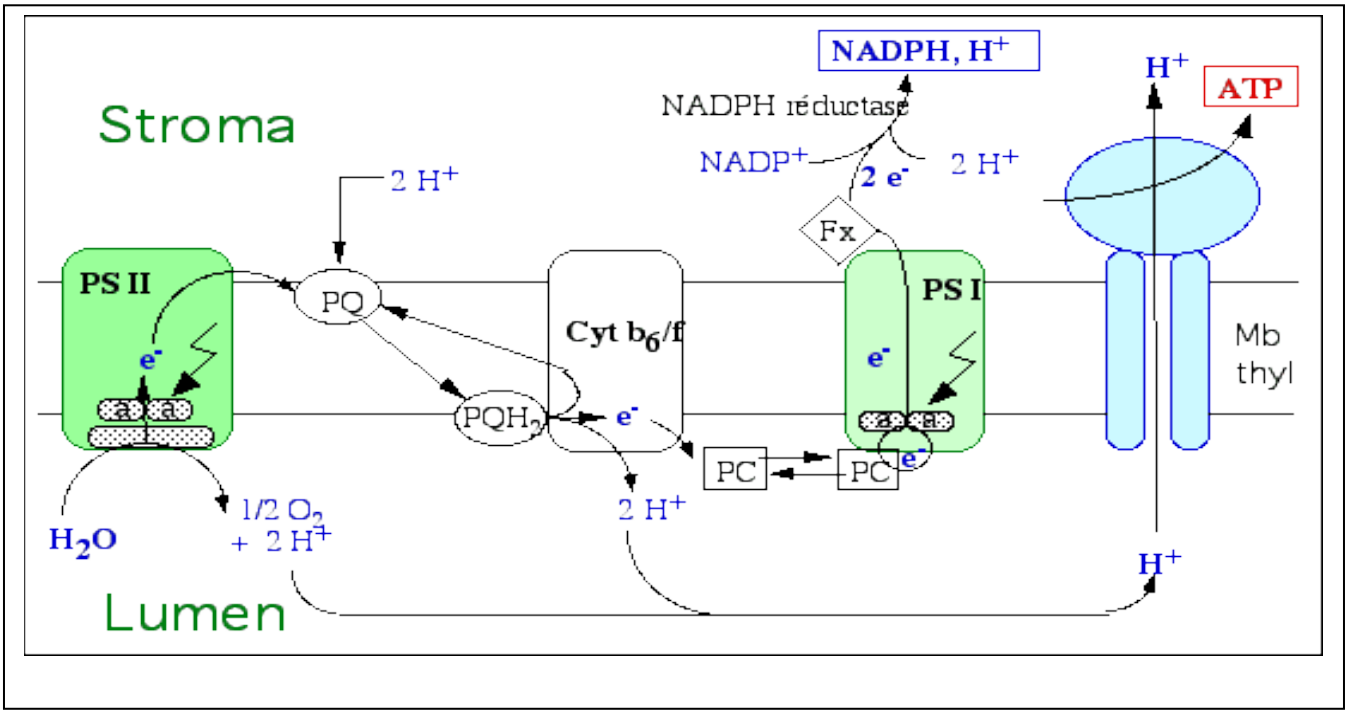
*- مقرها غشاء التيلاكوئيد

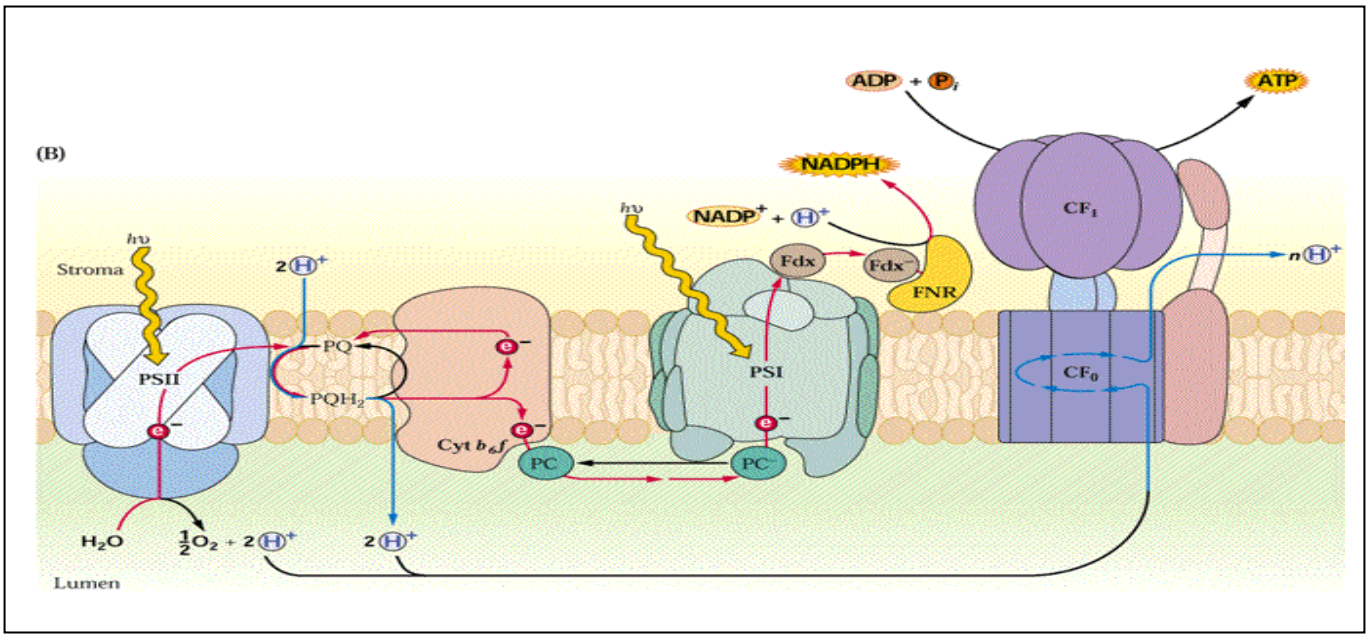
- تفاعلاتها الأساسية: - أكسدة الماء – ارجاع المستقبل النهائي +NADP الى NADPH+H- تركيب ATP

نواتجها النهائية: - طرح O2- والـ ATP






NADPH, H+
NADPH réductase
NADP+
2 e-
2 H+
H+
ATP
Fx
Stroma
2 H+
PS II
PQ
Cyt b6/f
PS I
Mb
thyl
e-
PQH2
PC
PC
H2O
1/2 O2
+ 2 H+
2 H+
H+
Lumen


(B)
ADP + Pi
ATP
NADPH
NADP+ + H+
hν
Stroma
2H+
PSII
PQ
PQH2
Cyt b6f
PC
PSI
Fdx
Fdx-
FNR
CF1
CF0
nH+
H2O
½O2 + 2H+
2H+
Lumen

سؤال ما هو دور الضوء؟

01 أكسدة وتهييج جزيئات يخضور النظامين الضوئيين PSII PSI.

تمتص جزيئات اليخضور(أ) للنظامين لـــ PSI. PSII الفوتونات الضوئية فتنتقل من حالة استقرار الى حالة تهيج وأكسدة حيث كل جزيئة يخضوراً تفقد 01 الكترون . جزيئات اليخضور (أ) هي الوحيدة التي لها القدرة على فقد الكترونات عند تهييجها بالضوء

$$2P^{*}680 \longrightarrow 2P680 + 2\acute{e}$$

$$2p^{*}700 \longrightarrow 2p700 + 2\acute{e}$$

سؤال ما هو مسير الالكترونات الناتجة عن أكسدة اليخضور (أ) لـــ PSI و PSII ؟

02 انتقال الالكترونات في السلسلة التركيبية

أ) الالكترونات الناتجة عن أكسدة PSI تنتقل عبر نواقل السلسلة التركيبية بتفاعلات الأكسدة والارجاع من كمون أكسدة ارجاع أقل الى كمون أكسدة ارجاع أكبر محررة طاقة. الناقل الأخير من السلسلة يعمل على ارجاع المستقبل النهائي الفيزيولوجي NADP+ مع بروتونات H الحشوة الى NADPH. وفق المعادلة التالية

$$2PSI + 2T_1^{+3} \longrightarrow 2PSI^{+} + 2T_1^{+2}$$

من PSI ← T1

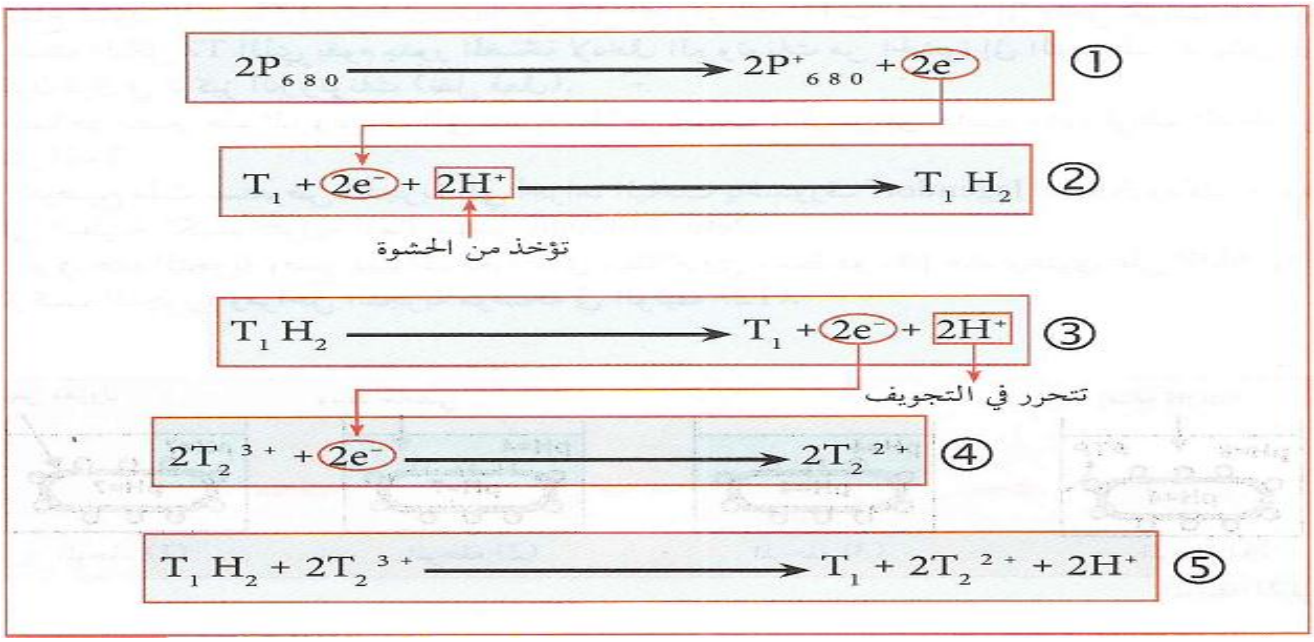
$$2T_2^{+3} + 2\bar{e} \longrightarrow 2T_1^{+3} + 2T_2^{+2}$$

من T1 ← T2

$$2T_2^{+2} + NADP + 2H^{+} \longrightarrow 2T_2^{+3} + NADPH + H^{+}$$

من T2 ← NADP+

ب) الالكترونات الناتجة عن اكسدة PSII تنتقل ايضا عبر نواقل السلسلة التركيبية بتفاعلات الاكسدة والارجاع من كمون اقل الى كمون أكبر وفي الأخير تعمل على ارجاع جزيئات يخضور (أ) لـــPSI الذي يستقر.



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

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

سؤال كيف يستقر PSII؟

03 أكسدة الماء أو التحليل الضوئي للماء ؟

جزيئات اليخضور (i) لـــــPSII المهيج والمؤكسد تكون أكثر كهروايجابية تعمل على انتزاع الالكترونات من الماء فتستقر وترجع جزيئات اليخضور (i) لـــــ PSII ويتأكسد الماء وفق المعادلة التالية

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

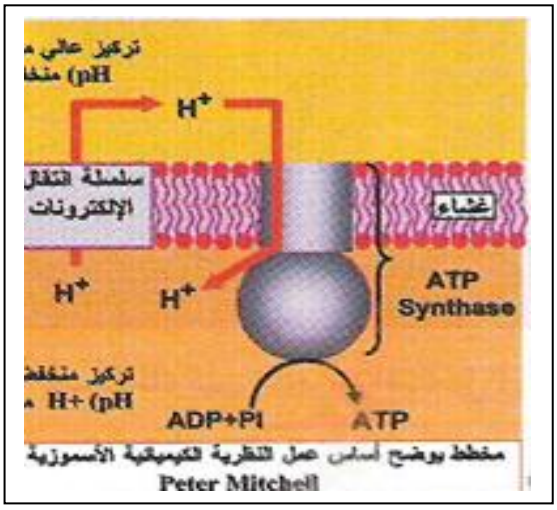
ماهو مصير البروتونات H الناتجة عن أكسدة الماء؟

04 الفسفرة الضوئية أو تركيب الـــATP

البروتونات H الناتجة عن اكسدة الماء مع البروتونات المضخة من الحشوة الى تجويف التيلاكوئيد (عن طريق الانتقال الموضعي بصرف طاقة ناتجة عن انتقال الالكترونات في السلسلة التركيبية) تتجمع في التجويف مسببة تدرج في تركيزها أو فرق في الـــــPH اي تركيز H في التجويف أكبر من الحشوة أو نقول ان PH التجويف حامضي وPH الحشوة قاعدي.

* يترتب عن هذا التدرج في التركيز اندفاع وتدفق H من التجويف الى الحشوة عبر الكريات المذنبة لان الغشاء غير نفوذ لها .

*ينتج عن اندفاع H تحرير طاقة كيميائية يستعملها انزيم ATPASE (رأس الكرية) في فسفرة الـــــADP الى ATP وفق المعادلة التالية



مخطط يوضح أساس عمل النظرية الكيميائية الأسموزية Peter Mitchell

البروتونات H المتدفقة الى الحشوة تعمل على ارجاع +NADP او تضخ الى التجويف للمحافظة على التدرج في التركيز بين التجويف اكبر والحشوة أقل.

$$2T_2^{+2} + NADP + 2H^+ \longrightarrow 2T_2^{+3} + NADPH + H^+$$

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

عبر سلسلة من النواقل

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