بسم الله الرحمن الرحيم

تدرج معدل استثنائي : أكتوبر 2020

ثانوية عبد الحميد قباطي وادي رهيو ولاية غليزان — الأستاذ : إسياف محمد
المستوى : السنة الثالثة علوم تجريبية
https://www.facebook.com/الأستاذ-إسياف-محمد-أستاذ-العلوم-الطبيعية-والحياة-الطور-الثانوي-105173528087633/

المجال الثاني : التحولات الطاقوية

الكفاءة القاعدية 2 : يقترح نموذج تفسيري لحركية الطاقة الخلوية على أساس المعارف المتعلقة بتحويل الطاقة على مستوى البنيات فوق الخلوية .

الوحدة 01 : آليات تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة

الهدف التعلمي 01 : تحديد آليات تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة في الجزيئات العضوية

الحصة 01 : مقر عملية التركيب الضوئي (ما فوق البنية الخلوية للصانعة الخضراء)

الكفاءة المستهدفة : ♦ يتعرف على الميزة البنيوية للصانعة الخضراء و التركيب الكيموحيوي لمختلف أجزائها

♦ يستخرج مرحلتي التركيب الضوئي

تذكير بالمكتسبات : تقوم النباتات الخضراء بتركيب المادة العضوية بظاهرة التركيب الضوئي ، حيث تتم هذه التفاعلات داخل الصانعة الخضراء وفق المعادلة التالية :

تعلمات ممكن تناولها عن بعد

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

غاز الفحم — ماء — غلوكوز — غاز الأكسجين — ماء

$$n(CO_2) + n(H_2O) \xrightarrow{\text{ضوء + يخضور + إنزيمات}} (CH_2O)_n + n(O_2)$$

نشا

شروط عملية التركيب الضوئي : الضوء ، اليخضور ، الماء (H_2O) وغاز (CO_2) .

مظاهر عملية التركيب الضوئي : امتصاص CO_2 و طرح O_2 .

شكل الطاقة المحولة و الناتجة في عملية التركيب الضوئي :
التركيب الضوئي آلية حيوية يتم خلالها **تحويل الطاقة الضوئية** إلى **طاقة كيميائية كامنة** في الجزيئات العضوية المصنعة .

المشكلة : ما هي آليات تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة ؟

I مقر التركيب الضوئي

1 - ما فوق بنية الصانعة الخضراء : الوثيقة 1 ص 177

تمثل الوثيقة ما فوق بنية الصانعة الخضراء كما يظهرها المجهر الالكتروني مع رسم تفسيري و مجسم للصانعة الخضراء

- **وصف مظهر الصانعة الخضراء:** الصانعات الخضراء هي عضيات ذات **بنيات حجيرية** مغلفة بغلاف مكون من **غشائين(خارجي وداخلي)** و تحتوي على شبكة من التراكيب الغشائية تعرف **بالتيلاكوئيد** و نميز منها: **الكييسات** و **الصفائح الحشوية** ، حيث تصطف الكييسات فوق بعضها البعض مكونة تراكيب تسمى **البذيرات(الغرانا)** و تتكون التيلاكوئيدات من **غشاء التيلاكوئيد** الذي يحيط بتجويف يسمى **التجويف الداخلي** ، و تحتوي الصانعة على حيز يقع بين التيلاكوئيدات و الغلاف يسمى **بالحشوة (ستروما).**
- **تعليل البنية الحجيرية للصانعة الخضراء:** نقول عن الصانعة الخضراء ذات **بنية حجيرية** لانها مقسمة إلى حجرات مفصولة بأغشية و هي:
  - **الفراغ بين الغشائين** الداخلي و الخارجي.
  - **الحشوة** (محددة بالغشاء الداخلي) .
  - **تجويف التيلاكوئيد** (التجويف الداخلي للكييس) (محدد بغشاء التلاكوئيد).

الاستنتاج : الصانعة الخضراء هي عضية خلوية عدسية الشكل لها بنية حجيرية ، تحتوي على شبكة من التراكيب الغشائية تعرف بالتلاكويد نميز منها الكييسات و الصفائح الحشوية .

2 - التركيب الكيموحيوي للصانعة الخضراء : جدول ص 177

غير مدرجة في تدرج رمضان

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

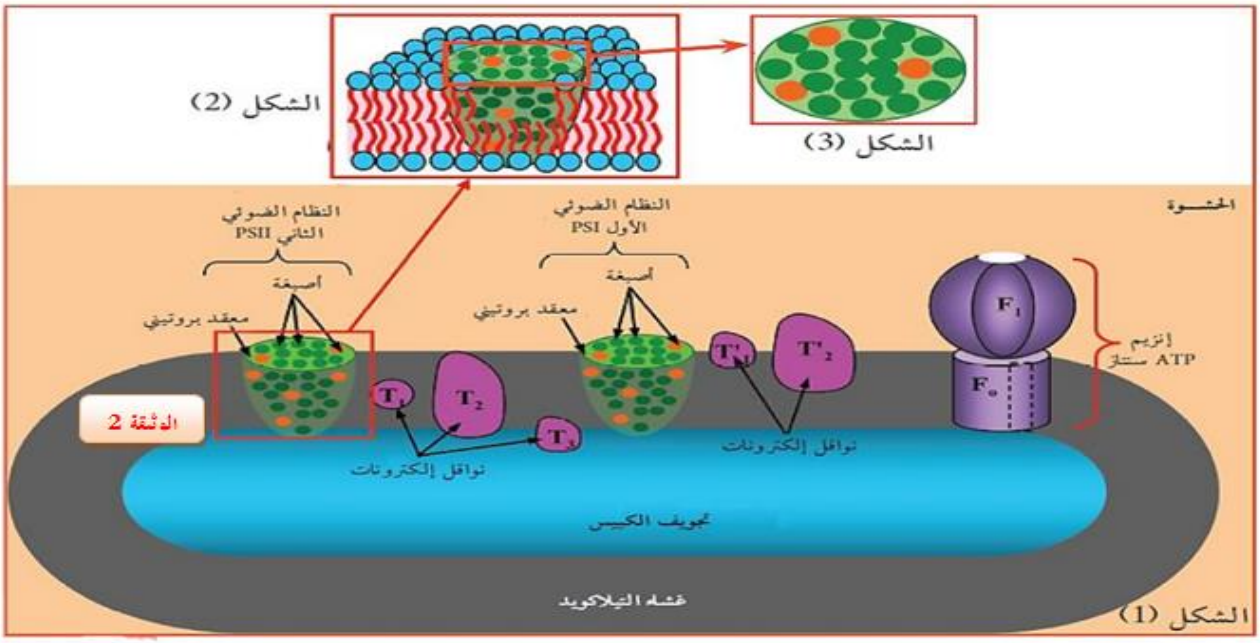
جزء الصانعة الخضراء	أهم المكونات الكيميائية
أغشية التيلاكوئيد	- أصبغة يخضورية (اليخضور " أ " و اليخضور " ب ") . - أصبغة شبه الجزرين (الجزرين " الكاروتين "، اليصفور " الكزانتوفيل"). - نواقل من الأنظمة الضوئية (PS_{II} و PS_{I}) . - نواقل الإلكترونات . - أنزيم الـ ATP synthase سنتاز (الكرية المذنبة) . -
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)

- **المقارنة بين التركيب الكيميائي لاغشية التيلاكوئيد و الحشوة:** يختلف التركيب الكيميائي للحشوة تماما عن التركيب الكيميائي لأغشية التيلاكويد ما يدل على اختلاف دورهما في عملية التركيب الضوئي

الاستنتاج : تتم عملية التركيب الضوئي في كل من الحشوة و غشاء التيلاكويد و أن لكل منهما وضائف مختلفة في الصانعة الخضراء.

3- ما فوق بنية التيلاكويد : الوثيقة 2 ص 178

يمثل الشكل (1) من الوثيقة 2 رسم تخطيطي لتموضع مكونات غشاء التيلاكوئيد في إحدى الكييسات بينما الشكل (2) من نفس الوثيقة رسم تخطيطي لمقطع في جزء من غشاء التيلاكوئيد اما الشكل (3) فيمثل رسم مبسط لنظام ضوئي.



- **مكونات غشاء التيلاكوئيدي و كيفية توضعها :** يتكون غشاء التيلاكويد من 3 مكونات أساسية وهي: **الأنظمة الضوئية** و تتمثل في $PS_{II}+PS_I$ و**نوا قل الالكترونات** و**الكرية المذنبة** إنزيم ATP Synthase

حيث تتوضع مكونات غشاء التيلاكويد وفق الترتيب التالي : النظام الضوئي PSII ثم نواقل الاكترونات T_1 ، T_2 ،T_3 ثم النظام الضوئي PSI ثم نواقل الاكترونات T'_1،T'_2 ثم الكرية المذنبة .

- **تحديد بنية النظام الضوئي:** هو عبارة عن **معقدات بروتينية كبيرة** تحتوي على عدد كبير من **الصبغات** موزعة بطريقة منتظمة داخل المعقد البروتيني .

II - طبيعة تفاعلات التركيب الضوئي

1 - طبيعة التفاعلات الكيميائية للتركيب الضوئي :

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

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

ملاحظة :

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

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

- نوع التفاعل الذي حدث في (1و2):

التفاعل 1 : هو تفاعل أكسدة $12H_2O \longrightarrow 6O_2 + 24H^+ + 24e^-$

التفاعل 2 : هو تفاعل إرجاع $6CO_2 + 24H^+ + 24e^- \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6H_2O$

- تفاعلات ظاهرة التركيب الضوئي : عبارة عن تفاعلات أكسدة وإرجاع .

- تحديد البنيات المتدخلة في سيرورة التركيب الضوئي:

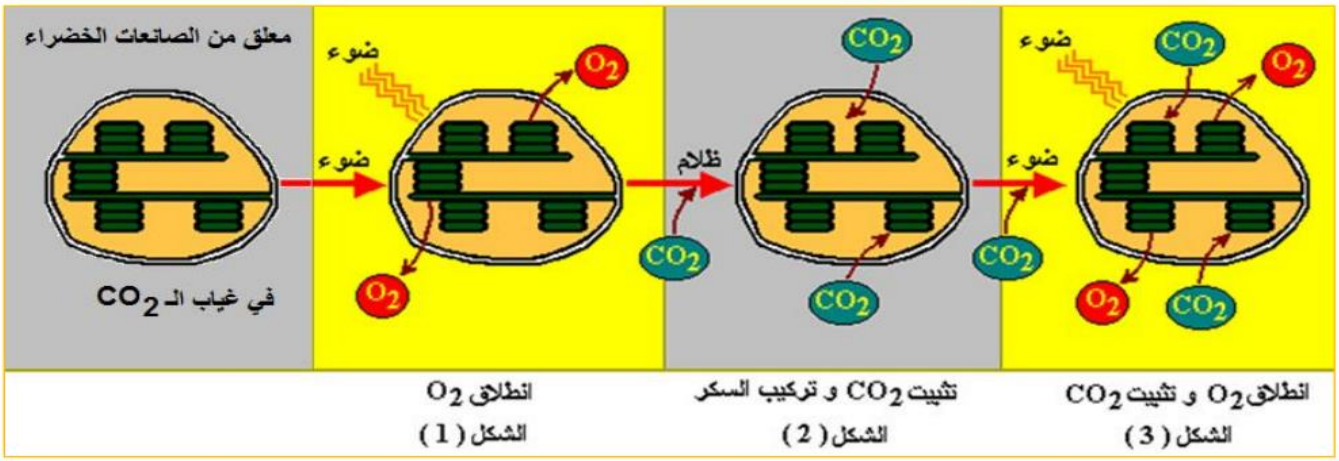
تتم تفاعلات الأكسدة في غشاء التيلاكوئيد لأنها تتطلب لحدوثها وجود اليخضور ة الضوء

تتم تفاعلات الإرجاع في الحشوة لأنها لا تتطلب لحدوثها وجود اليخضور و الضوء .

- إن اختلاف دور كل من التيلاكوئيد والحشوة : يرجع الى اختلاف تركيبهما الكيميائي (جدول ص 177)

2- مراحل عملية التركيب الضوئي : الوثيقة 3 ص 179

لتوضيح مراحل حدوث عملية التركيب الضوئي تم تعريض معلق للصانعات الخضراء للضوء في شروط تجريبية مناسبة في غياب CO_2 فلوحظ انطلاق الـO_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 في الضوء و الـ CO_2 يلاحظ انطلاق الـ O_2 و تثبيت CO_2 بصورة مستمرة، مراحل التجربة موضحة في أشكال الوثيقة 3



- شروط انطلاق O_2 في الشكل1: هي التيلاكوئيد(وجود اليخضور)+ وجود الضوء

- شروط حدوث كل مرحلة:

المرحلة أ: تتطلب اليخضور+الضوء وينتج عنها انطلاق O_2 .

المرحلة ب: تتطلب توفر CO_2 و لا تتطلب ضوء و ينتج عنها امتصاص CO_2 في الحشوة .

- تسمية كل مرحلة:

المرحلة أ تسمى المرحلة الكيموضوئية.

المرحلة ب تسمى المرحلة الكيموحيوية.

- المرحلة ب (المرحلة الكيموحيوية) : لا تحتاج إلى الضوء و مع ذلك يمكن أن تتم في وجوده.

التعليل: لأن امتصاص غاز الـCO_2 يتم في غياب الضوء و في وجوده.

https://www.facebook.com/الأستاذ-إسياف-محمد-أستاذ-العلوم-الطبيعية-والحياة-الطور-الثانوي-105173528087633/

الخلاصة

للصانعة الخضراء بنية حجيرية منظمة كالآتي :

♦تراكيب غشائية داخلية تشكل أكياس مسطحة : التيلاكويد .

♦تجويف داخلي : الحشوة ، محددة بغشاء بلاستيدي، يضاعف الغشاء البلاستيدي الداخلي بغشاء خارجي يفصل العشائين فضوة بين العشائين .

♦تحتوي الأغشية التيلاكوئيدية أصبغة التركيب الضوئي (أصبغة يخضورية ، أصبغة أشباه الجزرين) و جهاز أنزيمي بما في ذلك ATP سنتاز .

♦تحوي الحشوة مواد أيضية وسطية لتركيب المواد العضويى كنواقل البروتونات .

يتم التركيب الضوئي في مرحلتين :

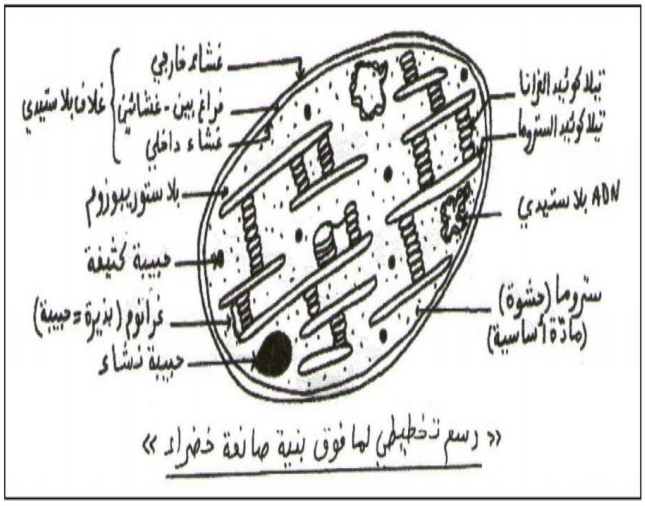
مرحلة كيموضوئية تحتاج إلى ضوء يتم خلالها طرح الـ O2

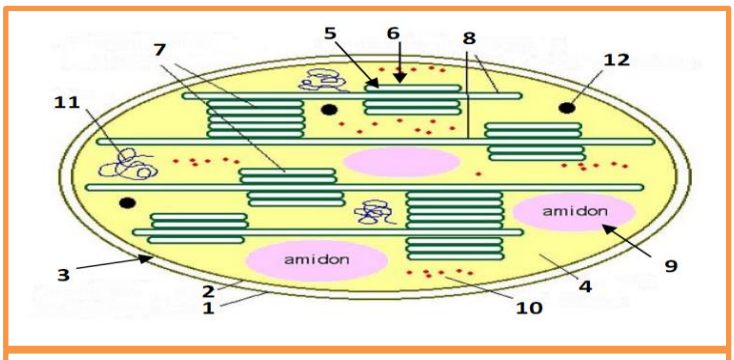
مرحلة كيموحيوية لا تحتاج إلى ضوء يتم خلالها إرجاع الـ CO2 و تركيب جزيئات عضوية

https://www.facebook.com/الأستاذ-إسياف-محمد-أستاذ-العلوم-الطبيعية-والحياة-الطور-الثانوي-105173528087633/

التقويم المرحلي : أنجز رسم تخطيطي للصانعة الخضراء و الكييس ؟

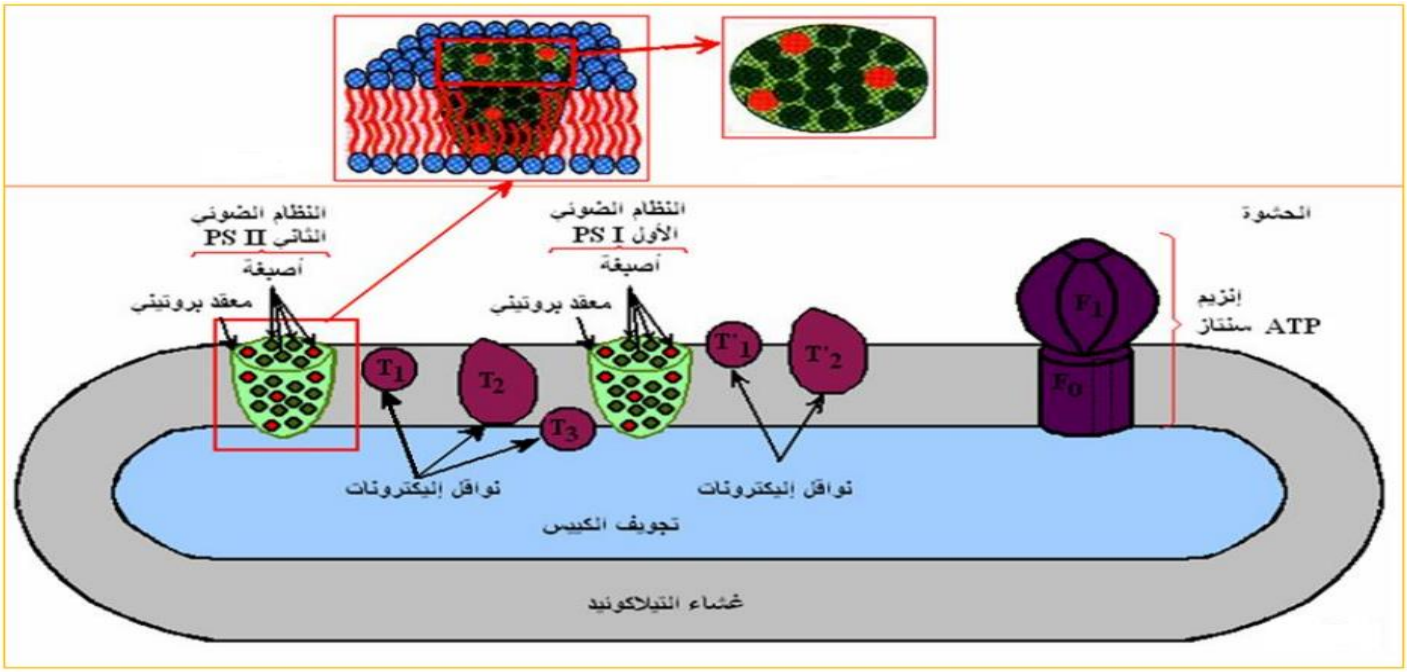
تعلمات ممكن تناولها عن بعد

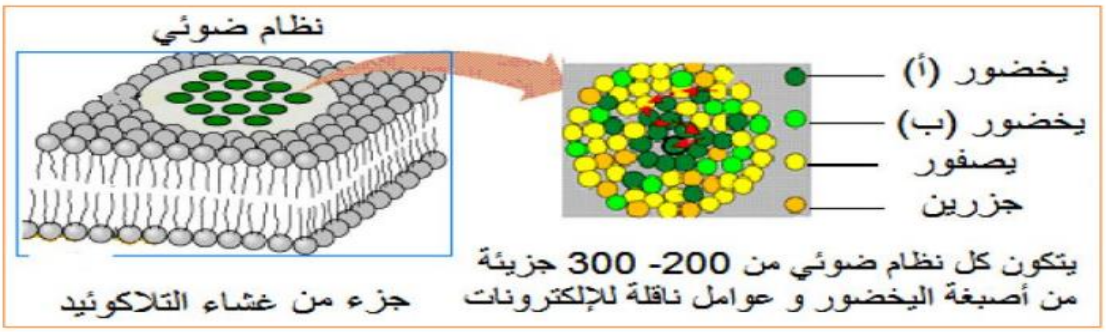




1 –غشاء خارجي 2 – غشاء داخلي 3- فراغ بين غشائين
4- حشوة (ستروما 5 – تجويف التيلاكويد 6 - تيلاكويد (كييس)
7 – بذيرة (granum) 8 – صفيحة حشوية (تيلاكويد)
9 – حبيبة نشاء 10- ريبوزومات 11 - ADN الصانعة الخضراء
12 - دسم

رسم تخطيطي للتيلاكويد :





الحصة 02 : تفاعلات المرحلة الكيموضوئية

الكفاءة المستهدفة : يحدد آلية المرحلة الكيموضوئية و يستخلص تفاعلاتها الأساسية و نواتجها

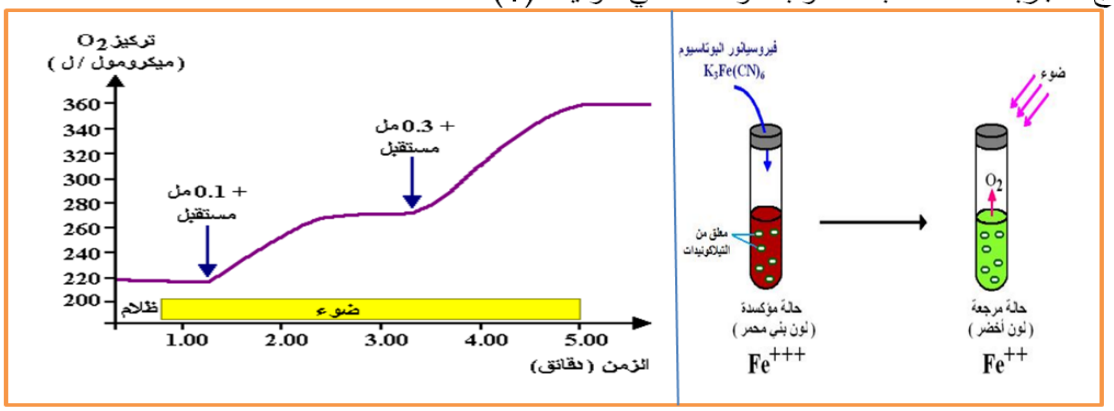
مقدمة : التفاعلات التي تتم على مستوى التيلاكويد تحتاج إلى ضوء و تكون مصحوبة بانطلاق O_2 و تدعى بتفاعلات المرحلة الكيموضوئية .

تساؤل : ما هي آلية المرحلة الكيموضوئية ؟

1 - شروط عمل التيلاكويد :

تجربة 1 : شروط طرح (انطلاق) O2 : الوثيقة 1 ص 180

تم تحضير معلق من التيلاكويدات المعزولة في شروط تجريبية مختلف (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)
نتائج التجربة المدعمة بالحاسوب موضحة في الوثيقة (1)



تحليل المنحنى مع توضيح تأثير كمية فيروسيانور البوتاسيوم : يبين المنحنى تغيرات تركيز O2 بدلالة الزمن في وجود شروط تجريبية مختلفة .

◄ **مرحلة الظلام :**

في غياب الضوء و غياب مستقبل الإلكترونات ، يبقى تركيز O_2 في الوسط ثبتا و ضعيفا (220 ميكرومول /ل) دليل على عدم طرحه من طرف التيلاكويد .

◄ **مرحلة الإضاءة :**

- **قبل إضافة مستقبل الإلكترونات :** يبقى تركيز O_2 في الوسط ثابتا و ضعيفا ، دليل على عدم طرحه من طرف التيلاكويد .
- **بعد إضافة 0.1 مل من مستقبل الإلكترونات :** نلاحظ تزايد طفيف في تركيز O_2 في الوسط حتى يبلغ 270 ميكرو مول /ل ، بعد ذلك يبقى تركيز O_2 تقريبا ثابتا عند هذه القيمة .
- **بعد إضافة 0.3 مل من مستقبل الإلكترونات :** نلاحظ تزايد أكبر لتركيز O_2 في الوسط حتى يبلغ 360 ميكرومول / ل .هذا يدل على أن كمية O_2 المطروحة تتوقف على كمية مستقبل الإكترونات المتوفرة(وجود كمية أكبر من مستقبل الإلكترونات ، طرح التيلاكويد كمية أكبر من O_2)

◄ **مرحلة الظلام :**

رغم وجود كمية من مستقبل الإلكترونات يبقى تركيز O_2 في الوسط ثابتا عند 360 ميكرومول /ل دليل على توقف طرحه من طرف التيلاكويد.

الاستنتاج : شروط انطلاق ال O_2 هي توفر **الإضاءة** و **مستقبل للالكترونات**.

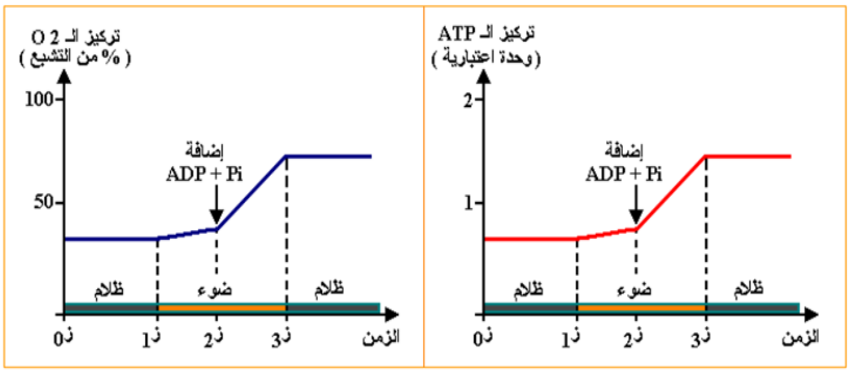
- **تحديد نوع تفاعل المستقبل في هذه التجربة :** هو تفاعل **إرجاع**

التعليل : هو تغير لون محلول فيروسيانور البوتاسيوم من البني المحمر (حالة مؤكسدة Fe^{3+}) إلى أخضر (حالة مرجعة Fe^{2+})

$$\underset{\text{مؤكسد بني محمر}}{Fe^{3+}} + e^- \xrightarrow{\text{إرجاع}} \underset{\text{مرجع أخضر}}{Fe^{2+}}$$

تجربة 2 :تأثير الـ ADP و Pi على عمل التيلاكويد : الوثيقة 3 ص 181

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



التحليل المقارن للمنحنيين : يمثل المنحنيان تغيرات تركيز O_2 و تركيز ATP بدلالة الزمن ، في ظروف تجريبية مختلفة حيث نلاحظ تطابق المنحنيين حيث هناك توافق كلي بين تركيز O_2 المطروح في الوسط و تركيز المركب في الوسط .

◄ **من ز0 إلى ز1 ، في الظلام غياب الضوء وفي غياب ADP وPi** : ثبات تركيز كل من الـ O_2 و الـ ATP في الوسط و بتراكيز منخفضة مما يدل على عدم طرح O_2 و عدم تركيب الـ ATP .

◄ **من ز1 إلى ز2 ، في وجود الضوء و غياب ADP وPi** : تزايد طفيف في تركيز كل من الـ O_2 و الـ ATP .

◄ **من ز2 إلى ز3 ، و في وجود الضوء و الـ ADP وPi** : تزايد كبير في تركيز كل من الـ O_2 و الـ ATP مما يدل على طرح الـ O_2 و تركيب الـ ATP بكميات معتبرة .

◄ **بعد ز3 ، في الظلام** : يبقى تركيز كل من الـ O_2 و الـ ATP في الوسط الخارجي ثابتا لتوقف تركيبهما

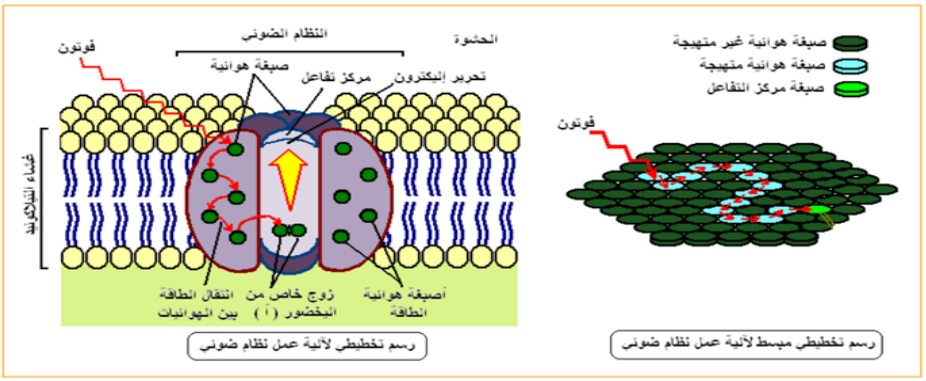
الاستنتاج : نستنتج أن للـ ADP و Pi تأثير **محفز** للتركيب الضوئي (انطلاق O_2).

استنتاج كلي : شروط عمل التيلاكويد تتمثل في توفر: **الضوء،مستقبل للالكترونات، ADP و Pi.**

2 - آلية عمل الأنظمة الضوئية :

أ – تأثير فوتونات الضوء على الأنظمة الضوئية : الوثيقة 6 ص 185

توضح الوثيقة 6 آلية عمل أصبغة لنظام الضوئي



- **ما يحدث عند سقوط فوتونات على أصبغة هوائية في النظام الضوئي :** تقوم الأصبغة الهوائية بالتقاط الطاقة الضوئية (الفوتونات) و بنقلها إلى مركز التفاعل .

- **تحديد دور كل من الأصبغة الهوائة 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 الأكسدة
- **تعليل استعمال تسمية مركز التفاعل لجزيئات من اليخضور في النظام الضوئي :** لكونه يتم به تفاعل الأكسدة .

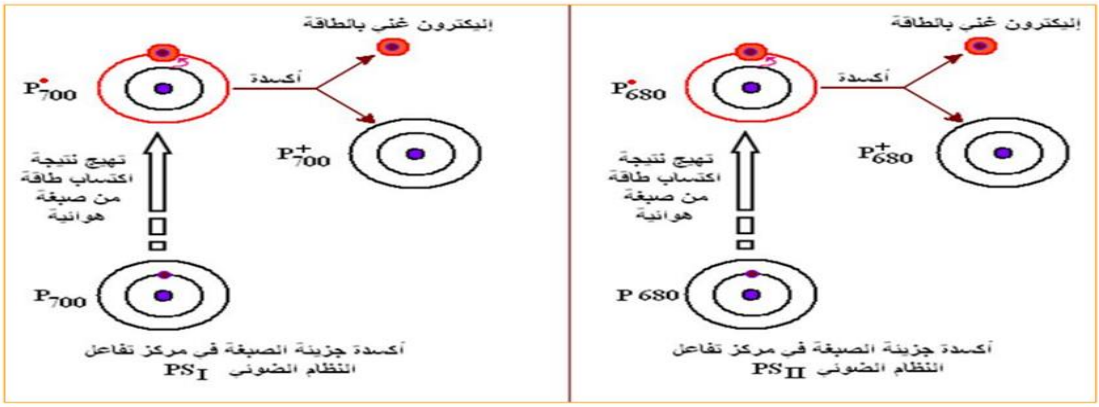
ملاحظة : يتكون مركز التفاعل من جزيئتين من اليخضور(أ) من نوع خاص :

- ♦ P680 بالنسبة لـ PS_{II}
- ♦ P700 بالنسبة لـ PS_{I}

(P هو أول حرف من كلمة Pigment التي تعني "صبغة").

ب - تأثير الفوتونات المقتنصةعلى جزيئة اليخضور(أ)لمركز التفاعل أكسدة اليخضور:الوثيقة 8 ص 186

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



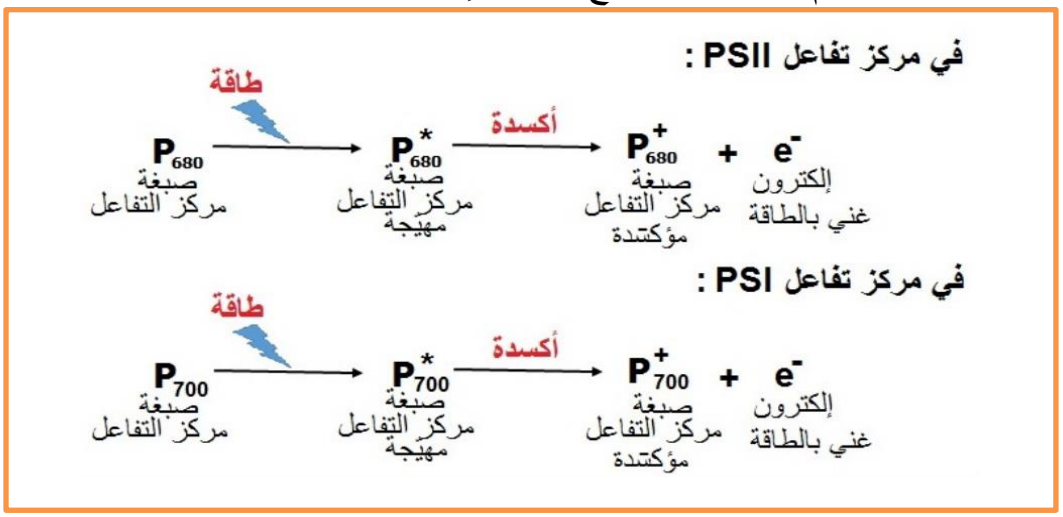
شرح الوثيقة :

وصول الطاقة الضوئية من الأصبغة الهوائية إلى أصبغة مركز التفاعل يؤدي إلى انتقال هذه الأخيرة من حالة الاستقرار إلى حالة التهيج أي انتقال الإكترون من مداره (مدار الداخلي)إلى مدار خارجي (ذو مستوى طاقوي أعلى).

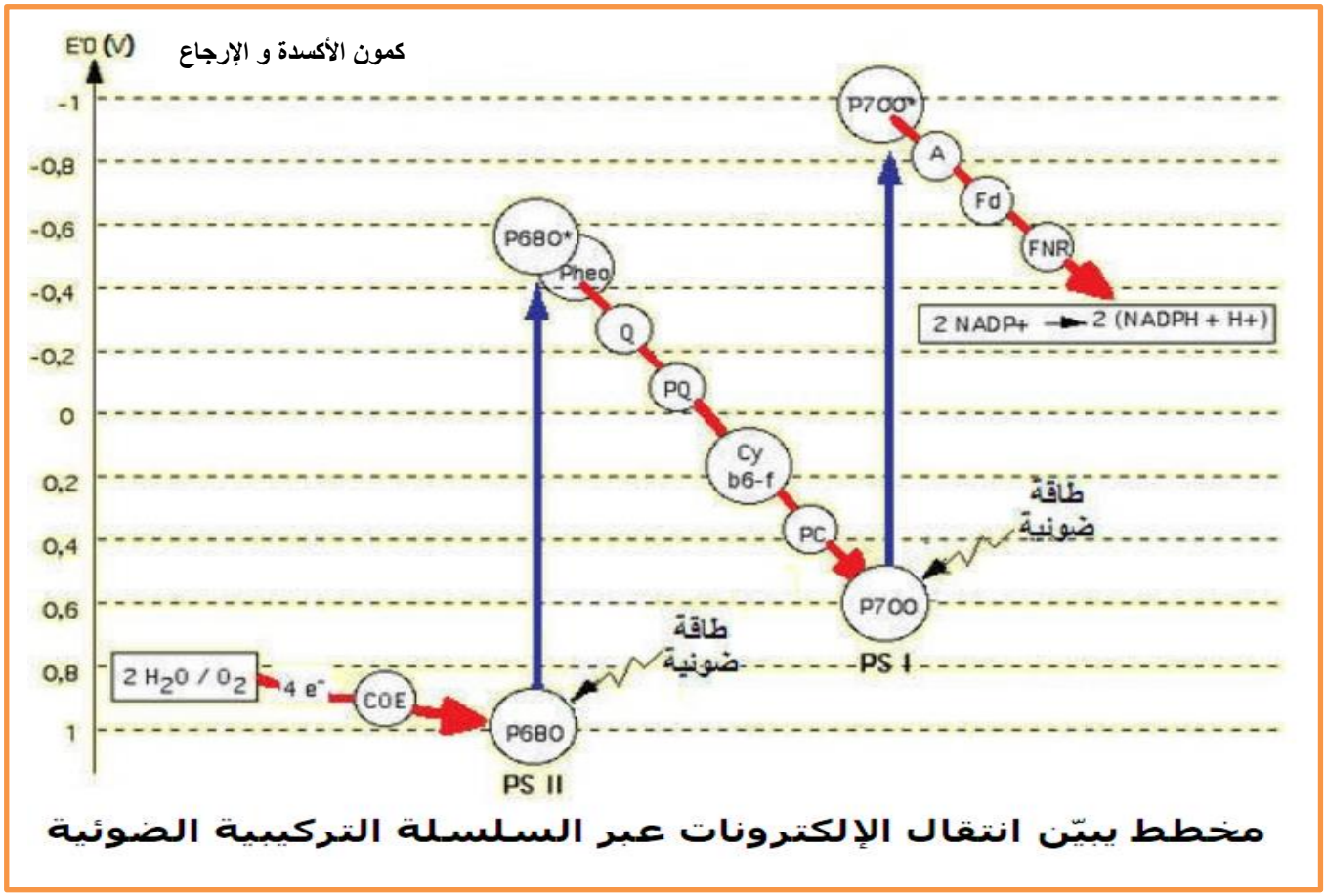
تكون الطاقة التي يكتسبها إلكترون كل جزيئة صبغة يخضور(أ) في المركز التفاعلي كافية ليتحرر من جزيئة الصبغة التي تتأكسد بفقدانها الكترون .

المقارنة بين انتقال الطاقة في الأصبغة الهوائية(الوثيقة 6)و انتقالها في أصبغة مركز التفاعل(الوثيقة 8):

- في الأصبغة الهوائية يتم انتقال الطاقة بدون انتقال الإلكترون .
- في أصبغة مركز التفاعل ، يتم انتقال الطاقة مع انتقال الإلكترون حدوث أكسدة .



ج - تسلسل تفاعلات المرحلة الكيموضوئية :الوثيقة من الملحق



مخطط يبيّن انتقال الإلكترونات عبر السلسلة التركيبية الضوئية

شرح المخطط : يمثل المخطط تفاعلات الأكسدة والإرجاع للسلسلة التركيبية الضوئية

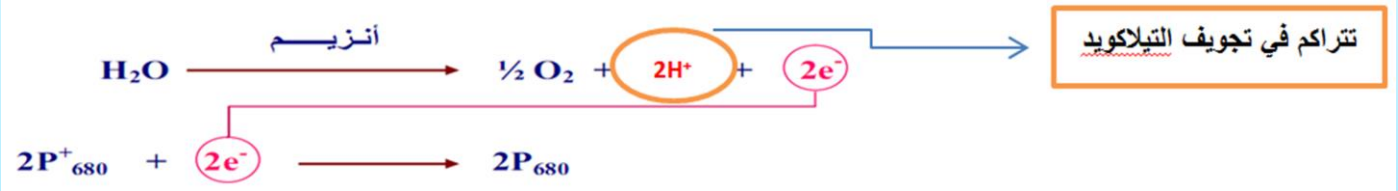
- تنتقل الإلكترونات بصورة تلقائية من ناقل ذي كمون أكسدة و إرجاع منخفض (طاقة عالية)إلى ناقل ذي كمون أكسدة وإرجاع مرتفع (طاقة منخفضة)مع تحرير طاقة حيث :
- تنتقل الاكترونات بصورة تلقائية بين العناصر التالية :
  - ♦من H_2O الى PS_{II}
  - ♦ من T_1 الى T_2 الى T_3 الى PS_I
  - ♦ من T'_1 الى T'_2 الى $NADP^+$
- لا تنتقل الاكترونات بصورة تلقائية في غياب الضوء بين العناصر التالية :
  - ♦من PS_{II} الى T_1
  - ♦من PS_I الى T'_1
- سبب عدم انتقال الالكترونات في هذه الحالة :
- لأن كمون الأكسدة و الإرجاع لـ PS_{II} أكبر من كمون أكسدة و الإرجاع لـ T_1 و لأن 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 الألكترونات بين هذه العناصر ممكنا

التوضيح : 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 (T'_1 T'_2) لتصل إلى آخر مستقبل و المتمثل في $NADP^+$.

ملاحظة :

1- التحلل الضوئي للماء: بينت الدراسات حول بنية ووظيفة النظام الضوئي PS_{II} وجود جزء بروتيني ضمن المعقد البروتيني له دور إنزيم يحلل الماء ليتحرر من ذلك إلكترونين للتعويض الإلكترونات المفقودة من PS_{II} أما البروتونات الناتجة عن التحلل الضوئي للماء تتراكم داخل تجويف التيلاكويد وفق المعادلة التالية :

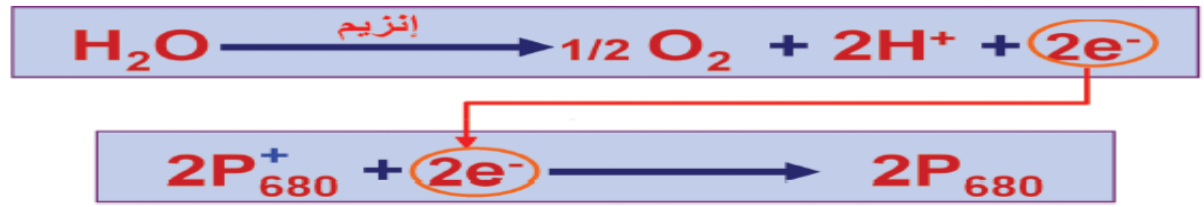


2- يستقبل الناقل T_1 إلكترونات النظام الضوئي PS_{II} و بروتونات H^+ من الحشوة لهذا نقول بأن الناقل T_1 ينقل الإلكترونات و البروتونات فينقل الإلكترونات إلى الناقل T_2 أما البروتونات إلى تجويف التيلاكويد .

- مصير الإلكترونات المتحررة

يمكن تلخصها في المعادلات التالية:

1) مصير الكترونات الماء



2) – مصير الكترونات PSII

عبر سلسلة من النواقل

3) مصير الكترونات PSI

عبر سلسلة من النواقل

و منه تكون المعادلة كالتالي :

$$2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4é$$

$$2\ NADP^+ + 2H^+ + 4é \longrightarrow 2\ NADPH$$

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

تساؤل : ما هو مصير البروتونات الناتجة عن التحلل الضوئي للماء و التي تنقل من الحشوة إلى تجويف التيلاكويد ؟

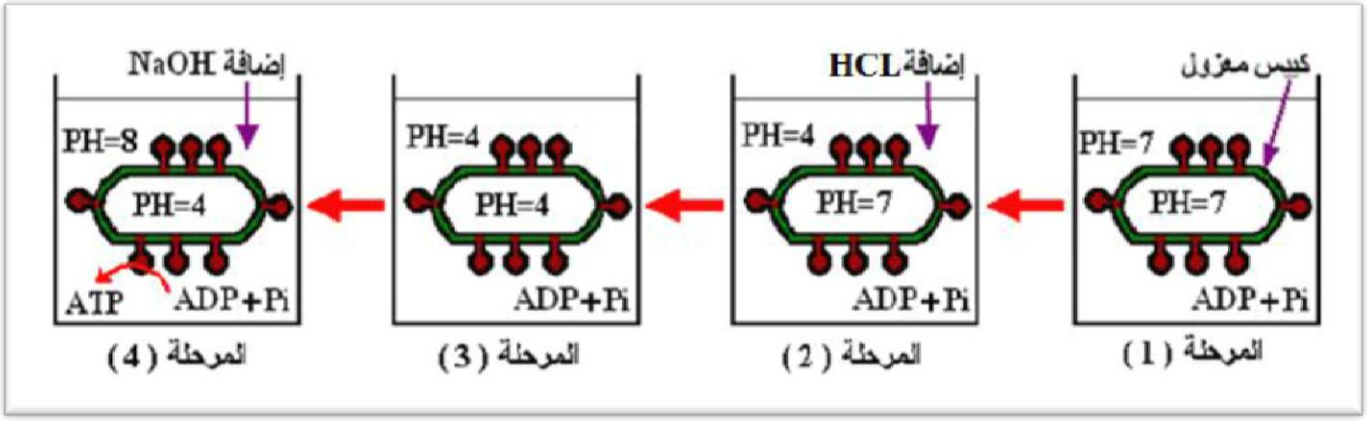
1 - شروط و آلية تركيب الـ ATP على مستوى الكييس :الوثيقة 12 ص 190

أثناء انتقال الإلكترونات عبر سلسلة التركيب الضوئي تتحرر طاقة تسمح بانتقال البروتونات H^+ من الحشوة إلى تجويف الكييس بواسطة T_2 هذا من جهة ومن جهة اخرى التحلل الضوئي للماء يحرر هو الاخر البروتونات H^+ مما يؤدي إلى تكوين فارق في تركيز H^+ بين الحشوة وتجويف الكييس.

لمعرفة مصير هذه البروتونات نستعرض التجربة التي أجرها الباحث ياغندروف اعتمادا على النظرية الكيموسموزيه للعالم ميتشال

تجربة ياغندورف(Jagendorf):وضعت كييسات معزولة في الظلام وفي وسط ذو pH محدد يحتوي على ADP و Pi .

التركيب التجريبي و مراحل التجربة موضحة في الوثيقة 12.



- ما يمكن قوله عن pH الوسط وتجويف التلاكويد في المرحلتين 1 و2 :

♦ **المرحلة 1:** يكون pH الوسط مساويا لـ pH تجويف التيلاكويد

♦ **المرحلة 2:** يكون pH الوسط منخفض (حامضي) و pH تجويف التيلاكويد=7 (معتدل)

مفهوم الـ pH: يعبرعن الأس الهيدروجي أوتركيزالبروتونات(H^+) الموجود في الوسط ويتناسب عكسا مع تركيزالبروتونات في الوسط حيث عندما يكونpH منخفض يدل على تركيزعالية من البروتونات والعكس.

- التفسير الشاردي لاختلاف ال pH الوسط عن pH تجويف الكيس في المرحلة 2:

تركيز شوارد الـ (H^+) للوسط ذو ال pH=4 اكبر من تركيز شوارد الـ(H^+) في تجويف الكيس ذو pH=7

- تعليل تغير pH تجويف الكيس في المرحلة3: راجع الى دخول البروتونات من الوسط الخارجي حتى يصبح متعادل مع pH الوسط الخارجي .

- تعليل إضافة NaOH للوسط في المرحلة 4: من اجل رفع pH الوسط الخارجي ويسمح بإحداث فرق في pH (فرق في تركيز البروتونات بين الوسط الداخلي والخارجي)

- استخراج آلية تركيب ال ATP انطلاقا من ADP وPi في المرحلة4:

تركيب ال ATP تتم بواسطة إنزيم ATP Synthase (الكرية المذنبة) انطلاق من ال ADP وPi باستعمال طاقة مستمدة من دخول البروتونات عبر هذا الإنزيم كما توضحه **(نظرية ميتشل)**

♦ **معادلة تركيب ال ATP:**

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

♦ **شروط تركيب ATP :**

♦وجود فرق في تركيز البروتونات.

♦توفر إنزيم ATP Synthase (الكرية المذنبة)و سلامتها و سلامة غشاء التيلاكويد .

♦توفر ADP وPi .

الخلاصة

♦ تتأكسد جزيئة اليخضور لمركز التفاعل تحت تأثير الفوتونات المقتنصة متخلية عن إلكترون

♦ تسترجع جزيئة اليخضور المؤكسدة حالتها المرجعة ، و بالتالي قابلية التنبيه ، لتحقيق ذلك الإلكترونات الناتجة عن أكسدة الماء

♦تنتقل الإلكترونات الناتجة عن مركز التفاعل عبر سلسلة من النواقل متزايدة الأكسدة و الإرجاع

♦إن المستقبل الأخير للإلكترونات يدعى **النيكوتين أميد ثنائي النيكليوتيد فوسفات $NADP^+$** بواسطة أنزيم **NADP ريدوكتاز** حسب التفاعل العام :

$$2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4é$$

$$2\ NADP^+ + 2H^+ + 4é \longrightarrow 2\ NADPH$$

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

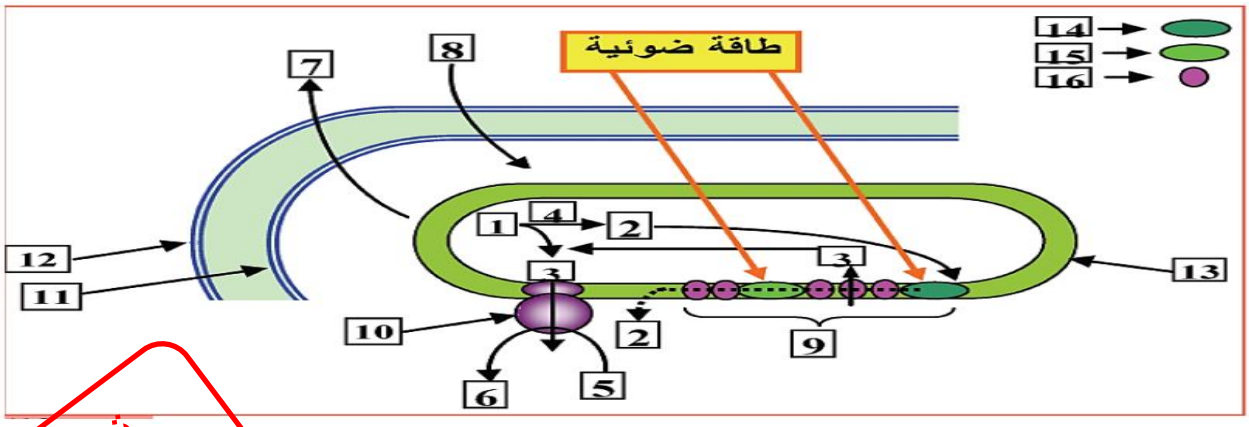
♦يصاحب نقل الإلكترونات على طول سلسلة الأكسدة الإرجاعية، تراكم البروتونات الناتجة عن التحلل الضوئي للماء وتلك المنقولة من الحشوة بإتجاه تجويف التيلاكوئيد.

♦إن تدرج تركيز البروتونات المتولد بين تجويف التيلاكوئيد وحشوة الصانعة الخضراء ، ينتشر على شكل سيل من البروتونات الخارجة عبر ATP سينتاز .

♦تسمح الطاقة المتحررة من سيل البروتونات الخارجة بفسفرة الـ ADP إلى ATP في وجود الفوسفات اللاعضوي(Pi) **:إنها الفسفرة الضوئية .**

https://www.facebook.com/الثانوي-الطور-والحياة-الطبيعية-العلوم-أستاذ-محمد-إسياف-الأستاذ-105173528087633/

تقويم: دراسة الوثيقة 13 ص 191 تمثل رسما تخطيطيا يوضح مختلف التفاعلات في المرحلة الكيموضوئية



تعلمات ممكن تناولها عن بعد

ج1 – البيانات

H_2O=1	ADP+Pi=5	السلسلة التركيبية الضوئية=9	غشاء التيلاكوئيد=13
إلكترونات=2	ATP=6	ATP Synthase=10	PSII =14
H^+=3	O_2=7	غشاء داخلي=11	PSI =15
إنزيم (جزء من PSII)=4	CO_2=8	غشاء خارجي=12	نواقل الإلكترونات=16

- دور العنصرين '14) و(15) في هذه المرحلة

✓ العنصرين 14 و 15 يمثلان الأنظمة الضوئية وهي الأنظمة المسؤولة على استقبال وتحويل الطاقة الضوئية في صورة إلكترونات غنية بالطاقة.

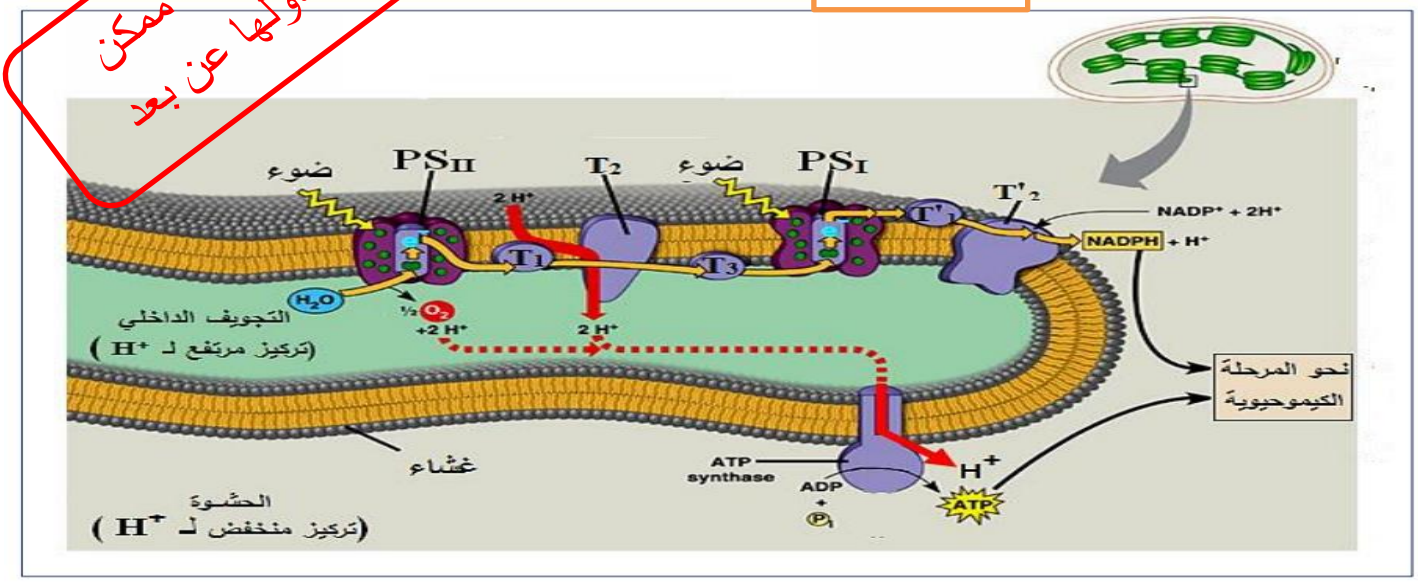
ج2 - رسما تخطيطيا وظيفيا متقنا تبين فيه آليات حدوث المرحلة الكيموضوئية من عملية التركيب الضوئي

تتمثل نواتج المرحلة الكيموضوئية في: ATP و $NADPH,H^+$

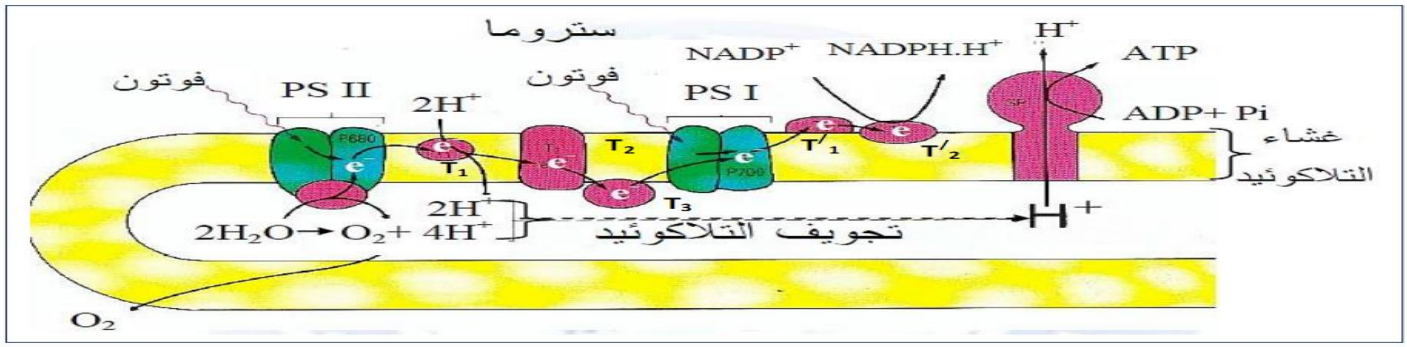
النموذج1

ص 199

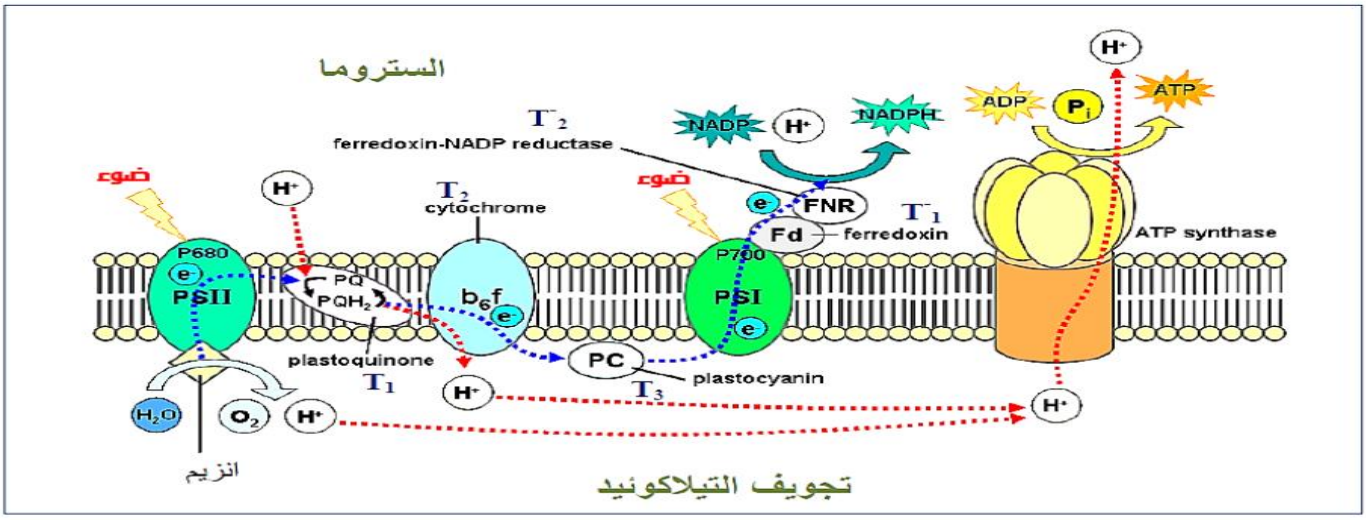
تعلمات ممكن تناولها عن بعد

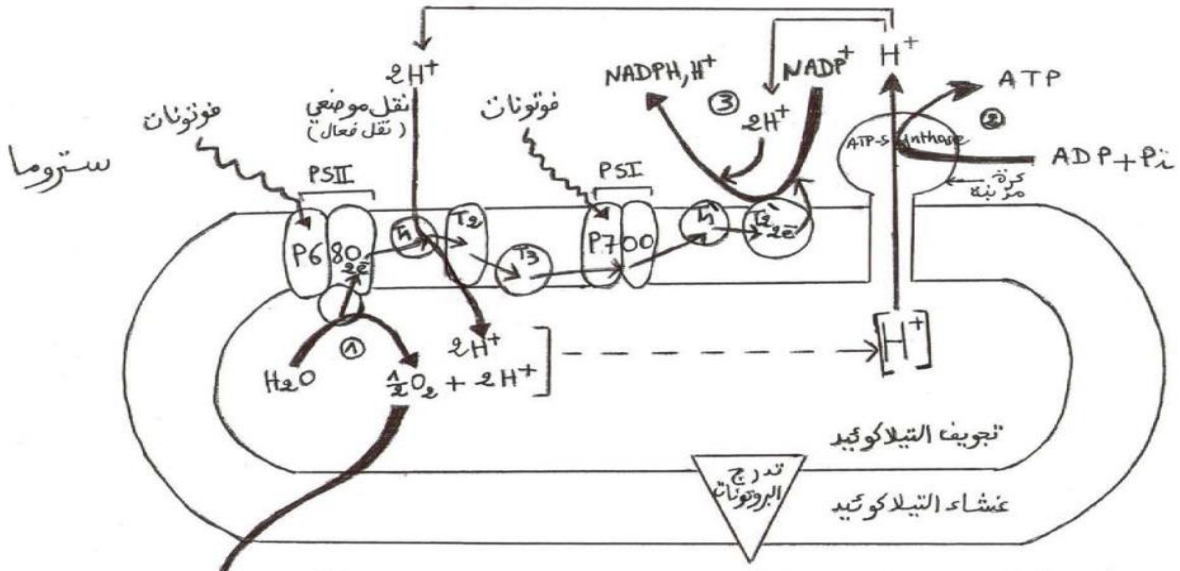


النموذج2



النموذج3





رسم تخطيطي يبيّن تنظيم التيلاكوئيد وعمليات المرحلة الكيموضوئية للتركيب الضوئي

① - التحليل الضوئي للماء.
② - الفسفرة الضوئية.
③ - إرجاع NADP+

تعلمات ممكن تناولها عن بعد

• **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 :

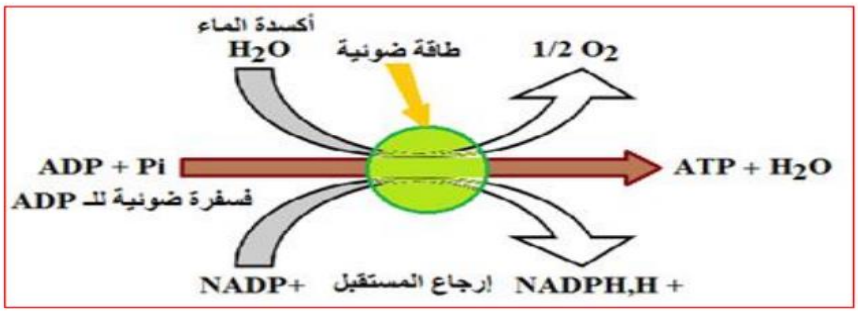
$$NADP^+ + 2e^- + 2H^+ \longrightarrow NADPH,H^+$$

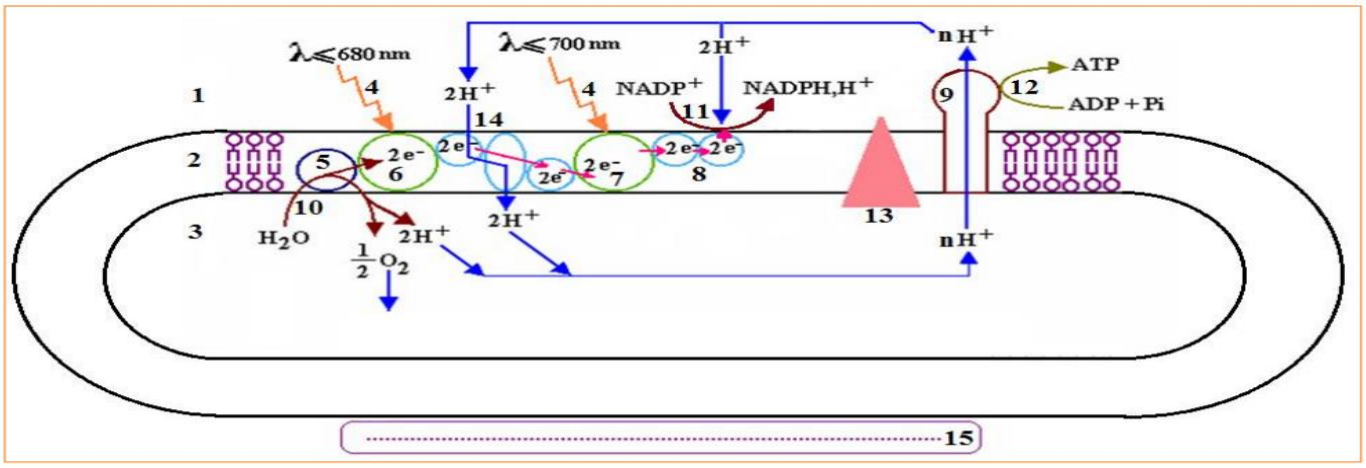
3 – معادلة تشكل الـ ATP :

$$ADP + Pi \longrightarrow ATP + H_2O$$

المعادلة الإجمالية :

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





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 .

المعادلات الكيميائية الاجمالية لمرحلة الكيموضوئية

$$12H_2O + 12NADP^+ + 18ADP + 18Pi \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} 6O_2 + 12NADPH^+.H^+ + 18ATP + 18H_20$$

تتمثل نواتج المرحلة الكيميوضوئية في:

- **ATP** : وهي جزيئات ذات طاقة عالية نتيجة لعمل النظام الضوئي PSII.
- **NADPH,H+** : وهي مرافقات إنزيمية تحمل إلكترونين ذات طاقة عالية نتيجة لعمل النظام الضوئي PSI .

تحدث المرحلة الكيميوضوئية على مستوى التيلاكوئيد، وتتطلب توفر:

- الضوء
- التيلاكويد (أنظمة ضوئية + نواقل الإلكتونات + إنزيم ATP سنتاز).